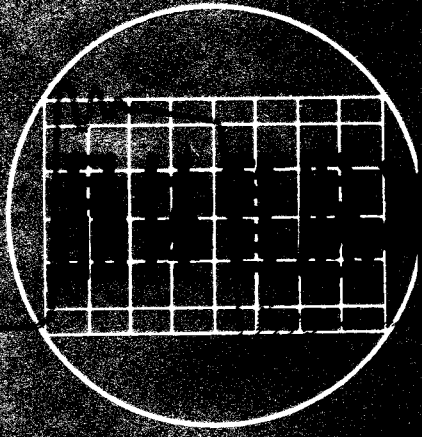




内 容 简 介

本书分上、下册。上册为“分立元件脉冲数字电路”，下册为“数字集成电路”。

下册的内容包括双极型小规模集成电路、双极型中规模集成电路、MOS 和 CMOS 集成电路、用 TTL 组成的脉冲电路，以及高速数字电路中的传输线等。

本书可作为无线电电子学、计算技术、自动化专业的工程技术人员以及电子数字技术爱好者的基础读物，也可作为大专院校相应专业的教学参考书。

晶体管脉冲数字电路

下 册

第 二 版

林定基 吕文超 李三立 等 编

责任编辑 张建荣

科 学 出 版 社 出 版

北京朝阳门内大街 137 号

中国科学院印刷厂印刷

新华书店北京发行所发行 各地新华书店经售

*

1972 年 8 月第 一 版 开本：787×1092 1/32

1985 年 7 月第 二 版 印张：11 7/8

1985 年 7 月第六次印刷

印数：496,661—513,160 字数：272,000

统一书号：15031·654

本社书号：4021·15—7

定 价：2.80 元

再 版 前 言

随着我国半导体工业的发展,到七十年代初,晶体管脉冲数字电路已经在计算机、雷达、通信、数字测量、自动控制等许多领域得到广泛应用,为了满足广大读者的迫切需要,我们编写了《晶体管脉冲数字电路》一书(分上、中、下册),由科学出版社于1971—1972年陆续出版。以后的几年中,陆续印刷了多次,总发行量达五十万套之多,对当时普及脉冲数字技术的知识起了一点作用。

这次趁再版的机会对全书作了一次修改,增补了部分新的内容,特别是数字集成电路方面几乎全部重写,这是因为国产集成电路的品种和数量日益增长,原来的内容已不能适应新的要求。在改写时我们力求保持本书原有的特点,从实际典型电路出发,阐明电路的工作原理,并尽可能把典型电路的定性分析、定量估算和实验研究三者结合起来,注意到文字通俗、由浅入深,便于各行各业的读者自学。再版时还在每章末补充了一些习题,使初学者可以通过练习,加深对本书内容的理解。本书再版时将原来三册改为上、下两册。

参加本书初版本编写工作的主要有吕文超、林定基、李三立、童诗白,尹祚明、张嘉一、李维中、孙大高、史美林等同志。参加本书再版本编写工作的主要有林定基、吕文超、李三立以及孙大高、张嘉一等同志。本书封面设计和大部分插图的绘制是由冯瑞华同志完成的。

• 1 •

在本书编写过程中得到了许多单位的技术人员和工人的帮助和鼓励,在此表示衷心感谢.

编者

一九八一年四月

目 录

第二部分 数字集成电路

第七章 双极型小规模集成电路	4
第一节 数字集成电路的制造工艺概述	4
第二节 TTL 与非门集成电路	12
第三节 其它 TTL 门电路	34
第四节 ECL 门电路	42
第五节 触发器集成电路	61
第六节 应用举例——计数器	81
本章小结	86
习题	87
第八章 双极型中规模集成电路	92
第一节 寄存器	92
第二节 二进制计数器	101
第三节 十进制计数器	110
第四节 译码器	118
第五节 多路数据选择器	125
第六节 数字的校验和比较电路	132
附录 双极型大规模集成电路	143
第九章 金属-氧化物-半导体场效应管集成电路	168
第一节 绝缘栅场效应管的工作原理	169
第二节 MOS 逻辑电路	184
第三节 CMOS 逻辑电路	215
第四节 MOS 存储器	238
习题	260

