

印制电路技术

沈锡宽 主编 唐济才 副主编

科



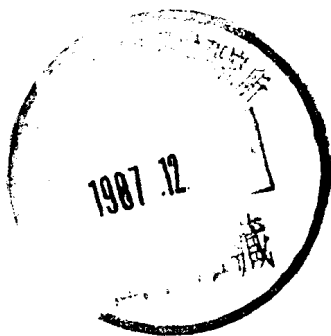
社

72.25-

印制电路技术

沈锡宽 主 编

唐济才 副主编



科 学 出 版 社

1 9 8 7

8710708

DS87-27

内 容 简 介

印制电路板是一种很重要的电子元部件，几乎每一种电子设备都需要一块以上的印制电路板，用以安装集成电路等元件并提供它们之间的相互电气连接。

本书较详细地论述了单面、双面及多层印制板的制造工艺，切合实际。全书共分十一章，其中包括基板材料、照相底版的制作、图象转移、电镀、蚀刻、可焊性涂覆和处理、机械加工、多层印制板及技术规范和检验方法。同时也简单地介绍了印制电路设计的基本知识。

本书可作为从事印制板生产的班组长、工艺员和技术工人骨干的技术培训的主要参考教材，也可供从事印制板生产和科研的工程技术人员及大专院校有关专业师生参考。

印制电路技术

沈锡宽 主 编

唐济才 副主编

责任编辑 那莉莉 赵非非

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

*

1987年5月第一版 开本：787×1092 1/32

1987年5月第一次印刷 印张：14 1/4 插页：4

印数：0001—10,400 字数：325,000

统一书号：15031·811

本社书号：5221·15—7

定价：2.90元

序

《印制电路技术》一书的出版，是我国印制电路行业的一大喜事。我作为一名从事我国印制电路技术开发的老工作者，倍觉兴奋。

有关印制电路技术的书籍，本来就出版甚少，属国内编著的就更寥寥无几了，尤其是涉及现代印制电路设计、工艺等正式出版的书籍，这可算是一种尝试。因此，本书值得一读。

我建议，本书出版后，至多两年，再作一次修订，把名词、术语和所用词句不确切之处，在征求读者意见后，加以修改。还应增补现代工艺用设备、现代质量管理体系等内容。至于印制电路生产厂房的工艺布置指导原则，微机在生产管理方面的应用以及污水处理等，如届时已取得一定经验，亦应作增补，使之日臻完善。

高级工程师 姚守仁

1984年11月于北京

编者的话

在现代电子工业的发展中，人们首先注目于集成电路，但是印制电路板作为一种元部件，几乎在每种电子设备中都要使用它，用以安装集成电路等元件并提供它们之间的相互电气连接。因此，人们也应当看到印制电路工业在电子工业中的重要性。印制电路工业在整个电子工业中的产值虽然只占2%左右，但印制板的设计和制造质量直接影响到电子设备的成本和竞争能力，也直接影响到电子设备的可靠性，甚至成为成败的关键。

我国从1956年开始研制印制电路。随着电子工业的发展，印制电路工业也从无到有，从小到大地发展起来。特别是近几年来随着我国民用电子产品的大幅度增长，促使印制电路工业成倍地增长。印制电路工业的职工队伍也迅速扩大。为适应印制电路工业的发展，近几年来中国电子学会生产技术学会印制电路专业委员会和各地印制电路学组，开办了不少培训班，对在职职工进行技术培训。1982年在北京开办的两期培训班，使用的教材就是本书的初稿。本书各章的作者都是长期从事印制电路技术、科研和生产的工程技术人员。他们在科研生产第一线积累了十几年的工作经验。因此本书的特点是理论与生产实践紧密结合，对印制电路制造工艺叙述得详细并切合实际，其中介绍的溶液配方、工艺条件等都是经过实践考验的。

在培训班的教学实践中，本书深受广大学员的欢迎，为了进一步扩大技术交流，我们对初稿进行了修改，参考了国

内外近期发表的有关文献，补充了不少新内容，使这本书更加完善和系统。书中的名词术语也力求标准化。

李世豪工程师和顾昌寅高级工程师审阅了修改稿，并提出了很多宝贵意见，在此向他们表示感谢。本书在编写过程中也得到了姚守仁、王厚邦两位高级工程师的大力支持，在此向他们一并表示谢意。

