



电子线路 设计工艺



高平 编



化学工业出版社

电子线路设计工艺

高 平 编



化学工业出版社

· 北 京 ·

本书系统全面地介绍了电子设备组装工艺方面的理论知识和实践环节内容,与《电子线路设计基础》一书共同对电子设备的设计和工艺进行了详尽的说明,具有内容充实,知识面较广;注重应用,实践性较强;突出新颖,先进性较高;直观通俗,可读性较好等特点。

全书包括电子组装基本知识、电磁兼容性测量与测试、电子设备的接地防雷与防静电、电子设备的组装设计工艺、电子设备的散热设计、电子设备的隔振缓冲设计、电子设备的防护设计、电子设备造型与色彩设计等内容。

本书可作为高等学校电子、电气类专业相关课程的教材和工程培训用书,也可作为从事电子产品设计、研制、开发和生产的工程技术人员的参考用书。

图书在版编目(CIP)数据

电子线路设计工艺/高平编. —北京:化学工业出版社,
2006.12

ISBN 978-7-5025-9747-4

I. 电… II. 高… III. 电子电路-电路设计 IV. TN702

中国版本图书馆CIP数据核字(2006)第150922号

责任编辑:陈丽 郭燕春
责任校对:陈静

文字编辑:李土峰
装帧设计:史利平

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)

印装:北京市彩桥印刷有限责任公司

787mm×1092mm 1/16 印张13 字数312千字 2007年1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:26.00元

版权所有 违者必究

欢迎加入化学工业出版社读者俱乐部

您可以在我们的网站 (www.cip.com.cn) 查询、购买到数千种化学、化工、机械、电气、材料、环境、生物、医药、安全、轻工等专业图书以及各类专业教材, 并可参与专业论坛讨论, 享受专业资讯服务, 享受购书优惠。欢迎您加入我们的读者俱乐部。

两种入会途径 (免费)

- ◇ 登录化学工业出版社网上书店 (www.cip.com.cn) 注册
- ◇ 填写以下会员申请表寄回 (或传真回) 化学工业出版社

四种会员级别

- ◇ 普通会员 ◇ 银卡会员 ◇ 金卡会员 ◇ VIP 会员

化学工业出版社读者俱乐部会员申请表

姓名:	性别:	学历:
邮编:	通讯地址:	
单位名称:	部门:	
您从事的专业领域:		职务:
电话:	E-mail:	

- 您希望出版社给您寄送哪些专业图书信息? (可多选)

☐ 化学 ☐ 化工 ☐ 生物 ☐ 医药 ☐ 环境 ☐ 材料 ☐ 机械 ☐ 电气 ☐ 安全 ☐ 能源 ☐ 农业
☐ 轻工 (食品/印刷/纺织/造纸) ☐ 建筑 ☐ 培训 ☐ 教材 ☐ 科普 ☐ 其他 ()

- 您希望多长时间给您寄一次书目信息?

☐ 每月 1 次 ☐ 每季度 1 次 ☐ 半年 1 次 ☐ 一年 1 次 ☐ 不用寄

- 您希望我们以哪种方式给您寄送书目? ☐ 邮寄纸介质书目 ☐ E-mail 电子书目

此表可复印, 请认真填写后发传真至 **010-64519686**, 或寄信至: 北京市东城区青年湖南街 13 号化学工业出版社发行部 读者俱乐部收 (邮编 100011)

联系方式:

热线电话: 010-64518888; 64518899 电子信箱: hy64518888@126.com

前 言

电子技术的飞速发展,使电子设备在各个领域的应用越来越广泛,地位越来越重要。电子组装是电子产品设计、生产中的一项专业技术科学,越来越得到高度的重视。半导体集成电路的飞速发展,计算机网络化、信息化时代的到来,使得电子组装成为电子工业最重要和最具挑战性的技术之一。

