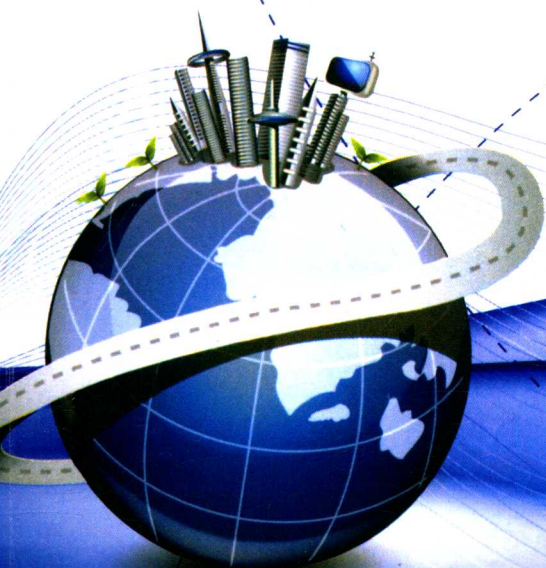




普通高等教育“十二五”规划教材

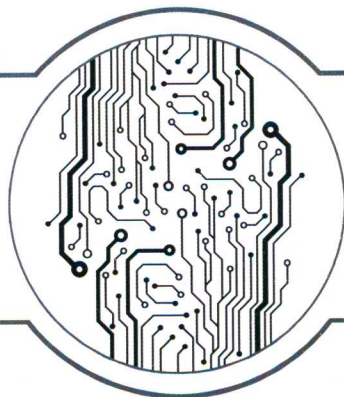


电子组装技术

——互联原理与工艺

赵兴科◎编著

- ★ 系统的材料连接原理
- ★ 全面的材料连接技术
- ★ 清晰的电子封装层次
- ★ 完整的产品制造过程
- ★ 提供课件等配套资源 (www.hxedu.com.cn)



中国工信出版集团



电子工业出版社
PUBLISHING HOUSE OF ELECTRONICS INDUSTRY
<http://www.phei.com.cn>

普通高等教育“十二五”规划教材

电子组装技术

——互联原理与工艺

赵兴科 编著

电子工业出版社

Publishing House of Electronics Industry

北京 • BEIJING

内 容 简 介

本书系统地介绍了熔焊、固相键合、钎焊、胶接及机械连接等材料连接方法的基本原理和技术特点,在此基础上分别讨论了器件级、板卡级和分机级等各电子组装等级所涉及的互联方法、连接材料和典型连接工艺,并讨论了互联与连接的缺陷、失效模式和电子组装可靠性问题。本书理论深入系统,工艺扼要全面,是一本关于电子组装互联与连接技术的实用性教科书和工具书。

本书可作为高等院校电子、材料、机械等专业的本科生、研究生教材,也可作为电子制造及相关行业的科研、工程技术人员的参考书。

未经许可,不得以任何方式复制或抄袭本书之部分或全部内容。

版权所有,侵权必究。

图书在版编目(CIP)数据

电子组装技术:互联原理与工艺 / 赵兴科编著. —北京:电子工业出版社, 2015.10

普通高等教育“十二五”规划教材

ISBN 978-7-121-27163-2

I. ①电… II. ①赵… III. ①电子元件—组装—高等学校—教材 IV. ①TN605

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2015)第 224185 号

责任编辑:许存权 特约编辑:刘丽丽 王 燕

印 刷:三河市华成印务有限公司

装 订:三河市华成印务有限公司

出版发行:电子工业出版社

北京市海淀区万寿路 173 信箱 邮编 100036

开 本:787×1 092 1/16 印张:13 字数:332 千字

版 次:2015 年 10 月第 1 版

印 次:2015 年 10 月第 1 次印刷

定 价:29.00 元

凡所购买电子工业出版社图书有缺损问题,请向购买书店调换。若书店售缺,请与本社发行部联系,联系及邮购电话:(010) 88254888。

质量投诉请发邮件至 zltts@phei.com.cn, 盗版侵权举报请发邮件至 dbqq@phei.com.cn。

服务热线:(010) 88258888。

前 言

随着信息产业的飞速发展,电子制造业已成为全球第一大产业。电子组装技术和人才的需求日益增多。近年来国内一些高校纷纷开设电子组装相关专业课程,很多高校及科研院所的研究人员正在承担电子组装技术领域的科研课题。为了满足广大师生和工程技术人员对电子组装技术与理论方面快速增长的知识需求,需要加强国内该领域的教材建设。

电子组装是以芯片为中心的现代电子产品制造过程的统称,涉及半导体技术、微电子技术、电路技术、互联与连接技术、热控制技术、测量技术等工程技术,其中互联与连接贯穿现代电子产品的整个制造过程,是现代电子产品重要特征,同时也是最容易出现问题的环节,很大程度上决定了电子器件与电子产品的安全可靠性和使用寿命。

本教材在借鉴现有电子组装技术类教材和专著的基础上,以互联与连接技术为主线,注重讨论了材料连接(包括冶金连接和非冶金连接)的原理,各组装等级中的互联与连接技术的方法与工艺,电子产品的可靠性等相关内容,旨在尝试构建电子组装的理论基础,以便于帮助读者理解、分析和解决电子组装的技术问题。

本教材分为7章,第1章电子组装概述,主要介绍电子组装的概念、基本过程、等级以及电子组装技术进展。第2章电子组装材料,主要介绍半导体材料、引线与框架材料、芯片基板材料、热沉材料、印刷电路板材料、黏结与包封材料等各类材料的基本性能要求、典型材料的特点。第3章电子组装原理,主要介绍熔焊、压焊、钎焊、胶接等各类连接的原理和基本过程。第4章器件级电子组装工艺,主要介绍引线键合、载带自动焊、倒装芯片以及三维组装等互联与连接的基本过程和技术特点。第5章板卡级电子组装工艺,主要介绍烙铁钎焊、波峰钎焊和再流焊等互联与连接的基本过程和技术特点。第6章导线互联与连接工艺,主要介绍导线绕接、压接等基本过程和技术特点。第7章电子组装的可靠性,主要介绍电子产品的故障形式、失效机理、可靠性评价等。

