



Education

国外优秀科技著作出版专项基金资助

电子制造技术

—— 利用无铅、无卤素和导电胶材料

Electronics Manufacturing with Lead-free, Halogen-free & Conductive-Adhesive Materials

[美] 刘汉诚 (John H. Lau)

[美] 汪正平 (C.P. Wong)

[美] 李宁成 (Ning Cheng Lee)

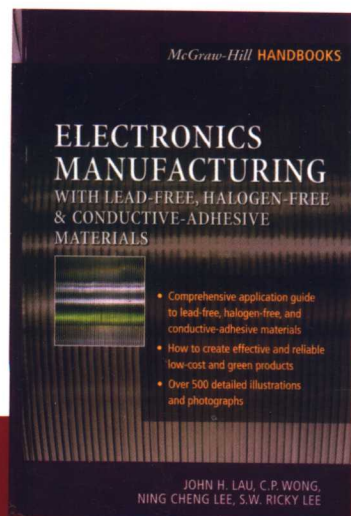
李世玮 (S.W. Ricky Lee)

著

姜岩峰 张常年 译



Chemical Industry Press



化学工业出版社

工业装备与信息工程出版中心



国外优秀科技著作出版专项基金资助

电子制造技术

—— 利用无铅、无卤素和导电胶材料

[美] 刘汉诚 (John H. Lau)
[美] 汪正平 (C.P. Wong)
[美] 李宁成 (Ning Cheng Lee) 著
李世玮 (S.W. Ricky Lee)
姜岩峰 张常年 译



化学工业出版社

工业装备与信息工程出版中心

· 北 京 ·

(京) 新登字 039 号

图书在版编目 (CIP) 数据

电子制造技术: 利用无铅、无卤素和导电胶材料/ [美] 刘汉诚 (Lau J. H.) 等著; 姜岩峰, 张常年译. —北京: 化学工业出版社, 2005

书名原文: Electronics Manufacturing with Lead-free, Halogen-free & Conductive-Adhesive Materials

ISBN 7-5025-7004-7

I. 电… II. ①刘…②姜…③张… III. 电子产品-生产工艺 IV. TN05

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2005) 第 038448 号

Electronics Manufacturing with Lead-free, Halogen-free & Conductive-Adhesive Materials/by John H. Lau, C. P. Wong, Ning Cheng Lee, S. W. Ricky Lee
ISBN 0-07-138624-6

Copyright©2003 by The McGraw-Hill Companies, Inc. 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 Chemical Industry Press and McGraw-Hill Education (Asia) Co.

本书中文简体字版由化学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。

本书封面贴有 McGraw-Hill 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: 01-2004-1421

电子制造技术

——利用无铅、无卤素和导电胶材料

[美] 刘汉诚
[美] 汪正平 著
[美] 李宁成
李世玮

姜岩峰 张常年 译

责任编辑: 刘哲 宋辉

责任校对: 陶燕华

封面设计: 于兵

*

化学工业出版社出版发行

工业装备与信息工程出版中心
(北京市朝阳区惠新里 3 号 邮政编码 100029)

购书咨询: (010) 64982530

(010) 64918013

购书传真: (010) 64982630

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

*

新华书店北京发行所经销

北京云浩印刷有限责任公司印装

开本 720mm×1000mm 1/16 印张 35 1/2 字数 708 千字

2005 年 8 月第 1 版 2005 年 8 月北京第 1 次印刷

ISBN 7-5025-7004-7

定价: 78.00 元

版权所有 违者必究

该书如有缺页、倒页、脱页者, 本社发行部负责退换

译者序

随着信息时代的到来，与人类生活工作密切相关的电子产品层出不穷，这些电子产品在造福人类的同时，也日益危害人类的身体健康和生态环境。例如，显像管和印刷电路板里含铅，玻璃、液晶磁盘驱动器里含汞，半导体、电池、电路板中含镉，废旧电子产品掩埋在土壤中，经渗透会对土壤造成严重污染，甚至渗入地下水危及人体健康。目前，从欧洲到日本、美国，都已先后把治理“电子垃圾”作为当务之急。发达国家纷纷制定适合自己的环保政策，对其进口的电子产品实行环保限制，如欧盟于2003年在第L37期《官方公报》上公布了欧洲议会和欧盟部长理事会共同批准的《废弃电子电气设备指令》和《关于在电子电气设备中禁止使用某些有害物质指令》，以降低电子设备所含有害物质对环境的影响。

