



半导体集成电路

上册

上海人民出版社

73.6
410
1:5

半导体集成电路

(上册)

上海无线电十九厂

复旦大学四一工厂

316525/03

上海人民出版社

内 容 提 要

本书是在教育革命和生产实践的过程中编写的,全书分上、下两册。上册首先介绍半导体和晶体管的有关原理,然后阐述半导体集成电路的主要工艺;下册着重叙述逻辑集成电路和线性集成电路的原理、测试以及设计方法,还介绍了金属-氧化物-半导体逻辑集成电路。

本书可供从事半导体集成电路制造与设计的工人、技术人员阅读,也可作为高等学校教学参考用书。

半 导 体 集 成 电 路

(上 册)

上海无线电十九厂

复旦大学四一工厂

上海人民广播电台出版

(上海潮兴路5号)

新华书店上海发行所发行 上海东方红印刷厂印刷

开本 850×1156 1/32 印张 11.125 插页 2 字数 290,000

1971年4月第1版 1971年4月第1次印刷

书号 15·4·132 定价 0.76 元

前 言

电子工业是现代工业的重要组成部分。发展电子工业,是我国工农业建设和国防建设的一个措施。

在波澜壮阔的无产阶级文化大革命中,奋战在电子工业战线上的广大工人、革命干部和革命知识分子高举毛泽东思想伟大红旗,狠批了叛徒、内奸、工贼刘少奇竭力推行的“洋奴哲学”、“爬行主义”等反革命修正主义路线,大破电子技术“神秘论”,积极响应毛主席关于“抓革命,促生产,促工作,促战备”的伟大号召,发扬“自力更生”、“艰苦奋斗”的精神,大搞群众运动,因此新器件和新设备成批投产,新工艺不断涌现,整个电子工业呈现出一片欣欣向荣的大好革命景象。

伟大领袖毛主席教导我们:“要把一个落后的农业的中国改变成为一个先进的工业化的中国,我们面前的工作是很艰苦的,我们的经验是很不够的。因此,必须善于学习。”毛主席还教导我们:“要认真总结经验。”为了普及和发展电子技术,总结和推广半导体集成电路制造和设计的先进经验,我们在工人阶级领导下,实行厂校结合的编写方式,总结了工人师傅的实践经验,并结合实际讲述了有关原理和设计知识,使理论和生产实际相结合。在编写过程中,还得到了有关单位的大力支持和热情帮助。

本书所列的工艺条件和设备是根据本厂具体情况确定的,仅供有关单位在制定操作规程和制造设备时作参考。

由于我们活学活用毛泽东思想很不够,用辩证唯物主义的哲学思想指导编写工作做得较差,因此本书一定存在着很多缺点,甚至还有错误,我们热切地、诚恳地希望广大工农兵读者批评指正。

目 录

第一章 半导体集成电路一般介绍	1
1-1 战无不胜的毛泽东思想是发展我国半导体集成电 路的指路明灯	1
1-2 集成电路的发展与种类	4
1-2-1 电子元件制造技术中的新变革(4) 1-2-2 集成电路的三种类 型(6) 1-2-3 集成电路的应用和发展(9)	
1-3 半导体集成电路的制造方法	10
1-3-1 $p-n$ 结隔离的工艺流程(12) 1-3-2 介质隔离的工艺流程(16) 1-3-3 两种隔离方法的比较(18) 1-3-4 其他隔离方法介绍(19)	
第二章 半导体的电阻率、寿命和位错	22
2-1 半导体导电性的特点	23
2-1-1 电阻率、电导率和迁移率(23) 2-1-2 半导体电阻率的特点(24)	
2-2 半导体为什么能导电	25
2-2-1 锗、硅的晶体结构(25) 2-2-2 本征激发和导电电子(26) 2-2-3 空穴的导电作用(28) 2-2-4 能带图(29) 2-2-5 本征激发 的载流子浓度(31)	
2-3 杂质对半导体导电本领的影响	32
2-3-1 施主杂质和 n 型半导体(33) 2-3-2 受主杂质和 p 型半导体(34) 2-3-3 多数载流子和少数载流子(35) 2-3-4 杂质的补偿作用(36)	
2-4 半导体的电阻率	38
2-4-1 半导体的电阻率公式和纯净半导体的电阻率(38) 2-4-2 电阻 率和杂质浓度的关系(39) 2-4-3 电阻率随温度的变化(41)	
2-5 非平衡载流子及其寿命	43
2-5-1 什么是非平衡载流子(44) 2-5-2 寿命和复合(45) 2-5-3 复合中心的作用(47) 2-5-4 掺金对寿命的影响(48)	
2-6 位错和位错密度	50
2-6-1 什么是位错(50) 2-6-2 位错的观测和晶向(52)	
第三章 $p-n$ 结	55
3-1 $p-n$ 结的整流特性	55

