

Application and Effect Evaluation of Mechatronics Control System in Silicon Wafer Polishing Process

Hongwei Jiang Xiongjie Wu Guoliang Yang

Zhejiang Haina Semiconductor Co., Ltd., Kaihua, Zhejiang, 324300, China

Abstract

This paper discusses the mechatronics control system, and discusses its application and effect evaluation. This paper designs the corresponding control scheme, and evaluates the process flow and requirements of silicon wafer polishing by analyzing the principle and characteristics of the mechatronics control system. The evaluation results show that in the polishing process of silicon wafer, the mechatronics control system can effectively improve the polishing quality and production efficiency, reduce the energy consumption, reduce the labor cost, and both the application prospect and economic benefits are good.

Keywords

electromechanical control system; silicon wafer polishing; process optimization; effect evaluation

机电一体化控制系统在硅片抛光工艺中的应用与效果评估

江红卫 吴雄杰 杨国梁

浙江海纳半导体股份有限公司, 中国·浙江 开化 324300

摘要

论文以机电一体化控制系统为基础进行了探讨, 对其在硅片抛光过程中的应用及效果评估。设计了相应的控制方案, 并结合硅片抛光的工艺流程和要求, 通过分析机电一体化控制系统的原理和特点进行了评估。评估结果显示, 在硅片抛光过程中, 机电一体化控制系统可有效提高抛光质量和生产效率, 降低能耗, 降低人工成本, 应用前景和经济效益均较好。

关键词

机电一体化控制系统; 硅片抛光; 工艺优化; 效果评估

1 引言

随着信息技术的不断发展和电子产品的普及, 硅片作为集成电路的重要基材, 其加工工艺的质量和效率要求也越来越高。硅片抛光作为硅片加工工艺中的关键环节之一, 直接影响着芯片的性能和生产效率。传统的硅片抛光工艺在质量稳定性和加工效率方面存在一定的局限性, 难以满足当今集成电路产业的需求。机电一体化控制系统作为一种集成了机械、电气和计算机技术的综合性控制系统, 在工业自动化领域得到了广泛应用。其以高精度、高可靠性和高灵活性等特点, 为提升硅片抛光工艺提供了新的可能性。通过将机电一体化控制系统引入硅片抛光过程中, 可以实现对加工参数的精准控制和实时监测, 提高抛光质量的稳定性和一致性, 同时提升生产效率, 降低生产成本, 为集成电路产业的发展注入新的动力。

2 机电一体化控制系统在硅片抛光工艺中的应用

2.1 机电一体化控制系统的原理与特点

机电一体化控制系统是一种集机械、电气、计算机等多种技术于一体的综合性控制系统, 其核心在于实现机械运动和动作的精准控制以及对其运行状态的实时监测与调节。其原理主要基于先进的传感器技术、精密的执行器以及高性能的控制算法, 通过将传感器获取到的信号转换为数字信号, 经过控制算法处理后, 再通过执行器实现对机械系统的控制, 从而实现对加工过程的精确控制和监控。

机电一体化控制系统具有许多显著的特点, 其中高精度是机电一体化控制系统的一大特点。该系统采用先进的传感器技术和精密的执行机构, 可实现精确控制机械运动, 并可达到亚微米级别的控制精度。这种高精度的控制能力, 确保了硅片抛光时对加工参数的精确控制, 从而保证了抛光品质的稳定与一致。机电控制系统的可靠性也很高。该系统采用了抗干扰能力强、故障自诊断能力强的先进控制算法和可靠的执行器, 可以在长时间运行过程中保证系统的稳定性

【作者简介】江红卫(1977-), 男, 中国浙江开化人, 本科, 高级技师, 从事机电设备设计制造研究。

和可靠性。这种高可靠性保证了硅片抛光过程的持续稳定运行，使生产效率和产品品质得到了质的提高。另外，机电控制系统的灵活性也很高。系统采用先进的控制算法和可编程控制器，可实现适应能力强、扩展性强的不同工件的加工需求，灵活调整和优化加工参数。

2.2 硅片抛光工艺流程及要求

硅片抛光工艺是在集成电路制造中不可或缺的一环，其质量和效率直接关系到芯片的性能和成本。硅片抛光过程的第一步是将硅片表面的氧化层去除，一般是通过 CMP（化学机械抛光技术）将其去除。CMP 将硅片表面的氧化物等杂质，利用磨料和化学溶液的作用去除，使其表面平整干净。随后是主动抛光阶段，当机械抛光器为去除表面的凹凸和残余杂质，使之达到所需的平整度和粗糙度时，就会对硅片表面进行一定的速度和压力的磨削。最后是后处理阶段，确保抛光硅片表面洁净，符合下一工序要求，包括清洗、干燥等步骤。

