



中等专业学校 规划教材
工科电子类

王炳钦

JICHENGDIANLU

JCDL

YING YONG

YUANLI

电子科技大学出版社

集成电路应用原理

中等专业学校教材

集成电路应用原理

王炳钦

电子科技大学出版社

• 1994 •

中等专业学校教材
集成电路应用原理
王炳钦

*

电子科技大学出版社出版
(成都建设北路二段四号) 邮编 610054
电子科技大学出版社印刷厂印刷
四川省新华书店经销

*

开本 787×1092 1/16 印张 22.5 字数 520 千字
版次 1994 年 7 月第一版 印次 1994 年 7 月第一次印刷
印数 1—6000 册
ISBN 7-81016-861-4/TN·174
定价: 15.80 元

[川] 新登字 016 号

内 容 简 介

本书以常用模拟集成电路为线索,系统阐述了它们在各领域的应用原理和应用方法。主要内容包括集成运算放大器、集成宽带放大器、集成功率放大器、集成模拟相乘器、集成锁相环路、集成时基电路、集成D/A、A/D转换器、集成稳压器和音响专用集成电路。在阐述每种集成器件的应用原理、应用方法时,首先介绍其典型产品,对这些典型产品的电路结构、主要原理、主要特点、主要参数及应用注意事项都作了扼要分析和讨论。

本书可作为中等专业学校无线电技术、应用电子技术等专业的教材,也可供大专院校师生和电子技术人员参考。

出版说明

根据国务院关于高等学校教材工作的规定,我部承担了全国高等学校和中等专业学校工科电子类专业教材的编审、出版的组织工作。由于各有关院校及参与编审工作的广大教师共同努力,有关出版社的紧密配合,从1978~1990年,已编审、出版了三个轮次教材,及时供给高等学校和中等专业学校教学使用。

为了使工科电子类专业教材能更好地适应“三个面向”的需要,贯彻国家教委《高等教育“八五”期间教材建设规划纲要》的精神,“以全面提高教材质量水平为中心,保证重点教材,保持教材相对稳定,适当扩大教材品种,逐步完善教材配套”,作为“八五”期间工科电子类专业教材建设工作的指导思想,组织我部所属的九个高等学校教材编审委员会和四个中等专业学校专业教学指导委员会,在总结前三轮教材工作的基础上,根据教育形势的发展和教学改革的需要,制订了1991~1995年的“八五”(第四轮)教材编审出版规划。列入规划的,以主要专业主干课程教材及其辅助教材为主的教材约300多种。这批教材的评选推荐和编审工作,由各编委会或教学指导委员会组织进行。

这批教材的书稿,其一是从通过教学实践、师生反映较好的讲义中经院校推荐,由编审委员会(小组)评选择优产生出来的,其二是在认真遴选主编人的条件下进行约编的,其三是经过质量调查在前几轮组织编写出版的教材中修编的。广大编审者、各编审委员会(小组)、教学指导委员会和有关出版社,为保证教材的出版和提高教材的质量,做出了不懈的努力。

限于水平和经验,这批教材的编审、出版工作还可能有缺点和不足之外,希望使用教材的单位,广大教师和同学积极提出批评和建议,共同为不断提高工科电子类专业教材的质量而努力。

机械电子工业部
电子类专业教材办公室

前 言

本教材系按原机械电子工业部的工科电子类专业教材 1991~1995 年编审出版规划,由中专电子技术专业教学指导委员会征稿并推荐出版。责任编辑为潘平仲。

本教材由山东省电子工业学校王炳钦编写,无锡无线电工业学校吴雪方担任主审。编审者均是依据 1991 年机电部中专电子技术专业教学指导委员会制订的《集成电路应用原理》教学大纲进行编写和审阅的。

本课程的参考教学时数为 80 学时。全书共分十章,第一章绪论,第二、三、四章分别为集成运算放大器、集成宽带放大器、集成功率放大器,第五、六章分别为集成模拟相乘器和集成锁相环路,第七、八章为集成时基电路和集成 D/A、A/D 转换电路,第九章集成稳压器,第十章音响专用集成电路。内容非常丰富,体系较为完整。从编排次序来说,第二、三、四章,由于均属线性通用集成电路,有一定共性,故依次排在一起是很合理的。第五、六、七、八章属于非线性通用集成电路。第五、六章联系比较密切,模拟相乘器除本身有广泛应用之外,其基本电路(双差分电路)已被集成锁相环路吸收作为环路的基本部件(鉴相器),故这两章如此编排也恰到好处。第七章独立性较强,但第七章与第八章均属模拟和数字混合电路,并且先讨论时基电路,则在讨论 D/A、A/D 转换电路用到时基电路时可顺手拈来,十分自然。

