

Series of Electronic Packaging Technology

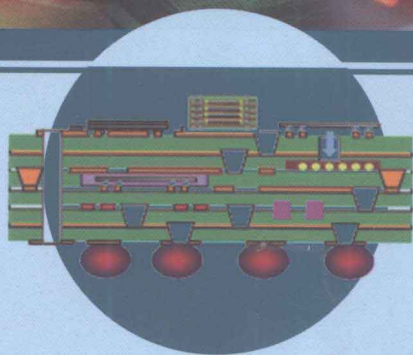
电子封装技术丛书

Equipment for Electronic Packaging Processes

电子封装工艺设备

中国电子学会电子制造与封装技术分会
电子封装技术丛书编辑委员会

组织编写



化学工业出版社

本书全面、系统地介绍了各级电子封装工艺所使用的封装设备、各种类型集成电路测试系统、测试辅助设备和半导体封装模具。全书通过封装工艺的简述引出设备,分别论述了电子封装工艺设备在电子和半导体封装工艺中的作用和地位,较系统地介绍了电子和半导体封装不同工艺阶段所对应的封装设备的工艺特点、工作原理、关键部件及应用的代表性产品示例。并针对目前先进封装技术和封装形式对工艺设备提出的新的需求,对未来微电子封装工艺设备的发展趋势做了展望。

本书对电子和半导体封装及相关行业的科研、生产、应用工作者都会有较高的使用价值,对高等院校相关专业的师生也具有一定的参考价值。

图书在版编目(CIP)数据

电子封装工艺设备/中国电子学会电子制造与封装技术分会,
电子封装技术丛书编辑委员会组织编写. —北京:化学工业出版社,
2011.12

(电子封装技术丛书)

ISBN 978-7-122-12230-8

I. 电… II. ①中…②电… III. 电子技术-封装工艺-设备 IV. TN05

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2011)第 179614 号

责任编辑:吴刚

文字编辑:闫敏

责任校对:周梦华

装帧设计:韩飞

出版发行:化学工业出版社(北京市东城区青年湖南街13号 邮政编码100011)

印刷:北京永鑫印刷有限责任公司

装订:三河市万龙印装有限公司

710mm×1000mm 1/16 印张39¼ 字数816千字 2012年7月北京第1版第1次印刷

购书咨询:010-64518888(传真:010-64519686) 售后服务:010-64518899

网址: <http://www.cip.com.cn>

凡购买本书,如有缺损质量问题,本社销售中心负责调换。

定 价:148.00元

版权所有 违者必究

电子封装技术丛书编辑委员会

顾问：俞忠钰 王阳元 许居衍 杨玉良 余寿文
王树国 龚克 汪敏 刘汝林 郭永兴

主任：毕克允

副主任：汤小川 王志越 张蜀平 武祥

编委：(以姓氏笔画为序)

丁冬雁	万里兮	马莒生	王红	王云峰
王志越	王春青	王新潮	石伟	石明达
史训青	毕克允	朱文辉	朱颂春	刘胜
刘兴军	汤小川	李明	杨士勇	杨崇峰
肖菲	肖胜利	吴懿平	况延香	张小健
张建华	张国旗	张金松	张蜀平	武祥
尚金堂	郑宏宇	郑学军	恩云飞	徐忠华
唐昊	黄明亮	程凯	童志义	赖志明
蔡坚	樊学军			

序

当前，全球已进入了信息时代，电子信息技术极大地改变了人们的生活习惯和工作方式，并成为体现一个国家国力强弱的重要标志之一。半导体集成电路技术是电子信息技术的基石。目前，半导体集成电路封装测试与设计、制造一起并称为半导体产业的三大支柱。

现代电子信息技术飞速发展，对电子产品的小型化、便携化、多功能、高可靠和低成本等提出了越来越高的要求。目前，电子封装为满足各种电子产品的要求，已逐渐摆脱作为微电子制造后工序的从属地位而相对独立，针对各种电子产品的特殊要求，发展了多种多样的封装技术，涌现出大量的新理论、新材料、新工艺、新设备和新的电子产品。电子封装测试技术正在与芯片设计和制造一起，共同推动着信息化社会的发展。而这种不断地更新与发展所依赖的基础则正是作为先进工艺技术载体的各类半导体封装工艺设备。

为适应我国电子封装产业的发展，满足广大电子封装工作者对电子封装技术方面书籍的迫切需求，中国电子学会电子制造与封装技术分会成立了电子封装技术丛书编委会，组织国内外有关专家编写了电子封装技术丛书。近几年来，编委会已先后组织编写、翻译出版了丛书之一《集成电路封装试验手册》（1998年电子工业出版社出版）、之二《微电子封装手册》（2001年电子工业出版社出版）、之三《微电子封装技术》（2003年中国科学技术大学出版社出版）、之四《电子封装材料与工艺》（2006年化学工业出版社出版）、之六《MEMS/MOEMS封装技术》（2008年化学工业出版社出版）等五本丛书已先后出版。《电子封装工艺设备》一书是本系列丛书的第七本书，继该书出版之后，正在编纂中的系列丛书之五《光电子封装技术》、之八《封装可靠性》以及之九《系统级封装》将会陆续出版，以飨读者。

《电子封装工艺设备》系统论述了从完成集成电路前工序后的晶圆测试、减薄、划片工艺开始，直至最后系统级封装目标的完成过程中各个工艺环节所涉及的不同工艺设备、测试系统、封装模具的原理、结构、关键部件及应用解决方案等。目前人们正在逐渐发现一个事实：继续遵循摩尔定律发展的技术并没有停步，甚至没有减速，而是通过先进封装技术的不断创新使系统的性能和功能得以极大地提升，进而以超越摩尔的步伐快速向前。书中针对目前先进封装技术和封装形式对工艺设备提出的新需求，对未来微电子封装工艺设备的发展趋势做了展望。作为封装工艺基础的设备也在开始寻找新的解决方案。例如出现了用于先进封装的硅通孔（TSV）等制造设备。本书对微电子封装及相关行业的科研、生产、应用工作者都会有较高的使用价值，对高等院校相关专业的师生也具有一定的参考价值。

在本书的编著、出版过程中，长期从事微电子封装技术研究工作的童志义、兰

双文两位高级工程师和况延香教授级高级工程师做了大量艰苦、细致的工作。对于他们个人的付出，我表示由衷的感谢和钦佩。

我相信本书的出版发行将对我国电子封装行业的发展起到积极的推动作用，并在此向参与本书编写和审改的所有人员及支持本书出版的有关单位及出版社工作人员表示诚挚的感谢！

Handwritten signature in black ink, reading '毕克先' (Bikexian).

前 言

微电子制造实际上是一种电子互连过程，若以这种广义的电子互连概念为主线，将很容易探究到微电子制造技术的本质。例如，从传统铝互连到铜/低介电常数（Low-K）互连技术的出现；从 FBP、QFN、FC-BGA 技术的发展到 SoC、PoP、SiP 系统级封装的兴起；从 SMT 组装技术的大规模推广到多层化/埋入式基板的开发，从绿色电子法规的颁布到无铅焊料的普及，国际上微电子制造技术的这些变革本质上均可归结为电子互连形式及互连材料的发展与演变。而这种发展与演变所依赖的基础则正是作为先进工艺技术载体的各种半导体封装设备的不断更新。半导体及集成电路封装和装备有着十分密切的关系。装备是封装的基础和保障，新一代集成电路对封装提出了新的要求，这是必须基于设备来实现的。作为 IC 制造的最后道的封装线中有四大要素——装备、工艺、材料和环境，这四大要素形成了相互依存、相互促进、相互发展的格局。其中装备是第一要素，是决定性要素。装备和封装是互动关系。装备受封装牵动而发展，又推动封装发展。封装产业与装备产业相辅相成，要发展半导体及集成电路封装，封装设备必须先行。“十二五”期间，国家科技重大专项“极大规模集成电路制造装备及成套工艺”的实施必将极大地推动我国集成电路封装产业、设备、材料的快速发展。

本书是一部介绍半导体及集成电路封装工艺设备的原理、结构、关键部件及应用的技術全书。不仅包括各个封装工艺所涉及的主要设备、各种类型集成电路测试系统、测试辅助设备和半导体封装模具。本书内容具有全面性、系统性和实用性的特点。编写本书的目的是使读者对电子封装工艺设备有一个明晰的认识并了解面向工艺需求的设备解决方法，使读者知道今天的封装工艺对设备有何需求、现有的设备能做什么、还会有哪样的难题及发展的方向是什么。本书可供从事微电子封装和测试领域的技术人员参考，同时可作为意欲进入该领域的专业科技和管理人員学习的培训教材，也可作为高等院校相关专业师生的教学参考书。

本书由中国电子科技集团公司第 45 研究所董志义高级工程师和铜陵三佳山田科技公司的兰双文技术总监负责全书内容的撰写，书中的第 1~9 章初稿由董志义完成，其中第 9 章主要借鉴《现代集成电路测试技术》下篇集成电路测试设备，并在其基础上增补了部分内容编撰而成的（本章的引用和修改已经过该书主编时万春研究员的许可和认同）。第 10 章初稿由兰双文完成。在丛书编委会主任毕克允教授的亲自主持下，对初稿进行了初审，分别由毕克允教授对第 1 章“绪论”、中电 45 所王宏智副总工程师对第 2 章“晶圆测试、减薄、划片工艺设备”、中电 45 所何田博士对第 3 章“芯片互连工艺设备”、中电 13 所高尚通教授对第五章“先进封装工艺设备”、中电 43 所况延香高级工程师对第 6 章“SMT 组装工艺设备”、第 7 章

“厚、薄膜电路封装工艺设备”、中电 15 所印制电路板 (PCB) 中心陈长生主任对第 8 章“PCB 基板工艺设备”、北京自动测试技术研究所张东所长对第 9 章“超大规模集成电路测试工艺设备”、中电 45 所白荣宏高级工程师对第 10 章“半导体封装模具”等各章节进行了严谨的审改。同时决定对全书的结构按照“1. 绪论、2. 常规封装、3. 先进封装、4. 组装、5. 基板、6. 测试”几大版块进行适当调整。随后按照初审会议的精神又分别由中国电子科技集团公司第 45 研究所王宏智副总工程师和王仲康高工对第 2 章、张云博士对第 6 章、葛劭冲工程师对第 4 章和第 7 章做了部分补充和认真修改；中科院计算技术研究所集成电路测试技术研究中心时万春研究员对第 9 章进行了认真细致的审阅与修改；兰双文对第 10 章内容进行了认真细致的修改和补充；童志义对第 1、3、7、8 章内容作了认真修改和补充，并负责对全书各章节的统稿。之后，由编委会主任委员毕克允教授亲自把关，与中国电子科技集团公司第 43 研究所况延香高工和 45 研究所童志义高工三人共同对全书进行了最后审定。

本书以介绍电子封装工艺设备为主线，通过对封装工艺的简述引出设备，重点描述设备特点、工作原理和关键技术。全书从十个方面分别论述了电子封装工艺设备在各级电子信息产品封装工艺中的作用和地位，较系统地介绍了电子信息产品在不同封装工艺阶段所对应的封装设备的工作原理、工艺特点、关键性能指标及代表性产品示例。

第 1 章通过概述电子产品封装工艺及其与设备的关系，描述了电子产品封装的意义、必要性及其封装设备在电子封装产业中的地位和作用；概括地介绍了全书的主要内容。

第 2 章从 IC 芯片进入后道封装工艺的芯片测试、晶圆减薄与划切的工艺需求入手，较系统地介绍了芯片测试、晶圆减薄与芯片分割等设备的工作原理、工艺特点、关键性能指标及代表性产品示例。

第 3 章简单描述了传统的引线键合塑料封装工艺流程，重点介绍了用于芯片安装和芯片互连工艺的各种芯片键合和引线键合设备。

第 4 章主要介绍了器件完成芯片互连封装后进行密封保护的工艺设备，其中有用于气密封装的金属和陶瓷封装设备及非气密性封装的塑料封装设备。以传统的塑封设备为主线，系统地介绍了模塑、排片、模压、塑封成型、切筋成型、引脚镀锡和印字打标设备。

第 5 章介绍了随着摩尔定律的发展受限，在被称作“超越摩尔定律”的新兴范式下，成为新一代主导封装技术的球栅阵列封装 (BGA)、多芯片组装 (multi chip module, 即 MCM)、系统级封装技术 (system-on-package, SoP 或 system-in-package, SiP)、晶圆级芯片规模封装 (wafer-level chip scale packaging, WLCSP)、三维芯片封装 (3D 集成)、堆叠封装 (package-on-package, PoP) 等先进封装技术所应用的各种先进封装工艺设备。

第 6 章讲述的是作为电气互联主流技术的新一代电子组装的 SMT 工艺设备，

全面地介绍了焊膏涂覆、元器件贴装、焊接、清洗、检测及电路板返修与维修设备。

第7章分别讲述了组装密度大、可靠性高、电性能好、可实现二次集成的组成混合集成电路的厚膜（丝网印刷、厚膜电路光刻、烧结炉、激光调阻）和薄膜（光刻、薄膜刻蚀）集成电路封装工艺设备，以及近年发展起来的令人瞩目的低温共烧陶瓷（LTCC）基板技术和工艺设备。

第8章在简单介绍印制电路板制作工艺的基础上，全面讲述了用于制造作为电子零件组装基板的印制电路板的各种工艺设备。

第9章首先介绍了各种集成电路器件为适应恶劣环境下完全实现设计目标所规定的功能及性能指标所进行的各种测试的自动测试方法和原理，然后系统地介绍了用于完成这些功能和性能测试的各种测试系统。

第10章介绍了在半导体电子元器件后道封装工序中，为实现半导体芯片与管脚相连的引线框架和对芯片、引线、内外管脚进行固定和支撑保护的各种半导体封装模具的结构与技术特点，并介绍了模具的安装与调试过程。

本书在编写过程中，得到了中电45所领导和机关科技部的李燕玲、王安平两位同志的大力支持和帮助。本书也是在各有关上级领导的热情关怀下，在众多专家和同仁的大力帮助下完成的，值此本书出版之际，特向他们表示诚挚的谢意。

由于目前国内尚无系统介绍电子封装工艺设备方面的书籍，本书在微电子封装工艺设备的专业深度及相关理论的阐述上或有欠缺；加之本书所涉及的技术领域广泛，虽吸收了专家们的许多意见或建议，书中仍难免有不足之处，恳请业界人士及广大读者不吝赐教。

编者

目 录

第 1 章 绪论	1
1.1 电子产品封装概述	1
1.1.1 半导体封装技术	2
1.1.2 半导体封装技术的发展阶段	5
1.2 封装工艺与设备	9
1.2.1 电子封装的作用	9
1.2.2 从封装工艺到封装设备	10
1.3 封装设备的作用和地位	11
1.3.1 装备决定产业	11
1.3.2 半导体封装设备的作用和地位	12
1.4 微电子封装技术发展趋势	12
1.4.1 先进封装技术	14
1.4.2 印制电路板技术	18
1.4.3 中段制程时代的来临	21
1.4.4 环保绿色封装	21
参考文献	23
第 2 章 晶圆测试、减薄、划片工艺设备	24
2.1 概述	24
2.2 晶圆测试工艺设备	27
2.2.1 晶圆探针测试台	27
2.2.2 探针测试卡	34
2.2.3 典型测试设备示例	40
2.3 晶圆减薄工艺设备	43
2.3.1 晶圆减薄设备	43
2.3.2 典型减薄设备示例	54
2.4 晶圆划片工艺设备	55
2.4.1 晶圆划片设备	55
2.4.2 典型晶圆划片设备示例	68
参考文献	70
第 3 章 芯片互连工艺设备	72
3.1 概述	72
3.2 芯片键合工艺设备	78
3.2.1 芯片键合设备主要特点及工作原理	78

3.2.2	芯片键合设备关键技术与部件	81
3.2.3	典型芯片键合设备示例	84
3.3	引线键合工艺设备	87
3.3.1	引线键合设备主要特点及工作原理	87
3.3.2	引线键合设备关键技术与部件	92
3.3.3	引线键合主要工艺参数	102
3.3.4	典型引线键合设备示例	102
3.4	载带自动键合 (TAB) 工艺设备	105
3.4.1	TAB 设备主要特点及工作原理	105
3.4.2	TAB 设备关键部件	107
	参考文献	109
第 4 章	芯片封装工艺设备	111
4.1	概述	111
4.2	气密封装工艺设备	111
4.2.1	金属封装	111
4.2.2	陶瓷封装	112
4.2.3	气密封装设备	112
4.3	塑料封装工艺设备	116
4.3.1	塑料封装技术及类型	117
4.3.2	塑封设备	119
4.3.3	切筋成形机	125
4.3.4	引脚镀锡系统	127
4.3.5	印字打标机	128
4.4	产品包装与运输	129
	参考文献	130
第 5 章	先进封装工艺设备	131
5.1	概述	131
5.2	球栅阵列 (BGA) 封装工艺设备	133
5.2.1	BGA 封装	134
5.2.2	BGA 封装工艺关键设备	134
5.3	倒装芯片键合工艺设备	144
5.3.1	倒装芯片键合技术	146
5.3.2	倒装芯片键合设备	146
5.3.3	倒装芯片键合辅助工艺设备	153
5.3.4	典型倒装芯片键合设备示例	154
5.4	晶圆级 CSP 封装 (WLCSP) 工艺设备	157
5.4.1	晶圆级封装技术	157
5.4.2	晶圆级封装设备	158
5.4.3	重新布线 (RDL) 技术	160

5.5	系统级封装工艺设备	163
5.5.1	系统集成	163
5.5.2	系统级封装设备	163
5.6	三维芯片集成工艺设备	164
5.6.1	三维封装技术	166
5.6.2	三维封装工艺设备	172
5.6.3	硅通孔 (TSV) 蚀刻设备	181
5.6.4	激光划片机	186
5.6.5	铜镀层化学机械平坦化设备	188
	参考文献	194
第6章	表面贴装工艺设备	196
6.1	概述	196
6.1.1	SMT 工艺流程	197
6.1.2	SMT 生产线主要设备	198
6.2	焊膏涂覆设备	198
6.2.1	丝网印刷设备	199
6.2.2	丝网印刷机	200
6.2.3	SMT 贴片胶点胶机	207
6.2.4	喷射点胶机	210
6.3	元器件贴装工艺设备	211
6.3.1	贴片工艺	211
6.3.2	贴片机分类	213
6.3.3	贴片机结构类型	213
6.3.4	贴片机的的工作原理	218
6.3.5	贴片机工艺控制	225
6.3.6	典型贴片设备示例	229
6.4	SMT 焊接工艺设备	232
6.4.1	焊接方法及其特性	232
6.4.2	回流焊炉	233
6.4.3	波峰焊炉	241
6.4.4	无铅焊接技术简述	248
6.5	SMT 清洗工艺设备	249
6.5.1	清洗工艺	249
6.5.2	清洗设备	250
6.6	SMT 检测设备	256
6.6.1	自动光学检测 (AOI) 系统	257
6.6.2	自动 X 射线检测 (AXI) 系统	259
6.6.3	飞针测试设备	263
6.6.4	在线测试 (ICT) 设备	265

6.7 SMT 电路板返修与维修	266
6.7.1 普通 SMD 的返修	267
6.7.2 BGA 的返修	267
6.7.3 BGA 置球返修	268
6.7.4 典型返修系统示例	270
参考文献	272
第 7 章 厚、薄膜电路封装工艺设备	275
7.1 概述	275
7.2 厚膜电路封装工艺设备	276
7.2.1 厚膜电路封装工艺	276
7.2.2 厚膜电路工艺设备	281
7.3 薄膜电路封装工艺设备	288
7.3.1 薄膜电路封装工艺	289
7.3.2 薄膜电路工艺设备	290
7.4 低温共烧陶瓷 (LTCC) 基板工艺设备	303
7.4.1 LTCC 技术	304
7.4.2 LTCC 制作工艺	308
7.4.3 多层陶瓷工艺设备	316
参考文献	327
第 8 章 印制电路板工艺设备	329
8.1 概述	329
8.1.1 电子产品的多样化	329
8.1.2 PCB 基板薄型化	330
8.1.3 高速信息处理用 PCB	330
8.1.4 高耐热性 PCB 基板	331
8.2 印制电路板的类型	332
8.2.1 多层板 (MPCB)	333
8.2.2 高密度互连板 (HDI)	333
8.2.3 埋置元件印制电路板	334
8.2.4 挠性 PCB (FPC)	335
8.3 印制电路板的制造工艺	337
8.3.1 内层板制作工艺	338
8.3.2 多层板压合	340
8.3.3 挠性板制造工艺	341
8.4 印制电路板相关工艺设备	342
8.4.1 光绘设备	342
8.4.2 蚀刻设备	346
8.4.3 PCB 真空层压设备	349
8.4.4 钻孔设备	354

