

# 半导体贴装工艺与设备分析

林海涛 赵凯 蔡孙彬 陶云鹏

(上海世禹精密设备股份有限公司 上海 201615)

**摘要:** 当前, 国家大力支持半导体产业发展。半导体设备作为半导体产业链的基石, 其发展水平仍有较大的提升空间, 特别是摩尔定律的失效引发产业链对于封装领域的重视。对于半导体整体产业链以及现状进行了概述, 对半导体贴装工艺与设备进行了分析, 包括机架、龙门系统、晶圆上料机构、贴装头、涂胶系统、传感和检测系统和基板传送系统等; 基于半导体封装设备发展历程, 对照国内外设备发展现状, 对半导体封装设备的未来进行展望。

**关键词:** 半导体; 贴装; 工艺; 设备; 封装

## 1 半导体产业概述

### 1.1 半导体产业链现状

作为高新技术行业, 半导体产业是电子信息产业的基础, 有着非常重要的战略地位<sup>[1]</sup>。半导体产业链有三种权利: 设计权——创新和供给; 代工权——安全和产能; 设备权——产业链安全和工艺底层突破。我国作为全球最大的半导体市场, 产业发展存在着核心领域没有话语权、部分技术与设备严重依赖进口等问题。在地缘政治思潮回归、俄乌冲突的叠加影响之下, 全球半导体产业链受到了巨大冲击, 一些国家和地区纷纷采取行动, 建立起自主可控的半导体产业链, 以应对这一挑战<sup>[2]</sup>。未来, 半导体行业或将由全球化分工转向反全球化, 半导体产业链将更加割裂, 区域保护主义也将阻碍产业全球化发展, 中国想要通过资本力量来夯实自身技术实力的道路或将更加艰难。

### 1.2 封装目的与设备重要性

业内普遍认为, 摩尔定律的极限是 7nm, 超过这一限度, 摩尔定律将会失去作用<sup>[3]</sup>。领先的封装技术变成了提高芯片性能、降低芯片成本的重要手段。

半导体及集成电路封装与其设备有着密不可分的联系。装备是封装的基础和保证, 一代装备造就一代集成电路及一代封装, 在后道封装线中, 四大要素(设备、工艺、材料、环境)相互依存相互促进<sup>[4]</sup>。若要发展半导体封装, 必须先发展封装设备, 正因如此, 各个国家和地区在半导体封装设备特别是先进封装设备领域投入巨资。

## 2 半导体封装技术概述

### 2.1 半导体封装技术发展历程

目前的全球半导体封装技术中, 第三阶段的 BGA 和 CSP 已处于技术成熟期, 绝大部分集成电路产品使用的是第三阶段的封装技术; 小部分产品已经在向第四阶段发展。半导体封装技术发展的历程如表 1 所示。

表 1 半导体封装技术发展历程

阶段	封装技术	时期
基础阶段	零级芯片封装	20 世纪 50 年代
	一级封装	20 世纪 60 年代
	板级二级封装	20 世纪 70 年代
第一阶段	通孔插装 (以 TO 型封装和双列直插封装为代表)	20 世纪 80 年代 前期
第二阶段	小外形封装 (SOP)	20 世纪 80 年代
	四边引脚扁平封装 (QFP)	20 世纪 80 年代 中期
第三阶段	球栅阵列 (BGA)	20 世纪 90 年代
	芯片尺寸封装 (CSP)	20 世纪 90 年代
第四阶段	3D 封装 (混合封装、PoP、PiP、TSV)	20 世纪 90 年代 末至今

