

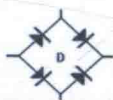
现代电子制造
系列丛书



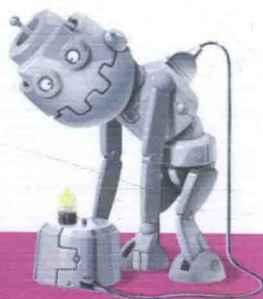
现代电子装联 焊接技术 基础及其应用

◎ 樊融融 编著

Modern
Electronics



Manufacturing



中国工信出版集团



电子工业出版社
PUBLISHING HOUSE OF ELECTRONICS INDUSTRY
<http://www.phei.com.cn>

现代电子制造系列丛书

现代电子装联焊接 技术基础及其应用

樊融融 编著



电子工业出版社

Publishing House of Electronics Industry

北京·BEIJING

内 容 简 介

现在电子制造的核心是工艺技术，而影响现代电子产品质量的关键环节，是电子产品互连工艺中的焊接技术。在通信终端产品生产和服役过程中，发生的缺陷和故障几乎 90%都是源自焊接工序。由于各种小型化和微型化微电子学器件的大量应用，特别是高密度安装和微焊接技术在工业生产中应用越来越普遍的态势下，焊接工艺越来越精细，新的焊材层出不穷，新的缺陷和失效模式及机理不断刷新，这一切均给我们的工程师们带来了新的挑战。广大从事电子装联焊接技术的工程师们正面临着知识更新的新形势。本书本着理论和实践相结合的原则，让我们的工程师们在产品生产中面临问题时，不仅知道怎样去处理，还懂得为什么要这样处理。这些都是从事电子制造技术研究的工艺工程师、质量工程师、生产管理工程师们所应了解和掌握的。

本书既可作为中兴通讯电子制造职业学院工程师研修班的教学用书，也可作为相关企业员工的专业技能培训教材，还可作为高等院校相关专业师生的教材或者教学参考书。

未经许可，不得以任何方式复制或抄袭本书之部分或全部内容。
版权所有，侵权必究。

图书在版编目(CIP)数据

现代电子装联焊接技术基础及其应用 / 樊融融编著. —北京：电子工业出版社，2015.12
(现代电子制造系列丛书)

ISBN 978-7-121-27754-2

I. ①现… II. ①樊… III. ①电子装联—焊接工艺 IV. ①TN305.93②TG44

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2015)第 294995 号

策划编辑：宋 梅

责任编辑：韩奇梳

印 刷：北京中新伟业印刷有限公司

装 订：三河市皇庄路通装订厂

出版发行：电子工业出版社

北京市海淀区万寿路 173 信箱 邮编 100036

开 本：787×1 092 1/16 印张：26 字数：666 千字

版 次：2015 年 12 月第 1 版

印 次：2015 年 12 月第 1 次印刷

印 数：3 000 册 定价：79.00 元

凡所购买电子工业出版社图书有缺损问题，请向购买书店调换。若书店售缺，请与本社发行部联系，联系及邮购电话：(010) 88254888。

质量投诉请发邮件至 zltz@phei.com.cn，盗版侵权举报请发邮件至 dbqq@phei.com.cn。

服务热线：(010) 88258888。

仅将下述出版物

- | | | | |
|-------------------------|---------|----|----------|
| ● 现代电子装联无铅焊接技术 | 电子工业出版社 | 北京 | 2008年10月 |
| ● 现代电子装联波峰焊接技术基础 | 电子工业出版社 | 北京 | 2009年04月 |
| ● 现代电子装联再流焊接技术 | 电子工业出版社 | 北京 | 2009年09月 |
| ● 现代电子装联工艺过程控制 | 电子工业出版社 | 北京 | 2010年07月 |
| ● 现代电子装联工艺可靠性 | 电子工业出版社 | 北京 | 2012年04月 |
| ● 现代电子装联工艺缺陷及典型故障 100 例 | 电子工业出版社 | 北京 | 2012年08月 |
| ● 现代电子装联工程应用 1100 问 | 电子工业出版社 | 北京 | 2013年10月 |
| ● 现代电子装联工艺装备概论 | 电子工业出版社 | 北京 | 2015年07月 |
| ● 现代电子装联工艺规范及标准体系 | 电子工业出版社 | 北京 | 2015年07月 |
| ● 现代电子装联高密度安装及微焊接技术 | 电子工业出版社 | 北京 | 2015年10月 |
| ● 现代电子装联焊接技术基础及其应用 | 电子工业出版社 | 北京 | 2015年12月 |

