

# Surface Defects Inspection of Solar Cell Based on Halcon

Yuanmin Huang, Ming Yi, Ning Fang, Xiuzhong Li, Min Li

Department of Mechanical and Electronic Engineering, Foshan Polytechnic, Foshan  
Email: huangyuanming\_27@163.com

Received: Sep. 7<sup>th</sup>, 2013; revised: Oct. 10<sup>th</sup>, 2013; accepted: Oct. 20<sup>th</sup>, 2013

Copyright © 2013 Yuanmin Huang et al. This is an open access article distributed under the Creative Commons Attribution License, which permits unrestricted use, distribution, and reproduction in any medium, provided the original work is properly cited. In accordance of the Creative Commons Attribution License all Copyrights © 2013 are reserved for Hans and the owner of the intellectual property Yuanmin Huang et al. All Copyright © 2013 are guarded by law and by Hans as a guardian.

**Abstract:** The high-performance development direction of solar wafer raises higher requirements for its surface defects inspection while the vision software “Halcon10.1” is able to detect those defects reliably and rapidly. In this paper, we use the technology of the vision software “Halcon10.1” which is produced by the company of MVTec in Germany and realize the rapid defects detection including crack, cavern, smudge and broken so on and so forth which can be concluded that the application of this technology helps enhance the inspection efficiency.

**Keywords:** Solar Wafer; Halcon10.1; Cavern; Smudge; Broken Gate

## 基于 Halcon 的太阳能硅片缺陷检测

黄远民, 易 铭, 方 宁, 李秀忠, 李 敏

佛山职业技术学院机电工程系, 佛山  
Email: huangyuanming\_27@163.com

收稿日期: 2013 年 9 月 7 日; 修回日期: 2013 年 10 月 10 日; 录用日期: 2013 年 10 月 20 日

**摘 要:** 随着太阳硅片朝着高性能方向发展, 对太阳硅片表面质量检测提出了更高的要求。基于机器视觉软件 Halcon10.1 可对太阳硅片缺陷进行可靠的快速检测。本文利用德国 MVTec 公司的视觉软件 Halcon10.1, 实现对太阳硅片隐裂、孔洞、脏污、断栅等缺陷快速地检测出来。实验表明, 利用该技术能够提高对太阳硅片崩边、隐裂、断栅等缺陷检测效率。

**关键词:** 太阳能硅片; Halcon10.1; 孔洞; 脏污; 断栅

### 1. 引言

随着太阳能硅片制造工艺的升级, 太阳能硅片变的越来越薄, 因此太阳能硅片变的更容易破损。为了降低生产过程中的碎片率, 同时避免太阳能电池不良对相关工艺造成的影响, 需要利用视觉系统的尺寸测量, 隐裂检测, 孔洞检测和脏污检测等, 最终达到提高模组发电效率和使用寿命的目的。据估计, 每条生产电池生产线由隐裂、孔洞、和脏污等缺陷带来的损失每年多达 60 万美金左右。因此, 有效的缺陷检测

方法对提高太阳能硅片的工艺质量非常重要。

超声波共振扫描和接触电阻扫描这两种检测法是太阳能硅片缺陷检测的两种检测方法。超声波检测法具有无损、快速的特点, 但灵敏度不高, 适用于硅片和电池片<sup>[1]</sup>; 接触电阻扫描法灵敏度高, 但耗时长、有破坏性, 仅适用于电池片<sup>[2]</sup>。

表面质量检测的最大难点是缺陷特征提取和缺陷分类。传统的机器视觉检测方法一般采用灰度特征<sup>[3]</sup>、几何形状特征<sup>[4]</sup>或者纹理特征<sup>[5]</sup>来描述缺陷, 同时

神经网络<sup>[6]</sup>和支持向量机<sup>[7]</sup>等被广泛应用于表面缺陷检测和识别。这些方法都在某种程度上实现了表面缺陷检测和识别。但是由于太阳能硅片表面反光强烈,使得太阳能硅片带的特征提取和分类面临难题,传统的方法已无法满足生产对质量控制系统的严格要求,因此本文利用德国 MVTec 公司的视觉软件 Halcon 10.1,实现对太阳能硅片隐裂、孔洞、脏污、断栅等缺陷进行快速地检测。

