

中国电子学会生产技术学分会印制电路技术部

指定培训教材

印制电路

■ 李乙翘 陈长生 主编

YINZHI
DIANLU

 化学工业出版社

中国电子学会生产技术学分会印制电路技术部
指定培训教材

印制电路

李乙翹 陈长生 主编



化学工业出版社

·北京·

本书是中国电子学会生产技术学会印制电路技术部指定培训教材。全书共 15 章，分为三部分内容：第一部分（1~9 章）主要介绍了印制电路板材料与各道加工工艺；第二部分（10~13 章）重点介绍了刚性多层印制板生产工艺、高密度互连积层多层板工艺、挠性及刚挠印制板生产技术、金属基（芯）印制板等几种印制板的生产技术；第三部分（14、15 章）介绍了印制电路技术规范、检验及水处理技术和环境保护。

该书不仅可作为印制电路高技能人才的培训教材，也可以作为印制电路产业从业人员及相关专业师生的参考书。

图书在版编目 (CIP) 数据

印制电路/李乙翘, 陈长生主编. —北京: 化学工业出版社, 2006.7

ISBN 7-5025-9131-1

I. 印… II. ①李…②陈… III. 印刷电路 IV. TN41

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2006) 第 084919 号

中国电子学会生产技术学会印制电路技术部
指定培训教材

印制电路

李乙翘 陈长生 主编

责任编辑: 王蔚霞

文字编辑: 钱 诚

责任校对: 王素芹

封面设计: 黄金支点

*

化学工业出版社出版发行

(北京市朝阳区惠新里 3 号 邮政编码 100029)

购书咨询: (010)64982530

(010)64918013

购书传真: (010)64982630

<http://www.cip.com.cn>

*

新华书店北京发行所经销

大厂聚鑫印刷有限责任公司印刷

三河市万龙印装有限公司装订

开本 787mm×1092mm 1/16 印张 32 字数 850 千字

2007 年 1 月第 1 版 2007 年 1 月北京第 1 次印刷

ISBN 7-5025-9131-1

定 价: 69.00 元

版权所有 违者必究

该书如有缺页、倒页、脱页者, 本社发行部负责退换

前 言

21 世纪是电子信息产业迅猛发展的年代, 各种电子信息设备力求实现“轻量化、小型化、薄型化、智能化”, 印制电路板作为电子设备的关键部件, 必须在制造技术和产品性能方面有新的突破、新的提高, 才能适应电子设备发展的需要。

当前, 在树立和落实科学发展观、我国经济建设蓬勃发展的形势下, 印制电路产业也取得了前所未有的发展及长足的进步, 我国印制板产值已跃居世界第二位。印制电路产业的显著特点是涉及专业广、技术更新快、产品多样性, 因此促使我们要与时俱进, 在学习国外先进技术的同时要有所创新, 要不断更新自己的科技知识, 提高自己的制作技能, 用先进的科学技术培养和造就一批高素质的印制电路技术人才队伍。根据信息产业部高技能人才培养的要求, 中国电子学会生产技术学会印制电路技术部组织一批富有实际生产经验的专家和工程技术人员编写此书, 作为印制电路高技能人才培养教材。

本书较为系统地介绍了印制电路生产的专业知识和实践经验以及新的材料和新的工艺技术。同时, 它基本囊括了当今印制电路板生产的主要工艺技术, 内容丰富、新颖、实用性强, 因此还可以作为印制电路产业从业人员的技术参考资料。

参加本书编写的有梁志立(第 1 章)、祝大同(第 2 章)、郭晓宇(第 3 章之 3.1)、余曙平(第 3 章之 3.2)、朱信英(第 3 章之 3.3)、李斌、蔡庚富(第 4 章)、陈长生(第 5 章, 第 7 章)、喻如英(第 6 章)、田茹(第 8 章)、朱民(第 9 章)、王恒义(第 10 章)、李乙翘(第 11 章)、汤燕闽、李乙翘(第 12 章)、李小刚(第 13 章)、沈锡宽、楼亚芬(第 14 章)、石四福(第 15 章之 15.1~15.7)、刘鸿(第 15 章之 15.8), 全书由李乙翘统稿。在编写过程中, 林敏做了大量的编者联络及电子文稿的修改工作。同时, 张晓兵、石立坤等也做了不少工作, 在此表示深切的谢意。

编者在此应特别感谢中国电子科技集团公司第十五研究所 PCB 中心对本书编写过程中的大力支持和帮助, 同时也应感谢信息产业部印制电路板质量监督检验中心及马忠义、周毅、虞尚友、林茂忠等在资料方面给予的帮助。

由于编者水平有限, 书中难免有不当之处, 还望读者不吝赐教。

编者

2006 年 8 月

目 录

1 概述	1
1.1 印制板的定义及作用	1
1.2 印制板的分类	3
1.3 印制板的发展简史	5
1.4 印制板的主要制造方法	6
1.5 高密度高精度印制板生产技术的新发展	9
1.6 未来印制板的发展趋势	13
2 印制电路板基板材料	15
2.1 基板材料的分类与品种	15
2.2 PCB 基板材料的性能要求	20
2.3 基板材料的生产制造	24
2.4 一般覆铜板及多层板用半固化片	32
2.5 高性能基板材料	40
2.6 挠性印制电路板用挠性基板材料	50
3 印制电路板的 CAD/CAM 与光绘制版工艺	56
3.1 印制电路板的设计	56
3.2 计算机辅助制造 (CAM)	62
3.3 光绘制版工艺	73
4 印制电路板机械加工	79
4.1 覆铜板的下料	79
4.2 孔加工	79
4.3 数控铣	97
4.4 印制电路板冲裁	105
4.5 印制电路板插头 (金手指) 的倒角	106
4.6 V 形槽切割 (V-cut)	107
5 化学镀铜与直接电镀	108
5.1 化学镀铜	108
5.2 直接电镀	127
6 光化学图像转移工艺	137
6.1 干膜光致抗蚀剂图像转移工艺 (简称干膜)	138
6.2 液态光致抗蚀剂图像转移工艺 (简称湿膜)	157
6.3 电沉积光致抗蚀剂图像转移工艺 (简称 ED 膜)	162
6.4 激光直接成像技术 (LDI 技术)	163
7 酸性镀铜及表面镀 (涂) 覆工艺	167
7.1 酸性镀铜	167
7.2 电镀锡铅合金	176