8.4.5	电镀铜设备	364
8.4.6	丝网印刷设备	370
8.4.7	PCB 电性能测试设备	371
8.4.8	自动光学检测 (AOI) 系统	384
8.4.9	PCB 成形设备	388
8.4.10	激光打标设备	393
	参考文献	394
第 9 章	超大规模集成电路测试工艺设备	396
9.1	概述	396
9.1.1	IC 测试的主要过程	396
9.1.2	测试的分类	399
9.2	集成电路测试系统	399
9.2.1	集成电路测试系统分类	400
9.2.2	电路测试原理	400
9.2.3	集成电路测试内容	401
9.2.4	分布式集成电路测试系统	403
9.2.5	内建自测试 (BIST)	406
9.2.6	集成电路测试验证系统	410
9.3	数字集成电路测试系统	414
9.3.1	数字集成电路测试原理	414
9.3.2	数字集成电路测试顺序	416
9.3.3	数字集成电路设计和生产中的测试	418
9.3.4	数字集成电路测试系统工作原理	420
9.3.5	数字 LSI/VLSI 测试系统	423
9.4	模拟电路测试系统	443
9.4.1	模拟电路测试所需仪器	443
9.4.2	模拟电路测试系统的系统结构	444
9.4.3	模拟测试系统仪器构成原理	453
9.4.4	现代模拟集成电路测试系统	472
9.4.5	模拟 IC 测试平台	476
9.5	数模混合信号集成电路测试系统	477
9.5.1	混合信号电路的测试需求	477
9.5.2	数模混合电路测试方法	479
9.5.3	混合信号电路测试系统的体系结构	484
9.5.4	混合信号电路测试系统的同步	488
9.5.5	混合信号电路测试系统	494
9.5.6	数模混合电路测试系统示例	500
9.6	SoC 测试系统	502
9.6.1	测试复杂性	502

9.6.2	SoC 测试设备	504
9.6.3	T2000 SoC 测试系统平台	507
9.6.4	SoC 测试系统示例	507
9.7	RF 测试	510
9.7.1	应对 RF 测试的 ATE 功能	510
9.7.2	数字 RF 测试系统	511
9.7.3	射频芯片测试的调制向量网络分析	513
9.7.4	射频晶圆测试	515
9.8	网络测试系统	520
9.8.1	虚拟仪器的出现	520
9.8.2	网络化仪器仪表	521
9.9	集成电路自动测试设备 (ATE)	524
9.9.1	自动测试设备的类型	524
9.9.2	典型测试系统示例	525
9.10	VLSI 测试的未来	533
	参考文献	535
第 10 章	电子封装模具	537
10.1	概述	537
10.1.1	电子封装模具分类与简介	537
10.1.2	引线框架模具	537
10.1.3	塑封模具	540
10.1.4	切筋成形模具	541
10.2	电子封装模具结构特点	544
10.2.1	引线框架模具的结构特点	544
10.2.2	塑封模具的结构特点	545
10.2.3	半导体切筋成形模具的结构特点	552
10.3	电子封装模具技术特点	556
10.3.1	引线框架模具的技术特点	556
10.3.2	半导体塑封模具的技术特点	560
10.3.3	半导体切筋成形模具的技术特点	584
10.4	电子封装模具制造与调试	590
10.4.1	模具制造与工艺	590
10.4.2	引线框架模具的安装与调试	592
10.4.3	半导体塑封模具的安装与调试	593
10.4.4	半导体切筋成形模具的安装与调试	595
	参考文献	598
附录	电子封装缩略语	599

