



普通高等教育“十一五”国家级规划教材



21世纪高等院校电气信息类系列教材

Electrical Information ·
Science and Technology

现代印制电路原理与工艺

第②版

主 编 张怀武
副主编 何 为 林金堵
参 编 胡文成 唐先忠



附赠电子教案

[http:// www.cmpedu.com](http://www.cmpedu.com)



机械工业出版社
CHINA MACHINE PRESS

普通高等教育“十一五”国家级规划教材
21 世纪高等院校电气信息类系列教材

现代印制电路原理与工艺

第 2 版

主 编 张怀武
副主编 何 为 林金堵
参 编 胡文成 唐先忠



机械工业出版社

本书从印制电路板材料、设计、制造、装配、焊接、质量保证、环保和质量标准等方面全面系统地讲述了印制电路技术的基本概念、原理和工艺,以及最新的印制电路板制造工艺和技术。内容涵盖了各类印制电路板制造所必须掌握的基础知识和实践知识,力求科学性、先进性、新颖性和实用性的统一。鉴于印制电路技术飞速发展,本书还增加了即将成为印制电路主要生产技术的高密度互连积层印制电路、无铅化技术与工艺、特殊用途的特种印制电路技术、集成元器件印制电路板和印制电路发展趋势等内容。本书共分 19 章,着重基本概念和原理的阐述,深入浅出,理论联系实际。每章都配有习题,以指导读者深入地进行学习。为了方便教学,还提供了与本书配套的多媒体教学课件。

本书不仅可作为高等院校电气信息类和化学类“印制电路技术(原理和工艺)”课程的教材,也可供从事印制电路行业的工程技术人员参考。

本书已被中国印制电路行业协会推荐为印制电路行业工程技术人员的培训教材。

图书在版编目(CIP)数据

现代印制电路原理与工艺 / 张怀武主编. —2 版. —北京: 机械工业出版社, 2009.11

(普通高等教育“十一五”国家级规划教材. 21 世纪高等院校电气信息类系列教材)

ISBN 978-7-111-28835-0

I. 现… II. 张… III. 印刷电路—高等学校—教材 IV. TN41

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2009)第 200422 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: 时 静

责任编辑: 时 静

责任印制: 乔 宇

北京京丰印刷厂印刷

2010 年 1 月·第 2 版第 1 次印刷

184mm×260mm·26.5 印张·655 千字

0 001—3 500 册

标准书号: ISBN 978-7-111-28835-0

定价: 45.00 元

凡购本书, 如有缺页、倒页、脱页, 由本社发行部调换

电话服务

网络服务

社服务中心: (010) 88361066

门户网: <http://www.cmpbook.com>

销售一部: (010) 68326294

教材网: <http://www.cmpedu.com>

销售二部: (010) 88379649

读者服务部: (010) 68993821

封面防伪标均为盗版

出版说明

随着科学技术的不断进步，整个国家自动化水平和信息化水平的长足发展，社会对电气信息类人才的需求日益迫切、要求也更加严格。在教育部颁布的“普通高等学校本科专业目录”中，电气信息类（Electrical and Information Science and Technology）包括电气工程及其自动化、自动化、电子信息工程、通信工程、计算机科学与技术、电子科学与技术、生物医学工程等子专业。这些子专业的人才培养对社会需求、经济发展都有着非常重要的意义。

在电气信息类专业及学科迅速发展的同时，也给高等教育工作带来了许多新课题和新任务。在此情况下，只有将新知识、新技术、新领域逐渐融合到教学、实践环节中去，才能培养出优秀的科技人才。为了配合高等院校教学的需要，机械工业出版社组织了这套“21 世纪高等院校电气信息类系列教材”。

本套教材是在对电气信息类专业教育情况和教材情况调研与分析的基础上组织编写的，期间，与高等院校相关课程的主讲教师进行了广泛的交流和探讨，旨在构建体系完善、内容全面新颖、适合教学的专业教材。

