

电子组装制造

芯片·电路板·封装及元器件

Electronic Assembly Fabrication

[美] C.A.哈珀 主编
贾松良 蔡 坚 王豫明 等 译
贾松良 等 校

电子组装制造全过程技术指南



科学出版社

www.sciencep.com

电子组装制造

芯片·电路板·封装及元器件

[美] C. A. 哈珀 主编

贾松良 蔡坚 王豫明 等 译

贾松良 等 校

科学出版社

北京

图字：01-2004-2686 号

内 容 简 介

电子组装制造是当前迅速发展的行业,本书集中介绍了电子组装制造的工艺与原材料。全书从有关电子组装制造的发展历程和半导体芯片的制备开始,依次介绍 IC 芯片封装、层压板制造、不同类型单层和多层线路板制造,以及各种线路板上元器件的安装技术、无铅焊料等焊接材料及其工艺,电路板的清洗涂覆,挠性和刚挠性电路板制造,各类陶瓷基板及复合材料,混合电路和模块的组装。书中还专门介绍了电子组装制造中所涉及的环保问题和美国的相关法规。书中不仅有大量的数据资料、实物图片、理论分析,还有许多宝贵的实践经验总结和设计规则。

本书可以作为从事电子组装制造、微电子封装及相关材料制造行业人员的参考资料,也可以用于相关专业研究生和高年级本科生的学习参考书。

图书在版编目(CIP)数据

电子组装制造/(美)哈珀(Harper, C. A.)主编;贾松良等译校. —北京:科学出版社,2004

书名原文:Electronic Assembly Fabrication

ISBN 7-03-014608-5

I. 电… II. ①哈… ②贾… III. ①电子组装-理论 IV. TN05

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2004)第 119493 号

责任编辑:肖京涛 刘晓融 / 责任制作:魏 谨

责任印制:刘士平 / 封面设计:天梯艺术

科 学 出 版 社 出 版

北京东黄城根北街16号

邮政编码:100717

<http://www.sciencep.com>

源海印刷有限责任公司印刷

北京东方科龙图文有限公司 制作

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

科学出版社发行 各地新华书店经销

*

2005年2月第 一 版 开本: B5(720×1000)

2005年2月第一次印刷 印张: 27

印数: 1—4 000 字数: 524 000

定 价: 55.00 元

(如有印装质量问题,我社负责调换(新欣))

前 言

现代高科技电子产品对人类生产、生活的各个方面都产生着重要的影响。然而，对于现代电子组装的复杂性以及制造最终高科技产品所需的繁多工序，除了高技术工程专家等业内人士之外，大多数人是难以理解的。要理解高科技电子装置，还需要了解其他一些问题。首先，电子组装及工艺的种类多不胜数；其次，制造最终电子产品的原材料与制造工序繁多。事实上，在高科技电子装置制造过程中，所需材料与工序的变化范围之广，即使是业内某一技术领域的专家有时也不了解完成其最终产品所需的其他领域的材料与工序。因此，非技术人员或行业外人员无法理解这些技术也在情理之中。所以，一本能够深入浅出地解说电子产品组装制造过程中所用的众多材料与复杂工艺的技术参考书，是十分需要的。本书正好满足了这一需求。

本书依序介绍了电子组装制造的原材料与工艺，包括从硅半导体器件制造到电路板的制造和组装技术、不同基板和元器件的安装技术，以及越来越受到关注的环境问题等。本书第1章阐述了引领我们进入到现代技术时代的电子组装制造的有趣的发展历程。随后的两章是有关半导体的，即第2章介绍半导体器件的制造，如集成电路制造中由原材料到高纯度硅以及半导体器件芯片制造的整个过程，第3章介绍制备用于安装到电路板或陶瓷基板等之上的半导体器件的封装。第4章至第6章介绍用于制作电路板的基本层压板的制造、不同类型的单层和多层线路板的制造，以及各种线路板上元器件的安装技术。其中第7章是一直备受争议的焊接材料及其工艺的介绍。第8章和第9章分别介绍同样受争议的电子组装的清洗与电路板涂覆。第10章则介绍另一种飞速发展的工艺——挠性和刚挠性电路板制造工艺。第11章和第12章介绍其他主要的基板和使用陶瓷基板的电子组装制造技术，第11章介绍不同类型陶瓷基板的使用和制造的相关材料与工艺，第12章阐述用于陶瓷基板电子组装相关的材料与制造工艺的敏感性和复杂性。本书最后的第13章叙述的也是显得越来越重要的一个问题，即从安全和政府法规的观点出发，强调电子组装制造的环境与安全问题。

