

개선된 이진화 방법을 이용한 영상 오류 검출기 설계에 관한 연구

박명숙, 김상훈*

국립한경대학교 전기전자제어공학과

*e-mail: kimsh@hknu.ac.kr

A Study on Design of Image Defect Detector using Enhanced Threshold Method

Myeong Suk Pak and Sang Hoon Kim

Dept. of Electrical, Electronic and Control, Hankyong National University

요 약

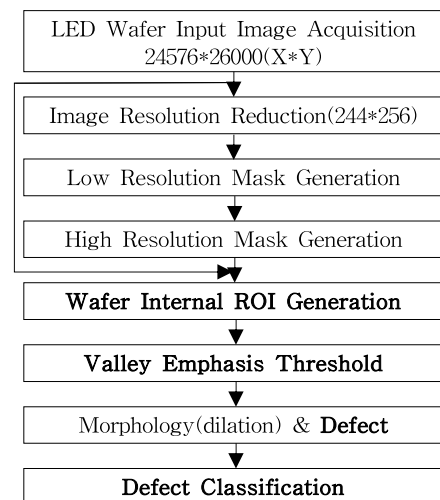
본 연구에서는 웨이퍼의 자동광학검사를 위한 결점 검출 비전 시스템을 개발하였다. 성공적 결점 검출을 위해 몇 가지 이진화 방법을 비교하였고, bimodal과 unimodal 분포에 모두 좋은 결과를 나타낸 개선된 Otsu 방법을 선택하였다. 빠르고 정확한 임계값 계산을 위해 ROI 추출기능을 개발하였으며 최종적으로 웨이퍼의 검출 패턴은 정의된 기준에 따라 영상 분류되었고 성능평가를 위해 14개 이상의 웨이퍼 영상으로 테스트하였다

1. 서론

자동 이진화는 영상분할에서 중요한 기술이고, 결함 검출의 기본 단계이다[4][5]. 이 기술의 기본 개념은 그레이 레벨 분포를 기반으로 배경 영상에서 관심 객체를 분리하기 위한 최적의 임계값을 자동으로 선택하는 것이다. 이는 거의 전역 이진화와 지역 이진화로 분류할 수 있다 [1][2]. 전역 이진화는 전체 영상의 히스토그램에서 하나의 임계값을 선택한다. 지역 이진화는 영상의 작은 영역에 적합한 여러 개의 임계값을 선택하기 위해 국지적인 그레이 레벨 정보를 이용한다. 전역 이진화가 더 단순하고 쉽지만 그 결과는 균일한 조명에 의존한다. 지역 이진화는 비 균일 조명을 다룰 수 있지만 복잡하고 느리다. 비 균일 조명이 제한 및 제어 조명 조건으로 인해 문제가 되지 않을 때, 자동 시각 검사에서 전역 이진화는 일반적으로 단순함과 속도를 위해 이용된다[5][6]. 전역 이진화 기술 중에서 Otsu 방법은 균일성 및 형상 측정에 대한 일반 실제 영상을 위한 더 나은 임계값 선택 방법중 하나로 알려졌다. Otsu 방법은 bimodal이나 multimodal 분포에 좋은 결과를 내지만, unimodal 분포에 가깝다면 그렇지 못하다. 왜냐하면 결함 검출은 결점이 없거나 작은 결점과 큰 결점까지 포함하고, 그레이 레벨 분포에서는 unimodal에서 bimodal까지를 포함하기 때문이다. 결과적으로 Otsu 방법을 이용한 자동 시각 검사에서 성공적인 결점 검출을 위해서는, 두 가지 분포 모두 다룰 수 있는 수정된 방법이 필요하다[2][3].

