

《《 电子封装技术专业核心课程规划教材 》》

电子封装 工艺与 装备技术基础教程

高宏伟 张大兴 编著
何西平 付小宁



电子封装技术专业核心课程规划教材

电子封装工艺与装备技术基础教程

高宏伟 张大兴 何西平 付小宁 编著

西安电子科技大学出版社

内 容 简 介

本书首先概述了半导体芯片的前后端制造、芯片封装及电子产品表面组装工艺过程；然后面向电子封装主要工艺过程，阐述了微细加工技术、精密机械技术、传感与检测技术、机器视觉检测技术、微位移技术、机电一体化系统的计算机控制技术等电子封装专用设备的共性基础技术；最后以机械伺服系统设计、微组装技术及其系统设计为例介绍了电子封装专用设备的设计过程。

本书可作为电子封装技术、自动化及仪器仪表等专业高年级本科生的教材及参考书，也可作为从事电子封装专用设备研究的工程技术人员入门培训教材或参考书。

图书在版编目(CIP)数据

电子封装工艺与装备技术基础教程/高宏伟等编著.

—西安:西安电子科技大学出版社,2017.6

电子封装技术专业核心课程规划教材

ISBN 978-7-5606-4463-9

I. ①电… II. ①高… III. ①电子技术—封装工艺—设备—教材 IV. ①TN05

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2017)第 104728 号

策划编辑 邵汉平

责任编辑 雷鸿俊

出版发行 西安电子科技大学出版社(西安市太白南路2号)

电 话 (029)88242885 88201467

邮 编 710071

网 址 www.xduph.com

电子邮箱 xdupfxb001@163.com

经 销 新华书店

印刷单位 陕西华沐印刷科技有限责任公司

版 次 2017年6月第1版

2017年6月第1次印刷

开 本 787毫米×1092毫米

1/16

印张 24.5

字 数 581千字

印 数 1~3,000册

定 价 45.00元

ISBN 978-7-5606-4463-9/TN

XDUP 475500 1-1

*****如有印装问题可调换*****

西安电子科技大学出版社

电子封装技术专业核心课程教材 编审专家委员会

(按姓氏笔画排序)

主 任	王春青(哈尔滨工业大学)				
副 主 任	田文超(西安电子科技大学)				
	刘 颖(北京理工大学)				
	芦 笙(江苏科技大学)				
	吴懿平(华中科技大学)				
	谢 安(厦门理工学院)				
	潘开林(桂林电子科技大学)				
编 委	王凤江	王文利	王 谦	王天曦	田艳红
	孙凤莲	孙东辉	安 兵	李 明	李明雨
	张旻澍	张新平	肖 斐	赵修臣	周德俭
	高宏伟	贾建援	黄明亮	雷永平	蔡 坚
项目策划	邵汉平				

前 言

本书是作者在多年教学实践的基础上,根据电子封装工艺与装备技术课程的教学需求而编写的。本书内容可概括为三大部分:第一部分内容包括第1~3章,概述了半导体芯片制造的前后端工艺、芯片封装及表面组装工艺过程,以及各个工艺过程所用设备的类型及典型设备的工作原理;第二部分内容包括第4~9章,详细介绍了面向电子制造的微细加工技术原理以及电子封装专用设备的共性基础技术,书中将精密机械技术、传感与检测技术、机器视觉检测技术、微位移技术、机电一体化系统的计算机控制技术作为电子封装专用设备的共性基础技术;第三部分内容包括第10、11章,介绍机械伺服系统和微组装实验平台系统的设计过程。

电子封装专用设备的类型和品种非常广,本书没有一一做介绍。作者总结出了电子封装专用设备的一些通用基础技术及专有技术,尤其是基于三束的微细加工技术、机器视觉检测技术和微位移技术,它们都是电子封装专用设备的典型技术。

本书由高宏伟、张大兴、何西平和付小宁共同编写。高宏伟负责第1~4章的编写,并负责全书的统稿。张大兴负责第6、9、10章的编写。高宏伟、付小宁负责第7章的编写。何西平、高宏伟负责第5、8、11章的编写。许彦杰、孙亚兰、任仲华、田贺文四位硕士研究生参与了本书的资料整理及校对工作。本书在写作过程中得到了深圳长城开发科技有限公司副总裁于化荣的大力支持,在此表示感谢。

本书可以作为电子封装技术或者相近专业学习电子封装工艺及装备技术的教材,也可以作为电子封装技术从业人员的入门学习资料。本书适合于大学本科专业教学,课时设置32~48课时。

