

 职业院校教学用书（电子类专业）

配套PPT课件、视频短片，
请到华信教育资源网下载



SMT技术基础与设备

（第2版）

何丽梅 黄永定 主编

SMT technology infrastructure and equipment



电子工业出版社
PUBLISHING HOUSE OF ELECTRONICS INDUSTRY

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

职业院校教学用书（电子类专业）

SMT 技术基础与设备 (第2版)

何丽梅 黄永定 主 编

電子工業出版社

Publishing House of Electronics Industry

北京 • BEIJING

内 容 简 介

本书系统阐述了表面组装元器件、表面组装材料、表面组装工艺、表面组装设备原理及应用等 SMT 基础内容。

在第 2 版的修订中特别强调了生产现场的技能性指导。针对 SMT 产品制造业的技术发展及岗位需求,详细介绍了表面组装技术的 SMB 设计与制造、焊锡膏印刷、点胶、贴片、波峰与再流焊接、检验、清洗等基本技能。

为解决学校实训条件不足和增加学生感性认识的需要,书中配置了较大数量的实物图片。本书可作为中等职业学校电子技术应用专业、电子材料与元器件制造专业的教材,也可作为其他相关专业的辅助教材或 SMT 产业工程技术人员的自学参考资料。

未经许可,不得以任何方式复制或抄袭本书的部分或全部内容。

版权所有,侵权必究。

图书在版编目(CIP)数据

SMT 技术基础与设备 / 何丽梅, 黄永定主编. —2 版. —北京: 电子工业出版社, 2011.7

职业院校教学用书. 电子类专业

ISBN 978-7-121-13786-0

I. ①S… II. ①何… ②黄… III. ①印刷电路—组装—中等专业学校—教材 IV. ①TN410.5

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2011) 第 106121 号

策划编辑: 杨宏利 (yhl@phei.com.cn)

责任编辑: 刘真平

印 刷: 北京市李史山胶印厂
装 订:

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: 17 字数: 435.2 千字

印 次: 2011 年 7 月第 1 次印刷

印 数: 3 000 册 定价: 32.00 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。

前 言

SMT 是一门包括元器件、材料、设备、工艺以及表面组装电路板设计与制造的系统性综合技术,是突破了传统的印制电路板通孔插装元器件方式而发展起来的第四代组装方法,也是电子产品能有效地实现“短、小、轻、薄”,多功能、高可靠、优质量、低成本的主要手段之一。而且,随着半导体元器件技术、材料技术、电子与信息技术等相关技术的飞速进步,SMT 的应用面还在不断扩大,其技术也在不断完善和深化发展之中。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组装中,成为世界电子整机组装技术的主流。近年来,与 SMT 的发展现状和趋势相应,与信息产业和电子产品制造飞速发展带来的对 SMT 的技术需求相应,我国电子制造业急需大量掌握 SMT 知识的专业技术人才。

为更好地满足 SMT 专业人才培养的系统性教学、培训所需,我们在第 1 版的基础上对《SMT 技术基础与设备》一书进行了改写与修订。本次修订听取了部分院校师生的意见与建议,考察了 SMT 电子产品生产企业,并对相关电子行业的用工需求进行了调研,编写中注意了教材的实用参考价值。与本书第 1 版相比较,充实了 SMT 工艺中的印刷、贴片、焊接、检测等关键工序的应用指导。

本教材针对 SMT 产品制造业的技术发展及岗位需求,详细阐述了 SMT 中的 PCB 设计与制造、焊锡膏印刷、贴片、焊接、清洗等技能型人才应该掌握的基本知识,特别强调了生产现场的工艺指导,同时也介绍了 SMT 设备的性能、操作方法及日常维护。为解决学校实训条件不足和增加学生的感性认识,书中配置了较大数量的实物图片。

本教材可作为中等职业技术学校电子技术应用、电子材料与元器件制造等专业的电子工艺课程教材,也可供从事 SMT 产业的工程技术人员自学和参考。

本教材在编写过程中参考了大量有关 SMT 技术方面的资料和杂志,同时也得到了电子产品制造企业工程技术人员在生产制程方面的具体指导,在此一并向各位作者和专家表示感谢。

