

Hybrid
Circuit Design
and
Manufacture

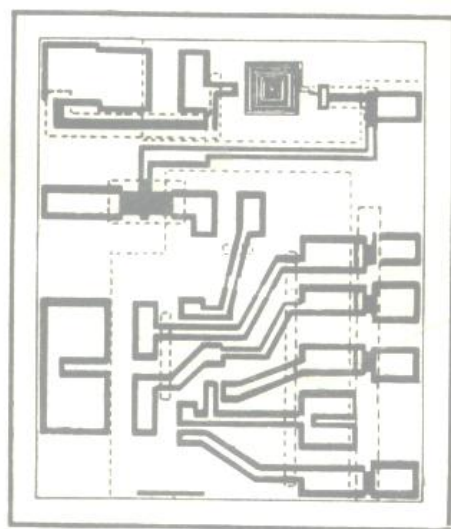
Roych D. Jones

混合电路的
设计与制造

〔美〕 R.D.琼斯 著

杨其眉 译

曲喜新 校



电子工业出版社

73.1550
653

混合电路的设计与制造

〔美〕 R. D. 琼斯 著

杨其眉 译

曲喜新 校

电子工业出版社

内 容 简 介

本书主要介绍厚膜与薄膜两种混合电路的基片材料和性能、设计原则、制造工艺、激光微调、组装技术、热设计、电路划分和可靠性等。内容较新，实用性强，适合于混合电路研制和生产的科技人员、电子工程技术人员及有关管理人员阅读。

Hybrid Circuit Design and Manufacture

Roydn D. Jones

MARCEL DEKKER INC. 1982

混合电路 的设计与制造

〔美〕 R. D. 琼斯 著

杨其眉 译

曲喜新 校

责任编辑 邓又强

*

电子工业出版社出版（北京市万寿路）

电子外文印刷厂印刷

新华书店北京发行所发行 各地新华书店经售

*

开本：787 × 1092 ¹/₃₂ 印张：6.625 字数：147.4 千字

1987年2月第1版 1987年2月第1次印刷

印数：3500 册 定价：1.40 元

统一书号：15290 · 220

译 者 的 话

厚薄膜混合集成电路是微电子技术中不可缺少的一个分支。它与半导体集成电路相比,具有元件参数范围广、精度和稳定性高、电路设计灵活性大、研制生产周期短、适合于多品种小批量生产等特点。随着微电子技术的发展,混合电路的应用开发在我国取得了很大的进展。近年来利用多层布线和高密度组装技术,将集成电路芯片、膜式元件和特种器件二次集成为大规模多功能的混合集成电路。因此,它除了在一般民用电子产品中得到广泛应用外,还特别适用于高频、微波和精密电路。

本书是由国际混合微电子学会发起编写的。书中主要讨论厚薄膜混合集成电路的材料、工艺、设计原则及可靠性等。篇幅虽然不多,但内容较新、比较实用,是从事混合电路研制和生产的科技人员、电子工程技术人员的参考书。另外,本书作者对各种工艺技术和材料、设备都从经济的观点进行分析和评价,给出成本费用和价格。因此,对有关的经济技术管理干部也有很好的参考价值。

原书后面附有较多的名词解释,其中大部分是一般的技術名词。为节约篇幅,我们只翻译了小部分与本书内容密切相关的,有助于理解书中技术内容的词条。

由于译者水平有限,错误难免,敬请读者批评指正。

序 言

国际混合微电子学会 (ISHM) 乐于倡导出版“混合电路的设计与制造”这本书。从1967年本学会成立以来, 一直把组织技术情报交流作为它的主要宗旨之一。在过去的年份里, 各地分会组织的学术会议、年会和出版的技术杂志等, 都是为了这一目的。由于混合微电路技术仍在继续发展, 应用在不断扩大, 所以急需一些带指导性的教科书。虽然现代流行在期刊和会议录上发表单篇性的技术论文, 但我们认为仍然需要定期地将这些资料加以整理和归纳, 以扬弃过时的内容。因此本会也积极倡导编辑出版教科书。

混合微电路技术已经达到成熟阶段, 有条件出版教科书了。但是, 对于那些不久前还预言这一技术将被淘汰的人来说, 这无疑是令人吃惊的。为了适应半导体单片集成和封装的需要, 建立起了混合电路专业。那么, 为什么在半导体单片集成度越来越大, 有越来越复杂的单片可以代替单个混合电路功能的时候, 这个专业能够坚持发展下去呢? 显然是因为需要不断地将这些越来越复杂的半导体单片集成到更高一级的层次中去, 即集成到系统组织中去。事实上, 混合技术的发展早已超越了它最初的仅仅是把无源和有源器件相互连接起来的状况 (混合的定义), 它已经在微电子组装领域中发挥其独有的特长。这种组装技术有两个特点是需要注意的: 混合微电路变得越来越复杂; 它们的应用实际上正在向着更

