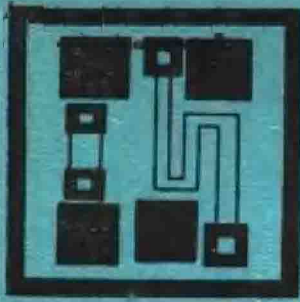




集成电路基础

上册

L. 斯特恩

上海无线电二十九厂

封装及其工艺。第九章对各种标准的商品集成电路作了描述。在数字领域，按照基本门的工作讨论了各种逻辑系列，包括饱和型逻辑与非饱和型逻辑，并比较了它们的优点和局限性。在线性领域，从讨论最重要的差分放大器着手，进而讨论了一些实际的线性集成电路设计，说明了电路设计和工艺之间的相互关系。第十章论述了集成电路设计的基本考虑，讨论了技术方面，也讨论了经济方面。

由于设计人员必须熟悉电路的设计布局考虑，所以在第十一章中，给出了电路布局的基本定则。最后，在第十二章中讨论了大规模集成电路，介绍了几种在单块半导体片子上取得非常复杂电路的方法。

遵照毛主席“**洋为中用**”的教导，结合目前集成电路广泛发展的需要，我们翻译了本书，供从事集成电路工作的同志们和有关院校师生参考。

卢尔健、李淑德和吴传廛等同志帮助翻译了本书的部分章节，宋平欧同志参加了本书的编辑整理工作，在此向他们致以深切的感谢。

由于我们的水平有限，译文中难免有错误和不妥之处，诚请同志们批评指正。

内 容 简 介

本书对各种集成电路作了简明的、系统的介绍，内容比较浅显易懂，是集成电路技术方面的一本基础性读物。全书共有十二章。主要内容包括：基本半导体理论， $p-n$ 结特性，晶体管原理，单片、薄膜、混合和其他集成电路，讲述了它们的结构、分析、设计、布局和封装，粗略地介绍了大规模集成电路。

本书可供从事集成电路工作的工人、技术人员、科研人员及有关大专院校师生参改。

译 序

本书系根据美国莫托洛拉公司出版的固态电子学丛书之三——集成电路基础一书译出。这套丛书的其他二本(集成电路设计原理和制造以及集成电路的分析和设计)已分别译出。

本书讨论了各种集成电路的制造技术以及它们对电路设计和性能的影响。全书共分十二章。第一章回顾了集成电路的工艺情况,介绍了各种集成电路结构,讨论了各种结构的优缺点,并预计了集成电路工艺对各工业部门的影响。第二章讨论了半导体材料硅的性质。在第三章中,作者阐述了p—n结的特性及其对单片电路的设计和性能的影响。第四章描述了作为单片工艺基本结构的晶体管的工作原理,作者没有对半导体设计理论作深入的探究,只是讨论了那些对理介集成电路有最重要作用的方面,讨论不是定量而是定性的。

第五章介绍了现在最流行的扩散单片集成电路,说明了这种电路结构的制造细则和各种工艺。这一章还讨论了扩散元件的特性,它们的寄生效应及其设计考虑。薄膜电路的元件特性和制造程序在第六章作了叙述,而第七章介绍了其他集成电路结构,它们包括多片电路、相容电路、单片复合电路和绝缘衬底结构。

封装是研制集成电路的一个重要问题,因此在第八章中讨论了各种标准的封装和工艺,并展望了将来更复杂器件的

目 录

(上 册)

1	电子学的新纪元	1
1—1	工艺学	1
1—2	薄膜电路	3
1—3	半导体单片电路	5
1—4	相容集成电路	7
1—5	多片(混合)集成电路	8
1—6	绝缘衬底单片电路	12
1—7	集成电路的优点	12
1—8	集成电路对工业的影响	22
1—9	集成电路现状	27
2	基本半导体理论	32
2—1	硅原子	32
2—2	晶体结构	33
2—3	电子和空穴	34
2—4	电阻率	38
2—5	电阻	41
2—6	硅中的杂质浓度	41
2—7	p-型材料	42

2—8	n-型硅	44
2—9	杂质材料的电阻率	44
2—10	含杂质硅中少数载流子的浓度	45
2—11	小结	46
3	p—n结的特性	48
3—1	整流	48
3—2	整流器作用	51
3—3	p—n结的电容效应	54
3—4	p—n结的电压击穿	58
3—5	小结	62
3—6	结论	63
4	晶体管基础	64
4—1	晶体管的作用	64
4—2	信号放大	69
4—3	晶体管的频率响应——普通情况	78
4—4	共发射极电路的频率响应	81
4—5	晶体管的物理特性对电学性能的影响	82
4—6	晶体管基础概要	87
4—7	晶体管的发展	88
4—8	合金晶体管	89
4—9	台面晶体管	93
4—10	外延台面	96
4—11	硅外延平面晶体管	97
4—12	环形晶体管	99

4—13	集成晶体管·····	101
5	单片集成电路·····	102
5—1	扩散——一种重要的工艺·····	105
5—2	选择扩散·····	108
5—3	制造工艺程序·····	113
5—4	封装·····	121
5—5	扩散单片电路的元件·····	125
5—6	单片电路的有源元件·····	125
5—7	全扩散单片电路的晶体管·····	126
5—8	单片电路的二极管·····	130
5—9	无源半导体元件·····	131
5—10	扩散的硅电阻器·····	132
5—11	单片电路中的扩散电阻·····	134
5—12	扩散电容·····	142
5—13	单片半导体电路的特性·····	150
6	薄膜集成电路及其特性·····	152
6—1	薄膜元件·····	153
6—2	电阻·····	153
6—3	电容·····	155
6—4	工艺过程·····	156
6—5	有源元件的连接·····	160
6—6	优点和局限性·····	162
7	混合集成电路和其他集成电路结构·····	165

7—1	多片电路·····	165
7—2	多片电路的扩散电阻·····	166
7—3	多片电路的扩散结电容·····	170
7—4	多片电路的薄膜电容·····	170
7—5	多片电路结构·····	171
7—6	多片电路的应用·····	172
7—7	相容集成电路技术·····	173
7—8	相容集成电路的制造·····	174
7—9	可靠性考虑·····	178
7—10	复合集成电路·····	180
7—11	绝缘衬底电路·····	181

目 录

(下 册)

8	集成电路的封装	185
8—1	电路的封装	186
8—2	TO-型封装	186
8—3	扁平封装	188
8—4	塑料封装	190
8—5	实际封装的考虑	192
8—6	封装测试	195
8—7	系统封装	200
8—8	未来的封装趋向	202
9	标准集成电路的分析	207
9—1	集成电路设计原理	207
9—2	标准数字电路	208
9—3	饱和开关	216
9—4	主要饱和逻辑系列介绍	219
9—5	电流型逻辑	231
9—6	标准线性电路	236
9—7	一个基本的电路	237
9—8	基本差分放大器的工作	238

9—9	差分放大器的重要特性·····	241
9—10	实用的线性集成电路·····	242
9—11	一个简单的差分放大器·····	243
9—12	全差分放大器级·····	246
9—13	达林顿电路·····	248
9—14	温度补偿·····	251
9—15	运算放大器·····	251
9—16	标准运算放大器·····	253
9—17	稳定的运算放大器·····	255
9—18	射频/中频放大器·····	257
9—19	1瓦集成功率放大器·····	261
9—20	宽带(视频)放大器·····	266
9—21	结论·····	269
10	实际的集成电路设计 ·····	271
10—1	经济考虑·····	271
10—2	工艺状况·····	274
10—3	单片电路设计入门·····	278
10—4	最初的设计考虑·····	284
10—5	什么能够被集成? ·····	285
10—6	管壳类型·····	287
10—7	电路设计——自由处和限制处·····	293
10—8	有效元件值·····	295
10—9	模拟试验和测试·····	295
10—10	设计例子·····	299
10—11	设计周期·····	311

11	单片电路布局原理.....	314
11—1	研制模拟电路.....	315
11—2	内部布局考虑.....	316
11—3	元件图形.....	317
11—4	设计隔离区.....	319
11—5	电路布局.....	324
11—6	设计原则小结.....	329
12	大规模集成.....	334
12—1	达到大规模集成的方法.....	334
12—2	选择布线.....	335
12—3	大规模集成的多单元方法.....	339
12—4	计算机辅助设计.....	341
12—5	大规模集成的技术方面.....	344
	名词解释.....	347

1 电子学的新纪元

在过去十年中，我们已经看到电子学的逐步发展，它突然引人注目地将我们带进了一个新的技术境界——这门技术对未来工业的影响将比本世纪初以来任何技术的发展或发明更大和更广泛——这就是众所周知的集成电路。

集成电路的最后形式完全无需采用像电阻器、电容器、晶体管等分立的电子元件来构成电子学电路的功能块。在这种半导体材料的小片内，其功能并不是这些元件中某一单个元件的功能，而是由若干完全互连起来的晶体管、电阻器、电容器和其他电子元件来完成通常包括许多完整的常用电路单元的复杂电路的任务。在这些很小的硅片内部或上面有极小的淀积或生长的材料层，它们虽然起着分立元件的作用，但它们之间是不可分割和不能调整的。因此，多级放大器、复杂的触发器和许多其他功能电路就成为整个电子设备的基本元件，所以现在工业中的每一个环节，从工程到服务、从设备生产到产品销售都正在感受到集成电路的影响。事实上，集成电路的概念正在把电子技术引向一个新的纪元。

1—1 工艺学

精确地说，什么是集成电路呢？目前电子工业界对其精确的定义尚未统一。集成电路正应用于各种器件领域，从多

年来熟知的家用无线电和电视接收机中的印刷电路，到已经提出但尚未发展起来的分子电子学形式都能应用。这种分子电子学形式，在将来完全有可能以一块半导体熔体，制得运算放大器甚至接收机。但是现在已经得到很大发展的更有实用意义的集成电路，是介于较老的且很受限制的技术和大有发展希望的技术这两个极端之间。

实际上，现在的集成电路概念是指与一般设计或制造方法不同的一类器件，它与通常的布线电路相比有一系列的优点。这些优点是：（1）大大地减小了体积和重量；（2）显著提高了可靠性；（3）大幅度地降低了成本；（4）改善了电路的性能。最后，集成电路通常系由紧密相连的部件组成，所以修理非常困难，在遇到故障时，如有可能可将整个电路像单个元件一样加以调换。

集成电路基本上有两大类——半导体单片集成电路和薄膜集成电路。每一类可以有不同的结构，从电路设计和应用的角度来看都各有利弊。但也有将两者结合起来的集成电路，即将薄膜元件阵列做在半导体集成电路上和将半导体集成电路做在薄膜网络上，这种电路可以把各种特性的单个元件结合成一种最实用的单个的复杂结构。现将目前最通用的结构和在不久的将来能实现的结构列如表 1—1 中，并在以下几节简要地叙述。

表 1—1 集成电路类型

基 本 种 类	变 种
半导体单片电路	多片（混合）电路
薄膜电路	单片混合电路
	相容单片电路
	绝缘衬底单片电路

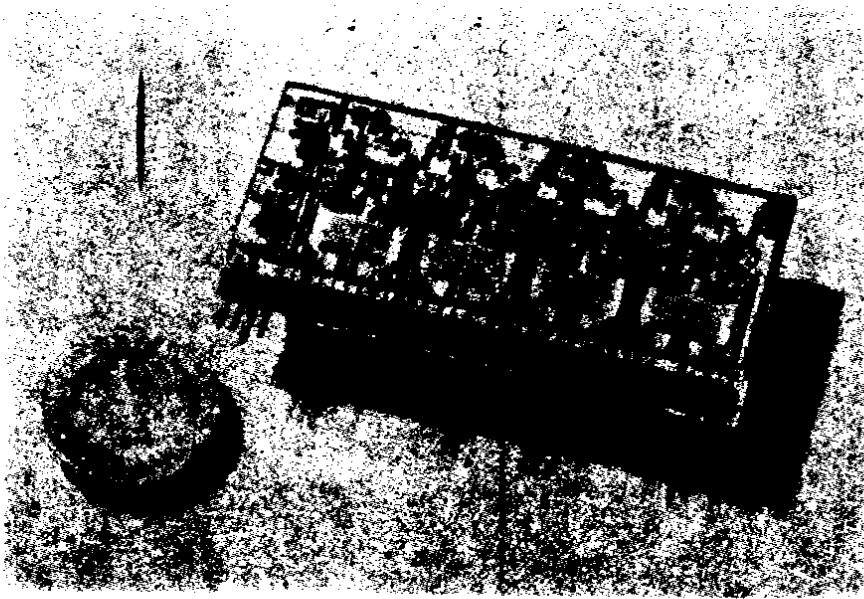
1 — 2 薄膜电路

一般的薄膜电路首先从做一种由玻璃、陶瓷等绝缘材料的基底结构（这基底以后称为衬底）着手。用诸如真空蒸发、溅射、丝网印制等各种方法将电路的无源元件（即电阻、电容）图形和金属化互连图形淀积在这种衬底上，金属化互连图形可使这些元件彼此连接并使其与完成功能电路所需的有源元件（即晶体管、二极管等）连接。这些有源元件分别装在薄膜图形上。典型的装置示于图 1—1。

