



国外优秀科技著作出版专项基金资助

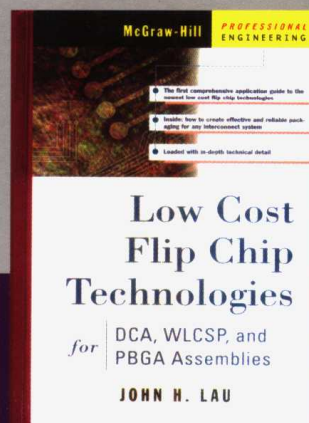
低成本 倒装芯片技术

——DCA, WLCSP和PBGA芯片的贴装技术

Low Cost Flip Chip Technologies for DCA, WLCSP, and PBGA Assemblies

[美] 刘汉诚 (John H. Lau) 著

冯士维 吕长志 盛海峰 译



化学工业出版社
工业装备与信息工程出版中心

图书在版编目 (CIP) 数据

低成本倒装芯片技术——DCA, WLCSP 和 PBGA 芯片的贴装技术/ [美] 刘汉诚著; 冯士维等译. —北京: 化学工业出版社, 2006. 4

书名原文: Low Cost Flip Chip Technologies for DCA, WLCSP, and PBGA Assemblies
ISBN 7-5025-8236-3

I. 低… II. ①刘…②冯… III. 芯片-微电子技术 IV. TN43

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2006) 第 007654 号

Low Cost Flip Chip Technologies for DCA, WLCSP, and PBGA Assemblies/
by John H. Lau

ISBN 0-07-135141-8

Copyright © 2000 by The McGraw-Hill Companies, Inc.

Original English Language edition published by McGraw-Hill Companies, Inc.

Simplified Chinese translation edition is authorized by the author, John H. Lau, of the original language edition. All rights reserved.

本书中文简体字版由 John H. Lau 授权化学工业出版社独家出版发行。
未经许可, 不得以任何方式复制或抄袭本书的任何部分。

北京市版权局著作权合同登记号: 01-2005-5880

低成本倒装芯片技术 ——DCA, WLCSP 和 PBGA 芯片的贴装技术

[美] 刘汉诚 著

冯士维 吕长志 盛海峰 译

责任编辑: 刘哲 宋辉

责任校对: 周梦华

封面设计: 于兵

*

化学工业出版社 出版发行
工业装备与信息工程出版中心
(北京市朝阳区惠新里 3 号 邮政编码 100029)

购书咨询: (010)64982530

(010)64918013

购书传真: (010)64982630

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

*

新华书店北京发行所经销

大厂聚鑫印刷有限责任公司印刷

三河市延风装订厂装订

开本 720mm×1000mm 1/16 印张 29 $\frac{3}{4}$ 字数 546 千字

2006 年 4 月第 1 版 2006 年 4 月北京第 1 次印刷

ISBN 7-5025-8236-3

定 价: 68.00 元

版权所有 违者必究

该书如有缺页、倒页、脱页者, 本社发行部负责退换

译者序

随着电子工业的飞速发展，电子器件封装的作用越来越重要。电子产品的主要发展趋势是更智能化、重量更轻、体积更小、厚度更薄、长度更短、速度更快、功能强、功率大、更可靠和价格更低。芯片倒装技术正是为适应这一趋势发展起来的新型技术。该技术起源于20世纪50年代，AT&T（现在的朗讯技术公司）最先开始使用倒装芯片技术。20世纪60年代初期，IBM为了在大型计算机中应用，也开发了可控熔塌芯片连接（C4）技术。这时的倒装芯片技术主要是使用成本较高的陶瓷基板。直到20世纪80年代后期，IBM报告在有机基板上成功实现倒装芯片，首次实现了高性能倒装芯片在低成本印刷电路板基板上的应用。从此倒装芯片技术广泛应用在各种电子器件的封装中。

目前随着微电子工业的蓬勃发展，芯片倒装技术在我国的应用也越来越广泛。由于此项技术国外比国内发达，虽原版书出版于2000年，但书中所描述的技术正为现今国内所用，因此翻译此书，以期为从事和使用倒装芯片技术的各界人士提供全面的技术信息。需要说明的是，书中的一些年代的相关数据可能有些滞后和偏差，请读者在阅读时酌情理解。另外，书中有些单位不是法定计量单位，译者在第一次出现的地方给出了单位换算。

