

【文章编号】 1004-1540(2009)02-0167-04

图像处理在晶圆瑕疵自动标记系统中的应用

蒋登峰¹, 周娟²

- (1. 杭州市士兰微电子股份有限公司, 浙江 杭州 310012;
2. 中国计量学院 质量与安全工程学院, 浙江 杭州 310018)

【摘要】 针对传统晶圆测试手工标记瑕疵的不足, 提出了应用机器视觉技术进行晶圆瑕疵的自动标记. 首先, 对晶圆图像进行预处理, 提取晶圆边缘图像; 其次, 利用最小二乘法检测晶圆的直径. 在此基础上通过坐标变换获得晶圆瑕疵的坐标, 将其传递给探针台, 由探针台自动将有瑕疵的晶圆剔除. 最后, 通过实验验证了该方法的实用性与有效性.

【关键词】 图像处理; 晶圆瑕疵; 最小二乘法; 坐标变换

【中图分类号】 TP391 **【文献标识码】** A

Image processing applied in wafer defects auto-marking system

JIANG Deng-feng¹, ZHOU Juan²

- (1. Hangzhou Silan Microelectronics Co. Ltd, Hangzhou 310012, China;
2. College of Quality and Safety Engineering, China Jiliang University, Hangzhou 310018, China)

Abstract: In traditional wafer testing techniques, wafer appearance defects were marked by hand. In order to overcome this shortcoming, the application of image processing technology was proposed to mark wafer appearance defects. Firstly, the edge image of wafer was extracted from the preprocessed image of wafer. Secondly, the least square method was adopted to gain the wafer diameter. Thirdly, the coordinate of the wafer defects was got through coordinate transformation, and the coordinate was transferred to the probe machine. Finally, the wafer with defects was eliminated by the probe machine. The feasibility and effectiveness are proved by the examples.

Key words: image processing; wafer defects; least square method; coordinate transform

在微利时代来临和毛利逐年降低的严峻挑战下, 提高半导体测试效率以降低测试成本显得至关重要. IC 测试主要分为晶圆测试以及成品测试, 其主要功能为检测出 IC 在制造过程中所发生的瑕疵. 传统的生产加工线上, 在完成相应的测试后, 一般企业仅依靠人眼在显微镜下逐个分辨后

手工完成有瑕疵晶圆的标记工作, 这种手工标记的方式效率和精度极其低下, 故笔者提出应用图像处理技术辅助生产人员进行晶圆瑕疵的标记.

图像处理是指用计算机对光学图像进行接收、信息提取、加工、模式识别及存储显示的过程^[1]. 通过 CCD 等光电子器件直接接收光学信

【收稿日期】 2009-01-10

【作者简介】 蒋登峰(1975-), 男, 湖南衡阳人, 工程师. 主要研究方向为测试技术.

息,并进行数字化处理.该系统通过 CCD 拍摄晶圆图片上传到 PC 机中,测试模块在晶圆图像中标出瑕疵位置,系统根据晶圆图像与实物大小的比例关系计算出瑕疵位置的坐标,然后将其传输给探针台,由探针台在晶圆瑕疵的相应位置打上点.实现整个标记过程的自动化,从而改善了一直以来仅依靠人眼在显微镜下手工完成晶圆瑕疵的标记工作,提高了生产效率.

1 系统概述

1.1 系统组成

整个系统可分为 3 个主要模块.视觉模块、测试模块和标记模块.视觉模块通过一台 CCD 摄像机摄取晶圆图像;测试模块完成晶圆的测试工作,在晶圆图像上确定瑕疵的位置;标记模块根据测试结果的瑕疵标记,对晶圆图像进行处理.其中,标记模块嵌入了图像处理子模块,完成对晶圆的边缘提取、特征提取、定位和坐标变换,再由探针台根据获得的坐标自动对有瑕疵的晶圆进行标记.标记模块是本系统改进的主体,也是本文工作的重点.

1.2 图像处理子模块

采集晶圆进行图像处理的系统框图如图 1.对一幅采集的晶圆,需要经过滤波预处理,去除噪声,利用 Roberts 算子进行边缘提取,再对图像进行识别和定位,确定晶圆的直径,通过坐标变换获得标记点的坐标,再由探针台对有瑕疵的晶圆进行自动标记.