第十章	TTL 在脉冲电路中的应用	262
第一节	脉冲的产生	262
第二节	脉冲的整形	276
第三节	脉冲的延时	286
第四节	脉冲的“微分”和“积分”	291
第五节	脉冲的鉴别	296
第六节	单脉冲的形成	306
第七节	与其它电路元件的连接	310
第八节	组合电路举例	316
习题		322
第十一章	脉冲数字电路中的传输线.....	324
第一节	传输线的基本原理	325
第二节	传输线的反射与串扰	335
第三节	用集成电路驱动传输线	354
第四节	传输线的阻抗匹配方法	363
本章小结		370
习题		371

第二部分 数字集成电路

二十世纪五十年代开始出现的晶体管这一新器件，以其体积小、重量轻、功耗小、寿命长、工作可靠性高等一系列优点，登上了电子技术的历史舞台，逐步取代了电子管器件，这是电子技术领域内的一次飞跃。因此人们往往把电子管称为第一代电子器件，把晶体管称为第二代电子器件。到一九六〇年，大多数新型电子系统，尤其是电子计算机已经开始广泛使用晶体管做元件了。

为了不断改善晶体管的性能，晶体管的结构和生产工艺不断改进，出现了各种不同类型的晶体管，在初期，硅二极管和锗晶体管经常在同一电路中结合使用。这时虽有硅晶体管可利用，但它只限于在大功率开关或高温情况下使用。在这一阶段，电路由半导体元件和电阻、电容、电感等构成。这些元件安装在具有单面或双面连接图形的印制电路板上，并且利用印制电路板插座上的连线组成复杂的电子线路。根据电路的复杂程度，一块印制电路板上可以包括一个或几个单元电路。

一九六〇年前后，半导体工艺有了显著改进，人们掌握了外延生长技术，光刻技术，氧化物掩蔽扩散技术。首先是硅平面型晶体管代替了原来各种类型的晶体管，成为最广泛使用的电子器件，不但如此，这些新技术使电子工业又一次发生了重大变化，第一次有可能将元件、半导体器件和电路连接线等集成到一块固体上，代替了传统的分立式元件，组成了一个不

可分割的整体,从外观上已分不出各种元件、半导体器件和电路的界线了。这就是通常所说的集成电路。集成电路使得各种分立元件间的布线遭到淘汰,互相连接靠蒸发淀积在基片上的铝层光刻完成,使得电子设备中最容易发生故障的各种连接线和焊点大大缩短和减少了。因此,集成电路不但体积小、重量轻,而且工作可靠性高、寿命长、工作速度也大大提高了,它通常被称为第三代电子器件。集成电路从开始发展到现在不过二十年的时间,现在已取得了巨大的进展,以芯片的集成度为例,自 1960 年以来几乎每一、二年就增加一倍。早期的集成电路每片只有几个晶体管,而现在每片集成几万个管子的工业产品也已经不少。目前,在电子计算机、通讯设备、导弹、雷达和人造卫星中,集成电路已占有非常重要的地位,就连一般的工业产品或民用设备中,集成电路的应用也极为普遍。

集成电路按其用途来说,有线性集成电路和数字集成电路两种,而首先大量使用的是数字集成电路,这是因为电子计算机等数字设备是由种类比较少,线路比较简单而大量使用的基本电路组成的,电路中可以没有电感、可变电容、可变电阻、大容量电容及高阻值电阻等集成电路难于制造的元件,所以数字电路适宜于大规模生产。由于集成电路技术的发展,目前也能够成批生产各种线性集成电路。但从数量上来说,还是以数字集成电路占大多数。

本书第二部分主要讨论半导体集成电路。这里用了三章的篇幅分别介绍小规模、中规模 and 大规模集成电路,阐明它们的典型电路的工作原理、参数测试以及某些用法。为了使读者对集成电路工艺有所了解,在第七章一开始对此作了概略的介绍。此外,在第八章最后增加了一个附录,简单地介绍了双极型大规模集成电路。本书第十章是以 TTL 为代表,介