本书中前言到第3章由吕长志教授翻译，第4章~第7章由冯士维教授翻译，第8章~第10章由张万荣教授翻译，第11章~第13章由徐晨教授翻译，第14章~第16章由盛海峰博士翻译。在文稿整理过程中，还得到王东风、张剑铭、李博、杨经伟、金冬月、李瑛、杨集、冯守博、刘婧等的帮助，在此表示感谢。

由于译者水平有限，文中难免会有不妥之处，希望读者不吝指正。

译者

2006年1月于北京工业大学

序

20 世纪 50 年代，AT&T（现在的朗讯技术公司）开始使用倒装芯片技术。贝尔实验室把这种技术称为梁式引线器件。20 世纪 60 年代初期，IBM 为了在大型计算机中的应用，也开发了可控的熔塌芯片连接（C4）技术。这些倒装芯片被安装在昂贵的陶瓷基板上，硅芯片和陶瓷衬底之间的热膨胀失配不是关键的问题。许多年来，硅橡胶被用作小的梁式引线器件的下填充，以防止恶劣环境的侵蚀。然而由于陶瓷基板的高成本，20 世纪 80 年代后期，此种技术还没有被普及。直到 IBM 在日本野洲（Yasu）的实验室报告了在有机基板上成功实现倒装芯片，首次表明了高性能倒装芯片在低成本印刷线路板基板上的应用。环氧的底部填料被用来减小热膨胀失配和增强在有机基板上倒装芯片的热疲劳性能。从此，人们对这种低成本倒装芯片技术产生了更大的兴趣，更多的研究和开发工作已经在这个重要领域内启动。

刘汉诚博士——最主要的电子封装专家之一，已经发表了 10 本以上的专著，对电子封装领域做出了巨大贡献。他承担了写一本通俗易懂的关于低成本倒装芯片技术方面专著的工作。这本书是为了使活跃在这个重要领域的科学家和工程师获得对这个技术领域的全面理解，同样也是为了解答封装工程师们在倒装芯片领域遇到的实际问题，那些希望最大发挥倒装芯片技术优势的系统工程师们也将会发现这本书对他们具有极大的帮助和用途。

这本书总共有 16 章，涵盖了低成本倒装芯片从基本原理到最新进展的整个范围。参考文献是广泛和全面的，对于参考和深入的研究可以提供有价值的资料来源。书中详细描述了许多实例、产品和有关倒装芯片技术的工艺。假如你对倒装芯片技术感兴趣，你会发现这本书是非常有价值的。我祝贺 John 成功地完成了这本有益于电子封装人员的非常实用的教科书。我希望像我一样，你会发现它在倒装芯片技术的研究和开发中是非常有帮助的，它将进一步激发你在这个领域的工作。

C. P. Wong 博士
IEEE 和 Bell 实验室高级会员
乔治亚技术学院 材料科学和工程教授
NSF-ERC 封装研究中心主任

前 言

在过去的 10 年内我们已经看到，由于对提高封装密度、性能和降低陶瓷封装价格的需求，使在低成本有机基板上焊料凸点倒装芯片的研究和开发方面有了迅猛的增长。就像其他的许多新技术一样，低成本的焊料凸点倒装芯片仍然面临着严重的问题。在基板上或塑料封装的衬底上开发倒装芯片必须注意和了解下面的问题（与引线键合、常规的表面安装技术对比）：倒装芯片的基础设施是不容易建立的；倒装芯片专门技术不是普遍可用的；晶片凸点制作（也叫晶片上凸点的制作，全书同）仍然太昂贵；裸管芯/晶片不是普遍可用的；裸管芯/晶片不易操作；捡拾和放置更困难；助焊剂是更重要的；下填充（下填料）问题；返修更困难；焊接点的可靠性更为重要；检测是更困难的；倒装芯片的可测性很难建立；芯片收缩和膨胀问题；已知合格芯片问题以及在焊料回流和下填料固化期间芯片的开裂等问题都有报道。