奉献给

中兴通讯公司

及

祖国的电子制造业

总 序

当前,各种技术的日新月异及这个时代的各种应用和需求迅速地推动着现代电子制造技术的革命。各门学科,如物理学、化学、电子学、行为科学、生物学等的深度融合,提供了现代电子制造技术广阔的发展空间,特别是移动互联网技术的不断升级换代、工业4.0技术推动着现代电子技术的高速发展。同时,现代电子制造技术将会在机遇和挑战中不断变革。比如,人们对环保、生态的需求,随着中国人口老龄化不断加剧,操作工人的短缺和生产的自动化,以及企业对生产效率提高的驱动,将会给现代电子制造技术带来深刻变革。不同的时代特征、运行环境和实现条件,使现代电子制造的发展也必须建立在一个崭新的起点上。这就意味着,在这样一个深刻的、深远的转折时期,电子制造业生态和电子生产制造体系的变革,为增强制造业竞争力提供了难得的机遇。

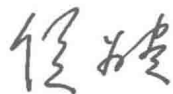
对于中国这个全球电子产品的生产大国,电子制造技术无疑是非常重要的。而中兴通讯作为中国最大的通信设备上市公司,30年来,其产品经历了从跟随、领先到超越的发展历程,市场经历了从国内起步扩展到国外的发展历程,目前已成为全球领先的通信产品和服务供应商,可以说是中国电子通信产品高速发展的缩影。在中兴通讯成功的因素中,技术创新是制胜法宝,而电子制造技术也是中兴通讯的核心竞争力。

无论是“中国智造”,还是“中国创造”,归根到底都依赖懂技术、肯实干的人才。中兴通讯要不断夯实自身生产制造雄厚的技术优势和特长,以更好地推动和支撑中兴通讯产品创新和技术创新。为此,2013年中兴通讯组建了电子制造职业学院,帮助工程师进修学习新知识和新技术,不断提升工程师的技术能力。为提升学习和培训效果,我们下功夫编写供工程师进修学习的精品教材。为此,公司组织了以樊融融教授为首的教材编写小组,这个小组集中了中兴通讯既有丰富理论又有实践经验的资深专家队伍,这批专家也可以说是业界级的工程师,这无疑保证了这套教材的水准。

《现代电子制造系列丛书》共分三个系列,分别用于高级班、中级班、初级班。高级班教材有4本,中级班教材有6本,初级班教材有2本。本套丛书基本上覆盖了现代电子制造所有方面的理论、知识、实际问题及其答案,体现了教材的系统性、全面性、实用性,不仅在理论和实际操作上有一定的深度,更在新技术、新应用和新趋势方面有许多突破。

本套丛书的内容也可以说是中兴通讯的核心技术,现在与电子工业出版社联合将此丛书公开出版发行,向社会和业界传播电子制造新技术,使现在和未来从事电子制造技术研究的工程师受益,将造福于中国电子制造整个行业,对推动中国制造提升能力有深远的影响,这无疑体现了“中兴通讯,中国兴旺”的公司愿景和一贯的社会责任。

中兴通讯股份有限公司董事长



前 言

随着“现代电子装联焊接技术基础及其应用”的完稿，积聚在笔者人生中的最后一个梦想，在耗费了近十年的时光和心血，终于如愿以偿地实现了。在面对我所热爱的祖国和中兴通讯公司时，终于可以说“我圆梦了，终生无憾了”。

2002年笔者从曾奋斗了40余年的军工系统退休，来到了中兴通讯这个改革开放的前哨阵地后，从中亲身感受了改革开放后，我国的民族工业精英们是如何绘制着我国民族工业的发展宏图，他们是如何开创了我国民族工业发展的新历史。2004年中兴公司最高层领导（侯为贵董事长和邱未召执行副总裁）两次指派笔者率工艺技术考察团，赴日本对几家知名的现代电子制造公司进行考察和交流，广泛与对方的技术专家们进行了专题研讨，并深入到电子制造生产现场，面对面地与操作员工们进行交流。对于全程考察中的目睹耳闻，我一直有一个难解的疑结，凭心而言，他们的生产设备在某些方面还不如我们的先进，工作场地的宽松度更不如我们，为什么他们能以最小的人力资源获得最高的生产效率及最高的产品质量（不良率 $\leq 5\text{ppm}$ ）呢？我一项一项地进行对比研究，也广泛研读了21世纪以来日本在电子制造技术方面的最新出版物，最后归结为四个字“技不如人”。