无需多言，涉及范围如此之广并有一定深度的本书，没有杰出的编者队伍是不可能写成的。我有幸与这些最优秀的业界带头人共同完成编写本书，在此表示我对他们深深的谢意。他们参与本书的编写将使众多读者，不论是学生、工业界的读者，还是电子产品的使用者均会受益匪浅。我以这些读者的名义再次感谢他们！

C. A. 哈珀

目 录

第 1 章 印制电路的历史及概述	1
1.1 引 言	1
1.2 电路技术	3
1.3 电路材料	14
1.4 电路板工艺	18
1.5 电路板结构和类型	23
1.6 用于电子封装的电路板	28
1.7 印制电路板的发展趋势	31
1.8 印制电路板的商业和经济效益	32
1.9 长期展望	32
参考文献	33
第 2 章 集成电路芯片的发展和制造	35
2.1 引 言	35
2.2 原子结构	35
2.3 真空管	37
2.4 半导体理论	39
2.5 集成电路基本原理	46
2.6 集成电路芯片制作	50
参考文献	62
第 3 章 IC 芯片封装	63
3.1 引 言	63
3.2 IC 封装	63
3.3 封装分类	66
3.4 封装技术	71
3.5 各种封装技术的比较	93
3.6 IC 组装工艺	95
3.7 总结与展望	113
参考文献	115

目 录

第 4 章 电路板基材——层压板和半固化片	116
4.1 引 言	116
4.2 纸基材料	117
4.3 FR-4 材料	118
4.4 复合材料	121
4.5 高性能材料	123
4.6 微孔材料	124
4.7 高速/高频材料	125
4.8 小 结	126
第 5 章 印制电路板制造	127
5.1 引 言	127
5.2 背景和历史	128
5.3 结构材料	130
5.4 层压材料准备	135
5.5 层压方法	135
5.6 用于印制电路板的层压板形式	137
5.7 层压板的选择	137
5.8 阻焊膜	139
5.9 有镀通孔的印制电路板通用工艺综述	140
5.10 加成法和减成法工艺	145
5.11 单面电路工艺实例	146
5.12 双面电路板举例	147
5.13 标准的多层电路板工艺范例	148
5.14 批量层压	151
5.15 金属芯板印制电路板	152
5.16 挠性电路板	153
5.17 高密度互连(HDI)结构	155
5.18 展 望	159
5.19 小 结	159
参考文献	159
第 6 章 封装及元器件的粘接与互连	160
6.1 引 言	160
6.2 互连的级别	161
6.3 一级互连的类型	162

6.4	二级互连的类型	163
6.5	陶瓷封装	167
6.6	有机封装	168
6.7	模块级组装	169
6.8	陶瓷倒装芯片模块	170
6.9	有机物包封倒装芯片模块	172
6.10	引线键合有机封装模块	174
6.11	二级组装	175
6.12	向无铅焊料过渡及焊接工艺	181
	参考文献	183
第7章	电子组装制造中的焊接材料和工艺	184
7.1	总趋势	184
7.2	焊接材料	187
7.3	物理性能	189
7.4	冶金性能	190
7.5	机械性能	191
7.6	焊接合金选择——一般原则	192
7.7	无铅焊料	192
7.8	再流焊	199
7.9	惰性和还原性气氛焊接	204
7.10	印刷	207
7.11	印制板表面涂覆	209
7.12	“绿色”制造	214
	参考文献	215
第8章	印制线路板清洗	219
8.1	引言	219
8.2	线路板制作	222
8.3	裸铜上涂覆阻焊膜	229
8.4	锡-铅上涂覆阻焊膜	241
8.5	环境控制与考虑	244
8.6	法规(美国职业安全与健康局和美国国家环保署)方面的考虑	251
8.7	可适用的文件	258
8.8	信息来源和参考资料	260