参加本书编写的有（按姓氏笔划为序）：马有昌、马淑兰、王克本、王志明、方简秉、倪玫萍、刘俊泉、李乙翹、陈应书、沈锡宽、陈达宏、李新生、李金堂、林淑华、房正梁、唐济才、龚鼎元、喻如英、潘明亮等。

本书插图是由许秀茹同志描绘的，在此向她表示感谢。

本书的金相照片由季绍华同志提供，在此也向她表示感谢。

由于编者水平有限，错误在所难免，诚恳希望广大读者指正。

编 者

1984年10月

目 录

第一章 绪论	(1)
第一节 定义	(1)
第二节 发展简史和动向	(2)
第三节 国内制造印制电路的几种工艺	(20)
第二章 基板材料	(32)
第一节 覆铜箔层压板的制造过程	(32)
第二节 覆铜箔层压板的主要原料	(36)
第三节 覆铜箔层压板的性能和标准	(45)
第三章 设计和布线	(52)
第一节 一般考虑	(52)
第二节 基板材料的选择	(54)
第三节 机械结构	(55)
第四节 电设计考虑	(57)
第五节 布线	(69)
第四章 照相底版的制作	(76)
第一节 概述	(76)
第二节 照相底图的制作方法	(77)
第三节 照相制版	(79)
第四节 数控照相	(95)
第五节 重氮片	(96)
第六节 拼板技术	(100)
第五章 图象转移	(102)
第一节 液体光致抗蚀剂	(103)
第二节 丝网漏印	(111)

第三节	干膜抗蚀剂	·····	(133)
第六章	化学镀和电镀	·····	(159)
第一节	概述	·····	(159)
第二节	化学镀铜	·····	(171)
第三节	镀铜	·····	(192)
第四节	电镀铅锡合金	·····	(220)
第五节	电镀镍	·····	(243)
第六节	印制插头电镀	·····	(252)
第七节	电镀锡镍合金	·····	(264)
第八节	化学镀锡、化学镀金	·····	(267)
第九节	溶液分析	·····	(271)
第七章	蚀刻	·····	(302)
第一节	概述	·····	(302)
第二节	三氯化铁蚀刻液	·····	(307)
第三节	酸性氯化铜蚀刻液	·····	(312)
第四节	碱性氯化铜蚀刻液	·····	(320)
第五节	硫酸-过氧化氢蚀刻液	·····	(331)
第八章	机械加工	·····	(336)
第一节	概述	·····	(336)
第二节	孔加工	·····	(338)
第三节	外形加工	·····	(354)
第九章	可焊性涂覆和处理	·····	(369)
第一节	润湿和可焊性	·····	(369)
第二节	可焊性涂覆层	·····	(371)
第三节	热熔	·····	(377)
第四节	热风整平技术	·····	(388)
第五节	预涂助焊剂	·····	(389)
第十章	多层印制电路	·····	(394)
第一节	概述	·····	(394)
第二节	层压	·····	(398)

第三节	定位系统.....	(414)
第四节	钻孔.....	(418)
第五节	凹蚀.....	(419)
第六节	孔金属化.....	(423)
第十一章	技术规范和检验方法.....	(426)

第一章 绪 论

第一节 定 义

以绝缘板为基材加工成一定尺寸的板，在其上面至少有一个导电图形及所有设计好的孔（如：元件孔、机械安装孔及金属化孔等），以实现元器件之间的电气互连，这种板称为印制线路板，简称印制板。

