

先进电子 制造技术

XIANJIN DIANZI ZHIZAO JISHU

龙绪明 主编



机械工业出版社
CHINA MACHINE PRESS

先进电子制造技术

龙绪明 主编



机械工业出版社

本书系统论述先进电子制造技术。将先进制造技术、电子整机产品制造技术、电子表面组装技术、电子元器件和材料制造技术、集成电路制造技术和微组装技术进行了有机整合与详细论述,使读者对现代电子制造企业在先进制造大环境下所涉及的产品设计、制造工艺及装备等相关理论、方法、技术和最新发展有一个全面而系统的认识。

本书内容翔实,论述深入浅出,各章均备有较多的思考与习题。

本书可作为电子设计制造工程技术人员参考书、电子工程师教育培训和资格证培训的教材,也可作为高等院校电类专业、机械类专业和自动化专业的教材,以及专业导论和专业前沿等其他相关课程的参考教材。

图书在版编目(CIP)数据

先进电子制造技术/龙绪明主编. —北京:机械工业出版社, 2010. 8

ISBN 978-7-111-31215-4

I. ①先… II. ①龙… III. ①电子产品-生产工艺 IV. ①TN05

中国版本图书馆CIP数据核字(2010)第128854号

机械工业出版社(北京市百万庄大街22号 邮政编码100037)

策划编辑:张俊红 责任编辑:阎洪庆 责任校对:申春香

封面设计:路恩中 责任印制:李妍

北京诚信伟业印刷有限公司印刷

2010年11月第1版第1次印刷

184mm×260mm·26.25印张·651千字

0001—3000册

标准书号:ISBN 978-7-111-31215-4

定价:58.00元

凡购本书,如有缺页、倒页、脱页,由本社发行部调换

电话服务

社服务中心:(010) 88361066

销售一部:(010) 68326294

销售二部:(010) 88379649

读者服务部:(010) 68993821

网络服务

门户网:<http://www.cmpbook.com>

教材网:<http://www.cmpedu.com>

封面无防伪标均为盗版

前 言

当今世界随着市场竞争的日益加剧以及全球化市场的形成,先进制造技术已成为一个国家在市场竞争中或战场对抗中获胜的支柱,先进制造技术的水平已经成为一个国家综合实力、科技发展水平及国防实力的重要标志之一。工业发达国家普遍认为,从某种意义上讲,先进制造技术已成为国家命运的主宰。改革开放后的短短三十余年的发展,中国就已经成为全球最大的电子产品制造基地,改写了世界电子工业的格局。电子制造业已超过任何其他的行业,成为当今第一大产业。电子制造技术是一项集当今世界最先进科技成果于一体的综合性交叉式边缘学科,是一个及其庞大和复杂的系统工程和综合技术。因此,培养一大批满足科技和制造业发展需要的、掌握先进电子制造技术的、具有创新意识和实践能力的高素质专业人才已变得极为迫切。

本书依据先进制造技术的特点及其发展趋势,系统论述“先进电子制造技术”。将先进制造技术、电子整机产品制造技术、电子表面组装技术、电子元器件与材料制造技术、集成电路制造技术和微组装技术进行了有机整合和详细论述,使读者对现代电子制造企业在先进制造大环境下所涉及的产品设计、制造工艺及装备等相关理论、方法、技术和最新发展有一个全面而系统的认识。

本书内容翔实,论述深入浅出,各章均备有较多的思考与习题。本书可作为电子设计制造工程技术人员参考书、电子工程师教育培训和资格证培训的教材,也可作为高等院校电类专业、机械类专业和自动化专业的教材,以及专业导论和专业前沿等其他相关课程的参考教材。

本书由西南交通大学龙绪明主编,段平、许姜严、扬凡、钱佳敏、周涛、张文娟、胡勇、易思伟、姚舟波、牛晓丽、王李、李鹏程、黄昊、詹明涛、陈恩博、朱小红等参与了编写工作。全书由四川省电子协会 SMT 专业委员会审定。由于电子制造技术发展迅速,加上编辑资料有限,差错和不足之处在所难免,欢迎广大读者批评指正。

四川省电子协会 SMT 专业委员会

广东省电子协会 SMT 专业委员会

秘书长 苏曼波

2010 年 2 月

目 录

前言

第 1 章 概论	1
1.1 先进制造技术概论	1
1.1.1 制造技术的进步和发展	1
1.1.2 先进制造技术体系	2
1.2 电子制造技术概论	6
1.2.1 电子制造产业	7
1.2.2 电子制造技术的发展	8
1.3 先进电子制造技术体系	17
思考与习题	20
第 2 章 先进制造技术	21
2.1 现代设计技术	21
2.1.1 现代设计技术的主要内容	21
2.1.2 CAD 技术	24
2.1.3 全生命周期设计	36
2.1.4 虚拟设计	39
2.2 信息化制造技术	43
2.2.1 计算机辅助制造 CAM 系统	43
2.2.2 CAPP 和 CAQC 技术	45
2.2.3 现代集成制造系统 CIMS	47
2.2.4 分布式网络制造系统	53
2.2.5 智能制造系统	54
2.3 现代制造管理技术与系统	56
2.3.1 并行工程	56
2.3.2 精益生产	58
2.3.3 敏捷制造	61
2.3.4 绿色制造	63
2.3.5 制造资源计划	64
思考与习题	66
第 3 章 电子元器件和材料	67
3.1 THT 电子元器件	67
3.1.1 THT 无源元件	67
3.1.2 机电元器件	73
3.1.3 电声元器件	75