7.3	电镀锡和锡基合金	183
7.4	锡铅(或锡)镀层的退除	187
7.5	热风整平	188
7.6	锡铅合金镀层的热熔	195
7.7	电镀镍	198
7.8	电镀金	207
7.9	有机助焊保护膜	211
7.10	化学镀镍、化学镀金	214
8	蚀刻工艺	219
8.1	印制电路板蚀刻的含义与作用	219
8.2	蚀刻液	219
8.3	蚀刻工艺流程、蚀刻设备以及蚀刻液的回收再生	227
8.4	蚀刻质量的要求及检测、控制	229
8.5	蚀刻液及蚀刻工艺的新发展	233
9	印制板油墨涂覆工艺	237
9.1	油墨涂覆工艺的含义及作用	237
9.2	网印工艺	237
9.3	网印图形工艺	249
9.4	湿膜涂覆工艺	261
9.5	帘涂阻焊工艺	266
9.6	碳膜印制板制造工艺	271
9.7	导电浆贯孔印制板制造技术	275
10	刚性多层印制板生产工艺	284
10.1	多层印制板的基本概念	284
10.2	多层印制板用基材	285
10.3	多层印制板工艺流程	299
10.4	多层印制板定位系统	302
10.5	多层印制板的内层板表面处理	306
10.6	多层印制板层压	315
10.7	钻孔和去树脂钻污	323
10.8	多层印制板生产中必须注意的两大问题	329
11	高密度互连积层多层板工艺	336
11.1	积层多层板的优点	337
11.2	积层多层板的基本特征	337
11.3	积层多层板的类型	337
11.4	积层多层板用绝缘材料	338
11.5	积层多层板的制作工艺	343
11.6	积层多层板的质量检查	363
12	挠性及刚挠印制板生产技术	366
12.1	挠性及刚挠印制板的特点、应用及分类	366
12.2	挠性及刚挠印制板的材料	368
12.3	挠性印制板的设计	373

12.4	挠性及刚挠印制板的制造工艺	375
12.5	挠性及刚挠印制板的性能要求	384
12.6	挠性及刚挠印制板的发展趋势及预测	387
13	金属基(芯)印制板	388
13.1	金属基(芯)印制板的含义、特性及应用	388
13.2	金属基印制板	389
13.3	金属芯印制板	394
13.4	金属基(芯)印制板的发展趋势及应用前景	398
14	印制电路技术规范及检验	400
14.1	质量检验	400
14.2	印制电路标准化	404
14.3	技术规范	408
14.4	成品检验	441
14.5	质量保证条款(quality assurance provisions)和交收检验要求	448
14.6	包装、运输、储存(packaging, shipment, storage)	449
15	印制电路板水处理技术及其环境保护	450
15.1	印制电路板水处理技术的基本概念	450
15.2	印制电路板的水处理技术	452
15.3	印制电路板生产用水	467
15.4	印制电路板生产中的“三废”处理技术	470
15.5	印制电路板废物的回收技术	480
15.6	印制电路板水处理设备及器材和化学试剂	484
15.7	印制电路板生产中的环境保护和环境管理	486
15.8	ISO 14000 标准简介	490
附录		502
附录 1	硬度单位	502
附录 2	ASTM 电子级水标准	502
附录 3	电子工业水质要求	502
附录 4	国际上印制板废水(含铜废水)的排放标准	503
附录 5	印制线路板工业污染预防方案	503
参考文献		505

1 概 述

1.1 印制板的定义及作用

1.1.1 定义

什么叫印制板 (printed board)? 在我国的国家标准 GB 2036—94 (印制电路术语) 的解释是: “印制电路或印制线路成品板统称印制板。它包括刚性、挠性和刚挠结合的单面、双面和多层印制板等。”

印制电路和印制线路二者是有区别的, 根据 GB 2036—94 的解释, 在绝缘基材上, 按预定设计形成印制元件或印制线路以及两者结合的导电图形, 称作印制电路; 在绝缘基材上形成的导线图形, 用于元器件之间的连接, 但不包括印制元件, 称为印制线路。

在日本, 定义印制板很简单: “形成印制线路的板叫做印制线路板。装上元器件的印制线路板称作印制电路板。”

在欧美, 将仅含导线图形的光板、裸板, 而不含元器件的板子叫印制线路板。美国 UL 公司认证印制板的文件资料上使用 PWB (printed wiring board)。印制电路板 (printed circuit board, 简称 PCB) 是指: “板子+元器件=PCB”。但欧美国家不少人常常把印制线路板统称为 PCB, 即 PCB 也是 PWB。

在本书各章节中, 印制电路 (印制线路) 板, 统称印制板。单面、双面、多层印制板分别简称单面板、双面板、多层板。

1.1.2 作用

印制板的作用主要有以下三种。

- ① 提供各种电子元器件 (如集成电路、电阻、电容等) 固定、装配的机械支持。
- ② 实现各种电子元器件之间的电气连接或电绝缘, 提供所要求的电气特性, 如特性阻抗、高频微波的信号传输。
- ③ 为元器件焊接提供阻焊图形, 为元器件插装、检查、维修提供识别字符。

1.1.3 特点

作为现代电子信息工业的重要元件——印制板, 明显具有以下几个特点。

(1) 集成电路离不开印制板 集成电路 (IC) 技术体现一个国家的工业现代化水平, 引导着电子信息产业的发展。而 IC 的电气互连和装配离不开印制线路板。电子装备的进一步集成化、微小型化, 尤其是大规模、超大规模集成电路的逐渐发展, 使印制板的技术和制造也必须与之相适应。目前, IC 技术和印制电路技术在相互靠拢, 相互渗透; 更加紧密配合。因此, 印制板在 21 世纪将会继续发展。

(2) 高新技术产品少不了印制板 印制板在电子设备产品中起着连接各类电子元器件和电气互连作用。军事上, 人造卫星、洲际导弹、火箭发射、宇宙航天都用了不少印制线路板, 例如美国阿波罗登月飞船使用了 42 层的印制板。现代家庭中的平面彩电、数码相机、全自动洗衣机、可视电话等, 印制板是其基础部件。打开计算机、通信机, 映入眼帘的尽是一块块精密复杂的多层印制板。每个城市使用的数万门程控数字交换机, 需要数十个品种的双面板、多层板、母板、大背板。笔记本电脑、手机、数码相机、摄像机、汽车、卫星、导航仪等领导潮流的高科技产品上, 又用到了大量高密度互连、高可靠性、高精度的埋盲孔薄

