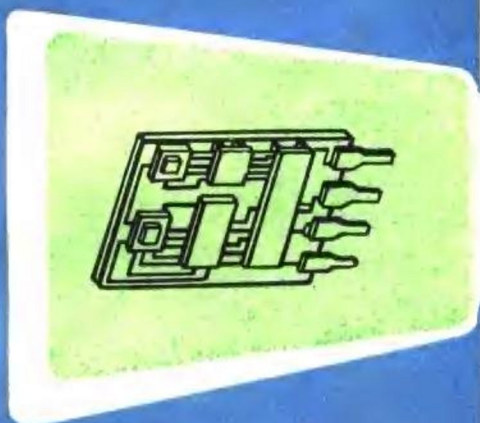


电子元件应用丛书

厚薄膜混合集成电路及应用



张如明 张经国 韩学鸿 合编

国防工业出版社

内 容 简 介

本书首先简述了厚膜、薄膜及混合集成电路的有关基础知识，然后分别用实例介绍了厚薄膜混合电路在电视机、通信机、计算机、汽车及微波集成电路中的应用情况。书中评述了高温集成电路和膜式敏感元件的发展；综合了我国厚薄膜混合电路的典型产品；提出了正确选用的原则。

本书可供中等文化程度以上的工人、技术人员和电子学爱好者阅读，也适合制造、使用微型电路的工程技术人员参考。

电子元件应用丛书

厚 薄 膜 混 合 集 成 电 路 及 应 用

张如明 张经国 韩学鸿 合编

责任编辑 杨其眉

*

国防工业出版社出版

新华书店北京发行所发行 各地新华书店经售

国防工业出版社印刷厂印装

*

787×1092 1/32 印张 7 7/8 168千字

1986年9月第一版 1986年9月第一次印刷 印数：0,001—2,850册

统一书号：15034·2946 定价：1.65元

前 言

电子技术的广泛应用是现代技术进步的重要标志，是经济振兴的必要条件和重要措施。电子元件是电子整机的基础。由于电子整机线路及结构要求的不同，需要各种类型的元件，如：阻容元件、机电组件、敏感元件及传感器、混合集成电路、石英晶体、电子陶瓷与压电、铁电器件、传输线、微特电机以及新型的声光及表面波器件等。它们在电子线路中有控制、传输、耦合、转换、隔离、显示等各种不同的特定功能，满足电子整机的各种要求。随着电子设备日益提高的精确性、可靠性和多功能要求而使线路更复杂，组装密度也更高，因此对电子元件的选用变得越来越重要了。只有合理地选用电子元件，才能充分发挥它们在电子线路中应有的作用，保证和提高电子线路的精确效能和整机的可靠性。

中国电子学会电子元件学会为了宣传和推广电子元件的广泛应用，组织编写了一套科普性质的电子元件应用丛书，此丛书为广大整机工作者、应用电子元件的科技人员、无线电业业余爱好者乃至家用电器使用者介绍各种电子元件的一般机理、性能、结构、用途，提供合理选用的科学知识，以减少由于选用不当造成的不必要的故障和损失，进一步提高电子整机的性能和质量水平，取得更高的经济效益。

首批陆续出版的有以下十一册：

怎样选用电容器；

怎样选用电阻器；
怎样选用电位器；
怎样选用继电器；
压敏电阻器及应用；
厚薄膜混合集成电路及应用；
石英谐振器及应用；
结构陶瓷及应用；
信息传输线及应用；
电子变压器及应用；
家用微电机。

根据情况今后将增加新的书目，满足各方面读者的需要。

编辑出版电子元件应用丛书是一次尝试，缺乏经验，望广大读者提出宝贵意见，以便改进。

中国电子学会电子元件学会

主任委员 陈克恭

编者的话

厚薄膜混合电路是集成电路的一个分支，它在我国已有近二十年的历史。国内在研制和生产厚薄膜混合电路方面，已经初具规模，并取得了一定成绩。但是，不少人对它了解较少，评价不全面，影响了它的发展和推广使用。我们想通过本书向大家普及厚薄膜混合电路的基础知识，介绍它的应用情况和发展动向。

本书共分十一章，大致包括四方面内容：

(1) 厚膜、薄膜及其混合集成电路的基础知识，厚薄膜混合电路的元器件及工艺技术；

(2) 厚薄膜混合电路在电视机等消费电子产品，及通信机、计算机、汽车、微波集成电路中的应用实例，这是本书的重点部分。其目的是向国内制造厂和用户“抛砖引玉”，使我国的厚薄膜混合电路更加兴旺发达，为四化作出更大贡献；