培养工科院校学生的创新精神和实践能力,是培养新时期高素质人才的基本要求;提高从事电子组装设计工作的工程技术人员的专业知识和业务素质,是提高企业综合竞争实力的有力保证。工程实践能力的重要性无论对高校学生还是对工程技术人员,都具有极其重要的作用,对企业的发展也具有极其重要的影响。

本书与《电子线路设计基础》一起,力图在系统讲解电子组装所涉及的理论知识的同时,尽可能详尽介绍该课程所涉及的工程实践方面的内容,使内容详尽、完备,剪裁得体、精炼,使读者在掌握理论内容的同时,熟悉实践环节的操作技能。本书按照电子设备组装设计的过程进行编排,以元器件选购、印制电路板加工、焊接技术、整机组装、调试、检验这一主线展开,详尽介绍了电子设计工艺方面的内容。

本书与《电子线路设计基础》的编写具有如下特点。

(1) 内容充实,知识面较广。全书包括电子组装基本知识、元器件选购、电磁兼容性设计、印制电路板加工、焊接技术、整机组装、散热设计、隔振缓冲、气候防护、色彩设计、调试、检验以及包装、电子技术文件和标准等方面的内容。电子元器件中包括电阻、电容、电感、变压器、开关、接插件、继电器、散热器、半导体器件、集成电路、表面安装器件、在系统可编程器件等方面的内容。

(2) 注重应用,实践性较强。全书突出工程实践内容,强调工程意识和观念,各个章节包括了典型的组装技术和工艺流程,介绍了具体的措施和操作方法。电子元器件中主要介绍了各种元器件的特点、应用、技术参数指标、检测方法和选用原则,这些方面都突出了工程实践能力的培养。

(3) 突出新颖,先进性较高。全书介绍了电子组装技术中的新器件、新技术、新方法、新设备和新工艺,如电子元器件中介绍了表面安装器件和在系统可编程器件等代表未来发展方向的器件;印制电路板制版中介绍了印制板加工新产品、新设备、新工艺;焊接技术中介绍了表面安装技术以及焊接新设备、新工艺等,这些都将有助于读者更好地适应电子组装技术的发展,更好地从事电子组装设计工作。

(4) 直观通俗,可读性较好。全书以较平实的语言书写,力求通俗易懂;每一章节先介绍理论知识,在此基础上介绍实践环节和应用,力求理论指导实践;部分内容配合图例和表格,内容直观清晰;涉及计算的部分,列出了典型的例题,并对题意进行分析,给出了解题步骤;每一章后配置了思考题,有利于读者复习巩固。

本书由江苏大学李金伴教授主审。书中融入了编者从事工程设计的实践经验和高校相关课程的教学经验，编者查阅了大量的书籍和参考资料，参考了相关书籍和教材的突出优势，在此对相关作者及本书编写过程中给予过帮助的老师和相关人员表示衷心的感谢！并特别感谢江苏大学李金伴教授和戈晓岚教授对本书的关心和指导！

鉴于编者水平有限，经验不足，书中难免存在不完善之处，恳请广大读者批评指正，提供宝贵的意见或建议。

编 者

2006 年 10 月

目 录

第 1 章 电子组装基本知识	1
1.1 电子组装的发展与地位	1
1.1.1 电子组装的定义	1
1.1.2 电子组装的研究内容	2
1.1.3 电子组装的分类	2
1.1.4 电子组装的发展	3
1.1.5 电子组装的地位	4
1.1.6 电子组装的分级	5
1.2 主要组装技术	6
1.2.1 半导体集成技术	6
1.2.2 厚/薄膜混合微电子技术	6
1.2.3 表面安装技术 (SMT)	6
1.2.4 多芯片组件技术 (MCM)	7
1.3 互连与连接技术	7
1.3.1 互连方法	7
1.3.2 连接的分类	8
1.4 电子组装设计原则	8
1.4.1 系统对组装设计的要求	8
1.4.2 电路设计原则	8
1.4.3 电路性能	8
1.4.4 工艺	9
1.4.5 元器件的选用	9
1.4.6 热控制	9
1.4.7 可靠性	10
1.4.8 组装尺寸	10
1.4.9 成本	10
1.4.10 标准化、模块化	10
1.5 电子设备的特点	11
1.6 电子设备的可靠性及其提高方法	12
1.6.1 可靠性概述	12
1.6.2 可靠性指标	13
1.6.3 电子产品的失效规律	15
1.6.4 提高电子设备可靠性的方法	16
思考题	18
第 2 章 电磁兼容性设计	19

