

Mc
Graw
Hill
Education

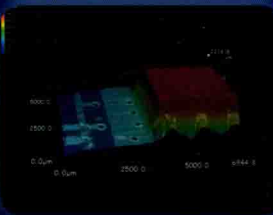
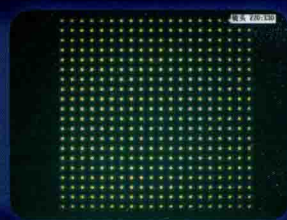
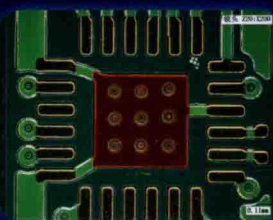
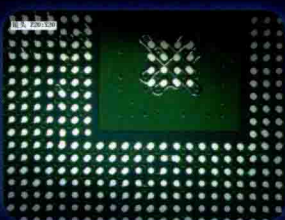
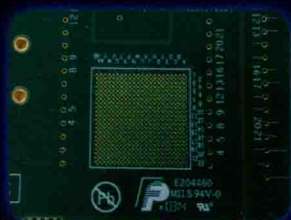
印制电路手册

(原书第6版)

[美] Clyde F. Coombs, Jr. 主编

乔书晓 陈力颖 译

Printed Circuits Handbook (Sixth Edition)



科学出版社

印制电路手册

(原书第6版)

[美] Clyde F. Coombs, Jr. 主编

乔书晓 陈力颖 译

科学出版社

北京

图字：01-2012-4734号

内 容 简 介

本书是*Printed Circuits Handbook*第6版的中文简体版。由来自世界各地的印制电路领域的专家团队撰写，内容包含设计方法、材料、制造技术、焊接和组装技术、测试技术、质量和可接受性、可焊性、可靠性、废物处理，也涵盖高密度互连（HDI）技术、挠性和刚挠结合印制电路板技术，还包括无铅印制电路板的设计、制造及焊接技术，无铅材料和无铅可靠性模型的最新信息等，为印制电路各个相关的方面都提供权威的指导，是印制电路学术界和行业内最新研究成果与最佳工程实践经验的总结。

本书是印制电路制造行业的技术手册，适合行业管理者、设计者、工程师和相关技术人员参阅。

图书在版编目（CIP）数据

印制电路手册（原书第6版）（美）Clyde F. Coombs, Jr. 主编；乔书晓，陈力颖译. —北京：科学出版社，2015.9

书名原文：**Printed Circuits Handbook, Sixth Edition*

ISBN 7-7-03-044812-5

I.印… II.乔… III.印制电路—电路设计 IV.TN41-62

中国版本图书馆CIP数据核字（2015）第124446号

责任编辑：喻永光 杨 凯 / 责任制作：付永杰 魏 谨

责任印制：张 倩 / 封面制作：付永杰

北京东方科龙图文有限公司 制作

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

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>

北京利丰雅高长城印刷有限公司 印刷

科学出版社发行 各地新华书店经销

*

2015年9月第 一 版 开本：720×1000 1/16

2015年9月第一次印刷 印张：100

印数：1—2 000 字数：2 100 000

定价：298.00元

（如有印装质量问题，我社负责调换）

Clyde F. Coombs, Jr.

Printed Circuits Handbook, Sixth Edition

0-07-146734-3

Copyright © 2008 by McGraw-Hill Education.

All rights reserved. No part of this publication may be reproduced or transmitted in any form or by any means, electronic or mechanical, including without limitation photocopying, recording, taping, or any database, information or retrieval system, without the prior written permission of the publisher.

This authorized Chinese translation edition is jointly published by McGraw-Hill Education and China Science Publishing and media Ltd. This edition is authorized for sale in the People's Republic of China only, excluding Hong Kong, Macao SAR and Taiwan.

Copyright © 2015 by McGraw-Hill Education and China Science Publishing and Media Ltd.