在过去的五年里，许多专家已经研究了一些这样的关键问题，他们的研究结果已经发表在各种刊物上，更多的是发表在电的设计、材料科学、制造工程、电子封装和互连的会议上、专题讨论会和研讨会的论文集上。然而没有一种专门的信息源致力于描述低成本倒装芯片的技术。这本书就是为了弥补上述的不足，在第一部分及时地总结了五年来这个最具吸引力领域中所有方面的进步。这本书是写给那些能够很快地学习基础知识和解决问题方法的人，以使他们了解涉及低成本倒装芯片技术的折衷，并作系统层面的决策。

这本书共分成 16 个部分。第 1 章简要地讨论了 IC 封装技术的发展趋势和进展。第 2 章描述了两类最普通的芯片级互连，称为引线键合和焊料凸点，讨论了多于 12 种的晶片凸点制作方法。第 3 章介绍了无铅焊料的物理和力学性质，同时给出了 100 多种以膏、棒和丝形式的无铅焊料合金。第 4 章讨论了高密度印刷电路板（PCB）和基板，并重点讨论了具有微型通孔逐次增层（SBU）制备技术，也提供了一些设计高速电路的有用图表。第 5 章描述了具有例如各向异性导电胶（ACA）和各向异性导电膜等无焊料、无助焊剂材料的印刷电路板上倒装芯片（FCOB），重点在于 ACA 和 ACF FCOB 装配的设计、材料、工艺和可靠性。

接着讨论了具有焊料凸点的 FCOB。第 6 章讨论了具有常规下填料凸点的 FCOB，讨论了高熔点和低熔点的焊料合金。第 7 章描述了非流动下填料的焊料凸点 FCOB，考虑了类液体和类薄膜的非流动下填充两种情况。第 8 章描述了不完全下填充焊料凸点的 FCOB，讨论了在 FCOB 装配中各种不完全下填充对焊接点可靠性的影响。

第 9 章讨论了焊料凸点 FCOB 的热控制，讨论了 PCB 结构、气流、芯片尺寸和功率耗散面积、下填充、焊料凸点数目以及热沉对 FCOB 装配热阻方面的影响。

第 10 章描述了晶片级封装，从系统制造者的观点看，绝大多数晶片级封装就像凸点倒装焊一样，除了晶片级封装的焊料凸点要大得多，并且更容易放置到 PCB 上，制造者不必须在下填充密封剂问题上下功夫。在这本书中简要地讨论了 6 个不同公司的晶片级封装。其他 8 个不同公司的晶片级封装，请参阅《芯片尺寸封装：设计、材料、工艺、可靠性及应用》(Lau and Lee, McGrawHill, 1999)。

在《芯片尺寸封装》一书中已经报道了多于 35 个公司的芯片级封装，而在这本书的第 11 章描述了微孔和焊盘通孔 (VIP) CSP 基板上的焊料凸点倒装芯片的应用。第 12 章描述了直接的存储器总线组件上的微焊球阵列 (μ BGA)，也讨论了存储器总线组件的 PCB 制造、测试和装配。

下面描述的是在塑料球栅阵列 (PBGA) 封装中有机基板上的引线键合芯片。第 13 章用实验测量和破碎机械学方法考察面朝上 PBGA 封装的爆米花效应，也描述了直接安装在 PCB 背面、具有大的塑封方形扁平封装 (PQFP) 的较大 PBGA。第 14 章描述了面朝下的 PBGA 封装家族。这些封装极好的电和热性能可以通过模拟和测量来证明。

本书的最后部分描述了在 PBGA 封装中有机基板上的焊料凸点倒装芯片。第 15 章讨论了由 4 个不同公司制造的焊料凸点倒装芯片 PBGA 封装的设计、材料、工艺和可靠性。第 16 章描述了 PBGA 封装中的焊料凸点倒装芯片的失效分析，重点是焊料凸点的挤压成型、芯片断裂和脱层。

这本书是为谁所写的呢？毫不怀疑，它将使三类专业人员感兴趣：①那些活跃的或有志于成为低成本倒装芯片技术的研究和开发人员；②那些已经遇到了实际的倒装芯片问题并且希望了解和学习更多方法来解决这些问题的人员；③那些必须为他们的互连系统选择一种可靠的、创新的、高性能的、耐用的和成本效益的封装技术的人员。这本书也能用作大学生和研究生的教科书，这些人将是未来电子工业的领导者、科学家和工程师。