印制板主要包括刚性和挠性的单面板、双面板和多层板。

单面板——仅一面有导电图形的印制板。

双面板——两面上都有导电图形的印制板。

多层板——由交替的导电图形层及绝缘材料层层压粘合而成的一块印制板。导电图形的层数在两层以上。层间电气互连是通过金属化孔实现的。

挠性印制板——使用挠性基材的印制板。

按照国际电工委员会（IEC）194号公报规定，关于印制电路的术语及定义可分为以下几种：

印制（Printing）：采用某种方法，在一个表面上再现图形的工艺。

印制线路（Printed Wiring）：粘附到基材表面上的作为电气元器件之间，包括屏蔽部分的电气连接的薄导体条构成的图形，而所有的功能元件是与基材分开的。

印制电路（Printed Circuit）：由印制得到的电路，包括印制元件，印制线路或者它们的组合，所有这些都是预先

设计好的并附在基材的表面上。

印制板部件 (Printed Board Assembly)：具有电气、机械元件或者连接其他印制板的印制板，其印制板的所有制造工艺焊接、涂覆等均已完成。

印制电路板的出现与发展，给电子工业带来了重大改革，它已经成为各种电子设备、仪器（包括军工产品和民用产品）不可缺少的部件。它主要有以下优点：

- (1) 产品的一致性、重现性好，成品率大大提高；
- (2) 由于可以实现机械化和自动化生产，生产效率高；
- (3) 可以大大减少布线和装配的错误；
- (4) 在电子设备电装时，易于实现自动化生产，能显著节省装配、检修工时；
- (5) 容易实现电子设备、产品的小型化、轻量化、薄型化；
- (6) 可以实现设计标准化；
- (7) 可以使电子设计实现单元组合化；
- (8) 能大大降低电子设备的价格、成本。

第二节 发展简史和动向

发展简史

印制电路技术虽然在第二次世界大战后才获得了迅速发展，但是，“印制电路”这一概念的来源，却要追溯到十九世纪。从印制电路技术的发展过程来说，基本上可以归纳为三个阶段。

一、第一阶段——新生期（—1945年）

从十九世纪至二十世纪初期，由于不存在复杂的电子装

置、电气机械，因此，也不存在大量生产印制电路板的问题，只是大量需要无源元件，如：电阻、线圈等。这就决定第一阶段的一个特点，就是人们开始设想在一块板上既能印制出导线、又能印制出所有元件，如：电阻、电容、线圈等。

另一个特点是工艺方法的多样化。在这个阶段曾先后出现了金属箔冲压法、电镀法、金属粉末压制法、金属喷涂法和腐蚀法等。这些工艺方法虽然很不成熟，但奠定了现在印制电路技术的工艺基础。

第一阶段主要有下列一些具有代表性的发明与工艺成果：

(1) 1899年，美国人提出采用金属箔冲压法，在基板上冲压金属箔制出电阻器。

(2) 1927年，美国人提出采用电镀法制造电感电容。

(3) 1927年，法国人在基板上用粘合剂印制成布线图形，然后撒上金属粉，并进行电镀，以加强电路导体金属结构的致密性和连贯性。

(4) 1903年，在英国专利中介绍过一种带状电缆，并宣称可用电镀法或金属粉末压制法在绝缘材料上制成导体。

(5) 1930年，英国专利(327, 356)介绍：把铜箔的背面贴在一块托板上，在铜箔表面上涂布一层薄的耐酸漆。然后用刀具在漆膜上刻出所要求的图形，如：线圈、变换开关等。除掉图形以外的漆膜，再用王水等腐蚀掉铜箔，从而得到导线图形。这就是后来的铜箔蚀刻法的起源。

(6) 1937年，日本人官由喜之助提出在纸或金属箔上冲切出导线槽沟。然后贴在绝缘基板上，用喷镀金属方法形成导线图形。在此基础上，他采用这种印制板制造法生产了五百台无线电接收机出售。

(7) 1935年, 美国Ball电话研究所采用喷涂高温(600℃)熔融金属方法, 在基板上布线, 并且在基板两面布线, 以达到交叉布线的目的, 这就是双面板的起源。

(8) 1936—1940年, 英国Paul Eisler博士首先根据印刷技术的设想, 提出了印制线路板的概念。同时他还研究了腐箔技术, 采用照相印制工艺, 在绝缘板的金属表面上, 形成具有耐酸性掩蔽层的导线图形, 然后用化学药品溶解掉未被掩蔽的金属, 从而获得名符其实的印制线路板。这种技术奠定了以后的光蚀刻工艺(Photo-etching Process)的基础。