3.1.4 光电器件	76
3.1.5 电磁元器件	77
3.2 SMT 表面安装元器件	78
3.2.1 SMT 元器件的特点和种类	78
3.2.2 无源元件 SMC	81
3.3 电子元器件制造技术	87
3.3.1 电子元器件生产工程	87
3.3.2 电子元器件制造设备	89
3.4 电子材料	97
3.4.1 焊接材料	97
3.4.2 贴片胶和导电粘结剂	106
3.4.3 导线和绝缘材料	108
思考与习题	110
第4章 印制电路板设计和制造技术	113
4.1 印制电路板设计	113
4.1.1 印制电路板总体设计	113
4.1.2 PCB 布局设计	114
4.1.3 PCB 的布线设计	118
4.1.4 焊盘设计	123
4.1.5 丝网图形和 Mark 点设计	133
4.1.6 通孔插装 THT 印制电路板设计	136
4.2 SMT 可制造性和可测试设计	140
4.2.1 可制造性设计	140
4.2.2 可测试设计	146
4.2.3 设计文件	147
4.3 印制电路板制造技术	150
4.3.1 印制电路板的种类	150
4.3.2 基板	152
4.3.3 印制电路板制造工艺流程	156
4.3.4 多层板制造技术	157
4.4 超高密度印制电路板和柔性印制电路板	177
4.4.1 超高密度 PCB	177
4.4.2 柔性印制电路板	179
思考与习题	182
第5章 电子整机产品制造技术	184
5.1 电子整机产品的生产过程	184
5.2 电子整机产品生产线设计	186
5.3 通孔插装技术	190
5.3.1 元器件引线成形	190

5.3.2 自动插件技术	192
5.3.3 THT 焊接技术	195
5.4 电子产品制造工艺	202
5.4.1 电子产品制造工艺程序	202
5.4.2 电子产品的整机结构	204
5.4.3 防静电知识	204
思考与习题	206
第 6 章 电子表面组装技术	208
6.1 SMT 体系	208
6.2 SMT 工艺	210
6.2.1 SMT 组装类型与工艺流程	210
6.2.2 工艺参数和要求设计	212
6.3 SMT 生产线建线设计和设备选型	214
6.3.1 SMT 生产线的设计	214
6.3.2 设备选型	217
6.4 丝网印刷和点胶技术	221
6.4.1 模板印刷基本原理	222
6.4.2 模板和刮板	222
6.4.3 印刷机设备和工艺技术	226
6.4.4 点胶技术	231
6.4.5 胶印技术	235
6.5 贴片技术	237
6.5.1 贴片机分类	237
6.5.2 贴片机结构	240
6.5.3 计算机控制系统和视觉系统	247
6.5.4 贴片机工艺技术	251
6.6 SMT 焊接技术	258
6.6.1 再流焊	258
6.6.2 双波峰焊	271
6.6.3 选择性波峰焊	277
6.6.4 通孔再流焊	279
6.6.5 无铅焊接	281
6.7 SMT 检测技术	286
6.7.1 测试类型	286
6.7.2 自动光学检查 AOI	287
6.7.3 X-ray 测试机	291
6.7.4 ICT 测试机	293
6.7.5 功能、性能检测和产品调试	298
6.7.6 SMT 检验方法 (目测检查)	300

6.8 清洗和返修技术	302
6.8.1 清洗技术	302
6.8.2 SMT 返修技术	305
6.9 表面组装技术 SMT 标准	308
6.9.1 与 SMT 相关的国际标准	308
6.9.2 IPC	311
6.9.3 RoHS	321
思考与习题	322
第 7 章 集成电路制造技术	325
7.1 集成电路的类别和封装	325
7.1.1 集成电路的类别	325
7.1.2 集成电路的封装	327
7.2 集成电路制造技术	333
7.2.1 集成电路制造工艺	333
7.2.2 芯片的安装与互连技术	348
7.3 半导体分立器件制造技术	357
7.3.1 半导体分立器件的分类	357
7.3.2 LED (发光二极管) 制造技术	359
7.4 厚膜混合集成电路技术	366
思考与习题	369
第 8 章 微组装技术	370
8.1 芯片组装器件	370
8.2 BGA、CSP 制造和组装技术	371
8.2.1 BGA 制造技术	371
8.2.2 BGA 组装技术	375
8.2.3 CSP 组装技术	377
8.3 倒装片技术	379
8.3.1 倒装片制造技术	380
8.3.2 倒装片组装技术	382
8.4 MCM 技术和 3D 叠层片技术	385
8.4.1 MCM 技术	385
8.4.2 3D 叠层芯片封装技术	389
8.5 SOC/SOP 和 COF 技术	394
8.5.1 SOC/SOP 技术	394
8.5.2 COF 技术	396
8.6 光电路组装技术	397
思考与习题	400
附录 基本名词解释	401
参考文献	409