本套教材涵盖多层面专业课程，定位准确，注重理论与实践、教学与教辅的结合，在语言描述上力求准确、清晰，适合各高等院校电气信息类专业学生使用。

机械工业出版社

序

中国信息产业是国民经济的支柱产业之一，持续高速的发展为中国的现代化迎来了美好的今天，展望未来更加灿烂辉煌。如果说集成电路是一级封装，所有的电子信息整机产品，如：计算机、电视机、手机等为三级封装，那么印制电路就是二级封装，起到承上启下、至关重要的作用，哪里有电子信息产品，哪里就一定有印制电路板。

2006 年中国印制电路进出口总额突破 163 亿美元，中国印制电路总产值达到 128 亿美元，占全球 470 亿美元总产值的 27%，已经超过世界最大的印制电路板（PCB）生产国日本。2007 年有了一个大的提升，全球总产值为 500 亿美元，中国超过 147 亿美元，占全球 500 亿美元总产值的 29.4%，进出口总额约为 203.7 亿美元。

虽然中国是印制电路生产大国，但不是强国。我国的印制电路产品主要是没有自主知识产权、低技术含量、低端、低附加值的简单加工型产品。而技术含量高、高附加值的尖端产品均被国外的印制电路生产商垄断。中国的电子电路行业[含 PCB、铜箔基板（CCL）专用材料、专用设备及整机的表面安装技术（SMT）等]要真正强大起来，还有很长的路要走。我国印制电路行业从业人员超过 70 万，提升该产业职工的素质、是当前重中之重的任务。

电子科技大学作为我国培养印制电路专业人才的基地，近 20 年为我国印制电路行业培养了大量的专业人才，为该行业的发展做出了杰出的贡献。由电子科技大学的国家“长江学者计划”特聘教授、国家杰出青年基金获得者、全国优秀教师张怀武教授领导的团队和我国著名印制电路专家、总参 56 所总工程师、中国印制电路行业协会“印制电路信息”杂志社主编林金堵强强联合出版的《现代印制电路原理与工艺》为我国高校培养印制电路专业人才提供了一部精品教材。

该教材从印制电路基板材料、设计、制造、装配、焊接、质量保证、环保和质量标准等方面全面系统地讲述了印制电路技术的基本概念、原理和工艺以及最新的印制板制造工艺和技术。内容涵盖了各类印制板制造所必须掌握的基础知识和实践知识，密切结合了我国印制电路制造行业的生产实际，是一部难得的好教材。本书的出版必将推动我国印制电路行业专业人才的培养和印制电路行业职工队伍的技术提升。

中国印制电路行业协会
秘书长 王龙基

前 言

绝大多数电子设备都要使用印制电路板,用以安装集成电路等元器件并提供它们之间的电气连接。印制电路技术已发展成为一门自成体系、完全独立的生产技术,与大规模集成电路一样,已跻身于“高科技”行列之中,成为电子工业生产中的重要技术之一。电子设备的“轻量化、小型化、薄型化、智能化”发展,对电子设备的关键——印制电路板的性能和制造技术提出了更新、更高的要求。

印制电路行业在我国发展迅猛,2006 年我国印制板总产值达到 128 亿美元,进出口总额达到 163 亿美元,已经超过日本,成为世界第一大印制电路板生产国,年平均增长速度达到 22%,总产值占到电子类产品产值的 7%,国内印制电路行业从业人员超过 70 万人。然而,以前国内不少高校开设的印制电路课程的内容主要偏重于印制电路的设计,直接导致印制电路制造技术的工艺人才奇缺。现在我国越来越多的大学已开始设立培养印制电路制造工艺技术的课程,以满足我国印制电路工艺人才的需求。但目前国内讲述印制电路原理和工艺方面的教材不多。

电子科技大学应用化学系是我国第一个在应用化学专业设置印制电路工艺专业的系,为我国印制电路行业输送了大量印制电路工艺人才。本书是在电子科技大学应用化学系 1996 年编写的《印制电路技术》教学讲义和 2005 年编写的《现代印制电路原理与工艺》教材的基础上,结合 13 年的教学经验并补充相关新技术和新工艺编写而成的。

本书从印制电路板材料、设计、制造、装配、焊接、质量保证、环保和质量标准等方面全面系统地讲述了印制电路技术的基本概念、原理和工艺。内容涵盖了各类印制板制造所必须掌握的基础知识和实用知识,力求科学性、先进性、新颖性和实用性的统一。鉴于印制电路技术发展迅速,本书还增加了即将成为印制电路主要生产技术的高密度互连积层印制电路、电子产品无铅化技术、特种印制电路技术、集成元器件印制电路板和印制电路发展趋势等内容。

