

装帧设计 夏顺利
封面设计 蒋道环

印制电路制造工艺 吴建生 编写

贵州人民出版社出版
(贵阳市延安中路5号)

贵州新华印刷厂印刷 贵州省新华书店发行

787×1092毫米32开本 15.25印张 318千字

印数 1—3,200

1981年5月第1版 1981年5月第1次印刷

书号: 15115·129 定价: 1.55 元

前 言

随着电子工业的发展，对印制电路板的要求愈来愈高，有关部门对印制电路的制造工艺也愈来愈重视。但全面叙述印制电路制造工艺方面的书籍，目前国内尚不多见。为满足各方面读者的需要，作者根据自己的实践经验，同时收集了国内外文献中有关的资料，编写成《印制电路制造工艺》一书，供阅读参考。

本书主要介绍印制电路制造的各种基本方法，并结合具体情况，着重讲解制造工艺的生产实践。对一些制造工艺上的重要问题，从理论上作了说明，同时，还介绍了印制电路车间的设计和所用设备等。书中介绍的各种配方、数据，有的是从各种文献资料上摘引的，希读者根据生产实际参考使用。目前印制电路制造工艺的发展很快，书中个别内容已不适用，但作为基础知识，仍有一定参考价值，故予保留。

本书可供从事印制电路制造方面工作的青年工人阅读。作为一本工艺手册性读物，也可供这方面的技术人员、专业院校师生参考。

本书编写过程中，得到国营永青示波器厂领导和有关同志的大力支持和帮助，在此表示感谢。

由于经验不足，水平有限，书中难免存在不妥之处，恳切希望读者批评指正。

吴建生

一九八〇年十月

目 录

第一章 印制电路制造工艺发展概况	(1)
第二章 印制电路板的原材料	(9)
第一节 复铜箔层压板的结构及其制造方法	(9)
一、铜箔	(9)
二、粘合剂.....	(12)
三、绝缘层压板.....	(14)
四、复铜箔层压板的制造.....	(19)
第二节 复铜箔层压材料性能指标	(21)
一、抗弯强度.....	(21)
二、抗剥强度.....	(22)
三、耐热性能.....	(22)
四、吸水性.....	(23)
五、翘曲度.....	(23)
六、介电常数.....	(24)
七、介质损耗因素.....	(24)
八、表面电阻和体积电阻.....	(25)
九、抗弧性.....	(26)
十、工艺性能.....	(26)
第三节 常用复铜箔层压板的规范	(27)
第三章 照相原稿的绘制	(33)
第一节 原稿的绘制过程	(33)
一、初稿的绘制.....	(34)

二、正稿的绘制.....	(35)
三、元件排列稿(供丝印用).....	(39)
四、双面和多层印制电路板原稿的绘制.....	(39)
第二节 原稿的绘制方法.....	(41)
一、手工绘图法.....	(41)
二、贴带法.....	(43)
第三节 自动绘稿——数控绘图机.....	(45)
一、数控绘图机.....	(46)
二、专用绘图机(自动布线机).....	(47)
第四章 照相底片的拍摄.....	(50)
第一节 照相室的设计要求.....	(51)
一、照相室的平面布置.....	(51)
二、照相室的土建要求.....	(53)
三、暗室的设计.....	(54)
第二节 制版照相机和制版镜头.....	(58)
一、制版照相机的分类.....	(59)
二、制版照相机的结构.....	(60)
三、几种制版照相机简介.....	(63)
四、照明设备.....	(66)
五、制版照相机的要求和保养.....	(69)
六、制版镜头.....	(70)
第三节 照相工艺.....	(75)
一、制版照相机的操作.....	(76)
二、感光片基的分类.....	(81)
三、罗甸湿版拍摄工艺.....	(83)
四、接触复印法复制底片.....	(95)
第五章 线路图形的印制——照相感光法.....	(102)
第一节 照相感光法的原理.....	(103)

