



国际信息工程先进技术译丛

Mc
Graw
Hill Education

印制电路板——设计、 制造、装配与测试

**Printed Circuit Boards
Design, Fabrication
and Assembly**

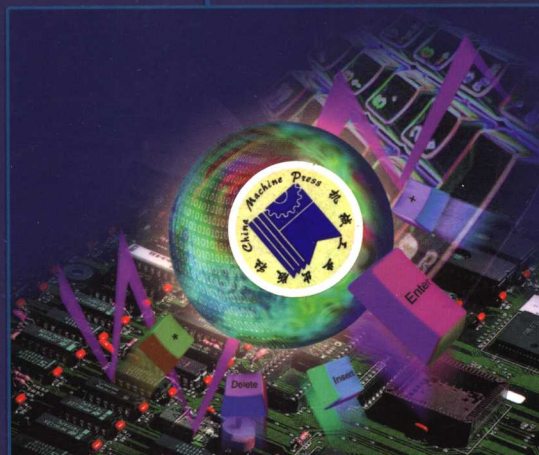
(美) R.S.Khandpur 著

曹学军 刘艳涛 等译
钱宗峰 张光敏

曹学军 刘艳涛 钱宗峰 校



机械工业出版社
CHINA MACHINE PRESS



本书内容涉及电子学、机械工程学、流体力学、热力学、化学、物理学、冶金学和光学等学科和领域,基本上涵盖了印制电路板从设计、布局、制造、组装到测试的整个生产过程,反映了当前印制电路板的制造技术与先进工艺。此外,本书在印制电路板可靠性保障、产品质量控制以及环境问题等方面也有一定的参考价值。

本书由世界知名的电子学专家编写,可以使读者快速全面地掌握印制电路板的相关知识,既可作为科研院所、高等工科院校等相关专业的教材或教学参考书,也可作为印制电路板设计、制造、检测与维修人员等的技术指南或工具书,又可为电子工业领域中有意了解当今世界电子发展面临挑战的人员提供一个理想的自学参考书。

ISBN 0-07-146420-4

Copyright © 2006 by The McGraw-Hill Companies, Inc. All rights reserved. Printed in the United States of America. Except as permitted under the United States Copyright Act of 1976, no part of this publication may be reproduced or distributed in any form or by any means, or stored in a data base or retrieval system, without the prior written permission of the publisher.

Simplified Chinese translation edition jointly published by McGraw-Hill Education (Asia) Co. and China Machine Press.

All rights reserved.

本书中文简体字翻译版由机械工业出版社和美国麦格劳·希尔教育(亚洲)出版公司合作出版。未经出版者预先书面许可,不得以任何方式复制或抄袭本书的任何部分。

版权所有,侵权必究。

本书封底贴有 McGraw-Hill 公司防伪标签,无标签者不得销售。

本书版权登记号:图字 01-2006-4836 号

图书在版编目(CIP)数据

印制电路板:设计、制造、装配与测试/(美)卡德普(Khandpuy, R. S.)著;曹学军等译.—北京:机械工业出版社,2008.1

(国际信息工程先进技术译丛)

书名原文:Printed Circuit Boards:Design,Fabrication,And Assembly
ISBN 978-7-111-23048-9

I. 印… II. ①卡…②曹… III. 印制电路 IV. TN41

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2007)第 194157 号

机械工业出版社(北京市百万庄大街 22 号 邮政编码 100037)

策划编辑:张俊红 责任编辑:顾谦 责任校对:李秋荣

封面设计:马精明 责任印制:杨曦

北京机工印刷厂印刷(兴文装订厂装订)