书中引用了部分参考文献中的内容,在此向相关作者及单位表示感谢。由于编者水平有限,书中疏漏和不当之处在所难免,恳请读者批评指正。

作 者

2017年2月于西安

目 录

第 1 章 绪论	1	2.5.1 热处理工艺	29
1.1 电子制造与电子封装	1	2.5.2 清洗工艺	30
1.1.1 电子产品制造	1	2.5.3 CMP	31
1.1.2 电子制造技术	3	2.6 半导体芯片制造工艺与设备及关键工艺技术	32
1.1.3 电子封装技术	3	2.6.1 半导体芯片制造工艺与设备	32
1.2 电子封装专用设备	4	2.6.2 半导体制造关键工艺技术	34
1.2.1 电子封装专用设备的分类	4	思考与练习题	36
1.2.2 电子封装关键设备及其组成形式	6	参考文献	36
1.2.3 电子封装专用设备共性基础技术	8	第 3 章 电子封装工艺与设备	37
1.3 电子封装专用设备的特点及其发展	10	3.1 概述	37
1.3.1 现代电子封装专用设备的特点	10	3.2 晶圆检测	38
1.3.2 国内电子封装装备技术发展现状	11	3.2.1 在线参数测试	38
1.3.3 电子封装装备的发展趋势	11	3.2.2 晶圆分选测试	39
思考与练习题	13	3.3 芯片封装	40
参考文献	13	3.3.1 传统装配与封装	40
第 2 章 半导体芯片制造工艺与设备	14	3.3.2 先进装配与封装	49
2.1 概述	14	3.4 基板及膜电路制造工艺与设备	54
2.2 薄膜生成工艺	17	3.4.1 概述	54
2.2.1 薄膜生成方法	17	3.4.2 基板制造	54
2.2.2 氧化工艺	18	3.4.3 厚膜、薄膜电路制造	58
2.2.3 淀积工艺	19	3.5 表面组装技术与工艺设备	60
2.3 图形转移工艺	21	3.5.1 概述	60
2.3.1 图形化工艺方法	21	3.5.2 焊料涂覆技术与工艺设备	62
2.3.2 光刻工艺	22	3.5.3 胶黏剂涂敷工艺与设备	64
2.3.3 刻蚀工艺	26	3.5.4 贴片技术及工艺设备	65
2.4 掺杂工艺	27	3.5.5 焊接技术与工艺设备	76
2.4.1 扩散	27	3.5.6 表面组装工艺检测技术与设备	86
2.4.2 离子注入	28	思考与练习题	95
2.5 其他辅助工艺	29	参考文献	96
		第 4 章 微细加工技术	97
		4.1 概述	97
		4.1.1 微细加工技术的含义	97

4.1.2 微细加工技术的应用	98	思考与练习题	193
4.1.3 微细加工与检测系统	99	参考文献	194
4.2 光子束加工技术	100		
4.2.1 光子加工技术基础	100	第6章 传感与检测技术	195
4.2.2 光学曝光技术	121	6.1 概述	195
4.2.3 激光加工技术	135	6.1.1 测量方法简介	195
4.3 电子束加工技术	141	6.1.2 传感检测系统的构成	197
4.3.1 电子束加工技术基础	141	6.2 常用传感器及特性介绍	197
4.3.2 电子束曝光加工技术	144	6.2.1 常用传感器介绍	197
4.3.3 电子束其他加工技术	147	6.2.2 传感器选型原则	208
4.4 聚焦离子束加工技术	148	6.3 传感器信号处理常用电路	216
4.4.1 聚焦离子束系统	148	6.3.1 传感器信号预处理电路	217
4.4.2 聚焦离子束加工技术	150	6.3.2 传感器数据采集和接口电路	220
4.4.3 聚焦离子束曝光技术	152	思考与练习题	223
4.4.4 离子束投影曝光技术	153	参考文献	223
思考与练习题	154		
参考文献	155	第7章 机器视觉检测技术	224
第5章 精密机械技术	156	7.1 概述	224
5.1 精密机械传动系统	156	7.1.1 机器视觉检测系统的构成	224
5.1.1 精密机械技术的特征	156	7.1.2 机器视觉的任务	225
5.1.2 精密机械传动系统的功能和 分类	156	7.1.3 机器视觉检测的流程及关键 技术	226
5.1.3 机械传动系统方案设计	158	7.1.4 机器视觉检测技术的应用	227
5.2 常用传动系统设计	161	7.2 成像原理	228
5.2.1 齿轮传动设计	161	7.2.1 透视投影	229
5.2.2 滚珠丝杠传动设计	163	7.2.2 正射投影	229
5.3 导向及支承	167	7.2.3 亮度	230
5.3.1 精密导向单元	167	7.2.4 透镜	232
5.3.2 精密支承单元	170	7.3 成像系统硬件技术	234
5.3.3 直线滚动导轨副的选用	172	7.3.1 镜头技术	234
5.4 微细加工设备机械系统结构	175	7.3.2 摄像机技术	236
5.4.1 主传动机构的设计要求	175	7.3.3 光源技术	238
5.4.2 主传动结构的主要形式	175	7.3.4 图像传感器	240
5.4.3 工作头传动定位机构	177	7.3.5 图像采集卡	243
5.4.4 精密工件台定位技术	180	7.3.6 摄像机模型与标定	245
5.5 机械系统精度分析	183	7.3.7 视觉检测系统镜头选择设计 实例	250
5.5.1 精度概念解析	183	7.4 图像处理技术	251
5.5.2 机械系统特性参数对系统精度的 影响	184	7.4.1 数字图像的文件格式	251
5.5.3 系统误差的分析计算	187	7.4.2 图像预处理	253
5.5.4 精密工件台精度分析	188	7.4.3 图像的目标特征	256
5.5.5 减振技术与热变形控制	189	7.4.4 图像的特征点提取	258
		7.4.5 图像的边缘检测	259