一、感光胶的组成	(103)
二、感光过程的化学变化	(105)
三、光线波长与感光的关系	(109)
四、凹凸现象	(112)
第二节 各种感光胶简介	(114)
一、照相感光法所用感光胶的要求	(114)
二、感光胶的分类	(115)
第三节 照相感光法操作过程	(124)
一、基板铜箔的清洗	(124)
二、感光胶的涂布	(128)
三、预烘	(135)
四、曝光	(136)
五、显影、固膜	(146)
六、烘固(物理固膜)	(151)
七、修版	(151)
第四节 常用照相感光法	(153)
一、蛋白感光法	(154)
二、虫胶感光法	(158)
三、骨胶感光法	(159)
四、聚乙烯醇(P.V.A)感光法	(160)
第五节 照相感光车间的设计和设	备 (165)
一、照相感光车间的平面布置	(165)
二、感光胶涂布设备	(167)
三、曝光设备	(170)
四、辅助设备	(174)
第六节 干膜感光胶	(175)
一、基本原理及特点	(175)
二、分类和基本成分	(177)

三、操作过程	(180)
四、操作工序介绍	(186)
第六章 线路图形的印制——丝网漏印法	(188)
第一节 丝网模版的制造	(189)
一、锌版翻制法	(189)
二、漆膜雕刻法	(192)
三、直接曝光法	(194)
四、专用材料翻制法(碳素纸法)	(195)
第二节 丝网漏印过程及质量问题	(197)
一、手工操作	(197)
二、自动丝网漏印	(200)
三、半自动丝网漏印	(201)
四、质量问题和改进方法	(202)
五、丝网漏印在反镀法上的运用	(203)
六、修版	(204)
第三节 丝网漏印的设备和材料	(204)
一、油墨(抗腐蚀涂料)	(204)
二、丝网材料	(209)
三、框架及材料	(211)
四、刮刀(刮墨板)	(212)
五、各种丝网漏印设备	(213)
六、辅助设备	(218)
七、车间的平面布置	(218)
第七章 铜箔的腐蚀	(221)
第一节 腐蚀的操作过程	(222)
一、丝网漏印法的腐蚀工艺	(222)
二、照相感光法的腐蚀工艺	(223)
三、反镀法的腐蚀工艺	(225)

第二节 常用腐蚀溶液——三氯化铁	(230)
一、三氯化铁的浓度	(231)
二、腐蚀溶液的配制	(232)
三、腐蚀过程的化学反应	(234)
四、腐蚀溶液的控制	(239)
五、影响腐蚀时间的因素	(241)
六、三氯化铁腐蚀溶液容易产生的问题	(244)
第三节 废旧三氯化铁的处理和再生	(246)
一、三氯化铁的回收与再生	(247)
二、电解设备和工作条件	(248)
三、移动式阴极电解设备	(249)
第四节 其他腐蚀溶液	(255)
一、过硫酸铵腐蚀液	(256)
二、氯化铜腐蚀液	(261)
三、铬酸——硫酸腐蚀液	(266)
四、硫酸——过氧化氢腐蚀液	(268)
第五节 腐蚀的一般原理	(272)
一、倒切口现象	(273)
二、外伸现象	(277)
三、其他因素	(280)
四、腐蚀过程对材料的影响	(280)
第六节 腐蚀方法和设备	(288)
一、浸入法	(288)
二、压缩空气法	(289)
三、泼溅法	(290)
四、喷射法	(293)
五、电解腐蚀法	(298)