本教材可以作为高等工科院校材料连接专业(含电子组装与微连接专业)的教材,也可以作为相关专业的师生、科研人员及生产技术人员的参考用书。

电子组装技术是一门综合运用多门学科将成熟电路转变为电子产品的工程科学,涉及的学科方向多、技术性强;其次,电子制造技术正处于快速发展阶段,新材料、新工艺不断涌现。

由于编者的水平和时间所限,本教材难免存在不足甚至错误,请读者批评指正。

本教材承蒙中国科学院微电子研究所于大全研究员、中国科学院半导体研究所杨晋玲研究员审阅,两位学者提出了许多精辟而中肯的意见。教材编写过程中得到北京科技大学黄继华教授及其先进材料连接技术梯队的支持与帮助,谨此一并致谢。

本教材的编写和出版得到北京科技大学“十二五”教材建设项目经费资助。

赵兴科

2015年6月

目 录

第 1 章 电子组装概述..... 1	3.3.5 超声波焊.....70
1.1 电子组装的基本概念..... 1	3.4 钎焊基本原理.....74
1.2 电子组装的等级..... 3	3.4.1 润湿与填缝.....74
1.3 电子组装的进展..... 7	3.4.2 去膜反应.....79
1.4 教材主要内容..... 9	3.4.3 钎焊接头的形成.....85
知识点小结..... 9	3.4.4 常见钎焊缺陷.....92
复习题..... 10	3.4.5 钎焊方法与钎焊材料.....98
主要参考文献..... 10	3.5 胶接基本原理.....104
第 2 章 电子组装材料..... 11	3.5.1 胶接的机理.....104
2.1 半导体材料..... 11	3.5.2 胶接接头.....105
2.2 引线与框架材料..... 14	3.5.3 胶黏剂的组成及分类.....107
2.3 芯片基板材料..... 18	知识点小结.....110
2.4 热沉材料..... 25	复习题.....111
2.5 印制电路板材料..... 26	主要参考文献.....112
2.6 电极浆料..... 31	第 4 章 器件级电子组装工艺..... 114
知识点小结..... 32	4.1 芯片贴接.....114
复习题..... 33	4.1.1 导电胶黏结.....114
主要参考文献..... 33	4.1.2 金-硅共晶合金钎焊.....116
第 3 章 电子组装原理..... 35	4.1.3 银/玻璃浆料法.....118
3.1 冶金结合与非冶金结合..... 35	4.2 引线键合技术.....120
3.1.1 冶金结合的物理本质..... 35	4.2.1 引线键合技术类型.....121
3.1.2 冶金结合的条件与途径..... 38	4.2.2 热超声键合工艺.....124
3.1.3 材料连接技术分类..... 41	4.3 梁式引线键合技术.....127
3.2 熔焊基本原理..... 43	4.4 载带自动键合技术.....130
3.2.1 熔焊接头形成的一般过程..... 43	4.5 倒装芯片键合技术.....132
3.2.2 熔焊焊接的冶金反应..... 44	4.6 复合芯片互联技术.....136
3.2.3 焊接熔池与焊缝凝固..... 45	4.7 封装与密封.....138
3.2.4 熔焊焊接缺陷..... 48	4.7.1 封装.....138
3.3 压焊基本原理..... 51	4.7.2 密封.....143
3.3.1 压焊接头形成的一般过程..... 51	知识点小结.....144
3.3.2 冷压焊..... 60	复习题.....145
3.3.3 热压焊..... 62	主要参考文献.....145
3.3.4 电阻焊..... 64	第 5 章 板卡级电子组装工艺.....147
	5.1 通孔插装板卡的连接.....147

5.1.1 通孔插装板卡的单点 钎焊	148	6.3 导线压接	177
5.1.2 通孔插装板卡的整体 钎焊	151	6.3.1 一次性压接	177
5.2 表面安装板卡的连接	156	6.3.2 连接器	178
5.2.1 再流焊技术的原理与 工艺	156	知识点小结	180
5.2.2 再流焊主要焊接缺陷及 影响因素	160	复习题	181
5.2.3 再流焊加工设备	164	主要参考文献	181
知识点小结	166	第7章 电子组装的可靠性	182
复习题	167	7.1 电子产品的故障及失效机理	182
主要参考文献	167	7.2 焊点失效的特点与影响因素	185
第6章 导线互联与连接工艺	169	7.3 焊点可靠性测试与可靠性 评价	188
6.1 导线钎焊连接	169	7.3.1 焊点可靠性测试	189
6.2 导线绕接	170	7.3.2 焊点力学性能试验	195
6.2.1 导线绕接的基本原理	170	7.3.3 焊点加速失效试验	196
6.2.2 绕接设备与绕接工艺	174	7.3.4 焊点寿命预测	196
6.2.3 导线绕接性能检验	174	知识点小结	198
		复习题	198
		主要参考文献	198
		附录A 电子组装术语	200

第 1 章 电子组装概述

主要内容：电子组装的基本概念、电子组装的分级、电子组装的发展历程、电子组装的基本工艺流程。

重点内容：各级电子组装的特点。

从 20 世纪 90 年代开始，电子工业进入了空前的高速发展阶段。基于芯片的现代电子产品制造技术的发展加速了消费类电子产品的普及。以智能手机、平板电脑等为代表的个人消费类电子产品已成为普通百姓的日用必需品，极大地推动了全球信息时代的进程；同时，信息时代进程也对电子设备提出了品种更多、功能更强、体积更小、安全性更高、重量更轻等性能需求，反过来刺激了现代电子产品及其先进制造技术的不断发展。电子组装是现代电子产品制造技术的总称，包括芯片的高度集成技术和电子元器件的高密度组装技术，贯穿电子产品制造的全过程。

