

# 精密微电子封装装备的 设计理论与系统开发

◎ — 陈 新 等 著 — ◎



机械工业出版社  
CHINA MACHINE PRESS

# 精密微电子封装装备的 设计理论与系统开发

陈新 高健 敖银辉 王晓初 著



机械工业出版社  
China Machine Press

精密微电子封装装备制造是我国未来发展的重要研究领域，具有高速、高加速、频繁起停、精密定位和多工艺协同操作等共性特征，涉及机械结构设计与优化、视觉定位、工艺、运动控制等关键技术。本书系统地介绍了精密微电子封装装备的设计理论、控制技术及系统开发，介绍了作者多年从事精密电子封装装备研究的成果与经验。全书共分8章，包括微电子制造封装装备概述、执行机构设计与优化、高速运动控制器与运动规划的集成设计方法、面向焊线操作的图像识别系统、多工艺焊线过程的控制技术、引线键合工艺参数的建模与优化、固晶机/焊线机整机结构设计和先进封装技术。

本书可供从事电子制造装备设计、控制与工艺的研究人员、相关企业技术人员参考，也可作为高等院校相关专业研究生的参考教材。

## 图书在版编目 (CIP) 数据

精密微电子封装装备的设计理论与系统开发 / 陈新等著. —北京: 机械工业出版社, 2018. 12

ISBN 978-7-111-61515-6

I. ①精… II. ①陈… III. ①电子技术—封装工艺设备 IV. ①TN05

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2019) 第 035969 号

机械工业出版社 (北京市百万庄大街 22 号 邮政编码 100037)

责任编辑: 梁福军 责任印制: 恽海艳

北京宝昌彩色印刷有限公司印刷

2019 年 8 月第 1 版第 1 次印刷

184mm × 260mm · 13.75 印张 · 300 千字

标准书号: ISBN 978-7-111-61515-6

定价: 68.00 元

凡购本书, 如有缺页、倒页、脱页, 由本社发行部调换

电话服务

网络服务

服务咨询热线: 010-88361066

机工官网: [www.cmpbook.com](http://www.cmpbook.com)

读者购书热线: 010-68326294

机工官博: [weibo.com/cmp1952](http://weibo.com/cmp1952)

金书网: [www.golden-book.com](http://www.golden-book.com)

封底无防伪标均为盗版

教育服务网: [www.cmpedu.com](http://www.cmpedu.com)

# 前 言

高速高加速精密微电子封装装备制造是国务院《“十二五”国家战略性新兴产业发展规划》中的重要内容。以电子后封装为代表的这类数控装备，其主要共性特征是高速、高加速、频繁起停、精密定位和多工艺协同操作。例如，焊线机要求执行机构在 0.05 s 工作周期内完成多工艺操作，要求 XY 平台运动最大加速度达 20g，Z 方向最大加速度达 200g，并实现微米级定位精度。这对机构设计与运动控制技术提出了挑战。

本书结合十多年的科研实践，详细介绍高速高精度微电子封装装备开发的若干关键技术。从执行机构的设计与优化、运动控制器的设计和控制方法、视觉定位与检测及键合工艺等方面介绍项目组在微电子封装装备设计理论与系统开发等方面的研究进展。主要包括：

第 1 章介绍微电子制造的工艺流程和后端工艺所应用到的主要装备。基于微电子封装装备的特点，探讨开发此类装备所面临的高加速度运动、精密定位、精准位力控制等共性问题，给出面向微电子封装装备的研发的总体思路。

第 2 章重点介绍典型封装装备如焊线机和固晶机的关键部件——执行机构设计与优化方法。探讨 XY 运动平台及其驱动的方式，对摆臂式焊头机构、双滑块并联执行机构等进行运动学分析；重点讨论高速轻载执行机构的运动学特性，给出其关键部件的结构设计和优化方法；同时介绍高速高加速机构动力学建模方法，建立基于柔性多体动力学的结构动态优化模型，实现高速运动机构的主动减振。

第 3 章详细介绍所设计的固高控制器内核设计理论和可靠性设计方法。通过功能模块可关联可配置、可重构 OMAC 架构、驱控一体化等控制器结构及多核并行计算、先占式多任务管理等系列技术，实现了运动控制器的高速

响应特性开发。从而实现位力切换及键合力的精准控制，可有效解决复杂变加速运动和多工艺协同操作的高响应精准控制难题。

第4章介绍项目研发的面向焊线操作的图像识别系统。给出相关视觉系统的组成结构和软硬件方案，提出实时拾放晶片的图像识别算法及模版匹配算法，以适应高速精密视觉定位的需求。同时给出一种快速检测高速执行机构定位精度的方法及其软件系统，为这类装备的多种工艺过程协同操作、多工艺参数协同优化提供解决方案。