我国也已经认识到了电子产品对环境的污染，即将出台的《电子信息产品生产污染防治管理办法》中已规定：“电子信息产品制造者应当保证，自2003年7月1日起实行有毒有害物质的减量化生产措施；自2006年7月1日起投放市场的国家重点监管目录内的电子信息产品不能含有铅、汞、镉、六价铬、聚合溴化联苯（PBB）或者聚合溴化联苯乙醚（PBDE）等。”

本书详细讲述了无铅、无卤素和导电胶技术以及它们应用于低成本、高密度、高可靠性和环保等方面的潜力，涵盖了电子和光电子封装及内连接领域的设计、材料、工艺、设备、制造、可靠性、元件、封装及系统工程、技术及市场管理等，读者将会从中实际地理解无铅、无卤素和导电胶中成本、设计、材料、工艺、设备、制造和可靠性等方面的问题。

本书适用于电子制造业和封装业中希望掌握无铅、无卤素和导电胶技术解决方案的技术人员阅读，也适合于需要低成本设计并对环境保护有着积极作用的设计工作人员阅读。毫无疑问，本书对于我国加速环保电子进程，提高国内相关管理人员和技术人员环保电子方面的水平是非常有帮助的。

由于译者水平有限，书中错误在所难免，另外，有部分环保电子中的专用名词，由于国内目前接触有限，虽然翻译时尽量仔细推敲，但不可避免会出现词不达意之处，还请读者多加指正。

译者

2005年3月于北方工业大学

前言

我们为什么要写这本书？是因为感到恐惧吗？还是因为我们对立法、贸易壁垒和相互竞争感到恐惧？这些绝对不是原因。我们是为我们自己、为我们的孩子、为孩子的孩子在写这本书，为了我们能够居住在更加绿色的环境中而写这本书。

这类书可以写得内容非常庞大，并且可以有许多不同的观点，如政治方面的、经济的、文化的和基础设施方面的。然而，这本书的重点放在了基本原理、工程数据和制造工艺上。这本书中有四个主要的方面：集成电路（IC）封装（第1章～第7章）、印刷电路板（PCB）/衬底（第8章～第10章）、装配有集成电路的PCB/衬底的封装（第11章～第16章）、新型的导电胶（黏合剂）（第17章～第20章）。

第1章简要讨论了无公害制造技术全球发展的趋势，重点介绍了无公害电子制造技术。第2章讨论了用无铅焊料进行芯片级内连。其中，重点讨论了凸点下金属化（UBMs）、微球圆片凸点和黏合印刷方法。第3章检验了在有机和陶瓷衬底上进行圆片级芯片尺寸封装时（WLCSPs）应用无铅焊料的可靠性。

第4章讨论了无焊料凸点实现芯片（或圆片）级的互连方面的问题，其中无焊料的凸点材料包括镍-金、金、铜、铜线、金线、金钮栓、铜钮栓等。而第5章则主要讲述了应用这些无焊料材料在PCB/衬底上实现圆片级芯片尺寸封装（WLCSPs）的设计、采用的材料、工艺过程和可靠性等方面。

第6章主要讲述了在塑料方形扁平封装（PQFP）、塑料焊球阵列封装（PBGA）和铸模阵列（MAP-PBGA）封装中用到的不含卤素的铸模化合物。在第7章中针对PQFP和PBGA封装中的无公害衬底贴装薄膜和IC封装中的无铅衬底贴装键合工艺技术进行了介绍。

第8章中考虑了常规PCBs/衬底在环保方面的问题，将电子产品的影响和相关环境方面的研究工作作了综述，并强调了在环保材料作为替换材料方面国际上的推动力。在第9章，对卤化和不含卤素的材料进行了评价，同时介绍了一些环保的阻燃材料。在制造环保PCB板方面出现的新技术包含在第10章中，本章重点放在了环保型设计、绿色PCB板的制造和环境安全等方面。