1.1 电子组装的基本概念

电子组装是将微电子电路转化成现代电子产品的工艺过程的集合。电子产品是由功能不同的电子元器件组合而成的，电子产品的制造技术取决于电子元器件的形式。早期电子产品采用的电子元器件为功能单一的独立元器件，如电阻、电容、晶体管等，用导线将这些元器件相互连接在一起。随着半导体制造技术的发展，出现了集成电路 IC (IC, Integrated Circuits)，又称芯片，即在单一硅片上制造出一定数量的微晶体管，赋予其以往独立元器件所不具有的强大功能。集成电路的发明为电子产品制造提供了一种功能多、可靠性高、产能大、成本低的新途径，成为电子工业发展的里程碑。

电子组装 EP (EP, Eelectronic Packaging) 的概念出现在集成电路发明以后。由于制作集成电路的硅片尺寸小、性质脆，在加工与输送过程中，容易受外力或环境因素造成损坏，因此需要使用其他材料对其实行“包装与密封”。另外，集成电路是一种具有特定功能的电子元器件，只有与其他元器件相配合才最终成为用户需要的电子产品，因此不仅需要一定将它们互联形成电气连接，并且具有一定的强度和使用寿命。这种不仅为硅片提供保护，而且提供了集成电路与外界交流的媒介，赋予以集成为中心的电子产品具有强大的、稳定的功能的电子产品制造技术就是电子组装。

电子组装在电子产品制造的不同阶段具有不同的具体内容、发挥不同的作用，现代电子产品的制造过程大致如图 1-1 所示。从半导体材料（如单晶硅）开始，通过掺杂等半导体技

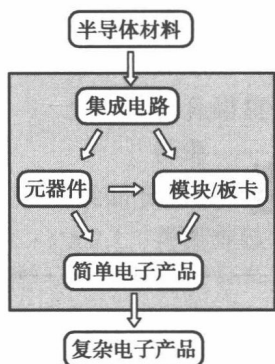


图 1-1 现代电子产品的制造过程示意图

术将硅片制成芯片（集成电路），采用框架、引线键合、密封等将芯片封装成为元器件，采用基板、钎焊连接等将各类元器件组装成板卡，采用连线器等将板卡与其他器件互联成为简单电子产品，最后用线缆等将简单电子产品互联组成复杂电子产品（系统）。图 1-1 中阴影部分包围的制造过程统称为电子组装，贯穿电子产品制造的全程。因此，电子组装可定义为将集成电路（裸芯片）组装为电子器件、电路模块和整机的制造过程。

电子组装技术始于 1947 年晶体二极管的出现，1958 年完成的第一个集成电路雏形（包括一个双极性微电子晶体管、三个微电阻和一个微电容器），被视为现代电子制造技术的里程碑。经过几十年的迅猛发展，电子组装已经从最初简单的晶体管外壳封装 TO（TO，Transistor outline）封装发展到焊球阵列封装 BGA（BGA，Ball Grid Array）、芯片尺寸封装 CSP（CSP，Chip Size Package / Chip Scale Package）、多芯片组件/模块 MCM（MCM，Multi-chip Modules）、三维封装（3D Package）及系统级封装 SIP（SIP，System in a Package）等多种高级封装形式。但所有这些封装形式，均须具有以下五大功能：电源分配、信号分配、散热通道、机械支撑和环境保护。前两个为电气特征保持功能，后三者为机械保护功能。

1) 电气特征保持功能

电子产品的核心部件是芯片，然而芯片的功能只有通过可靠的信号传导才能在电子产品的性能上表现出来。电子组装的一个基本任务就是在电子产品内部建立起通畅的能量和信息传递的网络体系，使芯片与芯片、芯片与外围器件之间得以快速有效的能量和信息交流，呈现电子产品应有的电气特征。然而，随着信息化进程的需求以及半导体技术的发展，高集成化、高频化、低功耗等新型芯片不断涌现，集肤效应、邻近效应、串扰耦合、寄生效应等问题变得更加突出，电子组装的另一个任务就是对上述能量和信息网络体系实现可靠的屏蔽，避免或减少这些因素的不利影响，保持芯片与电子产品应有的电气特征。

2) 机械保护功能

芯片、元器件及电子产品在制造和使用过程中不可避免地遭受运动引起的外载荷的作用，电子组装的第三个任务就是提供有效的包装，减少外载荷对芯片乃至整个电子产品的机械损伤。外部热源引起的芯片温度升高，特别是芯片工作过程中产生的热量而引起的自身温度升高，不仅影响芯片的功能稳定性，同时温度变化还将元器件内部热物理性质不同的在组元间产生热应力和热变形，造成内部引线断裂或短路，从而引发更大范围内的电路损坏，甚至导致电子产品整机故障。电子组装的第四个任务就是提供热量传递途径，控制芯片的温升，以及热变形匹配设计，减小热应力和热变形，提高芯片及电子产品的使用安全性和工作寿命。

电子组装涉及许多学科，如电子、机械、材料、冶金、物理、化学、热学等，电子组装可以被视为综合运用多门学科将设计电路转变为电子产品的工程科学。在电子产品制造的工艺流程不同阶段，电子组装涉及的基本科学与工程问题如下。

