

混合微电子技术

〔英〕T. D. 托尔斯 著

科学出版社

混合微电子技术

〔英〕 T. D. 托尔斯 著

王文序 译

曲喜新 校

科学出版社

1983

内 容 简 介

作为混合集成电路应用指南,本书详细介绍了各种混合微电路与系统的设计及性能。全书共分十七章,对混合集成电路的各个应用领域(消费用、工业用及军用),以及各种混合集成电路(厚膜的、薄膜的、多片的和兼容性单片集成的)均作了全面介绍。书末附录中介绍了有关混合微电子技术的书籍及生产混合集成电路的主要工厂。

本书可作为电子电路、整机、电子元器件专业的工程技术人员的参考用书,也可供大专院校有关专业学生阅读。

T. D. Towers
HYBRID MICROCIRCUITS
Pentech Press Limited, 1977

混合微电子技术

〔英〕T. D. 托尔斯 著

王文序 译

曲喜新 校

责任编辑 魏 玲

科 学 出 版 社 出 版

北京朝阳门内大街137号

石家庄地区印刷厂印刷

新华书店北京发行所发行 各地新华书店经售

*

1983年10月第 一 版	开本: 787×1092 1/32
1983年10月第一次印刷	印张: 8 3/4
印数: 0001—7,350	字数: 190,000

统一书号: 15031·529

本社书号: 3283·15—7

定 价: 1.35 元

译 者 的 话

混合微电路技术既是制作平面化电子元件的技术，也是组装电子设备的手段。在电子设备日益复杂化的今天，混合微电路的优点显得更为突出，颇有取代印刷电路板的趋势。

在通信机设计中，利用混合微电子技术，按功能制作微电路块系列，再组装成各种设备。

在计算机设计中，使用多层混合微电路块取代印刷电路板，并在电路块上安装大规模半导体集成电路，从而成功地缩小了整机的体积，减少了电路连线，提高了整机的工作速度。

在微处理机生产中，混合微电路技术已成为不可缺少的封装技术。

在模-数和数-模转换领域内，混合微电路以高速著称，使半导体转换器相形见绌。

在雷达设计中，利用混合微电路技术组装部件和分系统，提高了可靠性，缩小了体积，方便了设计、生产和维护。

总之，混合微电路技术已成为整机设计和生产人员必不可少的工具。在我国，这种技术的应用尚不广泛。鉴于这种情况，我们翻译了这本书。

本书着重于应用介绍，辅之以典型设计实例，对整机设计和生产人员颇有启发。对于混合微电路专业人员，本书也是一本难得的参考书，可以扩充他们的业务知识，使他们与

整机设计人员有更多的共同语言。

本书的翻译和出版得到了中国电子学会电子元件专业学会主任委员陈克恭高级工程师和副主任委员章士瀛高级工程师的关怀和鼓励。中国电子学会电子元件专业学会副主任委员曲喜新教授仔细审校了全书。在此，译者表示深切的谢意。

欢迎读者对本书误译之处提出批评和建议。

前 言

本书为电子工程师提供了有关混合集成装配技术的用途、能力及其基本设计原则的全面介绍。自 20 世纪 60 年代以来，这类技术已逐渐取代了传统的、装配“分立”元件的印刷电路板技术。

本书主要是按混合集成电路用户指南的格式编写的。但也可作为各种技术人员的初学教科书，诸如打算使用混合电路的电路设计师、将电路变换成混合电路的电子工程师、混合电路的生产者以及质量管理人员和维修工程师。本书还可作为一本混合电路技术的导论供大专院校有关专业的学生阅读。

本书是以应用而不是以制造为重点，由浅入深、全面地论述了混合集成技术。目前发行的其它有关书籍往往将重点放在混合电路的制造方面，这类书籍尽收在本书末的书目之中(附录 A)，供希望了解这方面情况的读者查阅。

