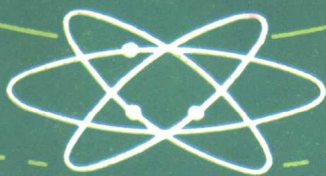


—高等学校教材—

运放及模拟集成电路

西安交通大学 谈文心 刘本鸿 编



国防工业出版社

73.755

运放及模拟集成电路

西安交通大学 谈文心 刘本鸿 编

国防工业出版社

内 容 简 介

全书分为集成电路的基本知识、集成运算放大器、集成运算放大器的应用、集成模拟乘法器及其应用、集成定时电路、模拟接口电路等六章。

本书对模拟集成电路的基本原理、基本概念及基本分析方法作了系统的论述，注意了精选内容和理论联系实际，对大量国内外集成片应用实例进行了提炼、概括和归纳。每章后附有习题及思考题。全书文字简练、逻辑性强、深入浅出，便于自学。

本书可作为高等学校电子、通信专业学生选修课教材，也可供有关工程技术人员参考。

运放及模拟集成电路

西安交通大学 谈文心 刘本鸿 编

*

国防工业出版社出版

新华书店北京发行所发行 各地新华书店经售

国防工业出版社印刷厂印装

*

787×1092¹/₁₆ 印张 15¹/₂ 355千字

1986年6月第一版 1986年6月第一次印刷 印数：10,001—4,800册

统一书号：15034·3093 定价：2.55元

出版说明

根据国务院关于高等学校教材工作分工的规定，我部承担了全国高等学校工科电子类专业课教材的编审、出版的组织工作。从一九七七年底到一九八二年初，由于各有关院校，特别是参与编审工作的广大教师的努力和有关出版社的紧密配合，共编审出版了教材 159 种。

为了使工科电子类专业教材能更好地适应社会主义现代化建设培养人才的需要，反映国内外电子科学技术水平，达到“打好基础，精选内容，逐步更新，利于教学”的要求，在总结第一轮教材编审出版工作经验的基础上，电子工业部于一九八二年先后成立了高等学校《无线电技术与信息系统》、《电磁场与微波技术》、《电子材料与固体器件》、《电子物理与器件》、《电子机械》、《计算机与自动控制》，中等专业学校《电子类专业》、《电子机械类专业》共八个教材编审委员会，作为教材工作方面的一个经常性的业务指导机构，并制定了一九八二～一九八五年教材编审出版规划，列入规划的教材、教学参考书、实验指导书等共 217 种选题。在努力提高教材质量，适当增加教材品种的思想指导下，这一批教材的编审工作由编审委员会直接组织进行。

这一批教材的书稿，主要是从通过教学实践、师生反映较好的讲义中评选择优和从第一轮较好的教材中修编产生出来的。广大编审者、各编审委员会和有关出版社都为保证和提高教材质量作出了努力。

这一批教材，分别由电子工业出版社、国防工业出版社、上海科学技术出版社、西北电讯工程学院出版社、湖南科学技术出版社、江苏科学技术出版社、黑龙江科学技术出版社和天津科学技术出版社承担出版工作。

限于水平和经验，这一批教材的编审出版工作肯定还会有许多缺点和不足之处，希望使用教材的单位、广大教师和同学积极提出批评建议，共同为提高工科电子类专业教材的质量而努力。

电子工业部教材办公室

前 言

本教材系由〈无线电技术与信息系统〉教材编审委员会〈电路与系统〉编审小组评审选定,并推荐出版。

本教材由西安交通大学谈文心同志编写第一、四、六章,刘本鸿同志编写第二、三、五章,由北京邮电学院梅邨同志担任主审,南京工学院李素珍同志审阅第六章。编审者均依据〈电路与系统〉编审小组审定的编写大纲进行编写和审阅的。

本教材的主要内容包括:第一章是集成电路的基本知识,主要介绍集成电路的结构、工艺和元、器件特征,并分析了集成电路中的基本单元电路,为后续各章打下理论基础;第二章以F007型集成运算放大器为代表分析其内部电路和主要技术参数,并介绍了几种新型运算放大器电路;第三章全面阐述运算放大器的各种应用,并列举了当前国内外应用中的实际电路,在有关部分还引入了程序设计内容,对某些应用电路可进行计算机机助分析和操作;第四、五章分别介绍单片集成四象限模拟乘法器和定时电路的工作原理及各种应用电路;为适应当前新技术发展的需要,第六章介绍微型计算机应用中模拟通道的主要部件A/D和D/A转换器、采样-保持放大器及多路转换开关等。