(1) 电路设计

自上而下将电路划分为若干个功能模块，确定每个功能模块的结构、组装型式、工艺流程和成本分配。

(2) 元器件选型

根据电路图上的元器件的技术要求选用合适的元器件（是集成电路还是分体器件）、确定采取的电子组装方式（是插接还是贴装）等。

(3) 基板技术

根据元器件的互联的密度和散热要求确定基板和互联方式。基板提供各元器件之间的信号互连、电源与馈电互连、地线互连等，以及提供元器件的机械固定、支撑和散热降温等。

(4) 传热设计

功耗密度随组装密度提高而提高，当互连基板本身不能耗散掉元器件发出的热量时，电子组装需要提供适当的散热措施，如风冷、液冷、液氮冷等，使元器件温度维持在允许工作温度以下，保证电子产品的可靠性。

(5) 连接技术

包括芯片与引线的连接，元器件引脚与基板电路的连接，基板与基板、分机之间，以及机柜之间的连接等。

(6) 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，并便于返修。

(7) 机械支持和保护

为使电子产品能经受各种环境的影响，保持工作正常、经久耐用、操作便利等，需将元器件、组件、部件等安装在插件盒、分机机箱、机柜等外壳中。

1.2 电子组装的等级

大多数消费类电子产品的功能比较简单，所需电子元器件不多，所有电子元器件可以集中安装在一块印制电路板（PCB，Printed Circuit Board）上，这类电子产品称为单电路板电子产品，或简单电子产品，如电子表、收音机、计算器、手机、笔记本电脑、微波炉、电视机、洗衣机等。很多工业电子产品由于功能复杂、所需电子元器件很多，安装在不同的 PCB 上形成板卡，每块 PCB 提供电子产品的一部分功能，这类电子产品称为复杂电子产品，如台式计算机、工业机器人等。另外还有一些电子产品功能强大，结构复杂，由分机组成，每个分机含有数量庞大的电子元器件，这类产品可以称为超级复杂电子产品，如程控电话交换机、蜂窝移动网络系统、超级计算机等。

无论是简单电子产品还是复杂电子产品，都是由硅圆片（Wafer）通过逐级加工制造出来的，形成了层次不同的电子产品制造工艺技术，如图 1-2 所示。首先将硅圆片切分成晶片（Chip）黏结到一

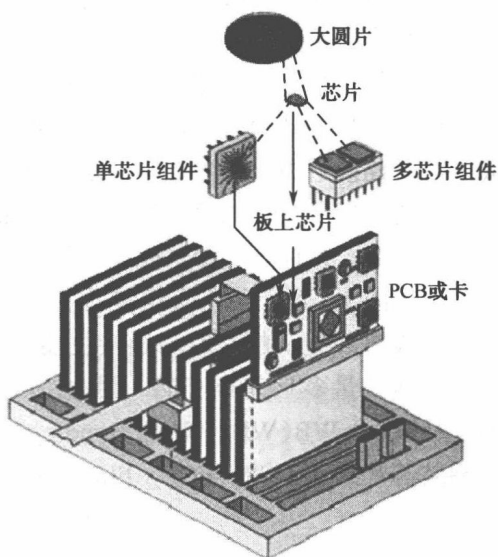


图 1-2 电子产品制造层次示意图

个封装体内完成其中的电路互联和密封工艺，组装成具有电气性能的电子元件；然后将电子元件安装到 PCB 上，形成相对独立的电路单元；最后将电路单元通过接口形式与主板连接，形成电子产品或电子系统。

一般地，按照电子产品制造层次的主要工艺将电子组装分为四个组装等级，见表 1-1。半导体制造过程为零级组装；单芯片组件 SCM（SCM, Single Chip Package）和多芯片组件/模块 MCM（MCM, Multi-chip Modules）的加工过程为一级封装或器件级封装；将一级封装与其他元器件一同组装到基板（PCB 或其他基板）上形成板卡的加工过程为二级封装或板卡级组装；将板卡互联成为电子产品或电子系统的加工过程为三级组装或系统级组装。工程上习惯称零级和一级为电子封装，二级和三级为电子组装。

表 1-1 电子组装的分级

工程分级	组装等级	组装层次	互联与连接方法	用途
电子封装	零级组装	芯片级	光刻后金属化布线	集成电路
	一级组装	器件级	引线键合、再流焊	各类电子元器件
电子组装	二级组装	板卡级	波峰焊、再流焊	组件/简单电子产品
	三级组装	分机级	连接器、线缆	简单电子产品/分机
		机柜级	连接器、线缆	复杂电子产品/机柜
		系统级	连接器、线缆	复杂电子产品

随着倒装芯片 FC（FC, Flip Chip）组装技术，以及板上芯片 COB（COB, Chip on Board）组装技术的大量应用，电子组装层次之间的界限逐渐变得模糊起来，例如，板上芯片组装是将含有集成电路的硅晶片直接贴装在 PCB 上，通过导线键合方式将硅晶片与 PCB 互联，可见板上芯片组装形式横跨零级到三级组装。

1. 零级组装

零级组装即芯片级组装，是将半导体工程制得的集成电路制造成芯片的加工过程。半导体工程与零级组装的分界线是晶圆片（Wafer）切分成晶片（Chip），从晶圆到晶片切割之前的加工过程为半导体工程，从晶片切割之后到电子元器件成品的加工过程为零级组装。半导体工程是以整块晶圆入手，经过多次重复的制膜、氧化、扩散、制版、光刻等工序，制成集成电路及连接电极，目的在于开发半导体材料的电子功能，实现元器件的电气特性；零级组装是以切分好的晶片入手，经过点胶、装片、固定、引线键合、塑料包封、裁切、引出接线端子、检查、打标等工序，完成半导体芯片，目的在于保障集成电路工作可靠和便于与外电路连接。图 1-3 所示为零级组装的主要工艺流程示意图。

零级组装涉及的互联与连接主要是芯片焊盘与引线接出端子的连接。由于芯片尺寸很小，引线数量多且分布密集，因此，用于零级组装的连接技术主要是一些微连接技术，例如，引线键合 WB（WB, Wiring Bonding）、载带自动键合 TAB（TAB, Tape Automated Bonding）和倒装芯片封装 FCP（FCP, Flip Chip Package）等组装形式，详细内容见本书第 4 章。

