

高等职业教育规划教材·微电子技术专业系列

SMT

生产工艺

主 编 吕俊杰
副主编 梁 丹 周汉武
孙晓云 戴 月
主 审 阮 艳

内容新颖实用

专家现场指导

操作完全图解



电子工业出版社

PUBLISHING HOUSE OF ELECTRONICS INDUSTRY

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



欢迎登录 **免费** 获取本书教学资源
<http://www.hxedu.com.cn>

高等职业教育规划教材·微电子技术专业系列

- 《SMT生产工艺》(吕俊杰)
- 《SMT生产技术》(阮艳)
- 《SMT生产设备》(吕俊杰)
- 《SMT生产管理》(王海)
- 《SMT表面组装技术》(杜中一)



策划编辑: 徐建军
责任编辑: 侯丽平
封面设计: 欧美尼



本书贴有激光防伪标志, 凡没有防伪标志者, 属盗版图书。

ISBN 978-7-121-14241-3



9 787121 142413 >

定价: 32.00元

高等职业教育规划教材·微电子技术专业系列

SMT 生产工艺

主 编 吕俊杰

副主编 梁 丹 周汉武

孙晓云 戴 月

主 审 阮 艳

電子工業出版社

Publishing House of Electronics Industry

北京·BEIJING

内 容 简 介

本书以 SMT 生产工艺为主线,以理论知识+实践项目的方式组织教材内容。

本书内容包括: SMT 技术、电子元器件的识别、工艺材料的认知与应用、表面组装用印制电路板、电子产品组装基本技能、SMT 标准化与管理。

本书可作为高职高专院校电子类专业教材,也可作为 SMT 专业技术人员与电子产品设计制造工程技术人员的参考用书。

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

SMT 生产工艺 / 吕俊杰主编. —北京: 电子工业出版社, 2011.8

高等职业教育规划教材·微电子技术专业系列

ISBN 978-7-121-14241-3

I. ①S… II. ①吕… III. ①印刷电路—生产工艺—高等职业教育—教材 IV. ①TN410.5

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2011)第 153665 号

策划编辑: 徐建军

责任编辑: 侯丽平

印 刷: 北京京师印务有限公司

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 8 月第 1 次印刷

印 数: 4 000 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 zlts@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 生产工艺是 SMT 专业的核心课程之一,本课程以 SMT 生产工艺为主线,全面贯彻职教思想,体现了工学结合的理念,紧密结合生产实际,按照“表面组装工艺流程”进行教学,体现了“工作过程导向”的特点,以达到培养“综合职业能力”的教学目标。

表面组装技术(简称 SMT)作为新一代电子装联技术已经渗透到各个领域,SMT 贴片产品具有结构紧凑、体积小、耐振动、抗冲击、高频特性好、生产效率高优点。SMT 技术在电路板装联技术中已占据了领先地位。

我国 SMT 呈现快速发展的态势,产业规模跃居世界第二,增长率连续几年高居世界第一,电子信息产品出口量居世界第一。市场上越来越多的电子产品都标有“采用表面贴装工艺”,冠以 SMT 名称的大大小的展示会、研讨会此起彼伏;各种有关 SMT 的杂志、论文集以及培训班如雨后春笋;“SMT”这个几年前鲜为人知的专业术语逐渐被越来越多的人认知,这些都表明中国的 SMT 处于空前大发展时期。

在 SMT 领域排名世界前十的企业,像 FOXCONN、FLEXTRONICS、SOLETRON 等一批知名企业均进入中国内地设厂,每年需求大量的 SMT 行业从业人员。据悉,已经开设 SMT 专业的部分大专和高职院校毕业生供不应求,毕业分配异常火爆,甚至学生尚未毕业就已预定一空,反映了 SMT 行业人才缺乏的实际情况。但由于 SMT 技术在我国刚刚兴起,因此缺乏与之相适应的专门针对高职教育的系列教材。为了满足培养 SMT 专业技术人员所需,我们组织编写了有关 SMT 的系列丛书。

本书主要内容包括:SMT 技术、电子元器件的识别、工艺材料的认知与应用、表面组装用印制电路板、电子产品组装基本技能、SMT 标准化与管理。

参加编写本书的作者都是全国各所职业院校中长期从事 SMT 或相关专业教学的一线骨干教师及著名企业的生产工程师,对 SMT 技术及行业发展十分了解。本书力求完整地讲述 SMT 生产工艺的各个基本环节,注重教材的实用性。在内容上接近于 SMT 行业的实际生产情况及 SMT 企业对岗位的需求。通过阅读本书,读者能够方便地认识到 SMT 行业的基本工艺流程。本书可作为电子专业、微电子专业及自动化专业等与 SMT 相关的其他专业的高等职业技术教育教材或高等专科学校教材。