编写本教材时,注意了精选内容和理论联系实际,对大量国内外集成片应用实例进行了提炼、概括和归纳,着重分析典型单片集成电路的工作原理、应用中的主要原则和关键问题;对发展中的MOS运放、模拟接口、程控电路、开关电容等新器件、新技术在教材中也有所介绍,每章后附有习题及思考题,以帮助读者加深理解。编写中尽可能做到深入浅出,逻辑性强,以利于教学和便于自学。

本教材的参考学时数为46学时,使用时可根据各校具体情况有所侧重或适当增减。

在本书编写过程中,得到很多同志的热情支持与帮助,这里表示诚挚的感谢。由于编者水平有限,书中难免存在一些缺点和错误,殷切希望广大读者批评指正。

编 者

目 录

第一章 集成电路的基本知识	1
§ 1-1 集成电路简介	1
一、集成电路的分类	2
二、集成电路的制造	2
三、集成化元器件的结构和特性	6
四、模拟集成电路结构特征	10
§ 1-2 集成电路的基本单元电路	10
一、复合放大电路	11
二、差分放大电路	17
三、恒流源电路与有源负载	24
四、射极输出电路与互补推挽电路	31
习题与思考题	33
第二章 集成运算放大器	36
§ 2-1 集成运算放大器简介	36
§ 2-2 F007运算放大器的组成及工作原理	36
一、输入级	37
二、中间增益级	37
三、输出级及其保护电路	37
四、偏置电路	38
§ 2-3 集成运算放大器的主要技术参数	38
一、开环电压增益 A_v	38
二、输入失调电压 V_{os}	39
三、输入失调电流 I_{os}	39
四、输入基极偏置电流 I_B	39
五、差模输入电阻 R_{id}	40
六、开环输出电阻 R_o	40
七、共模抑制比 CMRR	40
八、上升速率 SR	40
九、全功率带宽 f_p	40
§ 2-4 F007集成运算放大器的内部电路分析	41
一、直流工作状态的分析	41
二、F007的交流小信号特性	43
§ 2-5 运算放大器的频率特性	45
一、单极点放大器的开环频率特性	45
二、多极点放大器的频率特性	46
§ 2-6 运算放大器稳定工作的条件及相位补偿技术	47

一、运算放大器稳定工作的条件	47
二、相位补偿技术	48
§ 2-7 新型运算放大器	52
一、跨导型可编程运算放大器	52
二、第四代运算放大器 5G7650	54
习题与思考题	56
第三章 集成运算放大器的应用	58
§ 3-1 理想运算放大器	58
一、集成运算放大器的基本性质	58
二、集成运算放大器的理想化	59
§ 3-2 集成运算放大器的运算误差	61
一、实际集成运算放大器及其等效电路	61
二、开环增益的影响	62
三、失调电压 V_{os} 及其温漂的影响	64
四、输入偏置电流的影响	65
五、共模抑制比 CMRR 的影响	66
§ 3-3 集成运算放大器在模拟运算中的应用	69
一、加法器	69
二、差动运算放大器	70
三、积分器	76
四、微分器	80
五、对数放大器	83
§ 3-4 电压比较器	87
一、过零比较器	87
二、任意电平比较器	88
三、滞后电压比较器	89
四、窗口比较器	90
§ 3-5 有源滤波器	91
一、一阶 RC 有源滤波器	91
二、二阶 RC 有源滤波器	94
§ 3-6 波形发生器	105
一、文氏电桥正弦波振荡器	105
二、正交振荡器	107
三、脉冲发生器	107
四、三角波发生器	110
五、脉冲和锯齿波发生器	111
§ 3-7 波形变换器	112
一、线性检波与绝对值电路	112
二、限幅电路	115
三、二极管函数电路	117
§ 3-8 实用中的问题	120
一、调零技术	120

二、集成运算放大器的保护电路	121
习题与思考题	123
第四章 集成模拟乘法器及其应用	126
§ 4-1 模拟相乘的基本概念	126
一、乘法器的工作象限	126
二、理想乘法器的基本性质	127
§ 4-2 变跨导模拟乘法器	128
一、二象限变跨导乘法器	128
二、双平衡模拟乘法器	129
§ 4-3 BG314 型四象限模拟乘法器	133
一、BG314 型乘法器电路的工作原理	133
二、BG314 型乘法器外接电路的设计计算	137
三、BG314 型乘法器的运算误差	139
四、BG314 型乘法器的调整 and 测试	141
五、BG314 的技术参数	143
§ 4-4 用模拟乘法器组成的非线性运算器	145
一、平方根运算	145
二、除法运算	146
三、均方运算电路	148
四、 V_T^2 运算电路	148
五、近似正弦函数运算器	148
§ 4-5 模拟乘法器实现调制功能	149
一、抑制载波双边带调幅	149
二、普通调幅波	152
三、积分式调频振荡器	154
§ 4-6 模拟乘法器实现解调功能	155
一、乘法检波器	155
二、鉴相器	159
三、鉴频器	162
§ 4-7 模拟乘法器实现混频和倍频功能	165
一、混频器	165
二、倍频器	167
习题与思考题	168
第五章 集成定时电路	170
§ 5-1 单片定时电路的工作原理	170
§ 5-2 定时电路的应用	172
一、5G1555 的主要参数及各引出端的功能	172
二、5G1555 单片定时电路的工作方式	173
§ 5-3 应用实例	177
一、定时电路	177
二、脉冲发生器与变换器	181
三、检测与控制电路	187