7.5 视觉测量	263	9.2 工业控制计算机	305
7.5.1 双目立体视觉测量原理	263	9.2.1 工业控制计算机的分类	305
7.5.2 二维图像测量系统	265	9.2.2 工业控制计算机的软硬件组成	306
思考与练习题	269	9.2.3 工业控制计算机的应用	308
参考文献	269	9.3 可编程控制器	309
第8章 微位移技术	270	9.3.1 可编程控制器的基本组成与原理	309
8.1 概述	270	9.3.2 可编程控制器的编程语言	313
8.1.1 基本概念	270	9.3.3 可编程控制器系统设计方法	316
8.1.2 微位移系统的构成和分类	270	9.3.4 可编程控制器系统设计实例	321
8.1.3 微位移系统的应用	271	9.4 单片机	323
8.2 精密致动技术	273	9.4.1 单片机的原理与结构	324
8.2.1 发展历史	273	9.4.2 单片机的软硬件开发平台	325
8.2.2 机电耦合效应	273	9.4.3 单片机控制系统设计方法	334
8.2.3 电介质材料特性	274	思考与练习题	336
8.2.4 微位移精密致动器	274	参考文献	336
8.2.5 压电致动器的应用计算	279	第10章 机械伺服系统设计	337
8.3 柔性铰链	283	10.1 概述	337
8.3.1 柔性铰链的分类和特点	283	10.1.1 伺服进给驱动系统的基本要求	337
8.3.2 柔性铰链的应用	285	10.1.2 典型伺服系统	338
8.3.3 柔性铰链的设计要求	287	10.2 伺服进给驱动系统	339
8.3.4 柔性铰链的设计计算	288	10.2.1 步进电动机及其控制原理	339
8.4 典型微位移系统	291	10.2.2 直流伺服电动机及其控制原理	340
8.4.1 柔性支承——压电或电致伸缩致动	291	10.2.3 交流伺服电动机及其控制原理	342
8.4.2 滚动导轨——压电致动	292	10.2.4 直线电动机及其控制原理	343
8.4.3 弹簧导轨——机械致动或电磁致动	293	10.3 伺服进给驱动系统设计与分析	347
8.4.4 气浮导轨	294	10.3.1 伺服进给驱动系统主要参数选择	347
8.4.5 滑动导轨——压电致动	295	10.3.2 伺服系统建模	348
8.4.6 其他微位移系统	295	10.4 机械伺服系统设计	349
8.5 精密微动台设计	297	10.4.1 机械伺服系统设计过程	349
8.5.1 精密微动台设计要求	297	10.4.2 机械伺服系统设计举例	350
8.5.2 精密微动台设计实例分析	298	思考与练习题	356
思考与练习题	302	参考文献	357
参考文献	302	第11章 微组装技术及其系统设计	358
第9章 机电一体化系统的计算机控制技术	303	11.1 概述	358
9.1 概述	303	11.1.1 微组装系统的定义	358
9.1.1 主控系统简介	303		
9.1.2 主控系统选型	303		

11.1.2	微组装的分类及特点	360	11.4.2	显微视觉系统技术重点	373
11.1.3	微组装系统的组成	361	11.5	基于立体显微镜的微组装系统	
11.2	微组装系统的关键技术及应用	362	设计		374
11.2.1	微组装系统的关键技术	362	11.5.1	设计任务及目标	374
11.2.2	微组装技术在电子产品制造中的应用	362	11.5.2	系统方案	374
11.3	微夹持系统	363	11.5.3	承载模块	376
11.3.1	微观物体间的作用力	364	11.5.4	三轴精密传动机构与微夹持模块	377
11.3.2	微夹持器的分类和发展方向	365	11.5.5	立体显微视觉检测模块	379
11.3.3	微夹持系统设计	368	11.5.6	控制系统	379
11.4	显微视觉系统	372	11.5.7	微组装系统工作流程设计	380
11.4.1	显微视觉系统的组成和功能	372	思考与练习题		382
			参考文献		382

第 1 章 绪 论

1.1 电子制造与电子封装

1.1.1 电子产品制造

如今，我们每天工作、生活无法离开的各种电子产品，比如手机、计算机、电视机、打印机等，都是电子产品的典型代表。另外，大量的电子产品以部件或零件的形式应用于各种家用电器、办公自动化设备、医疗设备、通信设备、工业生产设备以及各种交通工具中。

电子产品一般由各式各样的电子元器件、集成电路(也就是芯片)、组装基板、电源、保护壳体等组成。电子产品制造的基础是各种电子材料，基础的电子材料制成元器件，再组装成各种基础部件，最终由各种电子元器件或者部件组成人们需要的各种电子产品。

电子产品的式样、种类繁多，但是其制造过程基本相同。电子产品的物理实现过程可以归纳成图 1.1 所示的形式。由单晶硅制成半导体芯片(晶圆形式)，晶圆经过测试、封装后成为独立的成品芯片。各种基础材料经过加工成为元器件。覆铜板加工成为 PCB 基板，陶瓷材料加工成陶瓷基板。成品 IC(集成电路，也就是芯片)、各种元器件组装到基板上就构成电子产品的主体结构，再加上覆盖件就成为电子产品。

