

厚薄膜混合集成电路 ——设计、制造和应用

郑福元 周立飞 虎轩东 编著

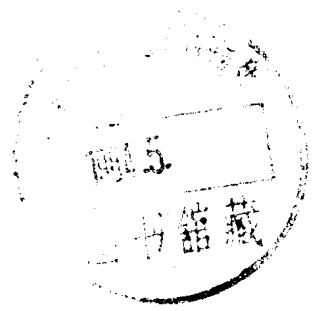
科学出版社

73.7553
818

厚薄膜混合集成电路

——设计、制造和应用

郑福元 周立飞 虎轩东 编著



科学出版社

1984

1111420

内 容 简 介

本书综合了近年来国内外混合集成电路的已有成就，并结合作者多年来从事该技术的实践经验撰写而成。全书共分十二章。内容包括厚薄膜混合集成电路的材料、元器件、成膜技术、调整技术、图形设计、电路制造、封装技术、可靠性分析及电路应用等方面。

本书可供研制和应用微型集成电路的科技人员、工科大院校电子类专业的师生及电子系统的专业干部阅读参考。

厚薄膜混合集成电路

——设计、制造和应用

郑福元 周立飞 虎轩东 编著

责任编辑 魏 玲

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

*

1984年4月第一版 开本：787×1092 1/16

1984年4月第一次印刷 印张：20 1/2

印数：0001—5,600 字数：474,000

统一书号：15031·563

本社书号：3513·15-7

定 价： 3.20 元

序 言

混合集成电路是微电子学的一个重要分支。二十多年来，我国混合集成电路的技术水平、生产规模有了很大发展和提高，应用也日趋普遍。为了适应我国微电子技术迅速发展的需要，更好地发挥混合集成技术的独特优点和重要作用，我们编写了《厚薄膜混合集成电路：设计、制造和应用》一书。本书主要介绍了混合集成电路的特点；膜式元件的设计、制造、工艺原理及主要材料；电路的组装、封装技术；混合电路的应用和可靠性等方面内容。希望本书能对从事混合集成电路的设计和试制，生产和教学，选用和安装等工作的有关人员有一定的参考价值，并希望它能对混合集成技术的交流起到抛砖引玉的作用。

我们在编写本书时，参考了自1972年以来全国历次混合集成电路技术交流、学术讨论会的主要技术资料，还参考了西安交通大学、成都电讯工程学院、西北电讯工程学院、天津大学等院校有关混合集成电路的讲义以及国内外混合集成电路方面的著作、论文、期刊，书中也包括了我们自己的工作。

本书的编写工作是在成都电讯工程学院曲喜新教授指导下进行的，曲教授不仅在理论和专业技术方面给予我们许多具体的指导和帮助，并对书稿进行了全面、细致的审阅，提出了许多具体的修改意见，使本书的撰写工作得以顺利完成。在此，谨向曲喜新教授表示衷心的感谢。

在确定本书编写大纲及主要内容时，曾得到西安交通大学陈国光教授的指导和帮助，1443研究所袁代泽同志、893厂胡志仁同志也提出了许多宝贵意见。在本书撰写过程中，还得到成都电讯工程学院黄书万同志、杨邦朝同志的指导和帮助。在撰写第十章初稿时，得到董乃骅同志的很多帮助。在撰写第二、四、五、七章过程中，得到陈椿芳、周璟同志的帮助。本书的全部图稿由俞梦素同志描绘。在此，仅对以上关心、指导、帮助本书编写工作的各位学者、专家和工程技术人员表示衷心的感谢。