绍数字集成电路如何用来做成一般的脉冲电路。第十一章讨论高速数字系统中的传输线，以及集成电路驱动长线时存在的问题和解决办法。

第七章 双极型小规模集成电路

小规模集成电路一般指每个芯片上集成了几个或十几个门的集成电路。根据所用元件的种类，以及电路中晶体管的工作特点，小规模集成电路可以分成很多种，例如二极管-晶体管逻辑集成电路（DTL），晶体管-晶体管逻辑集成电路（TTL），高阈值晶体管逻辑集成电路（HTL），射极耦合逻辑集成电路（ECL）等。本章主要介绍其中最常用的两种——TTL 和 ECL。此外，为了使读者了解集成电路是怎样制成的，它的内部构造如何，我们在第一节中先概括介绍一下集成电路的有关工艺常识。

第一节 数字集成电路的制造工艺概述

一、半导体集成电路的制造

半导体集成电路的制造方法与平面型晶体管的制造方法大体相同。以集成电路中的晶体管为例，其结构如图 7.1.1 所示。

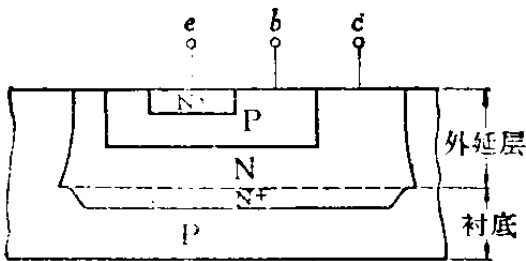
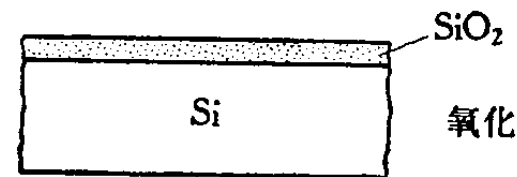


图 7.1.1 晶体管的结构

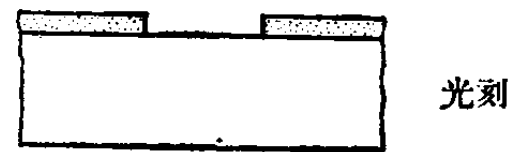
晶体管是做在由外延生长形成的N型单晶硅内的，基区是经过有选择地光刻氧化层后扩散掺入三价杂质而形成的P型半导体，发射区是同样有选择地扩散掺入五价杂质而形成

的 N^+ （表示杂质浓度很高）型半导体。从这个典型结构中我们可以看出，在集成电路的制造工序中，除开最初硅单晶片的制备和最后的装配以及测试外，主要是氧化、光刻、扩散、外延几个工序，使得在规定的地方掺入不同杂质，其中氧化-光刻-扩散是实现选择掺杂的基本工艺(如图 7.1.2 所示)，要重复进行多次。

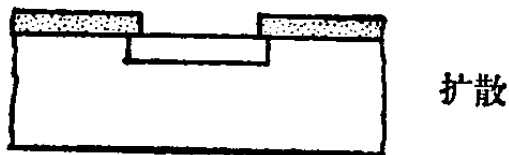


1. 氧化

氧化就是使原始硅片在高温下与水汽(或氧气)反应，在表面生成一层二氧化硅。这层氧化层有三个作用：



(1) 可以掩蔽杂质扩散，即在表面有氧化层的地方杂质被挡住，不能扩散到硅片中去。



(2) 二氧化硅是很好的绝缘体，它象印制电路板的胶木板一样，可以在上面进行电路布线。

(3) 二氧化硅层可以保护 P-N 结，使器件稳定性好。

图 7.1.2 氧化-光刻-扩散工艺

2. 光刻

光刻紧接着氧化之后进行，是为进行选择扩散而在硅氧化膜上开窗孔。集成电路元件做好以后，在硅表面布线时也用光刻腐蚀金属形成连线。

光刻过程与复印照片的过程相似，基本工序示于图 7.1.3 中。光刻主要是利用了光刻胶的一种光致抗蚀的性能，即光刻胶经光照后，具有耐蚀性，不再溶解于有机溶剂中，也有一