2.1 电磁兼容性分析和设计	20
2.1.1 电磁兼容性设计的内容及采用的方法	20
2.1.2 常见的电磁干扰源及其特性	23
2.1.3 电磁干扰作用途径及分析方法	25
2.1.4 电磁兼容性设计的方法	27
2.1.5 电磁兼容性设计的主要原则	30
2.2 电子设备电磁屏蔽设计	31
2.2.1 概述	31
2.2.2 电场屏蔽	32
2.2.3 磁场屏蔽	34
2.2.4 电磁屏蔽	35
2.3 电磁兼容测量方法	38
2.3.1 电磁兼容测量的基本概念	38
2.3.2 电磁兼容性测量目的及分类	40
2.3.3 电磁兼容测量的主要仪器和设备	40
2.3.4 电磁兼容测量标准	43
2.3.5 电磁兼容测量方法	45
2.4 电磁兼容性故障诊断技术	48
2.4.1 概述	48
2.4.2 电磁兼容性设计措施	48
2.4.3 电磁兼容性故障的诊断方法	50
2.5 电磁兼容性试验技术	51
2.5.1 基本概念	51
2.5.2 系统级电磁兼容性试验的必要性和复杂性	53
2.5.3 系统级电磁兼容性试验要求	54
2.5.4 系统级电磁兼容性试验内容	55
2.6 电磁兼容性相关测试	56
2.6.1 频率特性测试	57
2.6.2 电缆屏蔽效能测试	57
2.6.3 电磁环境测试	57
2.6.4 天线耦合度测试	58
2.6.5 电磁干扰滤波器测试	58
2.6.6 三阶互调特性测试	59
2.6.7 互调传导敏感度测试	59
2.6.8 交调传导敏感度测试	59
2.6.9 无源互调产物测试	59
2.6.10 空间微放电现象测试	59
思考题	60
第3章 电子设备的接地、防雷与防静电	61
3.1 电子设备的接地	61

3.1.1	概述	61
3.1.2	克服地线干扰的主要方法	63
3.1.3	接地电位差干扰的抑制方法	65
3.1.4	安全接地	66
3.1.5	接地系统设计	66
3.1.6	搭接	68
3.2	电子设备的防雷技术	69
3.2.1	雷电的形成过程	69
3.2.2	雷电破坏作用的机理	72
3.2.3	雷电电磁脉冲及其防护	74
3.3	电子设备的静电防护	78
3.3.1	静电的产生	78
3.3.2	静电的危害	79
3.3.3	静电的测量	80
3.3.4	静电放电的防护	81
	思考题	84
第4章	电子设备的组装设计工艺	85
4.1	元器件的布局	85
4.1.1	元器件的布局原则	85
4.1.2	布局排列方法和要求	86
4.2	典型单元的组装与布局	87
4.2.1	整流稳压电源的组装与布局	87
4.2.2	放大器的组装与布局	88
4.2.3	振荡回路的组装与布局	89
4.2.4	高频系统的布局与屏蔽	90
4.2.5	高频系统的组装要求	91
4.3	布线与连线技术	91
4.3.1	导线选用	91
4.3.2	布线应考虑的问题	92
4.3.3	导线的布线原则	94
4.4	导线的预处理	95
4.4.1	导线的加工工艺	95
4.4.2	浸锡工艺	95
4.4.3	元器件引线成型工艺	96
4.4.4	线把的扎制及电缆的加工工艺	96
4.5	电子设备的总体布局与组装	99
4.5.1	电子设备组装的结构形式	99
4.5.2	组装单元的划分	100
4.5.3	总体布局原则	100
4.5.4	整机组装的工艺性	101