本书具有较强的实用性。在讨论各类集成电路的各种应用原理和应用方法时,所列举的大量电路都是从科研和生产中的实际电路提炼而来的,大部分电路只要稍作变动,都可再应用到实践中去。另一方面,在讨论各类集成电路应用时,对每一类集成电路,我们均选出几种代表性强的常用典型产品,对其电路结构、主要原理、主要特点、主要参数、封装形式、引线功能、应用注意事项等进行简要介绍,有的产品还给出了应用指南,因此本书既是一本教科书又有工具书的特点。

在选材上,本书既考虑到常用性、实用性又考虑到先进性。因此在介绍典型产品时,既注重介绍具有代表性的常用产品,又特别注意介绍近几年推出的先进产品。在介绍产品应用时又尽量介绍各领域中的最新技术。如在介绍 A/D、D/A 转换器的应用时特别介绍了 D/A、A/D 转换器在数字音响和数字电视中的应用。

尽管本书所涉及的领域较宽,牵涉的基础知识较多,起点较高,但考虑到便于自学,因此,对于重点、难点,书中均给予较详细、透彻的阐述。

从本课程在山东省电子工业学校的开设到本书编写大纲的形成,南京无线电工业学校俞家琦副教授一直给予了热情支持和有益指导。北京无线电工业学校赵振初副教授对本书的编写思路也给予不少帮助。辽宁电子工业学校穆天宝老师和南京无线电工业学校郑应光老师对本书原稿提出了许多意见。本书在编写过程中得到了山东省电子工业学校专业部的大力支持,在此一并表示衷心感谢。

由于水平有限,书中难免存在不妥之处,诚望读者批评指正。

编 者

一九九二年春于山东省电子工业学校

目 录

第一章 绪 论

§ 1.1 集成电路的发展简况	1
§ 1.2 集成电路分类	2
1.2.1 按功能分类	2
1.2.2 按导电类型分类	2
1.2.3 按集成度分类	3
1.2.4 按工艺分类	3
§ 1.3 集成电路工艺简介	3
§ 1.4 集成化元器件特性	6
§ 1.5 集成电路的封装外形与命名方法	10

第二章 集成运算放大器

§ 2.1 集成运放的典型产品	13
2.1.1 第一代集成运放	13
2.1.2 第二代集成运放	15
2.1.3 第三代集成运放	19
2.1.4 第四代集成运放	21
§ 2.2 集成运算放大器的宏模型与三种基本组态	27
2.2.1 集成运放的宏模型	27
2.2.2 负反馈集成放大器的三种基本组态	28
§ 2.3 集成运放主要参数的测试	30
§ 2.4 集成运放应用中应注意的问题	34
§ 2.5 集成运放的应用	37
2.5.1 信号放大电路	37
2.5.2 信号处理电路	53
2.5.3 波形产生电路	70

第三章 集成宽带放大器

§ 3.1 集成宽带放大器的典型产品	79
3.1.1 集成宽带放大器 CX35 与 FZD	79
3.1.2 集成宽带放大器 F733	80
3.1.3 集成宽带放大器 FZ2 与 CX2501	82

3.1.4	集成宽带放大器 L1590	83
§ 3.2	集成宽带放大器主要参数的测试	85
§ 3.3	集成宽带放大器应用	86
3.3.1	视频放大电路	87
3.3.2	高频接收机用宽带放大器	87
3.3.3	测量仪器用宽带放大器	89

第四章 集成功率放大器

§ 4.1	集成功率放大器的典型产品	90
4.1.1	SL30 系列	90
4.1.2	LA4000 系列	93
4.1.3	TBA、TDA 系列	98
4.1.4	集成双通道功率放大器	103
§ 4.2	集成功率放大器测试	105
§ 4.3	集成功率放大器的应用	106
4.3.1	单声道功率放大器	106
4.3.2	双声道立体声功率放大电路	116
4.3.3	BTL 程式功放电路	118

