



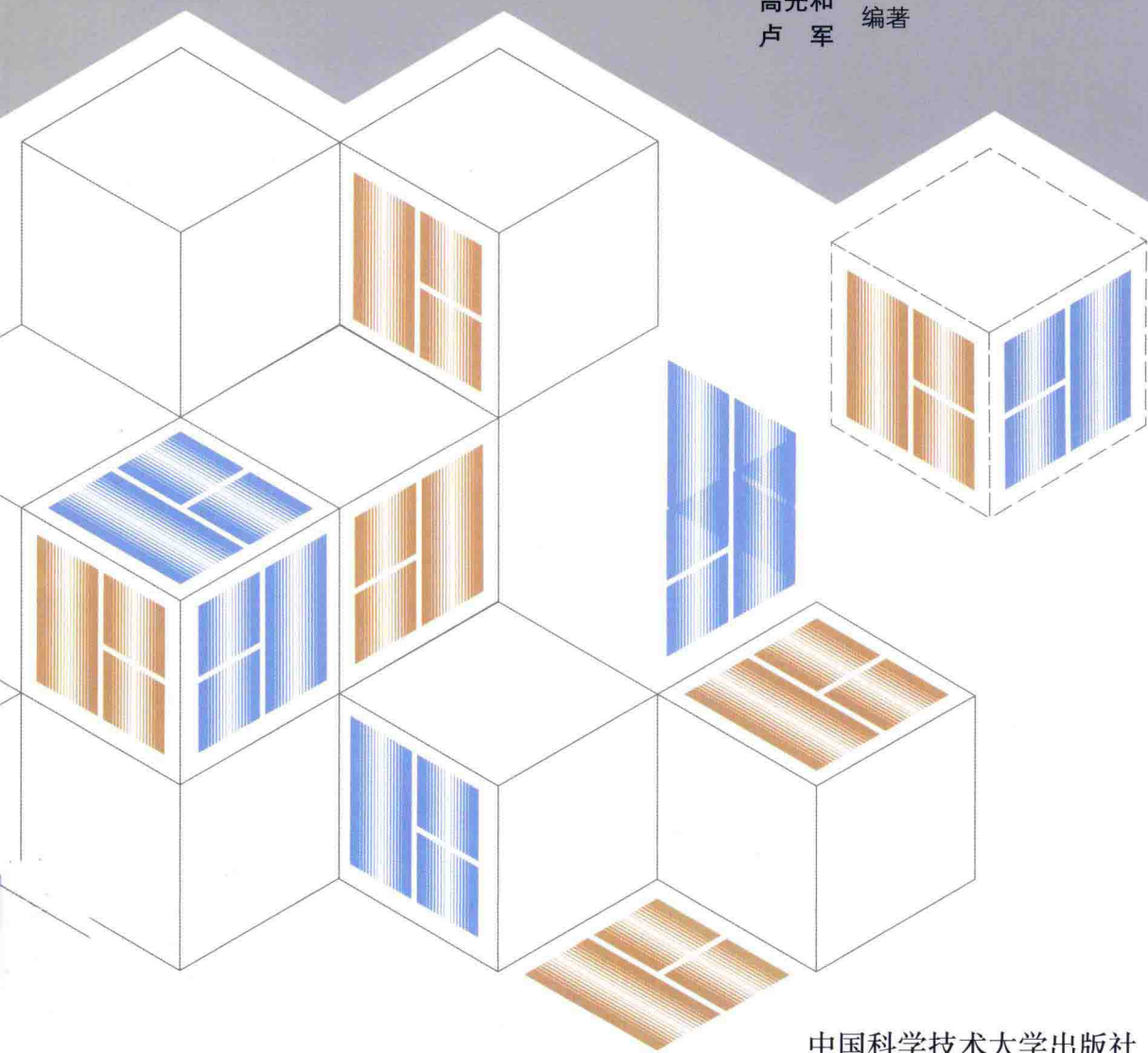
合肥学院模块化教学改革系列教材

表面贴装技术 (SMT) 及应用

Surface Mount Technology (SMT)
and Application

宋广远 主审

高先和 编著
卢 军



中国科学技术大学出版社



合肥学院模块化教学改革系列教材

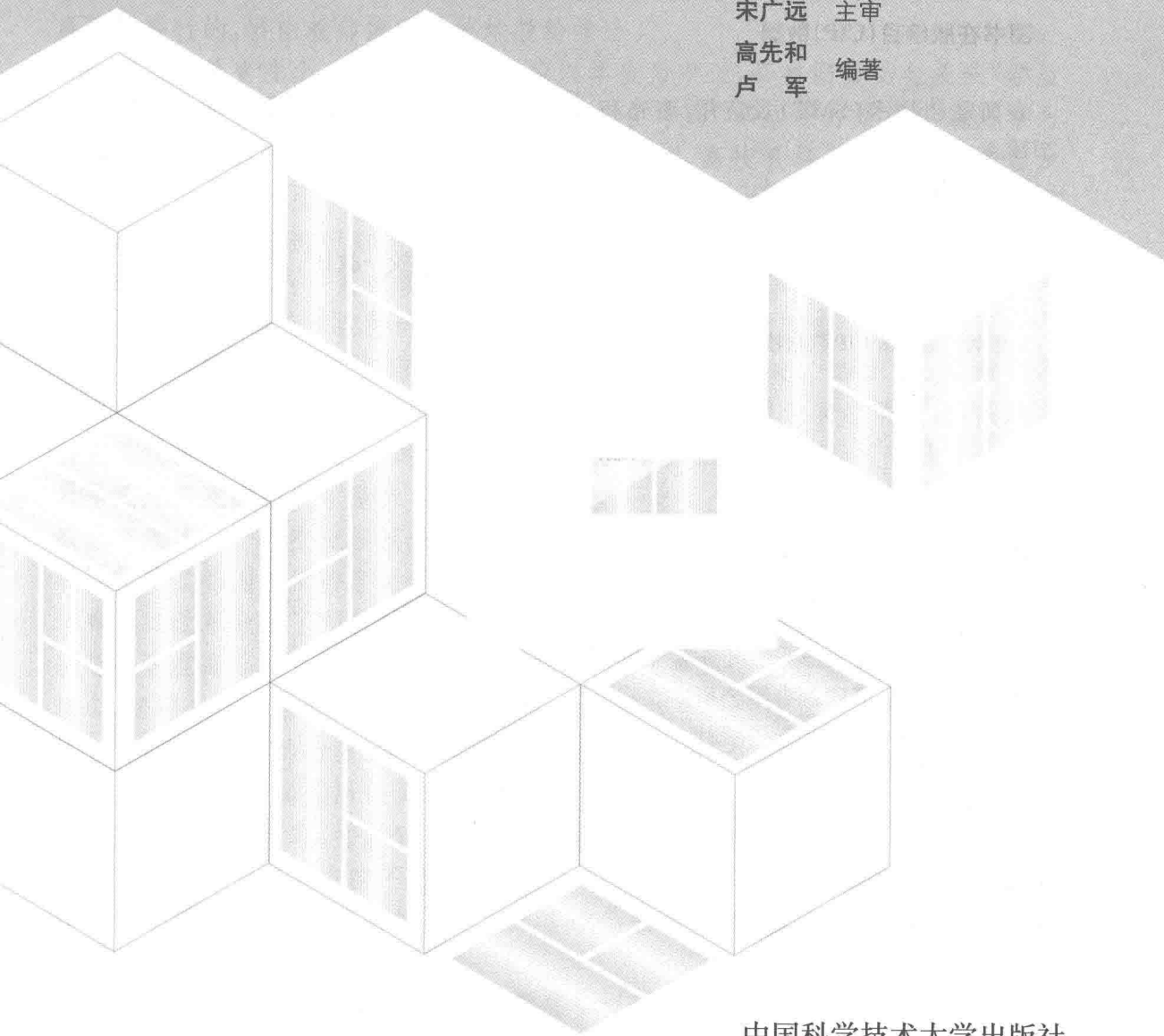
表面贴装技术 (SMT) 及应用

Surface Mount Technology (SMT)
and Application

宋广远 主审

高先和 编著

卢 军



中国科学技术大学出版社

内 容 简 介

本书共分7章,主要包括:SMT简介、SMT工艺流程及贴装生产线、锡膏印刷机、SMT贴片技术、SMT焊接技术、SMT检测技术和SMT管理。本书在编写中注重教材的实用参考价值和适用性等,特别强调了生产现场的技能性指导,详细论述了焊锡膏印刷、贴片、回流焊接、检测等SMT关键工艺制程与关键设备使用维护方面的内容。为了便于理解与掌握,书中配置了大量的图片。

本书既可作为高等院校电子技术应用专业的教材,也可作为各类工科学校与SMT相关的其他专业的辅助教材及企业一线工人的培训材料。

图书在版编目(CIP)数据

表面贴装技术(SMT)及应用/高先和,卢军编著. —合肥:中国科学技术大学出版社, 2018. 8

ISBN 978-7-312-04344-4

I. 表… II. ①高… ②卢… III. SMT技术—高等学校—教材 IV. TN305

中国版本图书馆CIP数据核字(2017)第267219号

出版 中国科学技术大学出版社
安徽省合肥市金寨路96号,230026
<http://www.press.ustc.edu.cn>
<https://zgkxjsdxcbs.tmall.com>
印刷 合肥市宏基印刷有限公司
发行 中国科学技术大学出版社
经销 全国新华书店
开本 787mm×1092mm 1/16
印张 10
字数 256千
版次 2018年8月第1版
印次 2018年8月第1次印刷
定价 36.00元

合肥学院模块化教学改革系列教材

编 委 会



主 任 蔡敬民

副主任 刘建中 陈 秀

委 员 (按姓氏笔画排序)

王庆龙	王晓峰	牛 欣
刘 力	刘 红	江 芳
许泽银	李道芳	余国江
陈江华	杨学春	胡晓军
侯继红	俞志敏	袁 睿
顾 俊	葛春梅	董 强
储 忠	谢海涛	谭 敏