## 2. Halcon 介绍

图像处理软件 Halcon10.1 是德国 MVTec 公司开发的机器视觉软件,该软件具有强大的图像处理功能。在欧洲以及日本的工业界已经是公认具有最佳效能的机器视觉软体。该软件包含一千多个各自独立的函数,其中包含了各类滤波、色彩以及几何、数学转换、型态学计算分析、校正、分类辨识、形状搜寻等等基本的几何以及图像计算功能。该软件包含一套交互式的程序设计接口 HDevelop,可以再其中以代码直接编写、修改、执行程序,并且可以查看计算中的所有变量<sup>[8]</sup>。利用该软件所包含的算法:边缘于线提取、分割、区域处理、边缘检测<sup>[9]</sup>等,这些集成的功能函数可以简化对太阳能电池隐裂、孔洞、脏污、断栅等缺陷进行快速地检测。

## 3. 图像采集系统设计

图像采集系统图示及说明如图 1 所示。整个系统由机械传动部分、编码器、光源、CCD 及图像采集卡组成。其中,机械传动部分由滚轴、传送带及电机组

成,为了实现定位的功能在传送带的滚轴上安装一个编码器,同时在传送带的另一端安装一个光电开关。

该系统图像采集的工作原理为:太阳能电池放在传送带上,传送带靠电机带动以一定大小均匀速度运动,当传送带上的太阳能电池硅片通过光电开关时,光电开关被触发并给图像采集卡发脉冲,此时图像采集卡开始读取 CCD 的数据。当图像采集到了在把图像数据传送给计算机,利用 Halcon10.1 程序来检测太阳能硅片是否合格。

## 4. 图像处理方法及理论分析

### 检测系统图像处理的工作基本原理

由于太阳能硅片缺陷检测是生产线上应用的一个实时检测系统,所以该系统具有较强的实时、快速性;因此需要非常大的图像数据量。为了提高系统处理速度,除了采用比较高性能的硬件以外,还需要在软件运算方式和运算速度方面来考虑问题。本系统才用机器视觉(Halcon)语言能够满足系统的要求,同时在选择相应的算法方面也做了相应的考虑。太阳能硅片缺陷检测主要任务分为:处理、分析提取硅片图像,实现太阳能硅片缺陷的自动识别。该系统可分为十三个步骤,如图 2 所示。从图 2 流程可得到,经过采集到太阳能硅片图像以后,共需经历十二个主要的步骤处理采集到的太阳能硅片图像,即图像预处理、图像增强、中值滤波、分解图像(R G B)、设定 threshold 值、提取特征形状、计算两个区域的差异、变换图像形状、扩张有圆形元素地区、选择带有某些特征的区