我希望这本书将成为那些面对日益增加的 IC 速度、密度、降低产品的尺寸

和重量过程中出现的挑战性问题的人们的最有价值的参考书。我也希望它能激励低成本倒装芯片技术在电和热的设计、材料、工艺、制作、电和热的控制、测试、可靠性以及在电子产品中的应用得到进一步研究和开发。

学习如何在互连系统中设计低成本倒装芯片技术的组织有能力使电子工业取得重要的进步，并在成本、性能、质量、尺寸和重量方面获得巨大的收益。我也希望呈现在这本书中的信息将帮助排除低成本倒装芯片技术的路障，避免不必要的错误开端，并加速其设计、材料和工艺的开发。我强烈反对电子封装和互连是高速计算瓶颈的观点。反之，我把通过开发革新的、有成本效益的和可靠的低成本倒装芯片产品，看作是对电子工业做出重大贡献的黄金时机。对于低成本倒装芯片技术来说，这是一个激动人心的时代。

JOHN H. LAU (刘汉诚)

Palo Alto California

致 谢

在 McGraw-Hill 公司和 North Market Street Graphics 的许多敬业的工作人员努力下,《低成本倒装芯片技术——DCA, WLCSP 和 PBGA 芯片的贴装技术》一书终于出版了。我向他们的全体人员表示感谢。特别地感谢: North Market Street Graphics 的 Stephanie Landis 和 McGraw-Hill 公司的 Petra Captein 和 Thomas Kowalczyk 的坚定支持和拥护, 以及 Steve Chapman (电子学和光学工程执行编辑), 是他有成效地支持了这一项目, 并解决了在这本书准备出版期间所出现的许多问题, 使我出版这本书的梦想变成了现实。我非常高兴地与将我的凌乱手稿变成引人入胜书籍的人们共同工作, 并取得了成功的经验。

这本书的资料来源于许多个人、公司和机构, 在这本书的相应部分, 我对他们表示了致谢。对于在完成这本书的过程中给予合作的每一个人(请阅读此书的每一章中参考文献中的名字)一一致谢几乎是不可能的, 在此我对他们表示感谢。

另外, 我要感谢允许我在这本书中复制他们的插图和资料的几个专业协会和出版社。例如: 美国机械工程师学会 (ASME) 的会议论文集 (国际协会间电子封装会议) 和学报 (电子封装杂志)、电机和电子工程协会 (IEEE) 的会议论文集 (电子元件和技术会议、国际电子制造和技术会议) 和学报 (元件、封装和制造技术)、国际微电子与封装协会 (IMAPS) 的会议论文集 (微电子国际会议) 和学报 (国际微型电路和电子封装杂志)、表面安装技术协会 (SMTA) 的会议论文集 (表面安装技术杂志)、国家电子封装会议 (NEPCON) 和论文集、IBM 的研究和开发杂志、电子封装和产品、先进的封装、电路装配、表面安装技术、连接技术、固态技术、电路世界、国际微电子学、焊料和表面安装技术。

我要感谢我从前的雇主惠普公司给我提供了优越的工作环境, 将我培养成材, 实现了我对工作的满足并提高了我的专业声望。我也要感谢郭台铭 (Terry T. M. Gou) 先生 (鸿海精密工业有限公司的首席执行主席) 对我在 EPS 公司工作时的信任、重视和支持。

我要感谢我在惠普公司和所有电子工业界的优秀同伴, 感谢他们的有效帮助、强有力的支持和令人兴奋的讨论, 我也要感谢 EPS 公司的 Chris Chang、

Chih-chiang, Chen, Jennifer Leong, Ricky Lee (来自于香港科技大学)、Huabo Chen, Bill Wun, Kuan-Luen Chen, Ray Chen, Yung-Shih Chen, Tony Chen, Tai-Yu Chou, Sally Chung, Livia Hu, Cathy Hung, Kalok Jim (夏季实习生, 来自于牛津大学)、Wei Koh, Chien Ouyang 和 Frank Wu, 感谢他们非常有力的支持和建设性的意见, 能和他们一起工作和交往是一种荣幸和机遇, 从他们那里我已经学到了许多关于人生和电子封装的知识。