定的耐酸性；而未经光照的光刻胶能溶解于有机溶剂中。因此光刻胶又叫光致抗蚀剂。

光刻工序 1 相当于将感光乳剂涂在纸上做成印相纸。工

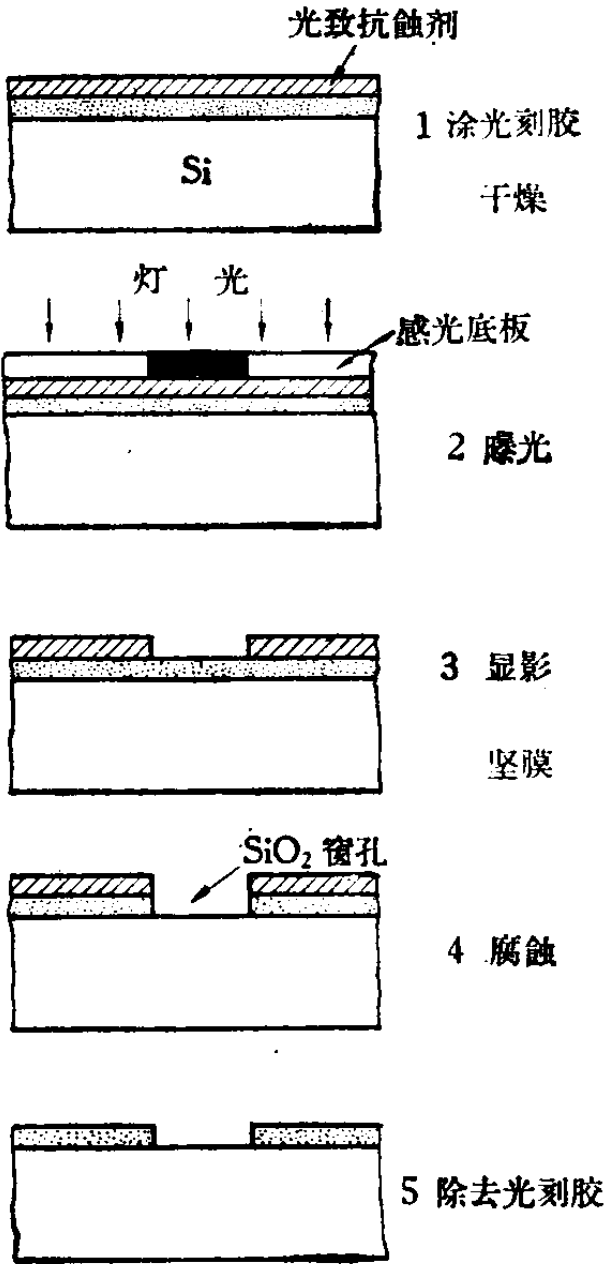


图 7.1.3 光刻工序

序 2 相当于将底片放在印相纸上进行曝光，在此相当于照相底片的称为掩膜，是根据集成电路的图形事先做好的底版。工序 3 进行显影,使没有曝光的胶溶解掉，已曝光的胶留下形成一层保护膜。工序 4 将没有保护胶的二氧化硅膜腐蚀掉而形成窗孔，最后将光刻胶全部去除。

3. 扩散

将已经光刻好的硅片,置于高温、有杂质源的气氛下，杂质就可以通过分子运动的形式进入光刻掉氧化层的硅晶体中去，从而完成选择性的掺杂工艺。

除了以上三个工艺外，还有一些其它的重要工艺如外延和蒸发等，简述如下：

4. 外延

硅外延生长是利用气相反应时原子聚集到 P 型硅衬底

上，从而在衬底上生长一层具有同衬底相同晶体结构的N型硅单晶层。一般是将四氯化硅（ SiCl_4 ）置于高温下进行氧化还原，或使硅烷（ SiH_4 ）热分解，以生长外延层。