高级的组件发展，如代替整个印刷电路板。

混合电路的基本技术包括微电子器件的互连和封装所用的材料及工艺。在这本书中，作者罗伊登·琼斯 (Roydn Jones) 对这些基本技术作了非常详细的叙述，因而它是一本多用途的教材。本书虽然主要是为混合微电路设计人员编写的，但是它也可以作为一种工程教材。它对管理领导人员也是有用的，因为它还提供了有关可靠性和生产方面的知识。

国际混合微电子学会 (ISHM) 感谢本书的作者和出版者，因为它们促进了混合微电子学的技术交流。

理查德·P·希梅尔

(Richard P·Himmel)

国际混合微电子学会技术副理事长

前 言

混合技术涉及许多学科的知识,其中包括材料科学、陶瓷工艺、物理学、化学以及电子工程。本书主要是为电子工程设计人员和管理人员提供一些混合技术的基础知识。此书不同于混合技术领域中的许多其他著作,因为它同时介绍厚膜和薄膜混合电路。

绪论一章从电性能和经济性方面,将混合技术与分立元件和集成电路技术加以比较。第2章介绍了用于厚膜和薄膜的基片材料。第3章至第6章讲述厚膜和薄膜材料及设计原则。

激光微调是制造精密混合电路的一项关键技术,在第7章里加以介绍,包括设计典型的微调几何形状的图形。

第8章讲混合组装技术,包括概述可以选用的器件、焊接技术、芯片和引线的连接以及梁式引线导带的自动焊接。

生产和质量保障在第9章中介绍。第10章从理论上讲述热设计问题。

第11章和第12章叙述混合电路的划分和整个混合电路的设计周期,并对厚膜和薄膜的典型性能及应用进行了比较。

最后一章讨论混合电路的可靠性问题。显然,对任何技术来说,这都是一个非常重要的问题。

我愿借此机会向许多对本书做出一定贡献的同事们表示感谢。我特别要感谢兰斯·米尔(Lance Mill),他是我在

亥乌来提-帕克得(Hewlett-Packard)学习薄膜混合电路方面的第一位引路人。在那里,鲍勃·科克利 (Bob Coackley) 在我随后学习混合电路知识方面给予了充分的信任;在台克阅尼克 (Textronix),鲍勃·霍尔姆斯 (Bob Holmes) 几年来对我进行鼓励,而阿特·西曼 (Art Seidmain)是最初建议我从事这项工作的人。最后,我非常感谢我的夫人阿塞尔 (Ursel),她帮助和支持我从事这一事业,特别是为我打印手稿。

罗伊登·D·琼斯
(Roydn D·Jones).

目 录

第 1 章 混合电路概述	(1)
1.1 概述.....	(1)
1.2 什么是混合微电路.....	(1)
1.3 为什么要实行混合.....	(3)
1.4 混合电路用在哪里.....	(4)
1.5 与分立元件电路和单片集成技术的比较.....	(5)
1.6 混合电路用的成膜技术.....	(7)
第 2 章 基片材料和性能	(10)
2.1 基片性能.....	(10)
2.2 基片材料.....	(11)
2.3 基片的介电特性.....	(15)
2.4 基片的机械性能.....	(19)
2.5 制造氧化铝基片.....	(21)
第 3 章 厚膜材料	(24)
3.1 概述.....	(24)
3.2 厚膜导体.....	(24)
3.3 厚膜介质.....	(30)
3.4 厚膜电阻.....	(33)
3.5 厚膜工艺.....	(35)

第 4 章 厚膜设计原则	(42)
4.1 一般设计要求.....	(42)
4.2 印刷参考角和印刷程序.....	(42)
4.3 厚膜电阻器的基本设计原则.....	(44)
4.4 厚膜导体的基本设计原则.....	(53)
4.5 厚膜电容器的基本设计原则.....	(63)
第 5 章 薄膜材料	(68)
5.1 概述.....	(68)
5.2 薄膜工艺.....	(68)
5.3 薄膜导体材料.....	(72)
5.4 薄膜电阻材料.....	(73)
5.5 薄膜介质材料.....	(74)
5.6 薄膜导体-电阻网络工艺.....	(74)
5.7 薄膜电阻的保护.....	(77)
第 6 章 薄膜设计原则	(79)
6.1 薄膜电阻器概述.....	(79)
6.2 薄膜导体设计原则.....	(82)
6.3 薄膜电容器和交叉概述.....	(83)
6.4 薄膜待分基片.....	(87)
第 7 章 混合电路的激光微调	(89)
7.1 微调的必要性.....	(89)
7.2 激光微调工艺.....	(90)
7.3 激光微调系统.....	(92)
7.4 电阻测量技术.....	(94)
7.5 帽状电阻微调说明.....	(97)
第 8 章 组装技术	(104)