型刚性和挠性多层印制板。同样，在现代科技医疗仪器、石油勘探、卫星通信等行业，例如 B 超、心电图测试、汽车仪表等少不了使用许多小孔 ($\phi 0.1 \sim 0.3\text{mm}$)、细线 ($0.075 \sim 0.13\text{mm}$)、双面 SMT (表面安装技术)、BGA (球栅阵列封装)、QFP (四脚扁平封装) 的双面、多层印制板。这些年来，涌现出来的各类高新技术产品，都同印制板息息相关，并对印制板提出了各种新的要求。

(3) 现代科学和管理体现在印制板企业 一位外国企业家说过，能管好一家多层板厂，就能管理好任何一家其他工厂。这句话表明，一家上规模的多层板工厂是复杂和难管理的。印制板行业涉及到“五多”。

① 多个学科。印制板生产包含聚合物化学、光学、精密加工、电子技术、自动控制、计算机技术等多个学科领域。

② 多种技术。包括计算机辅助设计与制造 (CAD/CAM)、数控钻孔、光成像图形转移、孔金属化、图形电镀、酸性和碱性蚀刻、插头镀镍/金、热风整平、液态光成像阻焊、多层层压与层间定位、通断测试等许多复杂的工艺技术。

③ 多个工序。制作埋盲孔多层板全过程有三四十个工序，不少工序又包括了一二十个子工序，任何一个工序出问题，则前功尽弃，产品报废。

④ 多种设备。各个工序需要许多高精度的计算机控制的自动化设备去完成，如激光光绘机、数控钻床/铣床、抽真空层压机、全自动电镀线、全自动光学检测系统、多层定位系统、各种各样的专用测试仪器等，每台设备动辄几十万美元。

辅助设备也多。一座 PCB 工厂需要压缩空气、中央空调 (部分工序恒温恒湿无尘)、纯水、污水处理站、稳压电源、消防等多个辅助设备系统。这些设施加起来的投资约占总投资的 30%。

⑤ 多种物料。一座 PCB 厂需使用到数百种物料和辅料，如干膜、覆铜板、半固化片 (粘接片)、各种化学药品、化学添加剂、钻头、铣刀、特种胶带、阻焊油墨等。

众所周知，印制板行业属于典型的市场经济，每块板都要按客户的设计指定生产，没有客户订单，工厂就得停工。综上所述，印制板行业属于技术密集、资金密集的行业；当然，亦属于高污染的行业 (生产过程使用了许多化学物料，污水处理是复杂的)，必须生产上规模、技术上档次、设备上台阶、市场争国际，才能生存和发展。所以，一座印制板工厂没有现代化管理是不可想象的。许多现代科学和管理在印制板企业亦得到充分体现。

(4) 我国改革开放促进了印制板行业的高速发展 1957 年我国诞生了第一块印制板。经历了近 50 个春秋，特别是改革开放后的二十余年间，我国 PCB 行业获得了迅猛的发展。据 2004 年度发布的统计数据，全球 2003 年度印制板总值为 345 亿美元，其中刚性板约占 85%，其余是挠性板和刚挠板。中国的产值为 60.54 亿美元 (合 502.5 亿元人民币)，占全球 17.5%，位居世界第二位 (日本 98.15 亿美元，占全球 28.5%，世界排名第一；北美 55 亿美元，占全球 14.5%，为第三)，同比增长 34.56%。近年来我国印制板每年增幅 20% 以上，挠性板增幅 60% 以上，全球一枝独秀。中国目前已有上千家独资、合资、国营、民营印制板企业，一大批工厂获得 ISO-9001 (2000)，QS-9000，ISO-16949 质量管理体系，ISO-14001 环境管理系统认证，美国 UL，中国 3C 系统认证。国内已有不少月产 $10^5 \sim 2 \times 10^5 \text{m}^2$ 双面多层板的大型 PCB 现代化企业。由于规模生产的需要，国内涌现出越来越多的从事印制板单一工序的专业公司，如钻孔、层压、CAD/CAM、绷网等公司，还有一批印制板设备公司、印制板物料公司，具有知识产权、专利性的一批印制板设备及物料将在我国 PCB 发展中发挥越来越大的作用。种种迹象表明，全球印制板生产重心正在移向中国，预测数年后，我国 PCB 行业将名列世界首位。

综上所述,印制板是充满希望的产业,在 21 世纪仍是朝阳产业。当然,这个行业也是高投资、高科技、高污染的行业,客户下了订单才能生产的行业。应当说,在 21 世纪 PCB 会继续发展。

日本《印制线路板集》作者小林正说得好:如果没有电脑和软件,电子设备等于普通箱子;如果没有半导体,线路板和电子元件就等于是一块普通的石头。

1.2 印制板的分类

1.2.1 从结构上分类

(1) 刚性印制板 刚性印制板 (rigid PCB) 是用刚性基材制成的印制板。刚性印制板占全球印制板比例约为 85%。

(2) 挠性印制板 挠性印制板 (flex PCB) 是用挠性基材制成的印制板,可以有或没有挠性覆盖层。挠性板占全球印制板比例约为 15%。

(3) 刚-挠印制板 刚-挠印制板 (flex-rigid PCB) 是利用挠性基材在不同区域与刚性基材结合而制成的印制板。在刚挠结合区,挠性基材与刚性基材的导电图形通常都要进行互连。

(4) 齐平印制板 齐平印制板 (flat printed board) 是导电图形的外表面和绝缘材料的外表面处于同一平面的印制板。

1.2.2 从用途上分类

(1) 民用印制板 主要用于电视机、洗衣机、电子玩具、照相机等电子产品上,也称为消费类印制板。

(2) 工业用印制板 主要用于计算机、通信、仪器仪表、医疗、汽车等电子产品上。

(3) 军用印制板 主要用于宇航、卫星、火箭、雷达、飞机等军用产品上。

1.2.3 从基材上分类

(1) 纸基印制板 这类印制板使用的基材以纤维纸作增强材料,浸上树脂溶液(酚醛树脂、环氧树脂等)干燥加工后,覆以涂胶的电解铜箔,经高温高压压制而成。按美国 ASTM/NEMA (美国国家标准协会/美国电气制造商协会) 标准规定的型号,主要品种有 FR-1、FR-2、FR-3 (以上为阻燃类),XPC、XXXPC (以上为非阻燃类)。全球纸基印制板 85% 以上的市场在亚洲。最常用、生产量大的是 FR-1 和 XPC 印制板。