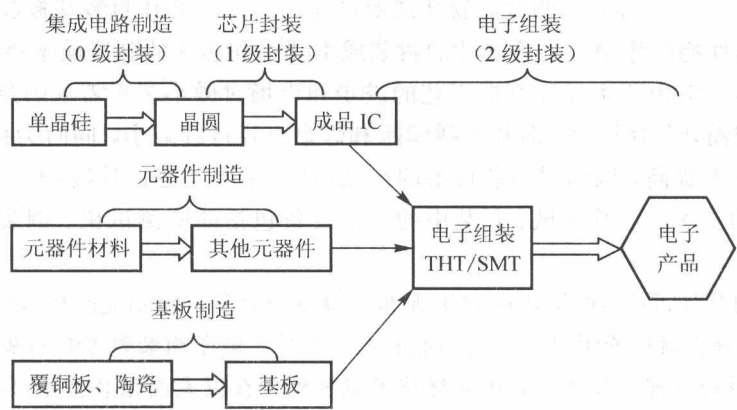


图 1.1 电子产品的物理实现过程

下面以一般的智能手机制造为例，说明电子产品的基本制造过程。

一般智能手机的软硬件组成为：手机软件系统+CPU(中央处理器)+GPU(图形处理器)+ROM(只读存储器)+RAM(随机存取存储器)+外部存储器(TF 卡、SD 卡等)+手机屏幕+触摸屏+话筒+听筒+摄像头+重力感应器+蓝牙(Bluetooth)+无线连接器(WiFi)+PCB 基板+连接线+外壳。手机硬件的制造过程大致分为以下几个阶段：

(1) 芯片设计：该阶段主要完成手机上各类芯片的集成电路的设计。

(2) 芯片前端制造：也就是晶圆制造(或称硅片制造，下同)，如 CPU、GPU、ROM、RAM 等芯片的制造，一般由上游厂家完成。主要厂家有高通、德州仪器、三星、联发科、华为等。

(3) 芯片封装：完成晶圆的测试、晶圆减薄、划片、固晶、键合、封装、测试等工序，一般由芯片封装厂家完成，如日月光、富士通等半导体封装测试企业。

(4) 器件制造：如外部存储器、手机屏幕、触摸屏、话筒、听筒、摄像头、重力感应器、蓝牙、无线连接器、PCB 基板、连接线、外壳等部件的制造，这些器件由各类专业生产企业完成。器件中使用的各种芯片一般由芯片制造企业完成。

(5) 手机主板封装：将各种芯片及元器件组装到基板上构成手机主板。主板封装一般在手机制造厂或代工企业完成。

(6) 成品组装：将主板及一些器件组装在手机外壳内，一般也是由手机生产厂或代工企业完成的。

(7) 测试：包括芯片与器件测试和整机测试(包括硬件、软件测试)。电子产品及零部件制造过程中的检测工作，在不同的制造阶段由不同厂家完成。

在电子制造中，芯片制造是基础。芯片制造包括晶圆制造、芯片测试和封装以及芯片成品测试三个主要步骤。晶圆制造工艺漫长，但是可以分为四种基本工艺：薄膜工艺、图形转移工艺、掺杂工艺、其他辅助工艺。芯片制造中的图形转移工艺使用最多，其中的曝光机是电子制造的所有设备中最复杂的设备，也是技术含量最高的设备。

芯片测试和封装过程是两个独立的过程。芯片测试是对晶圆上的单个芯片进行测试。芯片封装首先将晶圆分割成一个个独立裸芯片，然后再将裸芯片安装、固定在基板上，并将其上的 I/O 点用导线/导体连接到封装外壳引脚上，最后再用金属、陶瓷或塑料进行外包封。封装好的芯片经过成品测试后就变成商品化的芯片。芯片封装基板起着保护芯片和增强芯片电、热性能的作用。目前芯片的封装成本几乎和芯片的制造成本相当。从过去 10 年的发展情况来看，由于半导体制造工艺的进步和市场对微小芯片需求的急速增长，芯片 I/O 密度越来越高，芯片尺寸、芯片引线间距和焊盘直径持续减小，同时为提高生产效率，封装速度也在逐渐提高，因而对封装设备的运动精度(主要是定位精度)和运行速度、加速度提出了更高的要求。芯片测试、封装中的关键设备包括晶圆测试机、倒装键合机、引线键合机等。

各式各样的芯片、元器件组装在 PCB 基板上就变成具备一定功能的板卡级部件，再加上一些辅助器件、外壳就构成了具备不同功能的电子产品。电子组装基本过程就是将电子元器件与 PCB 基板进行互连。互连工艺由插接技术发展到现在以表面贴装技术(Surface Mounted Technology, SMT)为主，SMT 技术极大地促进了电子组装的效率。表面贴装工艺过程包括在 PCB 上印刷焊膏、贴装元器件、回流焊等。SMT 工艺的关键设备是贴片机，其贴片精度、贴片速度、适应范围决定了贴片机的技术能力，贴片机也决定了 SMT 生产线的效率。