本课程建议授课学时数为 70。各章内容相对独立,授课教师可根据实际需要取舍教学内容。为了方便教学,还提供了与本书配套的多媒体教学课件。

本书的编写得到了我校产、学、研基地——珠海元盛科技股份有限公司的大力支持,书中部分工艺方面的实验就是在该公司胡可总经理的大力支持下在该公司的生产线上完成的,在此特表示衷心的感谢。在编写本书的过程中,参考了很多国内外的著作和资料(主要书目列于书末的参考文献),引用了其中的一些内容和实例,在此对这些文献的作者表示诚挚的感谢。

本书由国家“长江学者计划”特聘教授、国家杰出青年基金获得者、全国优秀教师张怀武教授担任主编;我国著名印制电路专家、总参 56 所总工程师、中国印制电路行业协会“印制电路信息”杂志社主编林金堵和我国印制电路专家、电子科技大学教授何为任副主编;全书共 19 章,其中第 13、19 章由张怀武编写;第 18 章由林金堵编写;第 1、6、7、11、16、17 章由何为编写;第 3、8、9、10、12、14 章由胡文成教授编写;第 2、4、5、15 章由唐先忠教授编写。全书由何为整理定稿。重庆大学张胜涛教授对全书进行了审定,在此深表谢意。

对于书中存在的错误和不妥之处,敬请读者提出宝贵意见。

编 者
于电子科技大学

目 录

出版说明

序

前言

第 1 章 印制电路概述	1
1.1 印制电路的相关定义和功能	1
1.1.1 印制电路的相关定义	1
1.1.2 印制电路在电子设备中的地位和功能	2
1.2 印制电路的发展史、分类和特点	2
1.2.1 早期的制造工艺	2
1.2.2 现代印制电路的发展	3
1.2.3 印制电路的特点和分类	5
1.3 印制电路制造工艺简介	7
1.3.1 减成法	7
1.3.2 加成法	9
1.4 我国印制电路制造工艺简介	10
1.4.1 单面印制电路板生产工艺	10
1.4.2 双面印制电路板生产工艺	10
1.4.3 多层印制电路板生产线	16
1.4.4 挠性印制电路和齐平印制电路的制造工艺	16
1.5 习题	18
第 2 章 基板材料	19
2.1 覆铜箔层压板及其制造方法	19
2.1.1 覆铜箔层压板分类	19
2.1.2 覆铜箔层压板制造方法	20
2.2 覆铜箔层压板的特性	22
2.2.1 覆铜箔层压板的力学特性	22
2.2.2 覆铜箔层压板热特性	23
2.2.3 覆铜箔层压板电气特性	25
2.3 覆铜箔层压板电性能测试	26
2.3.1 表面电阻和体积电阻系数试验	27
2.3.2 介电常数和介电损耗试验	27
2.3.3 平行层向绝缘电阻试验	27
2.3.4 垂直于板面电气强度试验	27
2.3.5 表面腐蚀	27
2.3.6 边缘腐蚀	28

2.4	习题	28
第 3 章	印制电路板设计与布线	29
3.1	设计的一般原则	29
3.1.1	印制电路板的类型	29
3.1.2	坐标网络系统	29
3.1.3	设计放大比例	30
3.1.4	印制电路板的生产条件	30
3.1.5	标准化	30
3.1.6	设计文件	30
3.2	设计应考虑的因素	31
3.2.1	基材的选择	31
3.2.2	表面镀层和表面涂覆层的选择	32
3.2.3	机械设计原则	32
3.2.4	印制电路板的结构尺寸	33
3.2.5	孔	34
3.2.6	连接盘	35
3.2.7	印制导线	35
3.2.8	印制插头	36
3.2.9	电气性能	36
3.2.10	可燃性	40
3.3	CAD 设计技术	40
3.3.1	CAD 技术的发展概况	40
3.3.2	原理图的设计	40
3.3.3	PCB 图的设计	42
3.3.4	计算机辅助制造 (CAM) 数据的产生	47
3.4	习题	49
第 4 章	照相制版技术	50
4.1	感光材料的结构和性能	50
4.1.1	感光材料的结构	50
4.1.2	感光材料的照相性能	52
4.1.3	感光材料的分类	55
4.2	感光成像原理	56
4.2.1	潜影的形成	56
4.2.2	增感	58
4.3	显影	59
4.3.1	显影机理	59
4.3.2	显影方法	60
4.3.3	显影液的组成	61
4.3.4	常用显影液的配制及性能	62