四、音响与报警电路	189
习题与思考题	190
第六章 模拟接口电路	192
§ 6-1 采集系统的模拟接口电路图	192
一、系统部件简介	193
二、系统噪声及抗干扰措施	194
§ 6-2 数/模转换器	195
一、D/A 转换器的理想特性和实际误差	195
二、D/A 转换器的技术指标	196
三、D/A 转换器的类型	198
四、单片集成 D/A 转换器 5G 7520	205
五、D/A 转换器与微处理机的接口电路	210
§ 6-3 模/数转换器	212
一、A/D 转换过程与量化误差	212
二、A/D 转换器的特性和类型	214
三、单片集成 A/D 转换器 AD7570	219
四、A/D 转换器与微处理机的接口电路	222
§ 6-4 采样-保持电路	225
一、采样-保持电路的基本工作原理	225
二、采样-保持电路的性能指标	226
三、单片集成采样-保持放大器 AD582	227
§ 6-5 模拟多路转换器和多路分配器	227
一、单片集成 5G 4051 8 选 1 多路开关	228
二、5G 4051 应用实例	230
§ 6-6 模拟开关电容网络	232
一、SCN 的基本工作原理	232
二、主要元器件对 SCN 性能的影响	234
三、SCN 的应用举例	236
习题与思考题	238
参考文献	239

第一章 集成电路的基本知识

集成电路 (Integrated Circuit 缩写 IC) 是六十年代初期飞速发展起来的新型电子器件, 是一种元器件和电路融为一体的固体组件。与分立元件电路相比较, 在电路结构、设计应用等方面均有很大的不同。为了掌握集成电路的特点, 本章首先简单介绍集成电路的内部结构、制造工艺和集成化元器件的特性。

目前, 模拟集成电路已品种繁多, 但不管多么复杂的电路均是由几种单元电路组合而成的。本章重点介绍这些单元电路的基本工作原理及其电路结构, 为分析各类集成电路提供理论基础。

§ 1-1 集成电路简介

半导体集成电路是以硅单晶为基础材料, 以制造硅平面晶体管的平面工艺为基本工艺, 把晶体管、二极管、电阻、电容等制作在同一小硅片上, 并且相互连接形成一个完整的功能电路。与分立电路相比较, 集成电路占有的体积小、重量轻, 有利于电子设备的微型化。图1-1 (a) 表示一个普通晶体三极管, 而图1-1 (b) 表示一个具有九个晶体管的集成电路放大器。目前, 大多数集成电路采用图1-1 (c)、(d) 所示的双列直插式封装或扁平式封装结构。

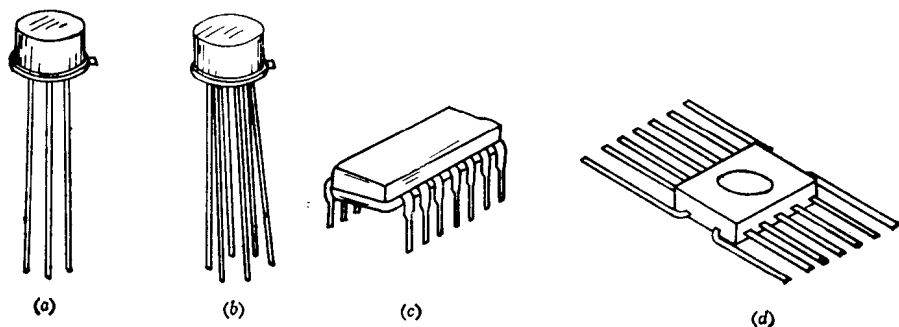


图1-1 单个晶体管与完整的集成电路的比较

(a) 单个晶体三极管; (b) 集成块; (c) 双列直插型; (d) 扁平型。

集成电路的第二个优点是, 可靠性高。由于所有的内部接线与晶体管和其它元件一起在最初的制造过程形成, 而且在集成电路的生产过程中采用高度严密的制造和测试技术, 因此使可靠性得到提高。