2008 年 2 月第 1 版第 1 次印刷

169mm×239mm·21.375 印张·832 千字

0 001—4 000 册

标准书号:ISBN 978-7-111-23048-9

定价:88.00 元

凡购本书,如有缺页、倒页、脱页,由本社发行部调换

销售服务热线电话:(010) 68326294

购书热线电话:(010) 88379639 88379641 88379643

编辑热线电话:(010) 88379768

封面无防伪标均为盗版

译者序

印制电路板几乎存在于任何电子领域，大到卫星、宇宙飞船，小到人们生活中所熟悉的各种电子产品，都可见其踪迹。可以说，印制电路板是现代电子工业领域的基石之一。

在印制电路板应用范围不断扩大的同时，各行各业对印制电路板的要求也越来越高。近年来，印制电路板的层数不断增加、线宽不断降低，印制电路板的设计制造技术得到了空前发展和广泛关注，对印制电路板行业人员的要求与需求也与日俱增。

目前，越来越多的工程技术人员都迫切需要有一本关于印制电路板设计制造方面，内容既全面详实、又能指导实践操作的教参书，但市场上已出版的大量有关印制电路板设计的图书往往因侧重于印制电路板设计软件的介绍而无法全面满足这一要求。鉴于此，机械工业出版社及时引进了本书，可谓慧眼识珠。

本书是印制电路板领域的一本经典著作，着重介绍了印制电路板设计的基本理论知识，印制电路板相关问题的分析与设计以及不同类型印制电路板的设计方法和技巧，建立了一个有关印制电路板设计、制造、组装、测试等的完整知识体系。本书具有以下几个特点：

基础性：本书既详细介绍了与印制电路板相关的基础知识，又规避了晦涩的数学理论和繁琐的公式推导，内容上图文并茂，语言上通俗易懂，使印制电路板领域的入门读者也不难理解其内容。

实用性：本书注重基础知识的介绍，更强调实际操作的阐述，特别是介绍了与印制电路板领域相关的许多边缘技术及应用设备，并在每一章后面都给出了与本章相关的常用标准，在全书的最后还为读者提供了印制电路板领域术语的中英文对照及详细解释，对印制电路板行业人员等极为实用。

先进性：本书由 R. S. Khandpur 主笔，在内容和体系上独具特色，无论从印制电路板的设计、制作以及测试等方面而言，还是从印制电路板的可靠性保障、产品质量控制以及环境问题等方面而言，都是一本市面上难得一见的好教材和值得借鉴的工具书，为解决当今微电子设计领域日益增加的密度问题提供了详尽而全面的指导与准则。特别是本书所论述的高密度互连、CAD/CAM、基板、蚀刻、焊接等技术以及环境问题等，为当今复杂印制电路板问题提供了最新的、创造性的解决方法。

本书由曹学军副教授负责审校、定稿，刘艳涛副教授负责全书的译校，钱

宗峰讲师参与了本书第8章、第13章及术语对照表的译校工作。

本书共有15章，按章节顺序，各章初译的执笔人为：前言、目录、第8章、第13章及术语表为钱宗峰译，第1章为李国霞译，第2章为张志勇译，第3章为王艳姝译，第4章为刘艳涛译，第5章为王森译，第6章和第15章为张光敏译，第7章和第14章为李悦译，第9章和第10章为袁赛译，第11章和第12章为杨海明译。时显奇对本书的翻译给予了帮助指导。总参通信训练基地信息与通信工程教研室的师生也参与了部分翻译工作和资料收集整理工作。