(2) 环氧玻纤布印制板 这类印制板使用的基材是环氧或改性环氧树脂作黏合剂,玻纤布作为增强材料。这类印制板是当前全球产量最大,使用最多的一类印制板。在 ASTM/NEMA 标准中,环氧玻纤布板有四个型号:G-10 (不阻燃),FR-4 (阻燃);G-11 (保留热强度,不阻燃),FR-5 (保留热强度,阻燃)。实际上,非阻燃产品在逐年减少,FR-4 占绝大部分。

(3) 复合基材印制板 这类印制板使用的基材的面料和芯料是由不同增强材料构成的。使用的覆铜板基材主要是 CEM (composite epoxy material) 系列,其中以 CEM-1 和 CEM-3 最具代表性。CEM-1 基材面料是玻纤布,芯料是纸,树脂是环氧,阻燃;CEM-3 基材面料是玻纤布,芯料是玻纤纸,树脂是环氧,阻燃。复合基印制板的基本特性同 FR-4 相当,而成本较低,机械加工性能优于 FR-4。

(4) 特种基材印制板 金属基材(铝基、铜基、铁基或因瓦钢)、陶瓷基材,根据其特性、用途可做成金属(陶瓷)基单、双、多层印制板或金属芯印制板。

1.2.4 从特殊性分类

(1) 高 T_g 印制板 当温度升高到某一区域时,基板将由“玻璃态”转变为“橡胶态”,此时

的温度称为该板的玻璃化温度 (T_g)。也就是说, T_g 是基材保持刚性的最高温度 ($^{\circ}\text{C}$)。通常 $T_g \geq 170^{\circ}\text{C}$, 称作高 T_g 印制板。基材的 T_g 提高了, 印制板的耐热性、耐潮湿性、耐化学性、耐稳定性等特征都会提高和改善。近年来, 要求制作高 T_g 印制板的客户逐年增多。

(2) CTI 印制板 CTI 称之为相对漏电起痕指数, 是英文 comparative tracking index 的缩写。在高电压、污秽、潮湿等恶劣环境下使用的 PCB (如洗衣机、制冷设备、电视机等), 会出现绝缘破坏、起火、表面碳化等问题。根据国际电工委员会 (IEC) 664A、950 标准按 CTI 值大小将绝缘材料分成 4 个等级, I 级 CTI 值 ≥ 600 , II 级 CTI 值为 400~600, III a 级 CTI 值为 175~400, III b 级 CTI 值为 100~175。客户对 CTI 有要求时应选用高安全性能的板材作印制板, 例如生益科技 S2600 板材的 CTI 值可达到 ≥ 600 。

(3) 阻抗特性印制板 英文 characteristic impedance control 称之为特性阻抗控制。基于 IC 集成度的提高和应用, 其信号传输频率和速度越来越高, 因而在 PCB 导线中信号传输 (发射) 高到某一定值后, 便会受到 PCB 导线本身的影响, 造成传输信号的失真或丧失。这表明, 此时 PCB 导线上所“流通”的“东西”并不是电流, 而是方波信号或脉冲 (square wave signal, pulse)。这种“信号”传输时所受到的阻力, 称为“特性阻抗”, 代表符号为 Z_0 。近年要求制作特性阻抗印制板越来越普遍, 多为计算机、通信行业高速、高频信号传输所需用的多层印制板。这类印制板通常要求特性阻抗为 40 Ω , 50 Ω , 75 Ω , 100 Ω , 公差为 5%~10%。需要用专用的仪器测试。

(4) 高频微波印制板 高频微波印制板作为电子信息科技产业必不可少的配套产品, 近年来需求迅速增多。高频的定义是 300MHz 以上、即波长在 1m 以下的短波频率范围。高频通信、高频传输、高保密性、高传送质量, 要求移动通信、汽车电话、无线通信向高频高速发展, 使高频通信在卫星接收、基站、导航、医疗、运输、仓储各个领域大显身手, 因而对印制板提出了高频特性要求。这类印制板需选用低介电常数 (ϵ_r 或 D_k) 的覆铜板基材制作, 制造工艺同传统方法也有所不同。低介电常数基材所使用的树脂包括聚四氟乙烯 (PTFE, 俗称 teflon; D_k 2.1~2.6), 聚酰亚胺 (PI), 聚苯醚 (PPE 或 PPO), 双马来酰亚胺三嗪 (BT), 氰酸酯树脂 (CE) 等, 介电常数 D_k 常用的数值为 2.1、2.6、3.0、3.2、3.3、3.4、3.6、3.8、4.0 或 9.5、10.0。

(5) HDI 印制板 HDI 是英文 high density interconnecting (高密度互连) 的缩写。高密度互连印制板是指在常规的 PCB (如双面板或四层板等作为芯板) 的一面或双面上交替地积层上绝缘介质层和导电层等而形成更高密度的印制板。这类板子最早是由日本开发并发展起来的, 美国、欧洲也紧跟其后, 主要用于移动电话、数码相机等领域。

美国 IPC 协会对 HDI 的定义是: 非机械钻孔, 孔径 $\leq 0.15\text{mm}$, 多为盲孔, 孔环径 $\leq 0.25\text{mm}$, 微孔或微导通孔; 接点密度 ≥ 130 点/ in^2 , 布线密度为 117in (1in=2.54mm)/ in^2 ; 线宽/间距 $\leq 0.075\text{mm}$ 。日本命名这类印制板为 Build-up PWB, 译为积层印制线路板。HDI 和 Build-up (高密度互连和积层) 在 PCB 行业里所表达的含义相同。

(6) 埋盲孔印制板 通常埋盲孔印制板都是多层板。盲孔指的是仅延伸到印制板一个表面的导通孔, 通常孔径 (ϕ) $\leq 0.4\text{mm}$, 是金属化孔 (PTH)。埋孔 (buried via-hole) 指的是未延伸到印制板表面的导通孔, 通常孔径 $\leq 0.4\text{mm}$, 是金属化孔。基于电子设备体积小、元器件的集成化, IC 的高密度化, 使许多多层印制板被设计成埋盲孔多层板。