第七节 腐蚀后的中和清洗和抗蚀保护膜的 去除.....	(299)
一、腐蚀后的中和清洗.....	(299)
二、抗蚀保护膜的去除.....	(301)
第八节 腐蚀车间的设计和劳动保护.....	(303)
一、腐蚀车间的设计.....	(303)
二、安全生产和劳动保护.....	(305)
第八章 电镀、浸镀.....	(308)
第一节 镀金.....	(311)
一、酸性电镀硬金.....	(313)
二、氰化镀金.....	(316)
三、无氰镀金(亚硫酸盐镀金).....	(317)
四、镀金层的去除和镀金的质量检查.....	(318)
第二节 镀银.....	(319)
一、银的迁移现象.....	(320)
二、镀银保护层的作用.....	(322)
三、镀银的浸汞处理.....	(323)
四、氰化镀银.....	(325)
五、氰化镀硬银.....	(326)
六、无氰镀银.....	(328)
第三节 镀铅锡合金(焊锡).....	(329)
一、镀铅锡合金的特点.....	(331)
二、常用的镀铅锡合金方法.....	(333)
三、高分散能力铅锡合金的电镀溶液.....	(337)
四、光亮铅锡合金电镀.....	(340)
五、铅锡合金镀层厚度的测定.....	(341)
第四节 镀锡镍合金.....	(342)
一、电镀液的组成和工作规范.....	(343)

二、电镀液的配制和维护.....	(343)
第五节 化学浸镀	(344)
一、化学浸镀的特点.....	(345)
二、印制板板面的预处理.....	(345)
三、化学浸银.....	(346)
四、化学浸金.....	(346)
五、化学浸锡.....	(347)
第九章 孔金属化	(348)
第一节 孔金属化的一般概念	(349)
一、孔金属化过程简介.....	(349)
二、漆膜法.....	(350)
三、堵孔法.....	(353)
四、板面电镀法.....	(355)
五、图形电镀法.....	(357)
六、反镀漆膜法.....	(359)
第二节 钻孔和孔壁预处理	(360)
一、钻孔.....	(360)
二、孔壁预处理.....	(365)
第三节 敏化、活化、化学沉铜	(369)
一、敏化.....	(369)
二、活化.....	(371)
三、化学沉铜（化学镀铜）.....	(377)
四、化学沉铜过程的探讨.....	(379)
第四节 电镀铜	(383)
一、孔金属化电镀铜的特点.....	(384)
二、硫酸铜镀铜.....	(387)
三、氟硼酸铜镀铜.....	(388)
四、焦磷酸铜镀铜.....	(389)

五、孔金属化镀铜的发展.....	(395)
第五节 孔金属化的质量检查	(396)
一、外观检查.....	(398)
二、通孔电阻检查.....	(398)
三、气候条件试验.....	(398)
四、耐焊性试验.....	(399)
五、耐冲击震动试验.....	(399)
六、金相检查.....	(400)
七、非破坏性测量检查.....	(401)
第十章 机械加工	(404)
第一节 机械加工的 classification 和特点	(404)
一、机械加工的特点.....	(404)
二、常用的机械加工方法.....	(405)
三、毛坯机械加工.....	(406)
四、各种机械加工的工艺流程.....	(408)
五、定位孔.....	(409)
六、工厂常用的生产方法.....	(412)
第二节 冲孔	(412)
一、冲孔公差尺寸.....	(413)
二、冲模的设计和制造.....	(416)
三、冲孔工艺.....	(419)
第三节 钻孔	(421)
一、几种钻孔方法.....	(421)
二、钻头.....	(423)
三、钻床.....	(424)
第四节 外形加工	(430)
一、用模具进行冲裁.....	(431)
二、平面刻模铣床加工外形.....	(435)

三、剪切	(436)
四、砂轮 (或锯片) 切割	(436)
附录一、照相制版化学药品性能介绍	(438)
附录二、照相罗甸的配制	(446)
附录三、印制电路板腐蚀液主要配方	(450)
附录四、波美度和比重的关系	(462)
附录五、三氯化铁水溶液的比重	(463)
附录六、各种金属的腐蚀方法	(464)
附录七、印制电路制造的工艺流程	(466)
附录八、三氯化铁溶液的化学分析	(469)

第一章 印制电路制造工艺发展概况

印制电路的制造方法有很多种，使用得最多的是腐蚀法，即在复铜箔的层压材料上，有选择地进行腐蚀，得到要求的线路图形。印制电路是在解决了大面积铜箔和合成树脂板之间的粘合问题之后，也就是复铜箔层压板材料出现之后，才真正大量地应用推广。本书所谈的印制电路制造工艺，是指用复箔板制造的印制电路，对于其他方法不作介绍。