(9) 在第二次世界大战期间, 美国国防部认识到印制线路板在军用电子设备中体积小、重量轻、可靠性高等方面的重要性, 首先把印制线路板用于军事目的, 在陶瓷基板上丝网漏印银浆料制成印制线路板。采用这种方法制造了大量迫击炮弹的微型近炸信管(日产5000个以上), 开始了印制线路板在军事上应用的阶段。

二、第二阶段 发展与应用期(1945—1960年)

随着电子元器件的出现和发展, 特别是1948年出现晶体管后, 电子仪器和电子设备大量增加并趋向复杂化, 印制板的发展也进入了一个新阶段。从民用到军事, 它的应用范围日益扩大, 数量也大幅度地增长。同时, 还向着高密度的组装方向发展。五十年代初期出现了镀孔双面板。五十年代后期研制成组合型、层压型的多层板。在工艺方法上, 通过大量生产的考验, 筛选出几种具有一定生命力的工艺。例如, 光化学蚀刻法、丝网漏印法、胶印法及转移法等。但它们的工艺基础仍然是铜箔蚀刻法。在这一阶段中, 下列的发明成果对后来的印制板发展起了促进作用。

(1) 大面积覆铜箔板的生产。虽然1947年美国Signal Corps解决了大面积铜箔与绝缘基板的粘合，但是剥离强度比较低。直到五十年代中期，日本东芝株式会社提出在铜箔粘合面上形成氧化铜的方法才基本得到解决。大面积的高粘合强度的覆铜箔板的出现，为大量生产印制板提供了材料的基础。

(2) 1954年美国通用电气公司提出采用铅锡合金作为抗蚀的金属保护层制造印制线路板，这就是图形电镀-蚀刻法的开始。这种工艺是在覆铜箔板的铜箔面上有选择性地形成一种电镀掩膜层，然后电镀铅锡合金作为印制图形的抗蚀层。除去电镀掩膜层后，蚀刻掉露出的铜箔，制成印制板。

(3) 多层板的出现。一方面有孔金属化双面印制板的基础；另一方面，自从1959年美国德克萨斯仪器公司制作出第一块集成电路以后，集成电路生产发展很快，这就促使电子设备对印制板提出提高组件装配密度的要求，加上电子设备有向体积缩小，重量减轻的趋势发展，这就给多层板的出现创造了条件。五十年代后期开始研制多层板。在最早的一些报道中，如1960年8月Litton Systems公司介绍了应用于A₂F小型计算机上的一种六层印制板。与此同时，Rock-Well-Collins, IBM, Honey Well及CDC等公司也先后开始大规模生产多层板。

三、第三阶段——新的发展时期（1960年—）

进入六十年代以后，印制线路板的应用除了在收音机、电视机、磁带录音机等方面大量应用外，新的应用范围大大扩大了。例如：电子计算机、电视录相机、电子表及其他各种数控电子设备等。印制电路板已日益成为电子设备中必不可少的重要部件，特别是在1968年出现了中、大规模集成电

路以后，元器件安装朝着自动化、高密度化方向发展，对印制线路板的导线图形的布线密度、导线精度、可靠性的要求越来越高。与此相适应，为了满足对印制线路板数量上和质量上的要求，印制电路板生产已成为工业化、专业化、机械化、自动化生产。在生产上除了大量采用丝网漏印法和图形电镀-蚀刻法等工艺外，还给印制电路的研制工作，无论从材料、工艺技术和品种等方面都提出了新的课题。

发展动向

一、印制电路板材料的发展

五十年代以来，印制电路用覆铜箔层压板材料发展很快。从酚醛纸基覆铜箔层压板到环氧玻璃布基覆铜箔板，品种不少。根据美国电气制造商协会（NEMA）分类介绍，基本有下列品种：