在编写本书时，作了如下分工：郑福元同志编写了一、三、八、十章；周立飞同志编写了二、四、五、七章；虎轩东同志编写了六、九、十一、十二章。

由于作者水平有限，书中难免存在缺点、错误，殷切期望专家和广大读者批评指正。

作 者

1982年10月

目 录

序言	vi
第一章 概述	1
1.1 微电子技术发展概况	1
1.2 微电子技术的分类	2
1.2.1 小型电子封装结构	2
1.2.2 功能器件	3
1.2.3 集成电路	3
1.3 半导体集成电路与混合集成电路的比较	5
1.3.1 半导体集成电路	5
1.3.2 混合集成电路	6
1.3.3 半导体集成电路与混合集成电路的关系	8
1.4 集成电路对分立电子元器件的影响	9
1.5 混合集成电路的特殊问题	10
1.5.1 电路的内部连接	10
1.5.2 寄生效应	11
1.5.3 热集中问题	12
1.5.4 混合集成电路的噪声	12
1.5.5 电路设计与平面化转换	14
1.6 混合集成电路的基本工艺过程	14
第二章 薄膜元件与材料	16
2.1 基片	16
2.1.1 对基片的基本要求	16
2.1.2 薄膜电路基片的性能和种类	17
2.1.3 薄膜电路基片的清洗	21
2.2 薄膜导体	22
2.2.1 薄膜导体的功能和基本要求	22
2.2.2 薄膜导体的种类、性能及应用	23
2.2.3 薄膜导体的电阻率	26
2.3 薄膜电阻器	30
2.3.1 薄膜电阻器的主要参数	31
2.3.2 薄膜电阻材料和元件	34
2.4 薄膜电容器	44
2.4.1 薄膜电容器的主要参数	44
2.4.2 薄膜电容器材料和元件	45
第三章 厚膜元件与材料	52
3.1 电路基片	52

3.2	厚膜导体	53
3.2.1	厚膜银导体的性能和应用	54
3.2.2	贵金属导体的特性和应用	55
3.2.3	贱金属导体的特性和应用	58
3.2.4	厚膜导体的组成及附着机理	60
3.3	厚膜电阻	61
3.3.1	厚膜电阻的特点	62
3.3.2	厚膜玻璃釉电阻	63
3.3.3	导电相浓度对玻璃釉电阻性能的影响	66
3.3.4	玻璃釉电阻的导电机理	68
3.3.5	电阻材料颗粒度对电阻性能的影响	73
3.3.6	玻璃釉电阻的噪声	74
3.3.7	钡-银玻璃釉电阻	76
3.3.8	钕系玻璃釉电阻	78
3.3.9	铂族贵金属玻璃釉电阻	83
3.3.10	二氧化钼玻璃釉电阻	84
3.3.11	二硅化钼玻璃釉电阻	85
3.4	厚膜电容	86
3.4.1	厚膜电容的基本结构	87
3.4.2	厚膜电容的基本结构材料	88
3.5	厚膜交叉绝缘材料	91
3.5.1	交叉布线的基本结构和要求	91
3.5.2	交叉绝缘材料的种类、特性和组成	92
3.6	厚膜电感	94
第四章	厚薄膜混合集成电路的外贴元器件	96
4.1	外贴无源元件	97
4.2	外贴有源器件	101
第五章	厚薄膜混合集成电路的平面图案设计	106
5.1	电路的平面转换	106
5.2	膜式电阻器的设计	107
5.3	膜式电容器的设计	113
5.4	膜式电感器的设计	116
5.5	互连线和焊接区的设计	117
5.6	平面设计及其实例	119
第六章	厚薄膜混合集成电路的热设计	121
6.1	混合集成电路的热传递方式及热阻分析	121
6.1.1	热传递方式	121
6.1.2	混合集成电路的热分析	124
6.2	混合集成电路内热阻的计算	126
6.2.1	45° 扩散法	126
6.2.2	解析法	129

6.2.3	混合集成电路的瞬态热阻分析	133
6.2.4	减小混合集成电路内热阻的途径	136
6.3	混合集成电路外热阻的计算	137
6.4	功率混合集成电路散热结构的设计	140
6.4.1	混合集成电路散热结构设计规则	140
6.4.2	功率管的几种典型传热结构	141
6.5	功率混合集成电路外配散热器的设计	146
6.5.1	接触热阻	146
6.5.2	散热器	147
6.5.3	平板散热器与型材散热器	148
6.6	混合集成电路的热检测	150
6.6.1	晶体管热阻测试法	150
6.6.2	采用 QR ₁ 型大功率晶体管热阻测试仪测量热阻	154
6.6.3	采用红外线显微热阻测试仪测量热阻	155
6.6.4	热敏涂料测试法	157
第七章	薄膜无源网络的制造	158
7.1	掩模制造和蚀刻技术	158
7.1.1	原图制备	159
7.1.2	照相制版(光刻掩模)	159
7.1.3	机械掩模	161
7.1.4	光刻	166
7.2	成膜技术	168
7.2.1	成膜机理	168
7.2.2	成膜工艺	173
7.3	成膜过程中的监控	189
7.3.1	膜厚分布	190
7.3.2	成膜的监控	194
7.4	薄膜元件的调整	199
7.4.1	薄膜电阻调整	199
7.4.2	薄膜电容调整	206
7.5	薄膜元件的热处理	207
7.5.1	热处理效应	207
7.5.2	热处理效应对薄膜元件性能的影响	208
第八章	厚膜无源网络的制造	210
8.1	概述	210
8.2	厚膜元件制造中的丝网印刷	212
8.2.1	丝网印刷的原理及工艺准备	212
8.2.2	厚膜浆料的结构、特性和制备	215
8.2.3	丝网印刷的基本方法及设备	218
8.2.4	影响网印质量的工艺参数及其控制	220
8.2.5	丝网印刷膜厚度的计算	221