印制电路制造工艺的出现，是近三十年的事。随着电子工业的发展，印制电路无论是品种和制造方法，都有很大发展。

印制电路的制造作为一个专门工艺来说，有它自己的一些特点：

一、印制电路的制造和印刷工业有密切的关系。印制电路也有称为印刷电路的，可见它和印刷工业关系非常密切。当然，电路不是真的印刷上去的，但是如果没有印刷工业上成熟的制版工艺，是不可能生产印制电路的。因为不管用何种方法生产印制电路，一般都需要照相底片，而通常用的湿片制造工艺，就是沿用印刷工业上的一套方法。至于用照相法制造印制电路板的工艺，就和印刷工业上的制版工艺（铜版或锌版）几乎完全相同。

二、印制电路制造工艺是现代各门工业技术的综合。印

制电路制造工艺大量借用了其他各门工业的技术，适当地加以组合和修改后，从而适应电子工业的要求。上面谈到的一些制造工艺是印刷工业上沿用的，它和表牌、铭牌的制造工艺也有相当密切的关系，都是基于照相感光方法来生产的。又如丝网漏印，原来是作为广告宣传上用的，特点是设备少、成本低、效率高。在印制电路制造上，就沿用了这个方法，但不是漏印颜料，而是漏印特制的耐腐蚀的漆，这就发展成用丝网漏印法生产印制电路板（属于腐蚀法中的一个分支）。再如电镀工艺，在一般工业上都是作为装饰或保护用的，是在零件成型之后最后进行的。在印制电路板的制造上，也采用了它。如反镀法生产印制电路板，就是按照电路图形，先电镀一层贵金属，腐蚀时，这层贵金属就能起保护作用，下面的铜箔就不会被腐蚀了。在多层印制电路板的生产中，层与层之间的叠压工艺，实质上也是沿用绝缘材料工业上的层压板的叠压工艺。

三、印制电路手工操作的比例大，设备的伸缩性也大。印制电路板的生产，由于受到数量和工艺本身的影响，不容易机械化自动化，成套的专用设备也不多。但是，它的生产工艺很多是通用于其他工业技术的，因此设备通用性也强；如印刷工业上的照相机、烂版机等，都可以用来做印制电路。另外，它的设备的伸缩性也大。如腐蚀铜箔这道工序，可以用全自动连续腐蚀机将铜箔腐蚀好；也可以用个搪瓷盘放些三氯化铁溶液，加热进行腐蚀。感光工序，可以用氙灯、高压水银灯、碳弧灯、镝灯，自动定时曝光；也可以用个晒匣，利用日光灯进行曝光。这就使一般工厂单位容易因陋就简，土法上马。对于大批量生产的专业厂来说，当然应

该建立自动流水线，进行自动化生产，以保证质量，提高效率。

由于印制电路的种类日益繁多，制造工艺也正在引进各种先进的技术。如电子计算机、数控技术的应用，可以自动进行光点扫描制成照相底片；数字程序控制（多头）钻床用于印制电路板钻孔，不仅能提高效率，并能保证精度；用红外线显微镜来检查各层印制电路板的联结；金属材料检查上用的金相检查法，也可用以检查导线腐蚀的质量和孔金属化的质量；印制电路板的焊接可采用波峰焊、电阻焊等等。

四、印制电路的原理主要是照相化学腐蚀。在印制电路制造工艺不断发展的基础上，根据照相化学腐蚀的原理，现又发展到了印制元件（电感、电阻、电容）。如感应同步器的制作，就是采用照相腐蚀法。利用照相化学腐蚀法，还可以制造一些特殊零件，一定程度上可取代冲裁成型，直接得到零件。在彩色电视、集成电路及各种精密元件中，这种方法已广泛应用。这种用照相化学腐蚀法加工零件的方法，国外有的称为化学蚀刻（chemical milling）。它的特点是：（一）适用范围广，各种金属材料均适用。（二）和热处理状态无关，各种热处理状态下的金属均可成型。（三）加工后不变形，毛刺少，特别适用于薄片零件。（四）精密度高，不受形状限制。（五）成本低，不需复杂的工模具。（六）可以大量生产（利用分步重拍照相法，或用照相拼版法，可以一次加工多片）。