目 录

第 9 章 电路板的涂覆材料和工艺	261
9.1 引 言	261
9.2 敷形涂覆的目的和功能	261
9.3 敷形涂覆的规范	262
9.4 涂覆材料的一般类型	262
9.5 一般涂覆类型的选择标准	264
9.6 工程技术或性能	264
9.7 工艺或应用	266
9.8 优化涂层性能的基本先决条件	267
9.9 敷形涂覆方法	269
9.10 多层涂覆	272
9.11 健康和安全的考虑	274
参考文献	275
第 10 章 挠性和刚挠性电路板制造工艺	276
10.1 引 言	276
10.2 分 类	276
10.3 挠性板材料	278
10.4 制造工艺	279
参考文献	295
第 11 章 电子陶瓷及复合材料的制备与性能	296
11.1 引 言	296
11.2 陶瓷的表面性质	298
11.3 陶瓷材料的热性能	301
11.4 陶瓷基板的机械性能	303
11.5 陶瓷的电性能	306
11.6 陶瓷制造	308
11.7 陶瓷材料	311
11.8 复合材料	317
11.9 陶瓷和复合材料的成形	322
参考文献	323
第 12 章 混合微电子技术和多芯片模块技术	325
12.1 引 言	325
12.2 厚膜技术	326

12.3	丝网印刷	331
12.4	烘 干	338
12.5	烧 结	339
12.6	金属陶瓷厚膜导体材料	343
12.7	厚膜电阻材料	345
12.8	厚膜电介质材料	352
12.9	釉面材料	352
12.10	关于厚膜的结论	353
12.11	薄膜技术	353
12.12	薄膜材料	357
12.13	厚膜与薄膜的比较	360
12.14	铜金属化技术	368
12.15	基板金属化技术总结	370
12.16	电阻修正	371
12.17	混合电路的组装	375
12.18	封 装	382
12.19	混合电路设计	388
12.20	多芯片模块	391
	参考文献	395
第 13 章	电子组装制造中的环保考虑	396
13.1	引 言	396
13.2	材料考虑	400
13.3	有环保意识的制造工艺	402
13.4	法规与非法规性的考虑	407
13.5	小 结	411
	参考文献	411
	译后记	415

第 1 章 印制电路的历史及概述

Ken Gilleo

Cookson Electronics

Cranston, Rhode Island

蔡 坚 译

贾松良 校

1.1 引 言

印制电路,有时也称为印制线路,已经存在了近一个世纪。很早以前,印制电路就取代了手工连线。现代电子学完全是建立在这项技术的基础上的。手工连线,或者叫做点到点的连线,远远无法满足今天对电路密度的要求。即使我们能使分离的连线更加紧凑和密集,但是,和可以同时生成所有“连线”的高度自动化的电路板制作相比,其实现的成本也是无法接受的。本章将介绍印制电路的简短历史、某些背景以及关于印制电路神奇世界的概述。

1.1.1 电路术语

关于印制电路,最简单的定义是:在一块不导电的平板上,支撑着按照一定图形排列的导体阵列。而导体的几何图形被设计为用作元器件之间的互连以及元器件连接到其子系统或主系统(有时称为底板)的通路。电路的这两个主要组成部分就是导体和绝缘体(又称为介质)。只由导体和绝缘体构成的电路看起来似乎是一个简单的系统,但是通过使用不同的材料类型以及不同的结构使得印制电路的种类可以变化无穷。印制电路的制作工艺也有很多种,并且其种类的数量仍在不断增加。下面将描述和讨论印制电路的许多材料、工艺和分类。读者会惊奇地发现,实际上只有少数几种印制电路是真正“印刷”制作的,其中有些方法在 100 年前就已用过,后来又被重新采用成为“新”方法。下文中会经常遇到两个缩略词:印制电路板(PCB: Printed Circuit Board)和印制线路板(PWB: Printed Wiring Board)。PWB 在早期使用得较广泛,因为 PCB 会让人们联想到危害人类和污染环境的最令人厌恶的化学品聚氯联苯(Poly

Chlorinated Biphenyls)的缩写。不过,PCB 是一个更为准确的术语,因为电路板上的连线已经成为电路的一部分。很多电子产品特别是高频器件中,电路板上的布线就需要精心的设计和调节。所以,印制电路并不仅仅是大量制作的连线,我们将非常自豪地使用 PCB 这个术语。