本教材由吉林信息工程学校何丽梅、黄永定主编,何丽梅编写第 10 章、第 13 章,黄永定统稿。参与编写的还有侯洪波(第 1 章、第 9 章)、李晶(第 2 章)、苏伟明(第 4 章、第 5 章)、黄金颖(第 3 章、第 6 章)、马威(第 11 章、第 12 章),以及吉林机电工程学校的孟德华(第 7 章)、张先丽(第 8 章)等。本书由吉林信息工程学校施德江主审。

由于编者水平、经验有限,不足之处在所难免,真诚希望读者提出宝贵意见。

编 者

目 录

第 1 章 SMT 与 SMT 工艺	1
1.1 SMT 的发展	1
1.2 表面组装技术的优越性	5
1.2.1 SMT 的优点	5
1.2.2 SMT 和通孔插装技术的比较	6
1.3 SMT 的组成与 SMT 工艺的主要内容	7
1.3.1 SMT 的组成	7
1.3.2 SMT 工艺的主要内容	8
1.4 SMT 生产系统	8
1.4.1 SMT 的两类基本工艺流程	8
1.4.2 SMT 的元器件安装方式	9
1.4.3 SMT 生产系统的基本组成	11
1.5 思考与练习题	13
第 2 章 表面组装元器件	14
2.1 表面组装元器件的特点和种类	14
2.1.1 特点	14
2.1.2 种类	15
2.2 表面组装电阻器	15
2.2.1 SMC 固定电阻器	15
2.2.2 SMC 电阻排 (电阻网络)	18
2.2.3 SMC 电位器	19
2.3 表面组装电容器	20
2.3.1 SMC 多层陶瓷电容器	21
2.3.2 SMC 电解电容器	22
2.3.3 SMC 云母电容器	24
2.4 表面组装电感器	25
2.4.1 绕线型 SMC 电感器	26
2.4.2 多层型 SMC 电感器	27
2.4.3 SMC 滤波器	27
2.5 表面组装分立器件	29
2.5.1 SMD 二极管	29
2.5.2 SMD 晶体管	30
2.6 表面组装集成电路	31
2.6.1 SMD 封装综述	31

2.6.2	集成电路的封装形式	33
2.7	表面组装元器件的包装	37
2.8	表面组装元器件的选择与使用	39
2.8.1	对 SMT 元器件的基本要求	39
2.8.2	表面组装元器件的选择	40
2.8.3	使用 SMT 元器件的注意事项	40
2.8.4	SMT 器件封装形式的发展	41
2.9	思考与练习题	44
第 3 章	表面组装印制板的设计与制造	45
3.1	SMB 的特点与基板材料	45
3.1.1	SMB 的特点	45
3.1.2	基板材料	46
3.1.3	PCB 基材质量参数	48
3.1.4	铜箔种类与厚度	50
3.2	表面组装印制板的设计	51
3.2.1	设计的基本原则	51
3.2.2	常见的 PCB 设计错误及原因	53
3.3	SMB 的具体设计要求	54
3.3.1	整体设计	54
3.3.2	SMC/SMD 焊盘设计	59
3.3.3	元器件排列方向的设计	63
3.3.4	焊盘与导线连接的设计	64
3.4	印制电路板的制造	66
3.4.1	单面印制板的制造	66
3.4.2	双面印制板的制造	67
3.4.3	多层印制板的制造	70
3.4.4	PCB 质量验收	75
3.5	思考与练习题	75
第 4 章	焊锡膏及其印刷技术	77
4.1	焊锡膏	77
4.1.1	焊锡膏的化学组成	77
4.1.2	焊锡膏的分类	79
4.1.3	表面组装对焊锡膏的要求	79
4.1.4	焊锡膏的选用与使用注意事项	80
4.2	焊锡膏印刷的漏印模板	81
4.2.1	焊锡膏的印刷方法	81
4.2.2	漏印模板的结构与制造	82
4.2.3	模板窗口形状和尺寸设计	84
4.3	焊锡膏印刷机	86
4.3.1	焊锡膏印刷机的种类	86