第5章介绍项目研发的封装装备主要工艺过程控制技术，包括超声控制系统、焊接压力控制技术以及打火烧球控制系统，给出相应的硬件设计方案和电路。

第6章介绍项目组开展的封装装备复杂工艺参数影响规律与最优参数配置方法研究进展。在正交试验的基础上，揭示焊线过程多工艺参数的耦合影响规律，建立面向质量评价指标的误差预测模型，开发多参数最优配置的计算机辅助系统，保障装备的工艺性能。

第7章介绍项目组开发的若干微电子封装设备，包括全自动固晶机、平面式全自动焊线机和直插式全自动焊线机，详细介绍其若干关键机构，如进料机构、送料机构、顶针机构、Z向运动机构和过片机构等。

第8章主要介绍现代封装技术中的几种封装方法及工艺，包括球栅阵列BGA、芯片级封装、系统级芯片和封装SOC(SOP)等，分析芯片互连的几种方法，并重点介绍芯片互连的新发展——倒装焊Flip Chip技术及本实验室近期开发的晶圆级倒装装备。

作者

# 目 录

## 前言

第1章 微电子制造封装装备概述 .....	1
1.1 微电子封装制造过程及装备 .....	1
1.1.1 芯片互连技术 .....	3
1.1.2 凸点底部金属化处理 .....	5
1.1.3 凸点制作 .....	6
1.2 微电子封装制造装备的产业需求 .....	9
1.3 微电子封装装备的设计方法与精密控制 .....	11
1.4 本书各章主要内容 .....	11
参考文献 .....	12
第2章 微电子封装装备执行机构的设计与优化 .....	14
2.1 XY平台的结构及驱动方式 .....	14
2.2 Z轴运动的驱动方式 .....	17
2.3 斜面摆动式固晶机执行机构的设计及优化 .....	18
2.3.1 执行机构的运动轨迹要求 .....	18
2.3.2 摆臂平行四边形结构 .....	19
2.3.3 端面凸轮与四连杆机构 .....	20
2.3.4 执行机构的动作顺序 .....	20
2.3.5 摆臂四连杆机构的参数优化 .....	21
2.4 双滑块执行机构的结构设计和优化 .....	23
2.4.1 执行机构的结构设计 .....	23
2.4.2 并联执行机构的工作空间 .....	27
2.4.3 机构参数优化 .....	31
2.5 执行机构的动力学建模与分析 .....	34
2.5.1 机构动力学建模的一般方法 .....	34
2.5.2 焊头并联机构的刚体动力学分析 .....	35
2.5.3 并联焊头机构的弹性动力学分析 .....	36
2.5.4 基于广义变分原理的并联机构动力学建模方法 .....	38
2.5.5 平面并联机构的动力学模型 .....	39
参考文献 .....	41

<b>第3章 高速运动控制与运动规划的集成设计方法</b> .....	43
3.1 键合过程对运动控制系统的要求 .....	43
3.2 封装装备的运动控制系统组成与设计思路 .....	43
3.3 高频响应集成控制器的内核设计方法 .....	46
3.3.1 控制系统的分层设计和实时调度方法 .....	46
3.3.2 多优先级的伺服周期设计 .....	48
3.4 控制器的可靠性及开放性设计 .....	49
3.4.1 驱控一体化的新结构运动控制器 .....	49
3.4.2 多层次可重构控制系统架构 .....	52
3.5 高速执行机构的运动规划 .....	54
3.5.1 焊头执行机构的运动要求 .....	54
3.5.2 S曲线加/减速原理 .....	55
3.5.3 加减速控制算法的实现 .....	56
参考文献 .....	57
<b>第4章 面向焊线操作的图像识别系统</b> .....	59
4.1 焊线机的图像识别系统组成 .....	59
4.2 图像系统的标定 .....	60
4.3 晶片图像的预处理 .....	62
4.3.1 图像平滑滤波 .....	63
4.3.2 灰度线性变换法 .....	64
4.3.3 反光图片的同态滤波处理 .....	65
4.4 基本图像匹配算法 .....	67
4.4.1 模板匹配方法 .....	67
4.4.2 归一化模板匹配算法 .....	68
4.4.3 FFT模板匹配算法 .....	69
4.5 快速模板匹配算法 .....	70
4.5.1 图像快速匹配的算法原理 .....	71
4.5.2 积分图像的自相关快速计算 .....	74
4.5.3 快速模板匹配算法的实现流程 .....	75
4.5.4 初始化条件对匹配算法性能的影响 .....	77
4.5.5 快速模板匹配算法性能测试 .....	77
4.6 焊线机图像识别系统设计 .....	79
4.6.1 图像识别系统硬件组成 .....	79
4.6.2 图像识别软件系统开发 .....	80
4.7 基于视觉技术的高速机构定位精度检测 .....	82