此外，本书的翻译得到了总参通信训练基地有关业务部门和领导的大力支持与帮助指导，在此一并表示感谢。

需要说明的是，本书是译者在忠实于原书的基础上翻译的，书中观点并不代表译者本人及其所在单位的观点。

我们相信，本书的翻译出版会对我国印制电路板的设计、制造、测试等相关领域产生一定的促进作用。

由于印制电路板领域相关的理论、技术发展迅速，加之译者水平和时间有限，译文中的错误和不妥之处在所难免，敬请专家、读者给予批评指正。

译者

2008年1月

前 言

在电子产品的元件互连技术中,最常用的就是印制电路板(PCB)。在现代电子和机械元器件封装密度不断增加的情况下,印制电路板的需求越来越大。随着印制电路板层数的增多,印制线变得更精细,板子的层片变得更薄。特别是近10年来,集成电路技术的高度发展,又产生了将集成电路固定在印制电路板的新的设计需求。在20世纪70年代,双列直插器件用得普遍,现在则大量采用表面贴装技术。另外,印制电路板上的间隔空间不断减小,穿孔之间导线的数量不断增加,孔的直径迅速变小,这导致了像盲孔或通孔之类微导通孔器件的大量应用。随着对成本-效益环节(费效比)强有力的调控,将来的印制电路板将具有更高的单位密度功能、更高的可靠性和更低的成本,厂家也将生产出对环境更加兼容的印制电路板。而且,全球制造业联合这一优势,将有效地保证印制电路板的设计和制造更符合全球统一标准。

目前市面上见到的此类图书并没有涉及到上述的所有方面。本书是印制电路板技术领域为数不多的参考书之一,它包括了印制电路板的设计、制造、组装和检测,还包括了可靠性和质量等方面的内容。因此,本书不仅涉及了印制电路板的设计,而且还提供了对印制电路板的物理结构及检测过程等更广泛的理理解。尽管涉及电子学、机械工程、流体动力学、热动力学、化学、物理学、冶金学和光学等相关领域高度专业的学科,但本书尽可能做到用通俗易懂的语言讲述印制电路板相关的重要理论,而舍弃了冗长的理论推导。为了更全面地展现该领域的研究范围,本书最后还列出了大量的相关参考文献以供参考。

本书分为15章,每一章都涵盖了其相关领域的内容并独立成章,便于阅读理解,每一章的内容都按照所介绍技术实际发展的先后顺序来安排。本书适合在该领域具有一定实践经验、对印制电路板制造设备和材料有一定了解的人士阅读。

第1章是印制电路板领域的一个总的介绍,从印制电路板的发展谈到了它的分类以及制造、设计和组装。对现代印制板工业发展的主要驱动,特别是高密度互连技术也作了说明。第1章还简要介绍了电子电路封装协会,该机构制定了一系列的标准,在印制电路板工业领域扮演着重要的角色。

在许多设计公司,负责规划设计和版面生成的通常是制图员,他们在机械工程领域接受训练,需要理解电子元器件及集成电路(IC)和表面贴装器件(SMD)的基本原理,为了满足他们的需要,第2章将致力于介绍许多电子器

件的基本概念及性能。

第3章将介绍印制电路板布线图的规划和总体设计,第4章详细介绍了像高频电路及高密度互连这类特殊电路,并特别涉及了模拟电路和高功率电路。

直到十几年前,布线图仍然用手工生成,如今可以采用计算机辅助设计系统,配合从小商贩那里就可以买到的封装软件,不仅简化了这一工作,而且还使高密度电路板的生成更加方便。计算机辅助设计使得布线图的生成与计算机辅助制造的结合成为可能,随着制造厂房的分散,人们认为设计数据转换这一机制非常重要。第5章介绍了手工布线图的生成以及基于计算机辅助设计和计算机辅助制造的布线图的生成。

第6章详细介绍了印制电路板的核心基础——板材的原料。本章不仅讨论了印制电路板结构方面的内容,而且还详细叙述了目前印制电路板的常见缺陷,并从质量保证的角度介绍了印制电路板的检测方法。

特别是由于精细印制电路板的苛刻需求,板层上布线图的图像转换技术有了极大的发展,激光直接图像转换技术变得越来越流行。第7章介绍了传统图像转换技术和现代图像转换技术。

印制电路板制造的下一步自然是蚀刻技术,第8章介绍了各种蚀刻技术,包括湿蚀刻和干蚀刻。第9章详细叙述了电镀技术。另外,第9章还涉及了为导线通路提供良好表面的各种方法,包括焊料掩模和显影保形涂层。