2. 결함 검출 시스템

결함 검출에서 결함은 작은 것부터 큰 것까지 포함하는데 배경에 비해 아주 작은 결점은 unimodal 분포에 가깝다. Otsu 방법[1]은 bimodal 분포에서 좋은 결과를 보여 주지만 unimodal 분포에서는 그렇지 못하다[2]. Valley emphasis 방법은 Otsu 방법에 valley를 강조하여 작은 결점까지도 검출할 수 있는 방법이다. Otsu 수식에 $(1 - p_t)$ 의 가중치를 적용하여 p_t 가 작으면 가중치가 커져서 임계값이 valley에 있음을 강조하는 효과를 줄 수가 있다. 이를 이용해 t^* 를 찾는 수식은 다음과 같다.



(그림 1) Flow diagram of Wafer Defect Detection Process in this study

$$t^* = \underset{0 \leq t < L}{\text{ArgMax}} \{ (1 - p_t)(\omega_1(t)\mu_1^2(t) + \omega_2(t)\mu_2^2(t)) \} \quad (1)$$

본 연구에서 결점 검출을 위해 제안한 검사 시스템은 LED 웨이퍼의 자동광학검사(AOI)를 기반으로 한다. 결함 검출 절차는 그림 1에 나타내었다. 앞 5단계를 보면, 고해상도 카메라를 통해 얻은 영상은 웨이퍼의 관심영역(Region of Interests)을 추출하기 전에, 먼저 계산의 복잡도를 줄이기 위해 저해상도 영상으로 축소한다. 그렇게 생성된 저해상도 영상을 가지고 에지 검출(Edge detection) 기법을 적용하여 저해상도 ROI 마스크 영상을 만들고, 이를 확대하여 고해상도 ROI 마스크 영상을 만든다. 그리고 고해상도 ROI 마스크와 고해상도 입력 영상에 AND 연산을 수행하여 최종적으로 웨이퍼 ROI 영상을 구할 수 있다. 이렇게 준비된 영상을 가지고 앞에서 언급한 효율적인 이진화 방법을 이용하여 결점 영역을 검출한 후, 포몰로지와 레이블링을 통해 결점 영역을 명확하게 하고 결점의 수를 구한다. 마지막 단계는 이진화 및 레이블링된 영상을 가지고 결점을 3가지 종류로 분류하게 된다.

3. 실험 및 분석

3.1 이진화 비교 결과

Otsu 방법과 valley emphasis 방법의 성능을 비교하기 위해 misclassification error값을 이용하였고, 식은 다음과 같다 (Yasnoff et al., 1977).

$$Error = 1 - \frac{|B_o \cap B_T| + |F_o \cap F_T|}{|B_o| + |F_o|} \quad (2)$$

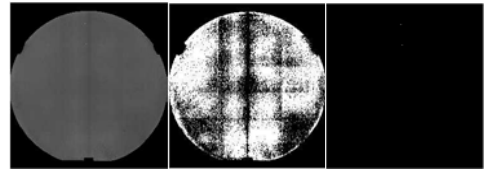
두 방법의 결과는 표1에 나타난 것과 같이 valley emphasis 방법이 훨씬 낮은 에러율을 보여준다.

<표 1> Error Rate Comparison between Otsu method and Valley Emphasis

		Otsu	Valley Emphasis
Experiment 1	The # of pixels in difference image	710286	19512
	Error Rate	0.580	0.015
Experiment 2	The # of pixels in difference image	560437	94544
	Error Rate	0.457	0.077

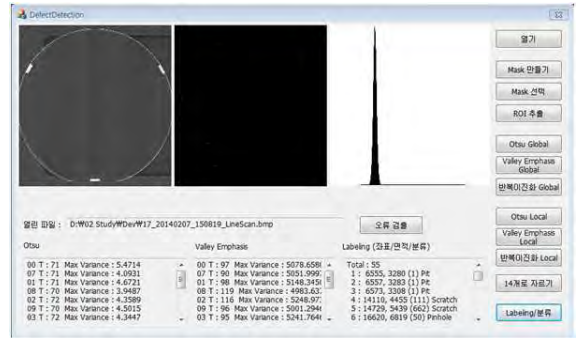
그림 2를 통해서 Otsu 방법이 적절한 임계값을 찾지 못해 결점이 아닌 많은 부분을 검출해서 실패하였지만, valley emphasis 방법은 결점 부분만 검출해 냈다는 것을 알 수 있

다.