本书在编写过程中参考了大量 SMT 设备方面的杂志和书籍,同时还得到了富士康科技集团 SMT 技委会的有关专家和工程技术人员的大力协助,在此表示衷心感谢。

本书由武汉职业技术学院的吕俊杰副教授担任主编,由武汉职业技术学院的梁丹、武汉铁路职业技术学院的孙晓云、武汉交通职业学院的周汉武和戴月担任副主编,由阮艳主审,参加编写的还有武汉职业技术学院的黄琳莉,武汉交通职业学院的何晓鸿、王钢,富士康科技集团的井飞鹏、张军义、孙政、范小芳,武汉世纪同洲通信技术有限公司的蒋太全、周研等,在此对他们的辛勤劳动表示衷心感谢。

由于 SMT 技术正处在不断发展和完善过程中,资料的时效性很强,加上编者水平、经验有限,错误与不当之处在所难免,恳请各位读者批评指正。

编 者

2011 年 5 月

目 录

项目 1 SMT 技术	(1)
任务 1 SMT 的演变历程	(1)
1.1.1 SMT 诞生的历史背景	(1)
1.1.2 SMT 的发展历程	(2)
1.1.3 SMT 将逐步取代 THT 的原因	(3)
任务 2 什么是 SMT	(4)
1.2.1 SMT 的术语	(4)
1.2.2 SMT 的组成	(8)
1.2.3 SMT 工艺的分类	(9)
1.2.4 SMT 三大关键工序	(10)
1.2.5 SMT 的优点	(13)
任务 3 SMT 的发展趋势	(14)
1.3.1 SMC/SMD 的发展趋势	(14)
1.3.2 表面贴装设备的发展趋势	(16)
1.3.3 表面组装电路板的发展趋势	(17)
任务 4 认识 SMT 生产线	(18)
1.4.1 SMT 生产线的组成	(18)
1.4.2 SMT 生产现场 ESD 防护	(19)
思考与习题	(21)
项目 2 电子元器件的识别	(22)
任务 1 无源电子元器件的识别	(24)
2.1.1 贴片式电阻器的识别	(24)
2.1.2 贴片式电容器的识别	(34)
2.1.3 贴片式电感器的识别	(49)
任务 2 有源电子元器件的识别	(54)
2.2.1 二极管	(56)
2.2.2 晶体三极管	(60)
2.2.3 集成电路	(63)
任务 3 机电元件的识别	(74)
思考与习题	(81)
项目 3 工艺材料的认知与应用	(83)
任务 1 认知焊锡和焊锡膏	(84)
3.1.1 焊锡	(84)
3.1.2 焊锡膏	(88)
任务 2 认知助焊剂和清洗剂	(97)
3.2.1 助焊剂	(98)
3.2.2 清洗剂	(107)

任务 3 认知贴片胶和导电黏结剂	(112)
3.3.1 贴片胶	(112)
3.3.2 导电黏结剂	(120)
思考与习题	(127)
项目 4 表面组装用印制电路板	(128)
任务 1 掌握表面组装印制电路板基础知识	(128)
4.1.1 SMB 的特点	(129)
4.1.2 SMB 的基板材料	(130)
4.1.3 关于 SMB 设计的要求	(135)
任务 2 认知印制电路板制造工艺流程	(148)
4.2.1 单面印制电路板的制造工艺	(148)
4.2.2 双面印制电路板的制造工艺	(149)
4.2.3 多层印制电路板的制造工艺	(152)
4.2.4 印制电路板质量验收	(156)
任务 3 无铅技术、厚膜混合集成电路	(157)
4.3.1 无铅技术简介	(157)
4.3.2 厚膜混合集成电路技术	(161)
思考与习题	(164)
项目 5 电子产品组装基本技能	(165)
任务 1 电子产品组装基础	(165)
5.1.1 组装工艺流程及操作技能要求	(165)
5.1.2 组装流程中技术文件的阅读	(166)
任务 2 组装的准备工序	(171)
5.2.1 元器件的质量检验和筛选	(171)
5.2.2 元器件的引线镀锡	(173)
5.2.3 元器件的引线成型	(174)
5.2.4 导线的加工	(176)
任务 3 元器件的安装与焊接	(177)
5.3.1 焊接技术	(177)
5.3.2 通孔插装元器件的安装与焊接	(187)
5.3.3 表面组装件的安装与焊接	(197)
5.3.4 元器件的焊接质量检验与拆焊	(203)
任务 4 电子产品整机布线、机械安装及整机总装	(209)
5.4.1 整机布线	(209)
5.4.2 整机机械安装	(214)
5.4.3 整机总装	(217)
任务 5 整机的调试、检验与防护	(219)
5.5.1 整机的质量检查	(219)
5.5.2 整机的调试与防护	(220)
思考与习题	(226)

项目 6 SMT 标准化与管理	(228)
任务 1 SMT 标准化的认识	(228)
6.1.1 认知 ISO 系列标准	(228)
6.1.2 SMT 标准化应用	(231)
任务 2 SMT 工艺管理	(235)
6.2.1 认知 SMT 工艺及管理	(236)
6.2.2 SMT 生产人员管理	(237)
6.2.3 SMT 生产设备管理	(240)
6.2.4 SMT 物料管理	(243)
6.2.5 SMT 生产制程方式管理	(249)
6.2.6 SMT 生产现场管理	(254)
任务 3 SMT 生产中的质量管控	(255)
6.3.1 认知 SMT 生产中的质量管控	(255)
6.3.2 常见品检不良的诊断与处理	(256)
思考与习题	(261)