(3) 评述了厚薄膜高温集成电路和厚薄膜敏感元件的发展情况，简介了它们的应用前景。希望引起本专业的设计、制造者对这两个潜在新课题的重视；

(4) 提出了正确选用厚薄膜混合电路的原则和注意点，同时综合了国内主要厂家的产品，以便选用。最后在结束语中归纳了厚薄膜混合电路的发展动向。

本书由张如明、张经国、韩学鸿三人合编。主要根据国外资料、国内资料和产品目录，以及我们三人在长期工作中

积累的知识编写而成。由于搜集的资料有限,编写水平较差,时间又紧迫,本书的缺点和错误一定不少,敬请读者指正和批评。

本书由成都电讯工程学院曲喜新教授主审。他对本书内容和技术问题进行了审核,提出了宝贵意见;对文字进行了认真校正。在编写过程中,《丛书》编委会和厚薄膜混合电路厂家给予了许多指导和帮助。本书全部图稿请曲绍奎同志帮助描绘。在此,我们深切致谢。

在本书发排前,国务院公布了“中华人民共和国法定计量单位”,于是我们又对书中的单位作了校正和换算。这样一来,可能出现不习惯和数量概念模糊的问题。例如真空度用的压强单位,原 1Torr 应折合公制 $1.33 \times 10^2 \text{Pa}$, 在表示 10^{-4}Torr 数量级时,就会变为 $1.33 \times 10^{-2} \text{Pa}$ 这样具体的数值。尺寸单位 $1 \text{in} = 25.4 \text{mm}$, 在表示基片规格 $1 \times 2 \text{in}$ 时,原来英制中较规范的整数尺寸,就变为公制 $25.4 \times 50.8 \text{mm}$ 这样的小数尺寸。同样, 20lb/in^2 变为 1.41kg/cm^2 等。为了方便和不造成误会,我们将 1Torr 近似取为 10^2Pa , 其它单位也适当取近似值。由于微型电路中小尺寸用得更多,我们保留了“mil”这个单位 ($1 \text{mil} = 25.4 \mu\text{m}$), 这样可能更直观一些。

目 录

第一章 厚膜、薄膜及其混合集成电路	1
§ 1.1 什么是厚膜, 什么是薄膜	1
§ 1.2 集成电路的分类	2
一、从制作工艺分类	2
二、从电路功能分类	2
三、从集成度分类	4
§ 1.3 厚薄膜电路为什么要混合集成	5
一、混合集成技术是怎样出现的	5
二、为什么要采用混合集成技术	6
§ 1.4 厚薄膜混合集成电路的发展历程	8
一、第一代混合集成电路	8
二、第二代混合集成电路	8
三、第三代混合集成电路	9
§ 1.5 厚薄膜混合电路的特点	10
一、与分立元件电路比较	10
二、与半导体集成电路比较	11
三、厚膜与薄膜的比较	15
§ 1.6 厚薄膜混合电路产品	18
一、产品的基本类型	18
二、混合集成电路的新型式	19
第二章 厚薄膜混合电路的工艺和膜式元器件	22
§ 2.1 厚膜电路工艺概述	22
一、厚膜浆料	22
二、丝网印刷工艺	24
三、高温烧成	26
四、阻值调整	27
§ 2.2 厚膜材料及厚膜元件	28

一、厚膜电路基片	28
二、厚膜导体	29
三、厚膜电阻器	30
四、厚膜电容器	32
五、厚膜交叉线	33
六、厚膜热敏电阻器	34
七、厚膜电感器	34
§ 2.3 薄膜电路工艺概述	35
一、薄膜淀积	35
二、薄膜图形的形成	41
三、参数调整	42
§ 2.4 薄膜元器件	44
一、薄膜电路基片	44
二、薄膜电阻器	46
三、薄膜电容器	48
四、薄膜电感器	51
五、薄膜导体	51
六、薄膜有源器件	53
第三章 外贴元器件及组装工艺	55
§ 3.1 外贴元器件	55
一、外贴电阻器	55
二、外贴电容器	57
三、外贴电感器	65
四、外贴调谐元件	66
五、外贴有源器件	67
§ 3.2 厚薄膜电路的焊接组装技术	70
一、微型焊接技术	70
二、混合电路的组装和功能微调	72
三、混合电路封装结构	73
第四章 厚薄膜电路在电视机及其它	
消费电子产品中的应用	75
§ 4.1 电视机已进入集成化时代	75
§ 4.2 混合集成化的电视机	76