集成电路放大器第三个优点是, 扩展了频率响应。由于连线短和元件尺寸的减小, 集成电路的频率响应范围得到提高。此外, 集成电路适宜于大规模生产, 使成本降低。

目前, 集成电路已大量应用于电子计算机、自动控制及导弹、雷达, 卫星通信等电子设备中, 而且已广泛深入日常生活用品中, 成为电视接收机、袖珍电子计算器及电子手表等产品的重要组成部分。

一、集成电路的分类

集成电路可分为数字集成电路和模拟集成电路两大类。数字集成电路主要用于产生和处理数字信号。除数字集成电路以外的统称为模拟集成电路。它是用来产生、放大和处理各种模拟信号或进行模拟信号与数字信号间相互转换的电子电路。常用的模拟集成电路有运算放大器、集成宽带放大器、高频/中频放大器、集成功率放大器、集成稳压器、模拟乘法器及集成锁相环等。

如果将模拟集成电路进一步划分, 则可按结构、用途、工作状态及有源器件的类型等进行分类, 如表 1-1 所示。

表1-1 模拟集成电路分类

分 类 法	类 别
结构	单片集成电路 混合集成电路
用途	通用型 专用型 (也称特殊型)
工作状态	线性集成电路 非线性集成电路
有源器件类型	双极型 单极型 双极-单极混合型

单片电路是全集成的, 将电路的全部元器件制作在一小块硅单晶上。混合式集成电路是在陶瓷等基片上用印刷或蒸发方法制成电阻、电容后, 再将单片集成的晶体管、二极管芯片焊接在上面混合构成。因此, 混合式具有分立电路的形式, 电路结构灵活性较大, 但制作工艺复杂, 生产效率低。

线性集成电路是指输出对输入信号的变化呈线性关系的电路, 一般用作放大器。非线性集成电路是指输出对输入信号的变化呈非线性关系的电路, 一般用作信号之间的变换。

按用途可分为具有多种用途的通用型和特定用途的专用型。通用型如集成运算放大器; 专用型如电视接收机、电子手表等专用集成电路。

双极型集成电路由电子和空穴两种载流子参加导电的双极型晶体管组成, 这种电路的优点是工作速度快、频率高、信号传输延迟时间短, 但制造工艺较复杂。单极型集成电路由电子 (或空穴) 一种载流子参加导电的场效应管组成, 目前较多使用的是由 MOS 场效应管组成的 MOS 集成电路, 它又可按沟道材料分为 P 沟道 MOS 电路 (P MOS)、N 沟道 MOS 电路 (N MOS), 以及互补 MOS 电路 (C MOS)。单极型集成电路的优点是电路输入阻抗高、功耗小、工艺简单、集成密度高、易于实现大规模集成, 但它们的传输延迟时间长、工作速度低、负载驱动能力也较小。双极-单极混合型集成电路采用 MOS 和双极兼容工艺制成, 因而电路兼有双极型和单极型的优点。

二、集成电路的制造

在生产过程中, 几百个甚至几千个电路是同时进行的, 用于制造单片集成电路的硅

晶片直径为 $3 \sim 10\text{cm}$ ，如图 1-2 所示，图中的每一个小方块都是一个完整的电路，称为基片。基片制造完毕后，沿着直线和水平线把晶片分割成单块基片，然后对这些基片进行测试和封装。

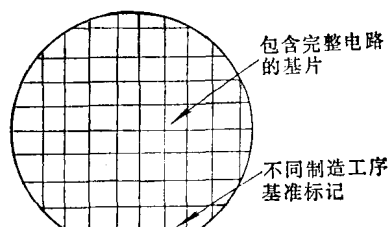


图1-2 用于制造单片集成电路的硅晶片

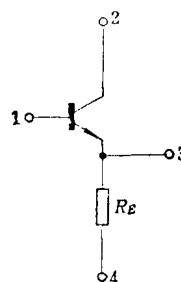


图1-3 要集成的射极跟随器电路

1. 制造单片集成电路的基本工序

首先，根据所要集成的电路设计并刻制掩膜图。假定图 1-3 所示的射极跟随器就是要集成的电路，所需要的五张掩膜图示于图 1-4 (b)~(f)。制造工序如下（见图 1-5 (a)~(n)顺序）：