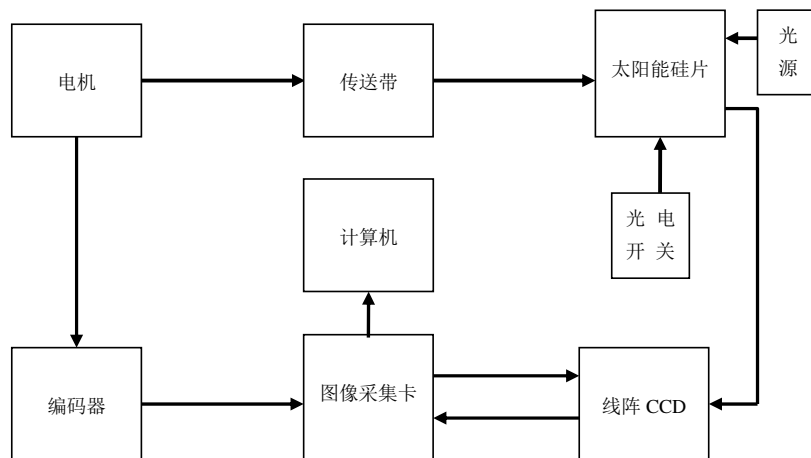


Figure 1. Image acquisition system  
图1. 图像采集系统

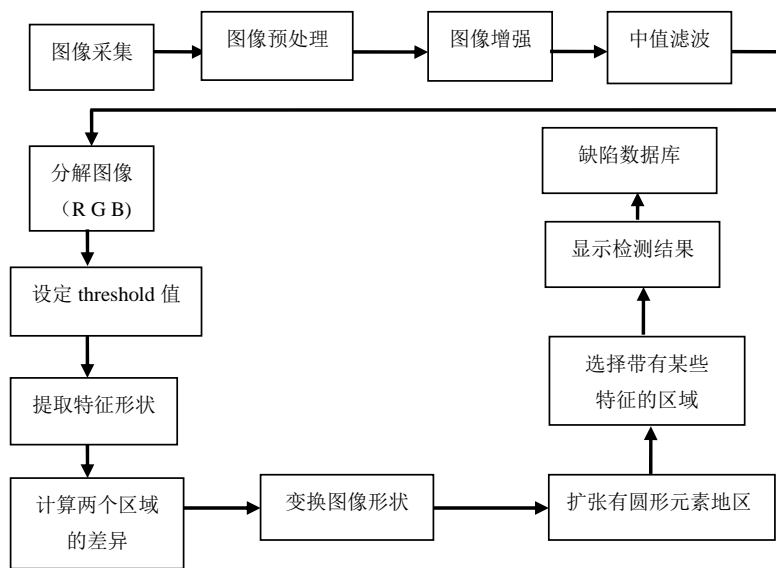


Figure 2. Image processing method  
图 2. 图像处理方法

域、显示检测结果、缺陷数据库。

1) 图像预处理: 在对采集到的图像处理之前, 应该对图像进行预处理。在获取图像的过程中, 由于各种因素的影响包括摄像设备参数限制以及周围环境的变化等, 使获取的图像无法达到我们所期望的理想效果, 图像预处理的目的是为了改善给定的图像或增强其中一些比较重要的图像特征来满足实际需求。

2) 图像增强: 图像增强的首要目标是处理图像, 使其比原始图像更加适合于某些特定的应用场合, 原理是通过一定的方法在原始图像上附加一些信息或对图像进行数据变换, 来突出图像中所感兴趣的区域或抑制图像中一些不必要的特征, 从而使图像与视觉响应特性相匹配。图像增强的通用理论是不存在的, 因为当图像为视觉解释而进行处理时, 都是由观察者最后判断特定方法的效果。常用的方法有: ①灰度变换<sup>[10]</sup>; ②平滑处理。由于图像平滑通常是用于图像的模糊处理或者是减少噪声, 如在提取大的目标之前去除图像中的一些琐碎细节、曲线的缝隙和桥接直线<sup>[11,12]</sup>, 所以本文选用平滑处理来对采集到的图像进行图像增强。

3) 分解图像(R G B): 通过该算法把采集到的彩色图像转换成黑白图像, 便于后面设定特定的 threshold 值。

4) 通过设定特定的 threshold 值来提取图像, 再利用提取特征形状、变换图像形状算法来提取具有一

定特征的图像。

5) 利用计算两个区域的差异算法来对比两者的信息, 最后通过选择带有某些特征的区域算法来提取硅片有没有缺陷, 显示出相应的缺陷。

6) 利用缺陷数据库管理对已经检测出来的各种太阳能缺陷图像信息进行保存并且对各种缺陷进行编号, 这样就便于产品出货跟踪和管理。

## 5. 实验结果与分析

用本文方法对太阳能硅片缺陷进行检测, 检测结果如下图所示(图 3~6)。

表 1 是对某国内大型太阳能硅片厂现场采集到的几种缺陷样本进行缺陷检测的结果。

从实验结果可以看出, 采用本文的方法对太阳能硅片进行检测得到了令人满意的检测结果。

## 6. 结论

基于 Halcon 图像处理的检测技术发展已经日趋成熟。在企业生产和社会生活中的应用也比较广泛。但是这些技术在新兴的太阳能行业中应用相对比较少, 随着太阳能行业的发展和对太阳能硅片产品需求量的争加, 尤其是对硅片表面质量要求的不断提高, 其质量会严重影响太阳能电池的转换效率, 所以, 对太阳能硅片表面质量的控制也是很重要的一项工作。因此研究基于 Halcon 图像处理技术在太阳能硅片生