4.3.2	自动印刷机的基本结构	88
4.3.3	主流印刷机的特征	91
4.4	焊锡膏印刷工艺	91
4.4.1	漏印模板印刷法的基本原理	91
4.4.2	印刷工艺流程	92
4.4.3	工艺参数的调节	95
4.4.4	焊锡膏印刷的缺陷、产生原因及对策	97
4.5	思考与练习题	99
第 5 章	贴片胶及其涂敷技术	100
5.1	贴片胶的分类	100
5.1.1	贴片胶的类型与组分	100
5.1.2	贴片胶的选用及 SMT 对贴片胶的要求	103
5.1.3	包装	104
5.2	贴片胶涂敷工艺	104
5.2.1	贴片胶的涂敷方法	104
5.2.2	分配器点涂工艺过程与参数设置	106
5.2.3	使用贴片胶的注意事项	109
5.2.4	点胶工艺中常见的缺陷与解决方法	110
5.3	贴片胶涂布设备简介	111
5.4	思考与练习题	113
第 6 章	SMT 贴片工艺及贴片机	114
6.1	自动贴片机的结构与技术指标	114
6.1.1	自动贴片机的分类	114
6.1.2	自动贴片机的主要结构	117
6.1.3	贴片机的主要技术指标	122
6.2	贴片质量控制与要求	124
6.2.1	对贴片质量的要求	124
6.2.2	贴片过程质量控制	125
6.2.3	全自动贴片机操作指导	128
6.2.4	贴片缺陷分析	130
6.3	手工贴装 SMT 元器件	131
6.4	思考与练习题	133
第 7 章	波峰焊与波峰焊设备	134
7.1	电子产品焊接工艺原理和特点	134
7.1.1	锡焊原理	134
7.1.2	焊接材料	136
7.1.3	表面组装焊接特点	138
7.2	波峰焊工艺	139
7.2.1	波峰焊工艺过程	140
7.2.2	波峰焊工作原理	141

7.3	波峰焊机的类型及基本操作规程	144
7.3.1	波峰焊机的类型	144
7.3.2	基本操作规程	146
7.4	波峰焊质量缺陷及解决办法	148
7.5	思考与练习题	152
第8章	再流焊与再流焊设备	153
8.1	再流焊工作原理	153
8.2	再流焊炉的结构和技术指标	155
8.2.1	再流焊炉的主要结构	155
8.2.2	再流焊炉的主要技术指标	157
8.3	再流焊种类及加热方式	157
8.3.1	红外线辐射再流焊	157
8.3.2	红外热风再流焊	158
8.3.3	气相再流焊	159
8.3.4	激光再流焊	162
8.3.5	通孔红外再流焊工艺	162
8.3.6	各种再流焊设备及工艺性能比较	165
8.4	再流焊炉操作指导与焊接缺陷分析	167
8.4.1	全自动热风再流焊炉操作指导	167
8.4.2	再流焊常见质量缺陷及解决方法	169
8.4.3	再流焊与波峰焊均会出现的焊接缺陷	173
8.5	思考与练习题	175
第9章	SMT 手工焊接与实训	177
9.1	SMT 的手工焊接与拆焊	177
9.1.1	手工焊接 SMT 元器件的要求与条件	177
9.1.2	SMT 元器件手工焊接与拆焊工艺	180
9.2	实训——SMT 电调谐调频收音机组装	184
9.2.1	实训目的	184
9.2.2	实训场地要求与实训器材	184
9.2.3	实训步骤及要求	186
9.2.4	调试及总装	189
9.2.5	实训报告	190
	附：实训产品工作原理简介	190
9.3	思考与练习题	191
第10章	检测与返修工艺	193
10.1	来料检测	193
10.2	工艺过程检测	194
10.2.1	人工目视检验	194
10.2.2	自动光学检测 (AOI)	198
10.2.3	自动 X 射线 (X-Ray) 检测 (AXI)	202

10.3	ICT 在线测试	204
10.3.1	针床式在线测试仪	204
10.3.2	飞针式在线测试仪	206
10.4	功能测试 (FCT)	208
10.5	SMA 返修技术	208
10.5.1	SMT 电路板维修工作站	209
10.5.2	返修的基本过程	209
10.5.3	BGA、CSP 芯片的返修	211
10.6	思考与练习题	214
第 11 章	清洗剂与清洗工艺	215
11.1	清洗的作用与分类	215
11.2	清洗剂	216
11.2.1	清洗剂的化学组成	216
11.2.2	清洗剂的选择	217
11.3	清洗技术	217
11.3.1	批量式溶剂清洗技术	217
11.3.2	连续式溶剂清洗技术	219
11.3.3	水清洗工艺技术	220
11.3.4	超声波清洗	222
11.4	免清洗焊接技术	225
11.5	思考与练习题	226
第 12 章	SMT 的静电防护技术	227
12.1	静电及其危害	227
12.1.1	静电的产生	227
12.1.2	静电放电 (ESD) 对电子工业的危害	228
12.2	静电防护	229
12.2.1	静电防护方法	229
12.2.2	常用静电防护器材	231
12.3	SMT 制程中的静电防护	233
12.3.1	生产线内的防静电设施	233
12.3.2	管理与维护	235
12.4	思考与练习题	236
第 13 章	SMT 的无铅工艺制程	237
13.1	无铅焊料	237
13.1.1	铅的危害及“铅禁”的提出	237
13.1.2	无铅焊料应具备的条件及其定义	239
13.2	无铅焊料的研发	241
13.2.1	几种实用的无铅焊料	241
13.2.2	无铅焊料引发的新课题	243

