

文章编号: 0258-2724(2010)03-0430-05 DOI: 10.3969/j.issn.0258-2724.2010.03.019

基于小区域跟踪的多晶硅视频检测系统

周秀云, 黄建国, 冯中正

(电子科技大学自动化工程学院, 四川 成都 610054)

摘要: 为实时测量多晶硅棒直径, 研制了多晶硅棒径在线视频检测系统. 该系统采用双相机成像的机器视觉方法实现目标硅棒的监测, 采用左中右差分的图像分割技术提取目标, 采用基于小区域的质心跟踪算法跟踪目标. 系统标定后, 可实时测量还原炉内多晶硅棒的直径. 实验结果表明: 该系统能检测微弱边缘, 在直径为 8 ~ 150 mm 的范围内, 测量精度高于工业视觉图像测量的要求.

关键词: 机器视觉; 微弱信号; 图像分割; 小区域跟踪; 系统标定

中图分类号: TP391 **文献标识码:** A

Polycrystalline Silicon Video Inspection System Based on Small Area Tracking

ZHOU Xiuyun, HUANG Jianguo, FENG Zhongzheng

(School of Automation, University of Electronic Science and Technology of China, Chengdu 610054, China)

Abstract: A polycrystalline silicon video inspecting system was designed for the real-time measuring the diameter of polycrystalline silicon stick. In this system, the machine vision method founded on the imaging information from two fixed cameras are adopted to track the edge of goal silicon stick and measure its diameter. The image partitioning method based on left-middle-right difference is used to pick up targets, and the mass centroid tracking algorithm based on small area tracking is utilized to track the targets. The system can measure real-time the diameter of polycrystalline silicon after it is calibrated. The experimental result shows that the system can find and track feeble edges, and its precision can meet the industry demand in the range of 8 to 150-mm-diameter.

Key words: machine vision; feeble signal; image segmentation; small area tracking; system calibration

高纯多晶硅是电子工业和太阳光能产业的基础原料, 目前大都采用三氯氢硅在高温下(1 000 ~ 1 200 ℃)用氢气还原的方法在还原炉内实现. 生产过程中还原炉内的温度、压力、进料气体的浓度等是多晶硅棒生长中的重要工艺参数. 温度增高, 硅在硅芯上的淀积速率增加, 硅棒生长加快, 但耗能过多, 同时, 温度越高, 气相条件越苛刻, 否则硅棒的均匀性较差; 温度降低, 硅的淀积速率变慢, 当温度低于一定值时, 又使硅棒断裂, 不能继续生产. 因此, 要实时测量多晶硅生长直径, 根据直径数据

逐步建立多晶硅生长随温度、进料气体、反应条件等参数变化的最优控制模型, 为改进生产工艺, 降低能耗, 实现多晶硅工业发展提供保障.

查阅现有文献和专利资料^[1-3]可知, 多晶硅棒直径的检测基本上停留在理论研究阶段, 现有测试工作必须等停产后打开多晶硅还原炉进行, 生产过程中是根据工人的经验, 目测炉内硅棒的直径. 即使像西门子这样在多晶硅还原炉控制和测量技术前沿的公司, 据同行业人员介绍, 目前也没有直接检测多晶硅直径的仪器和设备, 国内更是空白. 为

收稿日期: 2009-10-15

基金项目: 四川省应用基础研究项目(2008JY0024-1)

作者简介: 周秀云(1974-), 女, 博士, 讲师, 研究方向为光电传感、光电测试, E-mail: zhouxy@uestc.edu.cn

此,在不同条件下在线监测多晶硅生长直径成为必要.本文研制的多晶硅生长视频检测系统,是以机器视觉^[4]方法实现对多晶硅生长的在线监测,能实现8~150 mm范围内直径的测量,精度高于 $\pm(0.8+2\%L)$ mm(L 为硅棒直径).

1 系统测量原理和结构组成

1.1 测量原理

多晶硅还原具有炉内温高、棒多、观察口小(68 mm)、棒径生长尺寸变化大以及安装尺寸受限等特点,宜采用双相机定点监测,如图1所示(俯视图).当硅棒直径较小时,相机A、B都能测全硅棒,取相机A、B测量的平均值为硅棒直径;当硅棒直径长大到某一直径后,相机A、B都测不全硅棒,但相机A能测到硅棒的右边缘(从图1的右往左看),相机B能测到硅棒的左边缘时,采集卡同时从相机A、B各采集一个周期的图片,经过图像处理、系统标定后实时测出硅棒的直径.