第11章综述了在推广无铅焊料行动中的国际趋势，包括立法方面、财团工作安排以及不同地区对各种无铅焊料不同的喜好等。第12章讨论了无铅焊

料的标准,在发展和推广无铅焊料时采取的措施,工业界推广应用的一系列合金及其性质。

第13章详细比较了几种已经得到较广泛应用的无铅焊料的物理、机械、焊接和可靠性方面的特性。第14章总结了对于PCB板及其元件无铅表面处理的问题,对于每一种表面处理的生产过程和性能都进行了讨论。

在第15章中对无铅焊接的实现方法进行了分析,重点放在了回流过程本身的需要。既然无铅焊接是必然的发展趋势,则首先必须要阐明发展它的难点,这些内容安排在第16章中。第17章综述了导电胶技术及其基本知识。第18章阐述了各向同性导电胶的导电机理,重点放在了润滑剂和导电胶(ECAs)电导率之间的关系以及翘曲收缩和电导率的关系等方面。第19章讨论了导电胶(ECAs)接触电阻漂移的机理。导电胶接触电阻的稳定性方面放在了第20章,重点研究了电解和湿度吸收等对接触电阻漂移的影响以及应用不同粘连剂来保证接触电阻稳定性的措施等。

这本书适合哪些人读呢?毫无疑问,这本书适合以下三类专家:(1)用无铅、无卤素和导电胶等材料在光电制造领域进行研究工作的专家;(2)适用于那些在无铅、无卤素和导电胶等方面遇到实际问题,希望能够理解并学习到更多解决那些问题的方法的人员;(3)适合于那些为他们的绿色产品选择一个可靠的、有创意、好性能、坚实和节俭的封装技术的人员。同时,这本书也可以作为本科生和研究生的教学参考书,这批读者有很大的潜力,有可能在未来成为光电工业方面的科学家、工程师。

随着人们对无铅、无卤素和导电胶材料越来越感兴趣,所遇到的问题越来越多,我们希望这本书能够在这些方面起一定的作用。另外,我们还希望这本书能够激发电光产品无铅、无卤素和导电胶材料在以下各方面更进一步的研究和发展:(1)在环保、电子和热特性设计方面;(2)材料方面;(3)工艺过程;(4)制造技术;(5)电子、热特性和产品的终身管理;(6)测试方面;(7)可靠性方面等。

有些单位正在学习如何在他们的互连系统中使用无铅、无卤素和导电胶技术,他们有着很大的潜力推动光电产业的发展,并且同时在成本、性能、密度、质量、尺寸、重量和市场份额等方面获得相当的利益。我们希望在本书中所提供的知识能够帮助这些单位在无铅、无卤素和导电胶技术等方面克服技术困难,避免不必要的错误,加速设计和材料以及制造工艺的发展。对于这些技术,这是令人兴奋的时刻。

John H. Lau, PhD, PE, ASME Fellow, IEEE Fellow Palo Alto, CA
C. P. Wong, PhD, NAE, IEEE Fellow, AIC Fellow Duluth, Georgia
Ning Cheng Lee, PhD New Hartford, NY
S. W. Ricky Lee 香港九龙

致 谢

在这本书的准备过程中，得到了 McGraw-Hill 和 North Market Street Graphics 很多人的帮助。这里对他们全体表示感谢，特别感谢 North Market Street Graphics 的 Stephanie Landis 和 McGraw-Hill 的 Thomas Kowalczyk 和 Jessica Hornick，感谢他们始终不懈的支持和拥护。特别感谢光电工程的责任编辑 Steve Chapman，在准备这本书的过程中，得到了他有力的支持，帮助解决了很多问题，使我们把这本书从梦想变成了现实。跟这些人在一起工作，把我们杂乱的手稿变成了非常具有吸引力的印刷图书，对我们来说是非常愉快和有收获的经历。本书中的素材来自于很多方面，包括来自于个人、公司或一些研究机构，我们尽力在本书相应章节处致谢。但是对我们来说，不可能对所有对本书有帮助的人都表示出感谢，在这里，对他们致以真诚的谢意。