### 2.2 封装工艺流程

封装工艺全流程可以分为两个部分, 即芯片级封装工艺和电子组装工艺。

芯片级封装工艺流程为: 来料检查→涂胶→检查涂胶效果→芯片贴片→检查贴片效果→检查回流焊

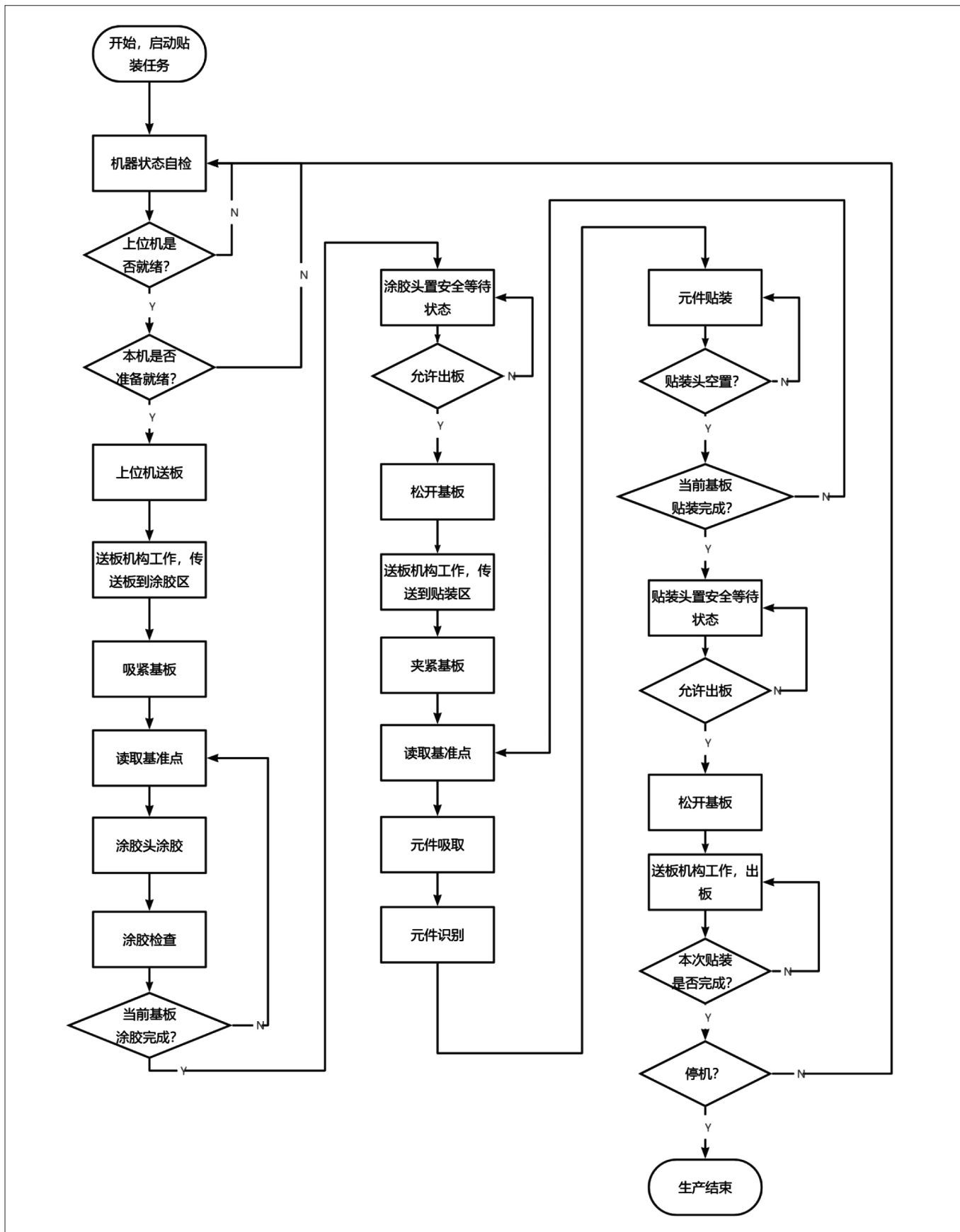


图 1 贴装工艺流程图

工艺设置→回流焊接→检查焊接效果并最终检测→密封和钝化→管壳。

电子组装工艺流程为：用高铅焊锡料倒装粘结下管芯片→用高铅焊锡料粘结上管芯片和铜片→清洗→堆叠芯片到铜片上→固化绝缘胶→键合→塑封→后道切割。

### 3 贴装设备的工作原理与构成

#### 3.1 工作原理与运动过程

贴片机可以看作一台高精度智能化的工业机器人，通过一系列动作将芯片贴装到基板上，工艺流程如图1所示。

#### 3.2 贴片机的结构

贴片机的主要结构如图2所示。

##### 3.2.1 机架

贴片机的机架就如同建筑的地基一样，机架的质量和稳定性对设备的精度至关重要。机架承载着设备的各个部件；同时，由于贴装作业过程中的高速运动，特别是启动和刹车停止时的加速度可高达 $3g$  ( $1g=9.8m/s^2$ )，加之本身的质量，运动时会产生很大的冲击力。若要使贴片作业精度能够得到保证，机架就必须保证足够的稳定性且具有足够的质量。