8.3	厚膜元件的烧结	223
8.3.1	烧结原理	223
8.3.2	烧结的基本工艺过程	225
8.3.3	厚膜元件的烧结工艺参数	227
8.3.4	烧结设备	229
8.4	厚膜元件的参数调整	230
第九章	厚薄膜混合集成电路的组装	233
9.1	元器件准备	233
9.1.1	元器件的选择	233
9.1.2	工艺筛选	236
9.2	电路互连	241
9.2.1	合金键合	243
9.2.2	固相键合	247
9.2.3	共熔焊接	252
9.2.4	导电胶粘合	253
9.3	功率混合集成电路的组装	254
9.3.1	陶瓷金属化	254
9.3.2	功率混合集成电路的焊接	257
第十章	厚薄膜混合集成电路的封装	266
10.1	封装概述	266
10.1.1	封装的功能与要求	266
10.1.2	封装结构的种类	266
10.2	密封及其方法	270
10.2.1	密封的检验	270
10.2.2	密封的方法	273
10.3	塑料封装	278
10.3.1	塑料封装的方法	279
10.3.2	塑料封装材料	280
10.4	封装类型的选择	283
第十一章	厚薄膜混合集成电路的可靠性	284
11.1	厚薄膜混合集成电路可靠性的预测方法	284
11.1.1	K系数法	284
11.1.2	π 系数法	284
11.1.3	分布估测法	286
11.2	厚膜混合集成电路可靠性预测模型	287
11.2.1	可靠性初步分析模型	287
11.2.2	厚膜混合集成电路失效率的评价程序	289
11.3	厚薄膜混合集成电路的失效分析	292
11.3.1	厚膜混合集成电路的失效模式和失效机理	292
11.3.2	薄膜混合集成电路的失效模式和失效机理	295

第十二章 厚薄膜混合集成电路的应用	299
12.1 厚膜混合集成电路的应用	299
12.1.1 在医疗卫生方面的应用	299
12.1.2 在照相技术中的应用	302
12.1.3 在电视机上的应用	304
12.1.4 在计数器装置上的应用	305
12.1.5 多层布线与超大规模集成电路	307
12.2 薄膜混合集成电路的应用	308
12.2.1 在计算机上的应用	308
12.2.2 在热印字机上的应用	310
12.3 功率混合集成电路的应用	313
12.3.1 厚膜混合集成稳压电源电路	313
12.3.2 厚膜混合集成功率放大器电路	316
12.3.3 厚膜混合集成电压调整器电路	318

第一章 概 述

由于混合集成电路是微电子学的一个重要分支，因此本章首先简要介绍微电子技术的发展、分类以及各类微型电路的特点，然后对混合集成电路的基本概念和特性进行重点讨论。

1.1 微电子技术发展概况

众所周知，本世纪内，电子技术的发展已经历了四个主要阶段(通常称为四代)。

本世纪初发明了利用阴极热电子发射现象的电子管。利用电子管和其他各种无源电子元件组成的电子电路实现了电信号的发生、放大、调制、检波等各种功能。这种以电子管为基本有源器件的电子电路和电子设备为电子学的发展奠定了基础，这就是电子技术发展的第一代。

本世纪四十年代，随着电子设备和系统的日益复杂化，对电子装备缩小体积、减轻重量、降低功耗、提高可靠性、延长寿命的要求日益迫切，促使人们去寻求新的途径，利用新的效应和发现新的工作原理，研制新的电子元器件。这时，半导体物理及其工艺、材料方面的研究取得了重大突破。1948年发明了晶体管，并相继出现了许多小型无源元件(如小型电阻、电容、电感、继电器、开关等)。由晶体管和小型无源元件组成的晶体管电路在很大程度上满足了电子设备日益复杂化所提出的一系列要求，使电子技术进入了一个新的发展阶段。这就是电子技术发展的第二代。