另外，我们希望感谢几个专业的社团和出版机构，因为他们允许我们在本书中使用一些图表和资料。例如，美国机械工程协会（ASME）会议论文集（如国际协会电子封装会议）和一些学报 [如电子封装学报（Journal of Electrical Package）]，电子电气工程师协会（IEEE）会议论文集（如电子元件和技术会议）和期刊 [如先进封装和制造技术（Advanced Packaging and Manufacturing Technology）]，国际微电子和封装协会（IMAPS）会议论文集 [如微电子国际讨论会（International Symposium on Microelectronics）] 和期刊 [如微电路和电子封装国际期刊（International Journal of Microcircuits and Electronic Packaging）]，表面安装技术协会（SMTA）会议论文集 [如表面安装国际会议和展览会（Surface Mount International Conference and Exposition）] 和期刊 [如表面安装技术期刊（Journal of Surface Mount Technology）]，IBM 研究和发展杂志（IBM Journal of Research and Development），电子封装和产品（Electronic Packaging and Production），先进封装（Advanced Packaging），电路装配（Circuits Assembly），表面安装技术（Surface Mount Technology），连接技术（Connection Technology），固态技术（Solid State Technology），电路世界（Circuit World），国际微电子学（Microelectronics International），焊接和表面安装技术（Soldering and Surface Mount Technology）。

John H. Lau 想对他以前所在的公司, Hewlett-Packard Company and Express Packaging Systems, 表示感谢, 感谢该公司提供给他一个非常好的工作环境, 该公司养育了他, 提供给他一个满意的工作, 使他有了比较响亮的专业名声。他还想对 Steve Erasmus 和 Ted Lancaster 表示感谢, 感谢在安捷伦公司 (Agilent Technologies) 他们对他工作的信任、尊重和支持。另外, 他想对 Hewlett-Packard Company and Express Packaging Systems、安捷伦公司 (Agilent Technologies) 和整个电子和光电子产业内同事们的帮助、支持以及启发性的讨论表示感谢, 他从他们那里学到了很多关于生活、封装和互连技术方面的知识。

另外, John H. Lau 感谢他的女儿 Judy 和他的妻子 Teresa, 感谢她们给予他的爱, 给予他的耐心, 让他能够为了这本书而牺牲了很多个周末。她们坚信他的工作对于电子和光电子产业起着小小的贡献, 这个信念对他的工作是一个坚强的动力。他的女儿 Judy 这个秋天就要去普林斯顿 (Princeton) 进行物理学研究生阶段的学习, 他和他的妻子 Teresa 身体健康, 为此, 他感谢上帝仁慈的保佑。

C. P. Wong 想对他以前在 AT&T 贝尔实验室 (AT&T Bell Labs) 和 Georgia Tech 的同事表示感谢, 他要特别感谢他目前在 Georgia Institute of Technology 封装研究中心的同事和好朋友 Rao Tummala, 感谢他们所有人的支持, 特别感谢他以前的博士研究生 D. Lu, 感谢他在导电胶方面杰出的工作。

C. P. Wong 还想感谢他的妻子 Lorraine 和他的孩子 Michelle 和 David, 感谢这些年他在贝尔和 GIT 时他们的支持和理解。

Ning Cheng Lee 想感谢美国 Indium 公司 (Indium Corporation of America), 感谢该公司提供的工作环境, 感谢公司的同事, 在他在永无止境的探索中给予的支持和鼓励。

Ning Cheng Lee 感谢他母亲 Shu-Shuen Chang 的支持和佑护, 感谢他妻子 Shen-ch Wen 的支持和耐心, 尤其对他毫无规律的工作时间的容忍。他还感谢他的姐姐 Yu-Hsuan 无私奉献的爱, 她承担起照顾年迈母亲的责任, 使他可以专注于他的工作中。