项目 1 SMT 技术

SMT (Surface Mounting Technology), 中文翻译有多个版本: 表面组装技术、表面贴装技术和表面贴片技术等, 它是新一代电子组装技术 (如图 1-1 所示)。它将传统的电子元器件压缩成为体积只有原来的几十分之一的器件, 从而实现了电子产品组装的高密度、高可靠、小型化、低成本, 以及生产的自动化。

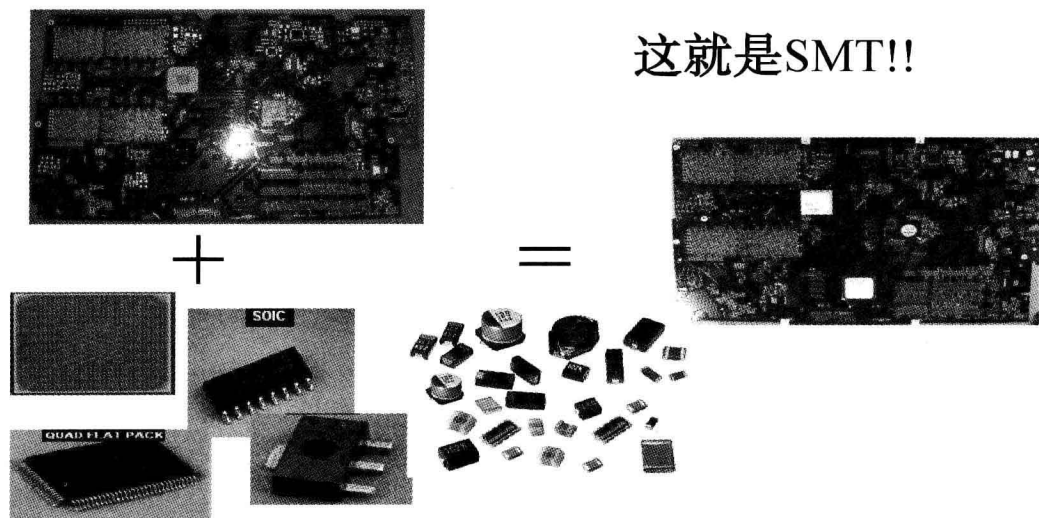


图 1-1 SMT 技术

这种小型化的元器件称为 SMD 器件、SMC 器件或片式器件。将元器件装配到印制电路板或其他基板上的工艺方法称为 SMT 工艺。相关的组装设备则称为 SMT 设备。

目前, 先进的电子产品, 特别是计算机及通信类电子产品, 已普遍采用 SMT。国际上 SMD 器件产量逐年上升, 而传统器件产量逐年下降, 因此随着时间的推移, SMT 将越来越普及。

任务 1 SMT 的演变历程

任务要点:

- ◇ 了解 SMT 的演变历程
- ◇ 了解 SMT 的特点

1.1.1 SMT 诞生的历史背景

20 世纪 60 年代以来, 电子应用技术的发展表现出以下三个显著的特征。

(1) 智能化: 使信号从模拟量转换为数字量, 并用计算机进行处理。

(2) 多媒体化: 从文字信息交流向声音、图像信息交流的方向发展, 使电子设备更加人性化、更加深入人们的生活与工作。

(3) 网络化: 用网络技术把独立系统连接起来, 高速、高频的信息传输使整个单位、地区、国家, 以至全世界实现资源共享。

这种发展趋势和市场需求对电子组装技术提出了如下要求。

(1) 高密度化: 单位体积电子产品处理信息量的提高。

(2) 高速化: 单位时间内处理信息量的提高。

(3) 标准化: 用户对电子产品多元化的需求, 使少品种、大批量生产转化为多品种、小批量生产, 这样必然对元器件及组装技术提出更高的标准化要求。

这些要求迫使对在通孔基板上插装电子元器件的工艺方式即 THT (Through Hole Technology, 通孔插装技术) 进行革命, 从而导致电子产品的组装技术逐步地转向 SMT 技术 (如图 1-2 所示)。

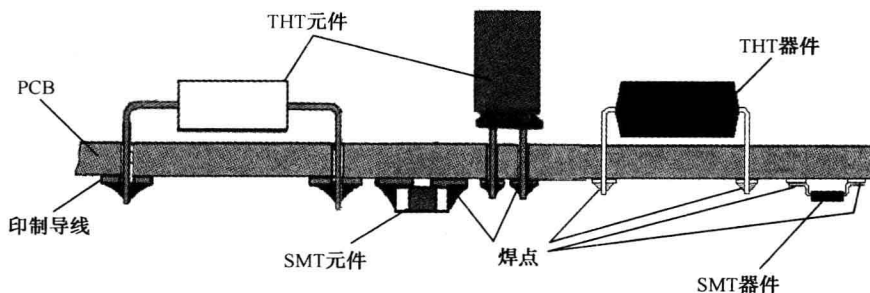


图 1-2 THT 组件与 SMT 组件混装的工艺方式

1.1.2 SMT 的发展历程

SMT 诞生于 20 世纪 60 年代, 经过 40 多年的发展, 已进入完全成熟的阶段。SMT 是当代电子组装技术的主流, 而且正继续向纵深方向发展。

SMT 是随着组件电路的制造技术发展起来的。从 20 世纪 70 年代到 80 年代, SMT 发展的主要技术目标是把小型化的片状组件应用在混合电路 (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 在民用的石英电子表和电子计算器等产品中也得到了广泛使用。

