

半导体 IC 全自动切筋成型系统

郑元成¹, 于孝传², 周海俊³, 任宏伟¹

(1. 济南大学 自动化与电气工程学院, 济南 250022; 2. 山东隽宇电子科技有限公司, 山东 临沂 276111;
3. 深圳大学 土木与交通工程学院, 广东 深圳 518060)

摘要: 随着集成电路产业的高速发展, 半导体 IC 封装环节中切筋成型工艺的重要性也在日益凸显, 然而传统切筋成型作业方式的效率已经难以满足日益增长的行业需求。本文设计了半导体 IC 全自动切筋成型设备, 由机械结构、电控系统和精密模具 3 部分构成, 其核心控制系统采用信捷 PLC 控制器; 并设计了人机交互界面, 可实时监测系统运行状态并根据需求动态调节系统运行参数; 通过光电传感器和执行机构紧密配合, 实现了从上料片至成品收集全流程自动化。经试验表明, 系统切筋误差小于 0.05 mm, 切筋效率较传统作业方式提高了 50%, 具有较好的实用价值。

关键词: 半导体封装; 切筋成型; PLC; 运动控制; 精密装备

中图分类号: TN605; TP271.4 **文献标志码:** A **文章编号:** 1673-8020(2022)03-0284-05

半导体集成电路产业链主要包括芯片设计、晶圆制造和封装测试 3 个环节。随着半导体集成电路产业的全球结构调整和封装测试产业持续向中国转移加速, 我国半导体封测市场规模逐渐扩大, 半导体集成电路消费市场愈发广阔, 国内外半导体封测企业的技术鸿沟和规模差距不断缩小, 我国半导体封测产业迎来不可错过的机遇^[1]。

半导体 IC 切筋成型工艺是封测产业链中不可或缺的一个重要环节, 本文涉及的全自动高速切筋成型设备, 主要用于完成基于引线框架芯片封装的切筋成型工艺, 解决 SMA、SMB 等型号贴装 IC 封装引脚的成型问题^[2]。随着全球半导体产业结构的重新配置以及封测厂商对降低集成电路封装测试成本的需求与日俱增, 切筋成型设备实现全面自动化、高精度化是未来发展的趋势。高端的全自动半导体切筋成型设备长期被境外企业所垄断, 昂贵的报价使得一些国内企业难以承担^[3]。

国内传统的手动和半自动切筋成型设备速度缓慢, 精度与可靠性较低, 难以满足日益增长的封测市场需求, 因此亟需研发具有自主知识产权的低成本、全自动、高精度半导体切筋成型设备^[4]。

针对国内集成电路封装关键高端装备基本依赖国外进口的现状, 本文设计的切筋系统可实现半导体芯片全自动切筋成型, 这将为 IC 封测产业提供有力支撑, 提升我国集成电路封测产业高性能装备的自主开发能力, 加快半导体封测装备国产化进程, 为经济转型做出应有的贡献。本文的研究内容主要包括: 系统机械结构按流程分解设计、电控系统设计、精密切筋模具设计和系统测试与结果分析。

1 系统方案

系统按照切筋成型工艺流程分为自动上料单元、横梁电机取料单元、导轨进料单元、切筋成型单元以及成品收集单元。系统各个单元的机械结构和精密模具以信捷 XCC 系列 PLC 作为控制中心, 实现从上料至收集各动作全自动化执行^[5]。同时, 外置触摸屏对系统运行实现集中监测与控制^[6]。

系统的硬件包括机械结构、电控系统和精密模具三部分。

系统机械结构由机框、上料、取料、进料和收

收稿日期: 2021-09-08; 修回日期: 2021-12-13

基金项目: 国家自然科学基金(51778372); 2020 年度山东省重点扶持区域引进急需紧缺人才项目

第一作者简介: 郑元成(1997—), 男, 山东日照人, 硕士研究生, 研究方向为工业自动化技术、检测技术与自动化装置。E-mail: izheng_ye@126.com

通信作者简介: 任宏伟(1976—), 男, 山东临沂人, 副教授, 硕士研究生导师, 博士, 研究方向为工业自动化及先进制造技术、智能仪器仪表和人工智能。E-mail: cse_renhw@ujn.edu.cn

料部分的精密元件组成。收料部分分为成品收集和废弃物收集: 成品收集采用抽屉式不锈钢接料盒, 共有上下两个, 可实现不停机更换; 废弃物收集部分采用 750 W 离心真空风机, 离心真空风机吸风口安装可更换的过滤器。

电控系统由精密运动气缸、电磁阀、PLC 控制器、开关电源和配电盘组成, 通过 PLC 与光电传感器、精密气缸、伺服电机和步进电机相配合, 实现系统全自动运行^[7]。