第五章 模拟相乘器

§ 5.1	差分电路的相乘特性	123
5.1.1	单差分电路的相乘特性	123
5.1.2	双差分电路的相乘特性	125
§ 5.2	集成模拟相乘器的典型产品	127
5.2.1	XCC	128
5.2.2	F1596	128
5.2.3	F1595	130
§ 5.3	模拟相乘器的主要参数及其测试	135
5.3.1	直流特性参数及其测试	135
5.3.2	交流特性参数及其测试	139
§ 5.4	模拟相乘器的调试	140
§ 5.5	模拟相乘器在通信技术中的应用	141
5.5.1	振幅调制电路	141
5.5.2	同步解调电路	144
5.5.3	鉴相电路	147
5.5.4	鉴频电路	150
5.5.5	混电路	151

第六章 集成锁相环路

§ 6.1 锁相环路的基本原理	154
6.1.1 锁相环路的基本组成	154
6.1.2 环路基本部件的传输特性	155
6.1.3 锁相环路的相位模型和动态方程	159
6.1.4 锁相环路的捕获与跟踪	159
6.1.5 锁相环路的主要特性指标	164
§ 6.2 集成锁相环路的典型产品	165
6.2.1 低频集成锁相环路 SL565	165
6.2.2 高频集成锁相环路 L562	170
6.2.3 超高频集成锁相环路 L564	172
§ 6.3 集成锁相环路的应用	175
6.3.1 调幅信号的同步检波	175
6.3.2 频率调制	177
6.3.3 移频键控调制 (ESK)	178
6.3.4 调频信号解调	179
6.3.5 移频键控 (ESK) 信号解调	180
6.3.6 频率合成	182

第七章 集成时基电路

§ 7.1 时基电路工作原理	186
7.1.1 基本工作状态	186
7.1.2 基本工作模式	188
§ 7.2 集成时基电路的典型产品	193
7.2.1 双极型时基电路 CB555/556	193
7.2.2 单极型 (CMOS) 时基电路 CB7555/7556	196
§ 7.3 集成时基电路的应用	197
7.3.1 延时器	197
7.3.2 占空比可调方波发生器	199
7.3.3 他激锯齿波发生器	200
7.3.4 脉宽调制器	201
7.3.5 脉位调制器	202
7.3.6 电压——频率变换器	203
7.3.7 分频器	205

第八章 集成 D/A、A/D 转换电路

§ 8.1 D/A 转换器的一般原理	206
8.1.1 D/A 转换器及其基本组成	206

8.1.2	D/A 转换器的主要参数	207
8.1.3	D/A 转换器分类	208
§ 8.2	集成 D/A 转换器典型产品介绍	209
8.2.1	通用型 12 位 D/A 转换器 AD563	209
8.2.2	8 位双缓冲 D/A 转换器 CB0830/0831/0832	213
8.2.3	用于数字音频系统的 14 位 D/A 转换器 TDA1540	218
§ 8.3	D/A 转换器的应用	223
8.3.1	程控电源	223
8.3.2	程控放大器	226
8.3.3	程控有源滤波器	227
8.3.4	程控振荡器	228
8.3.5	D/A 转换器与微型计算机接口	232
8.3.6	数字音频解码	236
§ 8.4	A/D 转换器的基本原理	238
8.4.1	A/D 转换过程	238
8.4.2	A/D 转换器的主要参数	239
8.4.3	A/D 转换器分类	240
8.4.4	常见的几种 A/D 转换方式	240
§ 8.5	集成 A/D 转换器的典型产品	244
8.5.1	与微型计算机兼容的 8 位 A/D 转换器 CB080X	244
8.5.2	带有 8 选 1 开关的 8 位 A/D 转换器——CB0808/0809	248
8.5.3	视频高速并行 6 位 A/D 转换器 CB3300	251
8.5.4	$3\frac{1}{2}$ 位 A/D 转换器——CB14433	255
§ 8.6	A/D 转换器的应用	261
8.6.1	数据采集系统	262
8.6.2	与微型计算机接口	267
8.6.3	数字电视	270