总 序

课程是高校应用型人才培养的核心,教材是高校课程教学的主要载体,承载着人才培养的教学内容,而教学内容的选择关乎人才培养的质量。编写优秀的教材是应用型人才培养过程中的重要环节。一直以来,我国普通高校教材所承载的教学内容多以学科知识发展的内在逻辑为标准,与课程相对应的知识在学科范围内不断地生长分化。高校教材的编排是按照学科发展的知识并因循其发展逻辑进行的,再由教师依序系统地教给学生。

若我们转变观念——大学的学习应以学生为中心,那我们势必会关注“学生通过大学阶段的学习能够做什么”,我们势必会考虑“哪些能力是学生通过学习应该获得的”,而不是“哪些内容是教师要讲授的”,高校教材承载的教学内容及其构成形式随即发生了变化,突破学科知识体系定势,对原有知识按照学生的需求和应获得的能力进行重构,才能符合应用型人才培养的目标。合肥学院借鉴了德国经验,实施的一系列教育教学改革,特别是课程改革都是以学生的“学”为中心的,围绕课程改革在教材建设方面也做了一些积极的探索。

合肥学院与德国应用科学大学有 30 多年的合作历史。1985 年,安徽省人民政府和德国下萨克森州政府签署了“按照德国应用科学大学办学模式,共建一所示范性应用型本科院校”的协议,合肥学院(原合肥联合大学)成为德方在中国最早重点援建的两所示范性应用科学大学之一。目前,我校是中德在应用型高等教育领域里合作交流规模最大、合作程度最深的高校。在长期合作的过程中,我校借鉴了德国应用科学大学的经验,将德国经验本土化,为我国的应用型人才培养模式改革做出了积极的贡献。在前期工作的基础上,我校深入研究欧洲,特别是德国在高等教育领域的改革和发展状况,结合博洛尼亚进程中的课程改革理念,根据我国国情和高等教育的实际,开展模块化课程改革。我们通过校企深度合作,通过大量的行业、企业调研,了解社会、行业、企业对人才的需求以及专业对应的岗位群,岗位所需要的知识、能力、素质,在此基础上制订人才培养方案和选择确定教学内容,并及时实行动态调整,吸收最新的行业前沿知识,解决人才培养和社会需求适应度不高的问题。2014 年,合肥学院“突破学科定势,打造模块化课程,重构能力导向的应用型人才培养教学体系”获得了国家教学成果一等奖。

为了配合模块化课程改革,合肥学院积极组织模块化系列教材的编写工作。以实施模块化教学改革的专业为单位,教材在内容设计上突出应用型人才能力

的培养。即将出版的这套丛书此前作为讲义,已在我校试用多年,并经过多次修改。教材明确定位于应用型人才的培养目标,其内容体现了模块化课程改革的成果,具有以下主要特点:

(1) 适合应用型人才培养。改“知识输入导向”为“知识输出导向”,改“哪些内容是教师要讲授的”为“哪些能力是学生通过学习应该获得的”,根据应用型人才的培养目标,突破学科知识体系定势,对原有知识、能力、要素进行重构,以期符合应用型人才培养目标。

(2) 强化学生能力培养。模块化系列教材坚持以能力为导向,改“知识逻辑体系”为“技术逻辑体系”,优化和整合课程内容,降低教学内容的重复性;专业课注重理论联系实际,重视实践教学和学生能力培养。

(3) 有利于学生个性化学习。模块化系列教材所属的模块具有灵活性和可拆分性的特点,学生可以根据自己的兴趣、爱好以及需要,选择不同模块进行学习。

(4) 有利于资源共享。在模块化教学体系中,要建立“模块池”,模块池是所有模块的集合地,可以供应用型本科高校选修学习,模块化教材很好地反映了这一点。模块化系列教材是我校模块化课程改革思想的体现,出版的目的一是与同行共同探索应用型本科高校课程、教材的改革,努力实现资源共享。

(5) 突出学生的“学”。模块化系列教材既有课程体系改革,也有教学方法、考试方法改革,还有学分计算方法改革。其中,学分计算方法采用欧洲的“work-load”(即“学习负荷”,学生必须投入28小时学习,并通过考核才可获得1学分)。这既包括对教师授课量的考核,又包括对学生自主学习量的考核,在关注教师“教”的同时,更加关注学生的“学”,促进了“教”和“学”的统一。

围绕着模块化教学改革进行的教材建设,是我校十几年来教育教学改革大胆实践的成果,广大教师为此付出了很多的心血。在模块化系列教材付梓之时,我要感谢参与编写教材以及参与改革的全体老师,感谢他们在教材编写和学校教学改革中的付出与贡献!同时感谢中国科学技术大学出版社为系列教材的出版提供了服务和平台!希望更多的老师能参与到教材编写中,更好地展现我校的教学改革成果。

应用型人才培养的课程改革任重而道远,模块化系列教材的出版,是我们深化课程改革迈出的又一步。由于编者水平有限,书中还存在不足,希望专家、学者和同行们多提意见,提高教材的质量,以飨莘莘学子!