3-1-1 $p-n$ 结具有单向导电性 (55)	3-1-2 $p-n$ 结势垒的形成 (58)
3-1-3 $p-n$ 结的能带是弯曲的 (61)	3-1-4 正向电流为什么比较大 (62)
3-1-5 反向电流为什么很小 (65)	3-1-6 正反向电流公式 (66)
3-1-7 反向漏电流大是什么原因 (69)	3-1-8 $p-n$ 结在集成电路中的隔离作用 (70)
3-2 $p-n$ 结电容	71
3-2-1 电容对 $p-n$ 结整流特性的影响 (71)	3-2-2 $p-n$ 结电容的来源 (72)
3-2-3 怎样计算 $p-n$ 结电容 (74)	3-2-4 $p-n$ 结的杂质分布, 突变结和缓变结 (75)
3-2-5 突变结的势垒电容公式 (77)	3-2-6 缓变结的势垒电容公式 (79)
3-3 $p-n$ 结击穿	81
3-3-1 什么是击穿现象 (81)	3-3-2 引起击穿的原因 (82)
3-3-3 怎样计算击穿电压 (84)	3-3-4 不够理想的击穿特性 (86)
第四章 晶体管原理和特性	88
4-1 晶体管的结构	89
4-1-1 硅平面管的管芯结构 (89)	4-1-2 单块电路晶体管的特点 (90)
4-1-3 平面管中的杂质分布 (92)	
4-2 晶体管的放大作用	93
4-2-1 从 $p-n$ 结到 $n-p-n$ 矛盾的转化 (93)	4-2-2 电流放大系数 (95)
4-2-3 电压和功率的放大作用 (97)	
4-3 晶体管的放大原理	99
4-3-1 晶体管的能带图和载流子分布 (99)	4-3-2 电流是怎么传输的 (101)
4-3-3 发射效率和基区输运系数 (103)	4-3-4 表面复合和势垒复合的影响 (104)
4-3-5 怎样提高 α (105)	4-3-6 共发射极接法的电流传输过程 (106)
4-3-7 晶体管的反向工作 (107)	
4-4 晶体管的直流特性	108
4-4-1 共基极和共发射极接法的输出特性曲线 (108)	4-4-2 反向截止电流 (110)
4-4-3 表面沟道效应引起的 e, c 漏电 (112)	4-4-4 击穿电压 (113)
4-4-5 势垒穿通 (115)	4-4-6 实际观察到的特性曲线 (116)
4-5 晶体管的电流特性	117
4-5-1 大电流密度时 β 下降 (122)	4-5-2 基极电阻的自偏压效应 (124)
第五章 氧化扩散工艺	127
5-1 一个典型集成电路的氧化扩散工艺流程	128
5-1-1 预氧化(隐埋氧化) (128)	5-1-2 隐埋扩散 (129)
5-1-3 隔离氧	