继晶体管的发明和应用之后，人们于1952年又提出了集成电路的设想，并于1959年，研制成功第一块硅集成电路。同时，由于膜式无源元件制造技术的发展和运用，各种混合集成电路也相继出现。集成电路的出现和应用，使电子设备和系统在晶体管电路的基础上进一步小型化、轻量化、高可靠，并更适应于在高频、高速电路中工作，从而使电子技术进入了第三代。

由于近代科学技术的迅速发展，对电子设备、系统的复杂程度与组装密度的要求愈来愈高，因此对集成电路的集成度、可靠性等提出了更高的要求。为适应这些需要，于1964年人们提出了大规模集成电路的设想和概念，并很快于1966年研制成功大规模集成电路。大规模集成电路在提高集成度、可靠性、工作频率和电路工作速度等技术性能方面的一系列重大成就，使电子设备和电子系统出现了崭新的面貌，从而使电子技术的发展进入了第四代。

与其他科学技术一样，电子学的发展是无止境的。大规模集成电路的出现并非电子技术发展的终点。目前国际上各种超大规模集成电路、功能器件正在不断出现并被广泛应用，这些都推动着电子技术向更新的阶段发展。

综上所述，从第一只电子管的发明至今，电子技术的发展至少已经历四代，而直到现在仍在日新月异地向前发展。从第二代之后，电子技术即逐步进入微电子技术的发展阶

段。微电子技术是设计和制造微型电子元器件和电路,并用它们构成各种电子装置,实现电子系统微型化的技术总称。在电子技术第二代之后出现了一个过渡阶段,此阶段出现了小型电子封装结构,微电子技术的內容虽然也包括这个过渡阶段中的部分技术和产品,但主要是研究第三代和第三代之后各阶段的电子技术和产品。即集成电路和更高阶段的技术和产品。

1.2 微电子技术的分类

由于微电子技术这门学科建立的时间较短,而其发展又十分迅速,因此目前国内外各种书籍、文献对于微电子技术的分类尚不统一。本书根据现阶段和近期发展的估计,依据电子电路的基本结构和工艺特征作出分类(图 1.1),给出各种技术名称和基本概念。

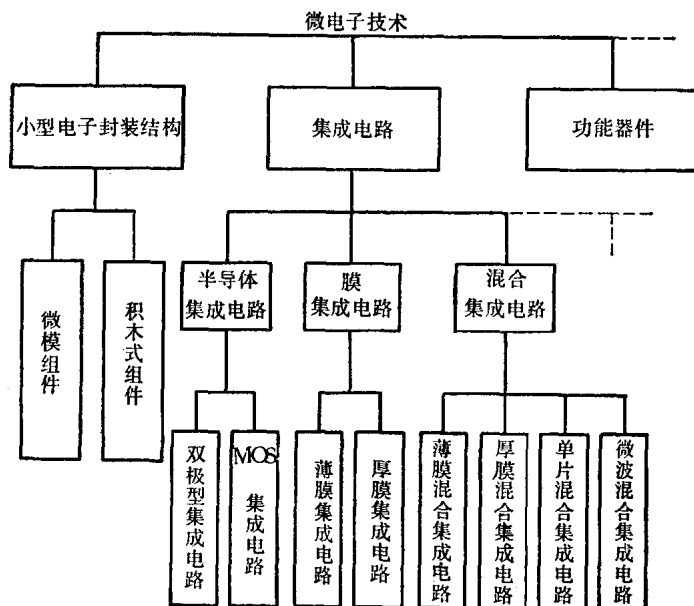


图 1.1 微电子技术的分类

1.2.1 小型电子封装结构

小型电子封装结构由小型分立元器件组成,按结构特点可分为微模组件和积木式组件两类。

1. 微模组件

将微小型电子元器件作成统一形状和尺寸,并按规定的尺寸和比例进行高密度组装所构成的,具有一定电路功能的小型组合件,称为微模组件。“模”的概念是从建筑学中引进的,主要是指微模组件的长、宽、高是成一定比例的,即具有一定的模式之意。