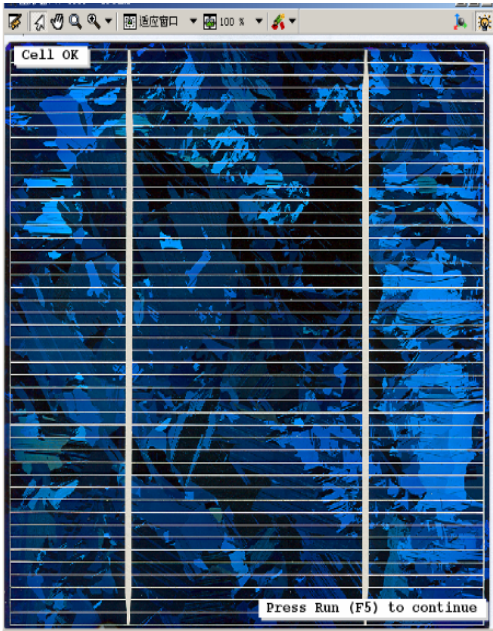


Figure 3. Solar wafer to be detected  
图 3. 待检测太阳能硅片

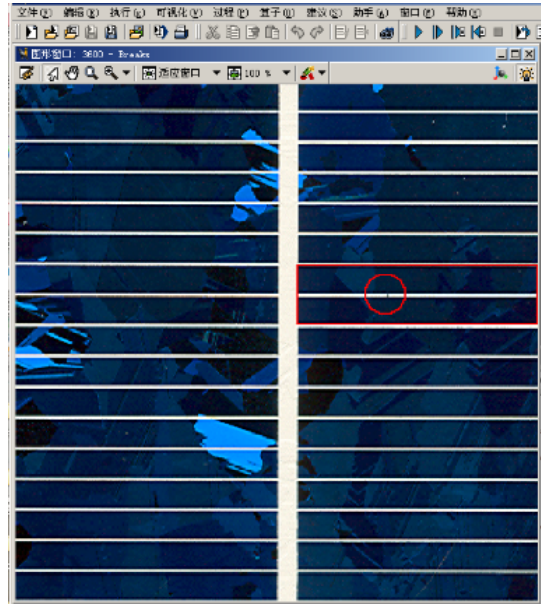


Figure 5. Broken gate and dirty solar wafer  
图 5. 断栅和脏污太阳能硅片

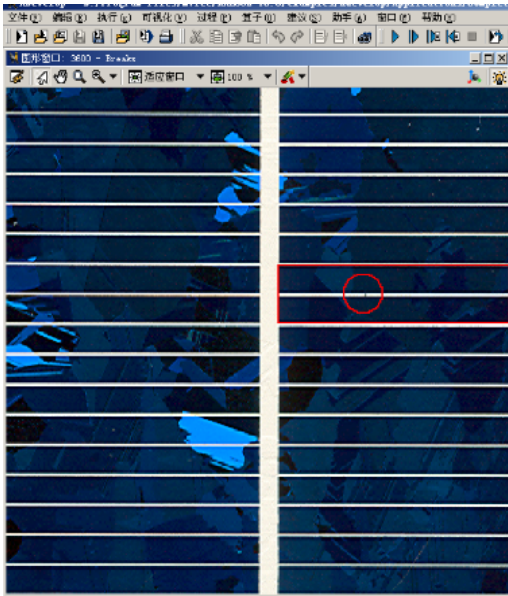


Figure 4. Broken gate of solar wafer  
图 4. 断栅太阳能硅片

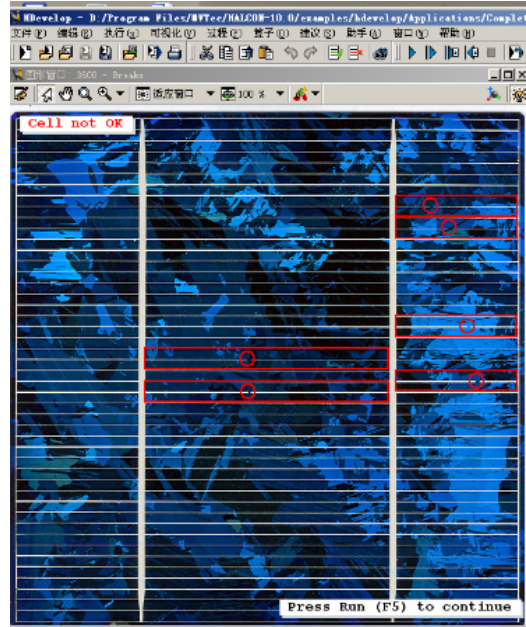


Figure 6. Broken gate and cavern solar wafer  
图 6. 断栅和穿孔太阳能硅片

Table 1. The statistics of experimental results  
表 1. 实验结果统计表

	缺陷类型			
	孔洞	脏污	断栅	总计
样本数目	283	294	354	931
正确识别样本数目	269	286	343	898
识别率	95.1%	97.3%	96.9%	96.5%

产中是非常有必要的，不仅具有一定的理论价值也更具有实际的应用价值。本文主要工作如下：

1) 提出了基于 Halcon 图像处理的太阳能硅片表面缺陷检测系统的总体设计方案。

2) 简述太阳能硅片检测系统组成机构和介绍了一些基于 Halcon 图像处理的基本算法流程(如图 2 所示)。

3) 采用本文的检测方法可以降低劳动强度、降低生产成本,降低产品检测过程的人为因素,实现产品生产的高度自动化,提高产品检测质量,能够产生很好的社会和经济效益。

## 参考文献 (References)

- [1] Ostapenko, S., Hess, W.D., et al. (2006) Crack detection and analyses using resonance ultrasonic vibrations in crystalline silicon wafers. *Conference Record of the 2006 IEEE 4th World Conference on Photovoltaic Energy Conversion*, Waikoloa, May 2006, 920-923.
- [2] Van Der Heide, A.S.H., Bultman, J.H., Hoomstra, J., et al. (2002) Optimizing the front side metallization process using the corescan. *Conference Record of the Twenty-Ninth IEEE Photovoltaic Specialists Conference*, New Orleans, 19-24 May 2004, 340-343.
- [3] Zheng, H., Kong, L.X. and Nahavandi, S. (2002) Automatic inspection of metallic surface defects using genetic algorithms. *Journal of Materials Processing Technology*, **125-126**, 427-433.