化(130) 5-1-4 隔离扩散(130) 5-1-5 基区氧化(亦称一次氧化,并同时金扩散)(131) 5-1-6 基区扩散(同时二次氧化)(132) 5-1-7 发射区扩散(133) 5-1-8 三次氧化(引线孔氧化)(133)	
5-2 扩散原理	134
5-2-1 杂质的扩散,扩散系数,扩散层中杂质的分布(134) 5-2-2 扩散深度(137) 5-2-3 表面浓度的控制——两种表面源的扩散(138)	
5-2-4 扩散层薄层电阻(143) 5-2-5 扩散杂质和扩散温度的选择(146)	
5-2-6 扩散杂质浓度对扩散系数的影响(148) 5-2-7 金扩散(148)	
5-3 扩散方法	150
5-3-1 箱法扩散(151) 5-3-2 液态源扩散(152) 5-3-3 固-固扩散(156) 5-3-4 固态氮化硼扩散(158)	
5-4 氧化原理及氧化方法	159
5-4-1 热生长氧化层的原理和方法(159) 5-4-2 热分解淀积氧化层的原理和方法(162) 5-4-3 氧化层对杂质的掩蔽作用(164)	
5-5 氧化层及扩散层性质的测定	166
5-5-1 氧化层厚度的测量(166) 5-5-2 扩散深度的测量(169) 5-5-3 四探针法测量扩散层的薄层电阻(170) 5-5-4 扩散结伏安特性的测量(173)	
5-6 氧化扩散系统设备	175
5-6-1 扩散(氧化)炉(175) 5-6-2 扩散炉温度控制系统(177)	
5-7 工艺中碰到的问题及解决办法	178
5-7-1 隐埋扩散中的一些问题(179) 5-7-2 隔离扩散中的一些问题(180) 5-7-3 基区扩散中的一些问题(184) 5-7-4 发射区扩散中的一些问题(187) 5-7-5 氧化层的一些问题(189)	
第六章 光刻工艺	191
6-1 光刻工艺简单介绍	191
6-2 光刻工艺的操作过程	193
6-2-1 涂胶(194) 6-2-2 前烘(196) 6-2-3 曝光(196) 6-2-4 显影(197) 6-2-5 坚膜(198) 6-2-6 腐蚀(198) 6-2-7 去胶及检查(200)	
6-3 光刻操作过程中出现的问题	200
6-3-1 浮胶(201) 6-3-2 钻蚀(201) 6-3-3 针孔(202) 6-3-4 小岛(203) 6-3-5 毛刺(204) 6-3-6 锯齿(204)	
6-4 光致抗蚀剂(感光胶)的性能	205

6-4-1 光致抗蚀剂的成分及性质(205)	6-4-2 正性抗蚀剂(207)	
6-5 光刻设备及光刻精度		208
6-5-1 接触曝光法的光刻设备介绍(208)	6-5-2 接触曝光法的光刻精度(209)	
6-6 其他光刻方法介绍		210
6-6-1 投影曝光的光刻方法(210)	6-6-2 电子束曝光的光刻方法(211)	
第七章 外延工艺		214
7-1 外延方法和原理		215
7-1-1 外延的操作工艺(215)	7-1-2 外延层电阻率和厚度的控制(219)	
7-1-3 硅外延生长的设备(222)	7-1-4 外延生长原理和层错的形成(226)	
7-2 外延层的鉴定		230
7-2-1 外延层电阻率的测量(230)	7-2-2 外延层厚度的测量(232)	
7-2-3 层错密度及位错密度的测量(233)		
7-3 外延中存在的问题及解决办法		233
7-3-1 外延层的表面缺陷(233)	7-3-2 外延中的氧化和图形畸变问题(237)	
7-3-3 外延层质量改进办法(238)		
7-4 介质隔离中的外延技术		241
7-4-1 隔离槽的腐蚀和槽深测量(242)	7-4-2 氧化层的生长(243)	
7-4-3 多晶硅的生长(245)		
第八章 电极引线工艺		248
8-1 真空镀膜及合金化		248
8-1-1 真空镀膜(249)	8-1-2 真空镀膜机的简单介绍(250)	
8-1-3 真空镀膜工艺(252)	8-1-4 合金化(254)	8-1-5 加热器的制备(257)
8-2 焊接工艺		258
8-2-1 热压焊接法(259)	8-2-2 热压焊接的操作过程和注意事项(261)	
8-2-3 超声波焊接(264)	8-2-4 平面焊接(面键合)(264)	8-2-5 梁式引线工艺(265)
第九章 制版工艺		270
9-1 集成电路的制版工艺		272
9-1-1 制备原图(272)	9-1-2 初缩(273)	9-1-3 精缩(分步重复缩小)(275)
9-1-4 复印(279)	9-1-5 铬版的制备和复制(280)	
9-2 制版工艺中的光学原理		282