13.3 无铅波峰焊	244
13.3.1 无铅焊料的选择	245
13.3.2 无铅波峰焊工艺对波峰焊机的要求	245
13.3.3 无铅波峰焊工艺对生产要素的影响	246
13.4 无铅再流焊	248
13.4.1 无铅再流焊工艺要素	248
13.4.2 无铅再流焊工艺中的常见问题	251
13.5 无铅手工焊接	253
13.6 思考与练习题	256
附录 本书部分专业英语词汇	257
参考文献	261

第1章 SMT 与 SMT 工艺

SMT 是英文“Surface Mount Technology”的简称，在我国电子行业标准中称为表面组装技术。20 世纪 70 年代，以发展消费类产品著称的日本电子行业首先将 SMT 在电子制造业推广开来，并很快推出 SMT 专用焊料、专用设备（如贴片机、再流焊炉、印刷机等）和各种片式元器件，极大地丰富了 SMT 的内涵，也为 SMT 的发展奠定了坚实的基础。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。因此，SMT 作为新一代电子工艺技术已广泛地应用于各个领域的电子产品装联中，目前已成为世界电子整机组装技术的主流。

SMT 是一门包括元器件、材料、设备、工艺以及表面组装电路板设计与制造的系统性综合技术；是突破了传统的印制电路板通孔插装元器件方式而发展起来的第四代组装方法；是现在最热门的电子产品组装换代新观念，也是电子产品能有效地实现“短、小、轻、薄”，多功能、高可靠、优质量、低成本的主要手段之一。

1.1 SMT 的发展

1. 表面组装技术的发展简史

20 世纪 60 年代，在电子表行业及军用通信中，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器件，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，这就是今天称为“表面组装技术”的雏形。

从 20 世纪 60 年代到现在，SMT 的发展历经了三个阶段：

第一阶段的主要技术目标是把小型化的片式元器件应用在混合电路（我国称为厚膜电路）的生产制造之中，从这个角度来说，SMT 对集成电路的制造工艺和技术发展做出了重大的贡献。同时，SMT 开始大量使用在民用的石英电子表和电子计算器等产品中。

1975 年以后，SMT 的发展进入第二阶段，为促使电子产品迅速小型化、多功能化，SMT 技术开始广泛用于摄像机、耳机式收音机和电子照相机等产品中。同时，用于表面组装的自动化设备被大量研制开发出来，片状元器件的安装工艺和支撑材料也已经成熟，为 SMT 的高速发展打下了基础。

1986 年进入第三阶段，主要目标是降低成本，进一步改善电子产品的性能价格比。随着 SMT 技术的成熟，工艺可靠性的提高，应用在军事和投资类（汽车、计算机、通信设备、工业设备）领域的电子产品迅速发展，同时大量涌现的自动化表面装配设备及工艺手段，使片式元器件在 PCB 上的使用量高速增长，加速了电子产品总成本的下降。



目前, SMT 技术正在沿着以下趋势发展:

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, FC 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, 就像表面贴装元器件取代通孔元器件一样, 叠层芯片 SOC、SIP 器件将会被广泛使用。

② 与球栅阵列式器件相配套的是 PCB 技术, 包括基材的制造技术也将出现更新, 如今高 T_g 、低 CTE 的基材不断推出, 特别是积成法制造 (BUM) 的 PCB 技术每年以 17% 的速度在增长, 用 BUM 制造的 PCB, 其 CTE 可达到 $6 \times 10^{-6} \text{ } ^\circ\text{C}$, 这意味着与片式元器件的 CTE 同等级别, BUM 法制造的 PCB 将有力支撑着 FC 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在 2006 年 7 月 1 日生效, 这意味着全世界电子产品组装进入无铅化时代; PCB 制造的过程中不再使用数种因焚化而产生致癌物质的阻燃剂, 在焊剂使用中, 无 VOC 焊剂的应用也提到议事日程上来。