精细的机械操作是保证印制电路板制作质量的重要一步。据报道,印制电路板中发现的85%的缺陷都是直接或间接由于打孔引起的。另外,不断减小孔径的尺寸也使得传统的机械打孔方法满足不了需求。第10章讨论了目前为克服这一限制而广泛使用的激光技术。

多基板基于特殊的设计和制造技术,使得高密度板成为可能,第11章对此进行了讨论。第12章介绍了柔性板的特征,包括设计、制造技术以及应用。

第13章致力于焊接与组装技术,包括手工及基于机器的自动化系统,介绍了重新加工程序,特别是具有SMD和混合组装的电路板。

第14章讲解了印制电路板质量和可靠性方面的内容,并制定了可接受的标准,详细介绍了裸板和已装配板的测试,以及它们的局限和应用范围。

对于印制电路板工业污染问题及其治理方法则在最后一章作了叙述,最后还对印制电路板的回收和环境设计的概念作了简要介绍,本章还涉及了无铅焊接及其在目前的应用状态这一关键问题。

本书提供了一个详尽的常用术语表,大量的文献对于那些需要更详尽专业信息的人们都非常有用。互联网已成为各种各样信息的无价源泉,特别是关于印制电路板的制造及其相关技术。本书参考文献提供了互联网上的大量资料。

最后,我要感谢我的妻子 Ramesh Khandpur 女士,她是帮助我获得人生目标

的巨大的精神动力的源泉，是她全心全意的支持使我在我的职业生涯中永不懈怠，同时还要感谢急切想要看到这一新作出版的我的孩子和孙子们。

我还要感谢 Tata McGraw-Hill 公司的 New Delhi，是他允许我使用 W. C. Bosshart 先生《印制电路板》一书中的插图，使得本书高质量地出版。

R. S. Khandpur

目 录

译者序

前言

第 1 章 印制电路板基础	1
1.1 电子设备的连接	1
1.1.1 印制电路板的优势	1
1.2 印制电路板的发展	2
1.3 印制电路板的组成	4
1.4 印制电路板的分类	4
1.4.1 单面印制电路板	5
1.4.2 双面印制电路板	5
1.4.3 多层印制电路板	6
1.4.4 刚性印制电路板和柔性印制电路板	8
1.5 印制电路板的基本制造技术	8
1.5.1 单面板	9
1.5.2 双面镀通孔板	12
1.5.3 多基板	13
1.5.4 柔性板	13
1.6 现代印制电路板设计和制造的挑战	14
1.7 印制电路板工业的市场驱动力	16
1.8 带嵌入组件的印制电路板	18
1.9 印制电路板标准	19
1.10 几个常用标准	21
第 2 章 电子元器件	22
2.1 电子元器件基础	22
2.1.1 有源元器件和无源元器件	22
2.1.2 分立电路与集成电路	22
2.1.3 元器件的引脚	23
2.1.4 有极性的元器件	24
2.1.5 元器件图形符号	24

2.2	电阻器	25
2.2.1	电阻器的分类	25
2.2.2	电阻器的封装	27
2.2.3	电阻器的性能参数	27
2.3	可变电阻和电位器	30
2.4	光敏电阻	31
2.5	热敏电阻	32
2.6	电容器	32
2.6.1	电容器的分类	34
2.6.2	电容器的封装	36
2.6.3	电容器的性能	36
2.7	可变电容	38
2.8	电感器	39
2.9	二极管	42
2.10	几种特殊类型的二极管	43
2.10.1	齐纳二极管	43
2.10.2	变容二极管	44
2.10.3	压敏电阻器	44
2.10.4	发光二极管	45
2.10.5	光敏二极管	45
2.10.6	隧道二极管	46
2.11	晶体管	46
2.11.1	双极型晶体管	46
2.11.2	功率晶体管	50
2.11.3	达林顿晶体管	51
2.11.4	场效应晶体管	51
2.11.5	绝缘栅双极型晶体管	54
2.11.6	晶体管类型标注	55
2.12	晶闸管	56
2.13	集成电路	59
2.14	线性集成电路	59
2.14.1	运算放大器	59
2.14.2	三端稳压器	62
2.15	数字集成电路	62
2.15.1	逻辑电路	63
2.16	微处理器	71
2.17	半导体存储器	73