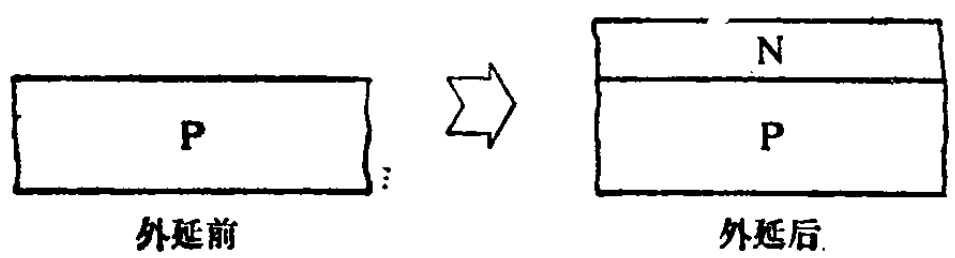


图 7.1.4 外延的硅片

5. 蒸发

在真空室里，加热金属如铝、金等，使金属升华为金属蒸气，而在真空中淀积到硅片的表面。在硅表面作为布线的铝就是用蒸发的方法淀积到硅表面，然后进行光刻，以实现电路布线。

图 7.1.5 指出集成电路的典型工艺程序。读者如果希望了解每个工序的详细内容，可参考集成电路制造工艺的有关书籍。

二、集成电路的封装

集成电路单晶硅基片制成以后，为了组装成一定的系统，必须使之封装在一定的容器内，才能易于实现和其他元件的连接，同时也有保护器件的作用。据此可以对封装提出如下要求：

- (1) 完全气密封装，能保护内部元件不受化学有害物、离子等的侵蚀；
- (2) 机械强度高，从机械上保护内部元件；

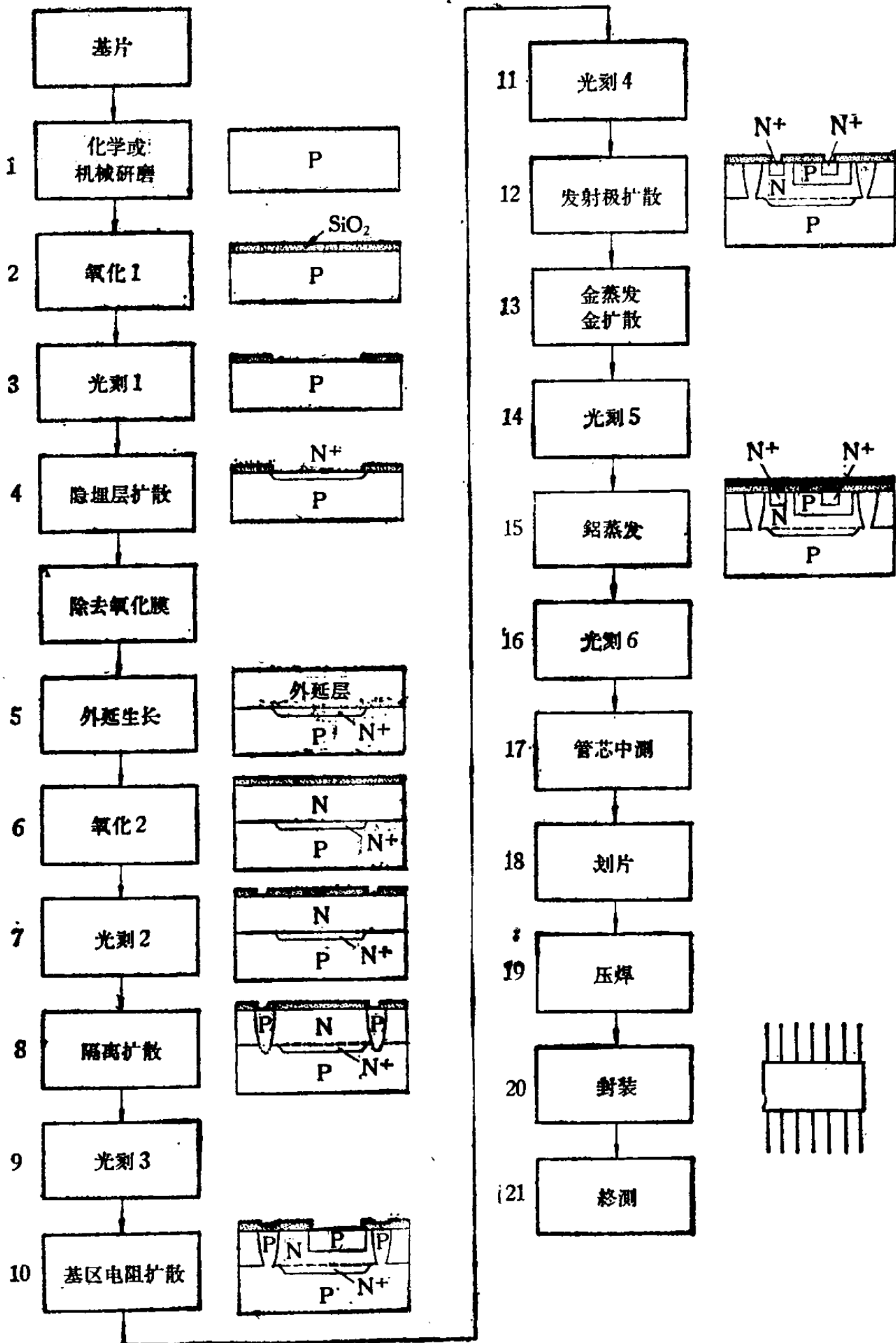


图 7.1.5 集成电路工艺程序

(3) 为了便于进行性能测试和在印制板上组装，引线的结构和形状应便于操作，易于和外界建立可靠的电气连接，同时体积尽可能小，以实现高密度组装；

(4) 封装材料应有良好的导热性，易于散发内部所产生的热量，并且能经受集成电路在组装工序中的温升(如焊接)，不因热冲击而破坏；

(5) 绝缘良好而无寄生参量的影响；