产品制造技术的核心是产品的工艺技术，多年来我国一直流行着“先进的设计，落后的工艺”的说法。这确实反映了我国的电子产品生产中所存在的问题。这也正是横在我国由电子制造大国奔向电子制造强国的征途上必须要攻克的瓶颈。尽快提升从事电子制造人才的智能和技能水平，更好地改善他们智能知识的沉淀和技能经验的积累。让我们从事电子制造的工程师们，在面对电子产品制造中的问题时，不仅知道怎样去处理，而且还懂得为什么要这样处理。这是作者近十年来持之以恒追求的目标，尽管作者能力非常有限，但只要尽心去做，也算对公司和国家尽责了。

圆梦过程是漫长和艰辛的，但这一过程却始终得到了公司创始人侯为贵董事长的重视，在公司总裁史立荣先生的关怀下，执行副总裁邱未召先生的直接领导下，公司高级顾问马庆魁先生的帮助下，当我写完人生中这最后一部书稿的最后一个字时，我回首了十年圆梦历程中最使我不能忘怀和令我激动的三件事。

① 中兴公司最高领导层在科技上的高瞻远瞩。他们营造了“尊重科学、尊敬人才”的公司文化，在这种浓厚的文化背景下，笔者终于圆了十年的梦，成了公司文化的最大受益者。

② 中兴公司高层领导的高度社会责任感令人肃然起敬，他们不是仅考虑公司自身的发展，同时还不忘记对国家和社会进步的贡献。工艺技术是一项理论和实践高度结合的应用性学科，在工艺研究和实践中必然会形成大量的工艺“诀窍”，这些“诀窍”很多是“一点就明，一捅就破”的。然而要获得它，就必须经过工艺技术研究和试验才能得到。对笔者在工艺技术领域的研究成果和实践心得，公司从来就是采取信任和开放的态度，只要对国家和社会科技进步有益的事，他们都是满腔热情地支持。因此，笔者在工艺技术领域公开的任何研究成果，均属于中兴公司对国家和社会进步的贡献。

③ “尊重科学、尊敬人才”已成为公司高级领导层共同的风气。作者应聘来中兴公司工作的13年来，作者的高层主管领导从邱未召执行副总裁→樊庆峰执行副总裁→田文果执行副总裁再回到邱未召执行副总裁，不管领导怎样更迭，对作者的关心、帮助和支持却丝毫不

受任何影响，实在令作者激动和难忘。

作者无论在退休前还是退休后，一直得到了中国电子科技集团 2D 研究所历任领导：于国强、桂锦安、李跃、张修社等的长期关心、照顾和鼓励，在此也表示衷心的感谢。

现在电子制造的核心是工艺技术，而影响现代电子产品质量的关键环节，是电子产品互连工艺中的焊接技术，在通信终端产品生产和服役中，发生的缺陷和故障几乎 90% 都是源自焊接工序。由于各种小型化和微型化微电子学器件的大量应用，特别是高密度安装和微焊接技术在工业生产中应用越来越普遍的态势下，焊接工艺越来越精细，新的焊材层出不穷，新的缺陷和失效模式及机理不断刷新，这一切均给我们的工程师们带来了新的挑战。广大从事电子装联焊接技术的工程师们正面临着知识更新的新形势。

遵循侯为贵董事长对中兴通讯电子制造职业学院教材建设的指示，在公司执行副总裁邱未召先生的直接领导下，我们编著了这部“现代电子装联焊接技术及其应用”教材，本着理论与实践相结合的原则，让我们现在和未来的工程师们在产品生产中面临问题时，不仅知道怎样去处理，还懂得为什么要这样处理。本书拟作为中兴通讯电子制造职业学院工程师研修班的教材。

本书在编写过程中，还得到了中兴通讯公司高级副总裁陈健洲先生、公司高级顾问马庆魁先生、公司人力资源部曾力部长、中兴通讯公司制造中心主任董海先生、副主任丁国兴先生、质量部林彬部长；中兴通讯电子制造职业学院汪芸、张加民和石一遵副院长等领导关怀和帮助，在此表示衷心的感谢。