是为序。

合肥学院党委书记 蔡敬民
2016年7月28日于合肥学院

前 言

表面贴装技术(SMT)是一个复杂的系统技术,是由众多技术复合而成的,是理论到实际应用的重要环节。SMT 在电子工业中引起了一场变革和进步,被誉为“第四次组装革命”。SMT 现已成为电子专业技术基础的一部分,本书基于项目驱动方式,系统地介绍了 SMT 的各个工艺环节的技术,为电子智能制造打下了基础。

本书内容丰富实用,叙述简洁清晰,工程实践性强,注重培养学生综合分析、开发创新和工程设计制造的能力。本书可作为高等院校电子信息工程、通信工程、自动化、电气控制等专业学生的教材,也可作为学生参加各类电子制作、课程设计、毕业设计的教学参考书,还可作为工程技术人员进行电子产品设计与制造的参考书。

本书共分 7 章。第 1 章介绍了 SMT 的工艺内容、发展的现状和趋势,使读者对 SMT 有初步的了解。第 2 章介绍了 SMT 工艺的一般流程,在插、贴混合组装和全面贴装工艺中需要注意的一般问题,以及 SMT 生产线的设计和规划。第 3 章介绍了锡膏印刷机的使用要点,以日东 G310 印刷机为例介绍软件操作。第 4 章介绍了目前市场上常用贴片机的类型和各自的特点,贴片机是 SMT 生产线中的重要设备,以市面上常用的几款贴片机为例,介绍了贴片机的编程过程和使用方法。第 5 章介绍了回流焊接技术和波峰焊接技术,系统介绍了无铅回流焊接中的温度曲线,温度曲线是提高焊接质量、减少焊接缺陷的关键;同时介绍了在波峰焊接技术中应注意的系列问题。第 6 章介绍了 SMT 的常规检测技术及方法,一般有在线式和离线式,AOI 自动光学检测一般较为常用,X 射线检测机是 BGA 封装器件焊接中不可缺少的检测设备。第 7 章介绍了 SMT 生产工艺的过程管理要点和 SMT 的常用国际标准。

本书由高先和拟订编写大纲。高先和编写了第 1 章、第 4 章、第 5 章,卢军编写了第 2 章、第 3 章、第 6 章、第 7 章,孙博瑞、石响、黄建东、何清松、袁敏、姜海洋、刘冬、张凯文、吴志康、郑荣生、曹茜茜、熊海峰、张欣雷、潘洋、周泽华等参加了编写工作。本书由高先和统稿,安徽省电子学会 SMT 专业委员会秘书长宋广远审稿。

本书是在积累了多年文档及工程项目成果的基础上编写而成的。书中的大

多数工艺编排都是多年来积累的电路设计和小规模生产的实例,有非常强的实用价值和参考意义。本书在编写过程中参考了大量的国内外著作和资料,在此向这些作者表示衷心的感谢。

受编者的水平和时间的限制,书中不足之处在所难免,敬请读者批评、指正。

编 者

2017 年 6 月于合肥

目 录

总序	(i)
前言	(iii)
第 1 章 SMT 简介	(1)
1.1 SMT 概述	(1)
1.2 SMT 工艺技术内容及特点	(1)
1.2.1 SMT 主要内容	(1)
1.2.2 SMT 工艺技术的主要内容	(2)
1.2.3 SMT 工艺技术的主要特点	(3)
1.2.4 SMT 应用产品类型	(4)
1.3 SMT 的发展现状	(4)
1.3.1 国外 SMT 发展现状	(4)
1.3.2 国内 SMT 发展现状	(7)
1.4 SMT 的发展趋势	(9)
1.4.1 表面贴装工艺的发展趋势	(9)
1.4.2 表面贴装设备的发展趋势	(11)
1.5 SMT 教育与培训	(12)
第 2 章 SMT 工艺流程及贴装生产线	(14)
2.1 SMT 贴装方式及工艺流程设计	(14)
2.1.1 贴装方式	(14)
2.1.2 贴装工艺流程	(15)
2.1.3 全表面贴装工艺流程	(17)
2.2 SMT 生产线的设计	(18)
2.2.1 生产线总体设计	(18)
2.2.2 设备自动化程度	(20)
2.2.3 设备选型	(21)
第 3 章 锡膏印刷机	(23)
3.1 印刷机使用准备	(23)
3.1.1 开机前检查	(23)
3.1.2 开始生产前准备	(24)
3.1.3 试生产	(26)

3.2 日东 G310 印刷机操作系统说明	(26)
3.2.1 系统启动	(26)
3.2.2 主窗口组成	(27)
3.2.3 具体操作	(27)

第4章 SMT 贴片技术

4.1 贴片机分类	(32)
4.2 贴片机结构	(34)
4.2.1 贴片头	(35)
4.2.2 定位系统	(40)
4.2.3 传送机构	(43)
4.2.4 送料机	(46)
4.2.5 计算机控制系统	(49)
4.3 贴片机的主要技术参数	(51)
4.3.1 贴装精度	(51)
4.3.2 贴片速度	(54)
4.4 贴片机软件编程	(54)
4.4.1 JUKI 贴片机编程	(54)
4.4.2 贴片机常见故障及解决	(60)