9-2-1 成像原理以及如何确定尺寸(282)	9-2-2 镜头的相对孔径及分辨率(285)	9-2-3 镜头的有效视场(287)	9-2-4 镜头的景深(288)
9-2-5 在制版工艺中如何选取镜头(289)			
9-3 照相感光材料的制备			290
9-3-1 制版工艺对照相感光材料的要求(290)			
9-3-2 照相感光材料的组成和制备(292)			
9-3-3 影响感光材料特性的因素(297)			
9-4 照相感光版拍摄后的化学处理			299
9-4-1 显影(299)			
9-4-2 定影(304)			
9-4-3 加厚和减薄(306)			
9-4-4 反转显影(307)			
第十章 硅片的切割、研磨和抛光			309
10-1 硅片的切割			309
10-1-1 定向(309)			
10-1-2 切片(310)			
10-2 硅片的研磨			312
10-2-1 粗磨(312)			
10-2-2 细磨(313)			
10-3 硅片的抛光			313
10-3-1 机械抛光(313)			
10-3-2 化学机械抛光(315)			
10-4 介质隔离集成电路的研磨			317
第十一章 去离子水制备工艺			319
11-1 集成电路制造中的用水			319
11-1-1 集成电路生产对水质的要求(319)			
11-1-2 水的纯度及测量(320)			
11-1-3 水的酸度及其测量(321)			
11-2 去离子水的制备			322
11-2-1 制备原理(322)			
11-2-2 水的纯化(324)			
11-2-3 失效树脂的再生(325)			
11-3 树脂和设备			328
11-3-1 树脂的选用和性能(328)			
11-3-2 树脂用量和设备大小的估算(328)			
附录一 硅的主要物理性质			333
附录二 常用金属和合金的主要物理性质及腐蚀剂			334
附录三 常用单位换算表			336
附录四 铂-铂(90%)铑(10%)热电偶的温度-毫伏当量表			338
附录五 常用器皿的清洁处理			341
附录六 安全生产知识			342
附录七 TXU型温度控制仪线路图			345

毛主席语录

我们不能走世界各国技术发展的老路，跟在别人后面一步一步地爬行。我们必须打破常规，尽量采用先进技术，在一个不太长的历史时期内，把我国建设成为一个社会主义的现代化的强国。

第一章 半导体集成电路一般介绍

1-1 战无不胜的毛泽东思想是发展我国 半导体集成电路的指路明灯

四海翻腾云水怒，五洲震荡风雷激。

“当前，世界革命进入了一个伟大的新时代。”经过无产阶级文化大革命锻炼的七亿中国人民，在以毛主席为首、林副主席为副的党中央领导下，意气风发，斗志昂扬，高举革命大旗，阔步前进，在阶级斗争、生产斗争和科学实验三大革命运动中，取得了一个又一个新的胜利，创造了一个又一个人间奇迹。战斗在电子工业战线上的工人阶级、革命干部和革命知识分子，响应党中央的战斗号令，以革命统帅生产，出现了一派欣欣向荣的大好景象。

集成电路是六十年代开始发展起来的一种新型电子元件，虽然它的历史不长，但由于它的种种优点，因而得到了广泛的重视，发展非常迅速，成为当前电子设备小型化和提高工作可靠性的重要技术途径，它在空间研究、核武器、导弹、雷达、电子计算机和军事通讯装备方面的意义就更加明显。例如军事通讯装备采用了集成电路就可大大缩小体积、减轻重量，能很好地适应战备的需要。