作者在完成这一书稿过程中得到了我的学生——制造中心和制造技术研究院的刘哲、邱华盛、孙磊、史建卫、付红志、潘华强等的协助，在此也表示由衷的感谢。

樊融融

2015 年 12 月于中兴通讯股份有限公司

目 录

第 1 章 电子装联焊接技术基础理论	1
1.1 电子装联焊接概论	2
1.1.1 电子装联焊接的定义和分类	2
1.1.2 在电子装联中为什么要采用软钎焊工艺及其特点	2
1.1.3 软钎焊技术在电子装联工艺中的重要地位	3
1.2 焊接科学及基础理论	4
1.2.1 焊接技术概述	4
1.2.2 金属焊接接合机理	4
1.2.3 润湿理论——杨氏公式	9
1.2.4 接触角 (θ)	11
1.2.5 弯曲液面下的附加压强——拉普拉斯方程	12
1.2.6 扩散、菲克 (Fick) 定律及扩散激活能	14
1.2.7 毛细现象	18
1.2.8 母材的熔蚀	20
1.3 焊接接头及其形成过程	21
1.3.1 润湿和连接界面	21
1.3.2 可焊性	22
1.3.3 固着面积	22
1.3.4 钎料接头产生连接强度的机理	22
1.3.5 形成焊接连接的必要条件	24
1.3.6 焊接接头形成的物理过程	26
1.4 焊接接头界面的金属状态	28
1.4.1 界面层的金属组织	28
1.4.2 合金层 (金属间化合物) 的形成	29
1.4.3 界面层的结晶和凝固	35
1.4.4 焊点的接头厚度和钎接温度对焊点的机械强度的影响	35
思考题	36
第 2 章 焊接接头的界面特性	39
2.1 焊料的润湿和界面的形成	40
2.1.1 焊料的润湿	40
2.1.2 界面的形成	41
2.1.3 焊接界面反应机理	42
2.2 界面反应和组织	44
2.2.1 Sn 和 Cu 的界面反应	44

2.2.2	Sn 基焊料和母材 Cu 的界面反应	45
2.2.3	Sn 基焊料合金和 Ni 的界面反应	49
2.2.4	Sn 基焊料和 Ni/Au 镀层的冶金反应	51
2.2.5	Sn 基焊料和 Pd 及 Ni/Pd/Au 涂覆层的冶金反应	53
2.2.6	Sn 基焊料和 Fe 基合金的界面反应	54
2.2.7	Sn 基焊料和被 OSP 保护金属的界面反应	55
	思考题	57
第 3 章	电子装联焊接用焊料	59
3.1	焊料冶金学知识	60
3.1.1	冶金学导言	60
3.1.2	相图	62
3.2	有 Pb 焊接用的 SnPb 基焊料	64
3.2.1	焊料常用的几种基本金属元素特性	64
3.2.2	SnPb 合金	66
3.2.3	工程用 SnPb 焊料应用分析	67
3.2.4	SnPb 焊料的蠕变性能	70
3.2.5	SnPb 焊料合金中的杂质及其影响	70
3.2.6	Sn 基有 Pb 焊料的工程应用	73
3.3	无 Pb 焊料合金	75
3.3.1	无 Pb 焊料合金的发展概况	75
3.3.2	实用的无 Pb 焊料合金	77
3.3.3	实用替代合金的应用特性	78
3.3.4	SnAg 系合金	79
3.3.5	SnCu 系合金	81
3.3.6	SnBi 系合金	82
3.3.7	SnZn 系合金	83
3.3.8	SnAgCu 焊料合金	84
3.3.9	SnAgCuBi 四元合金	88
3.3.10	SnAgBi、SnAgBiIn 合金	89
3.5	IPC SPVC 推荐的无 Pb 焊料合金及其评估	89
3.5.1	IPC SPVC 推荐的无 Pb 焊料合金	89
3.5.2	IPC SPVC 对所推荐焊料的研究评估	89
3.6	无 Pb 焊料合金性能比较	89
3.6.1	SnAgCu 与 Sn37Pb 的工艺性比较	89
3.6.2	常用的无 Pb 焊料合金的应用性能	90
3.6.3	成分、熔化温度范围和成本	90
3.6.4	润湿性	91
2.6.5	其他主要物理性能	91

2.6.6 接合界面·····	91
思考题·····	92
第4章 电子装联焊接用助焊剂·····	93
4.1 焊料的氧化·····	94
4.1.1 焊料氧化的基本概念·····	94
4.1.2 影响焊料氧化的基本因素·····	94
4.2 助焊剂化学·····	95
4.2.1 助焊剂在焊接过程中的意义·····	95
4.2.2 助焊剂的作用及作用机理·····	97
4.2.3 助焊剂应具备的技术特性·····	99
4.2.4 助焊剂应具备的应用特性·····	102
4.2.5 助焊剂的分类·····	102
4.2.6 电子装联焊接用助焊剂的溶剂·····	107
4.2.7 无铅工艺对助焊剂的挑战·····	107
4.2.8 无铅助焊剂需要关注的主要性能与可靠性指标·····	110
4.2.9 助焊剂中活性物质的化学物理特性·····	110
思考题·····	113
第5章 电子装联焊接用焊膏·····	115
5.1 概述·····	116
5.1.1 定义和用途·····	116
5.1.2 组成和特性·····	116
5.2 焊膏中常用的焊料合金成分及特性·····	116
5.2.1 焊膏中常用的焊料合金成分·····	116
5.2.2 焊膏中常用的焊料合金的特性·····	119
5.3 焊膏中的糊状助焊剂·····	121
5.3.1 焊膏中糊状助焊剂的组成及其要求·····	121
5.3.2 糊状助焊剂各组成部分的作用及作用机理·····	121
5.3.3 黏合剂·····	125
5.3.4 触变剂·····	125
5.3.5 溶剂·····	126
5.4 焊膏的应用特性·····	126
5.4.1 焊膏的应用特性·····	126
5.4.2 焊膏组成及特性对应用特性的影响·····	127
5.4.3 无铅焊膏应用的工艺性问题·····	127
5.5 如何选择和评估焊膏·····	128
5.5.1 选用焊膏时应注意的问题·····	128
5.5.2 如何评估焊膏·····	129

5.6	焊膏产品的新发展	130
5.6.1	新概念焊膏 1——失活焊膏介绍	130
5.6.2	新概念焊膏 2——不用冷藏和解冻，拿来就用的焊膏	134
5.6.3	掺入微量 Co 的无铅低银焊膏	134
	思考题	142
第 6 章	电子装联焊接接头设计	145
6.1	焊点的接头	146
6.1.1	焊接接头设计的意义	146
6.1.2	焊点的接头模型	146
6.1.3	焊接的基本接头结构	147
6.2	焊接接头结构设计对接头机电性能的影响	148
6.2.1	接头的几何形状设计及强度分析	148
6.2.2	焊接接头的电气特性	151
6.3	影响焊接接头机械强度的因素	154
6.3.1	施用的焊料量对焊点剪切强度的影响	154
6.3.2	与熔化焊料接触的时间对焊点剪切强度的影响	155
6.3.3	焊接温度对接头剪切强度的影响	155
6.3.4	接头厚度对强度的影响	156
6.3.5	接头强度随焊料合金成分和基体金属的变化	157
6.3.6	焊料接头的抗蠕变强度	158
6.4	SMT 再流焊接接合部的工艺设计	160
6.4.1	THT 和 SMT 焊点接合部的差异	160
6.4.2	再流焊接接合部的工艺设计	162
6.4.3	片式元器件焊接接合部的工艺设计	164
6.4.4	QFP 焊接接合部的工艺设计	171
6.4.5	BGA、CSP 再流焊接接合部的工艺设计	175
	思考题	179
第 7 章	焊接接头母材的预处理及可焊性检测和评估	181
7.1	焊接接头母材的概述	182
7.1.1	母材及其要求	182
7.1.2	母材常用的材料及其特性	182
7.2	母材金属焊接的前处理	184
7.2.1	母材金属焊接前处理的意義及处理方法	184
7.2.2	母材的可焊性涂覆	185
7.2.3	镀层的可焊性评估	187
7.3	元器件引脚常用可焊性镀层的特性描述	188
7.3.1	Au 镀层	188

7.3.2	Ag 镀层	190
7.3.3	Ni 镀层	190
7.3.4	Sn 镀层	191
7.3.5	Cu 镀层	192
7.3.6	Pd 镀层	193
7.3.7	Sn 基合金镀层	193
7.4	PCB 焊盘常用涂层及其特性	194
7.4.1	PCB 焊盘涂层材料选择时应考虑的因素	194
7.4.2	HASL- Sn、SnPb	195
7.4.3	ENIG Ni (P) /Au 涂覆层	195
7.4.4	Im-Sn 涂覆层	197
7.4.5	Im-Ag 涂层	197
7.4.6	OSP 涂覆	198
7.4.7	PCB 表面涂覆体系的比较	199
7.5	母材金属镀层的腐蚀 (氧化)	199
7.5.1	金属腐蚀的定义	199
7.5.2	金属腐蚀的分类	200
7.6	母材金属镀层的可焊性试验	205
7.6.1	可焊性概念	205
7.6.2	母材镀层在贮存期可焊性的蜕变及其试验方法	206
7.6.3	可焊性试验方法	208
	思考题	212

第 8 章 现代电子装联 PCBA 焊接的 DFM 要求 215

8.1	PCBA 焊接 DFM 要求对产品生产质量的意义	216
8.1.1	概述	216
8.1.2	DFM 是贯彻执行相关产品焊接质量标准的前提	216
8.1.3	良好的 DFM 对 PCBA 生产的重要意义	216
8.2	电子产品的分类及安装焊接的质量等级和要求	217
8.2.1	电子产品安装焊接的质量等级	217
8.2.2	电子产品的最终使用类型	218
8.2.3	电子产品的安装类型	218
8.2.4	电子产品的可生产性级别	219
8.3	PCBA 波峰焊接安装设计的 DFM 要求	219
8.3.1	现代电子装联波峰焊接技术特征	219
8.3.2	PCB 布线设计应遵循的 DFM 规则及考虑的因素	220
8.3.3	元器件在 PCB 上的安装布局要求	220
8.3.4	安装结构形态的选择	221
8.3.5	电源线、地线及导通孔的考虑	223

8.3.6	采用拼板结构时应注意的问题	223
8.3.7	测试焊盘的设置	224
8.3.8	元器件间距	224
8.3.9	阻焊膜的设计	224
8.3.10	排版与布局	225
8.3.11	元器件的安放	225
8.3.12	THT 方式的图形布局	226
8.3.13	导线的线形设计	229
8.4	PCBA-SMT 方式波峰焊接安装设计的 DFM 要求	232
8.4.1	PCBA-SMT 方式的图形设计	232
8.4.2	IC 插座焊盘的排列走向	234
8.4.3	直线密集型焊盘	235
8.4.4	引线伸出焊盘的高度	235
8.4.5	工艺区的设置	235
8.4.6	热工方面的考虑	236
8.4.7	SMT 方式安装结构的波峰焊接要求	236
8.4.8	减少热损坏的安装和焊法	239
8.4.9	减少波峰焊接桥连率的安装法	239
8.5	PCBA 再流焊接安装设计的 DFM 要求	240
8.5.1	选用 SMT 的原则	240
8.5.2	元器件间隔	240
8.5.3	适于清洁的元器件离板高度	241
8.5.4	基准点标记	241
8.5.5	布线设计的 DFM 要求	243
8.5.6	再流焊接对 PCB 焊盘的设计要求	245
8.5.7	元器件安装	247
	思考题	248
第 9 章 电子装联焊接技术应用概论		249
9.1	电子装联焊接技术概论	250
9.1.1	概述	250
9.1.2	电子装联高效焊接技术	250
9.1.3	焊接方法的分类	250
9.2	电子装联焊接技术的发展	252
9.2.1	传热式焊接方式	252
9.2.2	辐射热焊接方式	257
9.3	自动化焊接系统	259
9.3.1	概述	259
9.3.2	波峰焊接技术的发展	260

9.3.3	再流焊接技术的发展	269
	思考题	273
第 10 章	波峰焊接工艺窗口设计及其控制	275
10.1	影响波峰焊接效果的四要素	276
10.1.1	母材金属的可焊性	276
10.1.2	波峰焊接设备	277
10.1.3	PCB 图形设计的波峰焊接工艺性	279
10.1.4	波峰焊接工艺的优化	279
10.1.5	无铅波峰焊接的工艺性问题	281
10.2	SMA 波峰焊接的波形选择	281
10.2.1	SMA 波峰焊接工艺的特殊性	281
10.2.2	气泡遮蔽效应	282
10.2.3	阴影效应	282
10.2.4	SMC/SMD 的焊接特性和安装设计中应注意的事项	283
10.3	波峰焊接工艺窗口设计	284
10.3.1	正确进行波峰焊接工艺窗口设计的重要性	284
10.3.2	上机前的烘干处理	284
10.3.3	涂覆助焊剂	285
10.3.4	预热温度	285
10.3.5	焊料槽温度	288
10.3.6	夹送速度	290
10.3.7	夹送倾角	291
10.3.8	波峰高度	292
10.3.9	压波深度	292
10.3.10	冷却	293
10.4	波峰焊接工艺窗口控制	293
10.4.1	工艺窗口控制的意义	293
10.4.2	波峰焊接工艺窗口必须受控	293
10.4.3	PCB 可焊性的监控	294
10.4.4	波峰焊接设备工序能力系数 (Cpk) 的实时监控	294
10.4.5	助焊剂涂覆监控	296
10.4.6	波峰焊接温度曲线的监控	296
10.4.7	波峰焊接中焊料槽杂质污染的危害	297
10.4.8	防污染的对策	298
	思考题	300
第 11 章	再流焊接工艺窗口设计及其控制	303
11.1	再流焊接工艺要素分析	304

11.1.1	焊前应确认的调节条件及检查项目	304
11.1.2	SMT 组装工艺影响因素	304
11.2	再流焊接温度-时间曲线	305
11.2.1	再流焊接工艺过程中的温度特性	305
11.2.2	再流焊接过程中影响温度-时间曲线的因素	307
11.2.3	正确设置再流温度-时间曲线的意义	309
11.2.4	怎样设定再流温度-时间曲线	310
11.2.5	目前流行的再流温度-时间曲线的类型	315
11.3	再流焊接工艺窗口设计	317
11.3.1	再流焊接工艺参数	317
11.3.2	再流焊接工艺窗口控制	320
11.4	有铅和无铅混合安装 PCBA 再流焊接工艺窗口设计	322
11.4.1	无铅 PCBA 的再流焊接问题	322
11.4.2	有铅和无铅混合安装的过渡时期	323
11.5	再流焊接中的其他相关问题	326
11.5.1	气相再流焊接	326
11.5.2	在氮气保护气氛中的再流焊接	326
11.5.3	清洗与免清洗	327
11.5.4	双面 PCB 再流	328
	思考题	328
第 12 章 电子装联的选择焊法及模组焊法		329
12.1	电子装联的选择焊法	330
12.1.1	问题的提出	330
12.1.2	选择性焊接工艺应运而生	331
12.2	选择性焊接技术	331
12.2.1	选择性焊接技术的适用性	331
12.2.2	选择性焊接设备及其应用	332
12.2.3	选用购选择性焊接工艺时需考虑的问题	334
12.2.4	点波峰选择性焊接的工序组成	334
12.3	模组焊接系统	339
12.3.1	模组焊接系统的发展	339
12.3.2	ERSA VERSAFLOW 纯模组焊接设备	339
12.3.3	ERSA VERSAFLOW 的点选择+模组焊接复合焊接系统	340
12.3.4	日本模式	341
	思考题	342
第 13 章 电子装联焊接缺陷概述		343
13.1	波峰焊接常见缺陷及其抑制	344

13.1.1	波峰焊接中常见的缺陷现象	344
13.1.2	虚焊	344
13.1.3	冷焊	346
13.1.4	不润湿及反润湿	348
13.1.5	其他的缺陷	349
13.2	无铅波峰焊接中的特有缺陷现象	364
13.2.1	概述	364
13.2.2	无铅焊点的外观	364
13.2.3	焊缘起翘现象	365
13.2.4	焊缘起翘实例	370
13.2.5	从起翘发生的机理看抑制的对策	374
13.3	再流焊接常见缺陷及其抑制	377
13.3.1	脱焊	377
13.3.2	焊膏再流不完全	378
13.3.3	不润湿和反润湿	378
13.3.4	焊料小球	379
13.3.5	墓碑现象	382
13.3.6	芯吸现象	385
13.3.7	桥连现象	385
13.3.8	封装体起泡和开裂	386
13.3.9	焊料残渣	386
13.3.10	球状面阵列器件 (BGA、CSP) 焊料再流不完全	387
13.3.11	器件焊点破裂	387
13.4	再流焊接中的空洞和球窝	387
13.4.1	空洞	387
13.4.2	球窝 (HIP)	389
	思考题	393
	参考文献	395
	跋	397

第1章 电子装联焊接技术基础理论



本章要点

- 📁 电子装联焊接概论
- 📁 焊接科学及基础理论
- 📁 焊接接头及其形成过程
- 📁 焊接接头界面的金属状态