第5章 SMT 焊接技术

5.1 回流焊	(62)
5.1.1 回流焊原理及分类	(62)
5.1.2 回流焊发展趋势	(63)
5.1.3 回流工艺流程	(66)
5.1.4 回流温度曲线和焊接工艺设置	(71)
5.1.5 回流焊焊接缺陷分析处理	(73)
5.2 波峰焊	(79)
5.2.1 波峰焊原理及分类	(79)
5.2.2 波峰焊工艺流程	(83)
5.2.3 波峰焊基本组成与功能	(83)
5.2.4 波峰焊焊接影响因素	(86)
5.2.5 波峰焊的缺陷及其对策	(89)

第6章 SMT 检测技术

6.1 SMT 检测分类	(91)
6.2 自动光学检测技术	(94)
6.2.1 AOI 技术主要特点及技术指标	(94)
6.2.2 计算机视觉检测原理	(94)
6.2.3 AOI 系统构成	(96)
6.2.4 AOI 应用策略及检测标准	(97)

6.3	ICT 测试机	(98)
6.3.1	ICT 测试基本原理	(98)
6.3.2	在线测试	(102)
6.3.3	边界扫描测试	(104)
6.4	X 射线测试机	(108)
6.4.1	X 射线测试	(108)
6.4.2	X 射线基本测试原理	(110)
6.5	SMT 检测方法	(112)
6.5.1	质检控制	(112)
6.5.2	检测标准	(112)
第7章	SMT 管理	(123)
7.1	SMT 工艺管理	(123)
7.1.1	现代 SMT 工艺管理	(123)
7.1.2	SMT 生产线管理	(124)
7.2	品质管理	(128)
7.2.1	品质管理方法	(128)
7.2.2	SMT 生产质量过程控制	(132)
7.3	SMT 标准	(133)
7.3.1	SMT 贴装国际标准	(133)
7.3.2	表面贴装设计与焊盘结构标准	(137)
7.3.3	表面贴装设备性能检测	(140)
7.4	ISO 系列标准	(142)
7.4.1	ISO9000 系列标准	(142)
7.4.2	ISO14000 系列标准	(145)
参考文献		(148)

第1章 SMT 简介

1.1 SMT 概述

电子电路表面贴装技术(Surface Mount Technology, SMT)是现代电子产品先进制造技术的重要组成部分。其技术内容包含表面贴装元器件、组装基板、组装材料、组装工艺、组装设计、组装测试与检测技术、组装及其测试和检测设备、组装系统控制和管理等,技术范畴涉及材料、制造、电子技术、检测与控制、系统工程等诸多学科,是一项综合性工程科学技术。

下面列出的是 SMT 的主要内容。

1. 表面贴装元器件构成

设计——结构尺寸、端子形式、耐焊接等。

制造——各种元器件的安装制造技术。

包装——编带式、管式、托盘、散装等。

2. 电路基板

单(多)层印制电路板、陶瓷、瓷釉金属板、夹层板等。

3. 组装设计

电设计、热设计、元器件布局、基板图形布线设计等。

4. 组装工艺

组装材料:黏结剂、焊料、焊剂、清洗剂等。

组装工艺设计:涂敷技术、贴装技术、焊接技术、清洗技术、检测技术等。

组装设备应用:涂敷设备、贴装机、焊接机、清洗机、测试设备等。

5. 组装系统控制与管理

组装生产线或系统组成、控制与管理等。

1.2 SMT 工艺技术内容及特点

1.2.1 SMT 主要内容

SMT 是一门新兴的、综合性的工程科学技术,涉及机械、电子、光学、材料、化工、计算机、网络、自动控制。SMT 技术体系如图 1.1 所示。

SMT 是一项复杂的系统工程,是众多技术的复合技术。从行业上讲,SMT 不仅涉及电子整机与设备制造业,还涉及元器件制造业、PCB 制造业、材料制造业和生产工艺设备制造业,但最终服务于电子整机的制造。伴随着表面贴装元件(Surface Mounting Components, SMC)、表面贴装器件(Surface Mounting Devices, SMD)的产生和发展,SMT 以电子组装生产技术的面貌在电子工业中引起了一场变革和进步,被誉为“第四次组装革命”。