2. 积木式组件

积木式组件是指由形状和尺寸不是完全统一的各种小型分立元器件组成的,具有一定电路功能的小型组合件。这种封装结构的长、宽、高不成一定的比例,因此不能称为微模组件。

1.2.2 功能器件

功能器件是指应用诸如电子、离子、光子、分子、声子的物理效应制成的具有复杂电路功能的电子器件。这种功能器件仅仅在功能方面可以和某种电子电路相等效,而在结构上找不出与其等效电路一一对应的电子元器件,因此在功能器件中不能应用一般电子电路(包括集成电路)的有关概念和理论来进行电路或电子元器件的设计、制造、测试和应用。未来电子学的很多方面,功能器件将可以发挥其独特优点,例如可以作成各种能量转换器,进行热、电、光之间的相互转换、耦合、调制;可应用于仿生学中等等。完全可以相信功能器件的应用将在提高可靠性、缩小体积、轻量化和提高效能方面对电子技术产生根本性的影响。

1.2.3 集成电路

集成电路是指组成电路的有源器件、无源元件及其互连线一起制作在半导体衬底上或绝缘基片上,形成结构上紧密联系的、内部相关的整体电子电路。它可分为半导体集成电路、膜集成电路、混合集成电路三个主要分支。

1. 半导体集成电路

半导体集成电路是指用外延、氧化、光刻、扩散以及离子注入等半导体工艺将电子元器件一起制作在半导体衬底上,并用PN结或介质生长法进行隔离,用金属蒸发进行互连所构成的集成电路。

2. 膜集成电路

膜集成电路即指构成电路的电子元器件,以膜的形式淀积在绝缘基片上所形成的全膜化电路。它又可分为厚膜集成电路和薄膜集成电路两类。

厚膜集成电路

厚膜集成电路是指采用丝网漏印、高温烧结成膜、等离子喷涂等厚膜技术,将组成电路的电子元器件(导电带、电阻、电容、电感,二极管、晶体管等)以膜的形式制作在绝缘基片上所构成的集成电路。因为厚膜元器件的膜厚一般为几微米至几十微米,与薄膜元器件相比,厚度较厚,因此称为厚膜集成电路。

薄膜集成电路

薄膜集成电路是指用真空蒸发、溅射、光刻为基本工艺的薄膜技术,将组成电路的电子元器件,以膜的形式制作在绝缘基片上所构成的集成电路。由于薄膜元器件的膜厚一

一般为 1 微米以下,相比之下较薄,故称为薄膜集成电路。

虽然厚、薄膜集成电路的名称来源于膜层厚度,但两者的根本区别仍在于工艺和材料,而不在于厚度。因为不同的工艺和材料才是它们具有不同技术特性的真正原因,就连厚度不同,也是因工艺和材料不同而造成的。工艺上,它们的最大特征在于:厚膜技术是一种非真空成膜技术;薄膜技术是真空成膜技术。

3. 混合集成电路

虽然厚、薄膜技术在制造无源元件方面已十分成熟,但迄今为止,仍不能大量生产出质量稳定的有源器件,因此全膜化问题,无论厚膜还是薄膜均未真正解决。全膜化的膜集成电路尚需解决许多技术关键,改进性能,提高质量,降低价格,才能付诸实用。另一方面半导体技术在有源器件制造方面虽已非常成熟,然而至今尚不能制造出性能优良的精密无源元件。因此把两者的优点结合起来形成的混合集成电路就能在很多方面满足电子设备的需要。这就是近年来混合集成电路在广阔范围内仍在不断发展和日益完善的重要原因。

综上所述,混合集成电路就是采用混合技术制造的集成电路。它是将膜集成技术制造的无源元件与半导体技术制造的有源器件(包括半导体集成电路芯片)采用灵活的组装技术组装在绝缘基片(也可以是半导体衬底上)上所形成的集成电路。

混合集成电路又可以分为单片混合集成电路、厚膜混合集成电路、薄膜混合集成电路、微波混合集成电路四类。

单片混合集成电路

首先在半导体衬底上,用半导体工艺制造全部有源器件和部分性能要求不高的无源元件。然后用薄膜技术再在此衬底上制造必要的、性能有特殊要求的无源元件,并将它们互连起来所形成的集成电路,称为单片混合集成电路。也称单片兼容集成电路。