集成电路本身是没有阶级性的，但它掌握在不同阶级手中就

要为不同的阶级利益服务。美帝国主义每年在集成电路方面不惜化费巨资,生产大量的集成电路,它们拚命发展集成电路的目的就是为了“对内剥削和压迫,对外侵略和杀人”。美帝在越南战场上已经投入了包括用集成电路装备的各种现代化武器,但是这些现代化武器挽救不了它必然失败的命运。社会帝国主义为了其扩军备战、扩张侵略的需要,也力图发展集成电路的生产,但是由于它们倒行逆施,在国内复辟资本主义,造成了严重的经济困难,工农业生产停滞不前,只得向资本主义国家乞讨集成电路技术。日本反动派为了复活军国主义,重温其“大东亚共荣圈”的迷梦,也在大搞军事电子工业,它一方面生产集成电路供给军事装备用,另一方面作为资本输出去剥削和掠夺东南亚各国人民。

集成电路是劳动人民长期生产实践经验的产物,但是在资本主义国家里,它被用来剥削人民、掠夺人民和屠杀人民。在伟大的社会主义中国,劳动人民当家作主人,集成电路掌握在无产阶级的手里,为我们的社会主义革命和社会主义建设服务。我国工人阶级掌握了集成电路,就能利用它更好地向全世界人民宣传毛泽东思想,就能更有力地支援国防现代化建设,并为整个国民经济全面技术改造,创造有利条件。用毛泽东思想武装起来的中国人民具有最大的聪明才智,一定能够生产更多更好的集成电路,狠狠打击帝、修、反,支援世界革命。

我国集成电路的发展,经历了一段曲折的道路,在它的前进过程中,受到了刘少奇反革命修正主义路线的严重干扰,两个阶级、两条道路、两条路线的斗争始终是十分激烈的。

早在一九六〇年,我国工人阶级和革命知识分子在毛主席革命路线的指引下,就以敢想、敢说、敢干的革命精神,克服了重重困难,试制成功了当时国外才刚刚出现的锗集成电路(这是半导体集成电路的前身),但是这一新生事物后来被刘少奇及其代理人扼杀了。在国家遭受三年自然灾害期间,刘少奇及其同伙疯狂反对总路线、大跃进和人民公社三面红旗,大砍大杀我国的半导体工业,使得工人阶级在大跃进期间自力更生、白手起家创办起来的许多

半导体工厂被迫下马，严重阻碍了我国半导体事业的发展。他们还勾结资产阶级技术“权威”，竭力推行“爬行主义”和“洋奴哲学”的反革命修正主义路线。六十年代半导体的水平是硅器件和集成电路，刘少奇及其在电子工业部门的代理人却坚持要从锗器件做起，甚至要一些工厂从电子管和三十年代的氧化亚铜整流器、硒整流器搞起。他们同毛主席关于“打破洋框框，走自己工业发展道路”的指示大唱反调，推行一条“从仿制到仿制”的爬行主义路线，原封不动地照搬外国落后产品的工艺，甚至把西方资本主义国家初期的晶体管商品拿来，照着葫芦画瓢，这样爬来爬去，产品好几年也没有过关。

一九六四年我们伟大领袖毛主席向全国人民发出号召：“我们必须打破常规，尽量采用先进技术，在一个不太长的历史时期内，把我国建设成为一个社会主义的现代化的强国。”我国第一颗原子弹的试验成功震动了整个世界，大长了中国人民的志气，大灭了帝、修、反的威风。在毛主席的赶、超世界先进水平的伟大号召指引下，我国工人阶级和革命知识分子，发扬了“自力更生”、“艰苦奋斗”的革命精神，依靠自己的力量，攻克了晶体管生产的先进技术——平面技术，自己动手制造了成套的生产设备，并先后试制成功了硅平面晶体管和半导体集成电路。

但是刘少奇及其代理人却迷信洋人，看不起我国工人阶级的创造发明，他们把半导体工业的发展寄托于从国外“技术引进”上。为了从外国进口设备，购买专利，他们在帝、修、反面前卑躬屈膝，听任外国资本家以种种无理的条件来刁难、欺侮我们。刘少奇及其代理人对外搞投降主义，对内又大搞神秘主义，规定了种种清规戒律来束缚群众的手脚，对发展电子工业的群众运动大泼冷水，使赶、超成为少数研究单位的事情，关起门来冷冷清清地搞，一年也出不了几种新产品。在刘少奇反革命修正主义路线的干扰下，我国电子工业的发展受到了严重的影响，工人阶级的革命积极性和创造性受到了压制，群众自力更生的成果被扼杀。