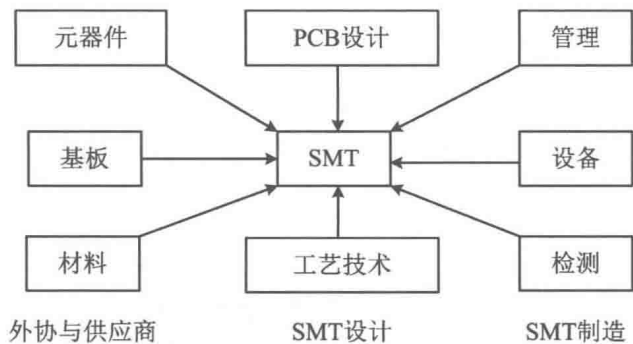


图 1.1 SMT 技术体系

从技术角度上讲,SMT 技术是元器件、印制板、SMT 设计、组装工艺、设备、材料和检查技术等的复合技术。SMT 设计技术是 SMT 在多支持技术之间的桥梁和关键技术。SMC/SMD 是 SMT 的基础,SMT 应用的好坏,50%以上取决于对 SMC/SMD 的掌握程度和开发能力。基板是元器件互连的结构件,在保证电子组装的电气性能和可靠性方面起着重要作用。组装工艺和设备是实现 SMT 产品的工具和手段,决定着生产率和质量成果。检测技术则是 SMT 产品质量的重要保证。

1.2.2 SMT 工艺技术的主要内容

表面贴装技术是用一定的工具将表面贴装元器件的引脚对准预先涂覆了黏结剂和焊锡膏的焊盘,把表面贴装元器件贴装到未钻安装孔的 PCB 表面上,然后经过回流焊或波峰焊使表面贴装元器件和电路之间建立可靠的机械和电气连接。表面贴装技术如图 1.2 所示。与通孔插装技术(Through Hole Technology, THT)相比,SMT 具有以下特点。

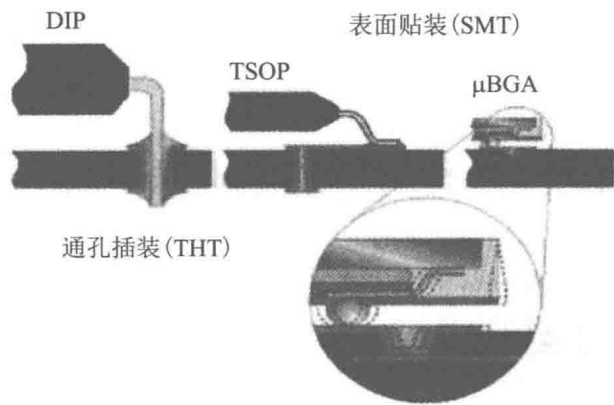


图 1.2 表面贴装技术

1. 组装密度高,电子产品体积小,质量轻

SMC/SMD 的体积、质量只有传统插装元器件的 1/10 左右,而且可以安装在表面安装板(Surface Mounting Board, SMB)或 PCB 的两面,有效地利用了印制电路板板面,减轻了表面安装板的重量。例如,将中规模集成电路(MSI)、大规模集成电路(LSI)在 PCB 上通孔安装,则引线中心距为 2.54 mm,所占面积很大;20 引脚双列直插式封装(Dual In-Line Package, DIP)的 MSI 的安装面积为 $10.16\text{ mm} \times 25.4\text{ mm}$;64 引脚 DIP 的 LSI 的安装面积为 $25.4\text{ mm} \times 76.2\text{ mm}$,插脚增加 2 倍,安装面积增加 6.5 倍。若采用无引线器件 SMC 进行表面安装,则引脚中心距为 0.63 mm,64 引脚器件,安装面积只有 $12.7\text{ mm} \times 12.7\text{ mm}$ 。这个例子说明, SMT 安装密度比传统 THT 安装密度高 11 倍多。一般采用 SMT 后,电子产品体积缩小 40%~60%,质量减轻 60%~80%。

2. 可靠性高,抗震能力强

由于 SMC/SMD 是无引线或短引线的,又牢固地贴装在 PCB 表面上,因此其可靠性高,抗震能力强。SMT 的焊点缺陷率比 THT 至少低一个数量级。

3. 高频特性好

由于 SMC/SMD 减少了引线分布特性的影响,而且在 PCB 表面上贴焊牢固,大大降低了寄生电容和引线间的寄生电感,因此在很大程度上减少了电磁干扰和射频干扰,改善了高频特性。

4. 易于实现自动化,提高生产效率

与 THT 相比, SMT 更适合自动化生产。THT 根据不同的元器件需要不同的插装机(DIP 插装机、径向插装机、轴向插装机、编带机等),每一台机器都需要调整装备时间,维护工作量较大。而 SMT 用一台贴片机(Pick and Place Machine)就可以配置不同的上料架和取放头,安装所有类型的 SMC/SMD,减少了调整准备时间和维修工作量。

5. 降低成本

SMT 使 PCB 布线密度增加、钻孔数目减少、孔径变细、面积缩小、同功能的 PCB 层数减少,这些都使 PCB 的制造成本降低。无引线或短引线的 SMC/SMD 节省了引线材料,省略了剪线、折弯工序,减少了设备、人力费用。频率特性的提高减少了射频调试难度。电路缩小、质量减轻,降低了整机成本。贴焊可靠性提高,可靠性好使返修成本降低。因此,一般电子设备采用 SMT 后,可使产品总成本降低 30%~60%。