一、混合集成化的黑白电视机	76
二、混合集成化的彩色电视机	78
§ 4.3 电视机用的厚薄膜混合电路组件	80
一、高压限制电路	80
二、彩色电视机帧输出电路	81
三、彩色电视机视放电路	81
四、彩色电视机电源电路	82
§ 4.4 电视机共用天线接收系统	83
§ 4.5 在其它消费电子产品中的应用	84
一、在磁带录像机中的应用	84
二、在磁带录音机中的应用	86
三、在立体声音响装置中的应用	89
四、在电子手表中的应用	92
五、在摄影机中的应用	93
§ 4.6 混合集成电路的其它应用	94
一、在助听器中的应用	94
二、厚膜无线话筒	95
三、薄膜热印字头	96
第五章 厚薄膜混合电路在通信机中的应用	97
§ 5.1 在一般通信设备中的应用	98
一、按钮式电话机	98
二、在电话交换机中的应用	99
三、活动传呼系统用的袖珍无线电接收机	100
§ 5.2 在脉码调制通信系统中的应用	104
一、薄膜精密电阻网络译码器	104
二、厚薄膜有源滤波器	104
§ 5.3 海缆增音系统需要精密薄膜电阻器	107
一、海缆对精密电阻器的要求	107
二、精密的Ni-Cr 薄膜电阻器的制作	108
§ 5.4 无线电跟踪和遥控中所用的厚薄膜电路	109
一、厚膜电路跟踪发射机	109
二、导弹制导及遥控用的薄膜电路	111
第六章 厚薄膜混合电路在计算机中的应用	114
§ 6.1 数据转换器的混合集成化	115

一、D/A 转换器	115
二、A/D 转换器	119
三、单片式和混合式转换器的比较	121
§ 6.2 数据采集子系统及模拟计算器	122
§ 6.3 厚薄膜多层布线技术用于高密度组装	123
第七章 厚薄膜混合微波集成电路	128
§ 7.1 微波集成电路的种类	129
一、单片微波集成电路	129
二、混合微波集成电路	129
三、分布参数微波集成电路	130
四、集总参数微波集成电路	131
§ 7.2 混合微波集成电路的材料和元器件	131
一、混合微波集成电路的材料	132
二、混合微波集成电路的元器件	134
§ 7.3 厚膜混合微波集成电路	137
一、厚膜在微波低端大量应用	138
二、厚膜千兆位速转换器	139
三、厚膜在微波集成电路中的地位	142
§ 7.4 薄膜混合微波集成电路	143
一、薄膜在微波通信中的应用	143
二、薄膜混合微波集成组件	145
三、薄膜在微波集成电路中的地位	147
§ 7.5 中膜混合微波集成电路	147
一、中膜工艺方法	148
二、中膜微带线的性能	149
三、中膜混合微波集成电路	151
第八章 混合集成电路在汽车工业中的应用	153
§ 8.1 汽车电压调整器日趋集成化	153
§ 8.2 混合集成化的电子点火器	157
§ 8.3 燃料喷射装置的混合集成化	159
§ 8.4 大规模混合集成化的发动机综合控制系统	160
§ 8.5 汽车无线电用的混合电路	161

§ 8.6	车速自动控制装置和行车计算机	162
§ 8.7	新的电子装置实例	163
	一、光通信系统	163
	二、声音警报系统	164
第九章	厚薄膜高温集成电路	166
§ 9.1	高温厚膜混合集成电路	167
	一、300°C以下的厚膜电路	167
	二、300°C以上的厚膜电路	170
§ 9.2	高温薄膜混合集成电路	172
	一、高温薄膜集成元件的工艺	172
	二、高温薄膜元件的性能	173
§ 9.3	热离子集成有源器件	176
第十章	厚薄膜敏感元件及其应用	179
§ 10.1	厚膜敏感元件	179
	一、厚膜热敏元件	179
	二、厚膜湿敏电阻器	184
	三、厚膜压力传感器	185
	四、厚膜气敏元件	190
	五、化学敏 pH 元件	191
§ 10.2	薄膜敏感元件	193
	一、薄膜热敏电阻器	193
	二、薄膜湿敏元件	196
	三、薄膜磁敏电阻器	196
	四、CdSe 薄膜光电位器	198
第十一章	正确选用厚薄膜混合电路	202
§ 11.1	厚薄膜混合电路的可靠性	202
	一、厚薄膜混合电路失效分析	202
	二、厚薄膜混合电路失效率计算	204
	三、如何提高可靠性	205
§ 11.2	正确选用厚薄膜混合电路	207
	一、选择混合集成电路的原则	207
	二、使用混合集成电路的注意事项	209