S. W. Ricky Lee 想对他在香港科技大学的同事和亚太地区的专业合作伙伴表示感谢, 如果没有他们已经建立了一个基本的电子封装环境, 他也许不能在这个学科开展工作。特别感谢香港工业部和科研基金委员会对他在电子封装方面的经济支持。

S. W. Ricky Lee 同时感谢他的家人。在这本书的写作过程中, 他平均每天只有四个小时的睡眠时间, 如果没有他的家人的精神支持, 很难想像他能够坚持下来。

内 容 提 要

电子产品对环境的污染日益受到人们的关注，我国也即将出台《电子信息产品生产污染防治管理办法》，规定自 2006 年 7 月 1 日起投放市场的国家重点监管目录内的电子信息产品不能含有铅、汞、镉等有害物质。为加速环保电子进程，提高国内相关管理人员和技术人员环保意识，化学工业出版社特引进该领域的权威书《电子制造技术——利用无铅、无卤素和导电胶材料》。

本书详细讲述了无铅、无卤素和导电胶技术以及它们应用于低成本、高密度、高可靠性和环保等方面的潜力，涵盖了电子和光电子封装及内连接领域的设计、材料、工艺、设备、制造、可靠性、元件、封装及系统工程、技术及市场管理等方面的内容。

本书适用于电子制造业和封装业中希望掌握无铅、无卤素和导电胶技术解决方案的技术人员阅读，也适合于需要低成本设计并对环境保护有着积极作用的设计工作人员阅读。

目 录

第 1 章 无公害电子制造技术简介	1
1.1 工业发展趋势	1
1.1.1 汽车工业	1
1.1.2 电子工业	2
1.2 全球无公害制造技术的发展趋势	3
1.2.1 政府行为	3
1.2.2 工业行为	3
1.2.3 研究发展行为	4
1.2.4 教育行为	4
1.2.5 全球在无公害电子制造技术方面的努力	5
1.3 无公害电子制造技术的发展趋势	6
1.3.1 集成电路制造	8
1.3.2 集成电路封装	9
1.3.3 印刷电路板	9
1.3.4 无铅焊料	10
1.3.5 不含卤素的阻燃剂	11
1.3.6 导电胶	12
1.3.7 终身管理制	12
致谢	13
参考文献	13
第 2 章 应用无铅焊料实现芯片（或晶片）级的互连	21
2.1 简介	21
2.2 凸点下金属化	21
2.2.1 不带电镀的镍-磷浸金凸点	22
2.2.2 铝-镍钎-铜凸点	24
2.3 应用无铅焊料的微球圆片凸点	25
2.3.1 微球晶片凸点概述	25
2.3.2 微球的制备	26
2.3.3 微球的控制	28

2.3.4 微球圆片凸点	28
2.4 置于圆片上的锡-银-铜焊料球	31
2.4.1 晶片级芯片尺寸封装 (WLCSP)	31
2.4.2 带有应力缓释层的圆片级芯片尺寸封装	32
2.5 在带有 Ni-Au 金属凸点硅片上掩膜印刷 Sn-Ag 焊料	34
2.5.1 在不电解镍与焊料间的界面态	34
2.5.2 金属互化物 (IMC) 和富磷镍层的生长	36
2.5.3 凸点切向断裂面	38
2.6 镍-金作为凸点下金属层的硅片上应用锡-铜、锡-银-铋、锡-银-铜等 焊料的掩膜印刷	40
2.6.1 回流化焊料凸点间的界面	40
2.6.2 合金化焊料凸点间的界面	42
2.6.3 焊料凸点的剪切力	43
2.7 在带有钎-铜金属化层的硅片上掩膜印刷锡-铜、锡-银-铋、锡-银-铜 焊料	44
2.7.1 回流后焊料凸点间的界面	44
2.7.2 合金化焊料凸点间的界面	45
2.8 在带有铝-镍钎-铜凸点下金属层的硅片上焊料的掩膜印刷	46
致谢	47
参考文献	47

第3章 在印刷电路板/衬底上用无铅焊料实现圆片级芯片尺寸 封装 (WLCSP)