第九章 集成稳压器

§ 9.1	集成稳压器原理	277
9.1.1	集成稳压器分类	277
9.1.2	集成稳压器原理	278
9.1.3	集成稳压器的主要参数及其测试	282
§ 9.2	线性集成稳压器的典型产品	285
9.2.1	CW723/723C	285
9.2.2	CW1511	288
9.2.3	CW7800 系列	290
9.2.4	CW7900 系列	293

9.2.5 CW117 系列	296
§ 9.3 线性集成稳压器的应用电路	298
9.3.1 固定输出稳压电源	298
9.3.2 输出可调稳压电源	301
9.3.3 正、负输出稳压电源	304
§ 9.4 集成开关稳压器的典型产品	306
9.4.1 CW3420/3520	307
9.4.2 CW1524/2524/3524	309
9.4.3 W2018	311
9.4.4 W296	312
§ 9.5 脉宽调制器的应用	314
9.5.1 开关式减压稳压电源	314
9.5.2 开关式增压稳压电源	316
9.5.3 开关式倒极性稳压电源	318
9.5.4 变压器耦合输出稳压电源	319

第十章 音响专用模拟集成电路

§ 10.1 高、中频集成放大器	323
10.1.1 FM 高频调谐集成电路 TA7335P 与 TDA1602	323
10.1.2 集成 FM/AM 中频放大器 FY1018 与 TAA7640AP	325
§ 10.2 集成立体声解码电路	332
10.2.1 引言	332
10.2.2 集成立体声解码电路 LM1800	334
10.2.3 LM1800 的主要特点、参数及应用电路	342
§ 10.3 集成声频前置放大电路	344
参考资料	348

第一章 绪 论

§ 1.1 集成电路的发展简况

集成电路 (Integrated circuit—IC) 是在 50 年代末 60 年代初发展起来的一种新型半导体器件。它彻底打破了用分立元件组装电子线路的传统作法,而是采用半导体制造工艺把二极管、三极管、电阻、电容以及连接导线等构成的具有一定功能的电子线路制造在一块很小的基片上,实现了元件、电路和系统的有机结合,使电子技术的发展进入了一个新的纪元。

实际上,在 50 年代初,电子技术的发展就面临着新的挑战,这就是电子设备和系统的日益复杂化,使得电子设备和系统所用的元器件数目越来越多,体积、重量迅速增加,可靠性迅速下降。尽管晶体管的诞生,使设备、系统的体积、重量大为减少,可靠性也提高了几个数量级,但是离近代工程技术如人造卫星、宇宙飞船、弹道火箭、电子计算机等的要求还相差甚远。尤其是可靠性问题更是亟待解决。而人们发现,由数万个分立元件组装的设备、系统,连接焊点是故障的主要来源。

面对新的挑战,1952 年英国的达默 (Dummer) 首先提出了集成电路的设想。时隔六年,美国得克萨斯仪器公司的其尔比 (Kilby) 和仙童公司于 1958 年研制成第一批集成电路。但实际上,直到 1959 年,美国仙童公司的赫尔尼 (Hoerni) 等人发明了硅平面工艺,这才奠定了半导体集成电路发展的基础。从此分立元件电路进入了集成化的时代,因而促进了电子技术的飞速发展。

1965 年前、后,小规模和中规模集成电路相继推广使用。1971 年推出了大规模集成电路,七十年代中后期人们又研制出超大规模集成电路。特别是中、大规模集成电路的应用,对空间技术和电子计算机等的发展起到了巨大的推动作用,使设备、系统的体积、重量、耗电等成几万倍甚至几十万倍的减少,而可靠性则成万倍的提高。

目前,集成电路的开发和应用正以更惊人的速度发展。有人预言,到本世纪末,单片集成度将超过 42 亿个元件。制造工艺将采用原子级加工技术。

我国从 60 年代初也开始了集成电路的研制工作。发展至今,对于中、小规模集成电路已具系列生产能力。并且,大规模集成电路已于 80 年代初就问世投产。例如,1981 年,我国研制成功的 MOS 随机存储器,单片集成度已达三万七千多个电子元件。现在,我国自行设计制造的各类集成电路已广泛地应用于通信、广播、电视、计算机、国防科技以及自动控制、自动测量等各个领域。随着经济的发展、科技的进步集成电路的开发和应用必将展现出更加广阔的美好前景。