4.6 包装	103
4.6.1 包装分类	103
4.6.2 产品包装原则	103
4.6.3 包装要求	104
4.6.4 包装材料	104
4.6.5 条形码	104
思考题	105
第5章 电子设备的散热设计	107
5.1 散热原理	107
5.1.1 传导换热	108
5.1.2 对流换热	110
5.1.3 辐射换热	111
5.2 电子元器件的散热	114
5.2.1 温度对元器件的影响	114
5.2.2 元器件的散热	115
5.2.3 散热器的选用	116
5.3 电子设备机内散热	118
5.3.1 元器件布局散热	118
5.3.2 电路板安装位置	119
5.3.3 总体布局	120
5.4 箱体的通风散热	120
5.4.1 自然散热与强迫散热	120
5.4.2 机箱的通风散热	121
思考题	122
第6章 电子设备的隔振缓冲设计	123
6.1 振动和冲击对电子设备的危害	123
6.1.1 振动和冲击对电子设备的破坏形式	123
6.1.2 电子设备的机械环境	123
6.1.3 振动和冲击对电子设备的危害	124
6.2 振动的产生及其隔离	125
6.2.1 振动系统的组成及其特性	125
6.2.2 振动的隔离	130
6.2.3 隔振设计	132
6.3 冲击及其隔离	135
6.3.1 冲击及其危害	135
6.3.2 冲击的隔离	136
6.3.3 隔冲设计	136
6.4 减振器的应用	136
6.4.1 隔振缓冲材料	136
6.4.2 减振器分类	138

6.4.3 标准减振器	139
6.4.4 隔振缓冲设计	140
6.5 电子设备的隔振缓冲设计	141
6.5.1 电子设备总体布局	141
6.5.2 电子元器件的隔振	141
6.5.3 印制电路板的安装	142
6.5.4 导线的隔振和缓冲	143
6.5.5 机架和底座的隔振	143
6.5.6 其他隔振缓冲措施	143
思考题	144
第7章 电子设备的防护设计	145
7.1 腐蚀因素及其影响	145
7.2 潮湿的防护	146
7.2.1 潮湿对电子设备的危害	146
7.2.2 吸湿机理	147
7.2.3 防潮措施	147
7.3 金属腐蚀的防护	148
7.3.1 金属腐蚀的机理及其危害性	148
7.3.2 防腐蚀覆盖层	149
7.3.3 金属防腐蚀设计	150
7.4 生物危害的防护	151
7.4.1 霉菌对电子设备的危害	151
7.4.2 防霉菌措施	152
7.4.3 其他生物危害的防护	153
7.5 灰尘的防护	153
7.5.1 灰尘对电子设备的危害	153
7.5.2 电子设备的防尘措施	154
7.6 塑料老化的防护	154
7.6.1 塑料老化对电子设备的危害	154
7.6.2 塑料的溶解和溶胀	154
7.6.3 塑料的老化	155
7.6.4 防老化措施	155
思考题	156
第8章 电子设备造型与色彩设计	157
8.1 美学与造型	157
8.1.1 规律之一：统一与变化	157
8.1.2 规律之二：均衡与稳定	158
8.1.3 规律之三：比例与分割	160
8.2 面板设计	162
8.3 色彩的设计	162

8.3.1	色彩的基本知识	162
8.3.2	色彩的对比与调和	165
8.3.3	色彩的感情	168
8.3.4	色彩的应用	169
8.3.5	电子产品的色彩设计	170
8.4	人机工程应用	173
8.4.1	人机工程	173
8.4.2	人体的生理特性	174
8.4.3	显示器的设计	178
8.4.4	控制器的设计	183
8.4.5	面板的整体布局	185
8.4.6	控制台设计	187
8.4.7	照明设计	188
思考题		189
附录		190
附录1 部分国家与地区喜爱和禁忌的色彩		190
附录2 电气制图及图形符号国家标准		192
参考文献		195