2.17.1	RAM	73
2.17.2	ROM	75
2.18	微控制器	77
2.19	表面贴装器件	77
2.19.1	表面贴装器件	78
2.19.2	半导体 SMD 的封装	80
2.19.3	无源元器件的 SMD 封装	85
2.20	散热器	85
2.21	变压器	87
2.22	继电器	87
2.23	连接器	89
2.24	几个常用标准	89
第 3 章	版面规划与设计	92
3.1	识图与绘图	92
3.1.1	框图	92
3.1.2	原理图	92
3.2	印制电路板的设计总则	95
3.2.1	几个重要的设计因素	96
3.2.2	几个重要的性能参数	97
3.3	机械设计中的注意事项	97
3.3.1	印制电路板的类型	97
3.3.2	印制电路板的装配技术	102
3.3.3	印制电路板的安装与固定	102
3.3.4	输入/输出接口	104
3.3.5	印制电路板的插拔	104
3.3.6	测试与维修	104
3.3.7	机械应力	105
3.3.8	印制电路板的厚度	105
3.3.9	几个重要的规范和标准	105
3.4	电气设计中的注意事项	106
3.4.1	导线尺寸	106
3.4.2	阻抗	106
3.4.3	印制电路板导线间的电容	111
3.4.4	印制电路板导线的电感	112
3.4.5	高的电应力	112
3.5	导线的模式	113

3.6 元器件的布局规则	113
3.6.1 导线的宽度和厚度	114
3.6.2 导线间距	115
3.6.3 导线形状	116
3.6.4 导线的布线和位置	117
3.6.5 电源线和地线	117
3.7 安装和装配	120
3.8 环境因素	121
3.8.1 散热问题	121
3.8.2 防尘与防污染	122
3.8.3 防冲击与防震动	122
3.9 散热需求与封装密度	124
3.9.1 散热器	124
3.9.2 封装密度	124
3.9.3 封装形式与物理属性	125
3.10 版面设计	127
3.10.1 网格显示系统	128
3.10.2 版面比例	128
3.10.3 版面草图设计	129
3.10.4 版面设计注意事项	130
3.10.5 设计所需的材料和辅助工具	130
3.10.6 焊盘要求	131
3.10.7 手工布局程序	132
3.10.8 版面设计方法	134
3.11 版面设计清单	134
3.11.1 总体规划	135
3.11.2 电气规划	135
3.11.3 机械规划	136
3.12 文档资料	136
3.12.1 文档文件	138
3.13 几个常用标准	138
第4章 特殊电路的设计	140
4.1 模拟电路设计准则	140
4.1.1 元器件布局	140
4.1.2 信号线	140
4.1.3 电源线和地线	145

4.1.4 模拟电路印制电路板的通用设计准则	146
4.2 数字电路设计准则	146
4.2.1 传输线	146
4.2.2 数字电路印制电路板设计中的几个问题	148
4.3 高频电路设计准则	152
4.4 快速脉冲电路设计准则	154
4.4.1 受控阻抗	155
4.5 微波电路印制电路板的设计准则	157
4.5.1 基本定义	157
4.5.2 带状传输线和微带传输线	158
4.5.3 传输线与无源元件的等效	161
4.5.4 微波电路的通用设计	163
4.6 功率电路设计准则	164
4.6.1 高功率电路与低功率电路的分离	164
4.6.2 基板材料厚度	165
4.6.3 铜箔厚度	165
4.6.4 导线宽度	165
4.6.5 大电流导致的电压降	165
4.6.6 散热问题	165
4.7 高密度互连结构	166
4.7.1 高密度互连结构的驱动	168
4.7.2 高密度互连结构的优势	168
4.7.3 高密度互连结构的设计	169
4.8 电磁干扰与电磁兼容	171
4.9 几个常用标准	172
第5章 布线图的生成	174
5.1 什么是布线图	174
5.2 手工布线的基本方法	174
5.2.1 白纸板绘图	174
5.2.2 粘在透明基箔上的黑色胶带	175
5.2.3 粘在透明聚酯基箔上的红色胶带和蓝色胶带	178
5.3 布线图设计准备的一般原则	178
5.3.1 导线的定位	178
5.3.2 导线的路径选择	179
5.3.3 导线的间距	183
5.3.4 孔径与焊盘直径	183