版权所有。未经出版人事先书面许可，对本出版物的任何部分不得以任何方式或途径复制或传播，包括但不限于复印、录制、录音，或通过任何数据库、信息或可检索的系统。

本授权中文简体字翻译版由麦格劳 - 希尔（亚洲）教育出版公司和中国科技出版传媒股份有限公司合作出版。此版本未经授权仅限在中华人民共和国境内（不包括香港特别行政区、澳门特别行政区和台湾）销售。

版权 ©2015 由麦格劳 - 希尔（亚洲）教育出版公司与中国科技出版传媒股份有限公司所有。

本书封面贴有 McGraw-Hill Education 公司防伪标签，无标签者不得销售。
北京市版权局著作权合同登记号：01-2012-4734

主编简介

Clyde F. Coombs, Jr. 最近从惠普公司退休了，他曾在惠普公司担任电子工程师和经理。在现今的专业出版领域，他是一位最成功的编辑，他开发和编辑了所有先前 5 个版本的《印制电路手册》，还编辑了《电子仪器手册》和《通信网络测试与测量手册》——3 本麦格劳 - 希尔最畅销的技术手册。

中译本序

随着全球科技的进步，电子行业的发展也进入了一个前所未有的发展速度和高度。电子产品的小型化、轻量化和多功能化要求，对作为基本载体的印制电路板提出了越来越高的要求，印制电路板行业正经历着快速的变化：更好的可制造性设计、更小的线宽和线距、更高的厚径比、更高的层间对位精度、更精细的元件焊接或连接技术、更可靠的印制板与印制板组件等。我们需要及时把握技术的发展趋势，做出适当的调整，以迎接挑战。

另一方面，随着 2006 年欧盟 RoHS 指令和 2007 年中国《电子信息产品污染防治管理办法》的颁布实施，电子产品的无铅化进程已在全球展开。这对印制电路板材料、设计、制造、组装、可靠性方面带来了一系列挑战，适用于无铅工艺的一系列工作都在进行，基于有铅工艺的传统做法都必须及时做出调整：适用于无铅的高密度设计、耐高温的无铅材料、层压和钻孔工艺、无铅焊料和焊接工艺，以及新的无铅可靠性的建模等。相对于成熟的有铅工艺，无铅工艺还需要更多的实验验证、数据收集和整理、归纳和分析、知识和经验的总结。

而如果把印制电路板看作完整组件的一个元件，随着面阵列器件的大量使用，芯片级封装、倒装芯片应用和系统复杂度的日益增加，从印制板裸板到完成的印制板组件，再到系统级甚至是客户的使用现场，故障的成本以逐级 10 倍的比例增加，印制板也越来越需要承受更大的质量风险。这些风险的控制涉及材料、设计、制造、组装、测试等所有的环节，只有对这些环节和不同环节之间的关系有了深刻认识，才能有效管控和避免这样的质量风险。

中国的印制电路板行业经过近十几年来的迅速发展，已经成为国民经济的一个重要产业，并已成为世界第一的印制电路板制造大国。但是，还不是印制电路板制造强国，在一些先进的和高精度的制造技术方面，我们依然还有较大的差距。现在，随着人力资源和环境成本的日益上升，产业的转型升级已在所难免，只有加快行业技术进步的步伐，提高产品的质量和可靠性，我们才能进入高端印制电路板制造领域，才能在世界范围内的竞争中站稳脚步，早日成为印制电路板制造强国。

作为世界排名第一的印制电路指南，《印制电路手册》原著在过去的 30 多年里一直是该领域的最佳参考工具书。汇集了来自世界各地的印制电路领域的专家团队的经验，涵盖了与印制电路板相关的所有方面，为印制电路（包括挠性和刚挠结合电路）的设计、制造、组装、测试、可焊性、可靠性、环境等各个相关方面都提供了权威的指导：阐述了技术发展的趋势，对无铅工艺的知识和经验进行了及时、全面的总结，并为相关过程的质量控制提供了具有实践意义的建议。我们相信，本手册

能为致力于印制电路板行业的专业人员，以及任何希望对印制板有所了解的人员提供全面和深入的帮助，更希望能为中国印制电路板行业的发展做一份贡献。

最早推荐并促成科学出版社引进本书中文版权的是天津工业大学电子与信息工程学院的陈力颖老师及其团队，他们不遗余力地完成了前期的评审工作，并完成了初译。

原著过于庞大，国际标准与国家标准、行业习惯皆存在差异，学术研究和行业层面的认识也不尽相同。为能使中文版内容较为自然地呈现给国内读者，我们特地邀请深圳市兴森快捷电路科技股份有限公司总工程师乔书晓，携数位同事和印制板行业相关朋友参与了翻译工作，他们是：罗淑敏（第1~5章）、蒋岳（第6~12章）、谢浩杰（第13、55章）、柳珩（第14~19章）、尤志敏（第20章）、张可（第21章）、罗畅（第22章）、常润川（第23章）、宋勇（第24章）、张来平（第26章）、王红飞（第27~29、31、33~35章）、艾鑫（第32章）、周小娟（第36~39章）、王雪涛（第40、41、44~50、52章）、胡梦海（第42、43、56~59章）、彭文才（第51章）、莫欣满（第61~67章）。全书由乔书晓统稿、总审。向他们致敬！为他们的家人的理解与支持点赞！