第1章 概 论

随着人类工业文明的不断进步，制造业已成为国家经济和综合国力的基础，制造业的发达与先进程度是国家工业化的重要表征。人类社会在步入新世纪的同时也逐渐由工业经济时代步入知识经济时代，全球经济正处于一个动态的变革时期，制造业面临更为严峻的挑战。在知识经济时代，知识型技术被认为是提高生产力和实现经济增长的驱动器。因而，先进制造技术已成为制造企业在激烈市场竞争中立于不败之地，并求得迅速发展的关键因素，成为世界经济发展和满足人类日益增长需要的重要支撑，成为加速高新技术发展和实现国防现代化的助推器。

1.1 先进制造技术概论

先进制造技术（Advanced Manufacture Technology, AMT）的概念源于20世纪80年代。它是指在制造过程和制造系统中融合电子、信息和管理技术以及新工艺、新材料等现代科学技术，使材料转换为产品的过程更有效、成本更低、更及时满足市场需求的先进的工程技术的总称。

1.1.1 制造技术的进步和发展

制造技术是制造业所使用的一切生产技术的总称，是从原材料和其他生产要素经济合理地转化为可直接使用的具有较高附加值的成品（半成品）和技术服务的技术群。制造技术的发展是由社会、政治、经济等多方面因素决定的。纵观近两百年制造业的发展历程，影响其发展的主要的因素是技术的推动和市场的牵引。人类科学技术的每次变革必然引起制造技术的不断发展。随着人类的不断进步，人类的需求不断发生变化，因而也推动了制造业的不断发展，促进了制造业的不断进步。

近两百年来，在市场需求不断变化的驱动下，制造业的生产规模沿着“小批量，少品种”向“大批量，多品种，变批量”的方向发展。在科学技术高速发展的推动下，制造业的资源配置沿着“劳动密集→设备密集→信息密集→知识密集”的方向发展。与之相适应，制造技术的生产方式沿着“手工→机械化→单机自动化→刚性流水自动化→柔性自动化→智能自动化”的方向发展。

自18世纪以来，制造技术的发展经历了5个发展时期。

1. 工场式生产时期

18世纪后半叶，以蒸汽机的发明为标志的产业革命，揭开了近代工业的历史，促成了制造企业的雏形——工场式生产的出现，标志着制造业已完成从手工业作坊式生产到以机械加工和分工原则为中心的工厂生产的艰难转变。

2. 工业化规模生产时期

19世纪电气技术得到了发展，由于电气技术与其他制造技术的融合，开辟了崭新的电

气化新时代,制造业得到了飞速发展,制造技术实现了批量生产、工业化规范生产的新局面。

3. 刚性自动化发展时期

20 世纪初,内燃机的发明,引起了制造业的革命,流水生产线和泰勒式工作制及其科学管理方法得到了应用。特别是第二次世界大战期间,以大批量生产为模式、以降低成本为目的的刚性自动化制造技术和科学管理方式得到了很大的发展。如福特汽车制造公司用大规模刚性生产线代替手工作业,使汽车的价格在几年内降低到原价格的 1/8,促进了汽车进入家庭,奠定了美国经济发展的基础。然而,这类自动机和刚性自动线生产工序和作业周期固定不变,仅仅适用于单一品种的大批量生产的自动化。

4. 柔性自动化发展时期

自第二次世界大战之后,计算机、微电子、信息和自动化技术有了迅速的发展,推动了生产模式由大中批量生产自动化向多品种、小批量柔性生产自动化转变。在此期间,形成了一系列新型的柔性制造技术,如数控技术 (Number Control, NC)、计算机数控 (Computer Number Control, CNC)、柔性制造单元 (Flexible Manufacture Cell, FMC)、柔性制造系统 FMS 等。同时有效地应用系统论、运筹学等原理和方法的现代化生产管理模式,如及时生产 (Just In Time, JIT)、全面质量管理 (Total Quality Control, TQC) 开始应用于生产,以提高企业的整体效益。