(6) 工艺简单，适合于大量生产。

这些要求是难于一起实现的，有的往往是互相矛盾的。封装技术也是在解决这些矛盾中不断发展的，然而当前的情况是封装技术远远不能适应集成电路小型化的要求。集成电路的封装和使用有密切的关系，我们从使用的观点出发介绍一下目前常用的几种封装技术。

1. 圆形管壳封装

圆形管壳封装又称 TO-5 封装。圆形管壳的外形尺寸如图 7.1.6 所示。其典型结构如图 7.1.7 所示，采用玻璃与金

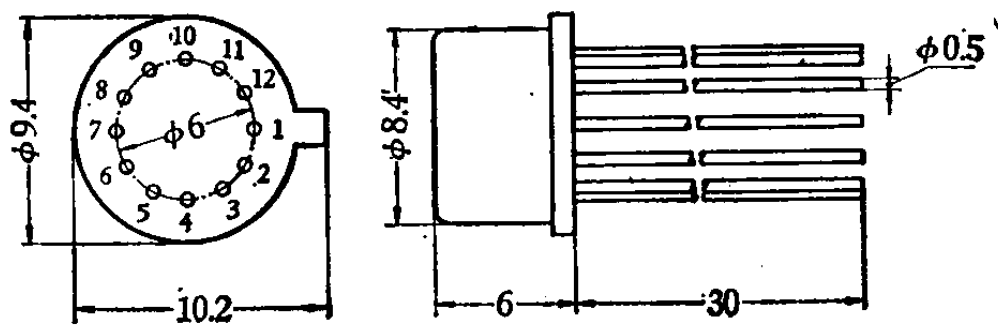


图 7.1.6 12 根引线的圆形管壳

属(铁、镍、钴合金，通常称为柯伐)密封技术做成的管座。硅片安装在底座上以后用超声压焊使硅片和电极引出线相连。

最后用金属管帽与管座密封，用脉冲电流的电阻熔焊实现。这样就完成了装配。

这种管壳和晶体管的管壳大体相同，管脚的辨别是从引线方向看，从凸起的标志开始顺时针方向数，如图 7.1.6 所示。

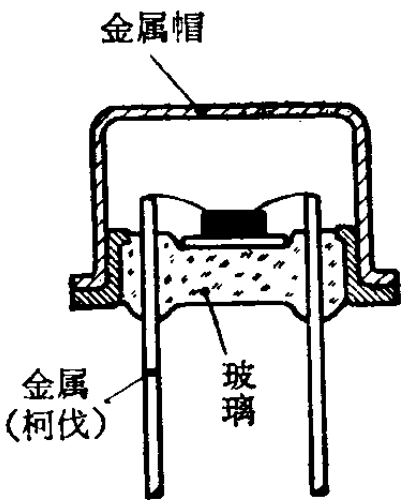


图 7.1.7 管壳结构

圆形管壳的优点是散热比较好，在印制电路板上组装比较方便。但占有体积比较大，装配密度不可能很高。目前我国的线性集成电路一般都采用圆形管壳，数字集成电路一般建议不采用这种管壳。