##### 3.2.2 基板传送装置

基板传送装置的作用就是实现基板的运输到指定的工作位置（如涂胶区域、贴装区），并将完成本机作业的基板传送到下一台设备进行后续作业。

##### 3.2.3 龙门结构

贴片机的精度和速度主要是由 $X$ 、 $Y$ 轴运动机构决定的，根据传动结构不同可以分为链条或者带传

动、丝杠传动、直线同步电动机三种。对于直线同步电动机机构，采用闭环控制可以得到相对于丝杠传动以及链条（带）传动来说更好的运动效果，控制精度更高，采用光栅尺进行位置反馈，且定子和动子分离，没有机械磨损，可靠性更高，使用寿命更长。

##### 3.2.4 贴装头

贴装头的种类包括平动式、转塔式、小转塔式及复合式。贴装头在把芯片贴到电路板上时，会产生向下的压力，由于芯片较为脆弱，容易损坏，所以需要精准控制芯片拾取头的下压力。

##### 3.2.5 晶圆上料机构

晶圆上料机构包括晶圆工作台和顶针模块。

##### 3.2.6 涂胶装置

点胶工艺既可以设置专门的点胶机，也可以通过贴片机内置涂胶装置来实现，即将贴片机的贴装头替换为涂胶系统，可以使其在计算机控制程序的控制下将胶精准地涂在电路板上。

##### 3.2.7 检测与传感器系统

为满足机器不同执行机构之间的配合，需要设置不同功能的传感器以检测并形成电信号或其他信号形式，输出给处理器，这是实现自动化检测和自动化控制的首要环节。

(1) 视觉检测系统。晶圆视觉检测可以完成晶圆对位校准，点胶视觉检测用以基板对位校准，点胶后检查，进行实时全检。基板视觉系统用于基板对位校准，贴装后进行实时全检。

(2) 传感器检测系统。贴片机中安装有多种传感器，主要以力学和光学传感器为主，在工作过程中

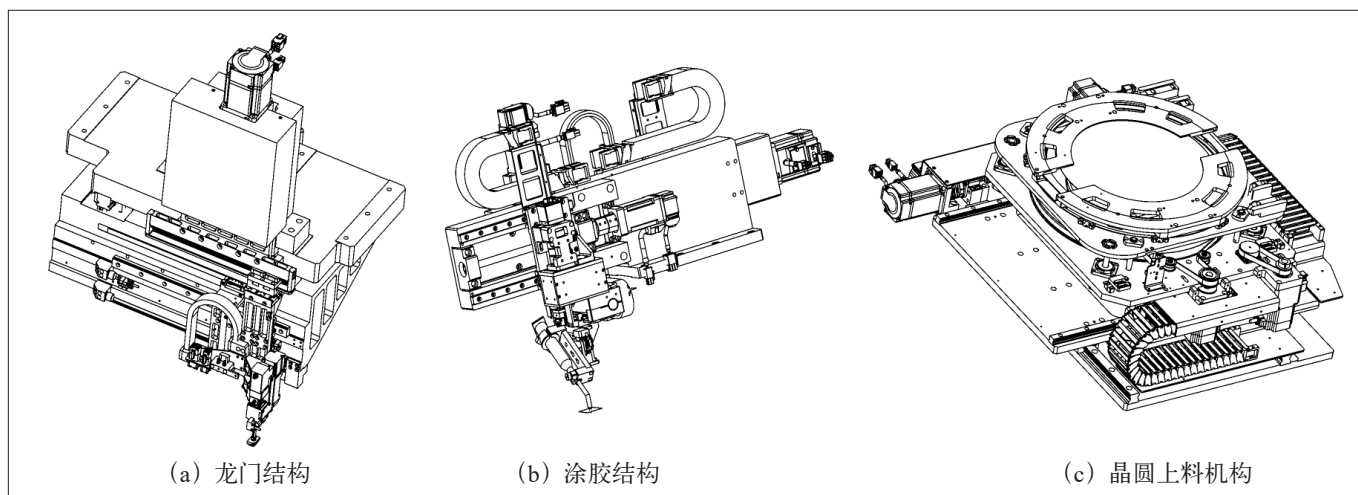


图2 贴片机的主要结构

发挥着信息采集的作用。

## 4 贴装设备发展与展望

### 4.1 发展历程

贴片机的的发展大体可以分为三个阶段。

第一代贴片机在20世纪70年代至80年代的初期,表面贴装技术最开始主要应用于军事、航空航天等尖端领域,之后开始逐步扩展到民用工业领域。当时所采用的机械对中的方式进行贴装,贴装速度和精度都很低,但是相较于手工插件组装,这无疑是一项历史的突破。