§ 1.2 集成电路分类

集成电路的种类很多,目前分类方法尚不统一。有按功能分类;有按导电类型分类;有按集成度分类;也有按工艺分类。

1.2.1 按功能分类

按功能和用途来分,集成电路可分为数字集成电路和模拟集成电路两大类。

一、数字集成电路 这是发展最早、最快的一种。数字集成电路用以产生和处理各种在时间上和数值上离散取值的数字信号。其内部主要是由各种门和触发器组成的逻辑电路,而基本逻辑部件有运算器、译码器、计数器、存储器和位移寄存器等。所采用的电路结构主要有二极管—三极管逻辑电路(DTL),三极管—三极管逻辑电路(TTL)、集成注入逻辑电路(I²L)以及发射极耦合逻辑电路(ECL)等。数字集成电路内部的有源器件主要工作在开、关状态,因此电路形式简单,重复单元多,制造容易,是目前超大规模集成电路的主流。

二、模拟集成电路 这是在数字集成电路的基础上发展起来的一种集成电路。它主要用以产生、放大和处理在时间和数值上都连续取值的模拟信号。模拟集成电路又可分为线性模拟集成电路和非线性模拟集成电路。

线性集成电路是指集成电路的输出信号与输入信号具有线性关系。例如各种类型的放大器。其中最主要的是运算放大器。尽管根据不同需要人们研制出性能不同的各类通用运算放大器和高阻型、高压型、高阻型以及低功耗、低漂移、低噪声等各类特殊运算放大器,但实际上就是一种低频小信号情况下的通用放大器。此外,还有宽频带放大器,功率放大器等等。

非线性集成电路是指集成电路的输出信号与输入信号之间的关系是非线性的。例如集成模拟相乘器、集成锁相环路、集成时基电路、集成模拟—数字(A/D)转换和集成数字—模拟(D/A)转换电路等等。此外集成电压比较器、集成采样保持电路等也属于非线性集成电路。

由于篇幅所限,本书主要讨论模拟集成电路的应用原理。

1.2.2 按导电类型分类

集成电路按导电类型不同可分为双极型集成电路和单极型集成电路。

双极型集成电路,内部有源器件有两种载流子——电子、空穴参与导电。三极管主要是NPN型,也有少部分为PNP型。双极型集成电路发展早,工艺成熟,频率特性好。大多数模拟集成电路都是双极型的。TTL、ECL等数字集成电路也都是双极型的。

单极型集成电路,内部有源器件只有一种载流子——电子或者空穴参与导电。这是一种金属—氧化物—半导体结构(MOS)的集成电路。并且根据参与导电载流子是电子还是空穴可分为NMOS和PMOS集成电路。近几年发展起来的是二者之混合——既有

NMOS 管又有 PMOS 管的集成电路, 称为 CMOS 集成电路。目前, 大规模、超大规模数字集成电路都是单级型的。由于单极型集成电路增益小, 噪声大, 频率低, 故尽管在数字集成电路中已占主导地位, 但在模拟集成电路中长期未引起人们的重视。70 年代中期, 由于集成 A/D、D/A 转换器的诞生, 人们才开始对单极型模拟集成电路产生了浓厚兴趣。并推出 MOS 集成运放、集成开关电容、集成 A/D、D/A 等多种单极型模拟集成电路。

1.2.3 按集成度分类

集成度即指每个芯片上集成的元件的数目。按照集成度不同集成电路可分为小规模集成电路 (SSI), 中规模集成电路 (MSI), 大规模集成电路 (LSI) 和超大规模集成电路 (VLSI)。

对于数字集成电路, 通常认为: 在 $1\sim 3\text{mm}^2$ 的硅片上制作数十个元器件即为 SSI; 在 10mm^2 的硅片上制作数百个元器件即为 MSI; 在 $10\sim 20\text{mm}^2$ 的硅片上制作数千个元器件即为 LSI; 而在 20mm^2 以上的基片上制作上万个元器件即为 VLSI。

对于模拟集成电路, 由于工艺要求高, 电路又复杂, 故通常集成 50 个以下元器件即称 SSI; 50~100 个元器件的即称 MSI; 集成 100 个元器件以上的就属于大规模集成电路了。