4.3.5	显影条件及过程对图像质量的影响	63
4.4	定影	65
4.4.1	定影的定义	65
4.4.2	定影原理	65
4.4.3	定影液的配制	65
4.4.4	影响定影的因素	68
4.4.5	水洗	68
4.4.6	图像的加厚与减薄	69
4.5	图像反转冲洗工艺	71
4.5.1	反转冲洗原理	71
4.5.2	反转冲洗工艺	71
4.6	重氮盐感光材料	72
4.6.1	重氮盐感光材料的组成与分类	73
4.6.2	重氮感光材料负性印像法	76
4.6.3	微泡照相技术	77
4.7	习题	78
第 5 章	图形转移	80
5.1	光致抗蚀剂的分类与作用机理	80
5.1.1	概述	80
5.1.2	光交联型光敏树脂	81
5.1.3	光分解型光敏抗蚀剂	82
5.1.4	光聚合型光敏抗蚀剂	83
5.1.5	光增感	84
5.1.6	光敏抗蚀剂的感光度和分辨率	84
5.2	丝网制版用液体光敏抗蚀剂	85
5.2.1	重铬酸盐系水溶性光敏抗蚀剂	85
5.2.2	重氮化合物水溶性光敏抗蚀剂	86
5.3	丝印印料光敏抗蚀剂	87
5.3.1	概述	87
5.3.2	热固型印料	88
5.3.3	光固化型印料	92
5.4	干膜抗蚀剂	94
5.4.1	概述	94
5.4.2	抗蚀干膜的基本性能	96
5.5	习题	97
第 6 章	化学镀与电镀技术	98
6.1	电镀铜	98
6.1.1	铜镀层的作用及对镀层、镀液的基本要求	98
6.1.2	镀铜液的选择	99

6.1.3	光亮酸性镀铜	101
6.1.4	半光亮酸性镀铜	103
6.1.5	印制电路板镀铜的工艺过程	104
6.1.6	脉冲镀铜	106
6.2	电镀 Sn-Pb 合金	107
6.2.1	Sn-Pb 合金镀配方与工艺规范	107
6.2.2	主要成分的作用	108
6.2.3	工艺参数的影响	109
6.2.4	磷酸盐体系电镀 Sn-Pb 合金或纯锡层	110
6.3	电镀镍和电镀金	111
6.3.1	插头电镀镍与金	111
6.3.2	电镀镍/闪镀金或电镀镍/电镀厚金	112
6.4	化学镀镍/浸金	114
6.4.1	化学镀镍/金发展的背景	114
6.4.2	化学镍和化学浸金的状况	114
6.4.3	化学镀镍	115
6.4.4	化学浸金	117
6.5	脉冲镀金、化学镀金及激光化学镀金	118
6.5.1	脉冲镀金	118
6.5.2	化学镀金	120
6.6	化学镀锡、镀银、镀钯和镀铑	121
6.6.1	化学镀锡	121
6.6.2	化学镀银	122
6.6.3	化学镀钯	123
6.6.4	化学镀铑	124
6.7	习题	125
第 7 章	孔金属化技术	127
7.1	概述	127
7.2	钻孔技术	128
7.2.1	数控钻孔	128
7.2.2	激光钻孔	130
7.2.3	化学蚀孔	133
7.3	去钻污工艺	134
7.3.1	等离子体处理法	135
7.3.2	浓硫酸处理法	137
7.3.3	碱性高锰酸钾处理法	137
7.3.4	PI 调整法	138
7.4	化学镀铜技术	139
7.4.1	化学镀铜的原理	139