5. 综合自动化发展时期

自 20 世纪 80 年代以来,随着计算机及其应用技术的迅速发展,促进了制造业中包括设计、制造和管理在内的单元自动化技术逐渐成熟和完善,如计算机辅助设计与制造 CAD/CAM、计算机辅助工艺规划 CAPP、计算机辅助工程 (Computer Aid Engineering, CAE)、计算机辅助检测 (Computer Aid Test, CAT),在经营管理领域内的制造资源规划 (Manufacture Resource Planning, MRP)、企业资源规划 (Enterprise Resource Planning, ERP)、全面质量管理 TQC 等,在加工制造领域内的直接或分布式数控 NC、计算机数控 CNC、柔性制造单元、系统 FMC/FMS、工业机器人 (Robot)。为了充分利用各项单元技术资源,发挥其综合效益,以计算机为中心的集成制造技术从根本上改变了制造技术的面貌和水平,并引发了企业组织机构和运行模式革命性的飞跃。在此期间,体现新的制造模式的计算机集成制造系统 CIMS、并行工程 (Combine Engineering, CE) 以及精益生产 (Ingenious Production, IP) 得到了实践、应用和推广。此外,各种先进的集成化、智能化加工技术和装备,如精密成形技术与装备、快速成形技术与系统、切削技术与装备、激光加工技术与装备等进入了一个空前发展的时期。

综上所述,从传统的制造技术发展成为当代的先进制造技术是社会进步与技术进步的必然结果,是世界各民族竞争与合作在制造领域的体现,也是制造技术发展的主方向。20 世纪 90 年代以来,各工业发达国家和新兴工业化国家纷纷调整其技术政策,大力发展先进制造技术,力图在国际大市场中多分享一份。其中具有代表性的是美国的先进制造技术、关键技术 (制造) 计划、敏捷制造技术计划,日本的智能制造技术,韩国的高级先进制造技术计划等。

1.1.2 先进制造技术体系

图 1-1 所示为美国机械科学研究院提出的由多层次技术群构成的先进制造技术体系,该体

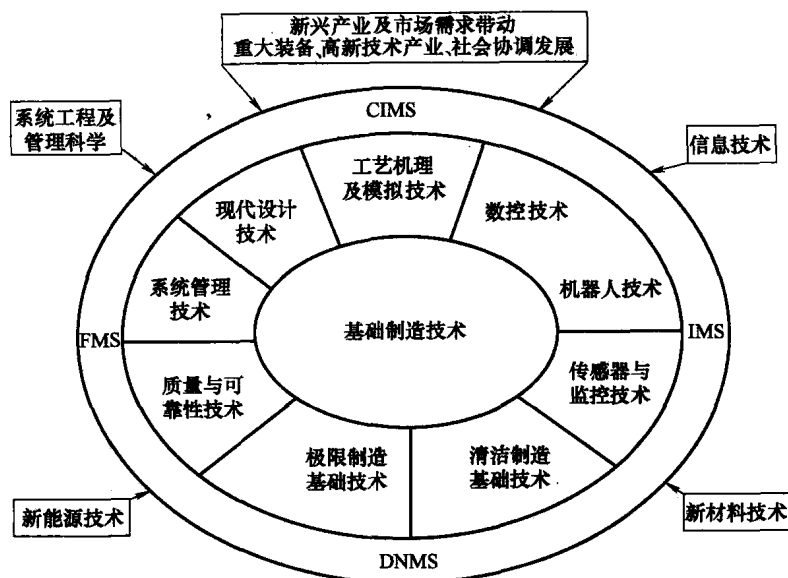


图 1-1 先进制造技术体系

系强调了先进制造技术从基础制造技术、新型制造单元技术到先进制造集成技术的发展过程。

第一个层次是优质、高效、低耗、清洁生产的基础制造技术，以及各种与产品设计有关的基础技术和现代管理技术。

第二个层次是实现新型制造技术。在新兴产业及市场需求的推动下，制造技术与电子、信息、新材料、新能源、环境科学、系统工程、现代管理等高新技术结合而形成的崭新制造技术，如虚拟设计和反求工程等现代设计技术；支持制造过程精密化和自动化的数控技术；基于系统工程理论的制造系统管理技术；产品质量及可靠性基础技术等。

第三个层次是实现先进制造系统集成技术。应用信息技术和系统管理技术，通过网络与数据库对上述两个层次的技术集成，如计算机集成制造系统（Computer Integrating Manufacturing Systems, CIMS）、柔性制造系统（Flexible Manufacture Systems, FMS）、智能制造系统（Intelligent Manufacture Systems, IMS）、分布式网络制造系统（Distributing Network Manufacture Systems, DNMS）等的系统智能和系统集成技术。

1. 传统制造技术与先进制造技术的区别

先进制造技术是传统制造技术的最新发展，其概念超越了传统制造技术界限。传统制造技术与先进制造技术有明显的区别，如表 1-1 所示。

表 1-1 传统制造技术与先进制造技术的区别

特 征	传统制造技术	先进制造技术
目标	以产品为中心	以用户需求为中心
制造厂要素	材料、能源、信息	材料、能源、信息
自动化	体力劳动的自动化	脑力劳动的自动化
柔性化	刚性自动化	柔性自动化
集成化	设计制造独立	设计制造一体化、CIMS
并行化	串行工程	并行工程
信息化	只能驾驭生产过程中的物料流和能量流	重点是处理系统中的各种信息流