从集成度的角度看, 从初期的 SSI, 经过后来的 MSI 和 LSI, 到今天的 VLSI, 已经经历了四代, 发展非常迅速。

1.2.4 按工艺分类

按制造集成电路的工艺不同可分为膜集成电路和半导体集成电路。

膜集成电路是在玻璃或陶瓷等绝缘体基片上以膜的形式制造电阻、电容等无源元件。元件数值范围可以做得很宽, 精度可以做得很高。但无法制作有源器件。膜集成电路根据膜的厚度又可分为薄膜集成电路 (膜厚度小于 $1\mu\text{m}$) 和厚膜集成电路 (厚度: $1\sim 10\mu\text{m}$)。

半导体集成电路是采用半导体制造工艺在半导体硅片上制造由电阻、电容、三极管、二极管等元、器件组成的具有一定功能的电路。在半导体集成电路中, 三极管是最容易制造的, 而电阻、电容制造比较困难, 精度和数值范围都受到限制。目前, 半导体集成电路还不能集成电感器。

由于膜集成电路无法集成有源器件, 通常是把半导体管芯装粘在相应的基片上, 再与其他膜元件连接起来, 故膜集成电路实际上是一种混合集成电路。凡是不能单独用膜技术或半导体技术制造的, 而是采用二者之结合或者与分立元件工艺相结合制造的集成电路统称为混合集成电路。

§ 1.3 集成电路工艺简介

制造半导体集成电路的硅平面工艺通常包括外延技术、氧化技术、光刻技术、扩散

技术、真空镀膜技术和隔离、隐埋技术。了解一点集成电路的制造工艺，对于理解集成元件的特性不无裨益。下面即对上述七大工艺技术给以简单介绍。

一、外延技术 外延技术是在半导体基片上，在高温下采用气相淀积的方法再向外延生长一层硅原子层，常称为外延层。如图 1.1 (a) 所示。外延层晶格的排列方向与基片一衬底的晶格排列方向是一致的。故有生长之称。通常元、器件就是在这一外延层上制造的。

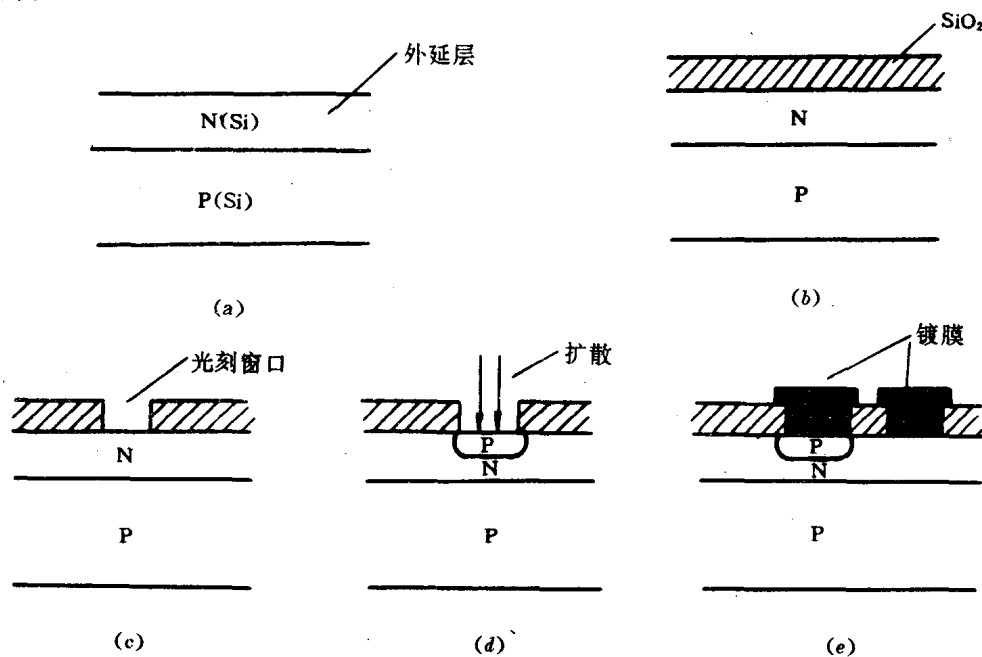


图 1.1

气相淀积法就是将含有 SiCl_4 的运载气体通过加热到 $1140 \sim 1250^\circ\text{C}$ 的硅片时，产生化学反应，分离出的 Si 原子按衬底硅原子的排列方向淀积在硅片衬底的表面上。通过控制外延生长时间、 SiCl_4 的浓度和外延炉的温度可控制外延层的厚度。外延层的电阻率和导电类型是通过控制在外延生长过程中掺入杂质的浓度和杂质的类型来进行控制的。