5.3.5 方形连接盘/焊盘	188
5.4 布线图生成总则	188
5.4.1 导线与板边的预留区域	188
5.4.2 焊盘中心孔	189
5.4.3 导线与焊盘的连接	189
5.5 胶片生成的准备	189
5.5.1 照相胶片	189
5.5.2 相机曝光	192
5.5.3 暗室	193
5.5.4 胶片显影	194
5.6 布线图的自动生成	195
5.7 计算机辅助设计	196
5.7.1 系统需求	197
5.8 CAD 系统的基本操作	199
5.8.1 版面设计的步骤	202
5.8.2 库的管理	203
5.8.3 元器件的放置	204
5.8.4 导线的布设	207
5.8.5 校验	210
5.9 自动设计	213
5.9.1 CAD 系统的选择	214
5.10 印制电路板设计中手工设计和自动设计的比较	215
5.11 光学绘图仪	216
5.11.1 矢量绘图仪	217
5.11.2 激光绘图仪	217
5.11.3 光学绘图仪	218
5.12 计算机辅助制造	219
5.13 数据传输机制	224
5.14 印制电路板设计检测清单	225
5.15 几个常用标准	227
第6章 覆铜板	228
6.1 基板的构造	228
6.1.1 填充物(增强材料)	228
6.1.2 树脂	228
6.1.3 铜箔	229
6.2 基板的制造	231

6.2.1 材料	231
6.2.2 制造流程	232
6.3 基板的性质	234
6.3.1 电性能	235
6.3.2 介电强度	236
6.3.3 相对介电常数	236
6.3.4 耗散因数	236
6.3.5 绝缘电阻	237
6.3.6 表面电阻率	237
6.3.7 体积电阻率	238
6.3.8 介质击穿	239
6.4 基板的类型	239
6.4.1 酚醛基板	239
6.4.2 环氧基板	240
6.4.3 玻璃布基板	241
6.4.4 半固化树脂材料 (B 阶段树脂材料)	243
6.4.5 PTFE (聚四氟乙烯) 基板	243
6.4.6 聚酯基板 (迈拉基板)	244
6.4.7 硅酮基板	244
6.4.8 蜜胺基板	244
6.4.9 聚酰胺基板	244
6.4.10 特氟隆基板	245
6.4.11 混合介质基板	245
6.5 基板的评估	245
6.5.1 基板测试	245
6.5.2 表面和外观	245
6.5.3 吸水率	246
6.5.4 冲孔性和机械加工性	247
6.5.5 剥离强度	247
6.5.6 粘接强度	248
6.5.7 耐焊锡性	249
6.5.8 板弯和板翘	249
6.5.9 抗弯强度	250
6.5.10 可燃性	250
6.5.11 玻璃化温度	251
6.5.12 空间稳定性	251
6.5.13 铜粘接强度	251
6.6 几个常用标准	251