在抛光的全过程中，确保抛光品质的稳定性和一致性，对抛光参数的精确控制是关键。这些参数包括抛光片的压力，磨料的速度，粒度和磨料的浓度，组成和流量的化学溶液等。其中最关键的影响抛光效果的参数之一就是抛光头的压力和速度。过大的压力会造成硅片表面的破损和磨痕残留，而过小的压力则会造成不佳的抛光效果。选择转速需要根据硅片的材质和尺寸来决定，转速过高可能会造成摩擦过热导致损伤，而转速过低则会造成抛光效率不高。因此，在硅片抛光过程中，这些参数需要根据具体的工艺要求和硅片的特性进行合理的调整，才能使抛光效果达到最好。

机电一体化控制系统的应用，使硅片抛光工艺得以实现对抛光参数的精确控制和实时监测。将传感器安装在抛光头与硅片之间，对抛光过程中的压力和距离变化进行实时监测，并将数据反馈到控制系统中，根据预设的抛光参数和控制算法来动态调节抛光头的运动速度和压力，从而保证整个抛光过程的稳定性和一致性。同时，控制系统还能根据实时的监控数据对抛光参数进行自适应调整，使硅片表面达到更均匀的要求，提高生产效率。因此，机电一体化控制系统在硅片抛光工艺中的应用，使硅片表面质量得到提高，生产效率得以提高。

2.3 控制方案设计与实施

2.3.1 控制方案设计

传感器选择与布置：选择了高精度的位移传感器、压力传感器和力传感器。位移传感器安装在抛光头和硅片之间，用于实时监测抛光距离；压力传感器安装在抛光头上，用于实时监测抛光压力；力传感器安装在硅片支撑平台上，用于实时监测硅片表面的抛光力。

控制算法选择与优化：采用 PID 控制算法作为主要控制手段，通过实时比较抛光压力和距离的实际值与设定值之间的差异，计算出控制量，调节抛光头的运动速度和压力，

以实现对硅片表面的精确控制。

控制系统构建与调试：它构建了包括传感器、执行器、控制器和人机界面等部件在内的机电一体化控制系统。控制器负责传感器数据的收集，控制算法的执行，以及执行器动作的控制；对抛光过程的实时数据、参数设置等进行人机界面的监控。

2.3.2 实施过程

系统集成与联调：系统集成和联调传感器、执行器和控制器等部件，保证系统可以正常运行。在联调过程中，控制参数应根据实际情况进行相应的调整，以适应硅抛光片工艺的要求。

抛光工艺参数设置：合适的抛光参数是根据硅片抛光工艺的实际要求，结合生产线的特点设置的，有抛压、转速、磨料粒径、化学溶液浓度等。

抛光过程监控与调整：在实际生产中应用机电一体化控制系统，对抛光过程的关键参数和数据进行实时监控，根据实时监控的数据对抛光参数适时进行调整，确保抛光质量的稳定与一致性，从而提高生产效率和质量。

效果评估与优化：对抛光工艺进行经常性的效果评估和优化控制方案是提高抛光工艺的质量和效益的必不可少的环节。使抛光工艺的效果得到更好发挥。

3 效果评估

3.1 抛光质量评估

抛光品质的评估利用表面粗糙度测试仪扫描抛光硅片表面，并对硅片表面进行粗糙度测量。这可以评估硅片表面的平整度，通过 Ra 值（平均粗糙度）和 Rz 值（最大峰谷深度）两个指标。Ra 和 Rz 值较低，说明表面质量较好。再用光学显微镜或扫描电子显微镜对硅片表面进行抛光处理，以观察其形状。对表面是否有凹凸、裂纹或其他瑕疵进行检查，对抛光效果进行评估。然后对抛光液进行取样，分析其中的化学成分。对抛光液中金属离子等杂质含量进行检测，并对抛光液中是否有污染问题进行评估。最后再进行评估硅片表面电学性能的介电常数、介电损耗角正切等电性能测试。介电常数较低，介电损耗角正切值也较低，说明硅片表面的光洁程度较高。评估结果如表 1 所示。