伟大的无产阶级文化大革命彻底摧毁了刘少奇的资产阶级司

令部，夺回了被他们所篡夺的那一部分权力，工人阶级成了科学技术的主人，在以毛主席为首、林副主席为副的党中央的亲切关怀下，我国的电子工业正以前所未有的发展速度突飞猛进。在批判了刘少奇的“洋奴哲学”、“爬行主义”、“专家治厂”等反革命修正主义路线的基础上，一个大搞电子工业的群众运动的新高潮已经在全国范围内掀起。广大革命群众怀着为伟大领袖毛主席争光，为伟大社会主义祖国争光的英雄气概，以高昂的革命斗志投入了电子工业的大会战。许多小厂或里弄工厂工人，以及一些中学也都搞起了电子工业，他们虽然本来不懂电子技术，但是他们怀着一颗对毛主席的赤胆忠心，坚持自力更生，自己动手，土法上马，在短短的几个月时间内就掌握了硅平面管和集成电路的生产技术。毛主席说：“世间一切事物中，人是第一个可宝贵的。在共产党领导下，只要有了人，什么人间奇迹也可以造出来。”在文化大革命以来的几年中，我国工人阶级发挥了自己的聪明才智，大破洋框框、洋教条，工艺上的技术革新层出不穷，集成电路的产量和品种成倍地增加。“灿烂的思想政治之花，必然结成丰满的经济之果”，一个宏伟壮丽的电子工业大跃进的局面已经呈现在我们面前，这是毛主席无产阶级革命路线的伟大胜利！是战无不胜的毛泽东思想的伟大胜利！

伟大领袖毛主席指出：“中国人民有志气，有能力，一定要在不远的将来，赶上和超过世界先进水平。”毛主席为我们撑腰，我们一定要为毛主席争气。中国工人阶级满怀豪情壮志，充满了必胜的信心，打响了一场电子工业赶超世界先进水平的翻身仗。西方资产阶级能够做到的，东方无产阶级一定能够做到；西方资产阶级不能做到的，东方无产阶级也一定能够做到。让帝国主义、社会帝国主义和各国反动派在我们面前发抖吧，胜利一定是属于我们的！

1-2 集成电路的发展与种类

1-2-1 电子元件制造技术中的新变革

伟大领袖毛主席教导我们说：“人类社会的生产活动，是一步

又一步地由低级向高级发展，因此，人们的认识，不论对于自然界方面，对于社会方面，也都是一步一步地由低级向高级发展，即由浅入深，由片面到更多的方面。”几十年来，电子元件的生产和应用，也是经历了从电子管到晶体管再到集成电路这样一个由低级向高级发展的过程。在四十年代末、五十年代初发明了晶体管，这是电子元件发展中的第一次飞跃。晶体管比起电子管来，具有体积小、重量轻、耗电省和可靠性高等一系列优点，对于电子设备的微小型化带来很多便利，因而经过了不长的一段时期，它就逐步取代了电子管的地位。但是随着生产斗争和科学实验的发展，对电子技术不断提出了新的要求，晶体管的应用就遇到了新的矛盾。例如，在现代化的大型电子计算机中，使用的电子元件数目多达几十万个甚至几百万个，随着元件数目的增多，它们之间焊接点的数目也相应增多了。这么多的元件和焊接点中，只要有一个损坏，就会影响电子计算机的正常工作。一台大型电子计算机，虽然对其中的晶体管和其他电子元件进行了精心的挑选，但是它的稳定工作时间仍旧是很有限的，因为，这时候为数众多的焊接点的损坏是很难避免的，它已变成引起机器故障的主要矛盾方面了。又例如，在空间研究方面，随着人造地球卫星和宇宙飞船所承运的电子仪器愈来愈多和愈来愈复杂，用晶体管线路无论在体积、重量或是在能源的消耗上，都逐渐不能适应了。这些矛盾就促使电子元件向着进一步微小型化、低功耗和高可靠性的方向发展。

