

王学维 曹国初编著

电视和音响集成电路的原理与维修

DIANSHI HE YINXIANG JICHENG DIANLU DE YUANLI YU WEIXIU

湖南科学技术出版社

电视和音响集成电路的原理与维修

王学维 曹国初 编著

责任编辑：陈清山

*

湖南科学技术出版社出版

(长沙市展览馆路14号)

湖南省新华书店发行 湖南省新华印刷二厂印刷

*

1984年12月第1版第1次印刷

开本：787×1092毫米 1/16 印张：17 字数：419,000

印数：1—30,800

统一书号：15204·132 定价：2.60元

内 容 简 介

在最新的电视机和收录机里,绝大部分分立元件已被集成电路所取代,其性能指标显著提高。本书系统地介绍了国内外常用电视和音响集成电路的基本结构和功能原理,对其内部电路进行了详尽的分析,并以典型电视机和收录机为例,详细地介绍了这类集成电路的常见故障和检修方法。全书共分五章:第一章系统地介绍了电视和音响集成电路的基础知识,第二章介绍收录机常见的集成电路,第三章分析黑白电视机中常用的集成电路,第四章讨论彩色电视机中的集成电路,第五章详尽地分析了电视和音响集成电路的常见故障和维修方法。

本书文字简练,语言通俗易懂,可供从事集成电路电视机和收录机的研制、生产和维修人员以及业余无线电爱好者阅读,亦可作为大专院校有关专业的教学参考书。

前 言

继数字集成电路之后，迅速发展着另一类集成电路，开始称为线性集成电路，随着各种类型电路的不断发展，这种命名就显得不够确切。线性和非线性主要是以输出和输入信号之间的关系来区分的。通常将输出信号和输入信号的变化成线性关系的集成电路称为线性集成电路，如运算放大器、音频、中频及宽频带放大器等。将输出和输入信号的变化不成线性关系的集成电路，但也不是开关性质的集成电路，称为非线性集成电路，如检波器、稳压器及调制器等。对于集成电路来说，这种区分方法并不合理，如单片调幅收音机集成电路 FY7641，它既包含非线性的变频、检波，又有线性的中频和低频放大。将它放在哪一种类型合适呢？1967年国际电气技术委员会(IEC)正式提出了模拟集成电路的概念，将数字集成电路以外的电路统称为模拟集成电路。而模拟集成电路又可分为两种基本形式，一种是多用途器件——通用型集成运算放大器；另一种是专用器件——在专用设备中提供多种功能的集成电路，如电视机中的图象通道集成电路，收录机中的立体声解码器等。在这本书里将要向大家介绍的就是后一种电路。

最初为专用设备设计的集成电路，多是在分立元件电路的基础上进行的，除用差分放大等直接耦合电路代替交流耦合电路外，电路的程式变化不大。随着研究的深入，逐渐有体现集成电路本身特点的线路被设计出来。例如，电视机中伴音电路的鉴频器，最初就是沿用分立元件的比例鉴频器设计出来的(如KC583C)，这种电路往往须用较多的外接元件。由于集成电路中晶体管的数目一般不受限制，所以，后来就创造出双差分电路鉴频，这样集成块内晶体管数目增加，但外接元件却可减少。如5G32就是采用模拟乘法器鉴频，其外接元件便大量减少。而目前使用得较多的HA1124A，内部用有源滤波和峰值检波结合起来，又进一步克服了乘法检波中方波的辐射干扰，使线路更加完善，充分体现了集成电路的优越性。

大家知道，晶体管发射极电流与发射结的面积成正比。而不同面积发射结的死区电压不相同，基于这一认识，又使集成电路创造出很多新颖电路来。例如，立体声解码电路LA3361中的立体声开关，就是利用这种结构克服了解码器 LA3301 的开关噪声的。随着工艺的改进和设计工作的不断提高，目前集成度越来越高，功能亦不断完善和多样化。例如，最初电视机中的彩色解码电路，7CD型是由6块集成电路组成；5G300系列由两块集成电路组成；而TA7193P则仅用一片集成块就完成了整个彩色解码任务。

近年来，人们对电视机、收录机的要求越来越高。国外已广泛使用调台数字化、声音立体化、功能多样化的收录机和电视机。单纯收听调幅广播的收音机，市场上将难以找到。为了适应当前科学技术现代化和广大读者的迫切需要，特编此书以飨读者。书中首先介绍模拟集成电路的基本元器件和基础电路，然后逐个介绍国内常见的有代表性的收音机、收录机，黑白电视机、彩色电视机中的集成电路。为了使读者对每一类机器有一个完整的概念，收录机以日本M4500K为中心；黑白电视机以国产飞跃牌12D4为中心，除逐个介绍其中所用全部集成电路外，并系统对整机进行分析；最后还系统介绍这两种机器的修理方法。本书可供从