参考文献 .....	85
<b>第5章 多工艺焊线过程的控制技术 .....</b>	<b>87</b>
5.1 金丝球焊线技术 .....	87
5.2 焊线工艺过程 .....	88
5.3 超声控制 .....	89
5.3.1 超声电源的基本原理 .....	89
5.3.2 超声电源的技术参数 .....	90
5.3.3 超声输出的控制方案 .....	90
5.3.4 超声控制的硬件系统 .....	91
5.3.5 超声控制的软件系统 .....	99
5.3.6 超声电路测试 .....	101
5.4 焊接压力控制 .....	102
5.4.1 焊接压力控制的硬件设计方案 .....	104
5.4.2 主要硬件电路 .....	104
5.4.3 控制软件结构 .....	106
5.4.4 焊接压力控制算法 .....	107
5.4.5 焊接压力测试 .....	114
5.5 打火烧球控制 .....	117
5.5.1 硬件设计 .....	117
5.5.2 软件设计 .....	119
5.5.3 试验测试 .....	121
参考文献 .....	122
<b>第6章 引线键合工艺参数的建模与优化 .....</b>	<b>124</b>
6.1 引线键合过程的多工艺参数正交试验 .....	124
6.1.1 焊线过程的工艺时序及工艺参数 .....	125
6.1.2 键合工艺的正交试验分析 .....	127
6.2 引线键合过程的工艺预测建模 .....	132
6.2.1 工艺预测模型的结构 .....	132
6.2.2 ANFIS 的结构与学习算法 .....	133
6.2.3 工艺预测模型的建立 .....	134
6.3 键合工艺参数的变化规律分析 .....	137
6.3.1 键合温度分析 .....	137
6.3.2 键合时间分析 .....	139
6.3.3 超声功率分析 .....	140
6.3.4 键合压力分析 .....	141

6.3.5 熔球比率分析 .....	142
6.3.6 打火间隙分析 .....	144
6.4 引线键合工艺参数最优配置辅助系统的开发 .....	145
6.4.1 引线键合模型 BP 网络结构的设计 .....	145
6.4.2 计算机辅助工艺设计系统的实现 .....	148
参考文献 .....	150
<b>第7章 固晶机/焊线机整机结构设计 .....</b>	<b>151</b>
7.1 全自动固晶机的结构设计 .....	151
7.1.1 LED 固晶机的工作过程和系统功能 .....	151
7.1.2 固晶机焊头机构设计 .....	152
7.1.3 晶圆传送装置 .....	161
7.1.4 顶针装置 .....	163
7.1.5 引线框架进料装置 .....	165
7.1.6 引线框架送料装置 .....	166
7.1.7 引线框架收料装置 .....	167
7.1.8 点浆装置 .....	168
7.2 平面式焊线机的结构设计 .....	169
7.2.1 引线键合的工艺特点 .....	170
7.2.2 焊线机工作流程 .....	170
7.2.3 LED 晶片支架供送机构设计 .....	171
7.2.4 XY 工作台的结构设计 .....	177
7.2.5 焊头机构设计 .....	179
7.3 直插式焊线机的结构设计 .....	182
7.3.1 直插式 LED 键合工艺的特点 .....	182
7.3.2 直插式 LED 晶片焊线机的整机规划 .....	182
7.3.3 三自由度运动平台的设计 .....	183
7.3.4 过片机构的设计 .....	185
参考文献 .....	188
<b>第8章 先进封装技术 .....</b>	<b>189</b>
8.1 先进封装技术概述 .....	189
8.1.1 球栅阵列 (BGA) .....	189
8.1.2 芯片尺寸封装 CSP .....	191
8.1.3 晶圆级封装 WLP .....	192
8.1.4 多芯片封装 MCP 和多芯片模组 MCM、SOC 以及 SIP .....	193
8.1.5 三维封装 .....	195

8.2 倒装焊接工艺 .....	200
8.2.1 热超声工艺 .....	200
8.2.2 熔焊 .....	201
8.2.3 热压工艺 .....	202
8.2.4 胶粘连接 .....	202
8.3 倒装焊设备 .....	203
8.3.1 热超声倒装设备 .....	203
8.3.2 回流焊工艺设备 .....	205
8.3.3 热压倒装设备 .....	206
8.3.4 国产倒装焊设备 .....	207
参考文献 .....	210