(7) 无卤印制板 根据欧盟 2003 年初公布的两项环保指令案 (WEEE 指令和 ROHS 指令), 禁止使用六种物质: 铅、汞、镉、六价铬、溴阻燃剂之多溴化联苯 (PBB) 和多溴化联苯乙醚 (PBDE), 2006 年 7 月 1 日起执行。我国信息产业部的“电子信息产品污染防治管理办法”文件, 于 2006 年 1 月 1 日生效。该文件中提及: 2006 年 7 月 1 日起, 欧盟

ROHS 指令的六种有害物质禁止使用实施，中国也同期生效。

据资料介绍，在印制电路行业，PBB 在基材生产中基本已停用，PBDE 有少量用在纸基 PCB 中。PBB 和 PBDE 的主要用途是作为阻燃剂，废弃物燃烧时，会放出二噁英（dioxin），苯呋喃（benzofuran）等，发烟量大，气味难闻，高毒性，致癌，不环保，因此禁用。

目前还没有任何法律法规规定不得使用除 PBB 和 PBDE 以外的溴阻燃材料。而目前常用的 FR-4、CEM-3 印制板基材均属 94V-0 级，阻燃剂多使用溴化环氧树脂，如四溴双酚 A、六溴环十二烷、4-4'-异丙基(2,6-二溴)苯酚等，这类基材含卤素，不是无卤基材。

含溴型覆铜板仍然还是有危害的：燃烧或电器失火时，放出大量腐蚀性有害气体（溴化氢），发烟量大，印制板在热风整平或元器件焊接时，板材受高温也会释放出微量溴化氢，是否会产生二噁英致癌物，尚在评估中。因此，不少跨国大公司积极推动完全废止除 PBB 和 PBDE 外的所有含溴阻燃材料。就是说，覆铜板的阻燃剂应当是无卤素的，使用无卤基材做成的印制板叫做无卤印制板。

按日本 JPCA-ES-01—2003 标准，氯（Cl）、溴（Br）含量分别小于 0.09%（重量比）的覆铜板，定义为无卤型覆铜板。同时，Cl+Br 总量应少于 0.15%。

(8) 集成元件印制板（埋入元件印制板）ICB, integrated component board 的英文缩写，即集成元件印制板，这类板是把具有电气功能的元器件（component and devices）埋入或积层到 PCB 的内部，因而也可称为埋入元件印制板。但基于目前的技术、工艺和成本等因素，仅有部分无源元件（passive component）埋入到 PCB 内部去，由于结构、体积等原因还没有能力把有源元件（active component）埋入到 PCB 内部去。目前，形成量产能力的主要是埋入电阻印制板和埋入电容或电感印制板。集成元件印制板应当是很有发展前途的印制板。

1.3 印制板的发展简史

PCB 在世界上已有 60 多年的发展历史。20 世纪初各国有不少专利提出过印制电路的基本概念和印制电路的制造方法。但人们比较公认的是奥地利人 Mr. Paul Eisler，在 20 世纪 40 年代第二次世界大战期间，他提出的光蚀刻工艺法在一个军事电子装置中取得了应用，并申请有专利，被称之为“印制电路之父”。

1947 年美国航空局和美国标准局发起印制电路首次技术讨论会，当时列出了 26 种不同的印制电路制造方法，并归纳为六类：涂料法、喷涂法、化学沉积法、真空蒸发法、模压法和粉压法。当时这些方法都未能实现大规模工业化生产。

直到 20 世纪 50 年代初期，由于覆铜箔层压板的铜箔和层压板的黏合强度和耐焊性问题得到解决，其性能稳定可靠，并实现了工业化大生产。铜箔蚀刻法成为印制板制造技术的主流。开始是单面印制板，到了 20 世纪 60 年代孔金属化双面印制板实现了大规模生产，20 世纪 70 年代多层印制板得到迅速发展，并不断向高精度、高密度、细线小孔、高可靠性、低成本和自动化连续生产方向发展。20 世纪 80 年代，表面安装印制板（SMB）逐渐替代插装式印制板，成为生产主流。

20 世纪 80 年代以来，表面安装进一步从四边扁平封装（QFP）向球栅阵列封装（BGA）发展，高密度的 BGA 印制板得到很快发展。同时芯片级封装（CSP）印制板和以有机层压板材料为基板的多芯片模块封装技术（MCM-L）用印制板也迅速发展。以 1990 年日本 IBM 公司开发的表面积层电路技术（surface laminar circuit，简称 SLC）为代表，新一代的印制板是具有埋盲孔、孔径为 $\phi 0.15\text{mm}$ 以下、导线宽度和间距在 0.1mm 以下的高密度积层式薄型多层板，在日本更多地称它为积层式多层板（BUM），并已开发出一二十种不同的制造方法，其中较有名的除 SLC 外，还有日本松下电子部的 ALIVH、东芝公司的 B²it

(buried bump interconnection technology)、CMK 公司的 CLLAVIS 等。能否生产 BUM, 现已成为衡量一个印制板生产厂技术先进的重要标志之一。

美国在 1994 年成立了互连技术研究协会 (ITRI), 1997 年出版一份评估报告, 正式提出了 HDI——高密度互连这个新概念。21 世纪的印制板技术发展方向就是 HDI 新技术, 也即 BUM 新技术。

我国从 20 世纪 50 年代中期开始了单面印制板的研制。1957 年 4 月 25 日《人民日报》第 7 版上, 刊登了我国第一块单面印制板诞生的消息: 在一台晶体管收音机上装有由王铁中先生领导的科研小组 (当时所在单位为成都二机部十所, 现为中国电子科技集团 10 所) 研制的我国最早的 PCB。王铁中先生也被称为中国 PCB 的奠基人。20 世纪 60 年代中我国自力更生地开发了覆铜板层压板基材, 使铜箔蚀刻法成为我国印制板生产的主导工艺。在 20 世纪 60 年代我国已能大批量地生产单面板, 小批量地生产双面板, 并在少数几个单位开始研制多层板。

20 世纪 70 年代在国内推广图形电镀蚀刻法工艺, 但由于受到当时条件限制, 印制电路专用材料和专用设备的研制开发和商品化进展不快。整个生产技术水平落后于国外先进水平。到了 20 世纪 80 年代, 由于改革开放政策的正确指引, 不仅引进了大量具有 20 世纪 80 年代国外先进水平的单面、双面、多层印制板生产线, 而且经过学习、消化、吸收, 较快地提高了我国印制板生产技术水平。20 世纪 90 年代以来, 我国香港和台湾地区以及日本、美国、澳大利亚等外国印制板生产厂商纷纷来到我国合资或独资设厂, 使我国印制板产量猛增。2003 年我国印制板产值已跃居世界第二位, 仅次于日本。