事集成电路收录机、电视机生产和维修人员及广大业余无线电爱好者阅读，亦可供研制这方面集成电路的技术人员，大专院校有关专业的师生参考。

限于作者水平，书中错误和不妥之处在所难免，请读者批评指正。

湖南师范学院物理系
王学维、曹国初

目 录

第一章 电视和音响集成电路基础	(1)
第一节 集成电路中的元器件	(1)
(一) 晶体管	(2)
(二) 二极管	(4)
(三) 电阻器	(4)
(四) 电容器	(6)
第二节 恒流源电路	(7)
(一) 基本型恒流源电路	(8)
(二) 小电流恒流源	(9)
(三) 带有缓冲级的恒流源电路	(10)
(四) 补偿恒流源	(10)
(五) PNP管恒流源	(11)
第三节 内部稳压源电路	(12)
(一) 基准电压电路	(12)
(二) 电压源电路	(15)
第四节 复合晶体管	(16)
(一) 复合NPN晶体管	(16)
(二) 复合PNP晶体管	(17)
第五节 电平位移电路	(18)
(一) 简单的电平位移电路	(18)
(二) 常用的电平位移电路	(19)
(三) PNP管电平位移电路	(19)
第六节 差分放大器	(20)
(一) 工作原理	(20)
(二) 传输特性	(24)
(三) 互导	(26)
(四) 结论	(26)
第七节 差分放大器的改进	(27)
(一) 线性动态范围的扩展	(27)
(二) 差分放大器的有源负载及双端变单端输出电路	(28)
(三) 增大差分放大器的输入阻抗	(29)
第八节 模拟乘法器	(31)
(一) 差分放大器的相乘功能	(31)
(二) 双差分模拟乘法器	(31)
第九节 控制增益的电路	(34)
(一) 控制负反馈的大小来获得增益变化	(35)

(二) 分流式控制电路	(36)
第十节 输出级及输出保护电路	(37)
(一) 射极跟随器输出电路	(37)
(二) 推挽输出电路	(38)
(三) 输出级保护电路	(38)
第十一节 运算放大器	(39)
(一) 运算放大器8FC3的内部电路	(40)
(二) 理想运算放大器	(41)
第二章 收录机中的集成电路	(44)
第一节 概述	(44)
第二节 音频功放集成电路	(45)
(一) SL33功率放大器	(45)
(二) TB4100系列功放集成电路	(47)
(三) FY4112低频功率放大器	(49)
(四) DG810集成音频功率放大器	(53)
(五) BTL集成功率放大器	(55)
第三节 调频、调幅中频放大集成电路	(58)
(一) SL311变频、中放集成电路	(58)
(二) SL315变频、中放集成电路	(59)
(三) FY1201调频、调幅中放集成电路	(60)
(四) FY1018变频、调频、调幅中放电路	(62)
(五) 单片调幅收音集成电路FY7641	(65)
第四节 调频立体声解调器	(69)
(一) 立体声信号的构成	(69)
(二) 解调器的基本原理	(71)
(三) 解码器FY3301集成电路分析	(74)
(四) 调频立体声调谐器	(76)
(五) FY3301加装“单声-立体声”自动切换电路	(79)
(六) FY3301中的噪声及消除	(80)
(七) 锁相环立体声解调器 FY3361	(81)
第五节 低频前置放大级	(88)
(一) 电唱和录、放音的频响特性	(88)
(二) FY3210输入放大集成电路	(89)
(三) 自动电平控制 (ALC) 电路	(90)
(四) 等响度频率补偿电路	(93)
(五) 负反馈音调控制电路	(96)
第六节 电平指示电路	(101)
(一) 发光二极管峰值电平指示	(101)
(二) 多级发光二极管电平指示	(102)
第七节 M4500K型立体声收录机整机分析	(104)
(一) 收音部分电路分析	(104)
(二) 录放部分电路分析	(107)
第三章 黑白电视机中的集成电路	(109)

第一节 概述	(109)
第二节 中频通道集成电路	(110)
(一) 声表面波电视中频滤波器	(111)
(二) SF1144和SF1167组成的图象通道	(114)
(三) 5G313和5G39A组成的图象通道	(125)
(四) 7CD11和7CD12组成的图象通道	(133)
(五) TBA440 (TDA440) 集成电路	(136)
第三节 伴音通道中的集成电路	(139)
(一) 伴音集成电路SF583	(139)
(二) 由5G32和5G37组成的伴音通道	(143)
(三) 伴音集成电路HA1124A	(149)
第四节 扫描电路	(154)
(一) 行扫描集成电路SF1166	(155)
(二) 行扫描集成电路5G315	(160)
(三) 场扫描集成电路SF581	(165)
(四) 场扫描集成电路5G316	(170)
第五节 集成稳压电路	(170)
(一) SF582集成稳压电路	(171)
(二) WB724系列集成稳压器	(113)
第六节 飞跃12D4型电视机线路分析	(177)
第四章 彩色电视机中的集成电路	(182)
第一节 彩色电视机与黑白电视机的异同	(182)
第二节 亮度信号处理电路7CD5和7CD6	(184)
(一) 7CD5内部电路分析	(184)
(二) 7CD6内部电路分析	(185)
第三节 自动频率微调电路5G36	(188)
第四节 彩色信号处理电路	(189)
(一) 用5G318和5G314组成的色处理电路	(191)
(二) 单片式色解码集成电路TA7193P	(206)
第五节 节目预选器	(219)
(一) MOS型触摸转换开关5G673	(220)
(二) 触摸式转换开关应用实例	(221)
第五章 电视和音响集成电路的故障检修	(224)
第一节 电视和音响集成电路的特点和检修方法	(224)
(一) 概述	(224)
(二) 电视和音响集成电路的型号和外形	(225)
(三) 焊接和拆焊	(232)
第二节 音响集成电路的检修	(233)
(一) LA4112(FY4112)常见故障检修	(233)
(二) LA3210(FY3210)常见故障检修	(234)
(三) HA11227(FY3361)常见故障检修	(235)
(四) μ PC1018(FY1018)常见故障检修	(236)