# 第 1 章 微电子制造封装装备概述

## 1.1 微电子封装制造过程及装备

1958 年美国得克萨斯仪器公司发明全球第一块集成电路后，随着硅平面技术的发展，20 世纪 60 年代先后出现了双极型和 MOS 型两种重要的集成电路，创造了一个前所未有的具有极强渗透力和旺盛生命力的新兴产业——半导体集成电路产业。

集成电路即 IC (Integrated Circuit)，是采用半导体制作工艺，在一块很小的单晶硅片上，制作许多晶体管、电阻器和电容器等元器件，并按照多层布线或隧道布线的方法，将元器件组合以完成特定功能的电子电路。半导体集成电路（器件）是微电子制造的主要产品，其制造过程一般可分为前端过程和后端过程两部分，二者以晶圆 (Wafer) 切分成晶片 (Die) 为界，在此之前为前端过程 (Front End)，在此之后为后端过程 (Back End)。

前端过程是对整块晶圆片的加工，包括从硅晶体的生长到晶圆电路印刷成形、清洗以及晶圆的测试；后端过程是指对晶片的加工，主要包括晶片的切割（划片）、封装以及形成芯片 (Chip) 后的成品测试和包装出货。前者也可称为晶圆制造过程，后者则为芯片封装测试过程。

在晶圆的制造过程中，需要通过各种物理和化学工序在硅片上形成所需的电路层，这些加工工序主要包括氧化、沉积（化学气相沉积 CVD 或物理气相沉积 PVD）、离子注入、溅射、光刻、刻蚀以及清洗等。氧化工序一般是指在硅片表面形成具有绝缘或隔离作用的  $\text{SiO}_2$  层；沉积和离子注入工序主要是在硅片中形成不同导电形式的 P 型或 N 型 Si，溅射工艺是指形成连接各元件或电路层之间连线；光刻工序是让需要刻蚀的区域暴露出来；刻蚀工序则是将光刻工艺暴露出的  $\text{SiO}_2$  层腐蚀掉；清洗工艺是使经前一道工序加工后的硅片上没有杂质。通常在晶圆加工过程中，沉积或溅射等工艺可能会在不同阶段反复进行。但由于设备昂贵等因素，晶圆可能需要在不同阶段重复进入同一设备。

经过以上加工过程后，晶圆上会形成许许多多功能类似的小格，即为晶片。这些晶片会一一通过测试仪器进行电气特性的针测 (Probe)，不合格的晶片会被打上记号 (Ink Dot)，然后晶圆被以晶片为单位切割成独立的单晶片，自此进入后端制造过程。

在后端制造过程中，切割后的单晶片需要从晶圆上提取出来，然后用塑胶或陶瓷材料进行封装。晶片可以直接安装在引线框架、陶瓷衬底的表面；或作为多模块 (MCM) 的一部分，与其他芯片一起进行封装；或直接安装在电路板上，做成板上芯片 (COB) 或贴芯片。这些不同形式的封装有着相似的工艺部分。

长期以来,由于受工艺复杂度及制造业对芯片需求的影响,后端封测工艺一直滞后于前端的晶圆制造工艺。但是随着大规模和超大规模集成电路的应用,芯片密度的提高迫使封装技术及其自动化程度不得不大幅度提升。

半导体封装过程的主要功能需求如下:

- 1) 提供基本引脚。即将晶片的输入输出用金属线引出,以便于连接到电路板上。
- 2) 物理性保护。防止芯片破碎和外力损伤。通常是将芯片粘贴到一个特定的芯片安装区域,然后用适当的封装体,将晶片、金属连接线、封装体内部引脚封闭起来。
- 3) 环境性保护。可使芯片内部免受外部微粒的污染、化学品的腐蚀以及潮湿气体的侵入等各种环境因素的影响。
- 4) 散热。芯片工作时可能产生大量的热量,好的封装结构和材料可帮助带走大部分热量。

目前主要的封装技术有三种,即引线键合技术、凸点(球)技术和载带自动压焊(TAB)技术。依据晶片封装方法的不同,微电子封装工艺也有所不同。常用的基于引线键合技术的后端封装过程包括以下主要工序:

1) 晶圆切割(Wafer Sawing)。晶圆切割的目的是将前端制造过程加工完成的晶圆上一颗颗的晶粒切割分离成晶片。在进行晶圆切割之前,首先必须进行晶圆黏片(在晶圆背面贴上一层胶带),而后再送至晶圆切割机上进行切割。切割后的晶片井然有序地排列于胶带上,由于晶圆有边框的支撑,因而能避免胶带的起皱和晶粒之间的相互碰撞。

2) 固晶(Die Bonding)。将单晶片取出,然后置于引线框架上的固晶区,并使用共晶固晶技术或使用银胶等材料进行粘贴固定。使用的设备是固晶机,自动固晶机能对作了标记的不合格的晶片进行识别,将合格的晶片直接从晶圆上取出,并粘结到引线框架上。固晶的质量需使用专用检测仪器进行抽样检查。