第7章 图像转移技术	253
7.1 什么是图像转移	253
7.2 基板表面的准备工作	253
7.2.1 人工清洁方法	254
7.2.2 机器清洁	255
7.2.3 清洁度的测试	256
7.3 丝网印制	257
7.3.1 网框	258
7.3.2 网布	258
7.3.3 丝网的准备	259
7.3.4 刮刀	260
7.4 图样转移技术	261
7.4.1 丝网模板法	261
7.4.2 间接法（转移型丝网印制法）	261
7.4.3 切割膜或手刻膜的处理	262
7.4.4 照相工艺	262
7.5 印制油墨	263
7.5.1 紫外线固化油墨处理	264
7.6 印制过程	264
7.6.1 手工丝网印制	264
7.6.2 自动或半自动丝网印制	265
7.7 照相印制	265
7.7.1 液态光致抗蚀剂（湿膜抗蚀剂）	266
7.7.2 干膜光致抗蚀剂	267
7.8 激光直接成像（LDI）	271
7.8.1 激光直接成像的优点	274
7.9 字符印制	275
7.10 几个常用标准	276
 第8章 电镀工艺	 277
8.1 电镀的需求	277
8.2 电镀	279
8.2.1 电镀的基本工艺	279
8.2.2 法拉第电解定律	280
8.2.3 水质	281
8.2.4 溶液的 pH 值	282
8.2.5 缓冲剂	282

8.2.6 阳极	283
8.2.7 阳极罩	283
8.2.8 电镀的预处理	283
8.3 电镀技术	283
8.3.1 浸镀	283
8.3.2 化学镀	284
8.3.3 电镀	290
8.4 电镀中的常见问题	299
8.5 常见的电镀缺陷	299
8.5.1 破洞	299
8.5.2 吹孔	300
8.5.3 吹气	300
8.6 特殊电镀技术	300
8.6.1 通孔电镀	300
8.6.2 卷轮连动式选择镀	301
8.6.3 刷镀	301
8.6.4 指排式电镀	302
8.6.5 金属导体糊剂覆膜	302
8.6.6 还原银喷洒	303
8.7 金属分布与镀层厚度	303
8.7.1 溶液分析 (湿式化学分析)	303
8.7.2 溶液的物理测试	304
8.7.3 电镀测试	306
8.8 车间规划注意事项	308
8.8.1 电镀车间规划	309
8.8.2 设备	310
8.9 加成制程	311
8.9.1 全加成制作过程	311
8.9.2 半加成制作过程	313
8.9.3 部分加成制作过程	313
8.10 防焊膜	316
8.10.1 阻焊剂的分类	317
8.10.2 液态防焊膜	318
8.10.3 干膜防焊膜	319
8.10.4 分辨率	322
8.10.5 封装	322
8.10.6 不同阻焊剂厚度的表面地形	323
8.10.7 对元器件放置的帮助	323

8.10.8 防焊膜的可靠性	323
8.10.9 焊接与清洗	324
8.10.10 通孔掩蔽法	324
8.10.11 裸铜板上的防焊膜	324
8.11 护形涂层	325
8.11.1 护形涂层的材料	326
8.11.2 护形涂层的使用方法	327
8.11.3 护形涂层的标准	327
8.12 几个常用标准	328
第9章 蚀刻技术	329
9.1 蚀刻的化学溶液	329
9.1.1 氯化铁	329
9.1.2 过氧化氢-硫酸	331
9.1.3 铬-硫酸	332
9.1.4 氯化铜	333
9.1.5 过硫酸铵	334
9.1.6 碱性氨/氯化铵	335
9.2 蚀刻过程	336
9.2.1 简单分批蚀刻	336
9.2.2 连续补液蚀刻	336
9.2.3 开路循环再生系统	337
9.2.4 闭路循环再生系统	337
9.3 蚀刻参数	338
9.4 蚀刻设备和技术	338
9.4.1 浸入蚀刻	338
9.4.2 滋泡蚀刻	338
9.4.3 泼溅蚀刻	339
9.4.4 喷洒蚀刻	339
9.5 蚀刻设备的选择	341
9.6 蚀刻剂的最优利用的经济效益	341
9.7 蚀刻过程中的问题	341
9.7.1 侧蚀	342
9.7.2 镀层突沿	342
9.8 蚀刻区的设施	343
9.9 电化蚀刻	343
9.10 机械蚀刻	343