此外，仪表工业上的印制动圈，微电机上的印制电机，都是在印制电路制造工艺的基础上发展起来的，加工方法也属于印制电路制造的范围，一般生产印制电路的工厂均可使用。

用腐蚀法制造印制电路的工艺种类繁多，但是基本原理差别不大。目前常用的制作方法可以分成下列几类：

(一) 按制作方法，可以分成照相化学腐蚀法和丝印化学腐蚀法两大类。这是印制电路制造上最常用的方法。照相化学腐蚀法是基于光化学反应的原理，把经过清洁处理后的复铜箔层压板表面，涂敷一层很薄的有机感光材料，将拍摄好线路的照相原版（底片）覆盖在上面，用一定波长的光线照射，使受照射部分的感光材料，起光化学反应硬化，未照射部分用各种溶液清除掉（即显影）。然后，在各种相应的腐蚀液内蚀刻加工（例如三氯化铁、过硫酸铵等）。硬化部分下面的铜箔保留，未硬化部分被腐蚀，结果在层压材料上得到需要的铜导体线路图形。

这种加工方法的特点是精密度高，不易失真，特别适合于图形复杂、尺寸要求严格的印制电路，而且生产周期较短。但工艺过程较长，较复杂，所需设备较多，如果批量很大，用这种方法生产，速度太慢。

丝印化学腐蚀法：丝印的全名是丝网漏印。就是利用一般广告宣传上的丝印原理，用耐腐蚀的油漆涂料在复铜箔层压板上印制出电路图形，等其干后在腐蚀液中腐蚀，油漆保护处的铜箔不会腐蚀掉，没有保护处的铜箔就腐蚀掉，最后得到电路图形。这种方法的质量主要取决于丝网模版的制作精度。它可以用手工刻制，可以用锌版翻制，也可以用碳素纸法。

丝印法的特点是生产效率高、速度快、所需设备少，特别适宜于单一种类、数量很多的生产；缺点是由于受到丝网本身的限制，印制质量精度比不上照相法，而且开始制造时

生产周期较长。普通民用晶体管收音机的印制电路，最适宜采用丝网漏印法生产。

(二) 按生产过程，可以分成先腐蚀后电镀法和先电镀后腐蚀法两种。前者是目前大量采用的典型方法，后者是最近十几年兴起的，很有发展前途。

先腐蚀后电镀法，是用各种方法（照相法、丝印法）在复铜箔层压板上得到电路图形（电路导体部分得到保护），然后腐蚀得到电路，最后去除保护层，再进行电镀（或化学镀）。这种方法给电镀带来一些困难。因为它在电路成形后再进行电镀，而电路有的部分是不相连贯的，要加工工艺导线，保证所有线路都通电，才能进行电镀，电镀之后又要去除工艺条线，因此显得非常麻烦。

先电镀后腐蚀方法，简称反镀法。它的制造过程和上面的方法正好相反，在复铜箔层压板上得到保护图形是负的，即线路部分没有保护，其他部分有涂料保护。在照相或丝印得到图形后，线路部分因为原来没有保护层，故先镀上一层保护金属（一般是镀金、银或铅锡合金）。其他部分因有保护涂料，镀不上去。这样，在铜箔上便得到一个电镀的电路图形。再把保护涂料去除，进行腐蚀。金、银、铅锡合金保护下的铜箔不会被腐蚀，其他部分就腐蚀掉了。最后得到的电路图形是已带电镀层的。电镀有两个作用：一是和一般电镀作用相同，对电路铜箔层起保护作用；二是在腐蚀时起抗蚀作用。采用反镀法可以提高镀层质量，简化加工工序，特别适用于要孔金属化的印制电路板制造。