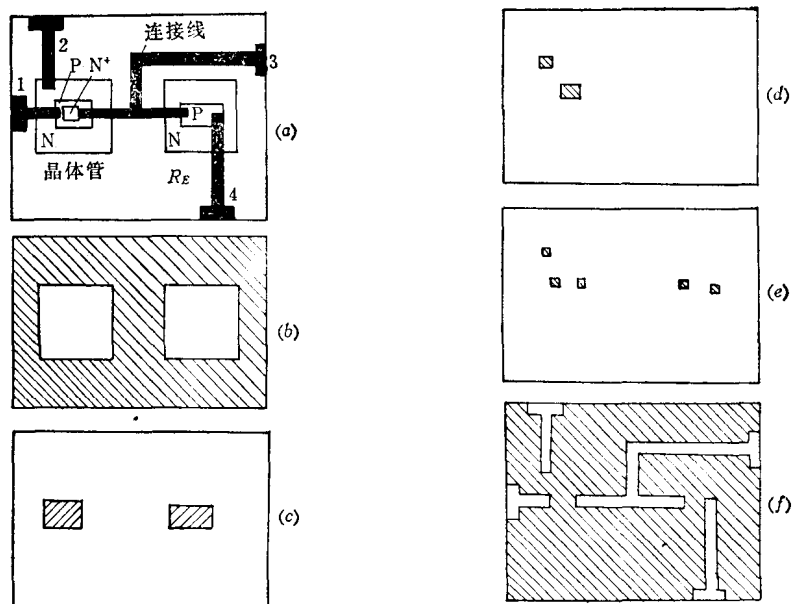


图1-4 图1-3掩膜图的产生方法

(a) 总体设计图；(b) 掩膜图 1，隔离；(c) 掩膜图 2，P型扩散；(d) 掩膜图 3， N^+ 扩散；
(e) 掩膜图 4，接点；(f) 掩膜图 5，连接图。

(1) P型硅基底（衬底）：这是制造集成电路的原始材料。

(2) 外延生长：在P型硅衬底上面制作一层N型硅的外延层，它和P型衬底有着相同的单晶结构。

(3) 氧化: 把晶片放在氧化炉中氧化, 表面形成一层二氧化硅 (SiO_2), 以防污染和杂质的侵入。二氧化硅也可作介质材料。

(4) 将光敏腐蚀剂涂于 SiO_2 层上。

(5) 掩膜图上曝光: 将掩膜图 1 放在衬底的上面, 并对紫外线曝光, 图 1-3 (b) 中斜线所画的阴影部分是不透光的。经显影后, 没有曝光的抗蚀剂被溶解掉, 曝光的部分变成聚合物而保持不动。