7.4.2	化学镀铜的工艺流程	141
7.5	一次化学镀厚铜孔金属化工艺	145
7.5.1	双面印制电路板一次化学镀厚铜	145
7.5.2	多层印制电路板一次化学镀厚铜工艺	146
7.6	孔金属化的质量检测	146
7.6.1	背光试验法	147
7.6.2	玻璃布试验	147
7.6.3	金相显微剖切	147
7.7	直接电镀技术	148
7.7.1	概述	148
7.7.2	钯系列	149
7.7.3	导电性高分子系列	150
7.7.4	碳黑系列——C 黑导电膜	153
7.8	习题	154
第 8 章	蚀刻技术	155
8.1	概述	155
8.2	三氯化铁蚀刻	156
8.2.1	三氯化铁蚀刻剂的组成	156
8.2.2	蚀刻机理	156
8.2.3	蚀刻工艺因素	157
8.2.4	蚀刻工艺	158
8.3	氯化铜蚀刻	159
8.3.1	酸性氯化铜蚀刻剂	159
8.3.2	碱性氯化铜蚀刻	163
8.4	其他蚀刻工艺	167
8.4.1	过氧化氢-硫酸蚀刻工艺	167
8.4.2	过硫酸盐蚀刻	168
8.4.3	铬酸-硫酸蚀刻	169
8.5	侧蚀与镀层突沿	170
8.5.1	侧蚀原因	170
8.5.2	减小侧蚀的方法	171
8.5.3	突沿的产生	171
8.6	习题	172
第 9 章	焊接技术	174
9.1	焊料	174
9.1.1	锡-铅焊料	174
9.1.2	无氧化焊料	176
9.1.3	改善锡-铅焊料性质的措施	177
9.1.4	无铅焊料	177

9.2	助焊剂	182
9.2.1	助焊剂的作用	182
9.2.2	助焊剂应具备的条件	183
9.2.3	助焊剂的分类	183
9.2.4	助焊剂的成分	184
9.3	锡-铅合金镀层的热熔技术	187
9.3.1	印制电路板 Sn-Pb 镀层的热熔	187
9.3.2	印制电路板的热熔方法	187
9.3.3	热风整平技术	191
9.4	焊接工艺	191
9.4.1	预涂助焊剂	191
9.4.2	预热	192
9.4.3	焊料槽	193
9.4.4	波峰焊	194
9.5	习题	197
第 10 章	多层印制电路板	198
10.1	概述	198
10.2	多层印制电路板的设计	200
10.3	多层印制电路板专用材料	202
10.3.1	薄覆铜箔层压板	202
10.3.2	多层印制电路板用浸渍材料(半固化片或粘结片)	203
10.4	多层印制电路板的定位系统	205
10.4.1	销钉定位	206
10.4.2	无销钉定位	207
10.5	多层印制电路板的层压	207
10.5.1	层压设备及工装用具	208
10.5.2	层压前的准备	208
10.5.3	层压前的叠层	209
10.5.4	层压	210
10.6	多层印制电路板的可靠性检测	214
10.7	习题	215
第 11 章	挠性及刚挠印制电路板	216
11.1	概述	216
11.1.1	挠性印制电路板的定义	216
11.1.2	挠性印制电路板的性能特点	216
11.1.3	挠性印制电路板的用途	217
11.1.4	挠性印制电路板的分类	217
11.1.5	挠性及刚挠印制电路板的结构形式	221
11.1.6	挠性印制电路板的发展过程	221