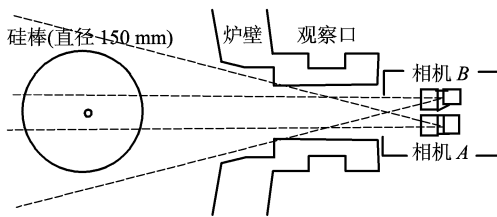


图1 双相机定点测量示意图
Fig. 1 Schematic diagram fixed
double-camera measurement

1.2 系统组成

图2是多晶硅生长视频监测系统的基本组成框图.



图2 系统基本组成框图
Fig. 2 Frame diagram of system composing

实际系统选择日本 Toshiba TeliCS8630Ci 相机,像素尺寸:6.5英寸×6.25英寸,1/3英寸靶面,机身小巧轻便(体积为29 mm×29 mm×30 mm,重约50 g),镜头是 COMPUTAR 公司的 M1214-MP,有效像素为752像素(H)×582像素(V).两相机安装在同一根水平滑轨上,中心距为67 mm,两相机可在180°内旋转,旋转角度以相机A能测到最大直径硅棒的右边缘,相机B能测到最大直径硅棒的左边缘为准,实测一炉的两

相机与方向水平的夹角分别为7°和173°.相机位置调整好,固定其相对位置,标定后可实时测量高温还原炉的直径.

由于系统是工作在35~50℃左右的车间环境中,环境温度较高,灰尘较大,因此实际系统还包含有隔热、防尘和冷却装置.

2 图像处理

为了实时获得硅棒的生长直径,需要对目标硅棒边缘进行图像分割、边缘提取和边缘跟踪.首先确定目标边缘在相机中的位置,然后以目标边缘的位置为中心定义一个小区域(50像素×50像素),在下一个采样周期中,对小区域内的图像进行“左中右差分最大值法”分割,凸显目标边缘的新位置,并不断根据新目标边缘位置调整小区域的中心位置,以达到跟踪目标边缘的目的.

2.1 左中右差分最大值法

图像分割是利用图像的灰度、频谱、纹理等特征把图像边缘点与非边缘点区别开来,图像边缘点具有邻域内灰度分布有序性、灰度突变具有结构性及具有方向性这3个本质特征^[5-12].本项目中硅棒是垂直于水平面生长的,被测目标边缘的方向角 $\theta=90^\circ$,仅考虑水平方向的灰度变化.图3为监测过程中随机获取的一幅原图.

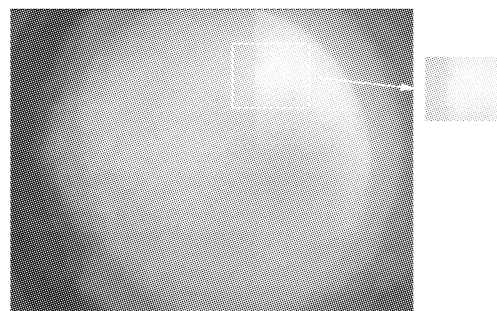


图3 微弱边缘图片
Fig. 3 Picture of faintness edge

图中框内有目标硅棒的两条边缘,左边缘清晰,右边缘模糊,肉眼几乎不可见.因此在利用邻域一致性特征的基础上,采用图像的统计信息进行左中右差分.统计信息是指在一个区域内,综合考虑单个像素或其周围像素点灰度值在垂直方向上的求和累加,然后对左、中、右相邻3个像素两两相减,即两两作差分,最后取3个值中绝对值最大的一个作为“左中右差分最大值法”的结果.