第 1 章 绪 论

1.1 电子产品封装概述

当前，全球已进入了信息时代，电子信息技术的飞速发展，极大地改变了人们的生活方式和工作方式，同时也成为体现一个国家国力强弱的重要标志之一。信息技术是当今世界经济和社会发展的重要驱动力，信息产业已成为我国全面建设小康社会的战略性、基础性和先导性支柱产业，而半导体集成电路技术则是电子信息技术的基石。半导体微电子产业的高速发展，在全球已逐渐形成了电子设计、电子制造和电子封装与测试三大产业群，成为半导体产业的三大支柱。在设计、制造和封测三个相对独立的电子产业中，电子封装与测试产业群与前二者相比属于高技术劳动密集型产业，每年需要大批高、中级技术人才。同时，电子封测涉及的范围广，带动的基础产业多，特别是作为基础的制造装备更是支撑的基石，亟待在我国迅速发展。

进入 20 世纪 90 年代中期后，先进工业国家的集成电路已跨入高密度封装时代，使人们将电子整机性能的提高更多地转向了产品的封装技术。随着 CMOS 工艺开发的不断发展，继续等比例缩小的局限性日渐凸显，系统设计师们开始越来越多地转向以多芯片封装，而不是继续单单依赖在单一芯片上集成更多的器件来提高性能。在全世界范围内，随着后摩尔时代的到来，电子信息产业的竞争从某种意义上来说将主要体现在电子产品的封装方面。电子封装已从早期的为芯片提供机械支撑、保护和电热连接功能，逐渐融入到芯片制造技术和系统集成技术之中。

电子整机产品制造业大体上可以分为上、中、下三个层次：最上面的层次是终端电子整机，例如计算机、通信、各类音视频等电子整机产品，直接面对终端用户；中间层次是种类繁多的形成电子终端产品的各种电子基础产品，包括半导体集成电路、电真空及光电显示器件、电子元件和机电组件等，电子整机产品是由电子基础产品系统组装、集成而成；最下面的层次是支撑着电子终端产品组装和电子基础产品生产的专用设备、电子测量仪器和电子专用材料，它们是整个电子信息产业的基础和支撑。

因此，提升电子高密度封装测试能力，增强关键封、测设备仪器和基础材料的开发能力，建立植根于国内、具有核心竞争力的产业体系，是大力发展核心基础产业，推进产业链各环节协调发展的基本保障。

1.1.1 半导体封装技术

一个电子产品的制造过程包括半导体器件制造和整机系统组装。在半导体器件制造中，通常分为前工序和后工序。二者以晶圆（wafer）切分成芯片（chip）为界，在此之前为前工序，在此之后为后工序。图 1-1 所示为晶片（即晶圆）制造、芯片封装、元器件安装、PCB 板卡、最终组装成电子产品的整个过程。

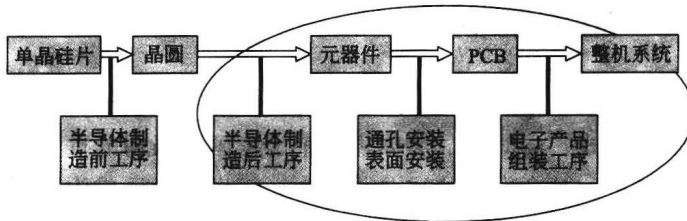


图 1-1 电子产品的物理实现过程

半导体器件的封装不仅起着安放、固定、密封、保护芯片和增强电热性能的作用，而且还是芯片内部通道与外部电路沟通的桥梁——芯片上的焊区用引线连接到封装外壳的引脚上，这些引脚又通过印制电路板上的导线与其他器件建立连接。因此，封装对 CPU 和其他集成电路都起着非常重要的作用。新一代 CPU 的出现常常伴随着新的封装形式的使用。