综上所述，电子产品的制造可以分为三个层次。最上面一层是直接面对终端用户的整机产品的制造，如计算机、通信设备、各类音视频产品的制造。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经过组装、集成而成的。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。

1.1.2 电子制造技术

总结电子产品的组成及制造工艺流程,可以把电子制造技术归纳为下列技术:

(1) 芯片设计与制造技术。它包括半导体集成电路的设计技术和晶圆制造技术。

(2) 微细加工技术。微纳加工、微加工以及电子制造中使用的一些精密加工技术统称为微细加工。微细加工技术中的微纳加工基本上属于平面集成的方法。平面集成的基本思想是将微纳米结构通过逐层叠加的方法构筑在平面衬底材料上。另外,使用光子束、电子束和离子束进行切割、焊接、3D 打印、刻蚀、溅射等加工方法也属于微细加工。

(3) 互连、封装技术。它是指芯片与基板上引出线路之间的互连,如倒装键合、引线键合、硅通孔(TSV)等技术,以及芯片与基板互连后的封装技术等,这些技术就是通常所说的芯片封装技术。

(4) 无源元件制造技术。它包括电容器、电阻器、电感器、变压器、滤波器、天线等无源元件的制造技术。

(5) 光电子封装技术。光电子封装是光电子器件、电子元器件及功能应用材料的系统集成。在光通信系统中,光电子封装可分为芯片 IC 级的封装、器件封装、模块封装、系统板封装、子系统组装和系统组装。

(6) 微机电系统制造技术。利用微细加工技术在单块硅芯片上集成传感器、执行器、处理控制电路的微型系统。

(7) 封装基板技术。它包括 PCB 制造技术、陶瓷基板制造技术等。

(8) 电子组装技术。电子组装技术就是通常所说的板卡级封装技术,它以表面组装和通孔插装技术为主。

(9) 电子材料技术。电子材料是指在电子技术和微电子技术中使用的材料,包括介电材料、半导体材料、压电与铁电材料、导电金属及其合金材料、磁性材料、光电子材料、电磁波屏蔽材料以及其他相关材料。电子材料的制备、应用技术是电子制造技术的基础。

1.1.3 电子封装技术

电子封装与组装是电子制造技术中应用最广泛的共性技术,所有的电子产品,从一只普通电阻器到包含上亿个晶体管的集成电路,从简单的只有几个元器件的整流器到包括几十万个元器件和零部件的复杂电子系统,无一不是通过封装与组装技术制造出来的。

在学术界更倾向于把封装与组装统一到一个名称下,而用层级来划分不同领域的技术内容。把封装与组装统一到“多级封装”名称下的封装概念,可以称为广义的电子封装,相应的元器件封装就是狭义的电子封装概念了。图 1.2 所示就是学术界对电子封装的广义划分。晶圆制造可以看做 0 级封装。将裸芯片封装成成品芯片看做 1 级封装,1 级封装主要指集成电路封装但不限于集成电路,各种元器件包括无源元件和功能模块或各种功能部件都需要外封装。芯片级封装在半导体产业中由于直接影响到芯片自身性能的发挥,并且涉及与之连接的 PCB 基板的设计和制造,其重要性越来越受到认可。

元器件、芯片组装到基板上看做 2 级封装,即板卡级封装。2 级封装在企业界普遍使

用的是“组装”这个术语，主要指印制电路板组装，但不限于印制电路板，其他电子零部件，如显示器面板、手机、数码相机部件等都是通过第 2 级封装来完成最后的装配的。板卡级封装目前以表面贴装技术(SMT)为主、通孔安装技术(Through Hole Technology, THT)为辅，是电子制造整机和 EMS(Electronic Manufacturing Services, 电子制造服务)厂商的技术核心。

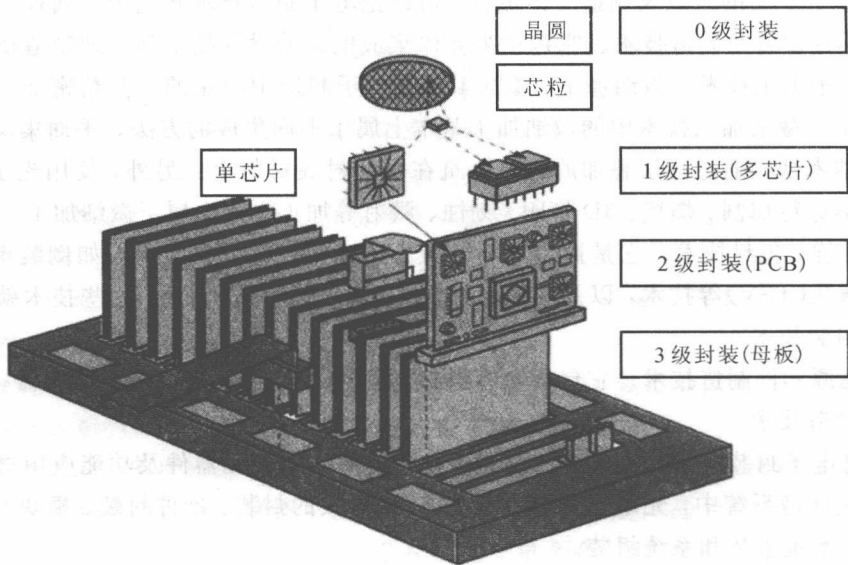


图 1.2 电子封装的层级

多个 PCB 组件安装到母板上就是 3 级封装，即整机级封装，在企业界一般称为整机组装、整机装连或整机装配，通常以非永久性连接技术与机械结构安装为主，将各种电路板卡和零部件安装到母板或机壳、机箱等外壳中，进而完成整机组装。对于大部分电子产品而言，整机级封装核心主要在于系统设计和各种零部件质量检测、标准化和工艺管理。