解决上述矛盾的关键是怎样进一步缩小电子元件的尺寸和减少元件之间的焊接点数目，如果单单靠各个元件本身的改进是不能解决问题的。人们设想，假如把一个电路中所需要的晶体管、二极管、电阻和电容等元件，通过一定的工艺方法，制作在一小块或几小块晶体或陶瓷基片上，再用适当的方法进行互连后，封装在一个管壳之内，那末整个电路的体积就可以大大缩小，而且引出线和焊接点的数目也大为减少。这种设想，在硅平面技术和薄膜技术发展的基础上终于成功地实现了，于是诞生了一种新型的电子元件——集成电路。象图 1-1 的照片就是集成电路同单个晶体管外

形的比较,左面是一只 5G701 半导体集成电路,它包含了两只晶体管、六只二极管和四只电阻,在计算机中可以起一个门电路的作用,但

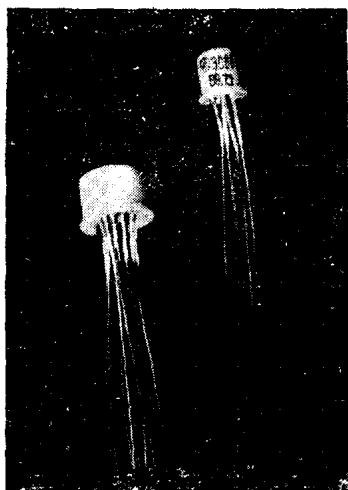


图 1-1 集成电路和单个晶体管的外形比较

整个体积并不比一只晶体管大很多,它的管脚只有十二根,其中十根是真正的引出线,其余二根是空脚。所以装在整机中,焊接点数目可以大大减少。

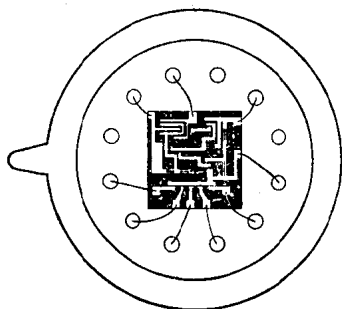
用这样的集成电路来装配电子计算机或其他电子设备,它的装配密度可以比晶体管提高几十倍到一百倍,而机器的稳定工作时间也可以提高几十倍到几百倍,这在微小型化和高可靠性方面的优点是非常显著的,所以从晶体管发展到集成电路可以说是电子元件生产和应用领域中的一次新的飞跃。通常把用电子管制造的电子计算机称作第一代计算机,用晶体管制造的叫第二代计算机,而集成电路则是第三代计算机的电子元件。

1-2-2 集成电路的三种类型

目前已经发展成功的集成电路,按其结构和工艺方法可以分为三类:一类是以硅平面技术为基础的半导体集成电路;第二类是以薄膜技术为基础的薄膜集成电路;第三类是采用平面技术和薄膜技术相结合的混合集成电路。下面分别对这三类电路作些简单的介绍。

1. 半导体集成电路 利用氧化、扩散、光刻、外延、蒸发等一整套平面技术,在一小块硅单晶片上,同时制造出晶体管、二极管、电阻和电容等元件,并且采用一定的方法使这些元件在电性能上互相隔离,然后在硅片的表面上蒸发铝层,并用光刻法刻蚀成一定图形,使元件之间需要连接的地方通过铝层而互连成电路。这

样组成的电路为半导体集成电路,又叫单块集成电路。在半导体集成电路中,晶体管和二极管是在硅片中扩散一定的杂质所形成的 $n-p-n$ 结构和 $p-n$ 结;电阻也是在硅片的指定区域中扩散杂质而形成的,一般称这种结构的电阻为扩散电阻;电容则可以是利用 $p-n$ 结特性而制成的 $p-n$ 结电容,也可以是另一种结构的金属-氧化物-半导体电容,它是以硅片表