二、氧化技术 氧化技术是在硅表面形成一层二氧化硅 SiO_2 层。见图 1.1 (b) 所示。 SiO_2 具有良好的绝缘特性，可对硅表面起到保护作用，也可作隔离介质。

氧化的方法是在氧化炉中把硅片加热到 $1100 \sim 1200^\circ\text{C}$ 的高温，然后通以氧气或水气。高温下 $\text{Si}-\text{O}$ 发生反应，生成 SiO_2 。 SiO_2 层的厚度可通过控制氧气流量、氧化温度和氧化时间来进行控制。

三、光刻技术 光刻的目的就是在均匀的 SiO_2 层上开一个窗口即按照需要在一定的区域将 SiO_2 层剔除，从而把硅表面暴露出来。如图 1.1 (c) 所示。

光刻技术与印洗照片相似。1°涂胶 即在均匀的 SiO_2 层表面涂一层感光胶，并烘干。2°曝光 将设计好的电路版图掩膜，对准涂有感光胶的硅片，置于曝光灯下进行光照。硅片上与掩膜透明区域对应的感光胶受到光照，在显影液中不再溶解，而与掩膜黑区对应的胶膜未受到光照，具有在显影液可溶解的特性。3°显影 即把进行了选择曝光的硅片放

在显影液中，漂洗去未受光照的感光胶，使该区域的 SiO_2 表面显露出来，受光照的感光胶仍保留，覆盖着 SiO_2 层。4°腐蚀 即用氢氟酸溶液把显露出来的 SiO_2 层腐蚀掉，使硅表面暴露出来即刻出窗口。5°去胶 最后用硫酸溶液去掉曝光区域的感光胶。

四、扩散技术 扩散是掺杂的重要方法之一，是制造 PN 结和电阻的技术手段。将要扩散的硅片，放进充有杂质（如 B 或 P）原子气体的扩散炉内，加热到 $1000\sim 1200^\circ\text{C}$ ，在高温下，杂质原子以扩散方式进入硅片内，可通过杂质补偿形成一个与原导电类型相反的区域，如图 1.1 (d) 所示。也可形成一个与原导电类型相同的低阻区或称为高掺杂区。控制扩散温度、扩散时间和杂质源的浓度，可控制新形成区的深度和掺杂浓度。

五、真空镀膜技术 真空镀膜技术就是在需制作引线的部位，淀积一层铝膜，引线就焊在铝膜上，如图 1.1 (e) 所示。

镀膜方法，就是在真空容器里把高纯度铝加热到气化状态——蒸发，使铝原子淀积在需要做引线的硅表面上。真空镀膜技术也称真空蒸发技术。铝膜厚度可通过改变蒸发时间来控制。

六、隔离技术 因为集成电路中的元件是制造在同一硅片上，因而各元器件在电气上必须是隔离的。为此，在集成电路的制造中，首先采用隔离技术把硅片分成若干个彼此绝缘的隔离岛，岛与岛之间的绝缘部分称隔离槽。集成元器件就是在这些隔离岛上制造的。主要隔离方法有 PN 结隔离和介质隔离。

PN 结隔离技术是基于 PN 结反向不导电的特性而发展起来的。如图 1.2 (a) 所示，先在 P 型衬底上做一高掺杂的 N^+ 层，称隐埋层（后述），然后外延生长 N 型层，再在外延层上，用光刻技术刻出隔离槽窗口，进行深度 P 型杂质扩散，使 P 区一致延伸进入衬底。这样各岛就被 PN 结隔离开来。