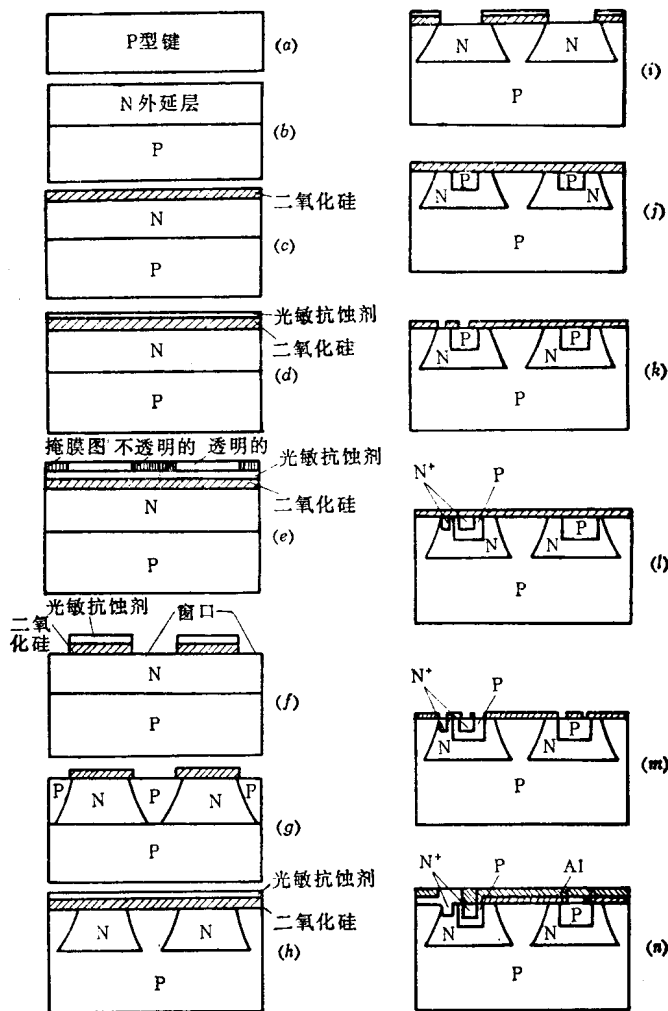


图1-5 图1-3的集成电路制造工序

(6) 腐蚀: 用氢氟酸 (HF) 腐蚀掉未曝光部分的 SiO_2 , 这就为扩散杂质开了“窗口”。

(7) 将 P 型杂质通过开的窗口扩散到基片中去。所形成的 P 区就和 P 型衬底连在一起, 形成一个隔离的区域。扩散完毕将光敏抗蚀剂去掉。

(8) 二次氧化: 重新生成一层 SiO_2 来封住窗口, 再在 SiO_2 层上加光敏抗蚀剂。

(9) 掩膜图 2 的曝光: 经过曝光、腐蚀, 为扩散 P 型材料开“窗口”。

(10) 基极和发射极电阻的形成: P 型掺杂物通过窗口进行扩散, 形成晶体管的基

极和发射极电阻 R_E ，然后将晶片第三次氧化、涂上光敏抗蚀剂。

(11) 对掩膜图 3 曝光，然后腐蚀掉未曝光的氧化物，为扩散 N^+ 开了二个“窗口”。

(12) 扩散 N^+ 杂质，形成发射极及集电极接点。然后进行第四次氧化，涂上光敏抗蚀剂。

(13) 掩膜图 4 曝光，然后腐蚀。掩膜图 4 包含把晶体管的接点、发射极电阻与 1~4 端连起来所需要的“窗口”。

(14) 金属化：衬底的整个上表面淀积一层导电材料的金属膜（一般用铝），以便制作集成电路元件之间的连线。

对掩膜图 5 曝光后，把不需要的多余金属腐蚀掉，而剩余的金属膜即为集成电路的所需接线。

无论所集成的电路如何复杂，上述制作工序都是典型的常用的工序。

2. 隔离技术

集成电路中制作在同一基片上的各个元器件之间在电性能上是绝缘的，因此必须采用隔离技术将一块基片分成若干彼此绝缘的区域。集成电路中常用的隔离技术有 PN 结隔离和介质隔离两种。

PN 结隔离已用于前述的集成化射极跟随器中。把包括偏置源在内的图 1-5 (n) 重画在图 1-6 (a) 中，P 衬底和电路中所用的最负电位（如地）相连接，N 岛和正电位（如集电极电压）相连接，于是，N 岛和 P 型衬底间形成反偏的 PN 结，两个 N 岛间为

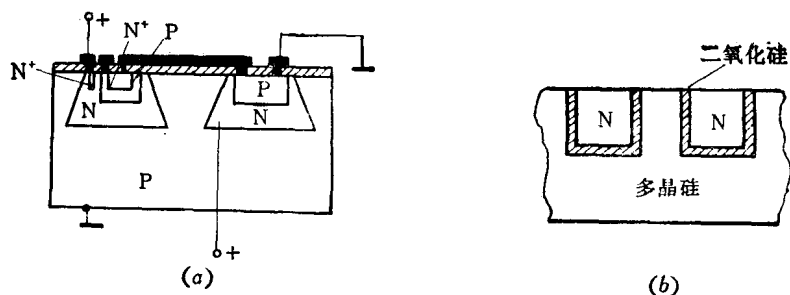


图1-6 隔离技术

(a) PN结隔离；(b) 介质隔离。

两个反偏 PN 结的串联，电阻很大，达到了 N 岛之间互相隔离的目的。

决定所需要的 N 岛数目时，应考虑下列原则：

(1) 如果各晶体管的集电极处于不同的电位，则各集电极必须隔离开，各晶体管应处于不同的 N 岛上。

(2) 接到电路各不同部分的电阻，可以用一个 N 岛，此 N 岛应与电路所用的最正电位相连接。

PN 结隔离制造工艺简单、适用于大批量生产，目前数字集成电路中应用较普遍。它的缺点是 N 岛之间能承受的电压不高，存在着较大的寄生电容效应，容易影响电路的高频性能。

介质隔离是用 SiO_2 等介质材料把 N 岛与衬底之间或 N 岛之间隔开，如图 1-6 (b)