1.2.3 SMT 工艺技术的主要特点

采用表面贴装技术形成的电子产品(以下简称 SMT 产品)一般均具有元器件种类繁多、元器件在印制电路板(Printed Circuit Board, PCB)上分布密度高、引脚间距小、焊点微型化等特征,而且,其组装焊接点既有机械性能要求,又有电气、物理性能要求。为此,与之对应的表面贴装工艺技术除了具有涉及技术领域范围宽、学科综合性强的特征外,还具有下列特点:

- ① 组装对象(元器件、多芯片组件、接插件等)种类多;
- ② 组装精度和组装质量要求高,组装过程复杂及控制要求严格;
- ③ 组装过程自动化程度高,大多需借助或依靠专用组装设备完成;
- ④ 组装工艺所涉及的技术内容丰富且有较大技术难度;

⑤ SMT 及其元器件发展迅速引起的组装技术更新速度快等。

1.2.4 SMT 应用产品类型

SMT 根据电子产品的不同用途,一般将其分为 8 种不同的类型。

1. 消费类产品

消费类产品包括游戏、玩具、声像电子设备。一般来说,通用的尺寸和多功能性作为考虑重点,但是产品的成本也是极为重要的。

2. 通用产品

如小型企业和个人使用的通用型计算机。与消费类产品比较,用户期望此类产品具有较长的使用寿命,并能享有长期的服务。

3. 通信产品

通信产品包括电话、转换设备、PBX 和交换机。这些产品要求使用寿命长,且能够应用于要求较高的地方。

4. 民用飞机

要求尺寸小、质量轻和可靠性高。

5. 工业产品

尺寸和功能是这类产品重点关注的对象。成本也是非常重要的,在降低成本的同时,需确保产品达到高性能和多功能的要求。

6. 高性能产品

由陆地军用产品和军舰产品、高速大容量计算机、测试设备、关键的工艺控制器和医疗设备构成。可靠性和性能是至关重要的,其次是尺寸和功能。

7. 航天产品

航天产品包括所有能够满足外界恶劣环境要求的产品。也就是说,在各种不同环境和极端的自然条件下可达到优质和高性能的产品。

8. 军用航空电子产品

需满足机械变化和热变化的要求,应重点考虑产品的尺寸、质量、性能和可靠性。

1.3 SMT 的发展现状

作为第四代电子组装技术的 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。贴片电子组件的开发应用,促进了 SMT 的应用和发展;SMT 的发展反过来又促进了贴片电子组件的开发。

1.3.1 国外 SMT 发展现状

表面贴装技术是从厚、薄膜混合电路演变发展起来的。美国是世界上最先使用 SMD 与

SMT 的国家,并一直重视在此类电子产品中的投资。在军事装备领域,表面贴装技术发挥了高组装密度和高可靠性能方面的优势,具有很高的水平。

1. SMT 的发展阶段

在 20 世纪 50 年代,被称作扁平组件的表面贴装器件曾被用于高可靠的军用产品,它们被认为是组装在 PCB 上的第一代表面组件。表面贴装技术的重要基础之一是表面贴装元器件,SMT 的发展需求和发展程度也主要受 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,SMT 发展至今,已经历了三大阶段。

(1) 第一阶段(1970~1975 年)

第一阶段以小型化作为主要目标,此时的表面贴装元器件主要用于混合集成电路,如石英表和计算器等。在该发展阶段初期,欧洲飞利浦公司研制出可进行表面贴装的纽扣状微型器件,供手表工业使用,这种器件已发展成现在表面贴装用的小外形(Small Outline,SO)或小外形集成电路(SOIC)。

混合集成技术对当今 SMT 的发展做出了重大贡献,使混合集成工业开发的布局和焊接技术成为当今 SMT 的一部分。美国在军事应用领域所做的大量开发工作也为当今 SMT 奠定了基础。例如,为了缩小大数目引脚封装尺寸,军事上需要将元器件密封且所有 4 个边上都有引脚,因此,在 20 世纪 70 年代就已开发出无引脚陶瓷芯片载体(Leadless Ceramic Chip Carrier,LCCC)。

然而,LCCC 本身也存在着问题:它要求与热膨胀系数(CTE)匹配的、价格昂贵的基板,以防止由于陶瓷部分和玻璃环氧基板间 CTE 的不匹配而造成的焊点断裂。在军事应用方面,美国曾花费大量的人力、财力来开发 LCCC 可接受的基板,然而结果并不十分令人满意。

日本在 20 世纪 70 年代从美国引进 SMD 和 SMT,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研究开发工作。70 年代初期,日本开始使用方形扁平包装(QFP)的集成电路来制造计算器。QFP 的引脚分布在器件的四边,鸥翼形引脚的中心距仅为 1 mm(40 mil)、0.8 mm(33 mil)、0.65 mm(25 mil)或更小,而引脚数可达几百针。