本书的重点放在混合集成技术的电路和系统方面，只有当制造影响到这种电路的设计和性能时，才提到制造问题。

除了广泛介绍混合电路的各个主要方面以外，本书尚有其它一些特点。

在书末附录 B 中，详细列出了混合集成电路的生产厂名，并分别标注上是标准电路生产厂、专用电路生产厂，还是自用电路生产厂。

附录 C 列出了可向混合微电路生产厂提供元器件和生产

设备的公司。

对混合集成电路的各个应用领域（消费用、工业用和军用），以及各种混合集成电路（厚膜的、薄膜的、多片的和兼容性单片集成的），本书均作了论述，无一遗漏。

对于电子电路的封装、布设和构造，混合集成技术成了越来越重要的手段。因此，从事电子设备设计、制造和使用的一切人员，至少必须了解这种新技术的基本知识。作者希望，以自己 60 年代和 70 年代初期在一家混合微电路公司工作的亲身经历为基础写成的这本书，能为满足这种需要作出一点贡献。

T. D. 托尔斯
于英国剑桥

目 录

译者的话

前言

第一章	混合微电路	1
第二章	混合微电路的制造	18
第三章	混合微电路的应用特点	37
第四章	混合微电路的生产厂家	52
第五章	混合微电路的封装	62
第六章	无源混合微电路	77
第七章	“母板式”混合微电路	89
第八章	高功率混合微电路	106
第九章	精密混合微电路	120
第十章	RF (射频) 混合微电路	135
第十一章	混合集成式光电子微电路	150
第十二章	家庭娱乐设备用的混合微电路	164
第十三章	家用电器中的混合微电路	176
第十四章	高可靠性的混合微电路	185
第十五章	测量仪器用的混合微电路	200
第十六章	正确使用混合微电路	213
第十七章	专用混合微电路	229
附录 A	混合微电路参考书选	244
附录 B	混合微电路公司	246
附录 C	混合微电路生产器材供给商	252
索引		264

第一章 混合微电路

在 20 世纪 40 年代以前, 电子设备设计师一直使用电阻器、电容器、变压器等分立元件, 将其牢固地固定在某种形式的底板上, 然后利用导线, 将元件引出端在电气上互连起来 (图 1.1(a))。

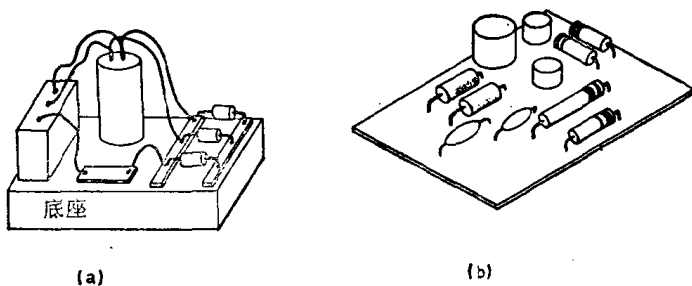


图1.1 使用分立元件的早期电子设备装配板: (a)焊点到焊点的连接; (b)pcb (印刷电路板) 或称pwb (印刷布线板)

从 40 年代中期开始, 由于战争发展的需要, 促使分立元件变得越来越小。特别是 1948 年晶体管的发明, 在许多领域内取代了庞大的电子管。在 50 年代中期, 设计师们已开始认识到: 将元器件点与点互连的、分别紧固在底板上的老式安装方法 (这对老式大元件, 是不可避免的安装方法) 已基本上可以抛弃不用, 代之以将新型小元件直接安装在印刷电路板 (p.c.b.) 上的新方法。pcb 也称为印刷布线板 (p.w.b.)。

当然，有电子技术实践经验的读者知道，pcb 是一块用作固定和互连电路元件的绝缘材料板（通常是某种塑料板）（图1.1(b)）。元件的引出线或引出脚穿过 pcb 板上的孔眼、与底面的导电金属带在电气上互连起来（一般使用锡焊）。大型元件可能需要格外配备夹子，以便紧固在 pcb 板上。小型元件借助自身引线便可牢靠地固定，无须采用加固措施。

生产厂家使用 pcb 板可向用户提供预先装配和测试好的电子组件或封装电路，即完整的电子功能电路，用户再用来装配整机。pcb 板为 60 年代“微电路”的问世准备了良好的条件。在微电路中，许多元器件集成一体，形成小型密封封装。与 pcb 组件不同，用户不可能直接触及微电路中的各个元器件。用户触及内部元器件的唯一途径是通过微电路的外部引出端。

微电路分为两大类：“无源电路”和“有源电路”。无源电路中所含的元件皆是本身不能提供信号增益的元件（例如电阻器、电容器和电感器），而在有源电路中，除可能含有上述元件外，还含有可提供增益或放大的器件（例如晶体管）。