1.1.2 印制电路的目的和价值

印制电路的基本作用是代替手工连线。在早期的电子产品中,电路中的线圈、电容、电阻、电池和真空管是通过金属线、金属棒和金属条来连接的。电子时代初期最复杂的器件是真空三极管放大器,后来是真空五极管,这些放大器所需的连接数少于 6。无线电接收器和发送器,比如 Marconi 无线装置,也是手工制作的,所有元器件的连接都是先通过铜线或铜条卷曲或拴接然后再焊接来完成。虽然看起来早期的电子装置似乎可以使用一根根的连线来解决电路连接问题,但实际上并非如此。20 世纪初的第一次电信革命就对电路连接的高密度提出了要求。电报和无线电装置虽然可以通过连线来实现,但是电话交换开关就遇到了密度的障碍。于是令人惊奇的,为了解决电话交换中心的电路密度问题的第一个印制电路应运而生。密度更高的交换电路板可以使操作员更快地连接更多的客户。

从 20 世纪初印制电路取代连线的过程中,我们可以看出印制电路的几个优点。首先,电路的密度可以提高至少一个数量级,至今已提高了很多个数量级。由于所有的电路连接可以同时完成,制造成本也大大降低。一个印制电路的技术工人可以完成众多手工连线工人所能完成的连接工作。印制电路的另一个重要的好处是可以减少连线的错误,这也是印制电路技术最有价值的特征之一。焊接过一个家电产品(比如 Heathkit)的人 would 知道在连线过程中多么容易出错。正确设计的印制电路板排除了这种可能性,当然也有可能焊上错误的元器件。印制电路的其他好处还有连线长度缩短,从而提高了性能,提供了元器件的承载平台,实现了电子装置的小型化从而减轻重量等等。另外,印制电路板制作的标准化对整个电子工业的作用也不可小视,即没有印制电路的标准化,也就不可能实现大订单的元器件装配工业。下面,将介绍图形化导线排布这样一个简单概念如何在不同应用中采用不同的实现形式。

1.1.3 印制电路板的分类

最简单的印制电路只有一面有导体图形,我们把这一面称为顶面。这一类的印制电路板叫做单面电路板,有时采用 SS 电路板的缩写。这是最简单的结构,同时也最容易制作,有相当一部分工业应用只需要这种水平就可满足要求。

比单面电路密度高一些的印制电路叫做背面裸露电路板或者双面连接电路板,它们用于挠性电路板工业中,因为挠性电路板使用很薄的介质,所以能够使用这种结构。选择性地去除某些区域的介质使得可以从背面或者底面来连接到导体。这项看起来似乎不重要的特征却衍生出很多分支,特别是在封装中的应用。不需要增加第二层导体就能从底面实现连接,这使得低成本面阵列封装成为可能:凸点可以在电路板的背

面形成,并连接到单层的顶面电路层从而实现与芯片的连接。双面连接电路板用于许多挠性基板的封装,这包括很多种焊球阵列封装(BGAs, Ball Grid Arrays),将在后面的几节中进行详细说明。

更高一级的印制电路板是双面电路板,它的应用非常广泛,构造上只是中等难度。但是因为必须增加许多额外的工序(如镀通孔)以实现垂直方向的连接,双面电路板制作的复杂程度比单面电路板提高两倍以上。有一些双面电路板不需要上下两层之间的连接,但是这是一类特殊的产品,比较简单,所以在本书中不再叙述。虽然镀通孔实现垂直方向互连的技术已经使用了几十年,但是技术人员一直在寻找替代它的方法。最终,初步找到了这一既污染环境又限制电路密度的工艺的替代方法。垂直互连的方法可以作为印制电路分类的另一种依据,将在后面加以讨论。

在介绍多层印制电路之前,我们将提到一种能增加密度的工艺:跳线(jumper)或跨线(crossover)。跳线或者跨线指的是在电路板布线层上的某一个导体能“跳”过一根或者多根导体而不会与被跳过的导线短路。已开发了多种方法进行跳线或者跨线,并且都在不同程度上取得了成功。一个工艺简单但可能有可靠性问题的方法是印制跳线,具体做法是:先在要跳过的已有导体上涂覆一层介质,然后再施加导电浆料以连接两端需要连接的导体,而与跳过的导体之间不发生电接触。这种方法通常利用丝网印刷和针头涂布技术。如果涂覆的介质层有缺陷就会产生问题,这些缺陷可能是由于丝印过程中产生的空洞,也可能是介质层固化过程中溶剂蒸发所造成的(如果介质材料中含有大量的溶剂)。第二个可靠性问题可能出现在跳线与所连接导体的界面上,除非金属导体表面上有一层不易氧化的材料(比如金),否则金属导体表面将会因氧化而和印刷的导电浆料之间的导电性能随时间而降低。跳线技术可以应用到各类电路板中,但是更适用于挠性电路板,特别是高分子厚膜(PTF)电路板,详见后述。