我也感激 C. P. Wong 教授, 是他在准备富有深刻见解的序言时辛苦地阅读了整个手稿的内容。他是低成本倒装芯片技术领域的关键人物之一。作为乔治技术学院 NSF-ERC 封装研究中心主任, 王博士具有实践的技能和对这本书中涉及的材料透彻理解, 因此我非常感激他为本书撰写的序言。

最后, 我要感谢我的女儿 Judy 和我的妻子 Teresa, 感谢她们的爱、体谅和忍耐, 允许我在许多周末为此书而工作。

JOHN H. LAU (刘汉诚)

Palo Alto, California

目 录

第 1 章 集成电路封装的发展趋势	1
1.1 引言	1
1.2 集成电路发展趋势	2
1.3 封装技术的现状	8
1.4 小结.....	14
参考文献	14
第 2 章 芯片级互连：引线键合和焊料凸点	24
2.1 引言.....	24
2.2 引线键合与焊料凸点.....	26
2.3 使用焊料的晶片凸点制作.....	35
2.4 α 粒子	67
2.5 无焊料的晶片凸点制作.....	67
致谢	68
参考文献	68
第 3 章 无铅焊料	72
3.1 引言.....	72
3.2 国际上在无铅焊料方面的尝试.....	72
3.3 无铅焊料的物理和化学性质.....	75
3.4 倒装芯片应用的无铅焊料.....	89
致谢	90
参考文献	91
第 4 章 高密度印刷电路板 (PCB) 和基板	93
4.1 引言.....	93
4.2 过孔的分类.....	94
4.3 常规机械数控钻孔形成微孔.....	97
4.4 用激光钻孔技术形成微孔.....	97
4.5 感光成孔的微孔	101

4.6	化学(湿法)刻蚀和等离子(干法)刻蚀的微孔	103
4.7	导电油墨制备的微孔	105
4.8	日本的微孔生产	108
4.9	微型焊盘中过孔(Via-in-Pad, VIP)	112
4.10	高速电路板的实用设计图	113
致谢		119
参考文献		119
第5章 使用无焊锡材料的板上倒装芯片技术		122
5.1	引言	122
5.2	使用各向异性导电薄膜(ACF)的板上倒装芯片(FCOB)贴装 ..	122
5.3	使用各向异性导电胶(ACA)的FCOB贴装技术	132
致谢		137
参考文献		137
第6章 使用常规下填充料的板上倒装芯片技术		139
6.1	引言	139
6.2	使用高温焊料凸点的板上倒装芯片(FCOB)技术	140
6.3	使用低温焊料凸点的板上倒装芯片技术	140
6.4	下填充料许多理想的特性	143
6.5	下填充料的操作和应用	144
6.6	下填充料的固化条件	144
6.7	下填充料的材料特性	145
6.8	使用下填充料的板上倒装芯片的流动速率	154
6.9	使用下填充料的板上倒装芯片的剪切测试	154
致谢		157
参考文献		157
第7章 使用无流动下填充料的板上倒装芯片技术		170
7.1	引言	170
7.2	无流动类液态下填充材料	172
7.3	类液态下填充料的固化条件	173
7.4	类液态下填充料的材料特性	175
7.5	使用类液态无流动下填充料的板上倒装芯片(FCOB)贴装	178
7.6	使用类液体无流动下填充料板上倒装芯片(FCOB)的 可靠性测试	180
7.7	类液态下填充料的非线性有限元分析	181

7.8	类液态下填充料的总结和建议	187
7.9	使用类薄膜无流动下填充料的板上倒装芯片 (FCOB)	188
	致谢	191
	参考文献	192
	第 8 章 非完好下填充的基板上倒装晶片	198
8.1	引言	198
8.2	非完好下填充的 FCOB 的可能失效模式	198
8.3	用有限元方法分析断裂机理	200
8.4	在外角区附近非完好下填充的 FCOB	201
8.5	在焊接拐角附近非完好下填充材料情况下的 FCOB (芯片 尺寸影响)	210
8.6	在拐角焊料接口附近, 在非完好下填充材料情况下的 FCOB (PCB 厚度的影响)	216
8.7	下填充材料空洞对焊料接口可靠性的影响	219
	致谢	223
	参考文献	223
	第 9 章 基板上倒装芯片的热管理	226
9.1	引言	226
9.2	SGS-Thomson 测试芯片	226
9.3	PCB 结构的影响	227
9.4	空气流速的影响	228
9.5	芯片尺寸和耗散功率面积的影响	229
9.6	基板上焊料凸点倒装芯片的散热途径	232
9.7	焊接数目的影响	233
9.8	PCB 内信号层中铜组分的影响	234
9.9	下填充材料的影响	234
9.10	热沉的影响	235
9.11	小结	236
	致谢	237
	参考文献	237
	第 10 章 芯片级封装	238
10.1	引言	238
10.2	EPS/APTOS 的 WLCSP	239
10.3	Amkor/Anam 的 wsCSP™	249