④ 0201 元器件的使用将对印刷机、贴片机、再流焊炉技术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。不仅在质量上支持 6S 标准, 而且向无人化管理迈进。

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。

2. 表面组装元器件的发展过程

表面组装技术的重要基础之一是表面组装元器件, 其发展需求和发展程度也主要受表面组装元器件 SMC/SMD 发展水平的制约。为此, SMT 的发展史与 SMC/SMD 的发展史基本是同步的。

20 世纪 60 年代, 欧洲飞利浦公司研制出可表面组装的纽扣状微型器件供手表工业使用的小外形集成电路 (SOIC)。它的引线分布在器件两侧, 呈鸥翼形, 引线的中心距为 1.27 mm (50 mil , $1 \text{ mil} = 0.001 \text{ in} = 0.0254 \text{ mm}$), 引线数可多达 28 针以上。20 世纪 70 年代初期, 日本开始使用方形扁平封装的集成电路 (QFP) 来制造计算器。QFP 的引线分布在器件的四边, 呈鸥翼形, 引线的中心距最小仅为 0.65 mm (25 mil) 或更小, 而引线数可达几百针。

20 世纪 70 年代研制出无引线陶瓷芯片载体 (LCCC) 全密封器件, 它以分布在器件四边的金属化焊盘代替引线。进入 20 世纪 90 年代后, 0.3 mm 细引线间距 SMC/SMD 的组装技术和组装设备趋向成熟。

美国所研制的塑封有引线芯片载体 (PLCC) 器件, 引线分布在器件的四边, 引线中心



距一般为 1.27mm (50mil)。

20 世纪 90 年代初期, CSP 以其芯片面积与封装面积接近相等, 可进行与常规封装 IC 相同的处理和试验, 可进行老化筛选, 制造成本低等特点脱颖而出。

为适应 IC 集成度的增大使得同一 SMD 的输入/输出数, 也即引线数大增的需求, 将引线有规则分布在 SMD 整个贴装表面而成栅格阵列型的 SMD, 它也从 20 世纪 90 年代开始发展并很快得以普及应用, 其典型产品为球形栅格阵列 (BGA) 器件。

由此可见, 表面安装元器件的不断缩小和变化, 促进了组装技术的不断发展, 而组装技术在提高组装密度的同时又向元器件提出了新的技术要求和齐套性要求。可以说二者是相互依存, 相互促进而发展的。

作为第四代电子装联技术的 SMT, 已经在现代电子产品, 特别是在尖端科技电子设备、军用电子设备的微型化、轻量化、高性能、高可靠性发展中发挥了极其重要的作用。为了适应更高密度、多层互连和立体组装的要求, 目前 SMT 已处于微组装技术 (MPT) 新阶段。

MCM 是 20 世纪 90 年代以来发展较快的一种先进的混合集成电路, 它把几块 IC 芯片组装在一块电路板上, 构成功能电路块, 称为多芯片模块 (Multi Chip Module, MCM)。由于 MCM 技术将多个裸芯片不加封装, 直接装于同一基板并封装于同一壳体内, 因此, 面积只为 SMT 的 $1/6 \sim 1/3$, 重量只有 SMT 的 $1/3$ 。

以 MCM、3D 为核心的 MPT 是在高密度、多层互连的 PCB 上, 用微型焊接和封装工艺将微型元器件 (主要是高集成度 IC) 通过高密度组装、立体组装等组装方法进行组装, 形成的高密度、高速度和高可靠性的主体结构微电子产品 (组件、部件、子系统或系统)。这种技术是当今微电子技术的重要组成部分, 特别是在尖端高科技领域更具有十分重要的意义, 在航天、航空、雷达、导航、电子干扰系统、抗干扰系统、通信、巨型计算机、敌我识别电子装备等方面都具有非常重要的应用前景。