最后一类是多层电路板,这种结构至少包括三层分离的导体层或平面。当然,由于这些层是成对制作的,所以多层电路板的布线层数目通常是偶数。最初的制作过程包括:把多块双面电路板叠压在一起,整体钻孔,然后实现垂直方向的互连。垂直方向上的连接在早期使用过插针、铆钉和螺钉,镀通孔技术实现了一个突破,因为所有在垂直方向的连接可以一次完成。经过这么多年之后,已经开发出新的各种垂直连接技术,在不同程度上都取得了成功。有些技术采用积层的策略,每次只制作一层电路。还有一些其他的方法,如在成对的双面上涂覆导电粘接膜作为中间插入层(interposer)。这些新、老多层板工艺将在后面的章节介绍。

1.2 电路技术

1.2.1 电子时代初期

印制电路是在19世纪和20世纪之交发明的,并在第一次电信革命中得到发展和普及。回顾那个令人激动的时代,可以发现,它和现在新千年的第二次电信革命有那

么多的相似之处。我们现在所处的是电子时代的第二个百年,电信技术仍然是推动商业、技术和印制电路不断创新的最重要的动力。

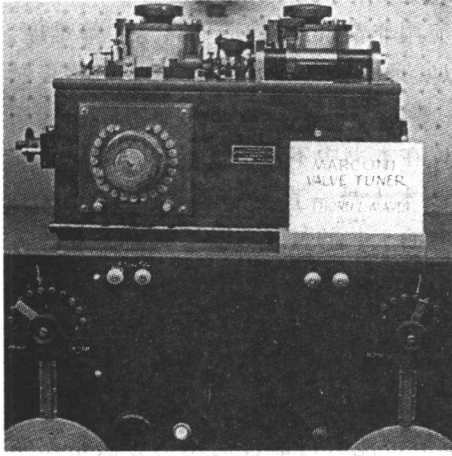


图 1.1 Marconi 无线电装置

1899年12月31日,是莫尔斯电码诞生50周年的纪念日,美国西部联合公司也开业了将近半个世纪。贝尔(A. G. Bell)已经证明了电话通讯、电话和电报是连接全世界各个国家必不可少的通讯方式;马可尼(Marconi)已经成功地在大西洋两岸传送信息;几年以后,弗莱明(Fleming)完成了真空管和第一个二极管(the Fleming valve);富斯特(L. D. Forest)搭建了第一个真空三极管放大器(三级检波器)并实现了无线广播。由于对无线电的贡献,马可尼后来获得了诺贝尔奖,泰坦尼克号正是通过这项发明传送出决定命运的呼救信号。从那个时候开始,我们已经进入了信息时代。图1.1所示是作者

使用过的键盘操作的早期马可尼无线电收发装置(业余无线电许可证号为W1PHD)。

进入20世纪后,萌芽期的电子工业,包括电报、电话和无线电,迎来了一个良好的开端。所有这些通讯产业得以迅速发展,这对电路特别是可大规模生产的电路产生了巨大的需求。有着成百上千条电话线路的电话系统需要手动交换装置或者可以使操作员实现手工接线的PBX控制台。日益复杂的无线电电路也需要有新的方法替代枯燥而容易出错的手工焊线方法,从而使得这项技术能和工业界所预计的那样广泛推广。电子工业开始寻求能够大规模、自动化生产的电路制造技术。

1.2.2 印制电路的先驱(1900—1925年)

1903年,德国柏林人汉森(A. Hanson)在英国申请了“印刷”线路的专利,他的发明是为了解决电话交换的需求。虽然汉森工艺并不是一种真正的“印制电路”方法,但的确是在绝缘基板上制作了按照某种几何图形排列的导体阵列。

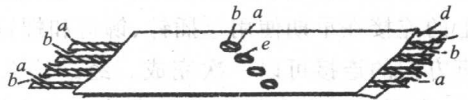


图 1.2 Hanson 的专利图示

他的做法是:首先将金属薄片剪成或者冲压成导体图形,然后把这些铜或者黄铜的导线粘接在涂覆过石蜡的纸或者类似的材料上。这种方法看来是有文字记录的第一个电路发明,图1.2说明了汉森工艺的基本概念。