§ 11.3 我国厚薄膜混合电路产品	210
一、国内厚薄膜电路命名方法	211
二、国内厚膜电路组件典型产品	212
三、薄膜混合电路元器件水平	222
四、国内薄膜电路典型产品	223
结束语	236

第一章 厚膜、薄膜及其混合集成电路

§ 1.1 什么是厚膜,什么是薄膜

自五十年代末开始,集成电路商业逐渐兴起,厚膜和薄膜电路随之登上电子工业的舞台。人们自然会提出:什么是厚膜?什么是薄膜?厚膜电路和薄膜电路又是怎么回事?

我们在日常生活中接触过许多广义概念的“薄膜”物体,它是指厚度比长、宽尺寸小得很多的膜状物体。这仅是一个相对概念,并没有规定具体的厚度范围。集成电路中的“厚膜”与“薄膜”,在厚度上各自有个大致范围,而且制作工艺有很大差别。根据一些文献定义,“薄膜”一般是指约 100Å 到 $1\mu\text{m}$ 左右厚的膜层;“厚膜”一般是指约 $10\mu\text{m}$ 到 $50\mu\text{m}$ 左右厚的膜层;厚度在 $1\sim 10\mu\text{m}$ 的膜层,可以叫薄膜,也可以叫厚膜,主要由制作工艺方法来区分。实际上,人们习惯把几百埃到几微米厚的膜层叫做薄膜,把几微米到几十微米厚的膜层叫做厚膜。

形成厚膜的工艺,如浆料配制、丝网印刷、烧成以及喷涂等,称为厚膜工艺。在绝缘基片(主要是陶瓷)上用厚膜工艺制作无源元件、互连线、焊接区,然后组装上二极管、晶体管、或半导体集成电路芯片,构成具有一定功能的电路,就是厚膜混合集成电路,简称厚膜电路。形成薄膜的工艺,如真空蒸发、溅射、化学汽相淀积、光刻腐蚀等,称为薄膜工艺。在绝缘基片(如玻璃和陶瓷)上,全部用薄膜工

艺制作有源器件、无源元件、互连线和焊接区，这样构成的电路称为全薄膜化集成电路；若用薄膜工艺制作无源元件、互连线和焊接区，然后组装二极管、晶体管或半导体集成电路芯片，这样构成的电路，称为薄膜混合集成电路，又称为薄膜混合电路。目前实用的所谓薄膜电路，就是指的这种混合电路。通常，用厚薄膜工艺制作的元件称为膜式元件，并把厚薄膜混合集成电路统称为膜式混合集成电路。为了称呼简便，有时将“集成”二字省掉。

§ 1.2 集成电路的分类

关于集成电路的概念，1980年6月出版的《电子工业技术词典》中已有明确定义。微型电子电路是微模组件与各种集成电路的统称，其中各种集成电路占主要地位。

一、从制作工艺分类

按制作工艺划分，集成电路可分为四种：半导体集成电路，薄膜集成电路，厚膜集成电路和混合集成电路。用一种以上集成工艺，或者在集成化基片上外贴了元器件，这样构成的电路称为混合集成电路。无论是薄膜集成电路，还是厚膜集成电路，都因为至今膜式有源器件尚未达到工业生产水平，而未能制作出商品性的全膜集成电路，实际上都是混合集成电路。所以当今应用的只有三种集成电路：半导体集成电路，薄膜混合集成电路和厚膜混合集成电路。

二、从电路功能分类

按电路功能性质划分，集成电路分为三种：数字集成电路，模拟集成电路和微波集成电路。数字集成电路是以“开”和“关”两种状态，或者以高、低电平来对应“1”和“0”二进制数字量，并进行数字运算（逻辑运算）、存储、传输

及转换的集成电路。数字集成电路又称为逻辑集成电路。这种集成电路有两种基本型式：门电路和触发器电路。将二者进行组合，原则上可以构成各种类型的数字电路，如计数器、存储器、移位寄存器等。数字集成电路主要有以下几个系列：晶体管-晶体管逻辑电路（TTL）；电阻-电容-晶体管逻辑电路（RCTL）；电阻-晶体管逻辑电路（RTL）；二极管-晶体管逻辑电路（DTL）；可变阈值逻辑电路（VTL）；电阻-二极管逻辑电路（RDL）；发射极耦合逻辑电路（ECL）。前六种属于饱和型逻辑电路，其优点是抗干扰能力强、功耗较低，主要缺点是开关速度较慢。后一种属于非饱和型逻辑电路，其特点与饱和型相反。以上几种数字逻辑电路中，最重要的是TTL和ECL。数字集成电路很容易采用半导体平面工艺制作，发展很快，主要用于电子计算机。