2. 扁平封装

扁平封装的外形尺寸如图

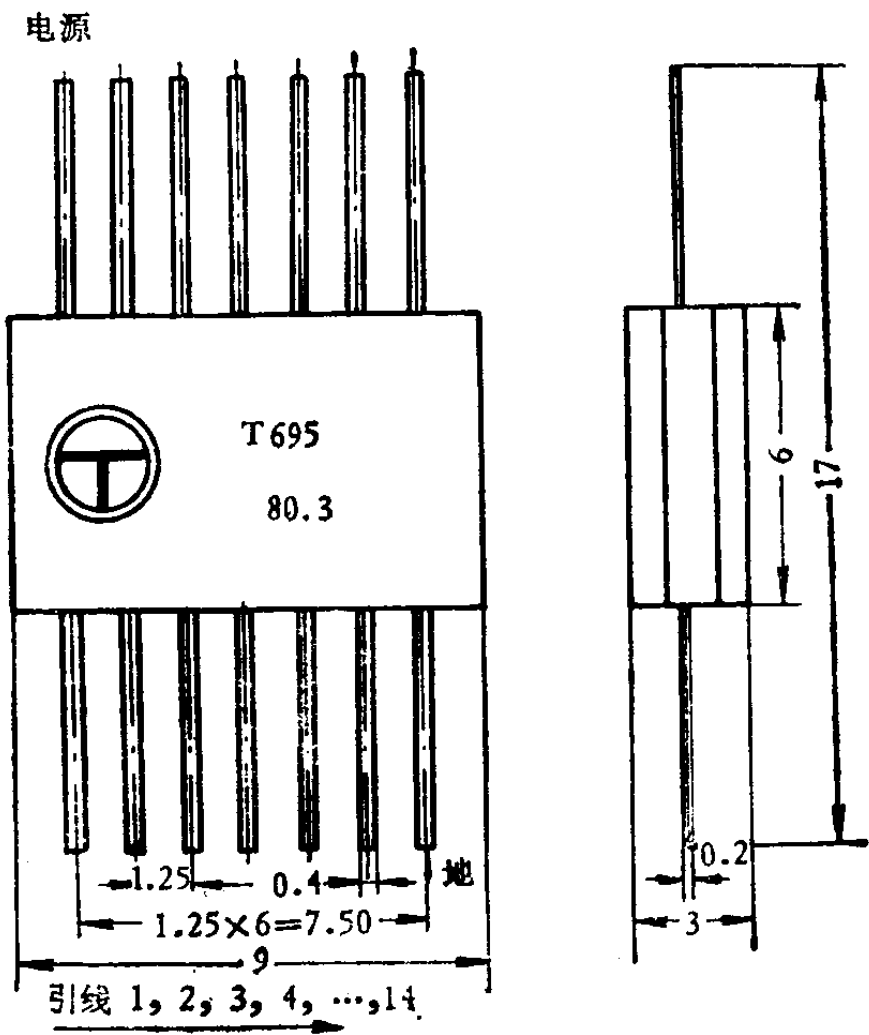


图 7.1.8 14引根线的扁平封装外壳

7.1.8 所示。其典型结构如图 7.1.9 所示。上下盖板和底板为陶瓷，引线为镀金柯伐，集成电路硅片放在中间，电路引线用纯铝丝压焊到引线引出。这种扁平封装引线共有 14 根。其中一面点有标志，然后按顺时针方向数 1 到 14。