感谢深圳市兴森快捷电路科技股份有限公司对本书翻译工作的无条件支持！

中兴通讯终端事业部 PCB 技术经理罗锦参与了部分审校工作，并提出了一些宝贵的意见，在此表示感谢！

在这个追求快速迭代的移动互联网时代，花费数年编（译）一本工具书已不切实际。在有限的时间内，各位译者和编辑已竭力“消灭一切大小错误”，但最终还是要以读者的检验结果为准。特别是不计其数的专业或专用名词，虽然译者已经仔细推敲，但仍可能有词不达意之处。鉴于此，我们恳请广大读者不吝赐教！同学习，共进步！

关于本书的任何交流与意见，可邮件联系：

乔书晓（技术）qsx@chinafastprint.com

喻永光（编辑）597070376@qq.com

前言

随着欧盟（EU）有害物质限制指令（RoHS）的实施，印制电路行业已被迫在经历一场史无前例的技术革命，其结果通常被称为“无铅”。即使如第1章中所述，除了铅，限制的材料还有几种，但读者会发现这个术语贯穿了整本书。这样强调的原因是，消除元件和电路板互连焊料中的铅对行业的影响巨大。

这些变化并不是由市场或技术的进步需求所驱动的。相反，他们立法的理由是这样可以造福社会。虽然实际的效果，无论是正面还是负面的，消除印制电路板组件中的铅对全球环境的影响，成了争论的来源。但现实是它已经在全球范围内被采用，并成为设计、制造、组装印制电路的事实。

自印制电路板开始使用以来，锡铅焊料一直是互连的基础，所有已经开发的相关材料和工艺都以此为中心。因此，向新焊接合金的突然转变，必定会给相关的或受其影响的工艺和技术带来许多问题，因为它们现在必须适应和改变，以满足无铅的要求。不能依靠过去的经验或以前的文献来寻求这些问题的解决办法。本书的目的就是提供尽可能具体且尽可能多的细节信息，使用已经存在的行业标准，或具有良好的技术基础并已经在工作中被证明的最佳实践。

其中，焊料的冶金和配合面的变化最明显。然而，所有的替代焊料合金都比共晶焊料有更高的熔化温度，这就需要新的基材、新的组装工艺，以及新的测试、检验和可靠性的标准和方法。谈及具体的无铅替代合金时，我们开始从元素周期表中寻找候选元素，并考虑当这些元素组成合金时的效果。因此，对于给定的应用，我们依靠物理学和材料学来帮助确定合适的替代材料。同样，为了帮助读者选择在更高的组装和操作温度、更快的组装速度下的最好的基材，我们也对材料的化学性质做了描述。

自欧盟颁布无铅指令以来，在这种新形势下定义和预测产品的可靠性问题，已经采纳了大量的企业意见。预测模型和历史都是基于锡铅合金的，而无铅合金需要新的模型。在这个版本中，我们已经增加了新的材料，并且扩大了关于该主题现有的讨论。

虽然无铅技术革命已经得到了很多的关注，但是随着行业继续满足更高的电路和元件密度、更快的电路的需要，无铅技术仍然有着重要的渐进式改变。因此，印制电路板将被设计得越来越小，或者越来越大，以满足具体应用的需要。本书的更新能帮助读者取得这方面的进步。此外，随着印制电路行业持续地全球性发展，以及同时来自减少上市时间和量产时间的持续压力，迫切需要一个覆盖布局和设计信息及通信的，使供应链中的每一个组织元素，在最少的人工干预和最小的设计说明

延迟下，能够有效运行的国际标准。我们首次在章节中增加了描述整个过程的这部分内容。另外，我们也引入了关于埋入式元件和敷形涂层的讨论，二者都是许多技术应用的重要问题。

本版讲述了印制电路工艺中的这些新元素，包括革命性的和渐进性的，同时仍然保持了其在技术基础中的基本地位。无论前沿技术变得多么复杂，所有印制电路板的核心仍是各种形式的镀覆孔。这仍然是 20 世纪的重要技术成就之一。虽然在镀覆孔基础上，印制电路技术经过多年的发展，变得更加可靠、高效和可复制，但在本书第 1 版中描述的内容在第 6 版中仍然适用。因此，这些新技术仍然能找到介绍性信息，经验丰富的从业者则能找到标准工艺技术和最佳实践来帮助他们了解该领域的最新发展。