3) 焊线(Wire Bonding)。此过程也称为引线键合。用微细的金属丝(金线、铜线、铝线)将晶片的输入/输出金属压焊点与引线框架相应引脚上的压焊点连接起来,在引线键合过程中,使用热压技术或超声键合技术或热超声金丝球键合技术,以使金属丝的两端焊接于两个压焊点上,所使用的设备为焊线机。经过焊线机焊线后,需抽样检查金属线两端点的焊接质量及线形等。

4) 塑封(Molding)。塑封是利用塑胶,将晶片、引线框架以及金属线密封,以形成集成电路块,其过程为压膜、封胶硬化。使用的主要设备是塑封机和烤炉。实际上还存在其他几种形式的封装材料,例如金属、陶瓷或玻璃等。

5) 切筋/成形(Trimming/Forming)。切筋是将引线框架上引脚间不需要的金属连接材料及部分突出的塑胶切除,成形是将集成电路的引脚压成规定的形状,以便放置于电路板上使用。所使用的设备是切筋成形机。

6) 打标(Marking)。将集成电路的型号及制造商等信息印于外壳上,所使用的设备为油墨印刷机或激光打标机等。

7) 电镀 (Plating)。此过程也称为上锡,即在集成电路的外部引脚上镀一层焊锡,以增加引脚的保护性、耐蚀性以及焊接性。上锡主要使用电镀工艺或浸锡工艺。

8) 检测 (Inspecting)。每一个芯片最后都应进行检测,除进行诸如外部引脚之平整性和共面度、引脚脚距是否符合规定、打标是否清晰等外部指标的检测外,还需要进行电气性能、功能和老化可靠性等内部性能的测试。

### 1.1.1 芯片互连技术

芯片封装技术中,无论是传统的 DIP、SOP、QFP、BGA 封装,还是 CSP、SIP、WLP、TSV 等 3D 封装,最重要的步骤都是如何把芯片的 I-O 点连接到其他芯片的 I-O 点或者引线框架的焊盘上。高效率、高精度、高可靠性的互连是现代电子封装的关键技术之一。

互连技术可分为外引线连接和内引线连接。外引线连接是指经封装后的芯片或者独立器件与印刷电路板 (PCB) 焊盘间的连接。内引线连接指芯片互连技术,主要用于微电子器件中芯片间或芯片与引线框架间的互连,也称芯片微互连。芯片互连技术是影响微电子封装产品质量、效率和成本的核心技术,主要包括引线键合 (WB: Wire bonding)、载带自动焊 (TAB: Tape automated bonding) 和倒装芯片键合 (Flipchip bonding) 三种技术。倒装芯片封装是一种先进的芯片互连技术,已成为高密度封装技术的主要发展方向。

#### 1.1.1.1 引线键合 (Wire Bonding) 技术

通过金 (Au)、铝 (Al)、硅铝 (Si/Al) 等金属丝线或金属合金丝线,将晶片的输入输出电极与引线框架上的电极或基板上的导体布线电极 (图 1-1) 实现电气连接,以形成适宜的电学通路,这种工艺称为引线键合 (WB)。引线键合技术主要利用热能、超声能等进行键合,是最通用、最成熟的一种芯片互连方法。目前 90% 的芯片互连均采用这种方法,通过加热、加压、超声波等能量去除表面氧化膜,借助于球-楔 (Ball-Wedge) 或楔-楔 (wedge-wedge) 等键合工具实现连接。按外加能量形式的不同, WB 可分为热压键合、超声波键合、热超声波键合。根据键合工具的不同,又可分为球键合和楔键合。其焊区金属一般为 Al 或 Au,连接材料多为  $\phi 10 \sim 200 \mu\text{m}$  的金 (Au)、铝 (Al) (或 Al-Si、Al-Mg)、Cu 等金属丝。引线键合方便灵活、工艺简单、成本低、散热性好,但焊点面积较大,不利于组装密度的提高。