11.1.7	挠性印制电路板的技术现状	223
11.2	挠性及刚挠印制电路板材料及设计标准	223
11.2.1	挠性介质薄膜	223
11.2.2	粘结片薄膜	224
11.2.3	铜箔	225
11.2.4	覆盖层	225
11.2.5	增强板	226
11.2.6	刚性层压板	226
11.2.7	材料的热膨胀系数	226
11.2.8	挠性印制电路板的设计标准	227
11.3	挠性印制电路板的制造	227
11.3.1	挠性单面印制电路板制造	227
11.3.2	挠性双面印制电路板和挠性多层印制电路板的制造	230
11.3.3	刚挠结合板制造工艺	236
11.4	挠性及刚挠印制电路板的性能要求	237
11.4.1	挠性印制电路板的试验方法	237
11.4.2	挠性及刚挠印制电路板的尺寸要求	238
11.4.3	挠性及刚挠印制电路板的外观	238
11.4.4	物理性能要求	240
11.5	挠性印制电路板的发展趋势	240
11.5.1	高密度化	241
11.5.2	多层化-刚挠结合化	241
11.5.3	薄型化	242
11.5.4	信号传输高速化	242
11.5.5	覆盖层-精细线路的开窗板制作	243
11.5.6	两面突出结构	243
11.5.7	微凸盘阵列	244
11.6	习题	245
第 12 章	高密度互连积层多层印制电路板工艺	246
12.1	概述	246
12.1.1	积层多层印制电路板的类型	246
12.1.2	高密度趋向	247
12.2	积层多层印制电路板用材料	248
12.3	积层多层印制电路板的关键工艺	250
12.3.1	积层多层印制电路板芯板的制造	250
12.3.2	孔加工	251
12.3.3	绝缘层的粘结	251
12.3.4	电镀和图形制作	251
12.3.5	多层间的连接	252

12.3.6	PCB 的表面处理	252
12.4	积层多层印制电路板盲孔的制造技术	252
12.4.1	盲孔的形成	252
12.4.2	化学蚀刻法	254
12.4.3	工艺过程	254
12.5	积层多层印制电路板工艺的实例分析——导电胶堵法 (ALIVH) 与导电凸块法 (B ² it) 积层多层印制电路板工艺	257
12.5.1	ALIVH 积层多层印制电路板工艺	257
12.5.2	B ² it 积层多层印制电路板工艺	263
12.6	习题	266
第 13 章	集成元件印制电路板	267
13.1	概述	267
13.1.1	埋入无源元件印制电路板的应用	267
13.1.2	埋入无源元件印制电路板的优点和问题	268
13.1.3	集成印制电路板中埋入元件的类型	270
13.2	埋入平面电阻印制电路板	271
13.2.1	埋入平面电阻材料	271
13.2.2	电阻材料的电阻值	271
13.2.3	平面型电阻器的方块电阻	273
13.2.4	平面电阻器的组合	273
13.2.5	埋入平面电阻 PCB 的制造技术	274
13.3	埋入平面电容器印制电路板	277
13.3.1	平面电容器原理	278
13.3.2	电容的设计	278
13.3.3	埋入电容的高频特性	279
13.3.4	埋入平面电容材料	281
13.3.5	埋入平面电容器 PCB 制造技术	282
13.4	埋入平面电感器印制电路板	283
13.5	埋入无源元件印制电路板的可靠性	283
13.6	习题	286
第 14 章	特种印制电路板技术	287
14.1	高频微波印制电路板	287
14.1.1	概述	287
14.1.2	微波多层印制电路板基材性能	288
14.1.3	微波双面印制电路板的制造	292
14.1.4	微波多层印制电路板的制造	297
14.2	金属基印制电路板	299
14.2.1	概述	299
14.2.2	金属基印制电路板的结构	300

14.2.3	单面金属基印制电路板的制造	301
14.2.4	双面铝基印制电路板的制造	303
14.2.5	金属基板热阻的测试	304
14.3	厚铜箔埋/盲孔多层印制电路板	306
14.3.1	厚铜箔埋/盲孔多层印制电路板的定义	306
14.3.2	厚铜箔埋/盲孔多层印制电路板的意义	306
14.3.3	典型的实例	307
14.3.4	厚铜箔埋/盲孔多层印制电路板制造要领	307
14.4	习题	310
第 15 章	印制电路板清洗技术	311
15.1	污染来源及危害	311
15.1.1	印制电路板污染的来源	311
15.1.2	污染物的危害分析	312
15.1.3	污染物对电路性能的危害	313
15.1.4	清洗的必要性	313
15.2	氟碳溶剂清洗	314
15.2.1	氟碳溶剂的特点	314
15.2.2	氟碳溶剂清洗工艺	315
15.2.3	氟碳溶剂的危害	316
15.3	半水清洗	316
15.3.1	半水清洗材料	317
15.3.2	半水清洗工艺	318
15.3.3	半水清洗设备	318
15.3.4	半水清洗的优缺点	321
15.4	水清洗技术和免清洗技术	321
15.4.1	水清洗技术	321
15.4.2	免清洗技术	322
15.5	印制电路板清洗效果的评价	323
15.5.1	定性方法	323
15.5.2	半定量方法	323
15.5.3	定量方法	324
15.6	习题	324
第 16 章	印制电路板生产中的三废控制	325
16.1	印制电路板生产中的三废(废水、废气、固体废料)回收技术	325
16.1.1	印制电路板生产工序中的三废	325
16.1.2	印制电路板生产中的废液回收技术	326
16.2	印制电路板生产中的三废处理技术	328
16.2.1	化学沉淀法的基本含义	328
16.2.2	印制电路板生产中的废水处理工艺及方法	329