第三节 SAW常见故障的检修	(238)
第四节 电视集成电路常见故障检修	(239)
(一) 图象通道SF1144—SF1167常见故障的检修	(239)
(二) 伴音集成电路SF583常见故障检修	(244)
(三) 行扫描集成电路SF1166常见故障检修	(247)
(四) 场扫描集成电路SF581常见故障检修	(250)
(五) 稳压集成电路SF582常见故障的检修	(253)
(六) 彩色解码集成电路TA7193P常见故障的检修	(256)

第一章 电视和音响集成电路基础

由于电视和音响集成电路发展很快,有些产品功能相同,但在线路程式及引线排列上却不一致,给研究这些电路带来一定的困难。然而,在设计构思上,它们仍有很多共同之处,也就是说,它们有很多相同的基础电路。因此,在分析具体电路之前,必须先对这些基本元器件和基础电路作扼要的介绍,以便掌握分析这类电路的入门方法。

在这一章里,将首先介绍组成集成电路的四种基本元件(晶体管、二极管、电阻和电容)及其特性。在集成电路里,由这些元件组成的基本电路,比起用分立元件所组成的担负同样任务的电路来说,要复杂得多;不过它的制作工艺却不比制作一个晶体管复杂。这是集成电路发展迅速的一个重要原因。目前,集成电路中尚不能制作电感和大容量电容器,各级电路一般均采用直接耦合方式,所以,差分放大器是最重要的电路。工作点漂移是直接耦合电路的难题,所以,在模拟集成电路中,稳流电路和稳压电路用得较多。由于采用直接耦合,就存在各级直流电平互相配合的问题,故在模拟集成电路中经常要用到各种直流电平移位电路。在非线性模拟集成电路中最重要的是模拟乘法器;而模拟乘法器是由两对差分放大器的巧妙组合。最后将简略介绍运算放大器的组成和基本原理。

第一节 集成电路中的元器件

目前,在电视机和收录机中使用的集成块,其集成度大都是小规模和中规模的。从外表看,大小和一个晶体管差不多,在一块不到3平方毫米的硅片上,制作上百个甚至上千个元件,组成完整的电路,能完成特定的任务。由于晶体管所占的面积最小,电容所占的面积最大,故在设计电路时,应考虑多用晶体管,少用电容器;电阻也只能在50欧~100千欧范围内考虑。

集成电路的各个元器件不是固定在绝缘板上,而是制作在一块硅片上,因此,必须采取措施,使这些元器件之间相互绝缘,使它们在电气方面彼此隔离开来。这样就产生了集成电路制作中所特有的隔离技术。

隔离技术是将一块半导体材料,根据电路需要分隔成若干个彼此不导电的区域,叫“隔离岛”。如图1-1所示。隔离岛之间的绝缘部分叫隔离槽。在一块P型硅片的衬底上,先规划好制作元件的区域(一般是一个隔离岛上制作一个元器件),使用光刻和扩散技术在这些区域制作出杂质浓度高的 N^+ 型隐埋层。用外延生长在整个衬底上长出约10微米厚的N型半导体,再光刻和浓硼扩散,填充隔离槽,使与衬底扩通。于是N型外延层就被分割成若干个隔离岛了。以后电路中的元器件就分别做在这些隔离岛上。

使用中将P型衬底接电路中的最低电位点,则P型衬底和每个N型小岛之间就构成了一个反向偏置的P-N结。如图1-2所示, N_1 、 N_2 两个小岛之间相当于有两个反向偏置的P-N结串联,电阻很大,这样就达到了隔离的目的。