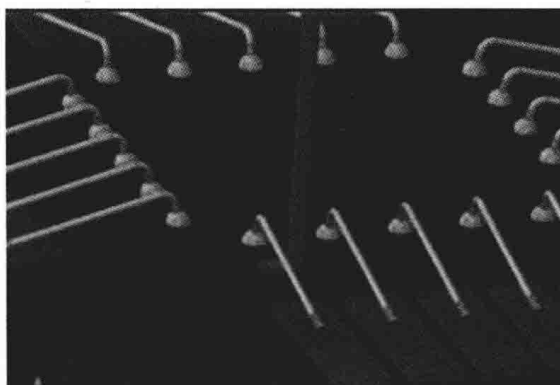


图 1-1 引线键合连接

#### 1.1.1.2 载带自动焊接 (TAB) 技术

TAB 是为了弥补引线键合技术之不足而发展起来的,但直至 20 世纪 80 年代后期才

获得了较快发展。TAB 技术是在类似于胶片的聚合物柔性载带上粘接金属薄片，在金属薄片上腐蚀出引线图形，然后与芯片上的凸点进行热压焊或热压再流焊而实现连接。聚合物柔性载带一般为聚酰亚胺；金属薄片通常采用 Cu 箔，少数为 Al 箔；芯片凸点材料一般为 Au、Ni-Au、Cu-Au。聚合物柔性载带可以由单层、双层或三层构成。如图 1-2 所示是带有 Cu 图像的 TAB 膜及焊后成品。

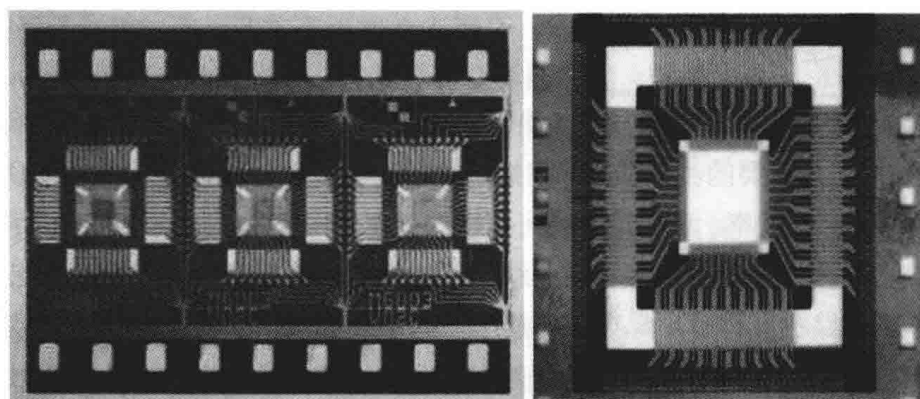


图 1-2 带有 Cu 图像的 TAB 膜及焊后成品

如图 1-3 所示为三层聚合物柔性载带的制作流程。其制作过程是以 0.076 mm 到 0.025 mm 厚的高分子胶膜 PI 为基材，先冲压定位孔，在上面涂上 0.013 ~ 0.025 mm 厚的有机粘结层，再敷上 0.035 mm 厚的导体（铜箔），加热加压，用光刻法制作引线图形而成。

载带自动焊技术的一般工艺过程为：

①形成镀金的 Cu 引线框架。

②制作出凸点。

③内部导线键合（ILB）。

④形成梁式引线器件。

⑤外部导线键合（OLB），完成带式引线与基板焊区的电学连接。

ILB 和 OLB 可采用单点焊或载带焊接机组焊。单点焊是逐点加热、钎接，焊点精确但组装时间长；组焊是同时加热一条边或四周上的所有焊点后一次完成焊接，速度快，对设备精度要求高。

载带自动焊技术的优点是可提高生产效率和连接质量，其键合强度是引线键合的 3 ~ 10 倍；封装体积小、薄；方便进行缺陷测试，适应大批量制造。其缺点是工艺复杂，成本高，芯片通用性差，芯片上凸点的制作和返修比较困难。

### 1.1.1.3 倒装芯片（Flip chip）焊接技术

倒装焊接是将芯片电极面朝下放置，使芯片电极对准基板上的对应焊区，并通过加

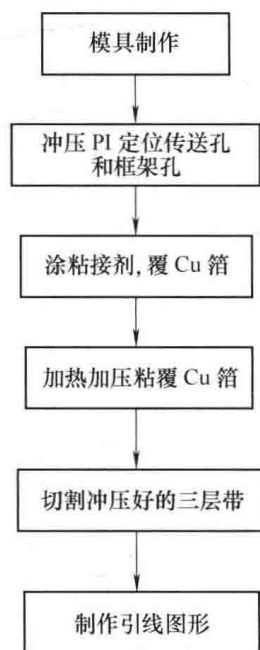


图 1-3 三层聚合物柔性载带制作流程

热、加压等方法，使芯片电极或基板焊区上预先制作的凸点塌陷或熔融后，将芯片电极与基板对应焊区牢固地互连焊接在一起。倒装焊接与传统的引线键合技术相比，键合焊区的凸点电极不仅仅沿芯片四周边缘分布，而且可以通过再布线实现面阵分布以及高密度、小尺寸封装。