3.1 简介	51
3.2 应用应力缓释层实现锡银铜圆片级芯片尺寸封装时焊料连接的可靠性	51
3.2.1 有限元分析结果	51
3.2.2 热循环分析结果	52
3.2.3 应力缓释层对电容的影响	55
3.3 应用 TiCu 和 NiAu 凸点下金属化层实现 SnAg、SnAgCu 的 WLCSP 封装时焊料连接的可靠性	57
3.3.1 等温条件下疲劳试验结果	57
3.3.2 热循环疲劳试验结果	59
3.4 应用铝镍钎铜 UBM 实现 WLCSP 封装时锡银、锡银铜、锡银铜 铋、锡银铋铜等焊料连接的可靠性	62
3.4.1 在陶瓷衬底实现锡银、锡银铜、锡银铜铋、锡银铋铜 WLCSP 封装的热疲劳试验结果	63
3.4.2 在印刷电路板上实现 SnAgCu 的 WLCSP 封装的热疲劳试验 结果	63

3.4.3 在印刷电路板上实现 SnAgCu 的 WLCSP 封装的高温储存·····	64
3.4.4 在印刷电路板上 SnAgCu 的 WLCSP 封装的剪切力·····	64
致谢·····	67
参考文献·····	67
第 4 章 无焊料凸点实现芯片（或圆片）级的互连 ·····	74
4.1 简介·····	74
4.2 适于使用无电镀镍-金、电镀金和电镀铜凸点的硅片·····	74
4.3 不带电的镍-磷浸金凸点·····	75
4.3.1 材料和工艺流程·····	75
4.3.2 钝化层断裂·····	78
4.4 电镀金凸点·····	78
4.4.1 材料和工艺流程·····	78
4.4.2 凸点的规格和测量方法·····	79
4.5 电镀铜凸点·····	79
4.5.1 材料和工艺流程·····	79
4.5.2 需特别注意的方面·····	79
4.6 电镀铜连线·····	80
4.6.1 结构·····	80
4.6.2 材料制备及工艺流程·····	80
4.7 连线压焊的微弹簧·····	81
4.7.1 材料及其制备过程·····	81
4.7.2 需特殊考虑的方面·····	81
4.8 连线压焊的金钮栓凸点·····	82
4.8.1 材料及其制备过程·····	82
4.8.2 设备·····	83
4.9 连线压焊的铜钮栓凸点·····	88
4.9.1 材料及其制备过程·····	88
4.9.2 剪切力·····	89
致谢·····	90
参考文献·····	91
第 5 章 在印刷电路板/衬底上应用无焊料凸点的圆片级芯片尺寸封装（WLCSP） ·····	92
5.1 简介·····	92
5.2 带有各向异性导电薄膜的印刷电路板上应用金、铜、镍-金凸点的 WLCSP 封装的设计、材料、工艺过程和可靠性·····	92
5.2.1 印刷电路板（PCB）·····	93
5.2.2 各向异性导电薄膜（ACF）·····	93

5.2.3	采用各向异性导电薄膜 (ACF) 的板上倒装片装配 (FCOB)	94
5.2.4	采用各向异性导电薄膜 (ACF) 的板上倒装片装配系统 (FCOB) 的温度循环测试	97
5.2.5	采用各向异性导电薄膜 (ACF) 的板上倒装片装配系统 (FCOB) 表面绝缘电阻 (SIR) 的测试	97
5.2.6	小结	98
5.3	在衬底上使用焊料或黏结剂的铜连线圆片级芯片尺寸封装 (WLCSP)	99
5.4	在 PCB 板/衬底上使用焊料或黏结剂的微弹簧 WLCSP	99
5.5	在带有茛并羧酸 (ICA) 印刷电路板金钮栓凸点 WLCSP	100
5.5.1	材料及其制备流程	101
5.5.2	适用于 SBB 技术的设备	101
5.6	在翘曲基板上使用茛并羧酸 (ICA) 的金钮栓凸点圆片级芯片尺寸 封装 (WLCSP)	103
5.6.1	材料及其制备过程	104
5.6.2	量化测试和结果	107
5.7	在 PCB 板上使用 ACP/ACF 进行金钮栓凸点 WLCSP 封装	107
5.7.1	带有不导电填料的 ACF/ACP	107
5.7.2	DSC 测试结果	108
5.7.3	DMA 测试结果	109
5.7.4	TMA 测试结果	109
5.7.5	TGA 测试结果	111
5.7.6	85℃/85%相对湿度测试及结果	111
5.7.7	热循环测试及结果	112
5.8	被扩散到带 NCA 的金焊盘 PCB 板金钮栓凸点 WLCSP 封装	112
5.8.1	材料及其制备过程	113
5.8.2	可靠性	114
5.9	使用 NCA 在焊盘镀金柔性衬底上进行金钮栓凸点 WLCSP 封装	115
5.9.1	材料及其制备过程	115
5.9.2	可靠性	118
5.10	在 PCB 板上使用无铅焊料的铜钮栓凸点 WLCSP 封装	119
5.10.1	材料及其制备过程	119
5.10.2	可靠性	120
	致谢	121
	参考文献	122
第 6 章	适用于集成电路封装的无公害铸模化合物	125
6.1	简介	125