分立式组件

50年代中期，小型元件垂手可得，许多生产厂家利用这类元件制造“组件”形式的、功能完整的电子电路投放市场，畅销一时。这类组件有时也叫“电路块”，大都使用 pcb 板。它们最初的形状类似于图 1.2(a) 所示的小型印刷电路板，底面备有金属布线，以便与元器件端接头插座相连。现在，这类组件一般叫做“敞露式”分立组件，或印刷板组件，或电路板。

敞露式分立组件的缺点是内部元件不易得到保护、可能遭受外力破坏或用户的随意更改。这促使分立组件生产厂家迅速采取了保护元件和 pcb 底面布线的措施：给整个组件表面浸封一层保护橡胶或塑料涂层（图1.2(b)）。由于浸封涂层具有依照元件外形而取形的趋势，所以后来把这类组件叫做“保角”或“保角封装”组件。通过局部除去保护涂层，这类组件仍可返修，当然这并非是毫无困难的事。

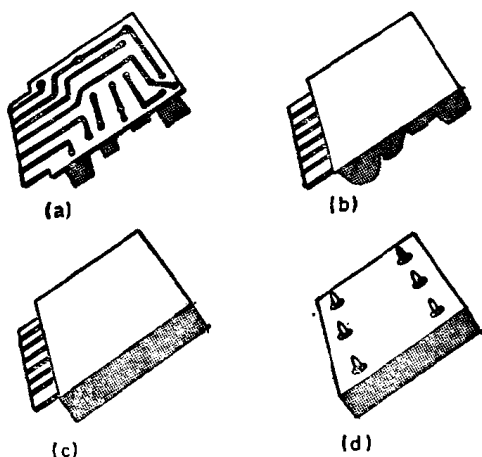


图1.2 分立式组件的发展：(a)敞露式；(b)保角封装式；(c)带端接头的环氧树脂包封式；(d)带插头的环氧树脂包封式

分立组件的下一个发展阶段，是将其封装在一个完整的外壳内，杜绝直接接触及内部元器件的一切路径。于是，出现了图 1.2(c)和 1.2(d)所示的“包封式”组件。这种组件通常叫做“环氧树脂包封组件”，它们具有端接插头（图 1.2(c)），或 pcb 安装所需要的垂直插头（图 1.2(d)）。

在 50 年代，除了以 pcb 为基础的组件技术以外（敞露式、保角式或包封式），还出现了其它一些分立元件小型封装技术，诸如“万能玩具”、“微组件”、“堆垛”、“瑞士乳饼”、

“2D”和“麦克拉蒙 (Micram)”等等技术，它们特别适合于大型计算机和航天工具使用。现在看来，这些技术仅具有历史上的意义，对此有兴趣的读者可参看克渥恩吉安 (Keon-jian)^[10] 的著作。

在 60 年代和 70 年代，分立式组件在许多应用领域中似乎已被“集成电路”所取代，但是，时至今日，仍在大量生产分立式组件，包括敞露式组件和包封式组件。

单片集成电路

在 60 年代期间，集成微电路的制作技术沿着几条不同的路径向前发展。早在 1958 年，美国德克萨斯 (Texas) 仪器公司的克尔贝 (Kilby) 已发现如何在一小块硅片上制作电阻器与晶体管的互连网络。他在高温下把某些气体扩散进入硅片，并用细金属丝与硅片表面上的金属化图形焊连，从而实现了这些“集成”式内部元件的对外连接。于是，硅单片集成电路 (SiC) 诞生了。顾名思义，所谓单片就是把元件制作在硅晶体内部，没有一个元件位于晶体之外。

图 1.3 简略说明了硅单片集成电路是如何作成的。制作工艺始于半导体单晶锭 (图 1.3(a))。晶锭长度一般不小于 25cm，直径不小于 2.5cm，而且往往是高纯度的单晶硅。将晶锭切成约厚 0.1—0.15mm (4—6mil) 的薄片 (大片) (图 1.3(b))。如图 1.3(c) 所示，利用各种加工技术在大片上形成许多相同的电路。在所用技术中，包括将杂质气体高温扩散进硅中、通过光致抗蚀剂掩蔽进行选择性的表面蚀刻、形成保护性玻璃 (SiO_2) 表层、利用真空蒸发技术在晶体表面淀积金属互连线和引线焊接区。一块大片所能作出的集成电路个数，视大片的直径和每个电路的面积而定；一般来说，可从一块