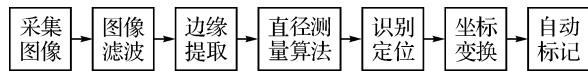


图 1 图像处理子模块

Figure 1 Image processing sub-module

2 图像预处理与边缘提取

2.1 图像滤波

摄取图像的过程中,不可避免地会在图像中形成噪声,例如:目标物体和透镜上的灰尘、图像采集中的量化误差等,都会在最终获得的图像中形成噪声.一般来说,噪声在图像中都表现为高频信号,因此一般的滤波器都是通过减弱或消除傅立叶空间中的高频分量来达到滤波的目的^[2].然而,图像中的各种结构细节,如:边缘和角,也都属

于高频分量,因此,如何在滤除噪声的同时,最大限度地保留图像中的结构,一直是图像滤波研究中的重要方向.线性滤波器有移动平均滤波器和高斯滤波器等,非线性滤波器中最常用的有中值滤波器^[3].线性滤波对平滑高斯噪声有非常好的效果,但是会模糊图像的高频细节,导致边缘不清晰.考虑本项目中晶圆的形状,选择中值滤波器.滤波前后的晶圆图像对比如图 2.

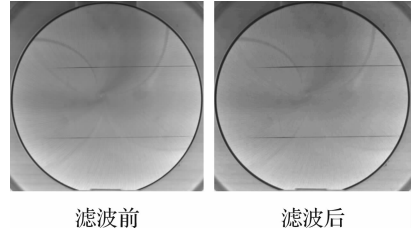


图 2 滤波前后的晶圆图像对比

Figure 2 Filtering image and non-filtering image contrast

2.2 边缘提取

本系统中为了获得晶圆瑕疵的实际坐标,需要找出晶圆图像与实物大小的比例关系.为了获得晶圆的直径等参数,必须对图像的边缘进行提取.边缘是明暗变化最大的点,也就是所谓的梯度最大的点,根据这个特性可以找出边界^[4].在这个过程中,需要选取一种合适的梯度算法,来计算图像边界的梯度.实验中分别选取了四种常用的梯度算子,对图形进行梯度计算.这四个算子分别是 Kirsch 算子、prewitt 算子、Roberts 算子和 Sobel 算子^[5].图 3 显示了利用这四种算子计算出的梯度图.

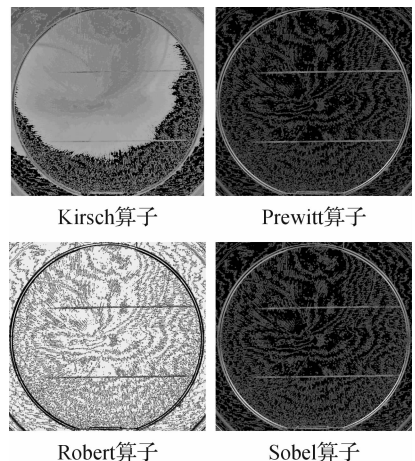


图 3 梯度图

Figure 3 Gradient map

从图 3 可以看出 Kirsch 算子查找边缘的效果不是很明显,并且可以看出它有放大噪声的作用,处理过的梯度图形有很多白噪声点. prewitt 算子的加强噪声作用没有 Kirsch 算子强,但是仍然带来了一定程度的噪声,边缘轮廓不是很清晰. Robert 算子做出的边界比较清楚细小. Sobel 算子计算的梯度结果和 prewitt 差不多,边缘轮廓也不够清晰. 因此,本项目中采用 Robert 算子.

3 晶圆检测

3.1 检测方法的比较

常用的圆检测的方法有 Hough 变换、随机 Hough 圆检测以及一些改进方法^[6].

Hough 变换是检测圆的有效方法,其可靠性高,对噪声、变形、部分区域残缺、边缘不连续等有较好的适应性. 但是 Hough 变换计算量大,占用内存大,提取的参数受参数空间的量化间隔制约. 并且,实际图像还受光照、背景不均匀等条件的影响,从而影响了其计算精度和计算速度^[7].