厚膜混合集成电路

在绝缘基片上(通常是陶瓷和玻璃)用厚膜技术制造各种无源元件和互连线,并采用厚膜组装技术组装上半导体有源器件(包括半导体集成电路芯片)以及有特殊要求的无源元件所组成的集成电路,称为厚膜混合集成电路。

薄膜混合集成电路

在绝缘基片上(通常是陶瓷和玻璃,特殊要求时可用蓝宝石等)采用薄膜技术制作各种无源元件和互连线,并用薄膜组装技术组装上半导体有源器件(包括集成电路芯片)以及有特殊要求的无源元件所组成的集成电路,称为薄膜混合集成电路。

微波混合集成电路

微波混合集成电路是指工作频率从 300 兆赫—100 千兆赫的混合集成电路。根据电路设计原则,可分为分布参数微波混合集成电路和集总参数微波混合集成电路两类。

分布参数微波混合集成电路采用厚、薄膜工艺在绝缘基片上先制作各种分布参数微波元件(微带线),再用混合集成组装技术,组装上半导体微波器件所组成的微波集成电路,称分布参数微波混合集成电路。通常其工作频率在 1 千兆赫以上,其中薄膜微波混合集成电路的工作频率比厚膜高得多。

集总参数微波混合集成电路采用厚、薄膜工艺在绝缘基片上制作各种集总参数微波

元件,再用混合集成组装技术,组装上半导体微波器件所组成的微波集成电路,称集总参数微波混合集成电路。

所谓“集总”就是指元件的参数不随频率而变化。这时电磁波在整个元件上没有相移。要使元件在某一频率下保持“集总”特性,元件的几何尺寸必须远远小于该频率的波长,一般约为波长的 $1/16$ — $1/10$ 。目前薄膜集总参数微波集成电路在 1 — 12 千兆赫已具有优良的性能。厚膜集总参数微波混合集成电路主要是作频率在 1 千兆赫以下的电路,但最高频率也可作到 4 千兆赫。

由于微波混合集成电路有专门的著作进行论述,因此,本书除在此提出初步概念之外,不再进行其他介绍。

除了上述类别之外,目前还有一种称为“二次集成电路”的混合集成电路。这种集成电路主要是在作有厚膜或薄膜无源网络的绝缘基片上,组装上多个半导体集成电路芯片所形成的混合集成电路。在这类电路中,膜集成技术通常是制作精细的互连线,交叉连线和多层布线,以及某些无源元件,然后组装上半导体集成电路芯片所形成的规模更大的,功能更为复杂的混合集成电路。“二次集成电路”本身的含义就是将已集成化的电路“再集成”。虽然称“二次集成”,但并非只限于集成二次,也包括了进行多次集成的含义。

1.3 半导体集成电路与混合集成电路的比较

由于迄今尚不能得到实用的全膜化集成电路,因此本文着重对混合集成电路进行讨论。为了说明问题,引进半导体集成电路的有关部分进行对比。对于混合集成电路中的单片混合集成电路,因其主体部分是半导体集成电路芯片,故在此不作讨论。而单片混合集成电路中的薄膜工艺部分,以及二次集成电路的有关内容,均可包含在厚、薄膜混合集成电路之中,因此也不进行单独讨论。

1.3.1 半导体集成电路

半导体技术是本世纪中期迅速发展起来的一门新技术。继 1948 年点接触晶体管发明之后,又发现了半导体的许多独特优点,从而引起人们对它的广泛重视。在随后短短的几十年中,各种类型的晶体管相继出现。 1959 — 1960 年硅平面工艺和外延技术的出现,是半导体制造技术取得的又一次重大进展。第一块半导体集成电路虽然于 1959 年问世,但只有当它真正采用先进的平面、外延工艺之后,才开始了其蓬勃发展的历史。

半导体集成电路由于采用平面工艺制成,因此具有可靠性高、集成度高、元器件的一致性好、生产效率高、成本低、适合于大批量生产等优点。

由于具有这些优点,半导体集成电路问世以来发展非常迅速,特别是 1966 年半导体大规模集成电路的出现,更显示出其强大的生命力。目前半导体集成电路正在各种电子设备中得到日益广泛的应用,从而成为微电学的主流。预计不久,在攻克一系列技术难关之后,半导体集成电路在集成规模上和各项技术特性上还会不断出现更多重大突破。

另一方面,由于半导体集成电路所用材料和工艺的局限性,也存在着许多难以克服的缺点。其主要缺点是:

(1) 难以制造出精度高、稳定性好、参数范围宽、性能优良的无源元件(例如精度高于 5% 的、阻值很低或很高的以及功率很大的电阻;精度高于 10%、容量大于 500 微微法的电容;电感器更是难以制造)。

(2) 难以把各种不同类型的、性能差异很大的元器件集成在同一衬底上。也难以在外贴组装上各种具有特殊性能的元器件。因此很难制成各种多功能的复杂的模拟电路。

(3) 由于半导体衬底的绝缘性能等电特性不如陶瓷、玻璃、蓝宝石等绝缘基片,因此其元器件之间的隔离不够完善,而造成寄生效应大。这样就会使电路在极高工作频率或速度下难以稳定地工作。难以制造大功率、大电流、耐高压等各种有特殊要求的电路。

(4) 从生产效率和经济效益方面考虑,由于半导体集成电路的设计周期长,工艺装备复杂,因此,不适应灵活的多品种小批量生产。设计工艺一旦确定,很难进行中间更改和补充。因此它不适合生产各种非标准专用集成电路。

1.3.2 混合集成电路

混合集成电路是膜集成技术与半导体技术互相结合的产物。其中厚膜集成技术和薄膜集成技术以及混合组装技术是混合集成电路的基础。

厚膜工艺实际上已有悠久的历史,某些厚膜材料和工艺的应用可以追溯到一百年以前。例如,当时为装饰目的,已将由氯化金和树脂组成的称之为树脂酸盐的有机金属化合物印刷在陶瓷或玻璃餐具上,烧成美观的美术图案。其配方与现在的树脂酸盐相差不多。1950 年国外出现了网印电阻、电容片,这实际上就是厚膜混合集成电路的雏型。由于当时所制造出的这种电阻、电容网络误差大、不稳定、元件易老化、参数漂移严重,故在工业和军事设备中很少应用。直到 1960 年对电阻和导电带的浆料配方和工艺进行了较根本的改进,使印刷烧结后的厚膜元件性能优良稳定,厚膜混合集成电路才开始获得较快的发展。1964 年以后发展更快,制造技术日趋完善,并且进入了大量应用的成熟阶段。目前,厚膜混合集成电路已成为集成电路的一个重要分支。

用以制作薄膜混合集成电路的基本工艺是以真空淀积为主的薄膜工艺,这种工艺也有较长的历史了。例如,人们早就利用真空淀积工艺制造金属化纸介电容器和金属化有机薄膜电容器。又如利用真空蒸发半导体材料“硒”作整流元件等等。五十年代末期,人们开始研究在绝缘基片上制作薄膜电阻、电容、电感等无源元件,组成无源网络。国外 1957 年研制成功最初的薄膜无源网络。随后又经过大量的设计、工艺、技术设备方面的改进,使各种薄膜元件质量不断提高和稳定,组装技术日益完善。此后,具有独立电路功能的薄膜混合集成电路发展很快,1962 年国外建立了大批量生产的自动线。目前国际上已进入成熟阶段,并在电子设备、电子系统中获得广泛应用,从而成为集成电路中的又一重要分支。

与半导体集成电路相比,混合集成电路具有如下特点。

主要优点:

(1) 无源元件参数范围宽、精度高、稳定性好、可调性好(如表 1.1 所示)。

(2) 高频特性好,适于制作在极高频率和极高速下工作的电路。这是因为厚、薄膜混合集成电路是在电性能优良的绝缘基片上制作各种无源元件,采用电性能十分理想的

表 1.1 半导体集成与混合集成无源元件性能对比

元 器 件	IC 种 类 数 值 范 围	混 合 IC		半 导 体 IC
		厚膜混合 IC	薄膜混合 IC	
电 阻	阻值范围	0.5Ω—10MΩ	几Ω—1MΩ	50Ω—30kΩ
	精 度	可达 0.2%	可达 0.01%	10—30%
	TCR(ppm/°C)	可达 ±50	可达 ±10	500—3000
	允许功率 (W/cm²)	54	4	2
	阻值稳定性	0.3%	0.1%	
	阻值可调性	易	易	难
电 容	容量范围	几十pf—1μf	几十pf—2.2μf	几十pf—500pf
	精 度	10%	1—10%	10—20%
	TCC(ppm/°C)	100—1000	50—500	
	容量可调性	较 难	较 易	难
电 感	电感量 (μH)	0.05—1.5	0.001—1	不能制作
	品质因数 (Q)	28—60	50—100	
	可调性	可微调	可微调	