所示。介质隔离可使寄生参量大大减小，但因工序复杂、成本较高，一般用于电源电压较高的模拟集成电路中。

三、集成化元器件的结构和特性

目前，在集成电路中尚不能制作电感和可变电容器，只能制作电阻、固定电容、晶体管和二极管等。和分立元件相比，集成化元器件的结构和性能具有明显的特点。

1. 晶体三极管

集成电路中的晶体管主要是 NPN 型晶体管。图 1-7 (a) 示出分立元件的 NPN 平

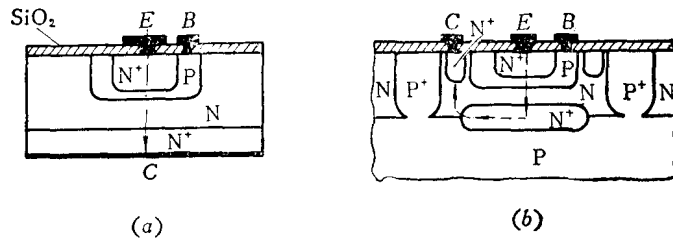


图1-7 NPN晶体管的结构

(a) 分立元件的NPN晶体管；(b) 集成化NPN晶体管。

面型晶体管的结构，电子流垂直往下流向集电极。而在集成化的 NPN 晶体管中〔图1-7 (b)〕，由于集电极和发射极在同一侧引出，必须设置 N^+ 隐埋层，隐埋层的电阻率比 N 型集电区低得多，从而使电子流流向通过集电区时的等效电阻大大减小，避免因电子流通路延长而造成集电极压降增大。

在模拟集成电路中，有时需要 PNP 晶体管，常见的两种 PNP 晶体管的结构如图 1-8 所示。

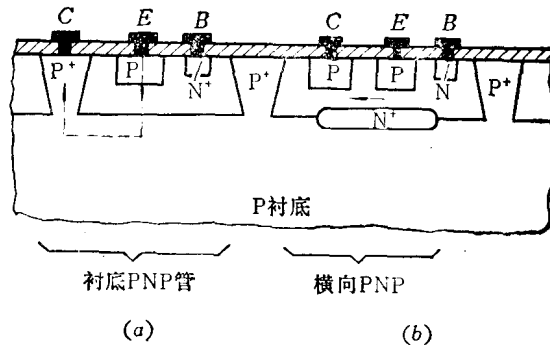


图1-8 PNP晶体管

(a) 衬底PNP晶体管；(b) 横向PNP晶体管。

(1) 衬底 PNP 晶体管

如图 1-8(a) 所示，它是以 P 型衬底作集电极的，因此只有采用 PN 结隔离的集成电路中才有可能制作这种结构的晶体管。由于载流子是沿着断面的垂直方向运动的，又称为纵向 PNP 管。衬底 PNP 管的集电极必须接电路中的最低电位，这样，就在一定程度

上限制了它的应用。

由纵向 PNP 管与 NPN 管配对组成的互补输出级, 具有跟随特性好、效率高、输出电压幅度大、波形对称性好等优点, 因此它被广泛地应用于各种放大器的输出电路中。

(2) 横向 PNP 晶体管

横向 PNP 管的结构见图 1-8(b) 所示。它的集电极和发射极是在 NPN 管基区扩散的同时形成的。由于载流子是沿着断面的水平方向运动的, 故得名为横向 PNP 管。

由于图形结构及工艺限制, 横向 PNP 管的基区较宽, 造成电流放大系数 β 值较低 (一般在十几~几十之间), 同时频响较差, 特征频率 f_T 仅为几兆赫, 但它的结构特点使 BE 结和 BC 结具有较高的反向击穿电压 (可达 80V 以上)。利用横向 PNP 管与 NPN 管构成复合组态, 可形成性能优良的各种放大电路。此外, 横向管还被广泛地应用于有源负载、电平位移等电路中。

在近代集成运算放大器中, 还经常采用多集电极的横向 PNP 管, 符号如图 1-9(a) 所示, 在电路中利用它的多个集电极可构成若干个电流源, 每个电流源提供的电流大小与相应的集电极面积成正比。

如果将双集电极横向 PNP 管的第二集电极 C_2 与基极 B 短接, 可构成“可控增益 β 横向 PNP 管”, 如图 1-9(b) 所示。由图可求得等效晶体管的电流放大系数为

$$\beta = \frac{I_{c1}}{I'_B} = \frac{I_{c1}}{I_{c2} + I_B} = \frac{I_{c1}/I_{c2}}{1 + I_B/I_{c2}} = \frac{S_1/S_2}{1 + 1/\beta_2} \quad (1-1)$$