10.4	Hyundai 的 OmedaCSP	255
10.5	FormFactor 的 WLCSP	258
10.6	Tessera 的 WAVE	261
10.7	牛津的 WLCSP	264
致谢		268
参考文献		268
第 11 章 微焊盘通孔 (VIP) 基片上的焊料凸点倒装芯片		271
11.1	引言	271
11.2	在 CSP 结构中微 VIP 之上的倒装芯片	271
11.3	下填充对表面层压电路 (SLC) 基片形变的影响	281
致谢		288
参考文献		288
第 12 章 印刷电路板 (PCB) 的生产、测试和 RIMMs 的焊装		290
12.1	引言	290
12.2	Rambus 组件 PCB 生产和测试	293
12.3	在 Rambus 模块上使用微球栅阵列 (μ BGA) 的印制电路板 (PCB) 焊装	300
致谢		308
参考文献		308
第 13 章 在塑料球栅阵列 (PBGA) 封装中的引线键合芯片 (芯片面朝上)		310
13.1	引言	310
13.2	PBGA 封装爆裂 popcorn 的测试	310
13.3	PBGA 封装爆裂的断裂机理	321
13.4	PBGA 的 PCB 焊装 (背面直接带有大尺寸的塑料四边 引线扁平封装)	336
致谢		345
参考文献		345
第 14 章 PBGA 封装 (面向下)		347
14.1	介绍	347
14.2	NuBGA 的设计理念	348
14.3	NuBGA 设计实例	352
14.4	NuBGA 封装家族	354
14.5	NuBGA 的电学性能	354

14.6	NuBGA 的热性能	357
14.7	NuBGA 焊料凸点可靠性	365
14.8	标准 NuBGA 封装的总结	367
14.9	配置更薄的衬底和不均匀散热片的 NuBGA 封装	369
14.10	新 NuBGA 封装的热学性能	370
14.11	新 NuBGA 封装的焊料凸点可靠性	375
14.12	新 NuBGA 封装的电学性能	376
14.13	新 NuBGA 封装的总结	378
	致谢	378
	参考文献	378
	第 15 章 焊球凸点倒装芯片的 PBGA 封装	380
15.1	简介	380
15.2	英特尔的 OLGA 封装技术	380
15.3	三菱的 FC-BGA 封装	387
15.4	IBM 的 FC-PBGA 封装	397
15.5	摩托罗拉的 FC-PBGA 封装	403
	致谢	415
	参考文献	415
	第 16 章 低成本衬底上倒装芯片的失效分析	417
16.1	简介	417
16.2	使用不完美下填充剂的 FCOB 的失效分析	418
16.3	界面剪切强度	428
	致谢	432
	参考文献	432
	英汉术语对照	435
	作者简介	458

第 1 章 集成电路封装的发展趋势

1.1 引言

电子工业是一个最具活力、最有诱惑力的领域，并且是最为重要的制造业之一。在相对短的时期内，它已经成为发达世界中最大的和最具渗透力的制造业。

1947 年贝尔实验室（现在的朗讯科技公司）的 John Bardeen, Walter Brattain 和 William Shockley 对双极晶体管的发明预示着计算机发展的时代即将到来。1958 年德克萨斯仪器公司（Texas Instruments）的 Jack Kilby 和 1959 年仙童半导体公司（Fairchild Semiconductor）的 Robert Noyce 和 Gordon Moore 对硅集成电路（IC）的发明促进了小规模、中规模、大规模、甚大规模、超大规模、巨大规模和至今还没定论规模的集成电路（SSI、MSI、LSI、VLSI、ULSI、GSI、…、SI）的发展。