材料制作多层布线和交叉布线的介质,使元器件之间的绝缘隔离十分完善可靠,寄生效应很小,因此可以较容易地制成极高频率和速度下工作的电路。

(3) 易于制得高压、大电流、大功率电路。这是因为混合集成电路可以采用导热良好的绝缘材料作基片,可灵活选用耐高温材料制作大电流、大功率、耐高压的膜式无源元件,可灵活选用性能最佳的大功率有源器件组装到厚膜无源网络上,因此就易于制成各种能在高电压、大电流、大功率下稳定工作的电路。

(4) 具有高度灵活的组装技术。混合集成电路能根据实用的需要,将各种不同类型的,性能优良的有源器件、无源元件相容地组装在一起,形成各种复杂的,功能完善的混合集成电路。

(5) 能制精细互连线,交叉布线,多层布线。

(6) 抗辐射性能好。

(7) 抗干扰性能好。

(8) 设计灵活,能直接根据分立元件电路的设计数据和要求制成混合集成电路。即当需要将分立元件电路改成混合集成电路时,在电路设计、元件参数选择上均无需作重大的更改。因而就具有设计、试制、生产周期短,投资少,见效快的优点,能适应多品种小批量生产。

当然,由于混合集成电路本身结构和工艺上的缺陷,因此与半导体集成电路相比也存在如下主要缺点:

(1) 集成度低。

(2) 由于混合集成电路的组装焊点比半导体集成电路多,因此可靠性较低。

(3) 对于标准化的大批量生产的电路,混合集成技术不如半导体集成技术生产效率高。

1.3.3 半导体集成电路与混合集成电路的关系

半导体集成电路与混合集成电路都各有所长,也各有所短,因此,其中任何一种集成电路都很难全面满足电子技术领域中的各种不同要求。在很多实际应用中,往往需要几种集成电路互相配合起来,充分发挥各自特长,才能较好地满足各种电子设备的技术要求。因此在半导体集成电路与混合集成电路这两个微电子学分支之间不应是互相取代的关系,而应该在设计工艺方面相互借鉴,取长补短,互相渗透,互相促进,共同发展。在应用方面应该紧密配合,互为补充。在设计整机时也应避免千篇一律地单一选用一种集成电路,而应根据电子设备各部分的实际要求,合理地选用集成电路中最适合的品种。以达到即充分发挥这些集成电路的优特点,又使电子设备获得最佳经济技术效果。

半导体集成电路与混合集成电路的分工可从以下两个方面考虑。

从生产效率、设计试制周期方面和经济效果方面考虑:半导体集成技术适合于生产批量大的标准电路;而混合集成电路除了适合生产标准通用电路之外,也适合生产批量小的非标准特殊电路。厚膜混合集成电路还应注意发展大量普及的低成本模拟混合集成电路。

从技术性能特点方面考虑,半导体集成电路主要是生产和发展以电子计算机,数字控制系统为主要对象的数字电路。以及对无源元件要求不高的线性电路。

混合集成电路则应着重生产和发展如下电路:

(1) 对无源元件性能要求高、参数范围宽或者无源元件数量品种很多的线性电路以及数-模转换电路(即 D/A、A/D 转换电路)。

(2) 电压高、电流大、功率大的电路。

(3) 微波混合集成电路和高速电路。

(4) 采用细线工艺、多层布线、交叉布线混合组装技术的二次集成电路或复杂功能的混合集成电路。(随着半导体大规模集成电路的出现和发展,采用二次集成电路可形成规模更大的混合大规模、超大规模集成电路。)

(5) 抗干扰、抗辐射等特殊电路。

在混合集成电路中,厚膜混合集成电路与薄膜混合集成电路也应合理分工,各有重点地进行发展。

厚膜混合集成电路的发展重点是:

(1) 高压、大电流、大功率、耐高温混合集成电路。

(2) 采用多层布线技术制作的多功能混合二次集成电路(重点发展五层以上)。

(3) 较低频段的微波集成电路(1—4 千兆)。

(4) 要求无源元件参数范围极宽的特殊电路。

(5) 平面显示、厚膜开关等特殊厚膜器件。

(6) 发展大量普及的低成本的民用模拟混合集成电路。

薄膜混合集成电路的发展重点是: