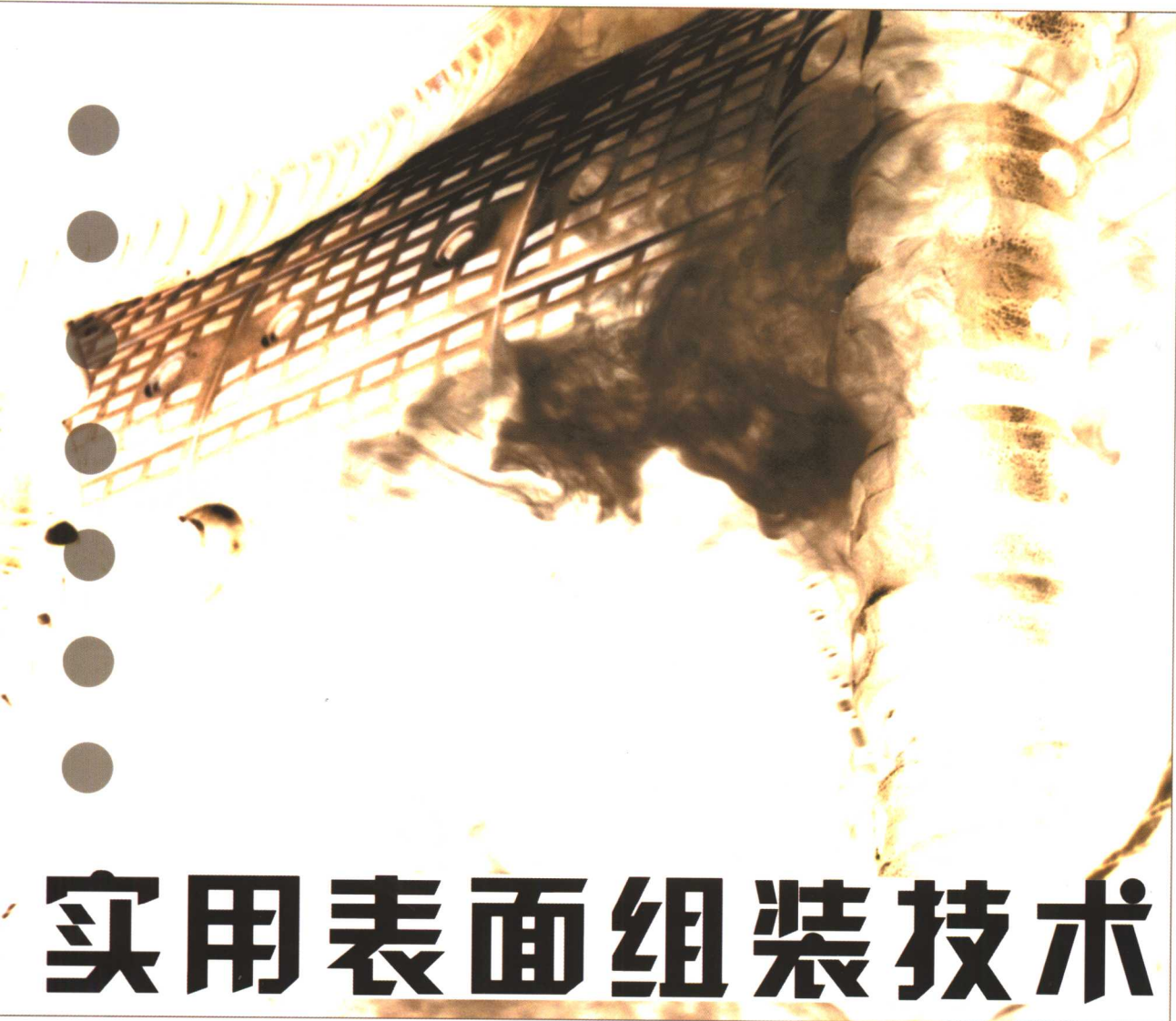




实用表面组装技术

(第2版)

张文典 编著



电子工业出版社

PUBLISHING HOUSE OF ELECTRONICS INDUSTRY

实用表面组装技术

(第2版)

张文典 编著

电子工业出版社

Publishing House of Electronics Industry

北京 • BEIJING

内 容 简 介

表面组装技术(SMT)发展已有40年的历史,现已广泛应用于通信、计算机、家电等行业,并正在向高密度、高性能、高可靠性和低成本方向发展。

本书较详细地介绍了SMT的相关知识。全书共有17章,包括焊接机理、热传导基本概念、各种辅助材料的特性与评估方法、各种焊接设备的热传导特点和焊接曲线的设定、贴片机验收标准、焊点质量评价与SMA性能测试技术、SMT大生产中的防静电及质量管理等,再版后又新增加了SMB优化设计以及无铅焊料和无铅工艺,包括如何实施无铅波峰焊和无铅再流焊。

本书内容丰富、实用性强,对SMT行业相关人员的继续教育和工作实践都有很高的参考价值。

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

实用表面组装技术/张文典编著. —2版. —北京:电子工业出版社,2006.1
ISBN 7-121-01737-7

I. 实… II. 张… III. 印刷电路—组装 IV. TN41

中国版本图书馆CIP数据核字(2005)第102010号

责任编辑:高买花

印 刷:北京市天竺颖华印刷厂

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

经 销:各地新华书店

开 本:787×1092 1/16 印张:32 字数:819千字

印 次:2006年1月第1次印刷

印 数:4000册 定价:48.00元

凡购买电子工业出版社的图书,如有缺损问题,请向购买书店调换。若书店售缺,请与本社发行部联系。联系电话:(010)68279077。质量投诉请发邮件至 zllts@phei.com.cn,盗版侵权举报请发邮件至 dbqq@phei.com.cn。

再版前言

《实用表面组装技术》一书自 2002 年面世以来,受到业界广泛的关注,随着 SMT 技术的飞速发展,特别无铅工艺的推广应用,电子装配行业禁铅之日近在眼前,故对《实用表面组装技术》进行修改并再版。

《实用表面组装技术(第 2 版)》除了及时跟踪当前 SMT 新技术,如 0201 元件的焊接、通孔元件的再流焊等,并重点增加了 SMB 优化设计和无铅焊料以及无铅工艺两章。时至今日有关 SMT 设备很为先进,精度也相当高,但在一些工厂仍存在不少焊接缺陷,其中原因之一就是 PCB 设计尚不符合 SMT 工艺要求,设计者对 SMT 工艺过程不够了解,故在本书中重点阐述元件在焊接过程中是一个动态过程,焊盘设计不好时会引起元件的位移,从理论上讲清设计的重要性。

在无铅焊料一章中,重点介绍当今已开发成功的三大系列无铅焊料的成分与特点,以及如何评估和选用,特别是通过元素的结构以及它们在元素周期表中的位置,分析已开发了的无铅焊料部分性能尚达不到锡铅焊料的原因,以及介绍无铅焊料的发展趋势,这对选好、用好无铅焊料能起到指导作用;在无铅工艺中详细介绍了无铅波峰焊和无铅再流焊,对推行无铅工艺有很大的帮助。

总之,《实用表面组装技术(第 2 版)》仍保留原书的特点,即坚持理论联系实际,既阐述有关的基本理论又介绍这些理论在生产中的应用。

如今,随着信息技术的高速发展 SMT 愈显示出其优越性,各国都非常重视,并投重金用于开发和研究,SMT 发展趋势呈现三大主要特征:一是以美国为代表的研究机构,重点是研究高密度封装技术特别是 3D 封装技术,大力开发 SOC 及 SIP 芯片,显然这对用于外层空间技术的研究是非常有用的;二是以德国、瑞士为代表的研究机构,重点是研究 SMT 绿色环保,并以法规条文的形式强制实施;三是以日本为代表的研究机构,重点是研究 SMT 大生产技术,强调从设计到装备工艺的每个环节都非常重要并应发挥整体效应。而我国尽管已成为一个 SMT 生产大国,但无论是科研成果还是设备制造,与世界先进国家相比都相差很大,故值《实用表面组装技术》再版之际祝愿在 SMT 战线上辛勤耕耘的同行们努力工作,为早日创造出具有中国特色的 SMT 产业和成果而奋斗!

本书由方芳撰写第 2 章,翁志德撰写第 11 章,其余部分由张文典撰写并统编全稿。此外,日本松下电器(上海)、香港美亚、安必昂(上海)、凯能(南京)、泰瑞达(上海)、欧姆龙(上海)等公司提供了翔实资料,本书的插图由陆璎协助绘制,在此一并表示诚挚的感谢!

由于编著者水平有限,书中难免存在缺点和错误,真诚希望广大读者批评指正。

目 录

第 1 章 概论	(1)
1.1 世界各国都重视 SMT 产业	(3)
1.2 表面组装技术的优点	(4)
1.3 表面组装和通孔插装技术的比较	(5)
1.4 表面组装工艺流程	(5)
1.5 表面组装技术的组成	(7)
1.6 我国 SMT 技术的基本现状与发展对策	(10)
1.7 表面组装技术的发展趋势	(13)
第 2 章 表面安装元器件	(16)
2.1 表面安装电阻器和电位器	(16)
2.1.1 矩形片式电阻器	(16)
2.1.2 圆柱型固定电阻器	(20)
2.1.3 小型固定电阻网络	(22)
2.1.4 片式电位器	(25)
2.2 表面安装电容器	(27)
2.2.1 多层片状瓷介电容器	(28)
2.2.2 特种多层片状瓷介电容器的特性	(30)
2.2.3 钽电解电容器	(33)
2.2.4 铝电解电容器	(39)
2.2.5 云母电容器	(43)
2.3 电感器	(45)
2.3.1 绕线型片式电感器	(46)
2.3.2 多层型片式电感器	(48)
2.4 磁珠	(53)
2.4.1 片式磁珠	(53)
2.4.2 多层片式磁珠	(55)
2.5 其他片式元件	(57)
2.5.1 片式多层压敏电阻器	(57)
2.5.2 片式热敏电阻	(58)
2.5.3 片式表面波滤波器	(59)
2.5.4 片式多层 LC 滤波器	(60)
2.5.5 片式多层延时线	(60)
2.6 表面安装半导体器件	(61)
2.6.1 二极管	(61)
2.6.2 小外形封装晶体管	(62)

2.6.3	小外形封装集成电路 SOP	(65)
2.6.4	有引脚塑封芯片载体 (PLCC)	(67)
2.6.5	方形扁平封装 (QFP)	(69)
2.6.6	陶瓷芯片载体	(70)
2.6.7	PQFN	(72)
2.6.8	BGA (Ball Grid Array)	(73)
2.6.9	CSP (Chip Scale Package)	(77)
2.7	裸芯片	(81)
2.7.1	COB 芯片	(81)
2.7.2	F · C	(81)
2.8	塑料封装表面安装器件的保管	(82)
2.8.1	塑料封装表面安装器件的储存	(82)
2.8.2	塑料封装表面安装器件的开封使用	(83)
2.8.3	已吸湿 SMD 的驱湿烘干	(83)
2.8.4	剩余 SMD 的保存方法	(85)
2.9	表面安装元器件的发展趋势	(85)
第 3 章	表面安装用的印制电路板	(87)
3.1	基板材料	(87)
3.1.1	纸基 CCL	(87)
3.1.2	玻璃布基 CCL	(88)
3.1.3	复合基 CCL	(89)
3.1.4	金属基 CCL	(91)
3.1.5	挠性 CCL	(92)
3.1.6	陶瓷基板	(93)
3.1.7	覆铜箔板标准	(94)
3.1.8	CCL 常用的字符代号	(95)
3.1.9	CCL 标称厚度	(95)
3.1.10	铜箔种类与厚度	(95)
3.1.11	有机类 CCL 与电子产品的匹配性	(95)
3.2	表面安装印制板	(96)
3.2.1	SMB 的特征	(96)
3.2.2	评估 SMB 基材质量的相关参数	(97)
3.3	PCB 技术发展趋势	(102)
3.3.1	采用新型的基材	(103)
3.3.2	采用新型 PCB 制作工艺	(104)
第 4 章	SMB 的优化设计	(107)
4.1	不良设计原因分析	(108)
4.1.1	设计人员对工艺不了解	(108)
4.1.2	缺乏本企业的可制造性设计规范	(110)
4.1.3	忽视工艺人员参加	(110)

4.2	SMB 的优化设计	(111)
4.2.1	设计的基本原则	(111)
4.2.2	具体设计要求	(115)
第 5 章	焊接机理与可焊性测试	(137)
5.1	焊接机理	(137)
5.1.1	焊料的润湿与润湿力	(137)
5.1.2	表面张力与润湿力	(138)
5.1.3	润湿程度与润湿角 θ	(140)
5.1.4	润湿程度的目测评估	(141)
5.1.5	毛细现象及其在焊接中的作用	(141)
5.1.6	扩散作用和金属间化合物	(142)
5.2	可焊性测试	(145)
5.2.1	边缘浸渍法	(145)
5.2.2	湿润平衡法	(147)
5.2.3	焊球法	(152)
5.2.4	可焊性测试方法的其他用途	(154)
5.2.5	加速老化处理	(155)
5.2.6	元器件的耐焊接热能力	(155)
5.2.7	片式元器件的保管	(157)
第 6 章	助焊剂	(158)
6.1	常见金属表面的氧化层	(158)
6.1.1	铜表面的氧化层	(158)
6.1.2	锡/铅表面的氧化层	(159)
6.2	焊剂的分类	(160)
6.2.1	按焊剂状态分类	(160)
6.2.2	按活性剂特性分类	(160)
6.2.3	按焊剂中固体含量分类	(161)
6.2.4	按传统的化学成分分类	(161)
6.3	常见的焊剂	(161)
6.3.1	松香型焊剂	(162)
6.3.2	水溶性焊剂	(165)
6.3.3	低固含量免清洗焊剂/无 VOC 焊剂	(166)
6.3.4	有机耐热预焊剂	(168)
6.4	焊剂的评价	(169)
6.4.1	工艺性能	(169)
6.4.2	理化指标	(170)
6.5	助焊剂的使用原则及发展方向	(172)
6.5.1	使用原则	(172)
6.5.2	助焊剂发展方向	(172)

第 7 章 锡铅焊料合金	(173)
7.1 电子产品焊接对焊料的要求	(173)
7.2 锡铅焊料	(173)
7.2.1 锡的物理和化学性质	(175)
7.2.2 铅的物理和化学性质	(176)
7.2.3 锡铅合金的物理性能	(176)
7.2.4 铅在焊料中的作用	(177)
7.2.5 锡铅焊料中的杂质	(178)
7.2.6 液态锡铅焊料的易氧化性	(179)
7.2.7 浸析现象	(179)
7.2.8 锡铅焊料的力学性能	(180)
7.2.9 高强度焊料合金	(182)
7.2.10 锡铅合金相图与特性曲线	(182)
7.2.11 国内外常用锡铅焊料的牌号和成分	(184)
7.2.12 焊锡丝	(185)
7.2.13 锡铅焊料的防氧化	(185)
第 8 章 无铅焊料合金	(187)
8.1 铅的危害以及无铅焊料的兴起	(187)
8.2 无铅焊料应具备的条件	(188)
8.3 无铅焊料的定义	(188)
8.4 几种实用的无铅焊料	(188)
8.4.1 Sn-Ag 系合金	(188)
8.4.2 Sn-Ag-Cu 系合金	(190)
8.4.3 Sn-Zn 系合金	(192)
8.4.4 Sn-Bi 系合金	(195)
8.4.5 Sn-Cu 合金	(198)
8.5 无铅焊料的性能评估	(201)
8.5.1 无铅焊点焊接界面的组织结构	(201)
8.5.2 无铅焊料的可焊性	(202)
8.5.3 无铅焊料的表面张力	(204)
8.5.4 导电/导热性能	(204)
8.5.5 抗氧化性/腐蚀性	(205)
8.5.6 无铅焊料的力学性能	(205)
8.5.7 无铅焊料受到应力后的退化机理	(207)
8.5.8 部分无铅焊料的基本特性及其评述	(208)
8.6 元器件的端电极与 PCB 焊盘的涂层	(210)
8.7 铅含量对无铅焊接的影响	(211)
8.8 从元素周期表看无铅焊料的现状与发展趋势	(215)
8.9 加速无铅化转换进程	(218)
8.9.1 无铅转换进程的艰巨性	(218)

8.9.2	无铅技术的总体状况	(220)
8.9.3	如何实现无铅化制造	(220)
第9章	焊锡膏与印刷技术	(222)
9.1	焊锡膏	(222)
9.1.1	流变学基本概念与焊锡膏的流变行为	(222)
9.1.2	焊料粉的制造	(225)
9.1.3	糊状焊剂	(227)
9.1.4	焊锡膏的分类及标识	(228)
9.1.5	几种常见的焊锡膏	(229)
9.1.6	焊锡膏的评价	(231)
9.2	焊锡膏的印刷技术	(235)
9.2.1	模板/钢板	(235)
9.2.2	模板窗口形状和尺寸设计	(237)
9.2.3	印刷机简介	(240)
9.2.4	焊锡膏印刷机理与影响印刷质量的因素	(240)
9.2.5	焊锡膏印刷过程	(242)
9.2.6	印刷机工艺参数的调节与影响	(243)
9.2.7	新概念的捷流印刷工艺	(247)
9.2.8	焊锡膏印刷的缺陷、产生原因及对策	(247)
9.3	国外焊锡膏发展动向	(249)
第10章	贴片胶与涂布技术	(250)
10.1	贴片胶	(250)
10.1.1	贴片胶的工艺要求	(250)
10.1.2	环氧型贴片胶	(251)
10.1.3	丙烯酸类贴片胶	(253)
10.1.4	如何选用不同类型的贴片胶	(254)
10.1.5	贴片胶的流变行为	(254)
10.1.6	影响黏度的相关因素	(256)
10.1.7	黏结的基本原理	(257)
10.1.8	贴片胶的力学行为	(258)
10.1.9	贴片胶的评估	(259)
10.2	贴片胶的应用	(263)
10.2.1	常见的贴片胶涂布方法	(263)
10.2.2	影响胶点质量的因素	(264)
10.2.3	工艺参数优化设定	(267)
10.2.4	点胶工艺中常见的缺陷	(268)
10.2.5	贴片胶的固化	(268)
10.2.6	使用贴片胶的注意事项	(270)
10.3	点胶—波峰焊工艺中常见的缺陷与解决方法	(270)
10.4	贴片胶的发展趋势	(272)

10.5	小结	(273)
第 11 章	贴片技术与贴片机	(274)
11.1	贴片机的结构与特性	(274)
11.1.1	机架	(275)
11.1.2	传送机构与支撑台	(276)
11.1.3	X-Y 与 Z/ θ 伺服及定位系统	(277)
11.1.4	光学对中系统	(283)
11.1.5	贴片头	(286)
11.1.6	供料器	(288)
11.1.7	传感器	(292)
11.1.8	计算机控制系统	(294)
11.2	贴片机的技术参数	(295)
11.2.1	基本参数	(295)
11.2.2	贴片机技术参数的解析	(296)
11.3	贴片机的分类与典型机型介绍	(302)
11.3.1	贴片机的分类	(302)
11.3.2	典型贴片机介绍	(304)
11.4	贴片机的选型与验收	(314)
11.4.1	贴片机的选型	(314)
11.4.2	贴片机的验收	(315)
11.5	贴片机发展趋势	(319)
第 12 章	波峰焊接技术与设备	(320)
12.1	传热学基本概念	(320)
12.1.1	传导导热	(321)
12.1.2	对流导热	(322)
12.1.3	辐射导热	(323)
12.1.4	汽化热与相变传热	(324)
12.1.5	焊接过程中的热匹配	(324)
12.2	波峰焊技术	(325)
12.2.1	波峰焊机	(325)
12.2.2	助焊剂的涂布	(327)
12.2.3	正确控制焊剂密度	(329)
12.2.4	焊剂的烘干(预热)	(330)
12.2.5	波峰焊机中常见的预热方法	(330)
12.2.6	SMA 预热温度测试	(330)
12.2.7	波峰焊工艺曲线解析	(330)
12.2.8	SMT 生产中的混装工艺	(335)
12.2.9	波峰焊机的改进与发展	(336)
12.2.10	无铅波峰焊接工艺技术与设备	(340)
12.2.11	选择性波峰焊	(344)

12.2.12	波峰焊机的评估与选购注意事项	(345)
12.2.13	波峰焊接中常见的焊接缺陷	(346)
第 13 章	再流焊	(350)
13.1	红外再流焊	(350)
13.1.1	红外再流焊炉的演变	(350)
13.1.2	再流焊炉的基本结构与焊接温度曲线的调整	(354)
13.1.3	再流焊温度曲线的监控	(361)
13.1.4	通孔再流焊	(364)
13.1.5	无铅锡膏再流焊工艺与再流焊炉	(367)
13.1.6	Flip Chip 再流焊技术	(371)
13.1.7	使用 0201 元件手机主板的焊接技术	(372)
13.1.8	如何做好 CSP 和 BGA 底部填充胶	(376)
13.1.9	再流焊炉的选用原则	(378)
13.2	汽相再流焊	(384)
13.2.1	VPS 的优缺点	(384)
13.2.2	汽相焊的热转换介质	(384)
13.2.3	汽相焊设备	(385)
13.3	激光再流焊	(387)
13.3.1	原理和特点	(387)
13.3.2	激光再流焊设备	(388)
13.4	各种再流焊方法及性能对比	(388)
13.5	工艺中常见的焊接质量分析	(389)
13.6	焊接与环境问题	(389)
第 14 章	焊接质量评估与检测	(391)
14.1	连接性测试	(391)
14.1.1	人工目测检验（加辅助放大镜）	(391)
14.1.2	自动光学检查（AOI）	(407)
14.1.3	激光/红外线组合式检测系统	(414)
14.1.4	X 射线检测仪	(415)
14.2	在线测试	(417)
14.2.1	模拟器件式在线测试技术	(418)
14.2.2	向量法测试技术	(419)
14.2.3	边界扫描测试技术（Boundary Scan Test）	(420)
14.2.4	非向量测试技术	(421)
14.2.5	飞针式测试仪	(425)
14.2.6	在线测试仪的功能	(426)
14.2.7	针床制造与测量	(428)
14.3	功能测试	(429)
14.3.1	特征分析（SA）测试技术	(429)
14.3.2	复合测试仪	(429)

14.4	电气测试所面临的挑战	(430)
14.5	SMT 生产常见质量缺陷及解决办法	(430)
14.5.1	立碑现象的产生与解决办法	(430)
14.5.2	再流焊中锡珠生成原因与解决办法	(432)
14.5.3	焊接后印制板阻焊膜起泡的原因与解决方法	(434)
14.5.4	印制板组件焊接后 PCB 基板上起泡的原因与解决办法	(435)
14.5.5	芯吸现象	(435)
14.5.6	片式元器件开裂	(435)
14.5.7	焊点不光亮/残留物多	(435)
14.5.8	PCB 扭曲	(436)
14.5.9	桥连	(436)
14.5.10	IC 引脚焊接后开路/虚焊	(437)
14.5.11	BGA 焊接缺陷	(438)
14.5.12	其他常见焊接缺陷	(438)
14.5.13	无铅锡膏中常出现的质量缺陷及其解决方法	(439)
14.6	SMA 的维修	(441)
14.6.1	维修设备	(441)
14.6.2	维修过程	(443)
第 15 章	清洗与清洗剂	(445)
15.1	污染物的种类	(445)
15.1.1	极性污染物	(445)
15.1.2	非极性污染物	(445)
15.1.3	粒状污染物	(446)
15.2	清洗机理	(447)
15.3	几种常见的清洗工艺	(447)
15.3.1	溶剂清洗与 CFC 对臭氧层的破坏作用	(447)
15.3.2	溶剂选择原则与 CFC 代替品	(449)
15.3.3	CFC 的代用品	(451)
15.3.4	溶剂法清洗工艺流程	(452)
15.3.5	皂化法水清洗	(454)
15.3.6	半水清洗	(455)
15.3.7	半水清洗工艺流程	(456)
15.3.8	净水清洗法	(457)
15.3.9	各种清洗工艺方案的评估	(457)
15.4	清洗的质量标准	(459)
15.4.1	MIL-P-28809 标准	(459)
15.4.2	国内有关清洁度的标准	(460)
15.5	清洗效果的评价方法	(461)
15.5.1	目测法	(461)
15.5.2	溶剂萃取液测试法	(461)

15.5.3	表面绝缘电阻 (SIR) 测试法	(461)
15.6	SMA 清洗总体方案设计	(463)
15.7	表面安装印制板主件 (SMA) 的清洗问题	(464)
15.8	有利于 SMA 的清洗的条件	(464)
15.9	免清洗发展的探讨	(465)
第 16 章	电子产品组装中的静电防护技术	(466)
16.1	静电及其危害	(466)
16.1.1	静电的产生	(466)
16.1.2	静电的力学效应	(467)
16.1.3	静电放电效应	(468)
16.1.4	静电感应	(468)
16.1.5	静电放电对电子工业的危害	(468)
16.1.6	静电敏感器件及其分类	(469)
16.1.7	电子产品生产环境中的静电源	(471)
16.2	静电防护	(473)
16.2.1	静电防护原理	(473)
16.2.2	静电防护方法	(473)
16.2.3	常用静电防护器材	(475)
16.2.4	静电测量仪器	(476)
16.3	电子整机作业过程中的静电防护	(476)
16.3.1	手机生产线内的防静电设施	(476)
16.3.2	生产过程的防静电	(477)
16.3.3	SSD 的存储	(477)
16.3.4	其他部门的防静电要求	(478)
第 17 章	SMT 生产中的质量管理	(479)
17.1	ISO-9000 系列标准是 SMT 生产中质量管理的最好选择	(479)
17.2	建立符合 ISO-9000 标准的 SMT 生产质量管理体系	(480)
17.2.1	中心的质量目标	(480)
17.2.2	质量保证体系的内涵	(480)
17.2.3	SMT 产品设计	(480)
17.2.4	外购件及外协件的管理	(481)
17.2.5	生产管理	(482)
17.2.6	质量检验	(488)
17.2.7	图纸文件管理	(490)
17.2.8	包装、储存及交货	(490)
17.2.9	降低成本	(490)
17.2.10	人员培训	(490)
17.3	统计技术在 ISO-9000 系列标准质量管理中的作用	(491)
17.3.1	调查表	(491)
17.3.2	分层图	(492)

17.3.3	头脑风暴法	(492)
17.3.4	因果图	(492)
17.3.5	流程图	(492)
17.3.6	树图	(493)
17.3.7	控制图	(493)
17.3.8	直方图	(493)
17.3.9	排列图	(494)
17.3.10	散布图	(494)
17.3.11	过程能力指数	(495)
参考文献		(497)

第 1 章 概 论

自从无线电发明的那天起，电子组装技术就相伴诞生了。但在电子管时代，人们仅用手工铬铁焊接电子产品，电子管收音机是当时的主要产品。新兴学科的兴起，尤如一石激起千层浪，20 世纪 40 年代晶体管诞生，高分子聚合物出现，以及印制电路板研制成功，人们开始尝试将晶体管以及通孔元件直接焊接在印制板上，使电子产品结构变得紧凑、体积开始缩小。到了 50 年代，英国人研制出世界上第一台波峰焊接机，于是人们将晶体管一类通孔元件插装在印制电路板上后，采用波峰焊接技术实现了通孔组件的装联，半导体收音机、黑白电视机迅速在世界各地普及流行。波峰焊接技术的出现开辟了电子产品大规模工业化生产的新纪元，它对世界电子工业生产技术发展的贡献是无法估量的。

20 世纪 60 年代，在电子表行业以及军用通信中，为了实现电子表和军用通信产品的微型化，人们开发出无引线电子元件，并被直接焊接到印制板的表面，从而达到了电子表微型化的目的，这就是今天称之为“表面组装技术”的雏形。

表面组装技术，英文称之为“Surface Mount Technology”简称 SMT，它是将表面贴装元器件（无引脚或短引脚的元器件）贴、焊到印制电路板表面规定位置上的电子装联技术，所用的印制电路板无须钻插装孔。具体地说，就是首先在印制电路板焊盘上涂布焊锡膏，再将表面贴装元器件准确地放到涂有焊锡膏的焊盘上，通过加热印制电路板直至焊锡膏熔化，冷却后便实现了元器件与印制电路之间的互连。20 世纪 70 年代，以发展消费类产品著称的日本电子行业敏锐地发现了 SMT 的先进性，迅速在电子行业推广开来，并很快推出 SMT 专用焊料（焊锡膏），专用设备如贴片机、再流焊炉、印刷机以及各种片式元器件，极大地丰富了 SMT 的内涵，也为 SMT 的发展奠定了坚实的基础。80 年代，SMT 生产技术日趋完善，用于表面安装技术的元器件大量生产，价格大幅度下降，各种技术性能好、价格低的设备纷纷面世。用 SMT 组装的电子产品具有体积小、性能好、功能全、价位低的综合优势，故 SMT 作为新一代电子装联技术已广泛地应用于各个领域的电子产品装联中。航空、航天、通信、计算机、医疗电子、汽车、照相机、办公自动化、家用电器行业，真可谓哪里有电子产品哪里就有 SMT。到了 90 年代，SMT 相关产业更是发生了惊人的变化：片式阻容元件自 70 年代工业化生产以来，尺寸从最初的 $3.2\text{mm} \times 1.6\text{mm} \times 1.2\text{mm}$ 已发展到现在的 $0.6\text{mm} \times 0.3\text{mm} \times 0.3\text{mm}$ ，体积从最初的 6.14mm^3 发展到现在的 0.014mm^3 ，其体积缩小到原来的 0.88%，见表 1.1 和图 1.1 所示。

表 1.1 片式阻容元件的发展情况

时间/年	1975	1979	1985	1991	1995
产品型号	3216	2012	1608	1005	0603
尺寸/mm	$3.2 \times 1.6 \times 1.2$	$2.0 \times 1.2 \times 1.2$	$1.6 \times 0.8 \times 0.8$	$1.0 \times 0.5 \times 0.5$	$0.6 \times 0.3 \times 0.3$
体积/ mm^3	6.14	2.88	1.02	0.25	0.054
商品	录像机	早期手机	微型摄像机	改进后的手机	DVD、手机

片式元件的发展还可以从 IC 外形封装尺寸的演变过程来看，IC 引脚中心距已从最初的 1.27mm 快速过渡到 0.65mm 、 0.5mm 、 0.4mm ，如今 IC 封装形式又以崭新的面貌出现



图 1.1 片式元件发展趋势

在人们面前，继 PLCC、QFP 之后又出现了 BGA、CSP、FC 等，令人目不暇接。IC 封装电路的发展趋势如图 1.2 所示。与元件相匹配的印制板也从早期的双面板发展为多层板，最多可达 50 层之多，板面上线宽已从 0.2~0.3mm 缩小到 0.15mm、0.1mm，甚至到 0.05mm。

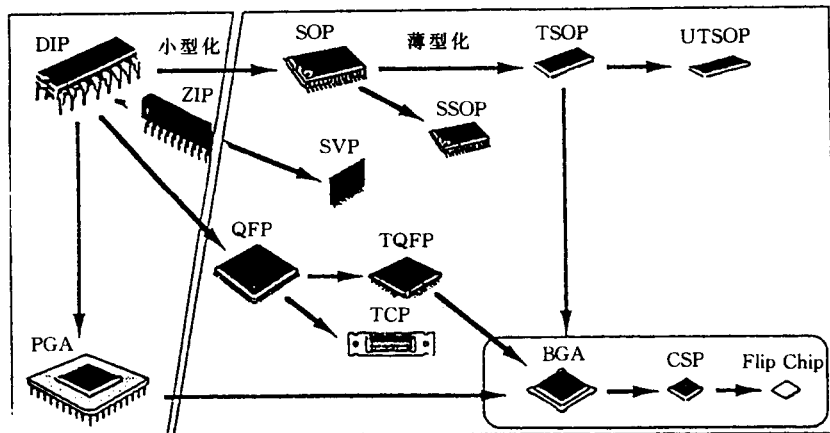


图 1.2 IC 封装电路的发展趋势

如今人们所见到的电子产品，无论外形尺寸还是质量都大幅度减小。以手提摄像机为例，20 世纪 90 年代初为 2500mm³，重 2.5kg，到了 1999 年，仅为 500mm³，重 500g。再如手提式电话，20 世纪 90 年代初重 400g，每台售价达 2 万元之高，平常不用时只能放在台子上，还美称为“大哥大”，当时是“大款”的象征。到了 90 年代末，仅重 57g，价格降至 2 千元上下。

用于 SMT 大生产的主要设备——贴片机也从早期的低速（1s/片）、机械对中，发展为高速（0.06s/片）、光学对中，并向多功能、柔性连接模块化方向发展；再流焊炉也由最初的热板式加热发展为氮气热风红外式加热，能适应通孔元件再流焊的带局部强制冷却的再流焊炉也已经实用化，再流焊的不良焊点率已下降到百万分之十以下，几乎接近无缺陷焊接。

SMT 技术作为新一代的装联技术，仅有 40 多年的历史，但这项技术刚问世就充分显示出其强大的生命力，它以非凡的速度走完了从诞生、完善直至成熟的路程，迈入了大范围工业应用的旺盛期。如今无论是投资类电子产品还是民用类电子产品，均有它的身影。

SMT 从狭义上讲，是将表面元器件贴装到 PCB 上，经过整体加热实现电子元器件互连，但从广义上讲，它包含片式元器件、表面组装设备、表面组装工艺，通常人们把表面组装设备称为“硬件”，表面组装工艺称为“软件”，而电子元器件既是 SMT 的基础，又是 SMT 发展的动力，它推动 SMT 专用设备和装联工艺不断更新和深化。支持信息产业的关键技术正是芯片技术和组装技术。芯片技术决定其电子产品的性能，是信息产业的核心，世界上芯片技术的龙头正是信息技术高度发达的美国，近十年来的高速发展支持美国经济持续发展。组装技术即大生产技术，它把先进的信息技术转化为实际的可供人们使用的电子产品，其过程既给社会带来巨大的物质财富，又给人们带来物质生活的享受，如今各种数字化的电

子产品琳琅满目，使人应接不暇。因此从广义上来讲，SMT 技术和信息产业是相互依存、相互发展的，SMT 已成为信息产业强有力的基础。

1.1 世界各国都重视 SMT 产业

近几年来美国、欧洲、日本等都纷纷建立了涉及技术开发、生产制造的国家级研究机构，以从事 SMT 方面的研究与开发。例如，美国半导体协会（SIA）每年发布的规格书已在世界电子组装技术发展中起到重要的指导作用。近期它在发布的规划书中，十分引人注目地提出了三维立体安装技术形态将成为今后安装技术发展趋势的预测，这意味着 SIP（System In Package）及 SOC（System-On-Chip）等系统模块技术将有更快的发展。在欧洲，以瑞典的生产技术研究所（IVF）和德国 IEM 研究所为“牵头”的研究机构，从事组装技术绿色化的研究，包括无 Pb 焊料，无 VOC 焊剂，PCB 制造中限用阻燃剂的绿色化制造技术，并制定明确的使用时间表以体现其决心和信心。在日本，日本电子信息技术产业协会（JEITA）等多个学术团体，将“组装技术”提升到“从电路设计到电子部件、安装设备及关联工艺技术最优化的综合结果”，并在这个基础上成立“电子系统集成联络协议会”，不同专业协会相互沟通、相互协调，以战略眼光制定本国的发展计划。这些世界级研究机构的动向也为 21 世纪 SMT 的发展趋势指出了明确的方向：

（1）如今 IC 光刻技术已进入纳米时代，伴随着 I/O 端子数的增多，器件的封装形式也将由 QFP 快速地向球栅阵列式封装形式过渡，BGA、CSP 将成为封装技术的主流，随着 F·C 底层填料的开发成功，F·C 器件也将进入实用化阶段。这意味着球栅阵列技术将开始取代周围引脚表面贴装器件，就像表面贴装元件取代通孔元件一样，叠层芯片（Stracked chip）SOC、SIP 器件将会被广泛使用。

（2）与球栅阵式器件相配套的是 PCB 技术包括基材的制造技术也将出现更新，如今高 Tg、低 CTE 的基材不断推出，特别积成法制造（BUM）的 PCB 技术每年以 17% 速度在增长，用 BUM 制造的 PCB，其 CTE 可达到 $6 \times 10^{-6}/^{\circ}\text{C}$ ，这意味着与片式元件的 CTE 同等级别，BUM 法制造的 PCB 将有力支撑着 F·C 的实际应用。

（3）随着人们环保意识的提高，绿色化生产已成为大生产技术的新理念。这种新理念体现在如下几个方面：无铅焊料开发成功，日本企业已经在部分消费类产品中使用；无铅化进程有加速化趋势特别是欧洲联盟有关电气与电子设备中废料的法令（WEED Directive）包括含铅焊料的禁止将在 2006 年 7 月 1 日生效，意味着全世界电子产品组装将进入无铅化时代；PCB 制造的过程中不再使用数种阻燃剂，它会因焚化 PCB 而产生二恶英（Dioxin），二恶英是一种致癌物质，日本 PCB 制造商还禁用不会产生二恶英的阻燃剂四溴二苯酚（TBBA tetrabromobis-phenol）；在焊剂使用中无 VOC 焊剂的应用亦提到议事日程上来。

（4）0201 元件的使用将对印刷机、贴片机、再流焊炉技术以及检测技术提出更高要求。模块化、高速、高精度贴片机，以及能连线使用的 AOI 和 AXI 将成为设备制造方向。

（5）如今导电胶的电阻已做到小于 0.001Ω ，综合性能明显提高，冷连接工艺已初露端倪。

（6）SMT 生产线的管理已实现计算机和无线网络管理，做到实时工艺参数采集和传送。不仅是质量上支持 6Sigma 标准，而且向无人化管理迈进。

不难看出，无论是片式器件的封装形式，还是 SMT 设备与工艺，都在支持 PCB 向实现