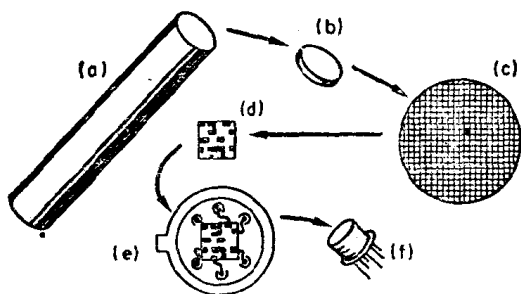


图1.3 单片集成电路制作示意：(a) 和 (b) 把纯半导体单晶锭切削成薄片；(c) 用扩散法在薄片内形成许多相同的电路芯片；(d) 然后将各个电路芯片分割开来；(e) 将芯片安装和连接在管座上；(f) 最后密封在带插脚的管壳内

大片一次制得 200 至 2000 个相同的集成电路。

接着，将大片沿各个电路之间的区分线进行刻划，并分割成一个个的小片（芯片）。每个电路最后的形状如图 1.3 (d) 所示，是一块对角线长 0.5mm (20mil) 至 2.5mm (100 mil) 的方形小片或矩形小片，表面上的金属化区域明显可辨。

将芯片粘结在如图 1.3 (e) 所示的多引线底座上，再进行封装。在这种封装中，利用直径为 0.025mm (1mil) 的金丝或铝丝实现管脚与芯片表面金属化焊区之间的电连接。经测试之后，把管壳密封，便得到了如图 1.3 (f) 所示的完整的硅单片集成电路。

在 60 年代和 70 年代，生产厂家针对模拟(线性)电路和数字(开关)电路的应用，制造了各种各样的、畅销的标准硅单片集成电路。这些标准的硅集成电路主要使用两类器件：双极（普通）晶体管和单极 MOS(金属-氧化物-半导体) 场效应晶体管。

生产厂家发现，他们的技术除了制作单个电路的硅集成电路以外，还可以在一个芯片上制作大量的微电路。从而导致了SSI(小规模集成电路，即在一个芯片上有10个微电路或门电路)、MSI(中规模集成电路：门电路数目高达100个)和LSI(大规模集成电路：门电路数目超过100个)的出现。正是这些技术使得低价袖珍计算器和电子手表之类的最新产品得以问世。

兼容性单片集成电路

一般的硅单片集成电路的局限性之一，是电阻器的精度不高，这是制作工艺(向硅内扩散杂质以形成电阻器)的固有缺点所决定的。此外，这类电阻器的阻值调整也是很困难的。

在兼容性单片集成电路中成功地克服了这一困难。其方法是在加工硅片的过程中，使整个片子表面形成一层氧化硅绝缘层，接着在氧化硅的表面蒸上金属膜图形，并通过氧化层上已开有的窗口与下面的半导体电路相连。氧化层表面上的金属薄膜形成了精密的电阻器阵列，从而增大了设计自由度；因为膜式无源元件的特性本来就优于硅内扩散型电阻器的特性。

图1.4示出典型的兼容性单片集成电路剖面结构。图中右边的n区、p区和n区表示单片扩散电路，三区扩散在p型硅片内，构成一支npn晶体管。表面的金属化层分别与上部n型发射区、中部p型基区和下部n型集电区相连。从图中左边，可以看到一支淀积在 SiO_2 保护层表面上的薄膜电阻器，电阻器两端与表面铝膜互连线相接。

近年来，人们发现，利用激光束烧割电阻图案的部分线

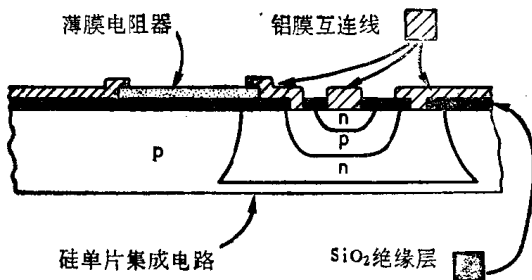


图1.4 通过在半导体片子表面淀积电阻膜，从普通单片集成电路演化出兼容性单片-混合集成微电路(剖面图)