可以看出, 无论片式元器件的封装形式, 还是 SMT 设备与工艺, 都在支持 PCB 向实现高密度互连方向发展, 并适应信息技术发展的需求。网络、卫星通信将更为广泛地应用; 各种工业控制系统和设备将会做得更小, 并且有功耗低和维修简单的优点; 计算机和办公外设将更快发展和更加可靠; 医疗仪器将具有更高的精密性。因此, SMT 是信息产业迅速壮大和突飞猛进的主要支柱, 在 21 世纪内以至更长的一个历史时期中, SMT 仍是电子产品组装的主流和基础技术。

3. SMT 技术发展的意义

从狭义上讲, SMT 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的互连; 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”, 将表面组装工艺称为“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。

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。

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 研究所牵头的研究机构, 从事组装技术绿色化的研究, 包括无铅焊料, 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。同时, 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, 以战略眼光制订本国的发展计划。

4. 我国 SMT 技术的发展与现状

中国的电子科技人员从 20 世纪 70 年代末和 80 年代初就开始跟踪国外 SMT 技术的发展, 并在小范围内应用 SMT 技术。中国最早规模化引进 SMT 生产线起于 20 世纪 80 年代初期。其背景是中国彩色电视机工业技术开始引进。为其配套的彩电调谐器, 如松下彩电调谐器由 A 型转向 B 型电子调谐器, 而新型调谐器大量采用片式元器件。在当时的计划经济指导下, 国内彩电调谐器厂开始引进 SMT 生产线, 引进的机型有松下、三洋、TESCON、TDK 等。

20 世纪 90 年代初期, 中国录像机生产线的引进掀起了另一次 SMT 引进高潮。以松下录像机为例, 从 L15 开始大量采用片式元器件。这一期间大连华录、北京电视设备厂、上海录音器材厂、南京 714 厂、夏新等一批录像机生产厂家开始引进 SMT 生产线。据国外某调查机构统计, 至 1997 年年底为止, 中国贴片机的保有量为 3 700 台, SMT 生产线总数在 1 500~2 000 条之间。

进入 21 世纪以来, 中国电子信息产品制造业加快了发展步伐, 每年都以 20% 以上的速度高速增长, 成为国民经济的支柱产业, 整体规模连续三年居全球第 2 位。随着中国电子制造业的高速发展, 中国的 SMT 技术及产业也同步迅猛发展, 整体规模也居世界前列。

中国 SMT/EMS 产业主要集中在东部沿海地区, 其中广东、福建、浙江、上海、江苏、山东、天津、北京及辽宁等省市 SMT/EMS 的总量占全国 80% 以上。按地区分, 以珠三角及其周边地区最强, 长三角地区次之, 环渤海地区第三。环渤海地区 SMT/EMS 总量虽与珠三角和长三角相比有较大差距, 但增长潜力巨大, 发展势头更强。例如, 位于北京地区的某外资公司工厂 2005 年购买贴片机总额达 1 500 万美元。国家有关部门公布, 位于天津的滨海新区继深圳、上海浦东之后将成为我国经济增长的第三极。不久的将来, 我国 SMT/EMS 产业必然形成珠三角、长三角、环渤海地区三足鼎立之势。

中国 SMT/EMS 产业之所以出现如此大好形势, 主要是中国政府有关部门高度重视电子信息产品制造业的发展, 制定了良好的发展政策、引进政策。世界电子信息产品制造业发达的国家和地区, 如美、日、韩、欧洲和我国台湾地区, 把电子制造业往中国内地转移是其重要因素。以在 SMT/EMS 领域排名世界前 10 名的企业为例, 像 FOXCONN、



FLEXTRONICS、SOLECTRON 等一批企业均进入中国内地设厂。

2004—2005 年中国共引进贴片机 35 400 余台, 年引进量占全球同期贴片机产量的 40% 以上。全国现有贴片机保有量应在 10 万台左右。作为 SMT 生产线的龙头设备, 印刷机年采购量应在 4 500~5 000 台之间, 其中 80% 是采购进口产品。作为 SMT 生产线后道设备的再流焊机, 年采购量在 6 000~7 000 台。由于 2006 年 7 月 1 日起欧盟开始实施 RoHS 指令, 2007 年 3 月 1 日起国家七部委颁布的《电子信息产品污染控制管理办法》施行, 在再流炉增购总量中, 很大一部分是采购无铅再流焊炉以取代旧式再流焊炉。目前中国 SMT 生产线已达几万条。