在生产技术上, 由于大量引进了国外先进生产设备和先进生产技术, 包括先进的生产管理, 已大大缩短了和国外先进水平的差距, 取得了很大的进步。我国已实现以 QFP 封装为主的表面安装印制板的量产化, 并能生产 BGA 封装用的表面安装印制板和芯片级封装用的积层式多层板。

现在我国已能生产带埋、盲孔的薄型多层印制板和积层式多层印制板 (BUM), 包括使用激光钻孔技术。据资料介绍, 2002 年我国大约有激光钻孔机 180~200 台 (CO₂ 激光机为主), 预计近年将会以 50% 的速度增加, 促使我国 HDI 产品急速扩大, 其微导通孔孔径将由目前的 50~80 μm 降至 30 μm , 孔径精度和导通孔位置精度提高到 $\pm 15\mu\text{m}$ 。

推动印制电路板技术进步的是电子元器件的高集成化和组装技术的高密度微小化。展望 21 世纪印制电路新技术将围绕 BGA 封装用的表面安装印制板和芯片级封装 (CSP, MCM) 用的积层式多层印制板 (BUM) 方向发展。

纵观印制板 60 多年发展历史说明, “如果没有 PCB 就没有电子电路。如果没有 PCB, 世界上飞行、交通、原子能、计算机、宇航、通信、电话……这一切都无法得以实现。” (摘录自 1999 年世界电子电路大会)。

1.4 印制板的主要制造方法

1.4.1 分类

(1) 减去法 (subtractive process) 以覆铜板为基础, 选择性地除去不需要的导电铜箔而形成导电图形的工艺, 称之为减去法。目前国内几乎所有的印制板企业都使用此法生产 PCB。

(2) 加成法 (additive process) 在未覆铜箔的基材上, 通过选择性沉积导电材料而形成导电图形的工艺, 称之为加成法。日本等国家小部分企业用此法生产 PCB。

(3) 半加成法 (semi-additive process) 在未覆铜箔基材或薄箔基材上, 用化学沉积金属, 结合电镀或蚀刻, 或者三者并用形成导电图形的一种加成法工艺。日本等国家小部分企

业用此法生产 PCB。

1.4.2 印制板制造的几种常规的减去法工艺

1.4.2.1 图形电镀蚀刻法 (pattern plating etch process)

(1) 流程 以双面板为例, 流程为: 下料→钻孔→PTH (化学镀铜)→板面镀铜→光成像→图形电镀→碱性蚀刻→阻焊+字符→热风整平 (HAL)→机加工→电性能测试 (E-Test)→FQA→成品。

(2) 要点 仅对导电图形进行选择性电镀。

板子钻孔, 化学镀铜, 光成像以形成导电图形, 这时候仅对线路和孔及焊盘进行图形电镀铜, 使孔内平均铜厚大于等于 $20\mu\text{m}$, 然后接着镀锡 (锡镀层作为蚀刻抗蚀层), 退除干膜 (或湿膜), 进行碱性蚀刻, 从而得到所需要的导线图形。退掉表面和孔内的锡镀层, 网印阻焊和字符, 热风整平, 机加工, 电性能测试, 得到所需要的 PCB。

(3) 特点 工序多, 复杂, 但相对可靠, 可做细线路。欧美、中国企业大多数用此工艺生产。

1.4.2.2 板面电镀蚀刻法 (panel plating etch process)

(1) 流程 下料→钻孔→PTH (化学镀铜)→板面镀铜→光成像→酸性蚀刻→阻焊+字符→热风整平 (HAL)→外形加工→电性测试 (E-Test)→FQA→成品。

(2) 要点

① 板材钻孔和化学镀铜 (PTH) 后, 对全板面和孔电镀到所需要的铜厚, 使孔内平均铜厚大于等于 $20\mu\text{m}$ 。

② 仅在孔和图形上覆盖干膜, 以干膜作抗蚀层。

③ 在酸性蚀刻液中蚀去多余的铜, 从而得到所需要的导线图形。

(3) 特点

① 工序较图形电镀蚀刻法简单, 但工艺控制会困难些。日本不少企业用此工艺, 国内也有少量企业用此法量产。

② 难点: 板面镀铜层厚度的均匀性较难控制。出现板四周铜层厚, 中间薄的现象, 蚀刻难以均匀, 细线路难生产。

③ 干膜盖孔, 尤其是孔径大的孔, 如掩盖不住, 蚀刻液进到孔内, 孔内铜被蚀掉, 此板就只能报废了。

1.4.2.3 SMOBC 法

SMOBC 是英文 solder mask over bare circuit 的缩写, 它是在裸铜线路上覆盖阻焊剂, 然后进行热风整平 (hot air leveling), 或沉 Ni/Au, 或沉 Ag, 或沉 Sn, 或 OSP (organic solderability preservative, 有机助焊保护膜)。其目的就是在路路上不要有焊料 (Pb-Sn, 或金属层 Ni/Au、Ag、Sn、OSP), 仅孔和焊盘上涂覆铅锡 (或 Ni/Au、Ag、Sn、OSP)。这种工艺起到的作用是: 防止印制板在装配焊接时引起线路桥接; 节约金属成本; 线路上的阻焊获得好的附着力。如果线路是铅-锡焊料, 焊接时线路的阻焊层会发脆。

SMOBC 实际上就是图形电镀蚀刻法。这个方法已延续使用了二三十年。20 世纪七八十年代, 在裸铜线路上涂覆阻焊后, 进行热风整平, 广东人俗称喷锡。喷的是铅-锡焊料, Pb: Sn 为 37: 63 或 40: 60, 这个合金比例共熔点最低, 为 183°C , Pb: Sn 为 40: 60 时共熔点为 190°C 。

热风整平 (喷锡) 工艺, 焊盘上的 Pb-Sn 不够平整, 造成表面贴装 SMT 困难, 而纯金的可焊性优良, 在导线图形、孔、焊盘上全部镀上镍/金 (镍作为底层), 蚀刻后, 除孔和焊盘外全部都涂覆上阻焊剂, 仅留下孔和焊盘为 Ni/Au, 代替 Pb-Sn, 这就是广东和香港人所称的水金板工艺。金层是 24K 的纯金, 可焊, 很薄, 仅 $0.05\sim 0.10\mu\text{m}$ 。需镀镍打底,