汉森还有另外的一些创新,甚至仍然可认为是“现代”电路板技术的原理。这位印制电路板先驱者已经认识到高密度将是十分重要的,所以他设计了两面有导线的电路,如图1.3所示。同时他还认识到不同层之间的连接问题很关键,所以他增加了孔,

可以让上下两层的导体有选择地相互连接。尽管当时只是采用很简单的压接和绞接来实现连接,但是汉森在1903年的发明很清楚地描述了**双面通孔电路板技术**的思想。汉森还阐述了导体可以通过电沉积或者施加在适当媒介里的金属粉末(导电浆料)就地形成。在第一份关于电路的专利中就涉及到这么多可以当成现代电路技术起源的概念,实在是了不起。



图 1.3 汉森的双面结构

爱迪生(T. Edison)把白炽电灯泡商业化之后,不久就开始思考解决印制线路的问题。当被他的好朋友史普拉格(F. Sprague)电气公司的创始人史普拉格(F. Sprague)问到如何在纸上“画”出导线路径时,爱迪生回信提出了几种想法,这些方法包括(1)选择性地涂覆胶(聚合物粘结剂),然后撒布含有导电性的石墨或青铜粉末的湿“油墨”;(2)用硝酸银溶液在绝缘层上绘制版图,然后把硝酸银还原成金属银;(3)把金薄片撒敷于图形化的粘接剂上。在爱迪生的这份短信中并没有提到“印刷”的字样,可是他提到的前两种方法可以很容易适合于数种印制电路工艺。实际上,方法(1)里使用的带导电微粒的聚合物基粘结剂,正是今天聚合物厚膜(PTF)技术的基础,这项技术由于它的低成本和其固有的清洁性变得日益重要。图 1.4 展示了爱迪生 PTF 的制作原理,在后面还会进一步介绍。方法(2)实际上是今天所使用的化学镀。如果



图 1.4 爱迪生的电路板制作原理

爱迪生继续思考这个问题,他可能把镀铜和真空沉积也包括进来,因为当时美国大多数有很多发明的发明家已经把这些工艺专利化^[3]。另外,爱迪生还发明了电解铜箔,这项工艺至今还用来制作层压板。我们还应该注意到爱迪生的这些方法都是**加法**。

在接下来的几十年中,随着电子工业的继续扩展,有关电路板技术的其他一些想法也产生了。无线电设备很快成为印制电路技术最重要的推动力。无线电在整个世界受到关注。世界上第一个公共无线电广播站 KQW(San Jose, CA)在1912年开始广播。到20世纪20年代末,无线电已经普及到大多数主要国家。轮船配备了马可尼无线电装置,无线通讯开始在救援中起作用。如果不是配备了马可尼无线电,也许泰坦尼克号上的所有乘客将无一生还。RCA 和 NBC 的总裁 D. Sarnoff 预言每个家庭

都很快会有无线电。电子工业的先驱者们看到了大规模电路生产的巨大市场,发明家们也被鼓舞着去积极迎接有关电路连接的挑战。

采用减成法还是加成法 最早的电路板制作原理都是基于加成法,或者说是积层法,即把导体沉积到绝缘体之上,这当然最直接也是最明显的方法,但是,很长时间以来图形印刷工业则采用减成的方法来制版。最初人们使用木材的时候,通过雕刻去掉多余的部分显出文字和图形;后来使用金属,切割或者浇铸出活字和图形然后排版,最后,印刷工人转向了印刷制版技术,通过金属蚀刻工艺去掉背景显出字母。电子工业界发现和利用印刷工人通过几十年的发展所掌握的这些知识和技术,只是个时间问题。

在 1913 年,贝里(A. Berry)申请了通过金属蚀刻的方法制作电路板的专利^[4]。他提到了一种在蚀刻之前给金属涂上一层抗蚀剂的工艺,用来替代模具冲切以避免形成应力集中的锐角。贝里应该是最早提出使用蚀刻或者说是减成的方法制作电路板的人。图 1.5 所示是他蚀刻的电热器电路。后来,利特尔戴尔(Littledale)也提出了类似的方法^[5]。