在 SMT 大生产方面, 得益于我国东南沿海地区电子工业的高速发展, 我国电信产业巨子华为、中兴、东方、大唐和巨龙等公司称雄当地, 大大促进了 SMT 事业的迅速发展。目前国内自行设计的电子产品, 片式化率达到 80% 以上, 在大型 PCB 贴片、COB 技术、双面再流焊、通孔再流焊、激光焊及 MCM 方面都能达到国外同类水平。中国已成为全球最大、最重要的 SMT 市场。

1.2 表面组装技术的优越性

1.2.1 SMT 的优点

1. 组装密度高

片式元器件比传统穿孔元器件所占面积和质量大为减小。采用 SMT 可使电子产品体积缩小 60%, 质量减轻 75%。通孔插装元器件按 2.54mm 网格安装元器件, 而 SMT 组装元器件网格从 1.27mm 发展到目前的 0.63mm 网格, 个别达 0.5mm 网格安装元器件, 密度更高。例如, 一个 64 引脚的 DIP 集成电路, 它的组装面积为 25mm×75mm; 而采用引线间距为 0.63mm 的 QFP, 同样引线数量的组装面积为 12mm×12mm, 仅为通孔技术的 1/12。

2. 可靠性高

片式元器件的可靠性高; 器件小而轻, 故抗振能力强; 采用自动化生产, 贴装与焊接可靠性高, 一般不良焊点率小于百万分之十, 比通孔插装元器件波峰焊接技术低一个数量级; 用 SMT 组装的电子产品 MTBF (平均无故障时间) 为 25 万小时, 目前几乎有 90% 的电子产品采用 SMT 工艺。

3. 高频特性好

由于片式元器件贴装牢固, 器件通常为无引线或短引线, 降低了寄生电感和寄生电容的影响, 提高了电路的高频特性, 采用片式元器件设计的电路最高频率达 3GHz, 而采用通孔元器件的仅为 500MHz。采用 SMT 也可缩短传输延迟时间, 可用于时钟频率为 16MHz 以上的电路。若使用 MCM 技术, 计算机工作站的高端时钟频率可达 100MHz, 由寄生电抗引起的附加功耗可降至 1/3~1/2。



4. 降低成本

印制板使用面积减小, 面积为通孔技术的 1/12, 若采用 CSP 安装则其面积还要大幅度下降。片式元器件发展很快, 促使成本迅速下降, 一个片式电阻已同通孔电阻的价格相当, 约合人民币几分钱。SMT 技术简化了电子整机产品的生产工序, 降低了生产成本。在印制板上安装时, 元器件的引线不用整形、打弯、剪短, 因而使整个生产过程缩短, 生产效率得到提高。同样功能电路的加工成本低于通孔插装方式, 一般可使生产总成本降低 30%~50%。以下几点也是促使 SMT 生产成本下降的因素。

- ① 印制板上钻孔数量减少, 节约返修费用;
- ② 由于频率特性提高, 减少了电路调试费用;
- ③ 由于片式元器件体积小、质量小, 减少了包装、运输和储存费用。

5. 便于自动化生产

目前通孔安装印制板要实现完全自动化, 还需扩大 40%原印制板面积, 这样才能使自动插件的插装头将元器件插入, 否则没有足够的空间间隙, 将碰坏零件。自动贴片机采用真空吸嘴吸放元器件, 真空吸嘴小于元器件外形, 有利于提高安装密度, 便于自动化生产。

当然, SMT 大生产中也存在一些问题, 如元器件上的标称数值看不清, 维修工作困难; 维修调换器件需要专用工具; 元器件与印制板之间热膨胀系数一致性差。但这些问题均是发展中的问题, 随着专用拆装设备的出现, 以及新型低膨胀系数印制板的出现, 均已不再成为阻碍 SMT 深入发展的障碍。

1.2.2 SMT 和通孔插装技术的比较

SMT 工艺技术的特点可以通过其与传统通孔插装技术 (THT) 的差别比较体现。从组装工艺技术的角度分析, SMT 和 THT 的根本区别是“贴”和“插”。二者的差别还体现在基板、元器件、组件形态、焊接方法和组装工艺各个方面。