1) 自动化。虽然 20 世纪上半叶就开始了制造业中体力劳动的自动化,但像产品及其工艺的设计、计划、调度、物料供应、财务等制造的管理等脑力劳动作业,却一直未能实现自动化,致使形成了 1870~1980 年的 10 年间,在效率的提高中,加工(体力劳动)是 20 倍,而管理是 80%~120%,设计则仅 20% 的失衡局面,限制了制造的再发展。电子计算机技术,更确切地说是信息技术的出现,脑力劳动的自动化才得以迎刃而解,开创了制造全局自动化的新时代。另一方面,体力劳动的自动化,随着信息技术的发展,由机械的刚性自动化,提升到了计算机数字控制柔性自动化的新高度,促使体力劳动向脑力劳动转化。

2) 柔性化。信息化制造技术的本质,是靠计算机的程序指令来完成所需作业的操作,而程序指令在很大程度上是可变的,也就是说是“柔性”的。“柔性”的现实意义是,一种设备,一条生产线,只要另行工艺“组态”,就可生产相应规格型号的产品,而不必另行投资。这就意味着一次投资就可生产出多种型号规格的产品,且成本的高低不再与批量相关,即所谓的多品种、小批量生产。如松下的音响生产线,能生产出 5000 个型号规格。不仅满足了不同客户的个人爱好,而且绝对价格并不比单一品种时期的相同产品高,甚至有的还低了。

3) 集成化。

① 设计制造一体化(CAD/CAM)。本来产品从概念设计到产品的制作完成,经由功能设计、结构设计、工艺设计、材料定额、生产计划、材料准备、排产、派工、生产设备的工艺组态等环节。传统的做法都要靠人传递的纸质文件把它们沟通和衔接起来;信息化制造,则可以靠计算机网络一贯到底,做到无缝衔接。

② 制造业不同范围的一体化。与上相似,只是所涉及的一体化的范围更大而已。这就是后面要介绍的计算机集成制造(Computer Integrating Manufacture, CIM)。

4) 并行化。产品制造是经由如上所述的多个环节的作业完成的。环节的内部也有多个步骤。传统的做法是在上个环节或上个步骤完工后,交由下个环节或下个步骤接下去完成,并由局限于本职小视野的各自为政的责任部门承担。这种前后串起来的做法,称为串行工程。这在体制上就存在着前后的矛盾、总体上的不和谐的可能,上游决策给下游决策造成困难,下游决策不能保证上游意图贯彻到底,造成制造的每个环节、甚至每个步骤的临时重重复关与阻滞,以致返工不断、周期拉长、成本增大。信息化制造在资源共享、数据共享的技术支持下,在共同的视野上,前后、上下同时决策,做到总体的可行,产品的一次设计就能顺利投产到底。这就是制造业的并行化,即所谓的并行工程 CE。

5) 异地化。运用电子通信,可使不同的地域进行多种联合作业。如在不同楼宇、不同城市、不同国家进行同一产品的设计;不同的多厂进行同一产品的制造;组织社会生产资源的优势“存量”进行共同生产(即所谓的动态联盟、虚拟公司、敏捷制造),远距离设备,软件诊断,售后服务,居家办公等的异地同目标作业。

6) 信息化。传统制造技术一般以人流为主驾驭生产过程的物流、能量流、决策流;而先进制造技术以信息流为主,驾驭生产过程的物流、能量流、决策流的全过程,的系统工程,或者说是人控与自控的区别。传统制造技术一般只能驾驭生产过程中的物流和能量流,如典型的自动流水线生产方式;而先进制造技术除能驾驭物流、能量流外,重点是要及时、准确地处理系统中的各种信息流,如市场信息、产品信息、工艺信息、管理信息等。先进制造技术中的一个重要方面是如何实现这些大量信息的充分集成、合理流动和有效利用,目的

是使任何人 (Who) 在任何时候 (When)、任何地方 (Where), 都能以正确的形式 (Way) 得到。

7) 学科集成化。传统制造技术, 学科、专业比较单一, 界线分明; 而先进制造技术不是任何单一学科和技术的发展与延伸, 它是各学科、各专业技术之间交叉、融合形成的一门交叉学科和综合技术, 是学科和专业技术的群体。先进制造技术与其他高新技术的关系。如表 1-2 所示。

表 1-2 先进制造技术与其他高新技术的关系

其他高新技术	先进制造技术
系统工程、管理科学	精益生产、敏捷制造等系统组织技术、质量与可靠性技术等
电子、信息技术	计算机辅助工程、仿真、虚拟制造等
激光、新能源技术	快速原型制造、特种加工技术等
新材料技术	复合材料、特殊材料成形与加工技术等
高技术装备及产业	先进设计理论、柔性制造、精密加工、微细加工技术等