按照上述分类方法，本书将晶圆制造(0 级封装)、芯片测试/封装(1 级封装)和板卡组装(2 级封装)的主要工艺与设备作为研究对象。

1.2 电子封装专用设备

对于现代电子制造而言，没有先进的装备不可能制造出现代化电子产品。了解现代电子制造装备及其发展，无论对于把握电子产业全局还是专注某一领域都是非常必要的。随着集成电路制造工业的发展，电子封装专用设备形成了完善而且独立的门类，具备了鲜明的特色。

1.2.1 电子封装专用设备的分类

按照前文所述，电子封装可以总结为几个关键生产过程：半导体芯片制造、芯片测试与封装、基板及膜电路制造、电子组装。电子封装设备的类型也可以按照生产流程来划分。在芯片制造与封装、电子组装的各个工艺阶段中，几乎每一个工序都离不开检测，检测方法以非接触的光电检测技术为主，其中视觉检测方法使用最多。光电检测技术不但在

生产工艺中使用很多,而且在电子制造设备的各个系统中大量使用。

1. 半导体制造装备

(1) 晶圆制备设备,包括单晶硅制造设备、圆片整形加工研磨设备、切片设备、取片设备、磨片设备、抛光设备和各种检验设备等。

(2) 电路设计及 CAD 设备,包括计算机系统、各种输入/输出设备和各种软件等。

(3) 制板设备,包括图形发生器、接触式打印机、抗腐剂处理设备、腐蚀设备、清洗设备和各种检验设备等。

(4) 半导体晶圆制造设备,包括光刻设备(曝光设备、涂膜设备、显影设备、腐蚀设备等)、清洗设备、掺杂设备(离子注入设备、扩散炉)、氧化设备、CVD(Chemical Vapor Deposition, 化学气相沉积)设备、溅射设备、各种测试检测设备和分析评价设备等。

(5) 芯片测试与封装设备,包括晶圆测试设备、晶圆减薄设备、划片设备、固晶设备、键合设备、塑封设备、芯片成品检测设备等。

(6) 半导体工程设备,包括净化室、净化台、晶圆标准机械接口箱、自动搬送设备和环境控制设备(超净水制造、废气处理、废液处理、精制设备、分析设备、探测器)等。

2. 印制电路板、陶瓷基板生产装备

这类装备包括 PCB 基板加工设备和陶瓷基板加工设备。两种基板使用的基础材料不同,但是生产过程、使用设备的类型基本相似。陶瓷基板制备使用陶瓷烧结设备,PCB 基板使用压合设备。其他设备包括钻孔/激光打孔成形设备、湿制程设备、丝印设备、检测设备、电镀设备、喷锡设备、压膜机、曝光机、显影机、制板机、烘烤制程自动线以及环境工程设备等。

3. 膜电路制造设备

膜电路包括薄膜和厚膜电路。薄膜电路生产设备与半导体晶圆制造设备基本相同。厚膜电路生产设备主要包括丝网印刷机、厚膜电路光刻机、烧结炉、激光调阻器等。

4. 组装及整机装联设备

这类设备包括 SMT 焊膏印刷机、喷焊膏喷印机、点胶机、自动插件机、贴片机、接驳台、上下料机、回流焊机、波峰焊机、选择性波峰焊机、炉温测量仪、清洗设备、返修设备、自动光学检测设备(AOI)、自动 X 射线检测设备(AXI)、环境设备、各种辅助设备(零件编带机、钢网清洁机、焊膏搅拌机、锡膏测试仪、元器件及印制电路板烤箱、锡渣还原机等)、氮气设备、电缆加工及检测设备等。

5. 其他装备

(1) 环境与试验设备,包括高低温/恒温试验设备、湿热试验设备、干燥(老化)试验设备、防护(例如防砂/防尘/防盐雾/防水等)试验设备、冲击试验设备、振动试验设备、无损检测仪器、电磁兼容测试仪、力学试验设备等。