电子电路装联技术的发展主要受元器件类型的支配, 之所以出现“插”和“贴”这两种截然不同的电路模块组装技术, 是由于采用了外形结构和引脚形式完全不同的两种类型的电子元器件。由于 SMT 生产中采用“无引线或短引线”的元器件, 故从组装工艺角度分析, 表面组装和通孔插装技术的根本区别一是所用元器件、PCB 的外形不完全相同; 二是前者是“贴装”, 即将元器件贴装在 PCB 焊盘表面, 而后者则是“插装”, 即将长引脚元器件插入 PCB 焊盘孔内。前者是预先将焊料 (焊锡膏) 涂放在焊盘上, 贴装元器件后一次加热完成焊接过程, 而后者是通过波峰焊机利用熔融的焊料流, 实现升温与焊接。THT 与 SMT 的区别如表 1-1 所示。

表 1-1 THT 与 SMT 的区别

类 型	THT	SMT
元 器 件	双列直插或 DIP; 针阵列 PGA; 有引线电阻、电容	SOIC、SOT、LCCC、PLCC、QFP、BGA、CSR 尺寸比 DIP 要小许多倍; 片式电阻、电容
基 板	印制电路板采用 2.54mm 网格设计, 通孔孔径为 $\phi 0.8 \sim 0.9\text{mm}$	印制电路板采用 1.27mm 网格或更细设计, 通孔孔径为 $\phi 0.3 \sim 0.5\text{mm}$, 布线密度要高 2 倍以上

续表

类 型	THT	SMT
焊接方法	波峰焊	再流焊
PCB 面积	大	小, 缩小比约为 1:3~1:10
组装方法	穿孔插入	表面安装 (贴装)
自动化程度	自动插装机	自动贴片机, 生产效率高于自动插装机

1.3 SMT 的组成与 SMT 工艺的主要内容

1.3.1 SMT 的组成

表面组装技术 (SMT) 通常包括表面组装元器件、表面组装电路板及图形设计、表面组装工艺材料——焊锡膏及贴片胶、表面组装设备、表面组装焊接技术 (包括双波峰焊、再流焊、气相焊、激光焊)、表面组装测试技术、清洗技术及表面组装大生产管理等多方面内容, 如图 1-1 所示。这些内容可以归纳为三个方面: 一是设备, 人们称它为 SMT 的硬件; 二是装联工艺, 人们称它为 SMT 的软件; 三是电子元器件, 它既是 SMT 的基础, 又是 SMT 发展的动力, 它推动着 SMT 专用设备和装联工艺不断更新和深化。

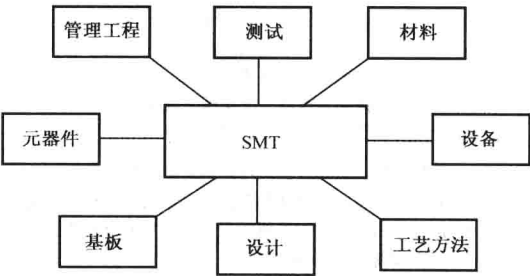


图 1-1 SMT 的组成

表面组装技术是一组技术密集、知识密集的技术群, 涉及元器件封装、电路板制造、印制板设计、印刷技术、自动控制技术、软钎焊技术、物理、化工、新型材料等多种专业和学科。在设备方面, 许多机器都采用计算机控制, 由微处理器、图像识别系统、传感器、伺服系统组成控制系统。以贴片机为例, 一般贴片机采用焊接结构为基础件, 采用大量灵敏元器件如滚动丝杆、滑动直线导轨、磁性流体阻尼器件等, 巧妙地组装上气动系统、真空系统、电气控制与机械式凸轮分配轴系统。它涉及机械学的各个领域, 中高速贴片机运行设备速度快, 振动频率高, 一旦紧固松动, 传感器移位, 结构件错位, 任何一个电接触浮动都会导致设备不能正常运行。事故原因需从机、光、电几个方面寻找, 故要求 SMT 人员机电并通, 具有丰富的机电一体化学科知识。在新型材料方面, 焊锡膏和贴片胶都是触变性质流体, 它们引起的缺陷占 SMT 总缺陷的 60%, 只有熟练掌握这些材料的知识才能保证 SMT 质量。SMT 还涉及多种装联工艺, 如印刷工艺、点胶工艺、贴放工艺、固化工艺, 只要其中任一环节工艺参数漂移, 都会导致出现不良产品。SMT 工艺人员必须具有丰富的工艺知识, 随时监视工艺状况, 预测发展动向。