- [4] Liang, R.Y., Ding, Y.Q., Zhang, X.W., et al. (2008) Copper strip surface defects inspection base on SVM-RBF. *Proceedings of the 2008 Fourth International Conference on Natural Computation*, Jinan, 18-20 October 2008, 41-45.
- [5] Zhong, K.H., Ding, M.Y. and Zhou C.P. (2004) Texture defect inspection method using difference statistics feature in wavelet domain. *Systems Engineering and Electronics*, **26**, 660-665.
- [6] Zhang, X.W., Liang, R.Y., Ding, Y.Q., et al. (2008) The system of copper strips surface defects inspection based on intelligent fusion. *2008 IEEE International Conference on Automation and Logistics (ICAL 2008)*, Qingdao, 1-3 September 2008, 476-480.
- [7] Li, T.S. (2009) Applying wavelets transform, rough set theory and support vector machine for copper clad laminate defects classification. *Expert Systems with Applications*, **36**, 5822-5829.
- [8] 德国 MVTec 公司 (2009) Halcon//Quick Guide 用户参考手册.
- [9] 陈前荣, 陆启生, 成礼智 (2005) 基于方向微分的运动模糊方向的鉴别. *中国图象图形学报*, **5**, 590-595.
- [10] 阮秋琦 (2003) 电子工业出版社, 北京, 483-493.
- [11] Zhang, Y. and Kovacevic, R. (2002) Real-time sensing of sag geometry during GTA welding. *Journal of Manufacturing Science and Engineering*, **119**, 151-160.
- [12] Pong, T.C., Shapiro, L.G. and Watson, L.T. (1984) Experiments in segmentation using face model region grower. *Computer Vision, Graphics and Image Processing*, **25**, 1-23.