精密模具部分包含切筋模具和预弯成型模具, 采用抽屉式结构, 有便携式定位销辅助定位^[8], 上、下模具拆装方便。此外, 系统设计的切筋模具和预弯成型模具独立分开, 以便于维修。在伺服电机和推料气缸共同配合下, 完成半导体芯片的切筋和成型操作^[9]。系统三维设计图如图 1、2 所示。

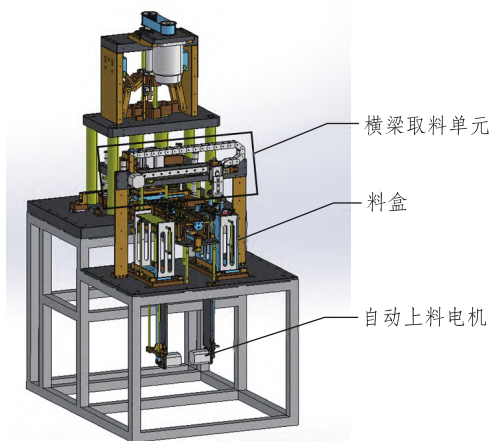


图1 系统三维主视图

Fig.1 3D main view of the system

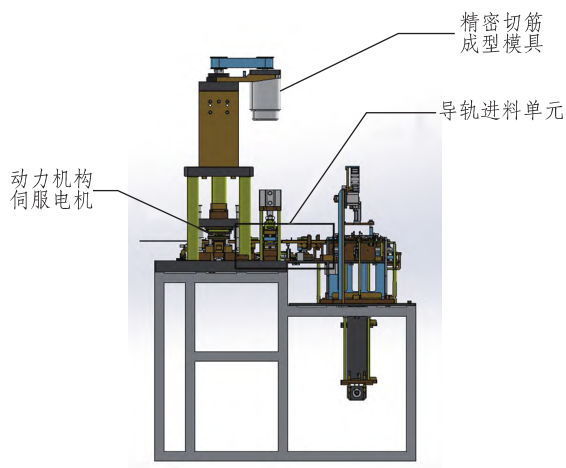


图2 系统三维侧视图

Fig.2 3D side view of the system

2 电控系统设计

上料部分采取双料盒结构, 由两个步进电机执行, 在料盒顶端和底端两个位置处安装光电传感器, 用来检测步进电机传动带的运动位置^[10], 以保证其运动距离在规定的范围之内。料盒上方安装光电传感器用来检测料片有无, 检测到料片存在的信号后, 横梁电机即可动作至相应料盒上方, 配合机械夹爪气缸执行取料动作。若一侧料盒未检测到料片存在, 则在触摸操作屏显示该料盒料片缺失, 提醒工作人员及时添加料片。

在横梁电机取料环节, PLC 发送脉冲信号使横梁步进电机运动到设置的料盒上方位置^[11], 根据程序设计, 机械夹爪对料盒内料片进行抓取。夹爪自动将料夹内的料片抓取到进料轨道内, 抓料机构安装有光电传感器, 检测到料片异常会报警停机, 处理完报警后按开始键即可正常作业。机械手抓完一个料盒内料片将自动切换到另外一个料盒, 空料盒可以在不停机的状态下更换为实料盒^[12]。

导轨进料部分电控系统的工作模式为推料步进电机与拨料气缸机构往复动作配合完成。进料动作的执行采用米思米导轨与步进电机运动相结合的方式, 以确保进料过程中料片运动的稳定和精准^[13]。推料机构安装有光电检测装置, 推料异常立即报警停机; 拨料气缸的动作执行通过拨料针作用在料片框架上, 拨料件通过连杆精密连接, 保证位置准确, 动作一致; 拨料力来自于外置气缸, 气缸上安装有电子式传感器, 框架边框横筋保护在浮轨与盖板之间, 推料异常立即报警停机^[14]。

系统执行动作的气缸采用 Airtac 精密气缸, 通过 PLC 发送开关数字信号控制电磁阀以控制气缸动作。系统气源接入后, 气缸动作至初始设置状态, 当 PLC 发送的开关量改变时, 电磁阀开启, 气缸改变进气端口, 进而推动气缸动作。在气缸动作的两端安置其专用的电子式传感器, 根据其动作位置, 相应位置的电子式传感器检测到信号后可反馈给 PLC^[15], 实现对气缸动作位置状态的感知。

系统的 PLC 与触摸屏进行通信, 操作者通过触摸屏人机交互画面实时监控设备运行状态^[16], 还可以根据实际情况修改设备运行参数。

人机交互画面主要有首页(防呆检测开关、照明开关、门控开关和停止按钮)、自动运行监控画面(冲次速度、每小时产量、清模值和报警列表等)、手动调试画面(各气缸与电机状态按钮等)、系统参数设置画面(主轴马达、进料马达、横梁马达位置和速度数据等)、系统运行数据统计画面(切筋成型模具各切刀累计运行次数等)。