扁平封装的优点是装配比较方便，装配密度较高，但其

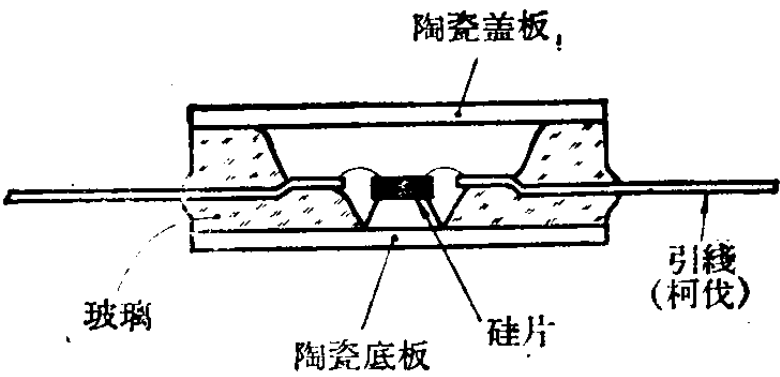


图7.1.9 扁平封装结构

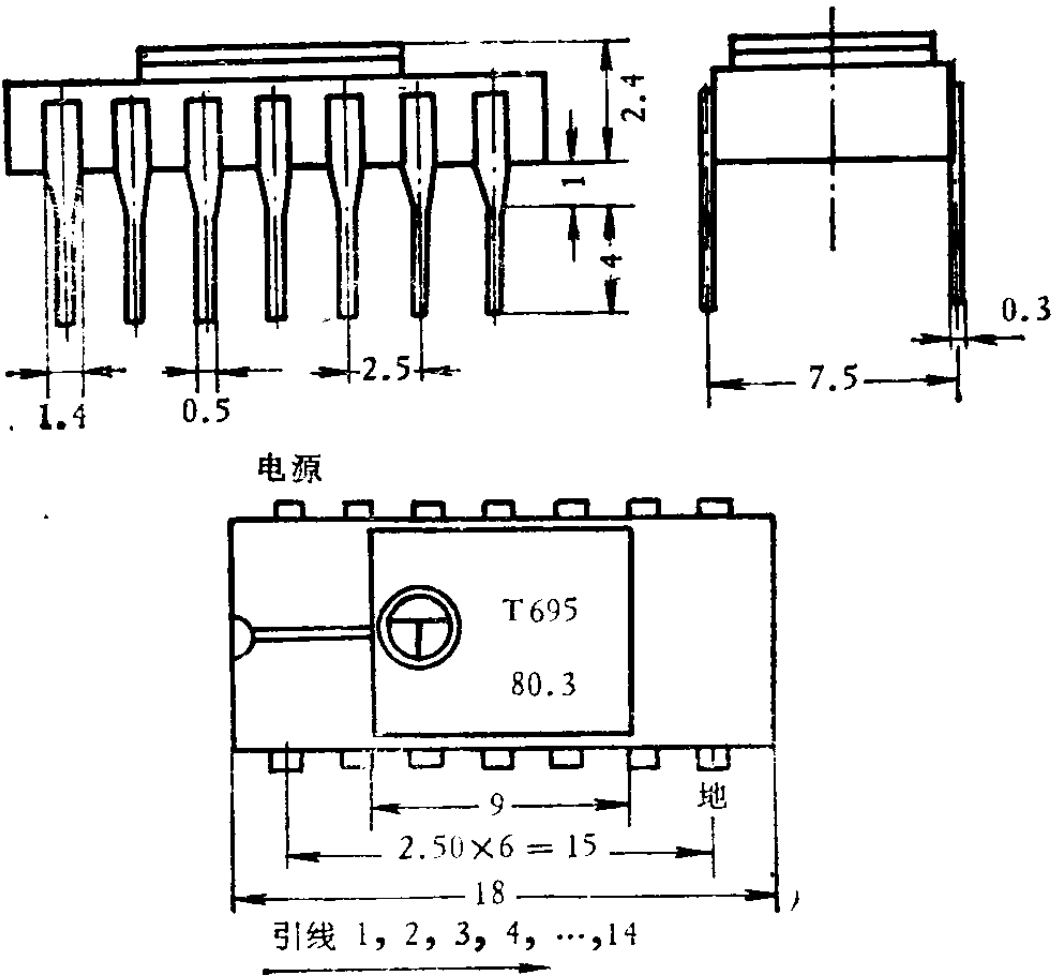


图7.1.10 双列直播式封装