2~5μm厚，再镀水金。镀金槽中含金量不多，约为1g/L金。要注意的是，这种可焊性薄金同印制板插头上镀金层有着本质不同，插头镀金镀的是硬金，耐磨，可插拔数百次，要求金层有一定硬度，金槽中的金液含微量钴（镍、锡）元素。

又由于铅-锡合金中的铅有毒，按欧盟指令，2006年7月禁止用铅。于是SMOBC工艺的表面涂覆变为今天的化学浸银、沉锡、沉Ni/Au、OSP来代替Pb-Sn合金。万变不离其宗，这些工艺归根结底都属于图形电镀蚀刻法SMOBC工艺。

1.4.3 双面、多层印制板工艺流程

工艺流程如图1-1所示。这是目前国内绝大多数制造刚性印制板的工艺流程。

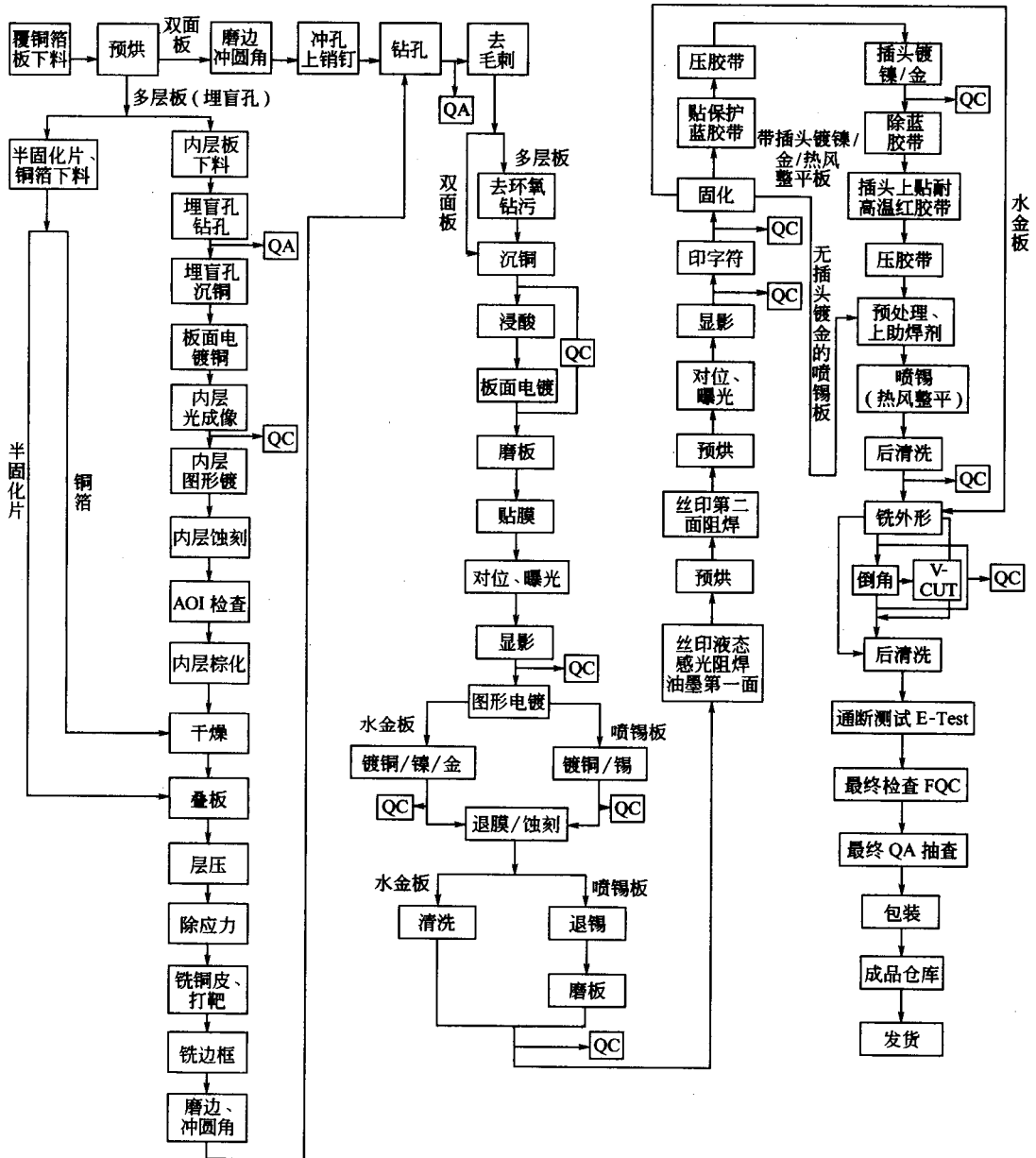


图 1-1 双面、多层印制板工艺流程

1.5 高密度高精度印制板生产技术的发展

印制板生产技术的发展跟随和适应集成电路和封装技术的发展,即向高密度、高精度、细线、细间距、高可靠、多层、轻量、薄型、高速传输方向发展。在生产上同时向提高生产率、降低成本、自动化、清洁生产、适应多品种、小批量生产的方向发展。下面是几个主要方面的新发展。

1.5.1 CAD/CAM 系统

不断发展更新的 CAD 工作站硬件、CAD/CAM 软件、数据库软件、专家系统软件和网络软件和不断推出先进的 CAM 加工设备,使得计算机辅助制造 (CAM) 成为印制板生产中重要的组成部分。PCB 的照相制版光绘系统、数控钻床、数控铣床、激光钻孔机、电气通断测试 (ET)、自动光学检测系统 (AOI) 可以接受 CAD 系统的数据,实现了计算机对生产过程的自动控制,减少了人工操作以及人为的疏忽产生的废品,提高了生产力和 PCB 质量。

CAD/CAM 系统功能的不断增强,在 PCB 生产中的应用不断发展和扩大。先进的 CAD/CAM 系统还具有多种功能。

(1) 有处理照相底版的功能,系统通过扫描仪对照相底版进行扫描可生成矢量数据文件输入主系统。此功能使生产厂除了接受用户的 CAD 数据软盘外,亦可接受用户的照相制版进行生产。

(2) 系统内有设计规则检查 (DRC) 或制造规则检查 (MRC)。可在 PCB 生产前对 CAD 文件进行多项检查,如对导线之间的间隙,焊盘与导线的间隙进行检查并自动修正,使之在满足用户要求的同时具有生产可行性。