3 系统运行调试与结果分析

3.1 调试结果

系统设计并装配完成后,可通过触摸操作屏的手动页面实现手动分解动作调试。经手动调试系统运行无误后,进行自动模式下试机,最终实现系统从上料至成品收集全自动运行。系统样机如图 3 所示。



图 3 系统样机

Fig.3 System prototype

3.2 芯片成品数据分析

经系统切筋成型操作后,SMA 芯片成品在影像测量仪下实物图像如图 4 所示。

SMA 芯片成品涉及本体长度、本体宽度和弯脚长度 3 个参数,其折弯成型设计图与具体参数标准值如图 5 所示。自动运行调试后,取 20 片 SMA-468 型号封装后的料片进行试机,对试机过程中收集到的 9360 颗 SMA 芯片成品中随机抽取 20 个样本,分别对其本体长度、本体高度和弯脚长度 3 个参数在万濠精密仪器 VMS3020 型影像

测量仪下进行测量,测量结果如表 1 所示。经测量分析,在系统精密切筋成型模具作用下,20 颗芯片成品样本对应的 3 个参数相较于标准值的误差均小于 0.05 mm,在规定的误差允许范围内,样本数据实现 100% 达标,符合预期目标。

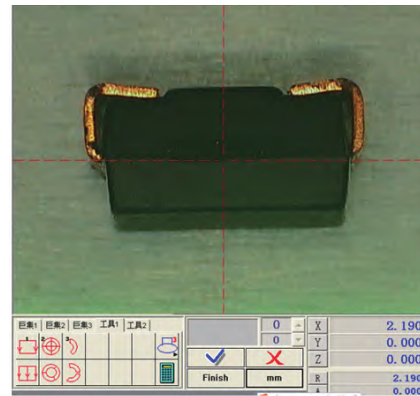


图 4 芯片成品在影像测量仪下的放大图

Fig.4 Enlarged image of the finished chip under the image measuring instrument

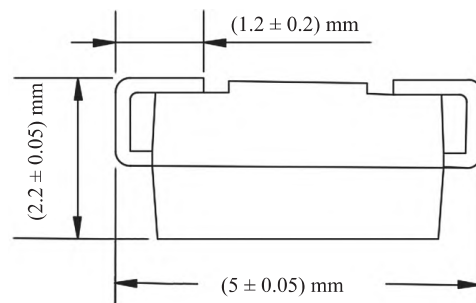


图 5 成品折弯示意图

Fig.5 Schematic diagram of product bending

3.3 系统投产运行情况

系统调试运行无误后即可投入生产,自动运行 240 h,投产后自动运行监控画面如图 6 所示。投产后经系统触摸屏画面记录显示,系统冲击效率可达到 $26 \text{ 冲次} \cdot \text{min}^{-1}$,每冲次可完成 4 排芯片的切筋成型操作。每小时完成切筋成型的 SMA 芯片保持在 55 000 ~ 60 000 颗,240 h 累计完成 SMA 芯片切筋成型超过 1.3×10^7 颗。相比而言,半自动切筋设备每小时完成切筋成型的 SMA 芯片 35 000 ~ 40 000 颗,传统手动切筋设备每小时完成切筋成型的 SMA 芯片 8000 ~ 10 000 颗。显然,本系统具有明显的速度优势。

系统触摸屏人机交互界面可实时显示设备运

行状态和常见故障报警,增加了设备的可操作性。试验投产期间,经记录,运行 240 h 累计出现 2 次因卡料而造成故障停机,操作人员发现系统报警后即刻处理完毕;由于料盒缺料累计人工更换实料盒 216 次。综上所述,系统故障平均解决时间 (MTTA) 小于 10 min,系统平均故障间隔时间

(MTBF) 大于 100 h,因更换料盒引起的人工辅助间隔时间 (MTBA) 大于 60 min。经检测,系统运行过程中噪声小于 60 dB,同时系统创新性地设置了废弃物收集装置,实现了废气粉尘等杂质的零排放。

表 1 样本芯片折弯成型数据
Tab.1 Bending data of sample chip

样本编号	本体长度/mm	本体高度/mm	弯脚长度/mm	样本编号	本体长度/mm	本体高度/mm	弯脚长度/mm
1	4.992	2.245	1.233	12	4.996	2.230	1.230
2	4.999	2.230	1.230	13	4.993	2.236	1.165
3	4.975	2.244	1.201	14	4.990	2.214	1.203
4	4.985	2.226	1.236	15	4.994	2.224	1.215
5	4.985	2.240	1.191	16	4.996	2.207	1.158
6	4.991	2.234	1.240	17	4.984	2.225	1.167
7	4.985	2.235	1.190	18	4.993	2.235	1.189
8	4.995	2.255	1.170	19	4.970	2.241	1.237
9	4.978	2.245	1.218	20	4.991	2.231	1.221
10	4.976	2.249	1.201	标准值	5±0.050	2.25±0.050	1.2±0.200
11	4.985	2.234	1.173				