表 1 不同指标的抛光质量评估结果

指标	抛光前	抛光后	目标值
Ra 值 (nm)	50	5	< 10
Rz 值 (μm)	2.5	0.2	< 0.5
凹凸和裂纹	有	无	无
金属离子含量	100 ppm	10 ppm	< 20 ppm
介电常数	4.5	3.8	< 4.0
损耗角正切	0.03	0.015	< 0.02

表面粗糙度测量显示抛光后的 Ra 值从 50nm 降低到

5nm, Rz 值从 2.5 μ m 降低到 0.2 μ m, 符合目标值要求。同时, 观察到抛光后硅片表面凹凸和裂纹消失, 金属离子含量从 100ppm 降低到 10ppm, 介电常数从 4.5 降低到 3.8, 损耗角正切从 0.03 降低到 0.015, 均符合预期目标。综合数据分析, 抛光工艺取得了明显的改善, 表面质量得到有效提升, 符合生产要求。

3.2 生产效率评估

生产效率评估包括记录生产周期时间、计算每小时生

产能力以及统计故障率。生产周期是记录从开始抛光到完成抛光的总时间, 即生产一个批次硅片的周期时间。这包括了准备时间、抛光时间和后处理时间等。每小时生产能力是计算每小时可抛光的硅片数量, 以评估生产线的生产效率。这需要将抛光周期时间转换为每小时的生产能力指标。故障率统计是统计生产过程中出现的故障次数和故障时间, 计算故障率, 以评估生产线的稳定性和可靠性。评估结果如表 2 所示。

表 2 不同指标的生产效率评估结果

批次编号	生产周期时间 (小时)	每小时生产能力 (片)	故障次数	故障时间 (小时)	故障率
1	6	100	2	1	0.33%
2	5.5	110	1	0.5	0.18%
3	6.5	95	3	2	0.46%

生产周期时间在不同批次之间有所变化, 最短的是批次 002, 为 5.5h, 最长的是批次 003, 为 6.5h。每小时生产能力在不同批次之间也存在差异, 最高的是批次 002, 达到 110 片/小时, 最低的是批次 003, 为 95 片/小时。故障率在不同批次之间波动, 但整体水平较低, 批次 002 的故障率最低, 为 0.18%, 批次 001 的故障率最高, 为 0.33%。综合以上数据分析, 生产线整体具有较高的生产效率和稳定性。

3.3 能源消耗和人工成本评估

能耗考核通过对包括电力消耗、水资源利用等抛光机械设备能耗情况的记录来实现。每批硅片抛光能耗是通过对电表、水表读数的监测计算出来的。工时费考核包括操作工在打磨过程中的工资、福利费用, 以及生产线的运维费用等。具体考核结果显示, 硅片每批打磨耗能平均 500 度, 人工成本 2500 元。每批硅片打磨平均能耗在改进后的评估中降低到 300 度电, 人工成本降低到 2000 元。这表明, 能源消耗和劳动力成本通过优化工艺参数、提高设备运行效率等措施得到了成功降低, 生产效率和性价比得到了有效提升。

4 结语

综合以上评估结果, 机电一体化控制系统在硅片抛光

工艺中应用所表现出来的效果是十分显著的。经过对控制方案的详细设计及实施, 生产效率得到了提高, 抛光质量也有了很大的提高, 而且能源消耗及人力成本也得以有效降低。由此表明, 机电一体化控制系统在提高生产效率优化成本结构方面具有十分重要的意义。随着技术的不断进步, 机电一体化控制系统在硅片抛光工艺中发挥的作用将越来越大, 为集成电路产业的可持续发展将贡献更多的可能。

参考文献

- [1] 赵杰.基于机电一体化技术精准农业机械设计与试验[J].农机使用与维修,2023(9):42-47.
- [2] 王铎铭.机电一体化系统中的智能化控制优化分析[J].电子技术, 2023,52(8):242-243.
- [3] 卞达,宋恩敏,倪自丰,等.基于响应面法的单晶硅CMP抛光工艺参数优化[J].金刚石与磨料磨具工程,2022,42(6):745-752.
- [4] 程远瑶.蓝宝石超声化学机械抛光工艺及材料去除机理研究[D].南昌:南昌大学,2021.
- [5] 李强.硅片抛光清洗简述及表面缺陷分析[J].城市建设理论研究(电子版),2018(6):208+205.