随着工业的不断发展，印制电路板已经变得更加专业化。这就需要人们去规范标准文档和通信技术，以及去了解所有供应商在整个产业链中的特定功能。因此，必须知道每一步的工艺能力和工艺局限性。在设计电路板时，头脑中必须对这些十分清楚。并且必须在电路板产品的责任从设计者到制造者，再到装配者，一直到最终用户之前，事先达成一致的可接受标准。这也形成了之前没有深入涉足印制电路问题，而现在需要在工作中找到对印制电路性能至关重要的应用知识的一群人。本书也同样为这些人提供了信息。在书中，他们不仅能找到对理解问题有用的基本信息，也能找到对所有成功的价值链的开发和管理的具体指南。

虽然业界倾向于用术语“印制线路”或“蚀刻线路”作为本书的主题，但“印制电路”已成为世界认可的代表工艺和产品的术语。因此，我们将交替使用这些术语。

印制电路技术中所有这些变化的影响都体现在这本书中，超过 75% 的章节要么是被修订过，要么是新添加到本版中的。这意味着，第 6 版包含第 1 版以来的最新信息。

感谢国际电子工业联接协会（IPC）的领导和员工们的合作和支持，不但是这个版本，先前的所有版本也一样。IPC 在 Ray Pritchard（现已退休）和 Dieter Bergman 的领导下，到 2007 年已成立 50 周年。IPC 已经做出了巨大的贡献，不仅仅是对电子行业，还对这个越来越依赖电子产品的世界。特别感谢 Jack Crawford 在提供和确认 IPC 材料上的帮助，这些材料对本版的筹备至关重要。

最后，我由衷地感谢所有参与本书编写工作的作者们，他们耗费了大量的时间和精力来准备这本书的内容，他们为这本著作和行业做出了巨大的贡献！

主编 Clyde F. Coombs, Jr.

目 录

第 1 部分 无铅指令

第 1 章 印制电路的立法及其影响

1.1 指令概述.....	3
1.2 废弃电子电气设备指令 (WEEE)	3
1.3 限制在电子电气产品中使用有害物质的指令 (RoHS)	3
1.4 RoHS 指令对印制电路行业的影响	6
1.5 无铅化的前景	10

第 2 部分 PCB 的技术驱动因素

第 2 章 电子封装和高密度互连

2.1 引 言.....	13
2.2 互连 (HDI) 变革的衡量.....	13
2.3 互连的层次结构.....	16
2.4 互连选择的影响因素	17
2.5 IC 和封装.....	20
2.6 密度评估.....	24
2.7 提高 PCB 密度的方法	27

第 3 章 半导体封装技术

3.1 引 言.....	33
3.2 单芯片封装.....	37
3.3 多芯片封装.....	46
3.4 光互连.....	50
3.5 高密度 / 高性能封装总结.....	52
3.6 路线图信息	52

第 4 章 先进元件封装

4.1 引 言.....	54
4.2 无 铅.....	55

4.3 系统级芯片 (SOC) 和系统级封装 (SOP)	56
4.4 多芯片模块 (MCM)	58
4.5 多芯片封装 (MCP)	59
4.6 少芯片封装 (FCP)	60
4.7 芯片级封装 (CSP)	60
4.8 晶圆级封装 (WLP)	61
4.9 3D 封装	62
4.10 使能技术	63
4.11 致 谢	71

第 5 章 PCB 的类型

5.1 引 言	75
5.2 PCB 的分类	75
5.3 有机与无机基板	77
5.4 图形法和分立布线法印制板	77
5.5 刚性和挠性印制板	78
5.6 图形法制作的印制板	79
5.7 模制互连器件 (MID)	83
5.8 镀覆孔技术	84
5.9 总 结	87

第 3 部分 材 料

第 6 章 基材介绍

6.1 引 言	91
6.2 等级与标准	91
6.3 基材的性能指标	96
6.4 FR-4 的种类	99
6.5 层压板鉴别	101
6.6 粘结片鉴别	104
6.7 层压板和粘结片的制造工艺	105