8) 效益化。先进制造技术比传统制造技术具有更加明显的效益, 极大地提高了劳动生产率具有低消耗、高质量、高速度等优势。

① 物资积压占用资金: 传统制造技术是先进制造技术的 1~2 倍。

② 投资: 同等生产规模, 传统制造技术是先进制造技术的 3 倍, 占用生产固定资产是先进制造技术的 3 倍。

③ 生产周期: 传统制造技术是先进制造技术的 4~10 倍。

④ 先进制造技术: 产品从设计到投产的时间缩短 30%~60%, 设备利用率提高 2~3 倍, 成本降低 50%, 人员减少 50%。

当今世界随着市场竞争的日益加剧以及全球化市场的形成, 先进制造技术已成为一个国家在市场竞争中或战场对抗中获胜的支柱, 先进制造技术的水平已经成为评价一个国家综合实力和科技发展水平及国防实力的重要标志之一。

2. 先进电子制造技术的主要内容

先进电子制造技术是对一系列高技术思想和方法的总称, 一般认为包括三大技术群: 主体技术群、支撑技术群和管理技术群, 如表 1-3 所示。

表 1-3 先进电子制造技术的主要内容

技术群	定 义	内 容
主体技术群	设计技术群 用于生产准备的工具群和技术群	① 现代设计方法。包括有模块化设计、系统化设计、价值工程、模块设计、面向对象的设计、反求工程、并行设计、绿色设计、工业设计等 ② 产品可信性设计。包括可靠性设计、安全性设计、动态分析与设计、防断裂设计、防疲劳设计、耐环境设计、维修设计和维修保障设计等 ③ 设计自动化技术。包括产品的造型设计、工艺设计、工程图生成、有限元分析、优化设计、模拟仿真、虚拟设计、工程数据库等内容
	制造技术群 用于产品制造的工艺和装备	包括材料生产工艺、加工工艺、装配工艺、数控技术和数控机床、机器人、自动仓储与物料系统, 在线检测与监控技术等

(续)

技术群	定 义	内 容
支撑技术群	是主体技术群发挥作用的基础和核心,是实现先进制造系统的工具、手段和系统集成基础技术	包括信息技术、传感技术和控制技术。如网络和数据库技术、集成平台和集成框架技术、接口和通信技术、软件工程技术、人工智能技术、信息提取和多传感器信息融合技术、模糊控制技术、智能决策与控制技术、分布处理技术等
管理技术群	是指企业现代化组织管理体制和机制,是使人、财、物得以高效整体运行的基础	包括 DSS 决策支持系统、QMS 质量管理体系、MIS 管理信息系统、MP 物料需求计划、MRP 制造资源计划、JIT 准时制造生产技术、LP 精益生产技术

(1) 主体技术群

主体技术群是先进制造技术的主体,包括面向制造的设计技术群和制造工艺与装备。

1) 设计技术群。是指用于生产准备的工具群和技术群等。信息社会的市场竞争主要取决于具有自主知识产权的新产品开发能力,先进的设计是决定产品质量、成本、市场适应性的基础。现代设计理论与方法表现为功能结构和价格、安全性、环境相容性、工业造型等的综合优化设计,表现为设计过程、开发过程和生产过程的紧密结合趋势,表现为计算机辅助设计工具、技术的大范围应用。

2) 制造工艺与装备技术群。是指用于产品制造的工艺和装备,包括材料生产工艺、加工工艺、装配工艺、数控技术和数控机床、机器人、自动仓储与物料系统,在线检测与监控技术等。先进制造工艺与装备是实现优质、高效、低耗、清洁生产的基础,是保证产品质量和市场竞争的基础。先进制造工艺与装备技术的前沿包括余量小或无余量精密成形技术,精密、超精密加工技术,新型材料的成形与加工技术,构件或材料之间的连接技术,表面新技术等。

(2) 支撑技术群

支撑技术群是指主体技术群发挥作用的基础和核心,是实现先进制造系统的工具、手段和系统集成基础技术,包括信息技术、传感技术和控制技术。如网络和数据库技术、集成平台和集成框架技术、接口和通信技术、软件工程技术、人工智能技术、信息提取和多传感器信息融合技术、模糊控制技术、智能决策与控制技术、分支处理技术等。

(3) 管理技术群

管理技术群是指与先进制造技术结合的企业现代化组织管理体制和机制,是使人、财、物得以高效整体运行的基础,包括:DSS 决策支持系统、QMS 质量管理体系、MIS 管理信息系统、MRP 制造资源计划、JIT 准时制造生产技术、LP 精益生产技术。

1.2 电子制造技术概论

我国的电子制造业,尤其(Surface Mounting Technology, SMT)产业,已经经历了20世纪80年代开始的初期学习吸收和技术探索;20世纪90年代开始逐步发展,形成产业规模,技术水平日益提高;1999年开始进入中期的快速发展,产业规模急剧扩张,常规技术趋于成熟,产能迅速扩大;经过产业调整、管理升级和技术积累,估计到2020年前后,迎来跨越式发展新阶段,完全有可能实现强国的目标。