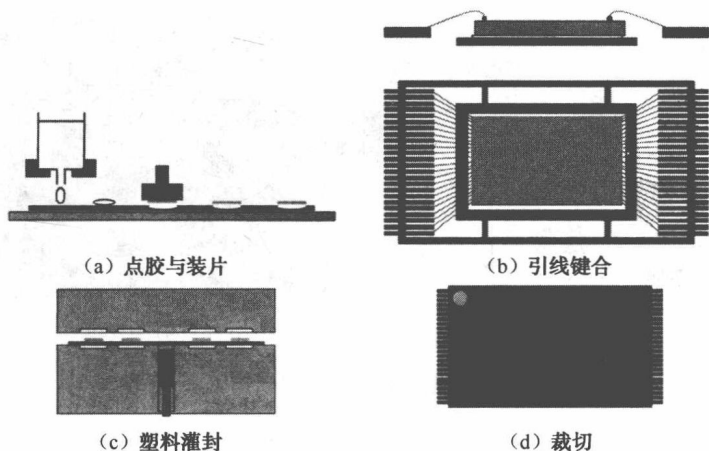


图 1-3 零级组装主要工艺过程示意图

2. 一级组装

一级组装即电子器件组装，将半导体芯片制造各种芯片器件的加工过程。将零级组装得到的半导体芯片固定在基板上、半导体芯片的接线端子与器件的外引脚互联，采用外壳和绝缘包封材料保护半导体芯片，如图 1-4 所示。

根据内含半导体芯片的数量，芯片器件分为单芯片器件和多芯片器件。与分立器件相比，芯片器件有两个主要优势：低成本和高性能。芯片器件在微小的材料上面集成了大量的微电子器件，节约了半导体材料，同时更节约了包装材料和互联材料；而且微电子器件彼此靠得很近，信号传导更快、消耗能量更低。

一级组装涉及的互联与连接技术除了芯片焊盘与引线接出端子的微连接技术外，还涉及半导体芯片与基板的胶接或钎焊连接。

3. 二级组装

二级组装即部件组装，将各类电子器件，包括芯片器件、阻容元器件以及其他机电器件等，安装和固定在 PCB 上，通过印制电路互联成为具有一定功能板卡的制造加工过程。如前所述，某些简单电子产品只需要二级组装就可以完成了。

按照电子器件在 PCB 上的安装形式不同，二级组装有两种基本类型，即通孔插装技术 THT (THT, Through Hole Technology) 和表面安装技术 SMT (SMT, Surface Mount Technology) 两大类。相应地，电子器件也分为通孔插装器件 THD (THD, Through Hole Device) 和表面安装器件 SMD (SMD, Surface Mount Device)。THD 通常有长长的引脚，印制电路板上预制对应的安装孔，THD 的引脚安装到印制电路板的孔内，并通过钎焊与印制电路实现互联。THD 和组装后的电路板卡如图 1-5 所示。THT 适用于元器件较少的简单电路，可以采用手工钎焊，批量生产时则采用波峰钎焊。

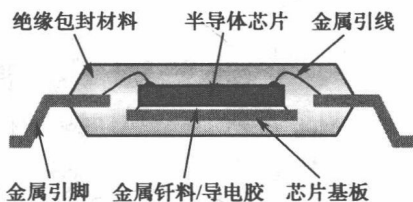
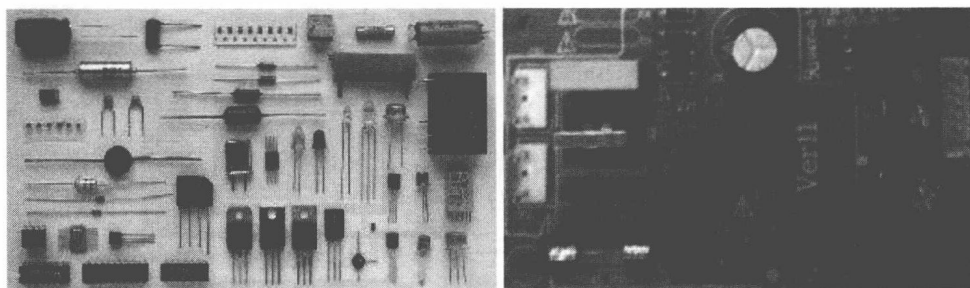


图 1-4 电子器件内部结构示意图

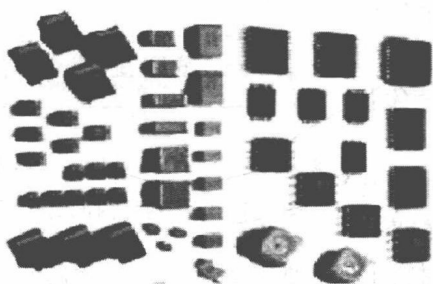


(a) 插接电子元器件

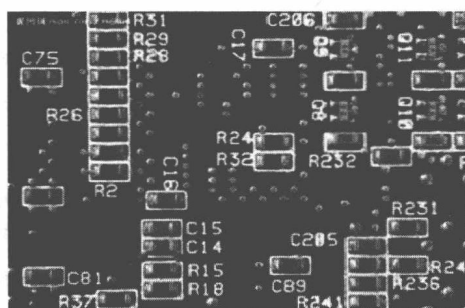
(b) 插接组装

图 1-5 通孔插装器件与组装电路板卡

随着 IC 集成规模提高, 双排直列形式的元器件无法满足输入/输出 (I/O) 数目的需求, 芯片器件引脚分布在器件的四周, 由此产生了表面安装组装技术。SMD 通常具有短而平的引脚或略突出的金属焊盘, 如图 1-6 (a) 所示, 将其精确放置到相应涂了焊膏的印制电路板上, 通过加热钎焊而形成电路板卡, 如图 1-6 (b) 所示。SMT 正在取代 THT 而成为二级组装的主流技术。