美国是世界上最早应用 SMT 的国家, 而且一直重视在投资类电子产品和军事装备领域发挥 SMT 高组装密度和高可靠性方面的优势。

日本在 20 世纪 70 年代从美国引进 SMT 并将其应用在消费类电子产品领域, 并投入巨资大力加强基础材料、基础技术和推广应用方面的开发研究工作。日本从 20 世纪 80 年代中后期, 开始加速 SMT 在产业电子设备领域中的全面推广应用, 仅用四年时间就使 SMT 在计算机和通信设备中的应用数量增长了近 30%, 使日本很快超过了美国, 在 SMT 方面处于世界领先地位。

20 世纪 80 年代中期以来, SMT 进入高速发展阶段, 90 年代初已成为完全成熟的新一代电子组装技术, 并逐步取代 THT。据国外资料报道, 20 世纪 90 年代以来, 全球采用 THT 的电子产品正以每年 11% 的速率下降, 而采用 SMT 的电子产品正以每年 8% 的速率递增。到目前为止, 日、美等国已有 80% 以上的电子产品采用了 SMT。

欧洲各国 SMT 的起步较晚, 但他们重视发展并有较好的工业基础, 发展速率也很快, 其发展水平仅次于日本和美国。20 世纪 80 年代以来, 新加坡、韩国和我国香港、台湾地区也不

惜投入巨资，纷纷引进先进技术，使 SMT 获得了较快的发展。

中国 SMT 的应用起步于 20 世纪 80 年代初期，最初从美、日等国成套引进了 SMT 生产线用于彩电调谐器生产。随后应用于录像机、摄像机及袖珍式高档多波段收音机、随身听等产品的生产中，近几年在计算机、通信设备、航空航天电子产品中也逐渐得到广泛应用。

进入 21 世纪后，由于中国电子信息产品制造业的高速发展，贴片机的引进步伐大大加快。2000 年，中国引进贴片机首次突破 1000 台，2006 年和 2007 年更是突破了每年 1 万台大关。从 2003 年到 2007 年，中国每年贴片机引进数量均超过了 2000 年之前全国的总保有量，占每年全球贴片机生产总量的 40%~50%。据 2000 年不完全统计，我国有 40 多家公司从事表面组装元器件的生产，全国有 300 多家公司引进了 SMT 生产线，不同程度地采用了 SMT 技术，全国已引进 7000 余台贴片机。随着改革开放的深入以及加入 WTO，近年来，美、日、新加坡的部分厂商已将 SMT 加工厂搬到了中国，仅 2001—2002 年就引进了 4000 余台贴片机。

经过 20 多年的持续增长，尤其是 2000 年到 2004 年连续 5 年的超高速增长，中国已经成为世界第一的 SMT 产业大国，预计这一地位 10 年内不会改变。从 2005 年起，中国的 SMT 产业进入调整转型期，这个调整转型期是中国由 SMT 大国走向 SMT 强国的关键。中国 SMT 的发展前景是非常广阔的。

1.1.3 SMT 将逐步取代 THT 的原因

在电子制造业，SMT 逐步取代 THT 的原因在于：

- (1) 电子产品追求小型化，以前使用的穿孔插件组件已无法缩小（如图 1-3 所示）。
- (2) 电子产品功能更完整，所采用的集成电路（IC）已无穿孔组件，特别是大规模、高集成 IC，不得不采用表面贴片组件。
- (3) 产品批量化，生产自动化，厂方要以低成本高产量，生产优质产品以迎合顾客需求及加强市场竞争力，而 THT 已无法满足这一要求。

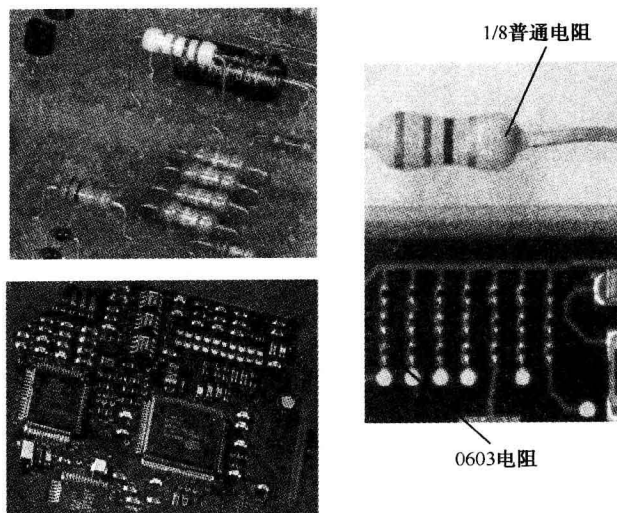


图 1-3 THT 与 SMT 样品比较

任务2 什么是 SMT

任务要点:

- ◇ 了解什么是 SMT
- ◇ 了解 SMT 的一些基础知识

1.2.1 SMT 的术语

1) 表面组装技术 (Surface Mounting Technology, SMT)

它是将 SMC/SMD 贴、焊到印制电路板表面规定位置上的电子组装技术,所用的印制电路板无须钻插装孔。具体来说,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板之间的互连(如图 1-4 所示)。

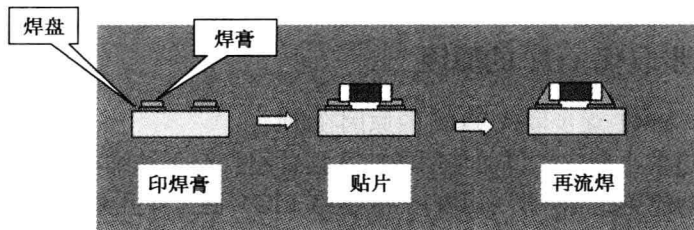


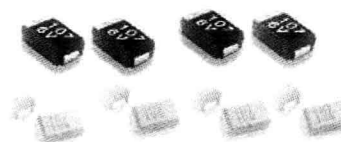
图 1-4 SMT 表面组装技术流程图

2) 表面组装无源元件 (Surface Mounted Components, SMC)

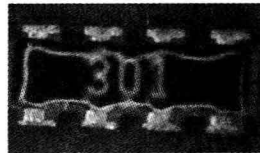
表面组装无源元件包括贴片电阻、电容、电感、敏感组件和复合组件等(如图 1-5 所示)。



(a) 贴片电阻



(b) 贴片电容

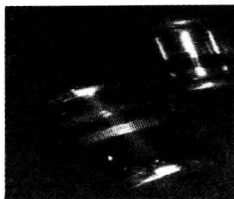


(c) 排阻/网络电阻

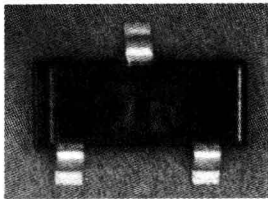
图 1-5 SMC 实物图

3) 表面组装有源器件 (Surface Mounted Devices, SMD)

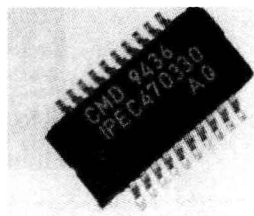
表面组装有源器件主要包括贴片二极管、三极管和集成电路(如图 1-6 所示)。



(a) 贴片二极管



(b) 贴片三极管



(c) 集成电路

图 1-6 SMD 实物图

4) 表面组装印制电路板 (Surface Mount Printed Circuit Board, SMB)

SMB (如图 1-7 所示) 在功能上与通孔插装 PCB 相同。之所以称为 SMB, 不仅因为在工艺上是直接将 SMC/SMD 贴装在 SMB 上, 还由于对用于制造 SMB 的基板来说, 其性能要求比插装 PCB 的基板性能要求高得多; 其次, SMB 的设计、制造工艺也要复杂得多, 许多高新技术是制造插装 PCB 根本不用的技术, 如多层板、金属化孔、盲孔和埋孔等技术, 但在 SMB 制造中却几乎全部使用, 故世界上又将 SMB 制造能力作为 PCB 制造水平的标志。

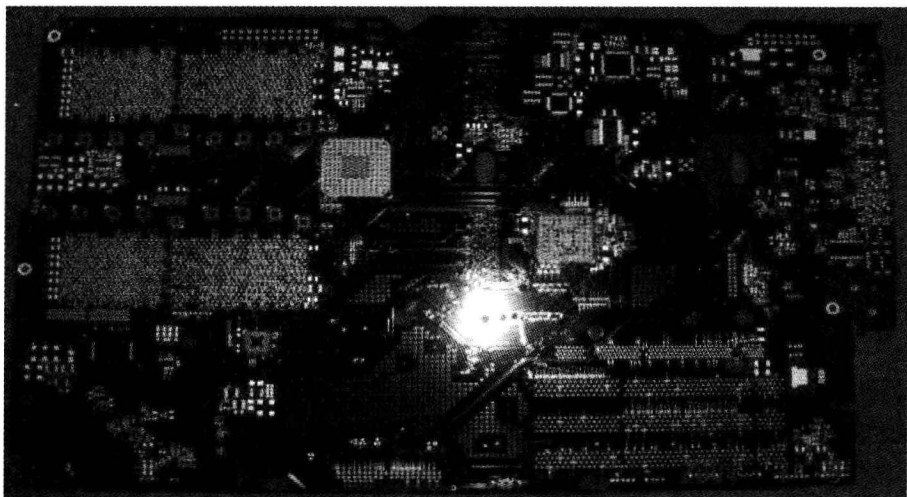


图 1-7 SMB 实物图

5) 表面贴装组件 (Surface Mount Assemblies, SMA)