美国所研制的带引脚的塑封芯片载体(Plastic Leaded Chip Carrier,PLCC)器件的引脚分布在器件的四边,引脚中心距一般为 1.27 mm(50 mil),引脚呈“J”形,PLCC 占用组装面积小,引脚不易变形。SOIC、QFP、PLCC 都是塑料外壳,不是全密封器件,显然,这种器件在很多场合满足不了使用要求。为满足军事需要,美国于 20 世纪 70 年代研制出无引脚陶瓷芯片载体(LCCC)的全密封器件,它以分布在器件四边的金属化焊盘来代替引脚,由于 LCCC 无引脚地组装在电路中,引入的寄生参数小,噪声和延时特性有明显改善。同时,陶瓷外壳的热阻也比塑料的小,故它通用于高频、高性能和高可靠的电路。但因为它直接组装在基板表面,没有引脚来帮助吸收应力,因而在使用过程中易造成焊点开裂。由于使用陶瓷金属化封装,LCCC 的价格要比其他类型的器件价格高,从而导致其应用受到一定的限制。该阶段初期,SMT 的水平以组装引脚中心距为 1.27 mm 的 SMC/SMD 为标志。

(2) 第二阶段(1976~1980 年)

第二阶段的主要目标是减小电子产品的单位体积,提高电路效能,产品主要用于摄像机、录像机、电子照相机等。在这段时间内,元器件和组装工艺以及支撑材料日渐成熟,从而为 SMT 的大发展奠定了基础。

20 世纪 70 年代流行的双列直插式封装芯片面积、封装面积之比约为 1 : 80;80 年代出

现的芯片载体封装尺寸大幅度减小,以方形扁平封装(QFP)为例,其芯片面积、封装面积之比约为1:7.8,仍然有7~8倍之差。从80年代开始逐渐演变到可装组0.65 mm和0.3 mm细引脚间距的SMC/SMD阶段。

从20世纪80年代中后期起,日本加速了SMT在电子设备领域中的全面推广应用。仅用了四年时间,SMT在计算机和通信设备中的应用数量增长了近30%,在传真机中增长40%,日本很快超过了美国,在SMT方面处于世界领先地位。

欧洲各国SMT的起步较晚,但有较好的工业基础,发展十分迅速,其技术水平和整机中SMC/SMD的使用率仅次于日本和美国。20世纪80年代以来,亚洲四小龙(新加坡、韩国、中国香港和中国台湾)不惜投入巨资,纷纷引进先进技术,使SMT获得较快的发展。

(3) 第三阶段(1981~1995年)

第三阶段的主要目标是降低成本,大力发展组装设备,表面贴装元器件进一步微型化,电子产品的性能价格比得到了进一步提高。当前,SMT已进入微组装、高密度组装和立体组装技术的新阶段,以及MCM(多芯片模块)、BGA(球栅阵列)、CSP(芯片级封装)等新型表面贴装元器件的快速发展和大量应用阶段。

SMT的快速发展,给集成电路器件的进一步微型化、高密度化开辟了应用新天地。20世纪90年代,IC发展到了将一个系统做在一个芯片上的新阶段,与之相应的高密度封装的任务就是要将中央处理器(Central Processing Unit,CPU)、摄录一体机之类的许多小系统在尽可能小的体积内组装成一个大系统。而要实现更高度的封装,几十年来主宰、制约电子组装技术发展的芯片小、封装大,这一芯片与封装的矛盾就显得尤为突出。

20世纪80年代后期开发的多芯片模块(MCM)技术,将多个裸芯片进行封装,直接组装于同一基板并封装于同一壳体内。与一般的SMT相比,其面积为原来的 $1/6 \sim 1/3$,质量为原来的 $1/3$ 。特别是从电气性能方面考虑,芯片的封装必然伴随着配线和电气连接的延伸。因此,MCM裸芯片封装还有信号延迟改善、结温下降、可靠性改进等一系列优点,是实现高密度、微型化较理想的组装技术。但是,MCM要求质量可靠的裸芯片(Known Good Die,KGD),且对各种形状、大小以及焊脚数不同、功能不同的KGD进行实验和老化筛选又是极困难的,这样会由于KGD的难以保障而导致MCM成品率降低、成本提高。

同时,CSP具有其芯片面积与封装面积接近相等、可进行与常规封装IC相同的处理和实验、可进行老化筛选、制造成本低等特点,从20世纪90年代初期开始脱颖而出。1994年,日本各制造公司已有各种各样的CSP方案提出。1996年开始,已有小批量产品出现。另一方面,IC集成度的增大使得同一SMD的输入/输出(Input/Output,I/O)数(即引脚数)大增。为了适应这种需求,在SMD表面将引脚规则地分布成栅格阵列型的SMD也从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。

现阶段SMT与SMC/SMD的发展相适应,在发展和完善引脚间距0.3 mm及其以下的超细间距组装技术的同时,BGA和CSP等新型器件的组装技术也在迅猛发展。

由此可见,表面贴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,又对元器件提出了新的技术要求和配套性要求。可以说,两者是相互依存、相互促进的。

2. SMT主要设备发展情况

随着SMC/SMD研制技术的提高和SMT的迅速发展,SMC/SMD在品种日益增多的基础上,又不断开拓出新的应用领域。1979年,采用SMT技术的大量表面贴装元器件被用