为了克服上述缺点,后来 XU 等人提出了随机 Hough 变换 (randomized Hough transform, RHT),在图像空间随机选取不共线的三点映射成参数空间的一个点,从而避免了传统 Hough 变换的庞大计算量. 但 RHT 算法在处理复杂图像时,由于随机采样引入了大量无效单元,而造成大量无效累积^[8]. 本文采用二乘法拟合随机点的算法,通过采集大量随机点,这些随机点中有可能是噪声点,有可能是直线上的点,也有可能是真正圆上的点,但通过最小二乘法不断剔除误差最大点,可以不断去除噪声.

3.2 随机点的选择

无论用何种方法,首先都需要采集大量的随机点. 本文中采用辐射法获取圆上的随机点:以图像中心为圆心,等角度向四周作辐射射线,射线会和圆周有交点,这个交点理论上是射线上梯度最大的点. 但受到噪声的影响,有部分射线上梯度最大的点并没有落在圆周上,这时通过二乘法不断剔除误差最大的点,直到拟合值满足一定的误差范围,这样得到的点为有效点. 在数字设备上画直线的比较简单的算法,包括 Bresenham 画线算法以及一些基于 Bresenham 的改进方法. Bresenham 直线生成算法中采用误差参数控制方法,对误差进行补

偿控制. 本项目中使用 Bresenham 算法来找出一条直线,直线上梯度最大的点为边界点^[9].

3.3 拟合圆形

利用最小二乘法拟合一个圆形,不需要定位圆上所有的边界点,只需要定位圆上部分边界点,就可以拟合出圆心和半径. 这种算法抗噪声能力比较强,即使边界上有部分噪声点,影响了边界的精确定位,但由于最小二乘法是一个递归计算过程,在这个过程中会去除误差较大的噪声点,因此这种方法可以很好地处理噪声的影响. 利用最小二乘法拟合圆形和圆参数的具体算法如下:

找出圆周上的 m 个边界点,这 m 个边界点的坐标分别为 $(x_1, y_1), (x_2, y_2), \dots, (x_m, y_m)$. 设拟合出的圆心坐标为 (x_c, y_c) ,拟合出的半径为 r . 则圆公式:

$$(x - x_c)^2 + (y - y_c)^2 = r^2 \quad (1)$$

误差:

$$\epsilon_i = (x_i - x_c)^2 + (y_i - y_c)^2 - r^2 \quad (2)$$

误差平方和:

$$Q = \sum_{i=1}^m \epsilon_i^2 = \sum_{i=1}^m [(x_i - x_c)^2 + (y_i - y_c)^2 - r^2]^2 \quad (3)$$

根据最小二乘法的原理,要使 Q 值最小,必须有:

$$\frac{\partial Q}{\partial x_c} = \frac{\partial Q}{\partial y_c} = \frac{\partial Q}{\partial r} \quad (4)$$

推导可得:

$$x_c = \frac{A - B}{C}, y_c = \frac{D - E}{C},$$

$$r = \sqrt{x_c^2 - 2\bar{x}x_c + \bar{y}_c^2 - 2\bar{y}y_c + \bar{x}^2 + \bar{y}^2} \quad (5)$$

其中:

$$A = (\bar{x}^2 \cdot \bar{x} + \bar{y}^2 \cdot \bar{x} - \bar{x}^3 - \overline{xy^2}) (\bar{y}^2 - \bar{y}^2) \quad (6)$$

$$B = (\bar{x}^2 \cdot \bar{y} + \bar{y}^2 \cdot \bar{y} - \bar{y}^3 - \overline{yx^2}) (\bar{y} \cdot \bar{x} - \overline{xy}) \quad (7)$$

$$C = 2(\bar{x}^2 - \bar{x}^2) (\bar{y}^2 - \bar{y}^2) - 2(\bar{x} \cdot \bar{y} - \overline{xy})^2 \quad (8)$$

$$D = (\bar{y}^2 \cdot \bar{y} + \bar{x}^2 \cdot \bar{y} - \bar{y}^3 - \overline{yx^2}) (\bar{x}^2 - \bar{x}^2) \quad (9)$$