(3) 有镀铜面积计算,保证了图形电镀时准确加上所需的电流安培数。

(4) 有在标记字符底版上去除焊盘上字符的功能,防止字符油墨覆盖焊盘。

(5) 为多层板内层删除无用的焊盘。

(6) 为多层板压制增加排胶条等。

1.5.2 高精度照相制版制作技术

光绘机向高精度和高速度方向发展,激光光绘机已代替普通光绘机,以色列 Orbotech 公司的光绘系统是其代表。过去需几个小时绘成的照相底版,现只要几分钟就可完成,而且精度可达 0.003mm。该系统由 CAM 工作站、激光绘图仪和若干配套设备(如自动上片机,自动下片机,自动显影机等)组成,并配备功能强大的软件。由于系统价格昂贵且专业化程度高,因此已出现了专业化的激光光绘公司。

最近出现了不用银盐底片、不需暗室冲洗加工的新的制版方法——使用金属膜胶片激光直接成像制得照相底版。比利时 BARCO 公司最新开发了 Elise 激光直接成像仪,它是一台功率较大的外滚筒式红外激光绘图仪,使用 Agfa 公司特殊的直接成像胶片,该胶片是在 0.18mm 厚度的聚酯薄膜上沉积了一层金属铋,该金属涂覆层被大功率红外激光照射后会蒸发除掉,形成所需的图形,此胶片对日光不敏感,不需暗室冲洗,因而尺寸稳定性优良,最小线宽可做到 0.05mm,其精度 $< 2\mu\text{m}$,重复精度 $< 3.2\mu\text{m}$ 。

1.5.3 盲孔、埋孔制造技术

采用盲孔和埋孔是提高多层板密度、减少层数和板面尺寸的有效方法,并大大减少了镀覆通孔的数量。BUM 板几乎都采用埋孔和盲孔结构。

埋孔和盲孔大都是直径为 0.05~0.15mm 的小孔。埋孔在内层薄板上,用制造双面板的工艺进行制造;而盲孔的制造开始用控制 Z 轴深度的钻小孔数控床,现普遍采用激光钻

孔、等离子蚀孔和光致成孔。激光钻孔有二氧化碳激光机和 Nd:YAG 紫外激光机。日本日立公司的二氧化碳激光钻孔机, 激光波长为 $9.4\mu\text{m}$, 1 个盲孔分 3 次钻成, 每分钟可钻 3 万个孔。

1.5.4 HDI 印制板制造技术

HDI 印制板的出现, 完全满足了实现电子产品小型化、轻量化、薄型化的要求, 是常规多层印制板制造技术的重大变革。HDI 印制板的制造技术不仅包括埋孔、盲孔的制造, 如激光钻孔、光致成孔、等离子体蚀孔等成孔技术及其电气互连技术, 而且出现了一批新型的基板材料(如附树脂铜箔)及涂覆材料, 同时在产品加工设备、定位系统、产品检验等方面均有新的发展。

HDI 印制板在日本称之为积层式多层板 (build-up multi layer, BUM)。它的制造方法有多种, 如采用光致成孔法的 SLC (surface laminar circuit) 技术; 采用覆树脂铜箔和激光钻孔的 CLLAVIS (CMK lamination multi laser via hole system) 技术; 采用导电膏实现电气互连的 ALIVH (any layer inner via hole) 技术及 B²it (buried bump interconnection technology) 技术等。

1.5.5 高精度、高密度、细导线成像技术

制造高精度、高密度、细导线、细间距图形, 首先是光致抗蚀剂问题, 最近有如下几个方面的进展。

(1) 干膜的改进 为了制造细导线, 干膜向薄型、无 Mylar 覆盖膜、高速感光 and 专用用途方向发展。杜邦公司有酸性抗蚀剂、碱性抗蚀剂、掩孔型、电镀型、加成法型等不同类型的干膜, 可满足不同的工艺要求并获得最大的生产率。

杜邦公司还发展了湿式贴膜技术, 使干膜和覆铜板表面更好地吻合贴牢, 填满凹坑划痕, 适于制作精细导线。采用专用的湿法供水贴膜机, 使铜箔表面形成一层薄薄的水膜, 能增加干膜和铜箔的黏附性。

(2) 使用液态光致抗蚀电镀印料(也称湿膜) 由于成本低, 操作方便, 湿膜将用来代替干膜, 如台湾精化公司的 GSP-1550 型等。

(3) 应用辊轮涂覆液体感光胶工艺 制作多层板内层细导线工艺除用网印湿膜代替干膜外, 又有液体感光胶辊轮涂覆工艺, 可以成功地制作线宽和间距为 0.1mm 的内层板, 并从完成光成像全过程后连接到酸性蚀刻、退膜线, 再传送到水平式黑氧化线, 实现了制作细导线内层板的全自动化生产。

(4) ED 抗蚀剂 采用电沉积 (ED) 抗蚀剂是目前制作细导线的先进 PCB 工艺。一般的工艺过程为: 基板表面处理(除去表面油污, 杂质)→ED 电沉积 ($10\sim 20\mu\text{m}$ 厚)→水洗→干燥→涂覆保护层 (PVA、 $1\sim 3\mu\text{m}$ 厚)→干燥→冷却→感光成像。

电沉积抗蚀剂薄而致密地覆盖在铜箔表面上, 可填平铜箔表面上较深的划痕或凹坑, 适于细导线印制板成像工艺, 其关键是 ED 抗蚀剂材料。美国杜邦公司、日本关西涂料公司等都有出售。ED 抗蚀剂分正性和负性两类, 可以制成 0.05mm 的细线。

(5) 激光直接成像技术 激光直接成像 (LDI, laser direct image) 不需照相底版, 直接扫描在专门的激光型感光干膜上成像。由于它不需照相底版, 从而避免了由于底版产生的缺陷并可直接连接 CAD/CAM 系统, 缩短了生产周期, 提高了定位精度, 适用小批量多品种生产。

Excellon 公司生产的激光成像机精度可达 $\pm 0.025\text{mm}$, 重复精度达 $\pm 0.05\text{mm}$ 。

以上几种方法比较如下: 一般干膜可做出 0.1mm 的细导线; 湿膜为 0.075mm ; 特殊干膜(特薄型和无覆盖层型)为 0.05mm ; ED 抗蚀剂和激光直接成像为 0.05mm 。