(a) 贴装元器件



(b) 贴装组装

图 1-6 表面安装器件与组装电路板卡

4. 三级组装

电路板或卡板连入整机母板上成为电子整机。对于大型、复杂设备, 需要多个电路板互联形成一个体系, 共同完成所承担的任务。三级组装包括板卡至分机、分机至机柜、机柜至机柜的互连与连接, 如图 1-7 所示。

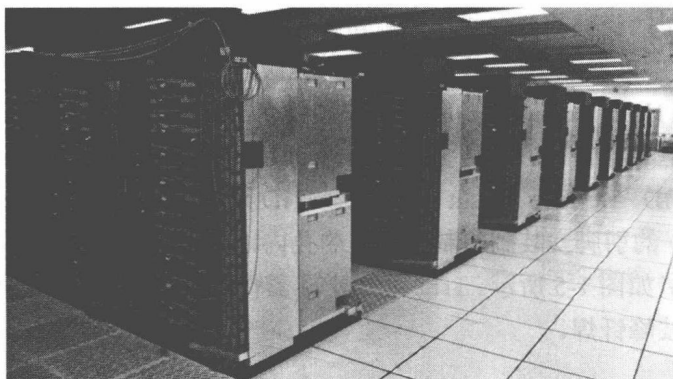


图 1-7 IBM 红杉超级计算机的分机机柜

三级组装通常采取线缆互联, 连接方式主要是机械连接, 如机械绕接和各类连接器等。

1.3 电子组装的进展

1) 集成电路的分类

根据一个硅圆片上集成的微电子器件的数量, 集成电路可以分为以下几类。

① 小规模集成电路 SSI (SSI, Small Scale Integration), 逻辑门 10 个以下或微晶体管 100 个以下。

② 中规模集成电路 MSI (MSI, Medium Scale Integration), 逻辑门 11~100 个或微晶体管 101~1k 个。

③ 大规模集成电路 LSI (LSI, Large Scale Integration), 逻辑门 101~1k 个或微晶体管 1~10k 个。

④ 超大规模集成 VLSI (VLSI, Very Large Scale integration), 逻辑门 1~10k 个或微晶体管 10~100k 个。

⑤ 甚大规模集成电路 ULSI (ULSI, Ultra Large Scale Integration), 逻辑门 10k~1M 个或微晶体管 100k~10M 个。

⑥ 极甚大规模集成电路 GLSI (GLSI, Giga Scale Integration), 逻辑门 1M 个以上或微晶体管 10M 个以上。

2) 芯片器件的发展阶段

芯片器件的发展大致经历了四个阶段。

第一阶段 (20 世纪 70 年代), 早期主要是晶体管外壳封装 TO, 对象为晶体管和小规模 IC, 引线为 3~12 根, 随后出现双列直插封装 DIP (DIP, Dual In-line Package), 引线数为 6~64 根, 如图 1-8 所示。这些器件通常有长长的引脚, 采用 THT 技术互联。

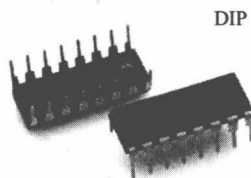


图 1-8 第一阶段的芯片器件举例

第二阶段 (20 世纪 80 年代), 各种表面贴片焊接技术获得迅猛发展, 出现了各种 SMD 器件, 如电阻、电容、晶体管、小外形晶体管封装 SOT (SOT, Small Outline Transistor) 和小外形封装 SOP (SOP, Small Outline Package) 等, 引线数为 30~300 根, 如图 1-9 (a) 所示。这类器件采用 SMT 技术互联。

塑封带引线载体 PLCC (PLCC, Plastic Leaded Chip Carrier) 是正方形和矩形结构, 是在 SOP 的基础上改进的。引脚从封装的四个侧面引出, 在芯片底部向内弯曲, 在芯片的俯视图是看不见引脚, 如图 1-9 (b) 所示。由于四边均有引线, 使引线数目成倍增加。引线的间距为 1.27mm 和 1mm 两种, 引线分 J 形和翼形, 引线数为 20~84 根。

无引线陶瓷载体 LCCC (LCCC, Leadless Ceramic Chip Carrier), 从外形上与 PLCC 相同, 但 LCCC 没有引线, 在载体底面设有与引线数相同的金属焊点, 以便与 PCB 或基板相焊, 引线数为 17~24 根, 如图 1-9 (c) 所示。焊点间的间距向微间距方向发展, 0.4mm 间距已在使用。LCCC 有三种结构型式: 一是可安装在表面安装器件插座上使用; 二是芯片安放在载体的上面, 便于热量的散发; 三是芯片放在载体的下表面, 耗散功率较小时, 可用此结构。

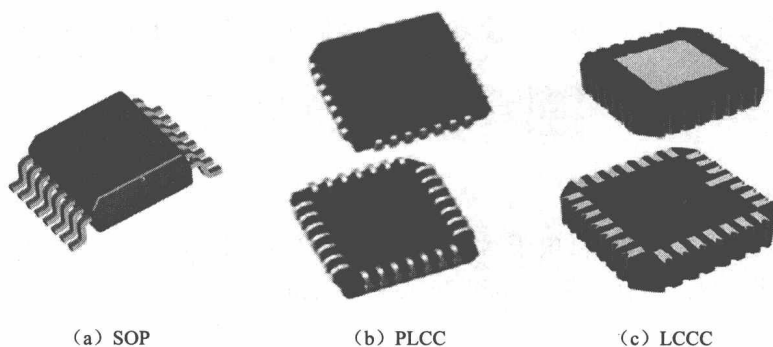


图 1-9 第二阶段的芯片器件

第三阶段（20 世纪 90 年代），随着集成规模增大，芯片的引脚越来越多。芯片组装从周边线组装成功发展到面组装，球栅阵列封装 BGA 是面组装的代表（见图 1-10）。这种组装芯片的接口分布于整个芯片组装体背面，外引线为焊料球，引线数为 100~10000 个。