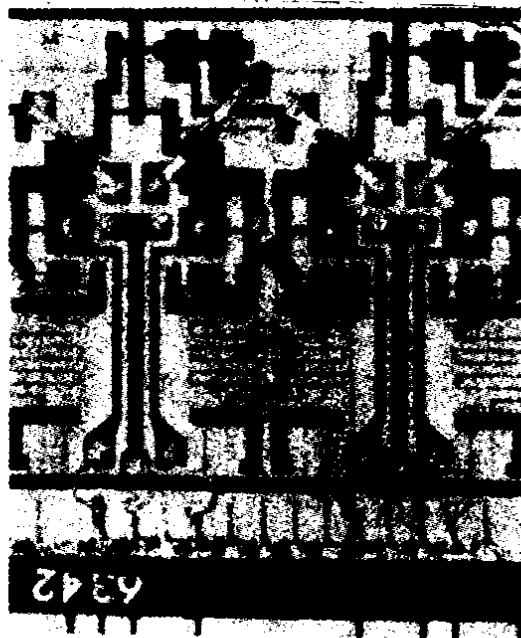
虽然，许多厂家正在研究用与淀积无源元件相容的工艺来淀积有源元件的方法，但目前仅报导了有限的成就，还没有一家能够解决生产问题。这是薄膜电路的主要缺点。所以，用现在的工艺，分立元件只好以分立的形式装在薄膜图形上。当然，这些分立元件非常小，装在整个器件上对其体积影响甚微，但是这要增加生产步骤，因而降低了成品率，增加了成本，并且影响了整个电路的可靠性。

然而，薄膜电路正在生产并且已用在市售设备和最近生产的新设备中。与全部用分立元件构成的普通电路相比，薄膜电路体积小，价格低，并且更可靠。与下面将要讨论的半导体单片电路相比，薄膜电路具有更大的灵活性，而且能够制造公差较精确的部件。再者，设计人员的培训也较简单。如果以薄膜方法相容地淀积有源元件和无源元件的工艺得到发展，那末薄膜电路的前途的确是很光明的。

但是，半导体集成电路工艺的发展远比薄膜电路迅速。最早的半导体网络的局限性已经在实验室中克服，并且新的技术正用于大量生产。这些新的技术采用薄膜工艺来补充基本



(A)



(B)

图 1—1, (A)典型的16进分频器薄膜电路。
(B)淀积在陶瓷衬底上的无源元件薄膜图形和以分立形式分别装在其上的微小型有源元件。

的半导体电路，这样就使其兼有两种工艺的最佳特点。半导体单片电路的成本低和便于大量生产构成了这种器件的主要优点。

1—3 半导体单片电路

基本的半导体集成电路是一种单片器件，即组成电路的所有元件不可分割地做在一块连续的材料上面或里面。见图 1—2。在现在的电路中，作为单片器件衬底的材料是硅。

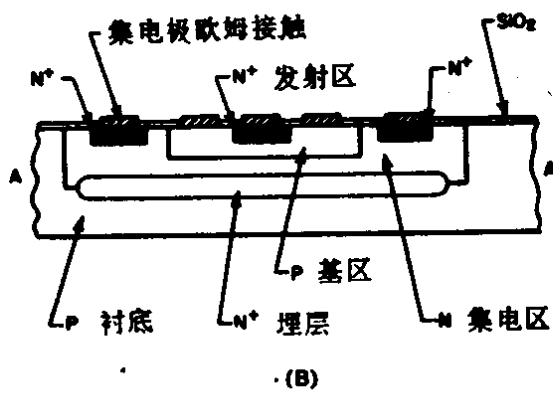
半导体单片集成电路与目前表面钝化的晶体管一样，是由连续的一系列的掩蔽扩散和氧化工艺制成的。在这种晶体管中，用适当掺杂的硅衬底作为晶体管的集电区。为了保护表面和作为下一步工艺的基础，在衬底上生长一层绝缘的二氧化硅层。然后在二氧化硅层中刻蚀窗孔，通过它可在集电区扩散相反导电类型的杂质以构成晶体管的基区。在暴露的基区上另外生长一层二氧化硅以后，再进行一次刻蚀和扩散，以形成发射区，从而完成晶体管结构。

半导体单片集成电路的制造与单个晶体管很相似（详细的制造步骤在第 5 章中叙述）。其主要区别在于，在衬底的一个区域进行基区和发射区扩散形成晶体管时，在同一衬底的另一区域通过扩散来同时形成电阻和电容。因此，只要以与制造单个晶体管完全相同的工艺，在相同的时间内就能在一块衬底中扩散整个电路的所有元件。集成电路所需的附加步骤是隔离工艺，它把衬底上的各个区域分开，以便在其中制造各种元件。

从应用的角度来看，基本的单片半导体集成电路是最理想的和最受限制的集成器件之一。说它特别理想是因为它在



(A)



(B)



(C)

图 1—2
(A)单片半导体集成电路结构详图。
(B)最流行的集成电路晶体管横截面图。
(C)典型集成电路的大致尺寸。