段，可以高精度地调整表面薄膜电阻器的阻值。正是由于激光调阻技术，使得兼容性单片集成电路进入数-模转换一类的应用领域。在数-模转换工作中，要求电阻器阵列具有很高的精度，因此，纯粹的单片集成制造技术是无能为力的。

兼容性单片集成电路是我们将要论及的混合结构微电路的第一个示例。

“混合”一词已被人们反复多次使用，并且赋予了各种不同的含义。有人认为，“混合”意味着将两种不同的装配技术混为一体，如前面提到的兼容性单片集成电路那样，把单片扩散技术与薄膜表面淀积技术混合使用。还有人认为，“混合”的意思是在微电路中兼用有源器件和无源器件；但这种观点并不为多数人所认可。在本书中，我们将给混合微电路以更广泛的定义，它既不是分立电路（即把普通的单个小型电子元器件装配成一体），也不是单片集成电路（即全部元器件制作在一块半导体片子的内部，是片子本身的组成部分之一）。

多片混合电路

1960年前后，随着硅单片集成电路技术的发展，民用的“多片”混合电路开始出现了。在这种电路中，把单个的电阻器和电容器，以及特殊的小型片式二极管和晶体管（即不带管壳和引出线）固定和接入绝缘基片（玻璃或陶瓷）表面的金属化互连线图形内。通常使用铝丝或金丝把面部互连线与片式器件连接起来。所以这类混合电路也叫做“片-丝”型电路。

图 1.5 示出典型的多片混合电路，其中含有许多半导体芯片。这些芯片焊连在管座上的陶瓷基片金属互连线图形内，所用的互连线或者是陶瓷上的金属化带，或者是面部上的飞丝（金属丝）。

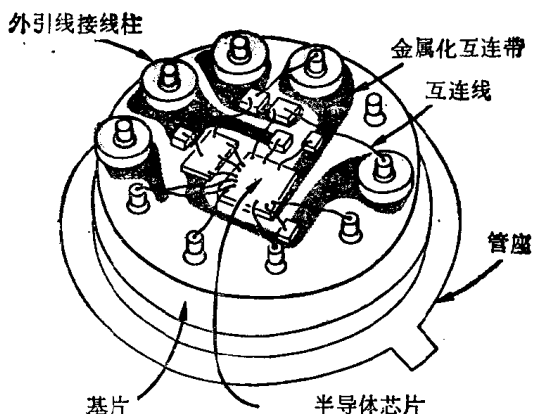


图1.5 多片电路：大量半导体芯片（分立器件或单片集成电路）焊装在管座上，利用金属化带或丝把芯片互连，并与外引出脚连接

某些工程师把多片的定义仅限于半导体芯片，但在只包含单片集成电路的场合下，人们往往把混合电路叫做单片-

混合集成电路。

在 60 年代，由于硅单片集成电路开始控制微电路市场，多片混合电路逐渐衰落。但在 70 年代，多片混合电路又复兴了。原因在于：虽然多片混合电路不能在大批量、单一电路的领域内（例如计算机）直接同单片集成电路竞争，但是它可以在一个微电路外壳内，方便地连接多个标准硅集成电路芯片，构成完整的、更复杂的电子功能组件。

另外，若在同一外壳内，装上具有更大额定参数值的片式分立器件，可使多片混合电路超越单片集成电路规定的功率、电流和电压负载能力。例如装用 60 年代研制出的大电流、高电压的达林顿(Darlington)功率晶体管便是一个简单而成功的例子，它足以说明多片式组件如何突破了单片集成电路的性能极限。在多片式组件中，一般将驱动晶体管芯片与主功率输出芯片在同一外壳内分开安装。

同时，若给功能强大而精度有限的单片集成电路配用精密的片式电阻器，可使单片集成电路得到充分利用。

在需要量较小的微电路应用中，多片混合电路占着特别重要的地位；它可将标准的硅单片集成电路芯片加以互连而成。由于多片装配方法的加工成本低，它算是小批量生产混合微电路的最经济的方法之一。多数半导体生产厂家至今仍在提供各种各样的多片式混合电路。

膜式混合电路

在多片混合电路中，将片式无源电路元件固定在绝缘基片表面金属化互连线上的另一种装配方法叫做膜式混合电路。在这种电路中，电阻器、电容器和电感器一类的无源元件以导电膜、电阻膜和绝缘膜的形式淀积在平整的绝缘底座