(a) Wafer Image (b) Otsu (c) Valley Emphasis (그림 2) Threshold Comparison Result

3.2 결함 검출기의 성능



(그림 3) Developed Program GUI

그림 3은 본 연구에서 개발된 자동 결함 검출 소프트웨어 화면이다. 개발환경은 Intel Core i5-4670 3.4GHz CPU와 8GB RAM이 장착된 Windows 7 64bits PC상에서 Visual C++ 2010을 이용하였다. 이 소프트웨어에는 몇 가지 이진화 방법, 레이블링, 분류 기능이 포함되어 있고, 입력 영상과 결과 영상을 볼 수 있다.

<표 2> Final Classification Result of Defect

Classification	The # of defects
Pit	11
Scratch	11
Pinhole	33
Total	55

3종류의 결점(pit, pinhole, scratch)을 분류하기 위해서 2가지 기준(크기와 무게 중심 화소값)을 적용하였으며 표 3에 나타내었으며 실제 샘플영상에서 분류가 된 결과는 표 2에 정리되었다.

<표 3> Categories of Defect Classification

Classification	Category1(Area)	Category2(Gray Value of Center Gravity)
Pit	1~2 pixel(s)	No corresponding
Pinhole	Over 2 pixels	White
		Black
Scratch		

위 소프트웨어의 최종 출력 결과 영상에는 검출된 결점의 이진화 영상에 네모상자로 표시하여 알아보기 쉽게 하였다.

샘플 영상이 고해상도이기 때문에 일부분을 잘라서 그림 4와 같이 나타내었다.



(그림 4) Final Output Image

4. 결론

웨이퍼의 자동광학검사를 위해 결함 검출 비전 시스템을 개발하였다. 이를 위해 몇 가지 이진화 방법을 비교하였고, bimodal과 unimodal 분포에 모두 좋은 결과를 나타낸 개선된 Otsu 방법을 선택하였다. 빠르고 정확한 임계값 계산을 위해 ROI 추출기능을 개발하였다. 최종적으로 웨이퍼의 검출 패턴은 정의된 기준에 따라 분류되었고, 성능 평가를 위해 14개 이상의 웨이퍼 영상으로 테스트하였다.

감사의 글

이 논문은 2013~2015년도 경기도(GRRC)의 지원에 의한 것임(GRRC Hankyong 2012-B02).

참고문헌

- [1] N. Otsu, "A Threshold Selection Method from Gray-Level Histogram", IEEE Transactions on Systems Man and Cybernetics, Vol.SMC-9, No.1, pp. 62-66, 1979.
- [2] Hui-Fuang Ng, "Automatic thresholding for defect detection", Pattern Recognition Letters, Vol.27, Issue 14, pp. 1644-1649, 2006.
- [3] W.A. Yasnoff, J.K. Mui, J.W. Bacus, "Error measures for scene segmentation", Pattern Recognition, Vol.9, Issue 4, pp. 217-231, 1977.
- [4] N.G. Shankar, Z.W. Zhong, "Defect detection on semiconductor wafer surfaces", Microelectronic Engineering, Vol.77, Issues 3-4, pp. 337-346, 2005.
- [5] Shun-Sheng Ko, Chien-Sheng Liu, Yang-Cheng Lin, "Optical inspection system with tunable exposure unit for micro-crack detection in solar wafers", Optik, Vol.124, Issues 19, pp. 4030-4035, 2013.
- [6] M. Sezgin, B. Sankur, "Survey over image thresholding techniques and quantitative performance evaluation", Journal of Electronic Imaging, Vol.13, Issue 1, pp. 146-165, 2004.