表面贴装组件是采用表面贴装技术完成贴装的印制电路板组装件 (如图 1-8 所示)。

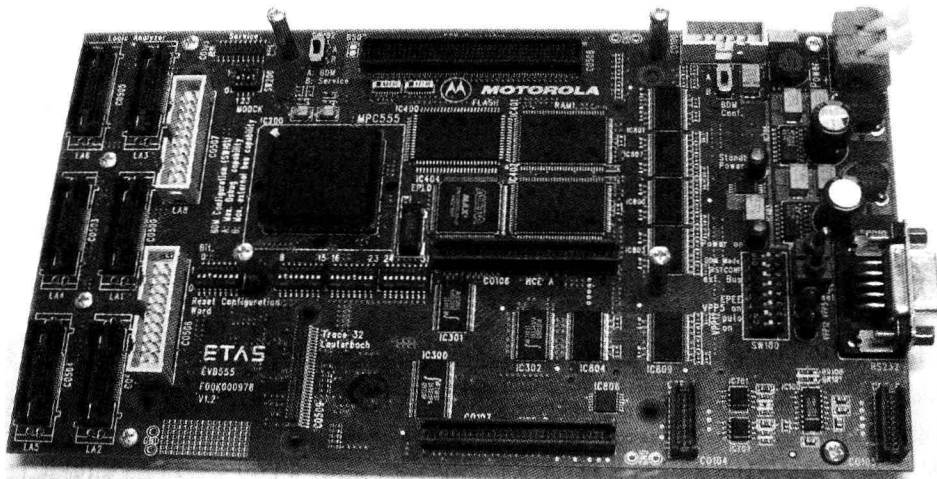


图 1-8 SMA 实物图

6) 回流焊 (reflow soldering)

通过熔化预先分配到 PCB 焊盘上的焊膏, 实现表面贴装元器件与 PCB 焊盘的连接 (详见 1.2.4 节: SMT 三大关键工序)。

7) 波峰焊 (wave soldering)

将熔化的焊料，经专用设备喷流成设计要求的焊料波峰，使预先装有电子元器件的 PCB 通过焊料波峰，实现元器件与 PCB 焊盘之间的连接（如图 1-9 所示）。

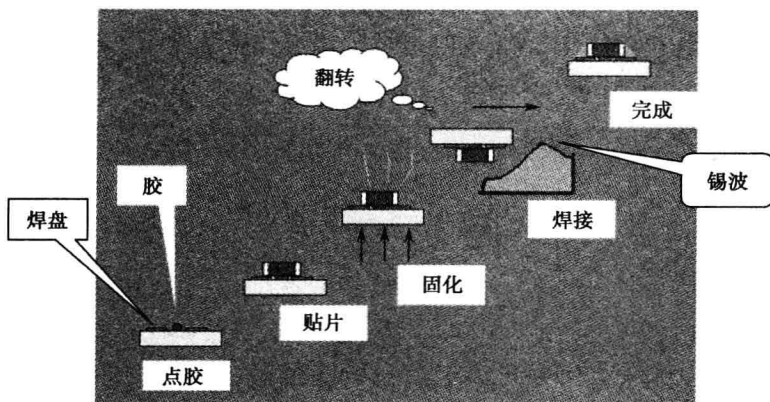


图 1-9 波峰焊焊接方式示意图

8) 细间距 (fine pitch)

细间距是指引脚间距（如图 1-10 所示）小于 0.5mm。

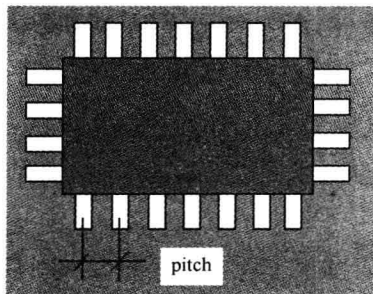


图 1-10 引脚间距

9) 引脚共面性 (lead coplanarity)

引脚共面性是指表面贴装元器件引脚垂直高度偏差，即引脚的最高引脚底与最低引脚底形成的平面之间的垂直距离，其数值一般不大于 0.1mm。

10) 锡膏 (solder paste)

锡膏由粉末状焊料合金、助焊剂和一些起黏性作用及其他作用的添加剂混合成具有一定黏度和良好触变性的焊料膏（如图 1-11 所示）。

11) 固化 (curing)

固化是指在一定的温度、时间条件下，加热贴装了元器件的贴片胶，以使元器件与 PCB 暂时固定在一起的工艺过程（如图 1-9 所示）。

12) 贴片胶（或称红胶）(adhesives)

贴片胶是指固化前具有一定的初黏度、外形，固化后具有足够的黏结强度的胶体。

13) 点胶 (dispensing)