×××P 酚醛树脂，纸基，加热冲切。

×××PC 酚醛树脂，纸基，低温冲切。

FR-2 耐燃性的酚醛树脂，纸基。

FR-3 耐燃性的环氧树脂，纸基。

G-10 环氧树脂，玻璃布基。

G-11 耐高温的环氧树脂，玻璃布基。

FR-4 耐燃性的环氧树脂，玻璃布基。

FR-5 耐燃耐高温的环氧树脂，玻璃布基。

此外，还有聚酯玻璃布基的和聚四氟乙烯玻璃布基的覆铜箔层压板。

以上这些覆铜箔层压板基本上能满足印制板的要求。但是由于大规模（LSI）及超大规模（VLSI）集成电路的迅速发展及应用，电子仪器设备特别是电子计算机向着大容量、高速度、小体积的方向发展，为了提高大规模及超大规模集成

电路的组装密度，要求提高印制板的布线密度、导线精度、层数和可靠性。同时也要求印制电路用基板材料不但要有优良的电气性能，而且还要有良好的尺寸稳定性（特别是Z轴方向热线膨胀系数要小），长期的耐热性、耐燃性、耐湿性，高温时铜箔的粘合力优良及导体（铜箔），厚度要薄等。为此，发展了一些新的基板材料。

（1）高耐热性覆铜箔层压板

六十年代，由于美苏宇航及导弹研制的需要，对耐热性树脂进行了研究，而用于制作印制电路板用的耐热性树脂从七十年代后也发展很快。目前已出现耐高温的、基板尺寸稳定性好，特别是厚度Z方向热线膨胀系数较小的聚酰亚胺系及三嗪系的覆铜箔层压板。用这类材料制造多层板时，钻孔后孔壁树脂沾污特别少。这些材料作为今后高密度化的印制电路板来说，具有广阔的前景。高耐热性覆铜箔层压板的一般特性列于表1.1。

（2）超薄铜的覆铜箔层压板

当前国外通用的覆铜箔层压板的铜箔厚度为 $35\mu\text{m}$ 、 $75\mu\text{m}$ 两种。用这种铜箔制造高密度的细导线印制图形时，由于导线侧蚀现象严重，往往会造成断线。为了避免这个问题，现在已经研制出铜箔厚度仅为 $5-10\mu\text{m}$ 的覆铜箔层压板。

1969年日本日立制作所首先用厚约 $1-2\text{mm}$ 的铁板或不锈钢板作载体。经抛光后，电镀 $5-10\mu\text{m}$ 薄的铜导体，然后转移到层压板上。现在已经出现多种载体材料，如：美国、日本、瑞典等国一些公司采用厚 $30-50\mu\text{m}$ 连续铝箔作载体。美国Fortin公司用塑料薄膜作载体，有的甚至采用铜箔作载体。

采用超薄铜箔的覆铜箔层压板具有以下优点：

①由于铜箔很薄，可以大大缩短蚀刻时间。

表 1.1 高耐热性覆铜箔层压板的一般特性

项 目	BT 树脂	Kerimid 601	三嗪 A	M 树脂/环氧	Kapton
玻璃化温度 (°C)	240—330	290—300	255	150—180	300—360
长期耐热性 (°C)	170—210	180—190	165	130—160	190—220
钎焊耐热性 (200°C) (s)	> 600	> 600	> 600	> 600	> 600
铜箔附着力 (9.8N/cm) (150°C)	1.4—1.9	1.2—1.4	1.7—1.9	1.6—1.8	1.6—1.8
(200°C)	1.3—1.6	0.9—1.1	1.6—1.6	0.9—1.1	0.9—1.1
	1.1—1.3	0.5—0.7	1.4—1.6	0.3—0.5	0.4—0.6
耐燃性	HB—V ₀	V-1—V ₀	HB—V ₀	HB—V ₀	V ₀
吸水率 (饱和状态) (%)	0.3—0.6	1.5—2.0	0.6—0.7	1.0—1.6	2.6—3.0
耐高压 (24小时 × 2 大气压)	没有异常	玻璃布与树脂 分离, 树脂变白	玻璃布与树脂 分离, 树脂变白	玻璃布与树脂 分离, 树脂变白	附着力显著变小