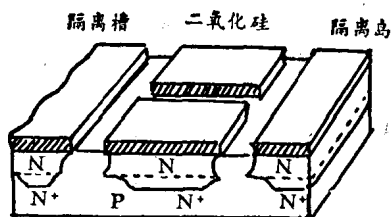


图1-1 集成电路中的隔离岛

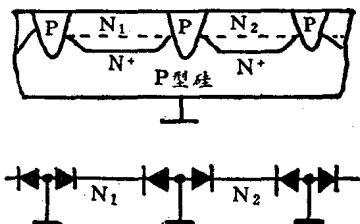


图1-2 PN结的隔离原理

应当注意，反向偏置的P-N结具有结电容，在工作频率较高时，隔离作用将有所降低。

除P-N结隔离法外，尚有二氧化硅隔离法和空气隔离法。它们的隔离性能比P-N结隔离法更好，但制造工艺复杂，生产效率较低，仅在一些高性能的集成电路中采用。

(一) 晶体管

1. NPN晶体管

目前，小规模集成电路中的晶体管大都为NPN型，图1-3示出了这种类型晶体管的截面结构。它与分立元件的平面型晶体管非常相象。不同的是集电极、发射极和基极的引出头都处在同一平面上。这主要是为了便于各元器件相互连接，构成紧凑的电路。因此，集电极电流的路径便变得狭长，使集电极的串联电阻增加，晶体管的饱和压降增大。限制了动态范围。这是我们所不希望的。为了降低集电极的串联电阻，所以，在晶体管集电极区域预先制作一层高掺杂的N⁺隐埋层。N⁺隐埋层的电阻率较低，可以使集电极串联电阻降低至20欧以下的数量级。

集成电路中的NPN型晶体管，其性能与普通平面型晶体管大致相同。其特征频率 f_T 与其工作偏流有关，目前约可达到200~700兆赫。

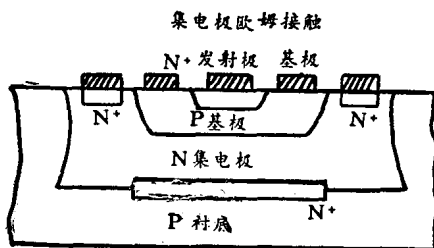


图1-3 集成电路中NPN型晶体管截面图

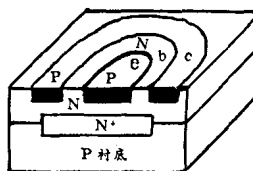
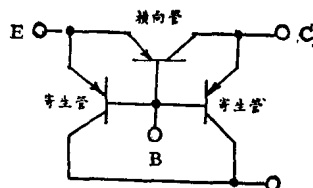


图1-4 横向PNP晶体管



2. PNP晶体管

在模拟集成电路中，为了构成电平位移和输出电路，有时需要用到PNP型晶体管。这种PNP型管是在制作NPN型晶体管的同时制作的，并不需要增加新的工艺流程。其结构如图1-4左所示，其中发射区是一个圆形P扩散区，发射区外边的N型外延层为基区，基区的外边圆形P扩散区为集电区。少数载流子是从发射极的边缘部分注入基极，然后以水平方向扩散至集电极，故称为横向晶体管。

由于横向管的结构，发射极、集电极与N型外延层以及P型衬底之间又组成垂直方向的寄生PNP型晶体管，所以，PNP晶体管的等效电路如图1-4右所示。当横向PNP晶体管处于

放大工作状态时，EB结为正向偏置，BC结为反向偏置。等效电路右边的寄生PNP晶体管的发射结处于反向偏置，对横向管的工作影响不大。但左边的寄生PNP晶体管的发射结却处于正向偏置，可能注入电流，经基极扩散后到达衬底。因此这一寄生PNP晶体管明显地起分流作用，从而降低了横向PNP晶体管的 β 值。此外，由于工艺上的限制，横向晶体管的基区宽度不能做得很窄（一般在5~20微米）。致使横向管的 β 值较低（约为0.5~20）。特征频率 f_T 也不高（一般仅有几兆赫，最好的达到十几兆赫）。所以横向PNP晶体管多用于低频电路。

当电路中PNP晶体管的集电极接地时，也可以采取纵向结构，如图1-5所示。这种晶体管是以P型衬底作为集电极，N型外延层为基极，最外一层是发射极。由于基区的宽度较大，所以电流的放大系数 β 值也不如NPN晶体管高，一般只有30~50的范围。