第 7 章 基材的成分

7.1 引 言	111
7.2 环氧树脂体系	111
7.3 其他树脂体系	115
7.4 添加剂	117

7.5 增强材料.....	121
7.6 导体材料.....	127

第 8 章 基材的性能

8.1 引 言.....	136
8.2 热性能、物理性能及机械性能.....	136
8.3 电气性能.....	149

第 9 章 基材的性能问题

9.1 引 言.....	153
9.2 提高线路密度的方法.....	153
9.3 铜 箔.....	154
9.4 层压板的配本结构.....	159
9.5 粘结片的选择和厚度.....	161
9.6 尺寸稳定性.....	162
9.7 高密度互连 / 微孔材料.....	165
9.8 CAF 的形成.....	166
9.9 电气性能.....	173
9.10 低 D_k/D_f 无铅兼容材料的电气性能.....	185

第 10 章 无铅组装对基材的影响

10.1 引 言.....	187
10.2 RoHS 基础知识.....	187
10.3 基材的兼容性问题.....	188
10.4 无铅组装对基材成分的影响.....	190
10.5 关键基材性能.....	191
10.6 对 PCB 可靠性和材料选择的影响.....	204
10.7 总 结.....	207

第 11 章 无铅组装的基材选型

11.1 引 言.....	209
11.2 PCB 制造与组装的相互影响.....	209
11.3 为具体的应用选择合适的基材.....	214
11.4 应用举例.....	220
11.5 无铅组装峰值温度范围的讨论.....	221
11.6 无铅应用及 IPC-4101 规格表.....	222
11.7 为无铅应用附加的基材选择.....	223
11.8 总 结.....	224

第 12 章 层压板认证和测试

12.1 引 言.....	225
12.2 行业标准.....	226
12.3 层压板测试方案.....	228
12.4 基础性测试.....	229
12.5 完整的材料测试.....	233
12.6 鉴定测试计划.....	245
12.7 可制造性.....	245

第 4 部分 工程和设计

第 13 章 PCB 的物理特性

13.1 PCB 设计类型.....	251
13.2 PCB 类型和电子电路封装类型.....	257
13.3 连接元件的方法.....	261
13.4 元件封装类型.....	262
13.5 材料选择.....	265
13.6 制造方法.....	269
13.7 选择封装类型和制造商.....	270

第 14 章 PCB 设计流程

14.1 设计目标.....	273
14.2 设计流程.....	273
14.3 设计工具.....	278
14.4 选择一套设计工具.....	283
14.5 CAE、CAD 和 CAM 工具的彼此接口.....	284
14.6 设计流程的输入.....	284

第 15 章 电子和机械设计参数

15.1 PCB 设计要求.....	286
15.2 电气信号完整性介绍.....	286
15.3 电磁兼容性概述.....	288
15.4 噪声预算.....	289
15.5 信号完整性设计与电磁兼容.....	289
15.6 机械设计要求.....	294

第 16 章 PCB 的电流承载能力

16.1 引 言	303
16.2 导体（线路）尺寸图表	303
16.3 载流量	304
16.4 图 表	308
16.5 基线图表	312
16.6 奇形怪状的几何形状与“瑞士奶酪”效应	321
16.7 铜 厚	322

第 17 章 PCB 的热性能设计

17.1 引 言	324
17.2 PCB 作为焊接元件的散热器	325
17.3 优化 PCB 热性能	325
17.4 热传导到机箱	334
17.5 大功率 PCB 散热器连接的要求	336
17.6 PCB 的热性能建模	337

第 18 章 信息格式化和交换

18.1 数据交换简介	342
18.2 数据交换过程	344
18.3 数据交换格式	350
18.4 进化的驱动力	363
18.5 致 谢	363

第 19 章 设计、制造和组装的规划

19.1 引 言	365
19.2 一般注意事项	366
19.3 新产品设计	368
19.4 布局权衡规划	373
19.5 PCB 制造权衡规划	379
19.6 组装规划权衡	387

第 20 章 制造信息、文档和 CAM 工具转换（含 PCB 制造与组装）

20.1 引 言	391
20.2 制造信息	391
20.3 初步设计审查	397
20.4 设计导入	404

20.5 设计审查和分析.....	409
20.6 CAM 工装工艺.....	410
20.7 额外的流程.....	420
20.8 致 谢.....	422

第 21 章 埋入式元件

21.1 引 言.....	423
21.2 定义和范例.....	423
21.3 应用和权衡.....	424
21.4 埋入式元件应用设计.....	425
21.5 材 料.....	428
21.6 提供的材料类型.....	431