$$E = (\bar{y}^2 \cdot \bar{x} + \bar{x}^2 \cdot \bar{x} - \bar{y}^2 \bar{x} - \bar{x}^3) (\bar{x} \cdot \bar{y} - \overline{xy}) \quad (10)$$

$$\overline{x^n y^n} = \sum_{i=1}^m x_i^n y_i^n / m \quad (11)$$

在晶圆检测这个步骤里,使用二乘法检测晶圆的同时,也就拟合出了晶圆的各个参数,包括圆心位置和半径.图4给出了晶圆检测的最后结果:晶圆直径为935个像素.因为拍摄时摄像机与晶圆距离较近,并制造了专门的夹具,使得拍摄过程中近似正投拍摄,考虑到晶圆实物也较小,因此本系统不用考虑摄像头畸变.



图4 晶圆检测结果

Figure 4 Wafer test result

4 坐标变换

坐标变换主要是因为实物大小和图像大小之间有一定的比例关系,自动标记系统需要根据图像中晶圆瑕疵的位置确定晶圆实物中瑕疵的具体位置.晶圆实物直径为125 mm,检测出的图像直径为935个像素,晶圆的瑕疵分为出现在正面和反面.当晶圆的瑕疵出现在晶圆的正面时,如图5(a)指定原点坐标,假设晶圆瑕疵图像的起点坐标为(500像素,200像素),根据实物大小和图像大小之间的比例关系,容易换算出瑕疵实际的起点坐标为(66.84 mm,26.74 mm).当晶圆的瑕疵出现在晶圆的反面的相同位置时,如图5(b)为圆点坐标,则瑕疵在反面的实际起点坐标为(-66.84 mm,26.74 mm).

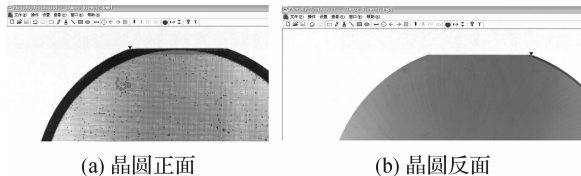


图5 晶圆原点坐标

Figure 5 Coordinate of wafer origin

5 结语

本系统采用图像处理技术,实现了晶圆瑕疵的自动化标记,克服了传统晶圆测试工作中人工标记效率低下、可靠程度不高的不足,从而大大提高了晶圆测试的效率和准确性.本系统已在生产中大量应用.

【参 考 文 献】

- [1] 贾云得. 机器视觉[M]. 北京: 科技出版社, 2000: 85-221.
- [2] 彭向前, 陈幼平, 余文勇. 一种基于机器视觉的浮法玻璃质量在线检测系统[J]. 制造业自动化, 2007, 29(12): 50-53.
- [3] 冯会真, 夏哲雷, 林志一. 基于神经网络的图像边缘检测方法[J]. 中国计量学院学报, 2006, 17(4): 289-291.
- [4] 杨淑莹, 任翠池, 张成. 基于机器视觉的齿轮产品外观缺陷检测[J]. 天津大学学报, 2007, 40(9): 1111-1114.
- [5] 刘建群, 旷辉, 丁少华. 基于视觉的表面贴装芯片引脚检测系统的研究[J]. 中国机械工程, 2007, 18(16): 1908-1912.
- [6] 鲍宗泛, 李红华. 关于图像边缘的 Laplace 算子的改进[J]. 中国计量学院学报, 2000, 11(2): 169-172.
- [7] 张宜生, 彭毅, 梁书云, 等. 基于图像比对技术的柔性印刷电路板检测系统[J]. 计算机工程与应用, 2005(2): 220-222.
- [8] SONKA M, HLAVAC V, BOYLE R. Image Processing Analysis and Machine Vision (Second Edition)[M]. USA: International Thomson Publishing, 2000: 152-214.
- [9] 段悦, 袁昌明. 火灾探测中动态火焰的数字图像处理[J]. 中国计量学院学报, 2009, 20(1): 55-58.