第四阶段（21 世纪初），随着电子产品日益微型化，要求其运行速度越来越快，尤其是智能电话等产品越来越集成化、微型化，这导致 IC 芯片组装体也相应微型化，出现了各种芯片级组装 CSP，开始向 3D 堆叠技术演进。

芯片级组装技术有两种主要形式：板上芯片和倒装片技术。板上芯片 COB 是一种将芯片直接贴装在 PCB 上，用引线键合的方式完成芯片与电路的连接，最后用包封材料将芯片、引线组装起来，保证芯片和引线免受损伤，起到组装的作用（见图 1-11）。COB 技术有以下优点：价格低廉；节约空间；工艺成熟。COB 技术也存在不足，即需要另配焊接机及封装机，有时速度跟不上；PCB 贴片对环境要求更为严格、无法维修等。

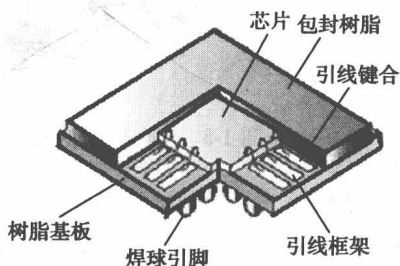


图 1-10 第三阶段的芯片微电子器件

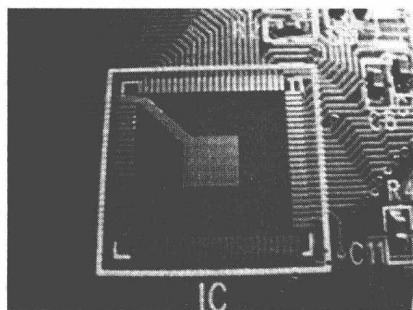


图 1-11 第四阶段的板上芯片器件

倒装片技术 FC 是 20 世纪 90 年代以来在半导体集成电路技术、混合集成电路技术和表面组装技术 SMT 的基础上发展起来的新一代电子组装技术，在封装密度和处理速度上达到新的顶峰，成为当今最先进的微电子封装技术。

多芯片组件 MCM 作为当前微组装技术的代表产品，是将多个集成电路芯片和其他片式元器件组装在一块高密度多层互连基板上，然后封装在外壳内，从而实现系统级别功能的电子器件。当前 MCM 已发展到叠装的三维电子封装（3D），即在二维 X、Y 平面电子封装（2D）MCM 基础上，向 Z 方向，即空间发展的高密度电子封装技术（见图 1-12），使电子产品的信息传输速度更快，性能和可靠性更高，在满足信息时代对电子产品便携式、小型化、网络化和多媒体化方向发展的技术需求的同时，制造成本更低。

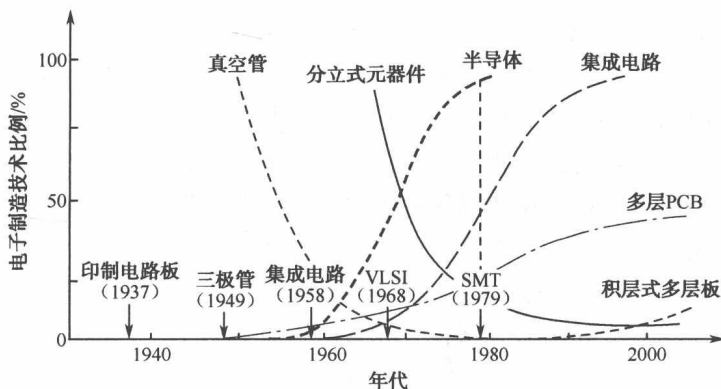


图 1-12 电子组装技术发展历程

1.4 教材主要内容

电子组装是以芯片为中心的现代电子产品制造过程的统称，涉及半导体技术、微电子技术、电路技术、互联与连接技术、热控制技术、测量技术等工程技术。电子组装的首要任务是实现各类元器件间的电气互联与连接。任何两个分支接点之间的电气连通称为互联；紧邻两点（或多点）间的电气连通称为连接。一台复杂的电子设备往往含有成千上万个连接点，这些连接点往往成为电子设备的薄弱环节。电子产品失效率统计结果表明，有20%~30%的设备故障是由于连接点的接触不良造成的，连接质量成为设备安全的首要因素。电子组装中的连接，用得最多的是金属材料连接技术，涉及熔焊、钎焊、压焊、机械连接以及胶接等各类连接方法，其中钎焊方法应用最广。

本教材将以互联与连接技术为主线，重点讨论材料连接（包括冶金连接和非冶金连接）的原理，各组装等级中的互联与连接技术的方法与工艺，电子产品的可靠性等相关内容。主要内容包括以下几点。

- ① 电子组装材料，主要介绍半导体材料、引线框架材料、芯片基板材料、热沉材料、印制电路板材料、黏结与封装材料等各类材料的基本性能要求、典型材料的特点。
- ② 电子组装原理，主要介绍熔焊、压焊、钎焊、胶接等各类连接的基本原理和基本过程。
- ③ 器件级电子组装工艺，主要介绍引线键合、载带自动焊、倒装芯片以及三维组装等互联与连接的基本过程和技术特点。
- ④ 板卡级电子组装工艺，主要介绍烙铁钎焊、波峰钎焊和再流焊等互联与连接的基本过程和技术特点。
- ⑤ 导线互联与连接技术，主要介绍导线绕接、压接等基本过程和技术特点。
- ⑥ 电子组装的可靠性，主要介绍电子产品的故障形式、失效机理、可靠性评价等。