8.1	概述.....	(104)
8.2	用于组装混合电路的元件	(104)
8.3	组装技术.....	(113)
8.4	封装技术.....	(126)
第9章	混合电路的生产问题.....	(131)
9.1	技术文件.....	(131)
9.2	检验和可靠性.....	(132)
9.3	技术保障.....	(133)
9.4	劳动方面.....	(134)
9.5	成品率.....	(135)
9.6	内部或外部制造.....	(136)
第10章	热设计.....	(138)
10.1	概述.....	(138)
10.2	冷却现象.....	(138)
10.3	混合微型电路的冷却.....	(139)
10.4	分析技术.....	(141)
10.5	材料的热导率.....	(150)
10.6	膜电阻功率密度.....	(151)
10.7	影响热设计的因素.....	(154)
第11章	电路划分	(155)
11.1	划分.....	(155)
11.2	采用单片、混合还是分立元件.....	(157)
11.3	采用厚膜还是薄膜.....	(159)
第12章	设计周期.....	(163)
12.1	设计周期.....	(163)
12.2	电路分析和模拟.....	(165)

12.3	图案设计.....	(166)
12.4	加工和封装.....	(167)
12.5	测试和重新设计.....	(167)
12.6	可靠性和寿命试验.....	(168)
12.7	混合电路的测试.....	(170)
12.8	完整的设计周期.....	(171)
第13章	可靠性.....	(174)
13.1	混合电路的可靠性.....	(174)
13.2	可靠性数据.....	(174)
13.3	可靠性定义.....	(175)
13.4	恒定失效率.....	(178)
13.5	多元件系统的失率效.....	(181)
13.6	确定可靠性目标.....	(183)
13.7	可靠性试验.....	(183)
13.8	混合电路的失效机理.....	(186)
13.9	失效分析.....	(187)
13.10	其他可靠性试验	(188)
	术语表.....	(190)

第 1 章 混合电路概述

1.1 概 述

按照新版韦氏大学辞典的定义，所谓混合是指“在起源或成分上非均匀的东西”，也就是由不同的组分构成的东西。由于混合微电路构成的非均匀性，以及它的发展历史，自然形成了多种设计方法。本书的目的旨在阐明各种混合微电路，包括频带范围很宽的厚薄和薄膜电路在设计原则方面的基础知识。

1.2 什么是混合微电路

混合微电路是由一些厚薄或薄膜元件、单片半导体器件和分立元件组装在绝缘基片上制成的。

基片通常为氧化铝基片或类似的陶瓷片。在基片上淀积或印烧一层或多层导体、电阻和电容器。分立元件通常是指未封装的半导体芯片、电容器、电阻和电感元件。它们机械地与基片相连。这些分立元件连接到电路上要符合电接触要求。半导体器件是用导线连接到基片的“焊区”上。可以使用各种封装和连线将混合电路与外界连接起来。图1.1 是几种标准混合微电路。