第 1 章 电子组装基本知识

1.1 电子组装的发展与地位

电子组装 (electronic packaging) 是电子产品设计、生产中的一门专业技术科学，越来越受到广泛的重视。半导体集成电路的飞速发展，计算机网络化、信息化科技时代的到来，使得电子设备实现小型化和微型化、高性能、高速度 (信息处理速度)、高可靠性成为必然趋势，传统的电子组装技术已不能满足需要，由此，电子组装已成为电子工业最重要和最具挑战性的技术之一。没有先进的组装技术就制造不出高水平、高性能的电子产品。人们对电子组装技术的认识不断提高，世界各国都在潜心研究、精心开发，创造了芯片载体 (chip carrier)、载带 TAB (tape automated bonding)、多层厚膜技术、多层薄膜技术、表面安装技术 SMT (surface mount technology)、多芯片组件 MCM (multi chip module) 等电子组装新技术。

1.1.1 电子组装的定义

电子产品种类繁多，主要包括电子材料、元件、器件、部件、整机和系统，其中各种电子材料和元器件是构成部件、整机的基本单元，部件和整机又是电子系统的基本组成部分。电子技术的应用极为广泛，产品涉及计算机、通信、自动控制、仪器仪表等各个方面。

电子组装是根据成熟的电路原理图，将各种电子元器件、机电元器件以及基板合理地设计、互连、安装、调试，使其成为适用的、可生产的小到集成电路，大至雷达、通信、超级巨型计算机等电子产品的技术过程。电子组装是一门电路、工艺、结构、元件、器件、材料紧密结合的多学科交叉的工程学科，它涉及集成电路固态技术、厚/薄膜混合微电子技术、印制电路板技术、表面安装技术、电子电路技术、CAD/CAT/CAM 技术、互连与连接技术、热控制技术、封装技术、测量技术、微电子学、物理学、化学、金属学、电子学、机械学、计算机学、材料科学等领域。

电子组装在研究、设计、制造中所包含的科学和工程学科如表 1.1 所示。

表 1.1 电子组装科学所包含的典型学科及应用

学 科 名 称	典 型 应 用	学 科 名 称	典 型 应 用
电子工程	电子电路设计、测试	电气工程	电气工程设计
机械工程	机械设计、制造	化学工程	化学处理、光刻工艺
微电子学	集成电路、厚/薄膜技术	计算机学	EDA/CAD/CAM/CAT
物理学	电性能、力学性能	化 学	化学分析、电镀
应用物理	应力分析、真空蒸发	工业管理	生产管理、成本分析
金属学	金属工艺	焊 接 学	软钎焊、再流焊
材料科学	厚膜浆料	陶瓷工程	陶瓷材料、厚膜工艺
工程热力学	热传递、热控制	聚合物化学	塑料、胶黏剂

工艺是生产者利用生产设备和生产工具，对各种原材料、半成品进行加工处理，使之成为符合技术要求的产品的程序、方法和技术，是人们在生产劳动中不断积累起来的操作经验

和生产能力的技术总结。

电子组装工艺即是电子产品的制造工艺，涉及电子产品设计、研制、元器件筛选、装配、焊接、调试、试验、检验、包装等各个方面的工艺过程。就电子整机产品而言，还涉及制造工艺的技术手段和操作技能，以及生产过程中的质量控制和工艺管理。上述各个环节都很重要，不可偏废，它们在电子产品的设计和生产中起着重要作用，直接影响和决定着电子产品的质量。