模拟集成电路就是以电压或电流为模拟量，进行放大、转换和调制的集成电路。模拟集成电路分为线性集成电路和非线性集成电路两种。线性集成电路的输出信号随输入信号的变化成线性关系。如直流、高频、中频和低频放大器，甲、乙类功率放大器，差分、运算放大器等，都是线性集成电路。输出信号和输入信号之间没有线性关系的非线性集成电路，包括对数放大器、丙类功率放大器、振荡、混频、检波、调制、整流等集成电路。习惯上，人们常把线性集成电路的范围扩大到非线性集成电路，即将具有放大、振荡、检波、整流等功能的集成电路，统称为线性集成电路。1967年国际电工委员会（IEC）正式提出，把数字集成电路以外的集成电路，都称为模拟集成电路。工作频率在微波频段的模拟集成电路，由于设计和集成工艺的特殊性，就单独称为微波集

成电路。因而线性集成电路的严格概念，就是工作频率在微波频段以下的各种线性集成电路。工作频率在微波频段的线性集成放大器，人们习惯地将其划入微波集成电路的范畴。很明显，根据电磁波频谱的划分，凡工作频率在 300 兆赫以上的集成电路，就是微波集成电路。

三、从集成度分类

按集成度（集成规模）划分，集成电路分为几种基本类型：小规模集成电路（SSI）；中规模集成电路（MSI）；大规模集成电路（LSI）；超大规模集成电路（ULSI）。集成度是指在有集成电路的单块晶片或绝缘基片上，或在单个封装组件中，包含的所有元器件数目。一般认为，集成度小于 10 个门电路或少于 100 个元器件者，称为小规模集成电路；集成度在 10~100 门电路或在 100~1000 个元器件者，称为中规模集成电路；集成度在 100 个门电路以上或在 10000 个元器件以上者，称为大规模集成电路；集成度在 10000 个门电路以上或在 100000 个元器件以上者，称为超大规模集成电路。它比大规模集成电路的集成度高两个数量级，但这也不是绝对的，应该从集成度和相当的电路功能结合起来看。例如，超高速电流型逻辑电路，即使每片集成度只有 10000 个元器件，也可称为超大规模集成电路。还有所谓适当规模、甚大规模集成电路，前者介于中、大规模之间，后者介于大、超大规模之间。从一般集成电路到大规模集成电路，不仅是量（集成度）的变化，而且发生了质的变化，故把大规模集成电路称为电子器件的第四代。它是以部件、分机或整机、子系统作为集成对象，因而有着不同于一般集成电路的设计考虑和工艺方法。

§ 1.3 厚薄膜电路为什么要混合集成

广义的“混合集成”技术，是指在有导体布线的绝缘基片或衬底上，组装两个或两个以上的半导体器件（或电路芯片），制作数个膜式无源元件或外贴数个分立无源元件，从而构成电路的技术。随着混合方法和集成工艺的改进，混合电路的性能不断提高，在各个领域得到广泛应用；混合电路自身也发展成为几个分支。

一、混合集成技术是怎样出现的

混合集成电路的雏形，是在第二次世界大战中研制出来的。当时，电子学在通信、寻找敌方目标、导航和发射控制系统中的重要性日益增强，电子设备的复杂性也随之增加。例如，一架 B-29 轰炸机的电子装置中，需要约一千支真空管，上万个无源元件。很明显，武器系统的性能受到电子装置的尺寸、重量、可靠性及复杂性的限制。在美国国家标准局主持下，对要求严格的无线电引信电子部件，进行了工艺简化的研究工作。不久，全球联合公司中心实验室的四位工程技术人员就研制出一种组件。这是利用带有金属互连线和片状电容器的陶瓷基片，再组装上小型电子管而构成的电路。这可以说就是混合集成电路的先驱。战后，美国国家标准局和该中心实验室继续在这方面合作，终于根据掩蔽（漏印）的原理研究成功大量生产技术。于是厚膜工艺正式诞生，为厚膜混合电路的发展作了技术准备。

薄膜工艺开始很早，但用来制作薄膜电路却是近二十多年的事情。分立的薄膜无源元件至少从二十年代中期就问世了。最早的薄膜元件是淀积的炭膜电位器，它是利用炭氢化合物气体在高温下热分解而制成的。铂金属膜电阻器，是利