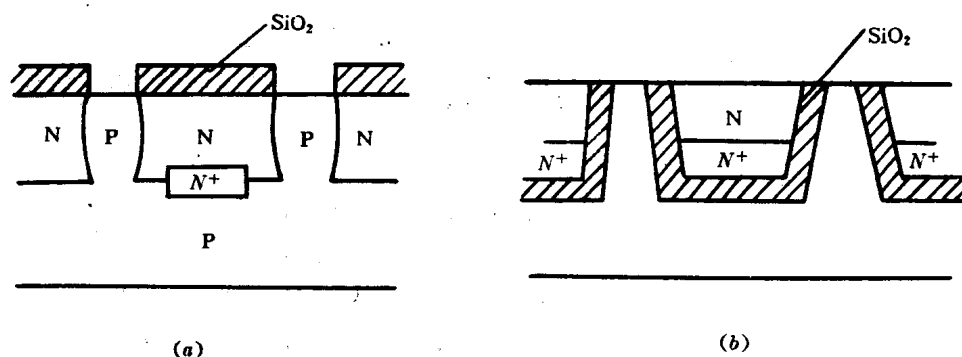


图 1.2

介质隔离是采用 SiO_2 的绝缘特性来把硅片隔离成小岛的，如图 1.2 (b)。具体的隔离技术这里不介绍了。

七、隐埋技术 由于在集成电路中，三极管集电极也必须从硅片同一侧引出，见图 1.3 (a)。故集电极电流 I_c 必须经过一段很长的路径流入基区，特别是 L 段，只有几微米厚，加之集电区的浓度较低，故呈现的体电阻 r_o 很大。这不仅造成较大的电压损失，还有可能使器件的高频特性变差。为此，人们在基区下方的集电区制造一个重掺杂的 N^+ 层

如图 1.3 (b) 所示。这样集电区的体电阻就大大减小。这个 N^+ 层就是上面提到的隐埋层。这个隐埋层通常是外延工艺前用扩散法形成。

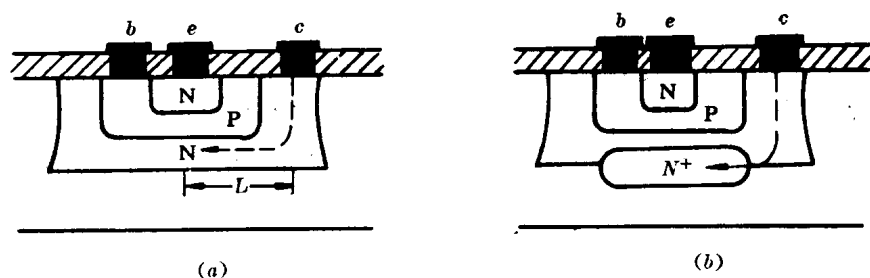


图 1.3

§ 1.4 集成化元器件特性

由于集成电路的所有元器件都是在一块面积很小的硅片上制造的，故这些集成化的无源的和有源的元器件既与分立元器件有共性，也有其本身的固有特性。

一、三极管

1. NPN 三极管

在模拟集成电路中 NPN 型三极管是最主要的有源器件，也是集成电路中最容易制造的元件。其结构与分立器件的硅平面三极管相似，NPN 三个区也是从硅表面向内纵向排列。但这里有两点不同之处，前已述及，即①三个电极都是从硅片同一侧即上表面引出，而不象分立三极管集电极从硅片的另一侧即衬底引出，见图 1.3 (b)。②为减小集电极从同一侧引出时集电区的体积电阻，在集电区制造一个高浓度 N^+ 隐埋层。这种结构的三极管称纵向三极管。

2. NPN 型超 β 管

超 β 管是在 60 年代末 70 年代初出现的，多用在放大输入级。其 β 值在小电流下可达 1000~5000 倍。超 β 管与普通纵向 NPN 管在结构上并无很大不同。主要区别在于超 β 管的基区很窄。在制造时，发射区进行两次扩散，使 eb 结深入到基区。此外还采用提高发射区的掺杂浓度降低基区的掺杂浓度的方法来提高发射效率和传输效率。超 β 管的缺点是穿通电压低。

3. 衬底 PNP 管

在集成电路中，有时要使用 PNP 管，如作电平移动、与 NPN 管互补等。为了能够在制造 NPN 管的同时制造出 PNP 管（少进行一次扩散），通常是把 P 型衬底作为集电极，见图 1.4。把 N 型外延层作为基区；在制造 NPN 管基区的同时制造成 PNP 管的发射区。而基区中的 N^+ 区是在制造 NPN 管的发射区时形成的。

这样的结构仍是纵向的，但是由于基区的宽 W_B 不可能做得很窄，通常约为 $8\mu\text{m}$ ，因此电流增益和频率响应都受到限制。在 $I_C=1\text{mA}$ 时， $\beta=5\sim 100$ ， $f_T\approx 10\text{MHz}$ 。此外，由