图 6 系统自动运行监控画面
Fig.6 System automatic operation monitoring screen

4 结论

本系统结合机电一体化技术,采用 PLC 作为控制核心,实现了半导体切筋成型工艺全自动操作。

经试验表明,本系统相较于传统的切筋成型设备,SMA 芯片日产能提高了 50%以上。另外,传统作业方式下每台设备需要有 1~2 名工作人员值守操作,而 5~6 台本设备只需要 1 名工作人员值守即可,显然在大幅提高半导体芯片切筋成

型工艺的生产效率的同时,有效降低了设备的故障停机率和操作人员的安全风险。

总体而言,系统设计达到了预期目标,性价比高,具有很好的市场前景,为半导体封测领域自动化设备的国产化做出了贡献。

参考文献:

[1] 王新潮.中国半导体封测业机遇与挑战并存[J].集成电路应用,2017,34(8):1.
[2] 刘劲松.高端 IC 封装技术[J].集成电路应用,2004(12):75-78.

- [3] 张希颖,王艺环,吴佳钧,等.中国半导体设备行业发展研究:基于美国出口管制视角[J].北方经济,2021(7):40-43.
- [4] 张心怡.封测产能需求旺盛 国内头部企业上半年大幅预增[N].中国电子报,2021-07-09(008).
- [5] 姚兴田,邱自学,周一丹,等.集成电路塑封自动上料系统的研制[J].制造业自动化,2007(11):56-58.
- [6] ZHANG Y S, LIU M M, ZHAO F Z. The design and implementation of PLC monitoring system based on OPC [J]. Applied Mechanics and Materials, 2013, 278/279/280: 930-935.
- [7] 朱晶川,孙力.基于PLC的自动切筋分离系统设计[J].现代电子技术,2015,38(10):111-114.
- [8] 方欣.微电子封装切筋系统和模具的设计与应用[J].中国集成电路,2021,30(4):66-70.
- [9] 刘超.芯片封装的伺服控制系统与快速高精度定位技术研究[D].上海:上海交通大学,2015.
- [10] 徐子文.基于光电信号的激光焊接质量在线检测技术研究及实现[D].广州:广东工业大学,2020.
- [11] 汤晨宇.基于PLC设计的机械零部件自动包装机[J].现代制造技术与装备,2020,56(11):101-103.
- [12] WANG X W, WANG F L. PLC application in carrying manipulator [J]. Applied Mechanics and Materials, 2014, 651/652/653: 798-801.
- [13] 李浩.视觉定位机器人装配生产线的运动控制系统设计[D].西安:陕西科技大学,2020.
- [14] 胡必武,余成.高速集成电路切筋系统设计[J].电子与封装,2009,9(5):24-27.
- [15] YOU J X, LIANG H M, ZHANG K, et al. Design of plane magnetic field image drawing system based on PLC motion control [J]. Applied Mechanics and Materials, 2014, 525: 282-286.
- [16] 令荣.基于PLC和触摸屏的开放式立体车库控制系统设计[D].兰州:兰州交通大学,2014.

Semiconductor IC Automatic Trimming and Forming System

ZHENG Yuancheng¹, YU Xiaochuan², ZHOU Haijun³, REN Hongwei¹

(1. School of Automation and Electrical Engineering, University of Jinan, Jinan 250022, China;

2. Shandong Junyu Electronic Technology Co., Ltd., Linyi 276111, China;

3. College of Civil and Transportation Engineering, Shenzhen University, Shenzhen 518060, China)

Abstract: With the rapid development of the integrated circuit industry, the importance of the trimming and forming process in the semiconductor IC packaging process has become increasingly prominent. However, the efficiency of the traditional trimming and forming method can't meet the growing industry needs. The semiconductor IC automatic trimming and forming equipment designed in this paper is composed of three parts: mechanical structure, electronic control system and precision mold. Its core control system was designed by Xinjie PLC controller, and a human-computer interaction interface was designed to monitor the operating status of the system in real time. And the operating parameters of the system can be dynamically adjusted according to the demand, through the close cooperation of the photoelectric sensor and the actuator, the automation of the whole process from the feeding of the material to the collection of the finished product was realized. Experiments show that the system has a bar trimming error of less than 0.05 mm, and the bar trimming efficiency is increased by 50% compared with traditional operation methods, which has good practical value.

Keywords: semiconductor packaging; trimming and forming; PLC; motion control; precision equipment

(责任编辑 李秀芳)