50 年前，平均每个家庭大概拥有 5 只源电子器件。今天，平均每个家庭拥有 1 亿只晶体管，到 2000 年这个数字很有可能超过 10 亿只^①。它已经在全球主要人口中产生了影响人们日常生活的革命。

IC 芯片不是孤立的岛屿，它必须通过互连的输入输出（I/O）系统与电路中的其他 IC 芯片相连接。然而，IC 芯片和它内部的电路是非常脆弱的，需要有一个封装来支撑和保护它。因此电子学封装的主要功能是：①给 IC 芯片上的电路提供电流的通路；②分配进入或离开 IC 芯片的信号；③耗散掉 IC 芯片上电路产生的热量；④支撑和保护 IC 芯片不受恶劣环境的影响。

图 1.1 是电子封装级别的示意图。封装的焦点是如何以高性价比可靠地将一个芯片（或许多芯片）进行封装。封装是一门建立在互连科学基础上的艺术，互连的范围从零级封装（即芯片级连接，例如金和焊料凸点）到第一级封装（单芯片或多芯片组件）、第二级封装 [即印刷线路板（PCB）] 以及第三级封装（即母板）。在这一章中，首先简要地讨论集成电路的发展趋势，然后简要地介绍集成电路封装技术的进展。

① 原著的出版时间是 2000 年。

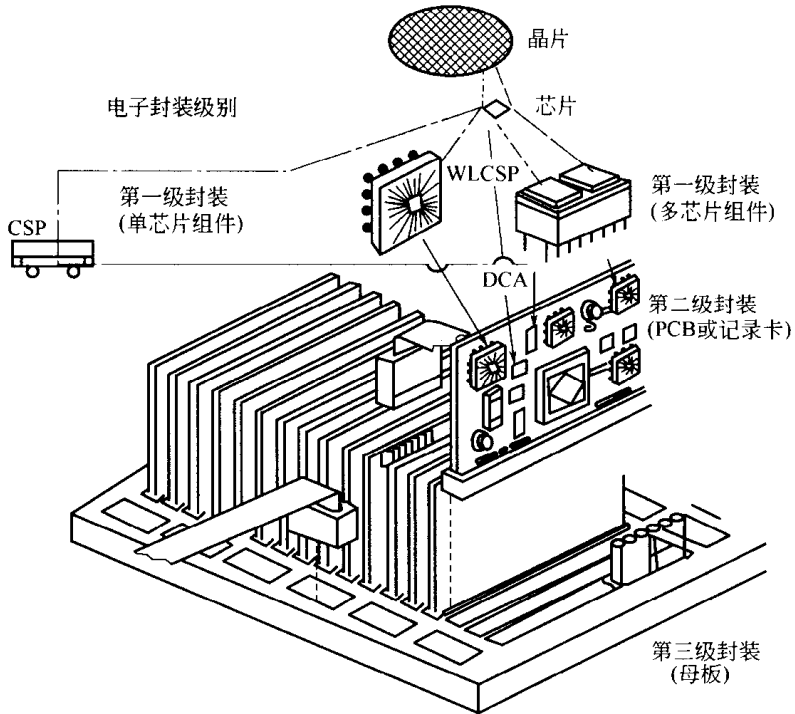


图 1.1 电子封装的前 3 级

1.2 集成电路发展趋势

1.2.1 IC 的密度和特征尺寸

在过去的 10 年中我们已经看到 IC 密度（即每个芯片上晶体管的数目）和芯片尺寸爆炸性地增长。一个关键的因素是互补金属-氧化物-半导体（CMOS）工艺的进步（图 1.2）。CMOS 工艺可具有微细的特征尺寸和很高的成品率。今天，大量生产中使用的特征尺寸是 $0.2\mu\text{m}$ （图 1.3）。按照半导体工业协会（SIA）的技术路线图，预测到 2001 年时，在大量生产的产品中， 1cm^2 芯片上将包含 1600 万个晶体管（表 1.1）。

1.2.2 IC 的工作电压

由于便携式电子产品猛烈地增长，IC 芯片的工作电压（电源）已经从 5V 减小到 3V 或 3.3V，这个数字还可能降到 2.5V，然后降到 1.5V，如图 1.4 和表 1.1 所示。关键原因之一是功率耗散正比于工作电压的平方，即工作电压越低，便携式电子产品电池的寿命越长。