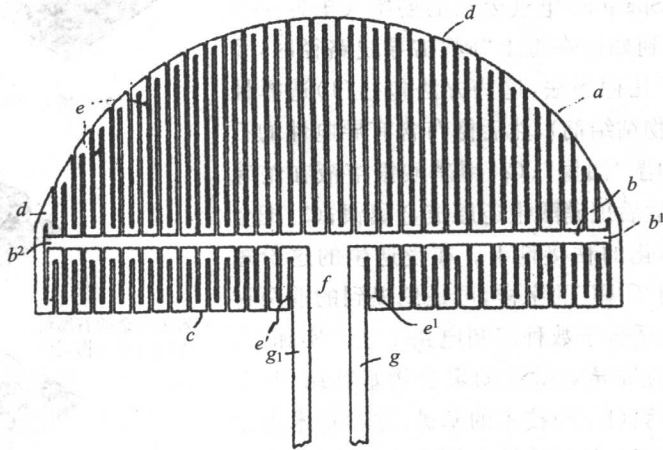


图 1.5 贝里的加热器电路

照相平版印刷术在电路板开发的初期就已经很成熟了,那时还没有考虑到使用减成工艺进行电路板的加工。Bassist 给出了照相凸版工艺的详细说明^[6],包括使用感光性的金属铬盐。尽管他的专利是关于印刷版的制作,但是这项工艺很容易适用于电路板制作,因为他提到了通过在绝缘层上电沉积一层铜箔来制作柔性板。我们可以看到,在电子工业的第一个 25 年里,电路板制作的基本概念和工艺原理都已经清楚了。

1.2.3 电子工业的真正起步(1915—1939 年)

早期的商业化电路工艺 麦克斯·斯库普(Max Schoop)是一位成功的发明家,他把金属火焰喷涂工艺商业化,这项工艺后来使用了很多年。必须记住的是,早期的电子产品的功耗都非常大。真空管需要灯丝加热和高压,真空管时代的实用电路需要很大的

工作电流。采用斯库普工艺,通过一个掩模进行火焰喷涂可以沉积较厚的金属图形,生产出所需要的结实耐用的电路。图 1.6 所示为斯库普在 1918 年发明的工艺原理图。

斯库普火焰喷涂法存在成本高以及浪费金属等问题,尽管后来一些发明家对此做了不少改进,但是人们仍然需要一种真正的印制电路工艺。下一个值得注意的电路板发明家是 Charles Ducas^[8],他提出了蚀刻和电镀导体两种工艺。其中一种做法是在低熔点的合金片上通过一个接触式掩模电镀上铜、银或者金的图形,然后利用加热就可以使导体(通常是线圈)与可熔的合金片和掩模板分离。另一种 Ducas 工艺是在绝缘材料如蜡上制作凹槽,填上导电浆料(成分未公开),然后在导电浆料上进行电镀。导电浆料也可以印制或模板印刷到绝缘板上然后进行电镀。在绝缘层的两面都可以印制电路。事实上,Ducas 还进一步提出了多层电路板和层间互连的方法。“两层或者两层以上的平板可以相互定位相邻放在一起……”图 1.7 展现了一种可以实现不同平面间电路互连的方法,“电镀生成的导体 62 通过板上的小孔延伸出来……连接到 58 号板上的导体 60。”Paragon Rubber 的 Croot 也提出过填充凹槽和电镀的方法^[9]。

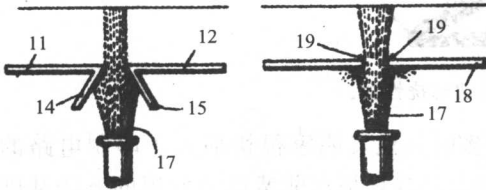


图 1.6 斯库普的金属喷涂工艺

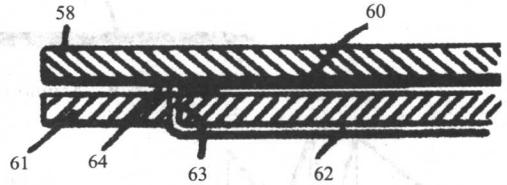


图 1.7 Ducas 的多层板

一年以后,法国人 Cesar Parolini 改进了加成制版的方法^[10]。他的专利是:先用粘结剂在绝缘板上印制图形然后涂上含有铜粉的湿浆料。多余的铜粉可以抖落,浆料则通过加热固化。这是当初 Edison 提出的基本原理,也是 Ducas 提出的方法之一。但是 Parolini 进行了简化使它变得实际可操作,同时还提出了一个新概念——跳线或跨线。“U”形金属导线埋入湿的导电浆料中,浆料固化后就被固定下来。电镀形成的连续金属不仅覆盖了铜浆料也同时实现跳线。图 1.8 所示为 Parolini 的工艺,其中有一根跳线。



