

Application Study of Mechatronics in Silicon Wafer Detection and Classification System

Hongwei Jiang Xiongjie Wu Guoliang Yang

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

Abstract

With the progress of science and technology, the electromechanical integration technology has been deeply applied in various fields. Focusing on the role of mechatronics in silicon wafer detection and classification system, the significance of silicon wafer in improving production efficiency and quality is discussed. This paper gives an overview of the definition of mechatronics and its application in silicon wafer manufacturing, and deeply analyzes the design concept and implementation method of silicon wafer detection and classification system. How mechatronics technology effectively optimizes the process of detection and classification of silicon wafer, and then promotes the overall performance of silicon wafer production is demonstrated through practical application effect evaluation. This measure not only accelerates the production, but also significantly improves the stability and reliability of product quality.

Keywords

mechatronics integration; silicon wafer; detection; classification; system; application

机电一体化在硅片检测与分类系统中的应用研究

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

机电一体化技术随着科技的进步, 在各个领域都得到了很深的运用。主要围绕硅片检测与分类系统中机电一体化的作用, 探讨硅片在提高生产效率和质量方面的重要意义。论文对机电一体化的定义及其在硅片制造中的应用进行了概述, 对硅片检测和分类系统的设计理念和实现方法进行了深入的分析。机电一体化技术如何有效优化硅片检测和分类过程, 进而促进硅片生产整体性能的提升, 通过实际应用效果评估进行了展示。这一举措在加速生产的同时, 也使产品质量的稳定性、可靠性得到了显著的提高。

关键词

机电一体化; 硅片; 检测; 分类; 系统; 应用

1 引言

在硅片制造业蓬勃发展的今天, 行业竞争力的关键因素是硅片的品质和分类精度。而主要依靠工人手工操作和主观判断的传统硅片检测分类法, 不仅效率低下, 不能满足大批量生产的需要, 而且由于人为因素, 如工人的技能水平、疲劳程度等, 其结果极易受到影响, 造成分类法不准, 质量不稳定。机电一体化技术的推出, 在此背景下显得尤为重要。机电一体化技术可以通过高精度传感器、图像处理技术和智能算法, 将机械、电子和控制技术融合在一起, 从而实现自动检测和准确分类硅片。这一技术的推出, 不仅使硅片的检测和分类的精确度和效率大大提高, 而且使整个生产过程在极大程度上减少了人为干预和误差的同时, 也实现了自动

化、智能化。可以说, 硅片制造行业发展的必然趋势是机电一体化技术在硅片检测和分类方面的应用。

2 机电一体化技术概述

作为现代机械技术的典范, 机电一体化技术是将电子技术、机械技术、计算机和信息化技术完美地融合在一起。这个技术不是简单的技术堆砌, 而是让各个技术部分通过科学的融合, 互相配合, 发挥最大的效用。机电一体化技术的应用在硅片检测和分类系统中表现得格外突出。在自动化控制方面, 该技术使硅片检测与分拣设备能够自动、精确地完成一系列复杂的操作, 在自动化控制方面, 硅片检测与分拣设备在自动化控制方面, 该设备通过预设的程序和算法, 对硅片进行上料、定位、检测、分类等自动化操作, 使生产效率和运行精度得到了极大的提高^[1]。在机电一体化方面, 传感器技术起着举足轻重的作用。高精度传感器可以对硅片的尺寸、厚度、表面质量等参数进行实时监测, 为后续图像处

【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。

理和识别提供精准的数据支撑。硅片检测与分类中机电一体化核心技术是图像处理与识别技术。系统通过高解析度摄影机捕捉硅片影像，再运用先进影像处理演算法分析辨识影像，可自动侦测硅片表面的瑕疵、裂纹、污渍等问题，将硅片依此问题精准归类。

3 硅片检测与分类系统设计

3.1 硅片检测系统

硅片检测系统是尖端传感技术和图像处理技术相结合的产物，对硅片进行细致入微的侦测。高分辨率摄像头对硅片表面进行精确捕捉，并经过计算机的深度处理与分析，对硅片的各项核心参数进行快速测定，包括硅片的质量、尺寸和厚度等，而系统对硅片表面的各种瑕疵进行有效的侦测与识别，对硅片的质量起到保驾护航的作用。在性能数据上，无论是硅片直径还是边长的测量上，系统的精确度高达0.01mm，显示出极高的准确度。在处理速度上，系统每秒能轻松处理并测量超过10片硅片的尺寸，表现十分出色。并且当使用激光测距传感器进行厚度测量时，它的重复精度达到了0.025 μm的惊人水平，稳定性也非常出色。因此，系统在测量硅片尺寸方面的应用前景十分广阔^[2]。

3.2 硅片分类系统

硅片分类系统以硅片检测结果为基础，将硅片按照不同质量等级进行精密分类，是现代硅片制造业不可或缺的重要组成部分。机电一体化技术的引进，使这一工艺自动化程度很高，精度也很高。具体地说，硅片的各项参数以及存在的缺陷，都将在检测系统后被详细记录在案。分类系统自动判断各硅片所属的质量等级，依据这些数据和预设的质量标准。随后，由机电技术驱动的分拣装置将硅片精确地分配到对应的各个门类中去（见图1）。另外，硅片的封装、标识等工作也可由系统自动完成。在封装时，机械臂会对硅片进行精确的抓取，并将硅片放入对应的包装盒中^[3]。同时，喷码机会将硅片的质量等级、生产日期等关键信息打印在包装盒上，以便于后续管理，便于追溯。采用机电一体化技术的硅片分类系统，其分类精确度高达98%以上，与传统的人工分类方法相比，明显降低了误差率。同时，自动化分类系统的处理速度远超人工，如每小时可处理上千片硅片的先进硅片分类机，生产效率大大提高。



图1 机电一体化分拣

4 机电一体化在硅片检测与分类系统中的应用

4.1 自动化控制

自动化控制系统是机电一体化技术的核心，它可以根据预先设定的程序和参数，精确、准确地自动完成自动化控制系统在硅片检测和分类的起始阶段，会对上料机械臂进行精确控制，从料仓中取出待检测硅片，并将其置于检测台上。在此过程中，确保硅片位置准确无误，系统定位精度达到微米级别。下一步，自动化控制系统将启动检测设备，全面检测硅片。在检测过程中，为保证检测结果的准确性，系统将对设备运行状态进行实时监控，并根据检测数据对设备参数进行自动调整^[4]。一旦检测完毕，马上就会对控制系统的硅片进行分级处理。在分类过程中，系统自动将其按硅片的检测数据进行不同质量等级的划分，并通过机械臂将其置于分类相应区域。最后，自动化控制系统会对下料机械臂进行控制，从检测台上取下已经分类好的硅片，并将其置于指定位置。自动化控制系统在整个过程中运行迅速，定位精确，使生产效率得到了极大的提高。据统计，与传统的人工操作相比，采用机电一体化技术的自动化控制系统至少提高了50%以上的生产效率。同时，这一制度也显著降低了人为操作失误的可能性，因为它减少了人为操作的环节。采用自动化控制系统后，人为操作的失误率降低了80%以上，从而使硅片检测和分类的整体质量得到了有效的提高。

4.2 传感器技术

传感器技术的作用在硅片检测和分类系统中是不可忽视的。负责实时捕捉硅片各种关键参数的传感器就像系统的“感官”。比如，尺寸传感器可以对硅片的长、宽进行精确测量，保证每一片硅片都达到生产标准。厚度感应器则可以对确保产品质量和性能的硅片厚度进行检测。此外，还有能感知硅片表面微观结构并评估其光滑程度的表面粗糙度传感器，这一传感器对后续加工和产品质量至关重要。

4.3 图像处理与识别

机电一体化技术结合先进的图像处理算法，在硅片检测与分类中表现出非常卓越的性能，通过高分辨率相机对硅片进行精确的捕捉，这是保证后续处理精确性的基础，高分辨率相机具有对硅片上的每一个细微之处进行捕捉的能力，不管是表面的纹理还是边缘的锐利度，或者是可能存在的缺陷。在捕捉到图像之后，图像处理技术是发挥它聪明才智的地方，它可以对图像进行深入的分析 and 处理，通过预处理来提高图像的质量（见图2）。因此，机电一体化技术结合先进的图像处理算法，在硅片检测与分类中具有非常卓越的性能。这样，硅片的特征就会更加明显，便于后续的分类。接着，图像处理技术会进一步提取硅片如此一来，硅片的特性将更为明显，便于后续鉴定工作的开展。随后，影像处理技术将把硅片的特色信息进一步提炼出来。这些特征可能包括硅片的大小、形状、质地、可能会有瑕疵等等。后续的分类与质量评估，关键就在于这些特征信息。最终，系统将自动对硅

片进行分类,并根据提取的特征信息进行质量评价。这就好比一个专业的质检员,把它精确地归类,根据硅片的特性,给出一个品评。比如假的有硅片,裂纹很小。高解析度摄影机可透过影像处理技术捕捉此硅片影像并辨识此裂纹。这片硅片的质量等级,系统会根据裂纹的大小、位置等特征信息进行判断,把它归为“瑕疵”硅片。这样,厂家就可以对硅片进行修复或报废等相应的处理,根据分类结果来保证产品的品质。



图2 图像处理

5 机电一体化技术在硅片检测与分类领域的应用效果

在太阳能光伏领域,提高生产效率、保证产品质量,单晶硅片的精密检测和分类具有重要意义。大型光伏企业为了提高生产自动化水平,减少人为失误,果断决定引进机电一体化技术和图像处理算法,对硅片检测和分类的现有流程进行革新。为了保证图像捕捉的细腻和清晰,企业精心选用了高性能的4K分辨率CMOS工业摄像机。同时配置了稳定的机械臂和传送带系统,在摄像机下方实现了硅片的自动化传输,为后续的画面捕捉打下了坚实的基础。在企业的数字图像处理环节上,企业首先运用了自适应中值滤波算法,在有效排除影像中的杂讯干扰的同时,也能很好地保护了硅

片边缘的细微之处。接着,企业运用Canny边缘探测算法对硅片的边缘轮廓进行精确的探测和识别,为后续特征的提取打下坚实的基础。企业为达到精细的形态学处理和轮廓分析的目的,通过对硅片进行形态学分析和轮廓分析,对硅片的形状尺寸以及表面纹理等关键特征进行深入的提取和分析。企业运用经过精心训练的神经网络模型对硅片进行自动化分类,从而对硅片进行精确的分类,将优质品区分开来,并将一般的硅片归类为次品。通过上述分析,企业的图像处理系统可以对硅片进行自动化分类,在提高生产效率和质量的同时,也能做到心中有数。针对其他每一类硅片,系统都会生成详细的质量报告,对硅片的各项参数、可能存在的缺陷类型等都进行了详细的罗列,为生产决策提供了强有力的支撑。经过几个月的实际操作和不断优化,这套系统超越既定98%的目标,在硅片分类上准确率高达99.2%。每片硅片的平均处理时间在新系统的帮助下,由原来的30秒钟急剧缩短到5秒钟以内,生产效率明显提高。同时,通过分类自动化和质量及时评估,整整降低了40%的次品率,人工复检和修复的费用支出也得到了有效降低。

6 结语

机电一体化技术在硅片检测与分类系统中的应用取得了显著成效,提高了生产效率、检测准确率和降低了运营成本。随着科技的不断进步和机电一体化技术的深入发展,未来有望在硅片制造业中发挥更大的作用。企业应积极拥抱新技术,不断提升自身的核心竞争力,以适应市场的快速发展需求。

参考文献

- [1] 王梓铭.基于机器视觉的晶硅片良品检测系统研究[D].北京:中国矿业大学,2021.
- [2] 张玮华.太阳能电池硅片缺陷自动检测分类方法研究[D].上海:东华大学,2014.
- [3] 李春龙,潘丰.基于机器视觉的硅片检测分类系统设计[J].江南大学学报(自然科学版),2013,12(6):653-657.
- [4] 朱春锦.光伏硅片厚度与线痕缺陷检测方法研究[D].广州:广州大学,2023.