在20世纪80年代中期到90年代中后期,SMT逐步开始完善,第二代贴片机在第一代的基础上将机械对中方式升级为光学系统对中,速度和精度大大提高。

在20世纪90年代末,全球高新技术产业快速发展,电子产品的需求更加多元化,第三代贴片机出现,第三代贴片机的特征是高性能和柔性化,可以实现高速机和多功能机一体化,兼顾速度和精度,同时采用智能化的软件系统提高效率。

### 4.2 国内外发展现状

先进封装中贴片机是重要的设备,目前全球贴片机市场的竞争格局为“两超多强”,Besi和ASM占据超过全球60%的市场份额,先进封装贴片机的主要性能参数为精度与UPH。国内外部分贴片机典型的产品性能见表2。

### 4.3 展望

就目前而言,我国劳动力资源依旧丰富,但是随着人口老龄化的到来,劳动密集型产业必将面临着转型,设备的智能化可以降低对于人力的需求,缓解未来可能出现的劳动力不足的问题。同时,对环境与健康,绿色可持续无污染的设备与材料也将成为制造业发展的关注重点。此前多国均对于电子产品含铅问题发布了相关法令,贴装焊料基本已转为无铅化焊料。同样,今后在贴装设备的各个阶段都应充分考虑对于环境可能造成的影响,保证性能的同时应该提高材料的利用率,考虑材料是否可以回收,降低设备的能耗,做到制造装备与环境的和谐发展。

表2 国内外贴片机部分典型产品的性能

公司	产品型号	精度/ μm	每小时 产能	晶圆 尺寸/mm	芯片 尺寸/mm	封装工艺
ASM	SIPLACE CA	±12	30000	300	0.8 ~ 15	倒装芯片、粘片、SMD
Besi	Esec 2100	±8	12000	300	0.2 ~ 20	芯片倒装、芯片贴装
华封科技	AvantGo 2060W	±5	11000	300	0.6 ~ 70	芯片倒装、芯片贴装、PoP
世禹精密	TD1000	±20	10000	300	0.5 ~ 25	芯片贴装、堆叠贴装、存储芯片封装
新益昌	LED 双头固晶机	±25	7500	150		发光芯片封装
佳峰	JAF-380	±50	4500	200	0.6 ~ 10	晶体管外形封装

## 5 结语

各国为保护自己半导体产业链的安全,都在积极主动布局,以降低对他国的依赖性。由于我国起步较晚,且半导体设备行业的技术壁垒高,对于半导体产业链的各个环节,国产化替代依旧进行中,高端设备的自给自足率有待提高。随着国产化替代的进程推进,各个厂商都在积极进行增产扩产,加大对于设备的投入,为封装测试设备带来持续增长的需求。同时,经济内循环将设计、制造、封装半导体全产业链联合起来,通过强化上下游的沟通或将进一步拉动国内技术水平的提高。无论是在材料、设计、工艺、设备上都会存在竞争,产业链上各个环节都应该积极创新,形成良性竞争关系,才能走得更远。

### 参考文献:

- [1] 徐丰,叶雪琰,王若达.美国高技术产业补贴政策体系探析——以半导体产业为例[J].美国研究,2022,36(05):86-116+7.
- [2] 吴泽林,尚修丞.美国重塑半导体产业链的逻辑[J].和平与发展,2022(06):71-93+155-156+159-160.
- [3] 韩继国.摩尔定律失效后的芯片走向[J].集成电路应用,2015(10):1.
- [4] 李燕玲,于高洋,童志义.应对“后摩尔定律”的封装设备[J].电子工业专用设备,2010,39(12):1-8+43.

作者简介:林海涛(1982.10-),男,汉族,河北石家庄人,本科,高级工程师,研究方向:半导体封装测试工艺与设备。