在印制电路板的制造工艺中，适应范围最广的是双面板（包括孔金属化）。它是整个印制电路板工业的基础。即使是

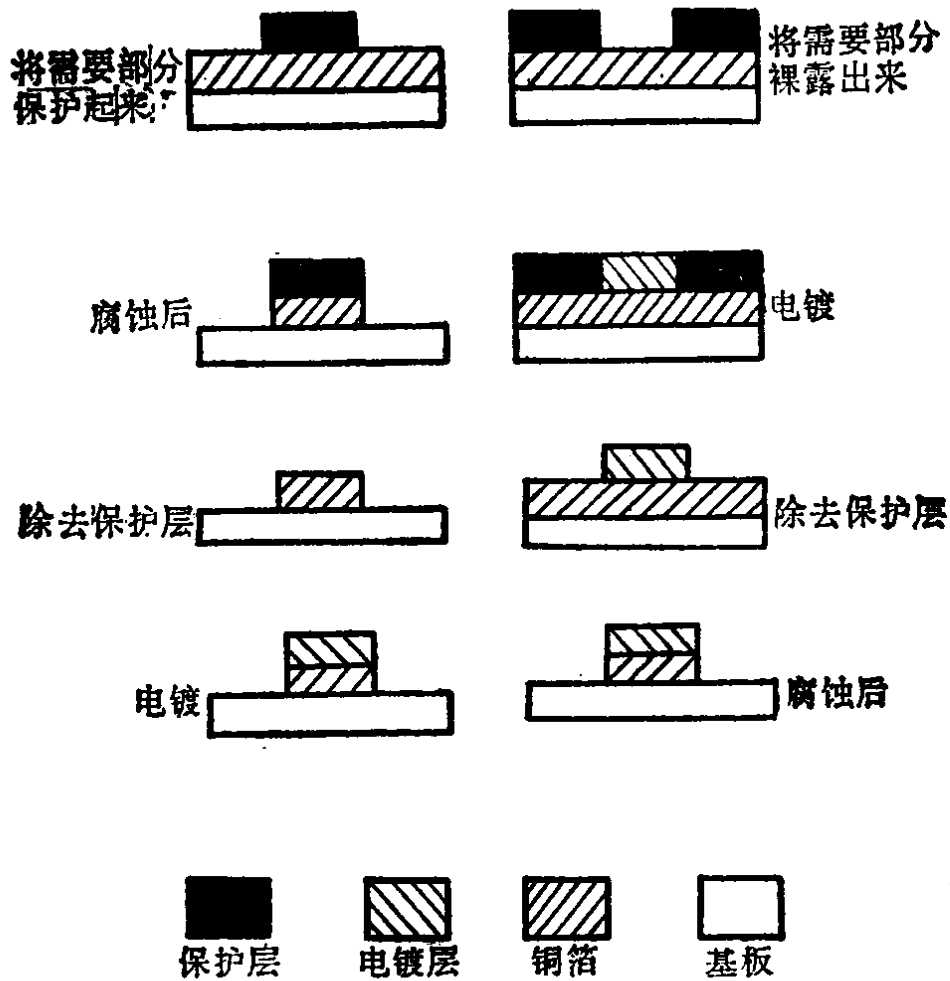


图 1-1 先腐蚀后电镀法和先电镀后腐蚀法的比较

复杂的多层印制电路板的制造工艺，也是以双面印制电路板制造工艺为基础。从印制电路板使用的角度看，单面板的使用范围将缩小，双面板的使用范围将不断扩大。一般使用单面板的领域（如无线电、电视和自动装置），也将逐渐使用双面板。另一方面，在小型甚至大型的计算机中，现在也倾向于不用多层板，而采用双面板。因为双面板的设计较简易，成品率、可靠性均比多层板高，成本又低，而多层板成本高，