集成电路封装的目的，在于保护芯片不受或少受外界环境的影响，并为之提供一个发挥集成电路芯片功能的良好工作环境，以使之稳定、可靠、正常地完成电路功能。

因此，电子封装具有机械支撑、电气连接、物理保护、外场屏蔽、应力缓和、散热防潮、尺寸过渡及规格化和标准化等多种功能。

图 1-2 给出了一个三级电子封装示意图。可以看到，由半导体晶圆制作出一个个有特定功能的芯片（chip）后，它必须同其他元件通过输入输出（I/O）进行互连才能发挥功能。封装技术（packaging）就是如何将一个或多个芯片有效和可靠地封装互连起来，以达到：

- 提供给芯片电流通路；
- 引入或引出芯片上的信号；
- 导出芯片工作时产生的热量；
- 保护和支撑芯片，防止恶劣环境对它的影响。

三级电子封装又称为芯片级封装（零级封装）、器件封装（一级封装）、板卡组装（二级封装）和整机的组装（三级封装）。通常把零级和一级封装称为电子封装（技术），而把二级和三级封装称为电子组装（技术）。二级封装主要有两大技术：通孔插装技术（THT, through hole technology）和表面安（贴）装技术（SMT, surface mount technology）。由于 SMT 技术的优点非常突出，因此已成为电子生

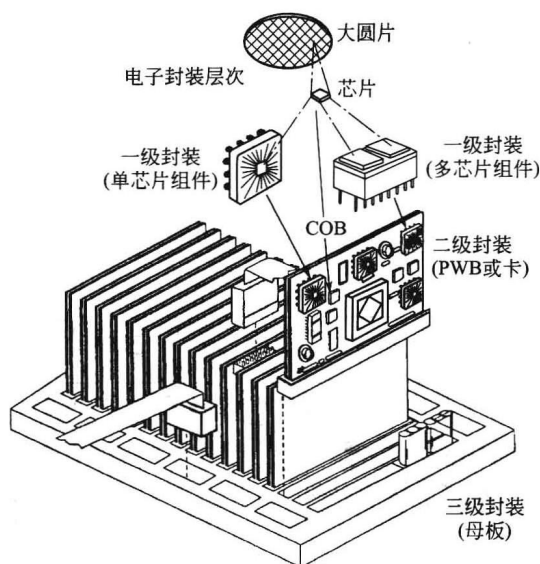


图 1-2 三级电子封装示意图

产领域里的主流技术，直到现在还垄断着电子组装的生产。需要特别指出的是，先进电子封装的发展更是强调系统设计，对上述不同的封装阶段，已由独立分散型向集中统一型，由单纯的生产制造型向设计主导型进展。即三级封装正逐渐走向融合。

现代终端电子产品的迅速轻、薄、短、小化，特别是移动通信产品，如前几年还只有通信功能的手机，现在已成为集通信、摄像、照相、传输文字信息和图像信息于一身的现代综合型电子产品，今后几年性能还会进一步提高，成为促进电子封装产业急速发展的第一个车轮。目前，许多跨国公司正集中力量开发将信息、通信、家电融合为一体的终端电子产品。小型化、轻量化、高性能化、多功能化、低功耗化和低成本化，已成为这类电子产品的战略发展目标，推动着微电子技术的进步与发展。

随着 IC（集成电路）芯片技术的发展，芯片封装技术也不断达到新的水平。集成电路芯片性能的飞速提高是促进电子封装产业急速发展的第二个车轮。例如：

① 存储器（DRAM）容量（位/芯片）从 64KB（1980 年）到 256KB（1983 年），4MB（1989 年），256MB（1998 年），1GB 以上（2001 年），大致按摩尔定律以 3 年（超过）4 倍的速度增加；

② 逻辑元件（MPU）特征尺寸从亚微米（1980 年）到 $0.6\mu\text{m}$ （1995 年）， $0.25\mu\text{m}$ （深亚微米，1998 年）， $0.13\mu\text{m}$ （2000 年），70nm（2004 年），45nm（2007 年），32nm（2009 年）；

③ MPU 的时钟频率，以 Intel-奔腾机主板芯片为代表，从 450MHz（1999 年）到 1.3GHz（2000 年），1.7GHz（2001 年），2GHz（2002 年），目前已达