知识点小结

电子组装可定义为将集成电路（裸芯片）组装为电子器件、电路模块和整机的制造过程。电子组装是现代电子产品制造技术的总称，包括芯片的高度集成技术和电子元器件的高密度组装技术，贯穿电子产品制造的全过程。

电子组装的主要任务是通过集成电路的“包装与密封”，在提供保护的同时，提供了集成电路与外界交流的媒介。电子组装在电子产品制造的不同阶段具有不同的具体内容，发挥不同的作用。集成电路（裸芯片）做出来之后，采用框架、引线键合、密封等将芯片封装成为元器件，采用基板、钎焊连接等将各类元器件组装成板卡，采用连线器等将板卡与其他器件互联成为简单电子产品，最后用线缆等将简单电子产品互联组成复杂电子产品（系统）。

按照电子产品制造层次的主要工艺将电子组装分为四个组装等级。半导体制造过程为零级组装；单芯片组件 SCM 和多芯片组件/模块 MCM 的加工过程为一级封装或器件级封装；将一级封装和其他元器件一同组装到基板（PCB 或其他基板）上形成板卡的加工过程为二级封装或板卡级组装；将板卡互联成为电子产品或电子系统的加工过程为三级组装或系统级组装。工程上习惯称零级和一级为电子封装，二级和三级为电子组装。随着倒装芯片 FC 组装技术及板上芯片 COB 组装技术的出现，电子组装层次之间的界限逐渐变得模糊起来，板上芯片形式横跨电子组装零级到三级。

电子组装技术大致经历了四个发展阶段，第一阶段特征是两侧长直引脚器件（如双列直插组装 DIP），采用通孔插接互联；第二阶段特征是两侧及四边短平引脚器件（如塑封带引线载体 PLCC），采用表面贴装互联；第三阶段的特征是球栅阵列封装器件（如 BGA），采用面组装互联；第四阶段特征是芯片级组装 CSP（如多芯片组件 MCM）。

复习题

- (1) 什么是电子组装技术？
- (2) 电子组装的主要任务有哪些？
- (3) 电子组装分哪几个层次？各对应哪几个组装等级？
- (4) 板上芯片技术及将芯片直接装在印制电路板上，按电子组装工程习惯应为几级电子组装技术？
- (5) 什么是 THT，什么是 SMT？

主要参考文献

- [1] 中国集成电路大全编委会. 集成电路封装[M]. 北京：国防工业出版社，1993.
- [2] Wan JW, Zhang WJ, Bergstrom DJ. Recent advances in modeling the underfill process in flip-chip packaging [J]. Microelectronics Journal, 2007, 38(1): 67-75.
- [3] 周德俭，吴兆华. 表面组装工艺技术[M]. 北京：国防工业出版社，2002.
- [4] [美]Harper CA. 电子组装制造：芯片·电路板·封装及元器件[M]. 北京：科学出版社，2005.
- [5] 陈力俊. 微电子材料与制程[M]. 上海：复旦大学出版社，2005.
- [6] 吴兆华，周德俭. 表面组装技术基础[M]. 北京：国防工业出版社，2002.
- [7] 宋长发. 电子组装技术[M]. 北京：国防工业出版社，2010.
- [8] 田民波. 电子封装工程[M]. 北京：清华大学出版社，2003.
- [9] 田文超. 电子封装、微机电与微系统[M]. 西安：西安电子科技大学出版社，2012.

第2章 电子组装材料

主要内容：半导体材料、引线及引线框架、焊接材料、封装材料和电极浆料等的基本要求、主要类型和发展现状。

重点内容：半导体材料、金属材料、陶瓷材料与高分子材料的基本性能特征。

材料是电子器件与产品的物质基础。电子组装材料按其导电能力大小可分为导体、半导体和绝缘体三大类。芯片需要半导体材料制造，电气互联需要导体材料制造，而维持电气特性、支持和保护芯片需要绝缘材料。除导电性外，这些材料在其他方面的物理化学性质也存在较大的差异，会给电子组装过程带来这样或那样的问题。深入了解各类材料的性能特点，有助于选用电子组装材料和指导制订合理的电子组装工艺。

2.1 半导体材料

1. 半导体材料的种类

半导体材料（Semiconductor Material）是用来制作半导体器件和集成电路的电子材料。半导体材料的电气特性受外界因素（光、热、磁、电等）作用而发生物理效应，形成各种不同类型和功能特性的半导体器件。

由于地球的矿藏多半是无机化合物，因此最早被发现和利用的半导体材料都是无机化合物。例如，ZnS 是熟知的固体发光材料，方铅矿（PbS）用于无线电检波，氧化亚铜（Cu₂O）用于固体整流，碳化硅（SiC）用于整流检波等。随着半导体技术的发展，半导体材料分为元素半导体、有机化合物半导体和非晶态与液态半导体等多种类型。

1) 元素半导体

在元素周期表的IIIA 族至VIIA 族分布着 11 种具有半导性的元素（见图 2-1 阴影部分），其中 C 表示金刚石。C、P、Se 具有绝缘体与半导体两种形态；B、Si、Ge、Te 具有半导性；Sn、As、Sb 具有半导体与金属两种形态。P 的熔点与沸点太低，I 的蒸汽压太高、容易分解，它们的实用价值不大。As、Sb、Sn 的稳定态是金属，半导体是不稳定的形态。B、C、Te 也因制备工艺上的困难和性能方面的局限性而尚未被利用。

Se 是最早发现并被利用的元素半导体，曾是固体整流器和光电池的重要材料；Ge 的放大作用使电子设备开始实现了晶体管化；Si 则使晶体管的品种增加、性能提高，迎来了大规模和超大规模集成电路的时代，从而导致了电子工业革命。Ge、Si 是目前应用最广的两种半