表面贴装时，往 PCB 上施加贴片胶的工艺过程叫做点胶。

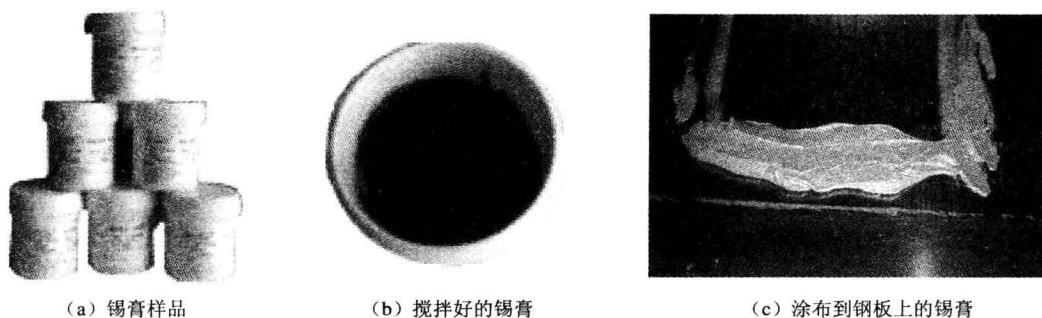


图 1-11 锡膏实物图

14) 点胶机 (dispenser)

点胶机是指能完成点胶操作的设备。

15) 贴装 (pick and place)

将表面贴装元器件从供料器中拾取并贴放到 PCB 规定位置上的操作叫做贴装 (详见 1.2.4 节: SMT 三大关键工序)。

16) 贴片机 (placement equipment)

贴片机是指完成表面贴装元器件贴片功能的专用工艺设备。

17) 高速贴片机 (high placement equipment)

高速贴片机是指实际贴装速度大于 2 万点/小时的贴片机。

18) 多功能贴片机 (multi-function placement equipment)

多功能贴片机是指用于贴装体形较大、引线间距较小的表面贴装器件, 要求较高贴装精度的贴片机。

19) 热风回流焊 (hot air reflow soldering)

热风回流焊是指以强制循环流动的热气流进行加热的回流焊。

20) 贴片检验 (placement inspection)

贴片检验是指贴片完成后, 对于是否有漏贴、错位、贴错、元器件损坏等情况进行的质量检验。

21) 钢网印刷 (metal stencil printing)

钢网印刷是指使用不锈钢网板将焊锡膏印到 PCB 焊盘上的印刷工艺过程 (详见 1.2.4 节: SMT 三大关键工序)。

22) 印刷机 (printer)

印刷机是指在 SMT 中, 用于钢网印刷的专用设备。

23) 炉后检验 (inspection after soldering)

炉后检验是指对贴片完成后经回流炉焊接或固化的 SMA 的质量检验。

24) 炉前检验 (inspection before soldering)

炉前检验是指贴片完成后在回流炉焊接或固化前进行的贴片质量检验。

25) 返修 (reworking)

返修是指为去除 SMA 的局部缺陷而进行的修复过程。

26) 返修工作台 (rework station)

返修工作台是指能对有质量缺陷的 SMA 进行返修的专用设备 (如图 1-12 所示)。

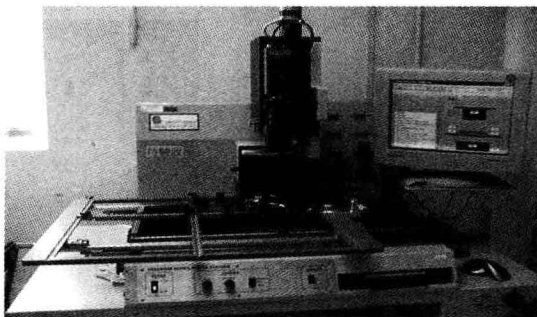


图 1-12 Freedom 2000 BGA 返修工作台实物图

1.2.2 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、电路基板技术、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。

表面组装技术通常包含表面组装元器件、表面组装电路板及图形设计、表面组装专用辅料（焊锡膏和贴片胶）、表面组装设备、表面组装焊接技术（回流焊、波峰焊、汽相焊、激光焊）、表面组装测试技术、清洗技术以及表面组装大生产管理等多方面的内容（如图 1-13 所示）。这些内容可以分为三大类：一是设备，SMT 的硬件；二是装联工艺，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。