1.1.2 电子组装的研究内容

电子组装是一门将成熟电路转变为电子产品的工程科学，其主要研究内容如下所述。

(1) 电路划分与组装总体设计 自上而下将电路划分为若干个功能块，确定用几级组装，组装形式、结构和工艺，以及体积、重量、可靠性和成本的分配。

(2) 元器件选型和老化筛选 根据电子产品对于元器件的技术要求（电路图上标注），选用合适的元器件，并对选购的元器件进行老化筛选，确定真正满足需要的元器件。如集成电路选用什么公司的产品，选用何种型号，是用电路图规定的型号还是用 EPLD、FPGA、ASIC 进一步集成，以及用什么样的封装，是用常规双列直插式（DIP），还是用小型化表面安装器件（SMD）；又如电阻是用常规有引线电阻还是片式电阻，或是厚/薄膜集成电阻等。

(3) 互连与连接 互连基板技术包括厚膜技术、薄膜技术、印制电路板技术、绝缘金属基板技术、塑料基板技术等。互连基板主要提供各元器件之间的信号互连、电源与馈电互连、地线互连；提供元器件的机械固定与支持；提供元器件散热途径。

(4) 热设计 功耗密度随组装密度的提高而提高。应考虑元器件、各部件怎样布局更有利于散热，当互连基板本身不能耗散元器件发出的热量时，组装设计必须提供适当的散热措施，如风冷、液冷等，使半导体器件结温和元器件温度维持在允许工作温度之下，以保证产品的可靠性。

(5) 防护技术 电子设备在运输和使用环境中，可能存在各种安全隐患，如振动和冲击、潮湿、多粉尘的环境，应考虑如何进行隔振缓冲处理，如何进行防潮、防尘、防腐处理。

(6) 组装连接技术 组装连接包括芯片与封装的连接，元器件与基板的连接，基板与基板以及分机之间的连接，分机与机柜或整机的连接等。

(7) 测试与维修 各级组装都必须考虑可测试性和可维修性，以确保稳定、可靠地实现成熟电路的电气性能，并便于设备的维修。

(8) 机械支持和保护 为使产品能经受各种环境的影响，保持正常工作，经久耐用，并且美观大方，操作便利，必须将元器件、组件、部件等安装在插件盒、分机机箱、机柜等外壳中，必须对产品进行各种相关的试验和必要的检验，以确保电子产品在使用过程中可靠地工作。

1.1.3 电子组装的分类

电子组装可分为两个范畴：一类是传统的常规电子组装，其代表技术是穿孔插入式印制电路板组装（THT）；另一类是新一代电子组装，它的特点是产品的小型化、高性能、高速度、高可靠性、低成本，其代表技术为厚/薄膜混合微电子技术（HIC），表面安装技术（SMT），多芯片组件（MCM）等。

两大类电子组装所包含的组装形式及工艺如表 1.2 所示。

表 1.2 电子组装形式及工艺

组 装 形 式	内 容 说 明	分 类		方 法
常规电子组装	穿孔插入式 印制电路板组装			
新型电子组装	厚膜混合集成电路	单层		
		多层	干法	
			湿法	高温共烧法
				低温共烧法
	薄膜混合集成电路	单层		
		多层		
	表面安装技术	厚膜基板		
		薄膜基板		
		印制电路板	刚性	
			挠性	
		绝缘金属基板		
	多芯片组件(MCM)	MCM-L		
		MCM-C		
		MCM-D		
	三维组装技术			
	大规模集成技术			
	系统组装技术			

1.1.4 电子组装的发展

随着电子技术的发展，电子器件出现了电子管、晶体管、集成电路、大规模/超大规模集成电路的典型时代，电子组装技术也在不断地演变与发展，其发展过程如表 1.3 所示。

表 1.3 电子组装技术的发展

电子技术时代		典型元件	布线形式	焊接方式	典型技术
第一代	电子管	分立元件	分立走线	手工焊接	
第二代	晶体管	分立元件	单面印制板平行布线	手工焊接	
第三代	集成电路	集成电路	双面或多面印制板	波峰焊	厚/薄膜混合集成电路技术
第四代	大规模/超大规模集成电路	LSI/VLSI/ASIC	细线多层印制电路板	再流焊	表面安装技术多芯片组件