式中 S_1/S_2 ——两个集电区 C_1 与 C_2 的面积比。

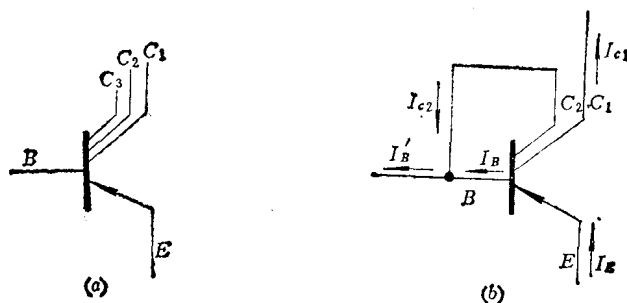


图1-9 多集电极横向PNP管

(a) 符号; (b) 可控增益 β 横向 PNP 管。

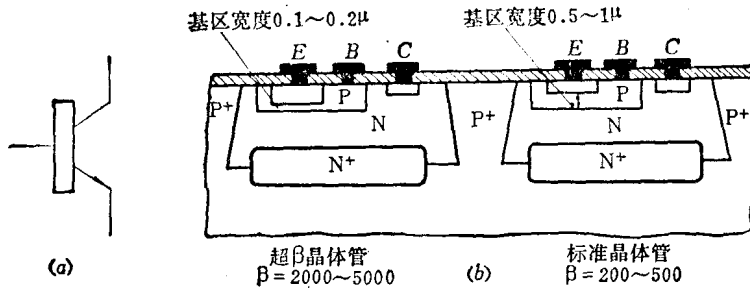
由式 (1-1) 可见, 改变两个集电区图形面积比 S_1/S_2 , 就可以控制等效晶体管的电流放大系数 β 值。

超 β 晶体管常用于高精度运算放大器的输入级, 在极低的基极偏流 (一般小于 $10\mu A$) 下, 仍能达到 $\beta \geq 1000$ 的超高增益。超 β 晶体管的符号及结构示于图 1-10。由图 1-10(b) 可见, 为了提高 β 值, 超 β 晶体管的基区做得非常薄, 这样势必降低晶体管的反向击穿电压, 典型值 BV_{CBO} 在 $10 \sim 20V$ 之间, BV_{CEO} 在 $5 \sim 10V$ 之间。

2. 场效应晶体管

如果要求电路具有较高的输入阻抗, 可采用场效应晶体管, 一般 MOS 场效应管比结型场效应管更适于单片集成, MOS 场效应管具有下列优点:

(1) 不需要采用隔离技术, 由图 1-11 所示的 N 沟道 MOS 场效应管断面图可见,

图1-10 超 β 晶体管

(a) 符号; (b) 结构图。

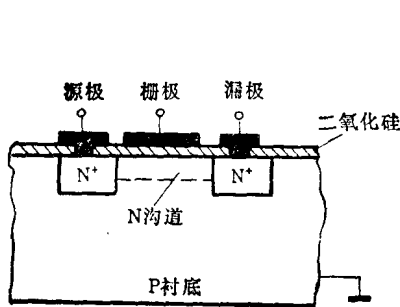


图1-11 N沟道增强型MOS场效应管断面图

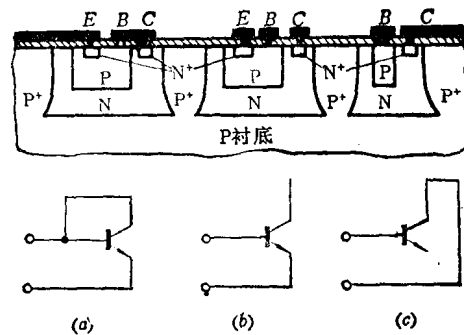


图1-12 三种最通用的二极管结构

因为栅极和漏极相对于P衬底为正(衬底接地), 这样, PN结就处于反偏, 因而造成了电隔离。

(2) 它的扩散工序少, 而集成度(器件数/厘米²)高。

(3) MOS场效应管还可接成电阻用。

3. 集成二极管

集成电路中使用的二极管常利用晶体三极管的PN结, 因此, 在制作NPN晶体管的标准工艺中便同时形成二极管, 图1-12示出了三种最通用的二极管结构形式。图1-12(a)将集电极与基极短接, 利用BE结作二极管使用, 这种连接的优点是正向压降低、开关时间短、不存在寄生PNP管效应, 因而获得普遍应用。

利用反向击穿电压比较低的EB结, 使其工作在反向偏置状态可作稳压管用, 稳压值小于7V, 动态电阻约60~100 Ω , 劣于分立元件稳压管。

4. 电阻

集成电阻包括扩散电阻、薄膜电阻和离子注入电阻三类。

扩散电阻是集成电路中应用最多的一种电阻, 通常有基区扩散电阻、发射区扩散电阻和基区沟道电阻三种, 它们的结构如图1-13所示。最常用的是基区电阻, 它的阻值范围约为100 Ω ~20k Ω 。发射区的电阻率很低, 发射区电阻的阻值约为20~100 Ω 。基区沟道电阻的阻值最高, 大约可达10~500k Ω , 但阻值误差较大, 温度系数也比其它两种扩散电阻差。

薄膜电阻是在盖住P型衬底的SiO₂上沉积一层电阻材料如氮化钽、镍铬合金或者