(2) 超声波设备,包括超声波电镀设备、超声波清洗机、超声波焊接设备(塑焊机、熔接机、点焊机等)、超声波清洗干燥机、超声波冷水机、超声波熔断机等。

(3) 激光加工检测设备,包括激光画线机、激光雕刻机、激光焊接机、激光切割机、激光打孔机、激光打标机、激光剥线机、激光测距仪等。

(4) 专业工具,包括手工焊接工具(电烙铁、热风枪、锡炉等)、压接工具以及电动螺丝刀等。

1.2.2 电子封装关键设备及其组成形式

1. 电子封装专用设备中的关键设备

在众多门类的电子封装设备中有一些关键设备。半导体芯片制造中的关键设备是光刻机。芯片测试、封装工艺过程中的关键设备是晶圆测试设备和芯片键合设备。电子组装工艺中的关键设备有全自动焊料涂覆机(包括丝网印刷机、焊膏喷印机)、贴片机和回流焊设备等。在电子产品制造中大量使用的激光加工设备、自动光学检测(Automatic Optic Inspection, AOI)设备和电子显微检测设备也是非常重要的设备。光刻机、晶圆测试机、芯片键合机、丝网印刷机、贴片机、AOI、激光加工设备等光机电一体化设备的设计制造技术横跨电子、机械、自动化、光学、计算机控制技术等众多学科,涉及精密光电子、高精度控制、精密机械加工、计算机集成制造等核心技术,是典型的光机电一体化设备。

集成电路制造和电子组装是电子制造行业中最关键、规模最大的两个产业,光刻机与贴片机分别是集成电路制造和电子组装的关键设备,因此行业中通常以拥有这两种设备的数量和水平作为衡量一个国家或地区的半导体制造与电子整机制造能力和水平的标志。光刻机、高速多功能贴片机等电子封装关键设备的研制对于我国实现由电子制造大国向电子制造强国的转变至关重要。

2. 电子封装专用设备中典型设备的组成及其关键技术

上述电子封装中的关键设备可以分为两类:一类是利用能量束进行微加工或显微的设备,如光刻机、激光加工设备、AOI、AXI等光电显微或加工设备;另一类是微操作设备,它们利用机械手采用吸附或夹持方法将工件进行位置转移操作。微操作的典型设备包括晶圆测试设备、芯片键合机、贴片机、MEMS器件微组装设备等。微加工设备和微操作设备的共同特点是工作时工作台与工作头部件都需要准确对准,对准精度达到微米或纳米级,对准时间在几毫秒到几十毫秒。精密对准技术在电子封装设备中大量使用,对准操作的例子如下:

(1) 投影式曝光时需要将掩膜版、晶圆分别与掩膜台、晶圆工作台对准,然后掩膜台再与晶圆工作台实现准确对准。晶圆重复曝光时需要反复进行位置对准,对准精度达到纳米级或亚纳米级。

(2) 晶圆测试系统探针测试卡与晶圆的对准操作对准精度达到微米级。飞针在线测试仪测试成品组装电路时探针与焊盘的对准精度在 $10\text{ }\mu\text{m}$ 左右。

(3) 芯片倒装键合时,首先将芯片上的凸点与基板上的焊盘对准,然后进行键合操作,对准精度达到微米级。

(4) 芯片与基板采用引线键合方式互连时,引线键合劈刀与芯片焊盘要快速对准,对准精度达到微米级。

(5) 晶圆加工、芯片封装、基板制造采用激光焊接、切割、打孔加工方法时,都是先对准加工位置再加工,对准精度达到微米级。

(6) 全自动丝网印刷机工作时网板与基板首先要对准,对准精度达到微米级。

(7) 贴片时贴装元件引脚必须与PCB基板上的焊盘对准,对准精度为 $1\sim 10\text{ }\mu\text{m}$ 。

由于工作头不能接触工件,并且需要快速对准,因此上述对准操作都采用非接触的视觉识别技术或者其他光电检测技术,以达到快速、高精度对准的目的。

微细加工和微操作设备是电子制造装备中的核心设备，尽管它们的功能不同、结构形式各异，但是它们有着相似的组成形式。如图 1.3 所示，微细加工和微操作设备的基本组成包括：加工刀具或能量源系统，精密位移工作台，高速、高定位精度的夹持机械手或工具，对位检测系统，高刚度基座，以及良好的人机交互系统等。

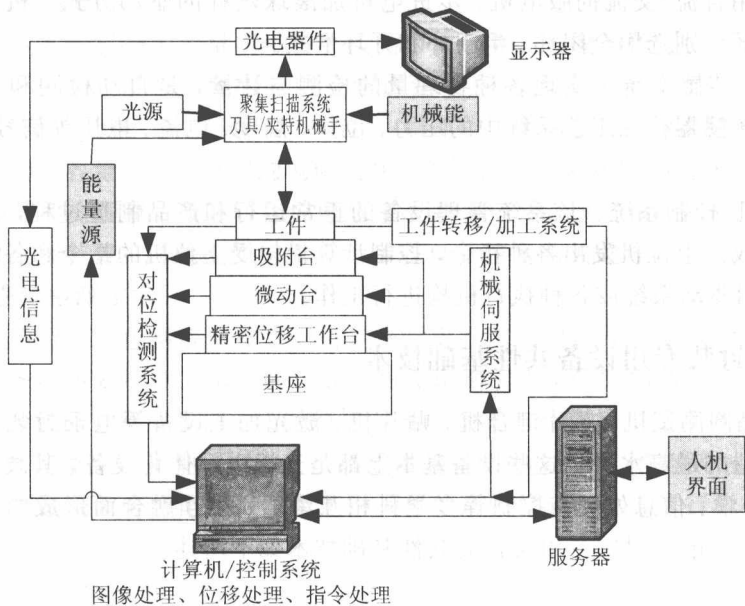


图 1.3 电子制造设备系统典型结构形式

(1) 精密位移工作台。这部分主要部件包括高刚度的工作台以及支持工作台的导轨系统，导轨系统主要为精密无摩擦气浮或磁浮导轨或者摩擦系数较小的滚动导轨，工作台可以实现大行程高精度位移或者精密微位移。为防止热变形的影响，一般以大理石做工作台，并且机床的基座需要做较高要求的减振设计。目前，高精度、高速位移的直线驱动工作台基本上都采用直线电机驱动方式，减少了机械传动环节，提高了系统响应速度。曝光机的工作台采用宏动加微动工作台的方式，实现了更高精度的位移。