1.2.1 电子制造产业

我国电子信息产业规模连续多年保持 20% 左右增长率, 自 2006 年起产业规模跃居世界第二, 其中主要部分是由电子制造实现的。作为电子制造关键的 SMT 产业, 已经具备雄厚的发展基础, 到 2007 年底中国拥有自动贴片机超过 60000 台, 拥有 SMT 生产线超过 20000 条, 保有量已位居世界的前列。与 SMT 配套的前端产业, 除了集成电路设计制造和平板显示屏外, 包括印制电路板、无源元件及其他电子零部件已经基本实现国内配套, 其中一部分元器件和材料, 如多层陶瓷电容器、片式电感器、片式压电陶瓷变压器的关键技术方面拥有自主知识产权, 积累了一批技术含量高、市场容量大、应用与产业化前景好的优秀科研成果; 同时近年集成电路设计制造发展很快, 2007 年生产集成电路 412 亿块, 增长率达 22.6%。

制造业的发展离不开相应设备, 特别是 SMT 这种自动化程度很高的制造行业, 先进设备对产业水平和能力起决定性作用。目前我国已打破主要 SMT 设备全部依赖进口的局面, 国产设备和民族品牌开始在 SMT 设备市场占有相当市场。表 1-4 所示为国产 SMT 设备品牌, 都是具有自主知识产权的产品。从日东公司带动形成的 SMT 设备国产化, 经过近百家制造厂 20 年奋斗, 首先在波峰焊机和再流焊炉制造中取得了成功, 占领了国内 SMT 焊接设备近 2/3 的市场份额, 并有批量出口, 其中市场竞争中有良好表现的民营企业有: 日东、劲拓、科隆威、和西、常荣、安达、多多等。2005 年东莞神州视觉公司率先推出的自动光学检测仪 (AOI), 2006 年东莞凯格精机推出的全自动印刷机, 2007 深圳福斯托公司研发成功能参与品牌竞争的返修工作站 RD—50205 返修系统, 2008 年日联科技有限公司推出的高解析度自动 X 射线检测仪 (AXI) 透视检测设备。同时, 一批企业在除贴片机 (又称贴装机) 外的各种 SMT 装备设备制造相继获得成功, 这些民族品牌主要指标与国外品牌接近而性价比优于国外同类产品, 已经占领一部分国内市场并开始出口。

表 1-4 国产 SMT 设备品牌

设备名称	波峰焊机再流焊炉	印刷机	AOI	AXI	返修工作站
国产品牌	日东、劲拓、科隆威、和西、常荣、安达、多多	凯格精机、德森	神州视觉、振华兴	日联科技	福斯托

我国 SMT 产业 20 多年的发展历史, 就是数以十万计的广大从业人员在探索中发展、在学习中提高的历史。形成了老、中、青三代人才, 是我国建成 SMT 强国的强大人力资源。产业发展的关键在技术, 掌握技术关键是人才, 人才培养靠教育。21 世纪以来, 随着产业的快速发展, SMT 教育的重要性已经为越来越多的人关注, 校园教育与产业需求脱节的状况已经得到改善。桂林电子工业学院微电子制造工程专业是在全国工科院校中最早建立的, 有些高校如清华大学、华南理工大学、西南交通大学、哈尔滨工业大学、东南大学设有焊接与电子装联等方向, 而且重点放在硕士、博士层次。2000 年之后一部分高校开始在电子实践教学中增加 SMT 教学内容; 2002 年清华大学开始进入 SMT 技术培训, 把 SMT 培训推向新的高潮; 2006 年国家强调大力发展职业教育, SMT 实验室进入学校采购招标目录, 一大批中等职业教育学校与企业合作, 培养 SMT 基层技术人员, 进一步推动 SMT 教育发展。

1.2.2 电子制造技术的发展

1.2.2.1 元器件技术发展

1. IC 封装技术发展

电子元器件是电子信息设备的细胞，板级电路组装技术是制造电子设备的基础。不同类型的电子元器件的出现总会导致板级电路组装技术的一场革命。表 1-5 所示为电子元器件和组装技术的发展。

表 1-5 电子元器件和组装技术的发展

年 代	1950	1960	1970	1980	1990
产品分代	第一代	第二代	第三代	第四代	第五代
典型产品	电子管收音机、仪器	通用仪器、黑白电视机	便携式薄型仪器、彩色电视机	小型高密度仪器、录像机	超小型高密度仪器、整体型摄像机
产品特点	笨重厚大，功能少，不稳定	重量较轻，功耗低，多功能	便携式，薄型，低功能	袖珍型，轻便、多功能，微功耗，可靠	超小型、超薄型、智能化、高可靠
典型电子元器件	电子管	晶体管	集成电路	大规模集成电路	超大规模集成电路
电子元器件特点	长引线、大型、高电压	轴向引线	单、双列直插集成电路，可编带的引线元器件	表面安装、异形结构	复合表面装配、三维结构
电路基板	金属底盘，接线板铆接端子	单面酚醛纸质层压板	双面环氧玻璃布层压板，挠性聚酯亚胺板	陶瓷基板，金属芯印制板，多层高密度的印制电路板	陶瓷多层印制电路板、绝缘金属基板
装配技术特点	捆扎导线，手工烙铁焊接	半自动插装、浸焊	自动插装，浸焊，波峰焊，熔焊	两面自动表面贴装、再流焊或波峰焊	多层化、高密度化、安装高速化、倒装焊、特种焊