第 5 部分 高密度互连

第 22 章 HDI 技术介绍

22.1 引 言.....	435
22.2 定 义.....	435
22.3 HDI 的结构.....	439
22.4 设 计.....	442
22.5 介质材料与涂敷方法.....	445
22.6 HDI 制造工艺.....	458

第 23 章 先进的高密度互连技术

23.1 引 言.....	469
23.2 HDI 工艺因素的定义.....	469
23.3 HDI 制造工艺.....	471
23.4 下一代 HDI 工艺.....	500

第 6 部分 制 造

第 24 章 钻孔工艺

24.1 引 言.....	509
24.2 材 料.....	510
24.3 机 器.....	517
24.4 方 法.....	521
24.5 孔的质量.....	526

24.6 钻孔后的检验	527
24.7 每孔的钻孔成本	527

第 25 章 精确互连钻孔

25.1 引 言	531
25.2 高密度钻孔的影响因素	531
25.3 激光钻孔与机械钻孔	532
25.4 影响高密度钻孔的因素	535
25.5 控制深度的钻孔方法	539
25.6 高厚径比钻孔	540
25.7 多层板的内层检查	543

第 26 章 成 像

26.1 引 言	549
26.2 感光材料	550
26.3 干膜型抗蚀剂	552
26.4 液体光致抗蚀剂	555
26.5 电泳沉积光致抗蚀剂	556
26.6 光致抗蚀剂工艺	556
26.7 可制造性设计	574

第 27 章 多层板材料和工艺

27.1 引 言	579
27.2 PCB 材料	580
27.3 多层结构的类型	594
27.4 ML-PCB 工艺流程	616
27.5 层压工艺	632
27.6 层压过程控制及故障处理	640
27.7 层压综述	644
27.8 ML-PCB 总结	645

第 28 章 电路板的镀前准备

28.1 引 言	646
28.2 工艺决策	647
28.3 工艺用水	648
28.4 多层板 PTH 预处理	650
28.5 化学沉铜	654
28.6 致 谢	657

第 29 章 电 镀

29.1 引 言	658
29.2 电镀的基本原理	658
29.3 高厚径比孔和微孔电镀	659
29.4 水平电镀	661
29.5 电镀铜的一般问题	663
29.6 酸性硫酸铜溶液和操作	671
29.7 电镀焊料(锡铅)	677
29.8 电镀锡	679
29.9 电镀镍	681
29.10 电镀金	684
29.11 铂系金属	687
29.12 电镀银	688
29.13 实验室的过程控制	688
29.14 致 谢	691

第 30 章 直接金属化

30.1 引 言	692
30.2 直接金属化技术概述	692
30.3 钯基系统	693
30.4 碳/石墨系统	697
30.5 导电聚合物系统	698
30.6 其他方法	700
30.7 直接金属化技术工艺步骤的比较	700
30.8 直接金属化技术的水平工艺设备	701
30.9 直接金属化技术的工艺问题	702
30.10 直接金属化技术工艺总结	702

第 31 章 PCB 制造中的全化学镀铜

31.1 全化学镀	704
31.2 加成工艺及其差异	705
31.3 图镀加成	705
31.4 板镀加成	710
31.5 局部加成	711
31.6 化学镀的化学反应	712
31.7 全化学镀的问题	715

第 32 章 PCB 的表面处理

32.1 引 言	719
32.2 可供选择的表面处理	721
32.3 热风焊料整平	722
32.4 化学镀镍 / 浸金 (ENIG)	724
32.5 有机可焊性保护膜	726
32.6 化学沉银	729
32.7 化学沉锡	730
32.8 其他表面处理	732
32.9 组装兼容性	734
32.10 可靠性试验方法	737
32.11 特定主题	737
32.12 失效模式	738
32.13 表面处理的性能比较	742

第 33 章 阻 焊

33.1 引 言	743
33.2 阻焊的发展趋势及挑战	744
33.3 阻焊类型	745
33.4 阻焊的选择	746
33.5 阻焊处理工艺	751
33.6 导通孔的保护	759
33.7 阻焊的最终性能	760
33.8 字符与标记 (术语)	761

第 34 章 蚀刻工艺和技术

34.1 引 言	763
34.2 总的蚀刻注意事项和工艺	764
34.3 抗蚀层去除	766
34.4 蚀刻剂	768
34.5 其他 PCB 构成材料	781
34.6 其他非铜金属	782
34.7 蚀刻线形成的基础	783
34.8 设备和技术	789

第 35 章 机械加工和铣外形

35.1 引 言	795
----------	-----