16.2.3	废气处理	332
16.2.4	印制电路板废弃物处理	333
16.3	印制电路行业污染预防方案	334
16.4	习题	334
第 17 章	印制电路板质量与标准	336
17.1	标准、标准化与印制电路板	336
17.2	标准的分类	336
17.2.1	按标准化的对象分类	336
17.2.2	按标准的约束力分类	337
17.2.3	按标准的适应领域和有效范围分级	337
17.2.4	按标准的层次结构划分	338
17.3	印制电路板标准	339
17.3.1	我国印制电路板标准	339
17.3.2	国外印制电路板标准	341
17.4	印制电路板的相关标准	344
17.4.1	印制电路板试验方法标准	344
17.4.2	印制电路板设计标准	346
17.4.3	印制电路板原材料标准	347
17.4.4	其他有关标准	348
17.5	印制电路板的质量与合格评定	350
17.5.1	印制电路板与印制电路板质量	350
17.5.2	印制电路板的合格评定	350
17.5.3	印制电路板制造厂的认定与认证	352
17.6	习题	353
第 18 章	无铅化技术与工艺	354
18.1	电子产品实施无铅化的提出	354
18.1.1	电子产品实施无铅化消除对环境的污染	354
18.1.2	欧盟绿色指令的要求	354
18.2	无铅焊料及其特性	355
18.2.1	无铅焊料的基本条件	356
18.2.2	无铅焊料类型与主要特点	358
18.2.3	无铅焊料与有铅焊料的比较	359
18.3	无铅焊料的焊接	360
18.3.1	无铅焊料合金的低共(晶)熔点	361
18.3.2	无铅焊料合金的润湿性能	361
18.3.3	无铅焊料焊接的可靠性	362
18.4	无铅化对电子元器件的要求	367
18.4.1	元器件的耐热性能	367
18.4.2	电子元器(组)件引脚表面涂(镀)层无铅化	367

18.5	无铅化对覆铜箔层压板的基本要求	368
18.5.1	高的热分解温度 (T_d)	369
18.5.2	采用高 T_g 的树脂基材	370
18.5.3	选用低热膨胀系数的覆铜箔层压板材料	370
18.5.4	提高耐 CAF 特性	371
18.6	无铅化对 PCB 基板的主要要求	371
18.6.1	PCB 制板的加工改进	372
18.6.2	改善 PCB 导 (散) 热措施	373
18.6.3	PCB 焊盘表面涂覆 (镀) 层的要求	374
18.7	习题	380
第 19 章	印制电路板技术现状与发展趋势	381
19.1	印制电路板技术发展进程	381
19.2	印制电路工业现状与特点	381
19.2.1	全球 PCB 销售概况	381
19.2.2	全球 PCB 产品市场特点	382
19.3	推动现代印制电路板技术发展的主要因素	383
19.3.1	集成电路高集成度化	383
19.3.2	安装技术的进步	384
19.4	印制电路板制造技术的发展趋势	390
19.4.1	适应高密度化、高频化要求的发展预测	391
19.4.2	满足 IC 封装对基板的特别要求的发展预测	394
19.4.3	满足绿色化要求的发展预测	395
19.4.4	适应于复合安装化方面的发展预测	396
19.4.5	适应于搭载新功能电子元件要求的发展预测	397
19.4.6	适应于低成本化要求的发展预测	398
19.4.7	适应于短交货期要求的发展预测	399
19.5	习题	399
参考文献		401