面的氧化层作为介质,氧化层下面的高掺杂硅作为电容器的一个电极,氧化层上面镀覆的铝层作为另一个电极所构成。图 1-2 就是半导体集成电路的结构。

2. 混合集成电路 由于扩散电阻和 $p-n$ 结电容或金属-氧化物-半导体电容在精度、数值范围和温度特性方面都不能满足某些电路性能的要求,因此,发展了一种把平面技术和薄膜技术结合起来的混合集成电路。它是用平面技术来制造晶体管和二极管,而用薄膜技术来制造电阻和电容,两者相结合,构成了电路。混合集成电路大致上有两种形式:一种是将电路中的晶体管、二极管按半导体集成电路方式先做好,然后再在氧化层的某些指定部位上,用

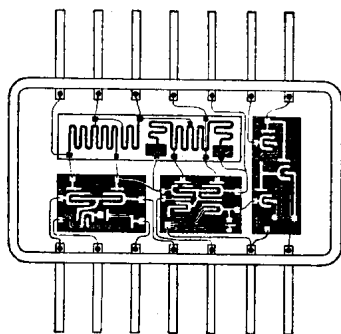


图 1-3 多片混合集成电路的结构

真空蒸发或溅射技术制成薄膜电阻及薄膜电容。制造薄膜电阻的材料一般用镍-铬合金或钽;制造薄膜电容的绝缘介质材料一般用二氧化硅、一氧化硅、五氧化二钽或二氧化钛等,电容的上下电极用铝膜,最后以蒸发铝层作为引线将各元件连接成完整的电路。

这种电路称为单块混合集成电路或相容薄膜集成电路。另一种混合集成电路的形式是先将整

个电路中的晶体管和二极管根据实际需要分别做在几块单晶片上,其中不需要隔离的可以做在一块单晶片上,而薄膜电阻和薄膜电容做在另外的玻璃或陶瓷基片上,然后将这几个单片置于同一个底座上,用蒸发金属导线层或热压焊接的方法将其互连成完整的电路。这样整个电路就由几个单片构成,所以一般又称为多片混合集成电路。图 1-3 就是这种多片混合集成电路的结构。

3. 薄膜集成电路 整个电路的晶体管、二极管、电阻和电容等元件以及它们之间的连线,全部由厚度为 1 微米以下的金属、半导体或金属氧化物薄膜重迭构成,这种电路称为薄膜集成电路。薄膜集成电路中的晶体管采用薄膜晶体管,薄膜晶体管目前有两种形式:一种是薄膜场效应硫化镉晶体管;另一种是薄膜热电子放大器。电阻和电容仍然是采用上述的薄膜电阻和薄膜电容。连接材料是蒸发的铝层。由于目前薄膜晶体管的特性较差,这种完全由薄膜元件构成的电路现在尚无实用价值,有待于薄膜晶体管性能进一步的改善。实际上应用的薄膜集成电路是将晶体管、二极管以外的元件用薄膜技术做在玻璃或陶瓷基片上,留下晶体管、二极管的位置,用蒸发铝引线的方法或热压焊接的方法连上单个平面晶体管或二极管。严格讲这类薄膜集成电路实际上是混合集成电路的一种形式。

这三类电路中,除了全薄膜的集成电路尚未成熟外,半导体集成电路和混合集成电路各有优缺点,它们是互相补充的。半导体集成电路的制造方法比较简便,成本低廉,适合于大量生产,体积也比较小,所以它是目前应用得最广泛的一种集成电路。但缺点是扩散电阻和 $p-n$ 结电容或金属-氧化物-半导体电容的性能较差,它们的数值范围比较小,如扩散电阻一般不超过几十千欧,再大就比较困难,数值的精度也比较低,温度系数(即温度变化 1°C ,元件数值变化的百分比)比较大,因此限制了电路的性能,对电路设计带来了一些不便。混合集成电路中采用了薄膜电阻和薄膜电容后,在很大程度上克服了上述缺点,但由于它工艺比较繁复,所以生产效率比较低、成本比较高,对于多片混合集成电路更是如此。