(2) 机架或基座。机架或基座采用轻质、高刚度结构。对振动需要严格控制的系统，如光刻机晶圆承片台基座，需要使用气浮等隔震装置，用大理石做基座。

(3) 高速、高定位精度的夹持机械手或工具，如贴片机的贴片头系统、引线键合机的键合头等，它们都有着较高的运动速度和定位精度。

(4) 能量源、聚焦扫描系统。能量源可以是激光光源、电子束、离子束、X 射线等能量源。聚焦扫描系统用于能量束的会聚与扫描加工。典型设备有光刻机、电子束曝光/刻蚀机、离子束曝光/刻蚀机、激光划片机、激光打标机、激光打孔机、激光调阻机等。

(5) 对位检测系统。该系统利用光电或视觉检测技术实现非接触检测，实现工件、工具之间的对准。对准检测方法包括双目显微镜对准、利用散射光的暗场对准、视频图像对准、相位光栅 TTL 对准、双光束 TTL 对准、双焦点对准方式等。随着微电子产品对光刻分辨率要求的逐渐提高，人们逐渐发展和完善了莫尔条纹对准、干涉全息或外差干涉全息对准和混合匹配及粗、精对准等技术。以视觉对准检测系统为例，视觉检测系统实现工件

特征的识别与测量,检测结果由控制系统处理,再由伺服驱动系统完成刀具(或工作头)与工件的对准。

(6) 机械伺服系统。该系统驱动工作台或机械手运动部件按一定规律运动。高速、高精度直线运动系统大部分采用直线电机驱动方式,例如贴片机横梁上贴片头的驱动。运动精度较低时采用直流/交流伺服电机、步进电机加滚珠丝杠的驱动方式。机械伺服系统根据系统精度高低分别选用全闭环、半闭环和开环形式。

(7) 检测与传感系统。实现各种物理量的检测与计量,是自动检测和自动控制的基础。例如使用传感器检测工艺系统中的压力、位移、温度、电流、电压等信号,实现工艺系统的自动控制。

(8) 计算机/控制系统。该系统管理设备的正常运行和产品制造过程,它由软件系统和硬件系统组成。上位机发出各种指令,控制计算机接受上位机的指令和各种传感器的反馈信息,并控制驱动系统或各种执行机构进行工作。

1.2.3 电子封装专用设备共性基础技术

光刻机、晶圆测试机、芯片键合机、贴片机、激光加工设备等电子封装专用设备代表着当今工业制造的最高水平。这些设备基本上都是光机电一体化设备,其技术基础是机械学、光学、电子学、信息处理与控制等多学科相互渗透、相互融合而形成的光机电一体化技术。概括起来,电子封装专用设备的共性基础技术如下所述。

1. 光学技术

光学技术包括光子束的产生与传播技术、光子束加工应用技术等。光子束既可用于检测也可用于加工。光学技术在电子封装中最典型的应用就是光刻工艺中的光刻曝光、激光加工及光学检测。光刻技术的不断进步促进了半导体制造水平的提高。曝光波长由几百纳米变为13.5 nm,半导体制程也就从微米级变为纳米级。激光加工系统在电子封装工艺中具有广泛的应用,包括切割、打孔、打标、焊接、热处理、雕刻、表面清洗、快速成型等。此外,光学技术也用于通信、精密计量测试(激光测距、激光瞄准、激光制导)等。在传感器方面,利用光子技术制作的传感器具有精密、准确、快速、高效、非接触测量等特点。

2. 精密机械技术

电子封装专用设备中包含大量的光机电一体化系统。机械系统是光机电一体化系统的基础,也是光电系统的载体。光机电一体化系统中机械系统以精密机械技术为主。机械技术是关于机械的机构以及利用这些机构传递运动的技术,它是所有电子封装装备技术的基础。机械系统的合理性直接影响控制的复杂程度以及系统的稳定性和可靠性。电子封装装备的高速与高精度等特点,对机械设计和制造技术也提出了更高的要求。机械技术只有不断地采用新材料、新工艺、新原理、新机构才能满足电子封装装备技术的要求。比如曝光机的晶圆台、掩膜台都是精密机械的典型应用,为了实现掩膜版与晶圆的准确对位,工作台需要做多自由度的运动,并且位移精度要达到亚纳米级。

3. 计算机与信息处理技术

计算机技术包括计算机硬件技术和软件技术、网络与通信技术、数据库技术等。信息处理技术包括信息的交换、存取、运算、判断和决策等,实现信息处理的主要工具是计算机。在电子封装装备中,计算机与信息处理装置控制整个设备的运行,信息处理是否正