图4为差分坐标图.左中右差分最大值法用公式可描述为:

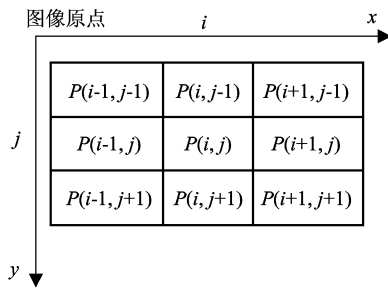


图4 差分坐标图
Fig. 4 Difference coordinate

$$D(i) = \max \{ |p(i+1) - p(i)|, |p(i) - p(i-1)|, |p(i-1) - p(i+1)| \},$$

$$i = 1, 2, \dots, w-1, \quad (1)$$

式(1)中: $D(i)$ 为左中右差分的最大值; i 为小区域的像素点横坐标; $P(i)$ 为 i 所在列灰度值之和; w 为小区域宽度(以像素为单位).

由于炉内电流变化和进料等的影响,直接从 $D(i)$ 中提取目标边缘不容易,需要先对式(1)进行平滑滤波,采用先积分后微分的算法,即微分分母相差一个步长,为 $2r+1$,分母则是这个步长范围内数据的累积,用公式表示为:

$$S(i) = \frac{1}{2r+1} \sum_{j=0}^r D(i-r+j),$$

$$i = 1, 2, \dots, w-1, \quad (2)$$

式(2)中: r 为步长,通常取 2. 则目标边缘的提取可表示为:

$$T = \frac{1}{\alpha} \max_{i=1}^{w-1} \{ S(i) \}, \quad (3)$$

式(3)中: T 为确定目标边缘的阈值; α 为确定目标边缘的系数,本项目中通常取 4.

根据式(3)确定目标边缘, T 所对应的 $S(i)$ 中的 i 为目标硅棒的边缘位置,根据小区域的中心位置求出峰值位置,即跟踪并测出微弱信号目标边缘的位置.

2.2 小区域跟踪

为提高实时处理的效率,在小区域内跟踪目标边缘,如图5所示为小区域跟踪流程图,其跟踪策略为:

(1) 设定初始跟踪小区域中心位置的横坐标为 C_x .

(2) 当采图周期到达时,帧与帧之间间隔若干秒,连续处理 N 帧图像,每帧的目标边缘都根据上一个周期中小区域中心的位置 C_x 进行计算.

(3) 计算这 N 帧中的边缘位置后,对结果被

判断为合理的边缘位置求其平均值,再根据边缘值修改小区域的中心 C_x .

(4) 如果步骤(3)中没有一帧的边缘位置被判断为合理时,则增加跟踪区域块,分别在每帧图像横坐标相同的上、中、下位置取大小相同的小区域进行跟踪计算,并取判断为合理位置的边缘结果平均值为新的边缘位置,并用它去修改 C_x .

(5) 如果步骤(4)中仍然没有一帧被判断为合理的跟踪位置,则这个周期跟踪失败.小区域的中心位置仍然为上一个周期的 C_x .

(6) 如果连续 M 个周期都跟踪失败,则程序报警,提示需重新设定有目标边缘的跟踪区域的中心位置 C_x .

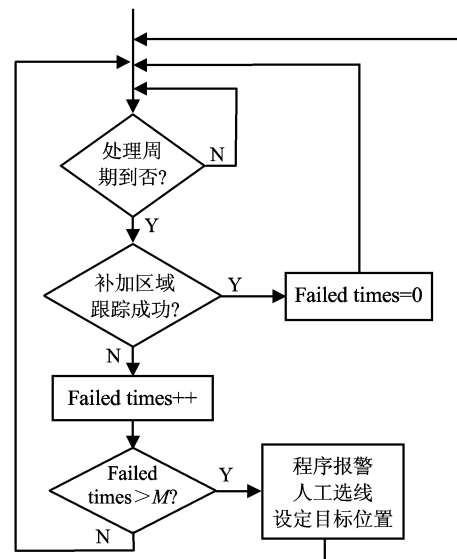


图5 小区域跟踪流程图
Fig. 5 Flow chart of small area track

3 系统标定

将在图像处理中得到的像素值转化成实用单位制尺度值,需要标定系统^[13-15]. 标定就是求出像素当量,即物体实用单位制尺度值与测量像素值之间的换算系数. 本文采用计算和相对标定法(使用标准件作为标定参照物)相结合的标定方法.