图 1.8 有跳线的 Parolini 电路

那个时代的其他发明家也采用印刷和电镀的方法制作电路。Seymour 使用了印刷石墨浆料来制成可电镀的图形。但是这位发明家已经转向了挠性电路的领域。Seymour 提到,“……脉冲信号可以沿着或者横过相对较薄的挠性柔性体上的路径传输、发送或者调节,能制成所设想的各种形状……”。他使用蜡纸或者马来树脂树脂作为绝缘材料,加入石墨、铅和铜制成导电浆料,最后一步是电镀铜。图 1.9 所示的是

1923 年用挠性电路制作的一个无线电调谐器。这是第一个真正的动态挠性电路板，因为最终用户正是通过弯曲电路板来实现调谐的。

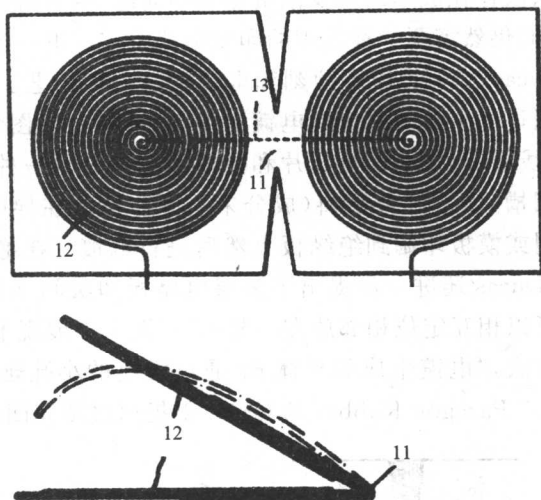


图 1.9 Seymour 的动态挠性电路

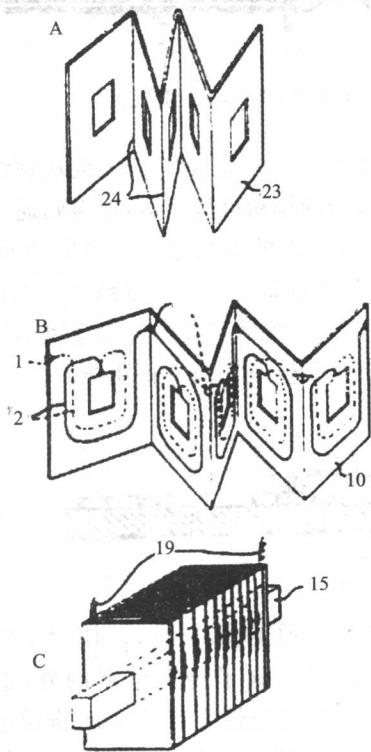


图 1.10 Franz 手风琴式的三维电路

很多的其他发明家很快加入了印制电路的行列，但大多数只是在前辈已经发现的方法基础上做变通和改进，这一点和我们今天的技术发展类似。例如，Franz 在 1933 年把导电颗粒加入到聚合物浆料中^[12]。他研制了一种掺入碳的印刷浆料可以用来在玻璃纸和类似的薄片上进行丝网印刷或者模板印刷。硬化的浆料尽管很稳定，可是和金属相比，它的电阻较高。所以 Franz 可能是注意到七年前的 Parolini 工艺，增加了镀铜的工序。同样，现代电路制作也采用了这种原理。图 1.10 所示为在 Franz 专利中所述的一个精巧的可折叠“手风琴”式电路，很明显这是三维挠性电路的原理。但是令人惊奇的是，到今天挠性电路板工业还没有充分利用三维挠性电路。这个折叠电路是用来干什么的呢？从图 1.10 中可以看出，Franz 用这个电路来替代变压器的线圈。自从 Franz 的发明以来，不少现代电路设计者尝试了重新设计印刷线圈。虽然不是所有的电路发明都已经完成了，但是通过对早期专利的搜索可能会使那些自称是发明家的人感到羞愧。