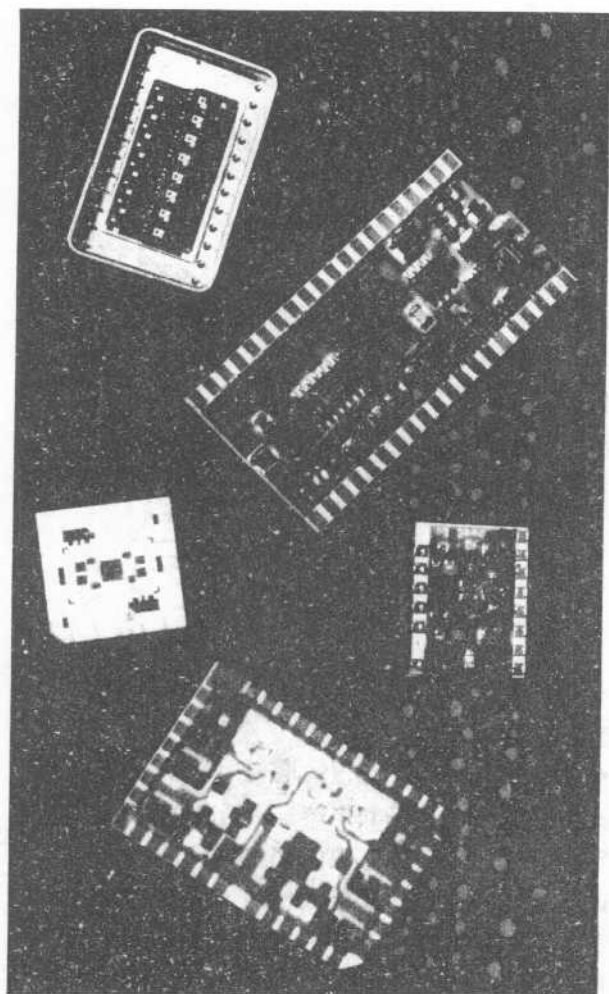


图1.1 标准混合电路

1.3 为什么要实行混合

在许多情况下之所以要用混合电路，是因为没有别的电路可以代替，在高频和微波频段尤其如此。在这种情况下，混合电路的小尺寸、线分辨率和重复性成为它的独到之点。混合技术对现在所用的各种低成本、高性能的微波器件做出了重大贡献。这类器件用于宽频带放大器、微波振荡器、滤波器、定向耦合器、功率分配器和混频器。这类混合微波集成电路可以是无源网络，也可以是有源网络。

在较低频段，混合电阻网络比相应的分立元件网络有较好的经济效益。这种网络在模拟-数字和数字-模拟转换器中有着广泛的应用。当精度，自动调整、尺寸、重量和热设计成为重要因素时，在较低频段也需使用更为复杂的有源混合电路。

由于在多层布线、封装技术和诊断能力方面的持续发展，把许多单片集成电路组装在一个混合电路上已经成为可能。这种混合电路在许多领域中获得了应用，特别是在设计微系统和手控仪器时，因为在这种情况下，尺寸和重量是个重要问题。

与分立元件电路相比，混合电路的优点如下：

电性能方面

1. 较高的频率特性；
2. 较高的组装密度；
3. 设计的可预测性；
4. 长期的稳定性和可靠性

5. 低的电阻温度系数;
6. 小的绝对和相对误差;
7. 对无源元件和相应的电路功能有微调能力;
8. 基片有较高的热导率。

经济方面:

1. 小型化, 导致减轻重量和缩小尺寸;
2. 重复性好, 试验次数减少;
3. 改进了电路的技术条件;
4. 由于使用公差相近的电阻, 降低了为达到匹配的成本;
5. 由于较高的可靠性而降低了保用费;
6. 在现场易于保养和更换;
7. 较简单的加工和组装技术;
8. 低的研制费用。

对于任何一种特定用途, 上述优点中的一些优点将使混合电路成为优选电路。但是, 常常需要对分立元件电路、混合电路和集成电路方案加以仔细地比较。

1.4 混合电路用在哪里

几乎在消费部门、工业界和军事电子学的每一领域中, 都会看到有混合电路。表1.1 列举了混合电路应用最多的领域。

业已表明, 混合电路在高频和微波电子学中有重要地位。在中规模和大规模集成电路 (MSI 和 LSI) 中, 混合电路越来越多地用来作母板互连系统。

表1.1 混合微电路的应用

消 费 类	工 业 用	军 事 用
电 视 机	电子仪器	手提式设备
收 音 机	电子计算机	通信设备
计 时 器	电子计算机	微波设备
汽 车 中	计算机外围设备	雷达系统
各种用具	医疗器械	制导系统
电 子 琴	通信设备	导航系统
玩 具	微波设备	红外探测器
	控制设备	显 示 器
	数字设备	声纳系统
	显示器	导 弹
	模-数转换器	近发引信
	数-模转换器	

1.5 与分立元件电路和单片 集成技术的比较

印刷或蚀刻电路板技术

印刷电路板 (PCB) 或蚀刻电路板 (ECB) 是将一层薄铜片贴在某一树脂胶合材料上制成的。通常用化学方法蚀刻铜片, 以制成分立元件的互连线。一般用波峰焊将这些元件焊到电路板上。

由于使用了双面和多层布线板技术, 在这样的电路板上已经达到比较高的组装密度。但是, 在这样的板上要达到很高的密度, 还存在着两个基本问题。一个是元件本身比较大, 特别是有源器件。例如, 用蚀刻电路板的一个典型的 $0.6 \times 0.3\text{in}$