由于纵向PNP晶体管的集电极必须接地，故仅用于射极跟随器等电路，其应用不如横向晶体管那样广泛。

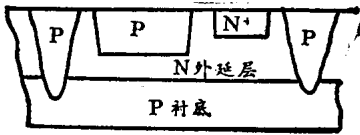


图1-5 纵向PNP晶体管

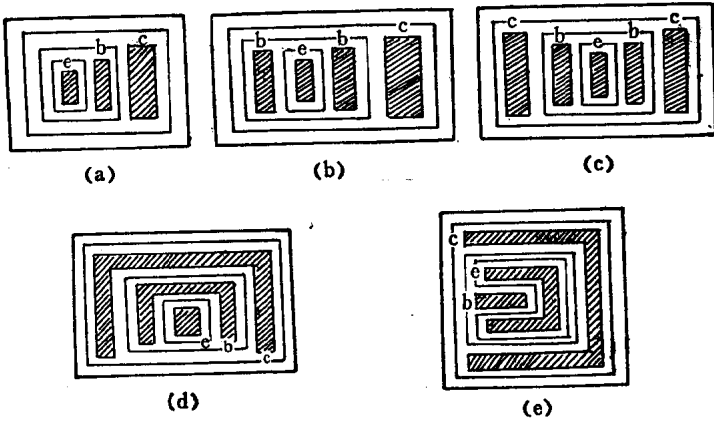


图1-6 集成电路晶体管常用图形

(a) 单基极条形；(b) 双基极条形；(c) 双基极双集电极条形；
(d) 基极马蹄形；(e) 发射极马蹄形。

3. 晶体管的特性和结构

晶体管的功率和特征频率主要是由管芯面积和形状来决定，击穿电压和电流放大倍数是由工艺操作中控制扩散结深和杂质浓度来保证。集成电路中为了充分利用硅片面积和满足晶体特性要求，电极形状通常不是做成圆形，而是做成方形或长方形，如图1-6所示。

(1) 单基极条（图1-6a）：它是目前集成电路中最常用的一种，其特点是占用面积小，结构简单。由于面积小，所以结电容和寄生电容也小，特征频率比较高。由于是单基极条，所以发射极的有效周长短，基极串联电阻较大，这对它的最大工作电流、最高振荡频率和噪声系数都是不利的。因此，这种图形结构主要适用于要求通过电流较小而特征频率较高的晶体管。

(2) 双基极条形（图1-6b）：由于它是双基极结构，所以与单基极条相比，它有较长的发射极有效周长和较低的基极串联电阻，这对它的最大工作电流、最高振荡频率和噪声系数都是有利的。但由于占用了稍大的面积，所以特征频率稍低。

(3) 双基极双集电极形（图1-6c）：这种晶体管的特点是允许通过较大的电流，饱和压降低，一般用作输出管。

(4) 基极马蹄形（图1-6d）：与双基极结构相比，在发射区长和宽相同的情况下，最大工

作电流大致相同，基极串联电阻也基本相等。它的主要特点是集电极串联电阻较小，因此常用作集成电路中的输出管。

(5) 发射区马蹄形 (图1-6e)：它的主要特点是集电极串联电阻更小。最大工作电流与双基极双集电极结构基本相同。

(二) 二极管

半导体集成电路中的二极管一般不单独制作，而是将三极管的发射结或集电结当做二极管管用。将三极管连成二极管有五种不同的方法。表1-1中列出了各种连接方法及相应的参数。

表1-1 集成电路中二极管的各种连接方法及其参数

序 号	1	2	3	4	5
接 法	 $I_c=0$ 用发射结	 $V_{cb}=0$ 用发射结	 $I_e=0$ 用集电结	 $V_{eb}=0$ 用集电结	 $V_{cb}=0$ 发射结和集电结并联
击穿电压(V)	7	7	50	50	7
正向电压(V)	0.72	0.63	0.7	0.66	0.7
结电容(pF)	4.5	4.5	7.5	8	10.5
存贮时间(ns)	10	10	15	10	20
特 点	寄生效应小	存贮时间短,无寄生晶体管效应	反向耐压高	反向耐压高	存贮时间长

从表中可以看出：1、2两种接法是利用发射结作二极管，前者是将集电结开路，后者是将集电极和基极短路。这两种接法的共同特点是击穿电压低，结电容较小，存贮时间较短；不同的是前者的正向压降较大。3、4两种接法是利用集电结作二极管，前者发射极开路，后者发射极和基极短路。这两种接法的共同特点是击穿电压较高，结电容较大；不同的是前者的正向压降较大，存贮时间较长。第五种接法是将两个PN结并联作一个二极管使用，它的结电容最大，存贮时间最长

(三) 电阻器

半导体集成电路中的电阻是采用掺入一定杂质浓度的半导体电阻，是在制作晶体管的同时制成的。现以同时制作一个NPN晶体管和一个电阻R为例来说明 (见图1-7)。在P型衬底的某一隔离岛 N_1 上扩散P型基区和N型发射区，就形成了一个NPN晶体管 (图1-7a的左边)。在扩散P型基区的同时，在片子的另一隔离岛 N_2 上扩散一层长条状的P型扩散薄层，然后在这条扩散区域两端制造欧姆接触电极A、B，就制成了一个电阻R (图1-7a的右边)。根据物体电阻与其本身形状的关系，这一电阻的阻值应为：

$$R=\rho\frac{l}{S}=\rho\frac{l}{d\cdot w} \tag{1-1}$$

式中 ρ 为P型扩散层的电阻率， l 为扩散电阻的长度， S 为截面积，它等于扩散层的厚度 d 与宽度 W 的相乘积。

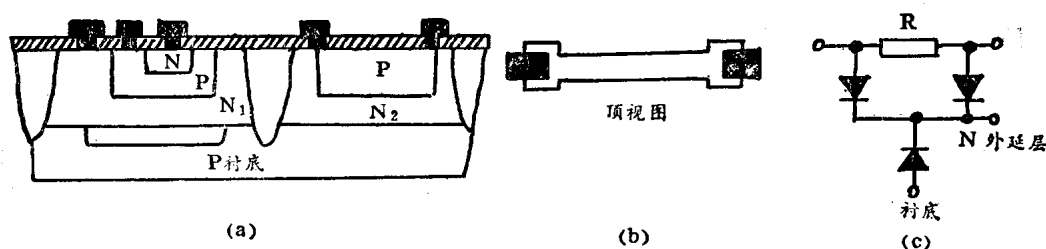


图1-7 扩散电阻的截面图及其等效电路

令 $R_s = \frac{\rho}{d}$, 则(1-1)式可表示为:

$$R = R_s \frac{l}{W} \quad (1-2)$$

若 $l = W$, 此电阻成为正方形, 故 R_s 称为方块电阻阻值, 常写成 $\Omega/\square$, 它决定于扩散层的杂质浓度和结深, 与薄层方块的大小无关, 是设计电路时考虑到各个元器件的要求而综合选定的。

对于基区扩散电阻, 一般其方块电阻阻值约为 $200\Omega/\square$ 。假如要制作一个 $4K\Omega$ 的电阻, 则应选 $l/W = 20$ 即可。图1-8示出一个 $4K\Omega$ 电阻的图形尺寸。

从(1-2)式可以看出; 当电阻阻值较大时, 由于光刻精度的限制, 扩散电阻的宽度不能选得太小, 所以它的长度就要很长, 电阻所占硅片面积就较大。当电阻阻值很小时, 则要求扩散电阻的宽度很宽, 电阻所占硅片的面积也比较大。因此, 集成电路应当避免使用大阻值和小阻值的电阻, 一般使用的阻值范围为 $50\Omega \sim 50K\Omega$ 。

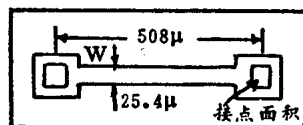


图1-8 $4K\Omega$ 基区扩散电阻的顶视图

由于扩散工艺和光刻精度的限制, 集成电路中的电阻, 阻值的精度并不高, 不同批量的产品, 其阻值误差可达到 $\pm 20\%$ 。并且由于载流子的数目随温度而变化, 电阻的温度系数也比较大。但在同一硅片上, 由于各电阻是采用同一工艺流程制成的, 各电阻比值的误差较小, 约为 3% 。因此, 在集成电路中, 应当尽量采用电路参数仅与电阻比值有关的电路。

在电阻与衬底之间, 可以认为存在许多反向偏置的二极管, 如图1-7c所示。这些等效的二极管都有结电容, 会对高频信号起旁路作用。当工作频率增高时, 电阻的等效阻值将下降。一个 $50\mu m$ 宽 500Ω 的电阻, 当工作频率从 10 兆赫增大至 100 兆赫时, 其等效阻值将减少为原来的 70% 。

利用P型基区扩散, 只能获得中等阻值的电阻, 如果要制作小阻值的电阻, 可以利用N型发射区扩散层来实现。由于发射区的杂质浓度较大, 其电阻率较低。一般它的方块电阻阻值 $R_s = 5\Omega/\square$, 约为基区扩散电阻的 $1/40$, 故适用于制作小阻值电阻。也可以利用集电极区域的N型外延层制作扩散电阻, 其方块电阻值约为 $R_s = 1200\Omega/\square$, 适用于制作阻值较大的电阻。

当需要电阻的阻值更大时, 可以采用所谓沟道电阻, 它是在基区扩散电阻的上面再扩散一层相当于发射极的N区, 结果使原有的P型基区扩散层的厚度薄了。方块电阻阻值可增大至 $(10 \sim 20)$ 千欧。不过沟道电阻阻值的精度很差, 其误差有时在 $\pm 50\%$ 以上。

将上述这些电阻的参数和分立元件中常用的炭膜电阻相比较, 列于表1-2。

表1-2

集成电路中的电阻参数比较

	炭膜电阻	P 型电阻	N 型电阻	沟道电阻
阻值范围	10 Ω ~10M Ω	50 Ω ~50K Ω	10 Ω ~1K Ω	100 Ω ~500K Ω
温度系数	0.02~0.05 1/ $^{\circ}$ C (%)	0.2~0.4 1/ $^{\circ}$ C (%)	0.05 1/ $^{\circ}$ C (%)	0.4 1/ $^{\circ}$ C (%)
制造误差	$\pm 1\sim 5\%$	$\pm 10\sim 30\%$	$\pm 10\sim 30\%$	$\pm 100\%$
工作电压	很高	20~50V	6~9V	6~9 V
额定功率	1/8~2瓦以上	100~200毫瓦	200毫瓦	100毫瓦

从表中看出：和炭膜电阻相比较，集成电路中的电阻具有以下几个主要特点。

(1) 阻值范围小：这是因扩散方块电阻一定时，制作高电阻要占用较大的硅片面积（减小电阻的条宽受到光刻工艺的限制），这对提高集成度是不利的。所以在设计电路时，应尽量避免采用高阻值的电阻。

(2) 温度系数大：P型电阻和沟道型电阻的温度系数比炭膜电阻约高一个数量级。N型电阻的温度系数略高于炭膜电阻。

(3) 误差较大：因为制作工艺中扩散温度和时间的变动，就引起扩散方块电阻的改变，这样就使得每批电路之间，电阻误差较大。

(4) 工作电压较低：扩散电阻是嵌在另一种导电类型中的半导体材料，工作电压受这两个材料构成的PN结击穿电压的限制，不能太高。

(5) 额定功率小。

(四) 电容器

半导体集成电路中的电容器，常用的有两种形式，一种是PN结电容，一种是二氧化硅介质电容。它们分别示于图1-9和图1-10。

PN结电容是利用反向偏置的发射结或集电结的电容来实现的。这些电容器是在制作晶体管的工艺过程中同时完成的。图1-9中左边A、B两引线间是利用发射结构成一个电容器；右边A、B两引线间是利用集电结构成一个电容器。

电容量的大小，由扩散层的杂质浓度分布，结面积和所加的反向电压来决定。基区、发射区的杂质浓度分布是设计电路时综合考虑决定的，反向电压的大小也是由其它条件决定，固定在某一数值。因此，我们利用设计制作不同大小结面积的方法来获得所需容量的PN结电容。

二氧化硅介质电容器是利用SiO₂层为介质作成的平行板式电容器如图1-10所示。它以N型发射区和覆盖在二氧化硅膜上的金属层为两个电极构成一个电容器。由于其电容量不随工

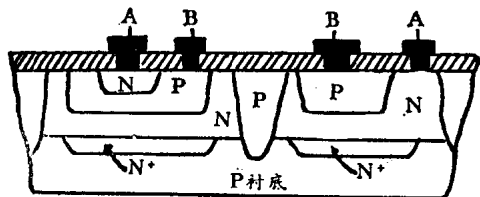


图1-9 PN结电容

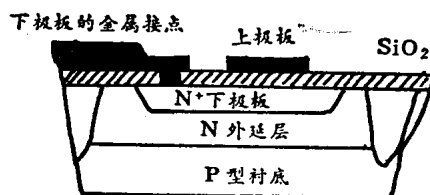


图1-10 二氧化硅介质电容

作电压变化，极板可以不分正负来使用。故一般多使用介质电容器，少使用PN结电容器。现将这两种电容器的参数和耐压情况列于表1-3

表1-3 集成电路中的电容器参数

		PN 结 电 容		SiO ₂ 介质电容
		发射结电容	集电结电容	
每平方微米的电容量	偏压为0V时	$1.4 \times 10^{-8} \text{pF}$	$3.1 \times 10^{-4} \text{pF}$	→
	偏压为-5V时	$0.6 \times 10^{-8} \text{pF}$	$1.4 \times 10^{-4} \text{pF}$	—
	SiO ₂ 厚度为800微米时	—	—	$4 \times 10^{-4} \text{pF}$
	SiO ₂ 厚度为4000微米时	—	—	$1.2 \times 10^{-4} \text{pF}$
最高工作电压	—	-6~-9V	-20~-50V	100~300V

从表中可以看出，PN 结电容工作电压较低，使用时必须加反向偏压，而且电容量随偏压而变化。SiO₂ 介质电容的工作电压较高，使用时不需加偏压。但两者都有一个严重的缺点，就是电容量很小。电容量是和电容器占用硅片面积成正比的。如果将一片1平方毫米的硅片全部用作电容器，最大容量也不过1500 pF。可见，制造大电容会严重影响元件的集成度，所以，集成电路中应尽量避免采用大电容。但在 10pF 数量级的电容器仍常使用，而大容量电容则需在集成块的外面连接。

目前，还不能在制作NPN 晶体管的工艺流程中制造电感，如果电路需要用到电感时，只有在集成块的外面连接。

各元件中晶体管占的面积最小，电阻次之，而电容器占的面积最大。如果将一个晶体管、一个1kΩ的电阻和一个10pF的电容进行比较，其所占硅片面积的比例为：1:2:3。如果电阻的阻值比 1kΩ 更大，则电阻所占的面积还要大些。因此，在半导体集成电路中，尽量避免使用电容器，最好不用大阻值电阻，或宁肯用晶体管来代替大阻值的电阻。

第二节 恒流源电路

在模拟集成电路中的偏置电路和有源负载电路均采用恒流源电路。所谓恒流源，就是电流不随电压的改变而变化的电路。象图1-11(a) 的电路，只要晶体管的基极电流一定，其集电极电流I_c随V_{ce}的变化就很小，近似乎恒定，所以它可以看成是一个恒流源。图1-11(c) 是晶体管的输出特性曲线，在其工作点A的直线范围内，大的V_{ce}变化，只能引起很小的 I_c变化，