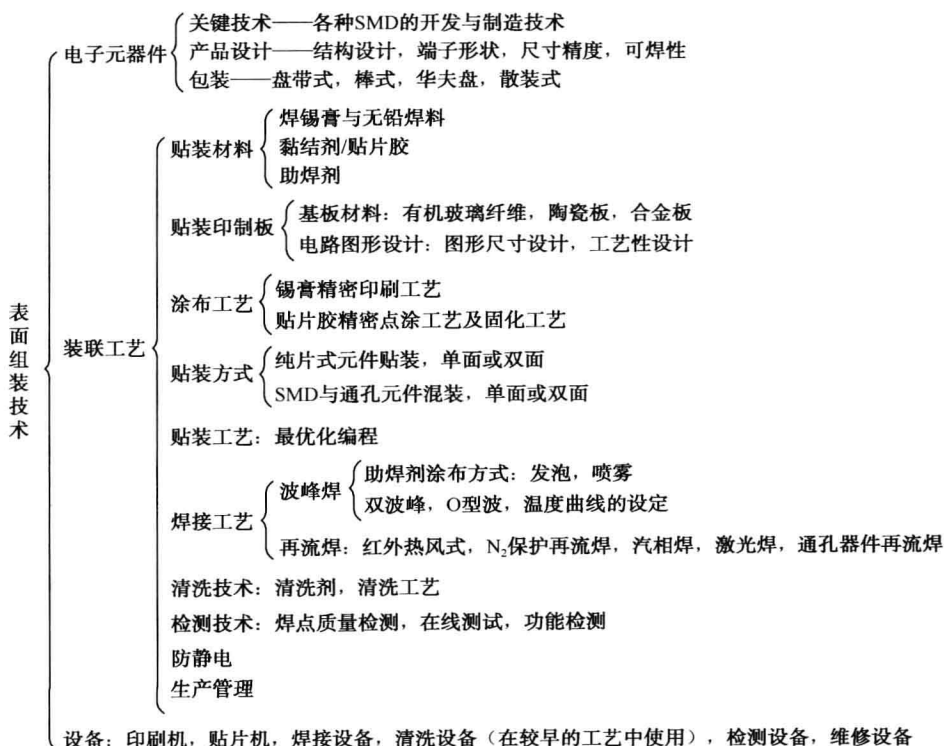


图 1-13 SMT 的组成

1.2.3 SMT 工艺的分类

按工艺流程的不同，SMT 工艺可以分为四类：焊锡膏-回流焊工艺、贴片-波峰焊工艺、双面锡膏-回流焊工艺和混合安装工艺流程。

1. 焊锡膏-回流焊工艺

焊锡膏-回流焊工艺流程图如图 1-14 所示。该工艺流程的特点是：简单、快捷，有利于产品体积的减小，该工艺流程在无铅工艺中更显示出优越性。

2. 贴片-波峰焊工艺

贴片-波峰焊工艺流程图如图 1-15 所示。该工艺流程的特点是：利用双面板空间，电子产品的体积可以进一步做小，并部分使用通孔组件，价格低廉。但设备要求增多，波峰焊过程中缺陷较多，难以实现高密度组装。

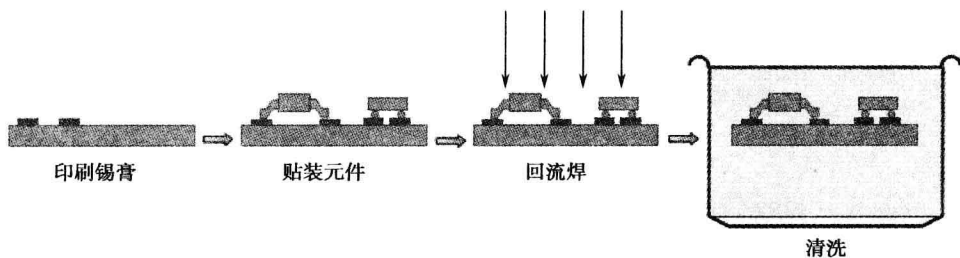


图 1-14 焊锡膏-回流焊工艺流程图

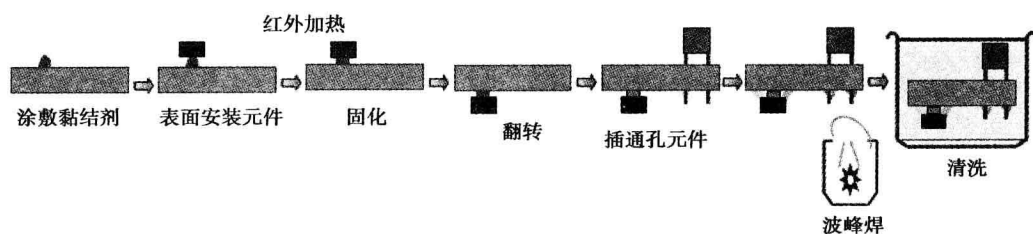


图 1-15 贴片-波峰焊工艺流程图

3. 双面锡膏-回流焊工艺

双面锡膏-回流焊工艺流程图如图 1-16 所示。该工艺流程的特点是：采用双面锡膏回流焊工艺，能充分利用 PCB 空间，是实现安装面积最小化的必由之路，工艺控制复杂，要求严格，常用于密集型、超小型电子产品中，移动电话是典型产品之一。但该工艺在 Sn-Ag-Cu 无铅工艺中却已很少推荐使用，因为两次焊接高温会对 PCB 及元器件带来伤害。

4. 混合安装工艺流程

混合安装工艺流程图如图 1-17 所示。该工艺流程的特点是：充分利用 PCB 双面空间，是实现安装面积最小化的方法之一，仍保留通孔组件价廉的优点，多见于消费类电子产品的组装。