电子产品追求的目标始终是高性能、小型化、高可靠、低成本。电子管时代从老式大玻壳电子管缩小到花生管是一个进步。20 世纪 40 年代中期，晶体管的发明是电子技术的一次革命，与电子管相比，晶体管的体积、重量、功耗（大功率晶体管除外）下降了几个数量级。

由于晶体管体积小、电流小，电子组装出现了印制电路板，将分立走线变成为平面集成布线，同时还可提供元器件安装互连的机械支持，对于电子组装来说也是一次技术革命，从此进入印制电路板（PCB）时代。20 世纪 50 年代末期，集成电路的发明是电子技术的第二

次革命，在缩小体积、重量、提高性能及可靠性方面更是个飞跃性突破。集成电路的集成度开始以每年翻倍的速度上升，70年代以3年4倍，90年代以来以2年2倍的速度飞速上升。

随着IC的飞速发展，器件引脚数越来越多，电路板互连线越来越多，对电子组装的要求也越来越高。印制电路板由单面布线发展为双面布线、多层布线；装配出现了自动装插机；焊接技术由手工烙铁单点焊发展为波峰焊群焊，还出现了绕接、压接等，它们被广泛用于电话交换机及第三代电子计算机组装。

但常规电子组装的组装密度太低，体积、重量太大，互连线太长，信号速度上不去，成为电子产品向更高水平发展的瓶颈。20世纪60年代中期出现了膜集成电路和膜混合集成电路、小型化元器件及芯片直接组装技术。为了区别于常规电子组装，新一代组装技术称为微电子组装技术。微电子组装，即是利用混合微电子学技术（hybrid microelectronics），微小型半导体、集成电路技术和其他微小型元器件技术，以及微细焊接技术等，来实现高密度组装和互连的技术群。

20世纪70年代，随着LSI、VLSI的出现，新一代电子组装的发展进入高潮。70年代中期出现了芯片载体、载带、多层厚膜技术，70年代末80年代初，出现了表面安装技术（SMT）、芯片直接组装到印制电路板技术（COB），80年代中期出现低温共烧多层陶瓷基板技术、多层薄膜技术、多芯片组件技术（MCM），80年代末出现硅芯片-硅基板组装技术（SOS）、三维高密度组装技术、大圆片级集成组装技术（WSI）等。正是这些电子组装技术的诞生和发展，使得电子设备、电子产品的面貌日新月异，性能越来越好，功能越来越强，可靠性越来越高，体积越来越小，重量越来越轻，相对价格越来越便宜。

1.1.5 电子组装的地位

电子计算机的发展是说明电子组装的重要地位的最好例证。

第一代电子管计算机时代。1946年的ENIAC大型计算机，含25000个电子管，采用第一代组装技术，几十个大机柜，占据了很大的空间，而它的功能、性能远不如今天的一台袖珍计算器。

第二代为晶体管计算机时代。

第三代为中/小规模（MSI/SSI）集成电路计算机时代。这一时代开始使用印制电路板组装，体积、重量减小，技术性能明显提高。但组装效率很低，IC芯片体积与机柜体积之比（组装效率）约为 $1:10^5 \sim 1:10^6$ 。

第四代为大规模/超大规模（LSI/VLSI/ASIC）集成电路计算机时代。为了提高运算速度，研究、采用电子组装新技术取得了突飞猛进的成就。1985年日本电气公司的SX-2超级计算机采用厚膜多层加薄膜多层的组装方法，使组装延迟大大缩短；1991年SX-3型采用低温共烧78层厚膜加6层薄膜组装技术及VLSI技术，使延迟缩得更短，浮点运算速度达到55~220亿次/秒。

个人计算机的小型化也经历了由台式（desktop）到膝上型（laptop）到笔记本型（notebook）再到掌上型（palmtop）的变迁，其功能不断增强，性能不断提高，体积、重量大幅度下降，除了微小型元器件、液晶平板显示器的发展外，主要应归功于电子组装技术。