根据建立的相机坐标系和小孔成像模型,最后计算求得半径 r 和像素 p 之间的关系式为:

$$r = \frac{\frac{pa}{f} - b}{1 + \left(\frac{p}{f}\right)^{1/2}}, \quad (4)$$

式(4)中: (a, b) 为目标硅棒圆心在 CCD 上的坐标; f 为摄像机的焦距. 对于给定的一个还原炉和相机的相对位置,参数 a, b, f 是固定不变的,可以

通过相对标定求得,即根据已知的三组 (r,p) 关系求出。

4 实验

4.1 模拟测试

1:1地模拟一个还原炉,用尼龙和不锈钢加工的模拟多晶硅棒6根(8.2 mm、10.1 mm、23.6 mm、39.2 mm、50.0 mm和150.0 mm,用游标

卡尺测量),进行多组实验,分别用不同的两根硅棒作为标定参照物,其他的为测试棒,如表1所示的是其中一组,用8.2 mm和150.0 mm的硅棒作为标定参照物进行标定后得到的测试数据.实际测试数据表明,在8~150 mm直径范围内,不论选择哪两根硅棒作标定参照物,测试数据都远远满足多晶硅棒径要求的精度。

表1 测试数据
Tab.1 Testing data

硅棒直径 (游标卡尺测量值)	允许 误差	测试结果					最大测量 误差
		1	2	3	4	5	
10.100	± 1.002	9.800	9.800	10.100	10.000	9.900	-0.300
23.600	± 1.272	24.000	23.800	23.500	23.400	23.800	+0.400
39.200	± 1.584	39.500	39.600	39.500	39.300	39.400	+0.400
50.000	± 1.800	50.300	50.100	50.200	50.300	50.300	+0.300

4.2 现场测试

如图6所示为2009年6月16日19:19到2009年6月24日21:25在现场一个多晶硅还原炉上得到的测试曲线.多晶硅棒出炉后,工人现场实测多晶硅棒直径是119 mm,本系统测量结果为:117 mm,远高于要求的测量精度 $\pm(0.8+2\%L)$ mm。

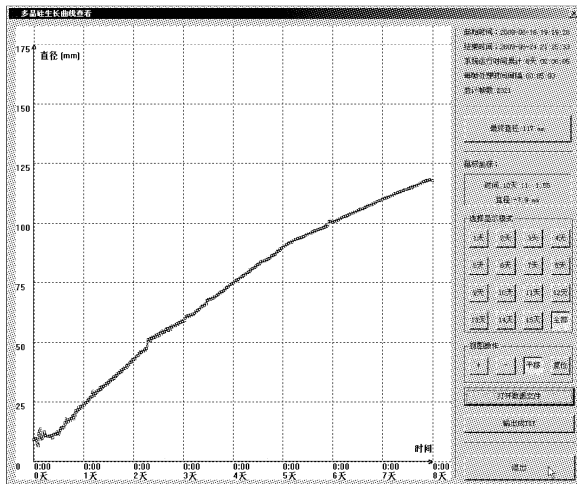


图6 现场测试曲线
Fig.6 Curve of locale testing

5 结论

本系统综合运用了计算机视觉、数字图像处理等技术,研究了基于视觉的孔探图像的成像模型和二维平面内的几何尺寸的计算方法,并进行了实验.实现了:

(1) 温高、棒多、孔小还原炉内多晶硅棒生长直径测量,测试精度远远满足测量要求 $\pm(0.8+2\%L)$ mm,建立了直径-时间关系曲线;

(2) 根据每炉反馈的多晶硅质量和生长直径数据,再结合温度测试数据和通料量配比数据,逐步建立多晶硅生长最优温度场控制模型,并用于指导以后的生产;

(3) 工人在计算机屏幕前观测炉内情况,较之人工直接观察测量相比,视频检测减轻劳动强度,提高工作效率,保障安全生产。

参考文献:

[1] 涂瑾,吴胜登,曹建伟,等. 基于 CCD 测量技术的不完整圆直径测量算法研究[J]. 半导体技术,2007, 32(7): 574-576.
TU Jin, WU Shengdeng, CAO Jianwei, et al. Research on measure method of diameter of partial circle based on CCD[J]. Semiconductor Technology, 2007, 32(7): 574-576.