1.2.3 微处理器、ASIC、DRAM 和 SRAM

在绝大多数的电子产品中有四种主要的 IC 器件：微处理器、专用 IC（ASIC）、

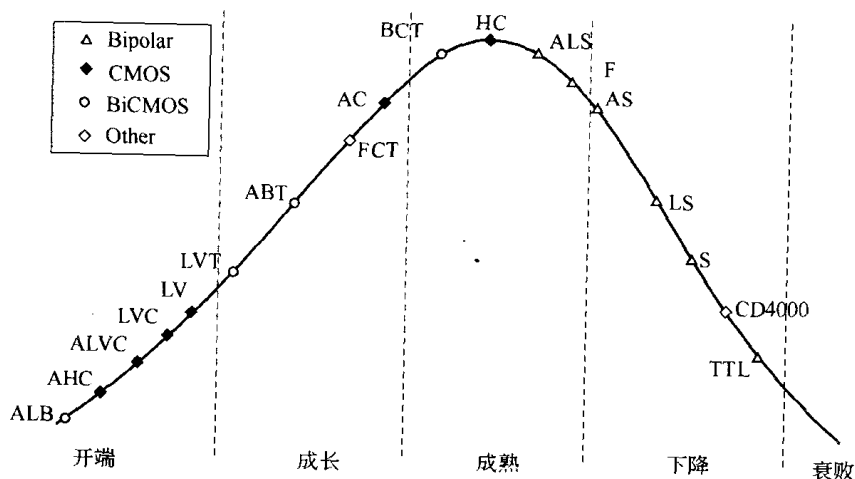


图 1.2 IC 工艺技术的发展趋势 (来源: 得克萨斯仪器公司)

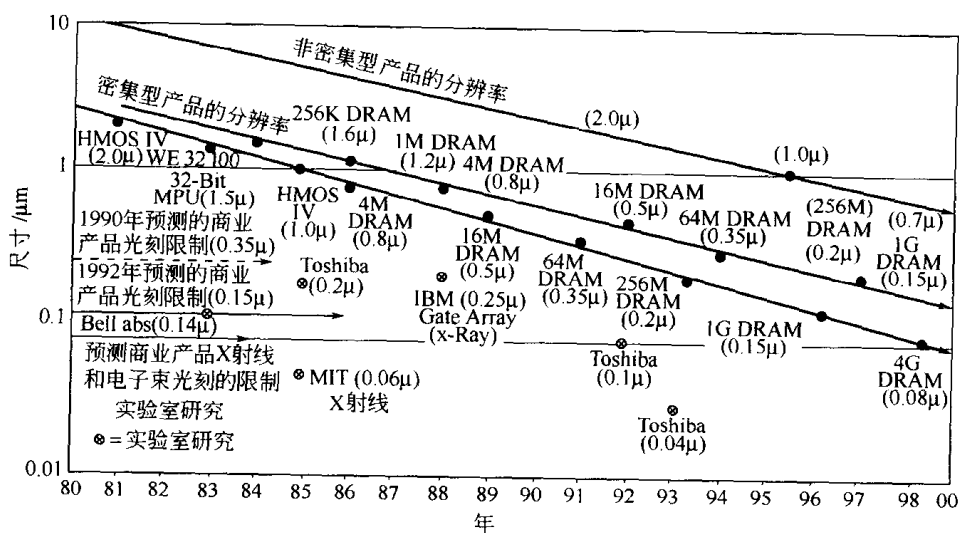


图 1.3 IC 特征尺寸的发展趋势

表 1.1 半导体工业协会给出的综合器件发展趋势

项 目		1997 年	1999 年	2001 年	2006 年	2012 年
存储器	产品阶段/(位/cm ²)	64M	256M	1G	4G	64G
	样品阶段/(位/cm ²)	96M	270M	380M	2.2G	17G
逻辑电路(大批量成本性能比 MPU)逻辑晶体管/cm ²		3.7M	6.2M	10M	39M	180M
逻辑电路(小批量 ASIC)晶体管数/cm ²		8M	14M	16M	40M	100M
功能/芯片	DRAM 位/芯片	267M	1.07G	1.7G	17.2G	275G