6.2 适于塑料方形扁平封装 (PQFP) 的无公害铸模化合物	126
6.2.1 阻燃系统——添加型阻燃剂	126
6.2.2 耐火系统——新型树脂系统	127
6.2.3 回流温度的升高对铸模化合物的影响	128
6.2.4 配合无铅焊接的不含卤素的铸模化合物	132
6.3 适于塑封焊球阵列封装 (PBGA) 的无公害铸模化合物	135
6.3.1 不含卤素的阻燃剂机制	135
6.3.2 由于 T_g 值的离差引起的 PBGA 封装翘曲	137
6.3.3 由于应力吸收机制引起 PBGA 封装的翘曲	140
6.4 适于制造自动化的 PBGA 封装的无公害铸模化合物	141
6.4.1 不含卤素的阻燃树脂	142
6.4.2 样品的制备	143
6.4.3 T_g 、收缩、黏性等对封装共面的影响	144
6.4.4 湿度灵敏度的测试	145
致谢	147
参考文献	147
第7章 集成电路封装中无公害衬底贴装薄膜	149
7.1 简介	149
7.2 无公害衬底贴装薄膜	149
7.2.1 铅模 PQFP 封装中使用的充银薄膜 DF-335-7	149
7.2.2 BT 衬底 PBGA 封装和芯片尺寸封装 (CSP) 使用的绝缘膜 DF-400	152
7.3 无公害铟-锡衬底贴装键合工艺	155
7.3.1 铟-锡相图	156
7.3.2 铟-锡焊料连接的设计和工艺流程	157
7.3.3 铟-锡 (In-Sn) 焊料结点的特性	158
致谢	160
参考文献	160
第8章 常规 PCB 板在环保方面的问题	162
8.1 简介	162
8.2 电子产品对环境的影响	163
8.2.1 环保方面需要主要考虑的问题	164
8.2.2 能源问题	166
8.2.3 化学问题	167
8.2.4 废弃物和可循环使用物	174
8.2.5 无公害电子产品的设计	175
8.3 针对印刷电路板行业环保方面的研究和探索	177

8.3.1 减小能源和溶剂的使用量	178
8.3.2 在印刷电路板中可更新的树脂	179
8.3.3 拆卸时可重复使用的密封剂	180
8.4 无卤素替代物方面研究的源动力	181
8.4.1 背景和难点	182
8.4.2 源动力	182
8.4.3 可供选择的材料	183
8.4.4 设计的测量和性能	183
参考文献	184
第9章 起阻燃作用的含卤素和不含卤素的材料	186
9.1 简介	186
9.2 溴化阻燃剂	187
9.2.1 产品方面	187
9.2.2 分类	188
9.2.3 风险评估	190
9.3 无卤素阻燃剂毒物学方面的研究	192
9.3.1 基础知识	192
9.3.2 脱氮作用	194
9.3.3 生物测定流程	194
9.4 阻燃塑料在环保方面的作用	196
9.4.1 阻燃聚碳酸酯	196
9.4.2 自熄灭的环氧树脂化合物	199
参考文献	201
第10章 环保型印刷电路板的制造	203
10.1 简介	203
10.2 PCB板的环保型设计	203
10.2.1 流程模拟	203
10.2.2 健康指数评估	205
10.2.3 电路板的优化设计	207
10.2.4 寿命周期分析 (LCA)	209
10.3 绿色印刷电路板的生产	210
10.3.1 基本流程	211
10.3.2 工艺流程的调整	211
10.3.3 环境方面的影响	214
10.4 环保的保形涂料	215
10.4.1 基础知识	215
10.4.2 涂料的选择	216