1) 20 世纪 60 年代，与集成电路兴起同时出现的通孔插装技术 (Through-Hole Technology, THT)。

2) 20 世纪 70 年代后半期，LSI 的蓬勃发展。

3) 20 世纪 80 年代，被第一代 SMT 所代替，以 QFP (Quad Flat Package) 为代表的周边端子型封装已成为当今主流封装；随着 QFP 的狭间距化，板级电路组装技术面临挑战，尽管开发了狭间距组装技术 (Fine Pitch Technology, FPT)，但间距 0.4mm 以下的板级电路组装仍然有许多工艺问题面临解决。

4) 20 世纪 90 年代前半期，作为最理想的解决方案，美国提出了第二代表面组装技术的 IC 封装一面阵列型封装 (Ball Grid Array, BGA)，其近一步的小型封装是芯片尺寸的封装 (Chip Size Package, CSP)，是在 90 年代末成为人们的关注的焦点，比如，组装实用化困难的 400 针以上的 QFP 由组装容易的端子间距为 1.0 ~ 1.5mm 的 PBGA 和 TBGA 代替，实现了这类器件的成组再流。特别是在芯片和封装基板的连接上采用了倒装片连接技术，使数千针的 PCBA 在超级计算机、工作站中得到应用。

5) 21 世纪，第三代表面组装技术直接芯片板级组装，但是由于受可靠性、成本和 KGD 等制约，仅在特殊领域应用，IC 封装的进一步发展，1999 年底，初露头角的晶片封装

(WLP) 面阵列凸起型倒装片 (Flip Chip, FC), 到 2014 年期待成为对应半导体器件多针化和高性能化要求的第三代表面组装封装。

2. 多芯片封装 (BGA/CSP) 和倒装片

自从 20 世纪 90 年代初 BGA/CSP 问世以来, 提出了各种各样的结构形式, 现在以面阵列型的 FBGA 是主流, 第一代 FBGA 是塑料类型的面朝下型, 第二代 FBGA 是载带类型的面朝下型, 都采用了引线框架塑模块封装, 而新一代的 FBGA 是以晶体作载体进行传送、切割 (划线) 的最终组装工艺, 即 WLP 方式, 取代了以前封装采用的连接技术 (线焊、TAB 和倒装片焊), 而是在划线分割前, 采用半导体前工序的布线技术, 使芯片衬垫与外部端子相连接, 其后的焊料球 (又称焊球、焊锡球、锡球、料球) 连接和电气测试等都在晶片状态下完成, 最后才划线分割。

PBGA、TBGA、FBGA、CSP 和 FC 是当今 IC 封装的发展潮流。表 1-6 列出了这些封装的发展动向。在板级组装中, 采用倒装片可以带来许多优点, 包括组件尺寸减小、性能提高和成本下降。倒装片 (Flip-Chip) 是直接通过芯片上呈阵列排布的凸起来实现芯片与电路板的互连。围绕高密度组装, 封装结构的多样化是封装最显著的特点, LSI 芯片的叠层封装、环形封装, 还有将出现新的 3D 封装, 光—电子学互连, 光表面组装技术也会蓬勃发展。系统级芯片 (System On A Chip, SOC) 和多芯片组件 (Multi-Chip Module, MCM) 的系统级封装, 随着设计工具的改善, 布线密度的提高, 新基板材料的采用, 以及经济的 KGD 供给的普及, 将进一步得到开发和进入实用阶段。

表 1-6 BGA 和 FC 发展动向

年 份	2000	2005	2008 - 2010	2014
BGA 球间距				
低档产品	1.27	1.00	1.00	0.80
便携产品	1.27	1.00	0.80	0.65
中等性能产品	1.27	1.00	0.80	0.65
高等性能产品	0.80	0.65	0.65	0.50
BGA 端子数				
低档产品	312	512	684	968
便携产品	420	684	800	1200
中等性能产品	840	1658	2112	3612
高等性能产品	1860	3280	3612	8448
CSP 间距/mm	0.50	0.40	0.30	0.30
列数 / 端子数	4/592	5/920	5/1280	5/1840
FC 芯片连接间距 (外部端子间距)/ μm				
便携产品	165	100	70	35
中等性能产品	200	150	150	150

3. 片式元器件

随着工业和消费类电子产品市场对电子设备小型化、高性能、高可靠性、安全性和电磁兼容性的需求, 对电子电路性能不断提出新的要求, 从 20 世纪 90 年代以来, 片式元器件进一步向小型化、多层化、大容量化、耐高压和高性能方向发展, 自从 1999 年中期 0201 元器件推出, 蜂窝电话制造商就把它与 CSP 一起组装到电话中, 印制电路板尺寸由此至少减小一半。同时随着 SMT 在所有电子设备中的推广应用, 世界范围片式元器件的使用量迅速