倒装芯片焊接技术具有如下优点：

- 1) 尺寸小、薄，重量更轻。
- 2) 密度更高，使用倒装焊技术能增加单位面积内的 I-O 数量。
- 3) 性能提高，短的互连减小了电感、电阻以及电容，信号完整性、频率特性更好。
- 4) 散热能力提高，倒装芯片没有塑封体，芯片背面可有效的冷却，使电路的可靠性得到提高。
- 5) 倒装凸点等制备基本以圆片、芯片为单位，较单根引线为单位的引线键合互连来讲，生产效率高，降低了批量封装的成本。

倒装焊接后的芯片基板如图 1-4 所示，其焊接流程共分为以下 4 步：

- 1) 凸点底部金属化制作。
- 2) 芯片凸点制作。
- 3) 将已经制作好凸点的芯片组装焊接到基板上。
- 4) 使用非导电材料填充芯片底部空隙。

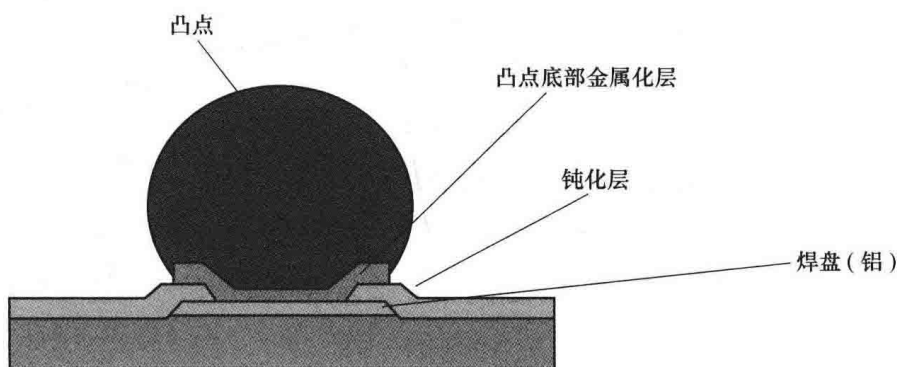


图 1-4 倒装芯片结构

### 1.1.2 凸点底部金属化处理

当倒装焊采用回流焊工艺进行焊接时，基板或芯片的电极材料与熔化后的凸点材料发生化学反应，使电极遭到腐蚀而引起电路断路；或因凸点材料与电极的融合性不好，造成凸点或电极易裂易断等其他失效缺陷。为防止这类情况的出现，需要对凸点底部接触层进行钝化和金属化。对于一般的基于 CMOS 工艺的铝质电极和常用的铅锡（UPD9）钎料来说，常用的钝化金属层材料有镍、金和钛等。

为使芯片与基板互连工艺更容易实现、互连可靠性更高，常采用多层金属膜 UBM（Under Bump Metal）在芯片上的 Al 焊盘与凸焊点之间的一层金属化层。UBM 必须与焊盘及凸焊点间形成良好的欧姆接触、必须能够保证凸点或焊接材料不直接与 Al 焊盘

接触，以使连接材料有良好的黏附性能和力学性能，并确保优良的电性能和导热性能。UBM 通常由黏附层、扩散阻挡层和浸润层等多层金属膜组成。UBM 在进行钎料回流或焊点退火等高温处理时，能够保证凸焊点材料不会穿透 UBM 而进入下面的 Al 焊盘中。

多层金属膜层由黏附层、扩散阻挡层以及浸润焊接层组成。

#### (1) 黏附层

与铝层黏附性好，与铝层间接触电阻小，并且热膨胀系数接近。黏附层材料一般选用 Cr、Ti、Ti-W、V 等。

#### (2) 扩散阻挡层

能有效阻止凸焊点材料（包括浸润层材料）向本层扩散，并不被凸焊点材料溶解掉，从而避免凸焊点材料进入 Al 层而形成不利的金属间化合物。扩散阻挡层材料一般选用 Ti、Ni、Cu、Pd、Ti-W 等。

#### (3) 浸润焊接层

能与凸焊点材料良好浸润，焊接性好，不会形成不利于焊接的金属间化合物，并且还能保护黏附层和阻挡层金属不被氧化和沾污。通常选用 Au 膜、Au 的合金膜或 Cu 膜。

### 1.1.3 凸点制作

凸点制作工艺很多，如蒸发/溅射法、丝网印刷-回流法、电镀法、钉头法、置球凸点法（SB<sup>2</sup>-Jet）、化学镀法等。各种凸点制作工艺各有其特点，关键是要保证凸点的一致性。特别是随着芯片引脚数的增多以及对芯片尺寸缩小要求的提高，凸点尺寸及其间距越来越小，制作凸点时又不能损伤脆弱的芯片。