[2] 李学敏,程光伟. 硅晶体生长直径检测的研究[J]. 生命科学仪器,2009,7(4): 24-25.
LI Xuemin, CHENG Guangwei. Research on the diameter detecting system for silicon grower[J]. Life Sciences Instrument, 2009, 7(4): 24-25.

[3] 田达晰,蒋科坚. 直拉法单晶制造中的直径检测技术[J]. 半导体技术,2003,28(3): 25-27,31.
TIAN Daxi, JIANG Kejian. Technology of measuring diameter in the czochalski pulling[J]. Semiconductor Technology, 2003, 28(3): 25-27,31.

- [4] 封帆,施保华. 基于智能机器视觉的针剂生产线安瓶检测识别系统[J]. 自动化博览,2007,24(1): 40-41.
FENG Fan, SHI Baohua. The system of identify for medicine production lines on machine vision[J]. Automation Panorama, 2007, 24(1): 40-41.
- [5] 陈明建,刘春生,王秀. 基于图像分割阈值的模糊边缘检测算法[J]. 义乌工商职业技术学院学报,2008,6(4):61-64.
CHEN Mingjian, LIU Chunsheng, WANG Xiu. Fuzzy edge detection based on threshold image segmentation [J]. Journal of Yiwu Industrial & Commercial College, 2008, 6(4): 61-64.
- [6] 石振刚,高立群,葛雯. 基于粒子群模糊聚类算法的边缘检测仿真[J]. 东北大学学报,2008,29(8): 1083-1085.
SHI Zhengang, GAO Liqun, GE Wen. Simulation on a new algorithm based on PSO fuzzy clustering for image edge detection[J]. Journal of Northeastern University, 2008, 29(8): 1083-1085.
- [7] KIM D W, LEE K H, LEE D H. A novel initialization scheme for the fuzzy C-means algorithm for colro clustering [J]. Pattern Recognition Letters, 2004, 25(2): 227-237.
- [8] YARN M S, HWANG P Y, CHEN D H. Fuzzy clustering algorithms for mixed feature variables [J]. Fuzzy Sets and Systems, 2004, 141(2): 301-317.
- [9] GONZALEZ R C, WOODS R E. Digital image processing, second edition [M]. Beijing, Publishing House of Electronics Industry, 2005: 463-481, 541-543.
- [10] 齐丽娜,张博,王战凯. 最大类间方差法在图像处理中的应用[J]. 无线电工程,2006,36(7): 25-26.
QI Lina, ZHANG Bo, WANG Zhanka. Application of the OTSU method in image processing [J]. Radio Engineering, 2006, 36(7): 25-26.
- [11] 王坤明,朱双东,张超. 自动选取阈值方法比较研究[J]. 抚顺石油学院学报,2002,22(2): 70-72.
WANG Kunming, ZHU Shuangdong, ZHANG Chao. A comparative study of automatic selection threshold method [J]. Journal of Fushun Petroleum Institute, 2002, 22(2): 70-71.
- [12] 何斌. Visual C++ 数字图像处理典型算法及实现 [M]. 第1版. 北京:人民邮电出版社,2006: 398-406.
- [13] 李朋,王军宁. 摄像机标定方法综述[J]. 山西电子技术,2007(4): 948-950.
LI Peng, WANG Junning. Overview of camera calibration M ethods[J]. Shanxi Electronic Technology, 2007(4): 948-950.
- [14] 薛淑磊,王泽民. 双线性 CCD 交汇测量中的自动标定方法 [J]. 西安工业大学学报,2008(10): 242-244.
XUE Shulei, WANG Zemin. Automatic calibration in dual linear-CCD camera intersectiOn M easuring system [J]. Journal of Xi'an Technological University, 2008, 28(5): 242-245.
- [15] 高昕,苏建刚,张光明. 线列 CCD 像机交汇测量精度分析 [J]. 华北工学院测试技术学报,2000, 14(2): 71-75.
GAO Xin, SU Jian gang, ZHANG Guangming. Precision analyzing of a linear CCD array camera in intersectant measurement [J]. Journal of Test and Measurement Technolog, 2000, 14(2): 71-75.

(中文编辑:唐 晴 英文编辑:付国彬)