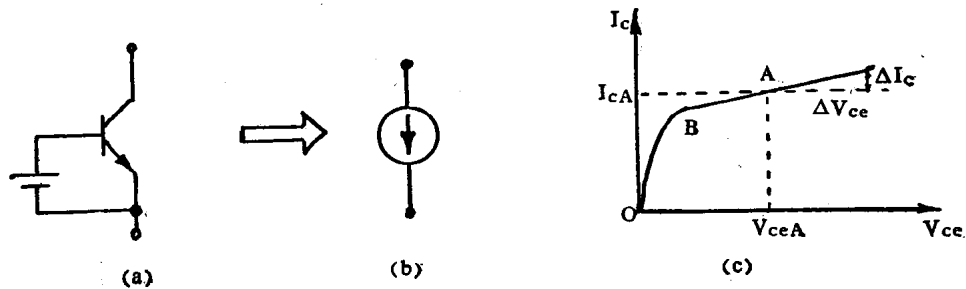


图1-11 晶体管的恒流源原理图

所以交流电阻 $R_{AC} = \frac{\Delta V_{ce}}{\Delta I_c}$ 很大。 R_{AC} 越大，说明其恒流特性越好。而其直流电阻 $R_{DC} = \frac{V_{CEA}}{I_{CA}}$ 却远小于其交流电阻。这就是这种电路得以广泛应用的特点。下面介绍几种常用的恒流源电路。

(一) 基本型恒流源电路

图1-12为基本型恒流源电路，流过 BG_2 管的集电极电流 I_{C2} 就是需要加以控制的恒流电流 I_0 ，而电阻 R 和 BG_1 管作为 BG_2 管偏置电路来控制 I_0 。称流过 R 的电流为参考电流 I_R 。图中 BG_1 、 BG_2 管基极连在一起，发射极又一起接地，所以两管的 V_{be} 相等。若 BG_1 、 BG_2 管的大小、特性一致，则 $I_{b1} = I_{b2} = I_b$ ， $I_{c1} = I_{c2} = I_0$ 。注意图中 BG_1 管 BC 短接，故有：

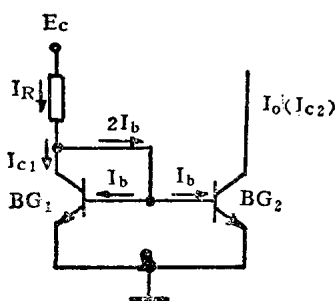


图1-12 基本型恒流源电路

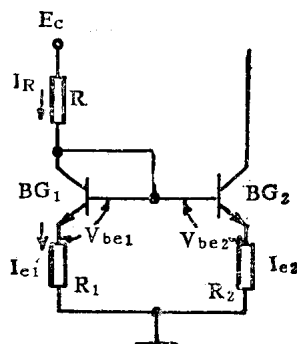


图1-13 电阻比例恒流源

$$I_R = I_{c1} + 2I_b = I_{c1} \left(1 + \frac{2}{\beta}\right) = I_0 \left(1 + \frac{2}{\beta}\right)$$

或写成
$$I_0 = I_R \left(\frac{\beta}{\beta + 2}\right) \quad (1-3)$$

显然，若 $\beta \gg 1$ ，则 $I_0 = I_R$ ，由图1-12可写出 I_R 为：

$$I_R = \frac{E_c - V_{be1}}{R} \quad (1-4)$$

这种偏置电路，有助于稳定管子工作点。当温度升高而使 V_{be} 降低时，流过电阻 R 的电流 I_R 增加 ΔI_R ，若没有 BG_1 管，则 BG_2 管基流变化为 ΔI_R ，而由于 BG_1 管的存在， BG_2 管基流仅增加 $\frac{\Delta I_R}{\beta + 2}$ 。这样由于温度变化引起 I_0 的变化大大地减小了，也即提高了管子工作点的稳定性。

图1-12所示的基本型恒流源， $I_0 = I_R$ ，有时希望 $I_0 \neq I_R$ ，而是与 I_R 成一定比例关系。通常可用下面两种方法调整 I_0 与 I_R 的大小。

1. 改变 BG_1 、 BG_2 管发射结的面积

如果 BG_1 、 BG_2 管发射结面积分别为 A_1 、 A_2 ，则流过发射结的电流必与其面积成比例：

$$\frac{I_0}{I_R} = \frac{A_2}{A_1} \quad (1-5)$$

这样可通过设计 BG_1 、 BG_2 管发射结面积之比来确定 I_0 与 I_R 之间的关系。

2. 改变发射极电阻的大小

如图1-13所示， BG_1 、 BG_2 管发射极分别接入电阻 R_1 、 R_2 。两管基极电位相同，而发射极电位比基极电位低0.7伏，所以，两发射极电位也应相等。因此有：