10.4.3	加工方法	216
10.4.4	分配方法	217
10.4.5	工艺流程问题	219
参考文献		220

第 11 章 无铅焊料方面国际研究状况 221

11.1	简介	221
11.2	较早时期无铅焊料的研究状况	222
11.3	近期无铅焊料的研究状况	222
11.4	日本在这方面若干措施产生的影响	225
11.5	美国在这些方面的反应	225
11.6	什么叫无铅连接?	227
11.7	无铅焊料的关键问题	228
11.8	目前可用的无铅焊料	228
11.8.1	锡 96.5/银 3.5 (Sn96.5/Ag3.5)	228
11.8.2	锡 99.3/铜 0.7 (Sn99.3/Cu0.7)	228
11.8.3	锡银铜 (SnAgCu)	228
11.8.4	锡银铜+其他 (SnAgCuX)	229
11.8.5	锡银铋+其他 (SnAgBiX)	229
11.8.6	锡铋 (SnSb)	230
11.8.7	锡锌+其他 (SnZnX)	230
11.8.8	锡铋 (SnBi)	230
11.9	成本方面的考虑	231
11.10	印刷电路板的终端处理	231
11.11	元器件	231
11.12	热破坏实验	232
11.13	其他需要考虑的问题	232
11.14	协会活动	233
11.15	协会的观点	233
11.16	先行者的选择是什么呢?	233
11.17	可能的解决方法	234
11.18	无铅的材料安全吗?	235
11.19	小结	235
11.20	相关信息来源	235
11.20.1	相关法律的制定	235
11.20.2	参与此项工作的独立的公司和电子工业机构	236
11.20.3	目前被考虑的合金	237
参考文献		237

第 12 章 无铅焊料合金的发展	238
12.1 相关标准	238
12.2 毒性	239
12.3 成本和可利用性	241
12.4 无铅合金的发展状况	241
12.4.1 目前正在使用的合金	241
12.4.2 合金的调整和发展	241
12.5 无铅合金的研究状况	248
12.6 不同国家对各种无铅合金使用的倾向性	264
12.6.1 日本的情况	264
12.6.2 欧洲的情况	266
12.6.3 北美洲的情况	266
12.6.4 区域性选择情况的对比	266
12.7 有关专利方面的情况	267
12.8 结论	268
参考文献	268
第 13 章 主要的无铅合金	273
13.1 共熔锡-银合金 (Sn-Ag)	273
13.1.1 物理特性	273
13.1.2 力学性能	274
13.1.3 浸润特性	278
13.1.4 可靠性	281
13.2 共熔锡-铜合金 (Sn-Cu)	286
13.2.1 物理特性	286
13.2.2 机械特性	287
13.2.3 浸润特性	287
13.2.4 可靠性	288
13.3 锡-银-铋合金 (Sn-Ag-Bi) 和锡-银-铋-铟合金 (Sn-Ag-Bi-In)	292
13.3.1 物理和机械特性	292
13.3.2 浸润特性	295
13.3.3 可靠性	296
13.4 锡-银-铜合金 (Sn-Ag-Cu) 和锡-银-铜+其他 (Sn-Ag-Cu-X)	299
13.4.1 物理特性	299
13.4.2 机械特性	302
13.4.3 浸润特性	308
13.4.4 可靠性	312
13.5 锡-锌合金 (Sn-Zn) 和锡-锌-铋合金 (Sn-Zn-Bi)	321