现在主流应用的凸点制作方法是印刷/转写-搭载-回流法。该方法是通过网板印刷或针转写的方式，把助焊剂涂到芯片表面后，通过搭载头把锡球放置到涂有助焊剂的焊点上，再进入回转炉固化。

#### 1.1.3.1 钉头凸点法

钉头凸点法是利用金/铜丝球焊机制作凸点。为了更好地解决倒装焊金凸点与芯片焊盘铝互连可能产生的金铝化合物而降低互连的可靠性，先在铝焊盘上溅射一层 UBM，然后再键合凸点，该方法如图 1-5 所示。铜凸点由于容易氧化以及抗腐蚀能力弱，现使用还不多，随着工艺成熟以及防氧化工艺的改进提高，在大多数消费类电子产品中，铜凸点将会取代金凸点。

钉头凸点带有尾丝，在芯片上所有凸点都完成后，要对所有凸点去除尾尖，使其成为凸点高度、平整性一致的芯片凸点。如图 1-6 所示为键合制备钉头及整平图。去除尾尖的方法有石英板拍平、键合机打磨、研磨（圆片级钉头凸点制作后）等，质量较高的是研磨工艺。钉头凸点方法只适合引线数少、芯片焊盘间距相对较大、品种多且数量相对不多的芯片封装上，其具有工艺简便易行、方便灵活、可在单芯片上制作凸点、成

本低廉等特点，并且，不合格芯片不需要制作凸点（其他方法制备凸点时，不合格芯片也要制备凸点），但是凸点高度一致性相对较差。

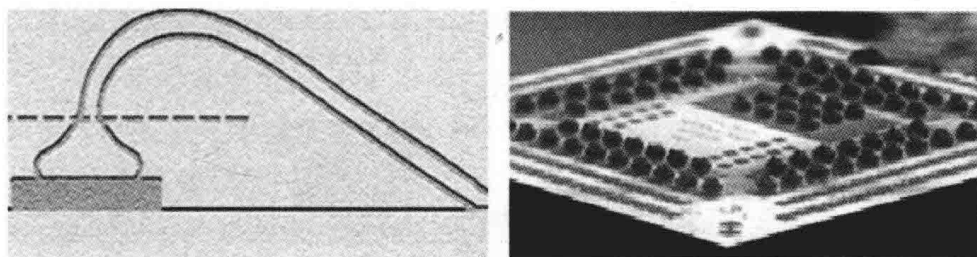


图 1-5 用金丝球焊线机制作的钉头凸点

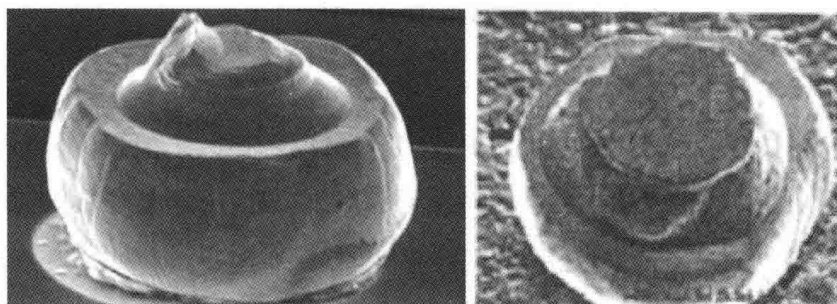


图 1-6 钉头凸点及拍平后的凸点形状

### 1.1.3.2 电镀法

电镀法为国际上流行且工艺成熟的凸点制作法。电镀凸点工艺所需的 UBM 同样是采用蒸发/溅射方法，但是，相对 UBM 要厚许多倍的凸点制备则采用设备投入少、运行成本低的电镀工艺方法取代。电镀工艺重复性、一致性好，可用于批量生产加工各种类型规格芯片及不同材料、不同高度的凸点。凸点材料主要有钎料凸点、金凸点和铜凸点三种。常见的电镀凸点类型、连接方式及熔点见表 1-1。如图 1-7 所示为电镀低温钎料凸点的制作工艺流程。

表 1-1 常用电镀凸点类型及性能

凸点类型		凸点材料	连接方式	熔点/℃
钎料凸点	锡铅焊料	95Pb5Sn	回流焊	252
		90Pb10Sn	回流焊	175
		63Pb37Sn	回流焊	183
	锡银铜	95.8Sn/3.5Ag/0.7Cu	回流焊	218
	纯锡	Sn	回流焊	232
	锡银	96.5Sn/3.5Ag	回流焊	221
	锡铋	42Sn/58Bi	回流焊	138
	锡铜	99.3Sn/0.7Cu 95Sn5Cu	回流焊 回流焊	227 375
非钎料凸点		Au	粘接、热声 或热压焊	—
		Cu	粘接	1 064