电子组装与IC技术是相辅相成的关系，IC技术越进步，就越需要电子组装技术的支持。IC的性能再好，集成度再高，也只能集成当前的、有限的电路。随着IC的发展，新的

电子设备又会提出更高的性能、更多的功能要求，一台高性能电子整机甚至需要用成千上万片 VLSI/ULSI/ASIC/MMIC/MIMIC 来组装。一方面，电子整机和 IC 的发展不断对电子组装提出更高、更苛刻的技术要求，推动电子组装向前发展；另一方面，先进的电子组装技术也在推动电子整机和 IC 向更高水平发展。

新一代电子组装的特色可概括为多引脚、细间距、高组装互连密度、高速度、高可靠、低成本、体积小、重量轻。

1.1.6 电子组装的分级

简单的电子产品（如收音机、计算器、电视机等）所含有的元器件不多，组装在一块印制电路板上，加上外壳就构成一台整机。而复杂的电子设备（如雷达、程控电话交换机、大型计算机等）包含成千上万个元器件，因此需要分级组装。

电子组装一般可分为以下几个组装级或组装层次：芯片级组装、元器件级组装、部件级组装、印制底板级组装、分机级组装、机柜级组装、系统级组装，如表 1.4 所示。

表 1.4 电子组装的分级

组装级	名 称	技 术 内 容	典 型 应 用
0	芯片级组装	在硅和砷化镓芯片上制作有源晶体管、电阻、电容及互连	VLSI、ASIC、MMIC、MIMIC
1	元器件级组装	IC 芯片安装到封装中互连、外壳密封	集成电路、电路网络、片式电阻电容
2	部件级组装	若干元器件或芯片组装到陶瓷基板、印制电路板、绝缘金属底板等互连基板并互连	印制电路板表面安装组件
3	印制底板级组装	若干个厚/薄膜电路或其他元器件组装互连到印制电路板上，若干块印制电路板组装互连到印制底板上	各种印制板组装件、各种插件
4	分机级组装	若干个前几级的组装件互连	发射机、接收机
5	机柜级组装	若干个印制底板级组装件或分机互连	通信机柜大型计算机机柜
6	系统级组装	若干个机柜级组装件互连	大型局用程控交换机

(1) 芯片级组装 常规电子组装没有这一级（第 0 级）组装，而新一代电子组装——微电子组装则非常重视这一级组装，因为用组装密度、互连密度、组装效率以及可靠性来衡量，芯片级组装都是最高的，集成电路可看作一种特殊的电子组装，即在一片有源基片（硅、砷化镓或其他）上实现高密度组装互连的手段。

(2) 元器件级组装 IC 芯片（或晶体管芯片）怕脏、怕潮、怕氧化，芯片的引线一般用金丝（ $\phi 0.025 \sim 0.03\text{mm}$ ）球焊或铝丝（ $\phi 0.04 \sim 0.05\text{mm}$ ）超声压焊。金属丝细而脆，极易碰坏，而且芯片不能预测和老化筛选，一般需要进行互连、封装后才能进行，大功率器件还需考虑散热。此外，如电容器芯组也需要引线、浸渍和外壳密封。

常规电子组装所用的元器件外形尺寸大、引线长，适合于穿孔插入式组装；新一代电子组装所用元器件的外形尺寸正在向小型化、微型化发展，适合于表面安装，称为表面安装元件（SMC）或表面安装器件（SMD）。

(3) 电路级组装 一般电子产品往往由许多元器件组成，因为一个元器件（例如 LSI/ULSI）的功能通常不能满足整个电路的需要，故需要第二级组装（电路级组装），即将各种元器件组装在厚/薄膜基板上、印制电路板上或其他互连基板上。

(4) 插件级组装 简单的电子产品可能用一块印制电路板就能包含其全部电路，如收音