

---

# 퍼지 추론 기법을 이용한 반도체 불량 검사

김광백\*

## A Semiconductor Defect Inspection Using Fuzzy Reasoning Method

Kwang-baek Kim\*

### 요 약

본 논문에서는 굴곡에 의한 조도량의 차이와 명암도 차이를 퍼지 기법에 적용하여 개선된 반도체 불량 검출 방법을 제안한다. 제안된 방법은 먼저 회전각과 양선형 보간법을 이용하여 반도체 영상의 각도를 보정하는 전처리 과정을 수행한다. 그리고 굴곡에 대한 조도량의 차이와 패턴 매칭을 이용하여 얻어진 오류 영역의 명암도 차이를 퍼지 소속 함수에 적용하여 결과 값을 추론한다. 최종적으로 비퍼지화된 결과 값을 적용하여 반도체의 초기 불량을 검출한다. 제안한 방법에서 실제 사용되는 반도체 정면 영상과 측면 영상 30쌍을 대상으로 실험한 결과, 기존의 방법에서 판단된 실제 불량 제품을 모두 검출하였다. 기존의 방법은 1mm내의 미세한 굴곡을 가진 정상 제품을 불량으로 판별하였으나 제안된 방법에서는 오류로 검출하지 않고 정상으로 판별하였다. 따라서 기존의 방법에 비해서 반도체의 초기 불량 판단에 효과적으로 적용될 수 있다는 것을 확인하였다.

### ABSTRACT

In this paper, we propose a new inspection method that applies fuzzy reasoning method considering the difference of brightness and intensity of illumination by bend together. In the preprocessing phase, we compensate the degree of semiconductor images with bilinear interpolation and moment-rotation. Then we use fuzzy reasoning method with the difference of brightness from error region by pattern matching and the difference of intensity of illumination from bends. Then the result is difuzzified and applied to the final inspection process. In experiment which uses 30 real world semiconductors with strait shots and side shots, the proposed method successfully discard the false positive identified by conventional brightness comparison only method without any loss of misidentification.

### 키워드

퍼지 추론 방법, 반도체 영상, 양선형 보간법, 회전각

### Key word

Fuzzy Reasoning Method, Semiconductor Images, Bilinear Interpolation, Moment-Rotation

## I. 서 론

우리나라의 반도체 산업은 정부의 적극적인 지원 정책과 기업의 과감한 투자에 힘입어 급격하게 발전해왔다[1]. 최근 반도체의 생산량이 증가함에 따라 반도체 신제품 수율을 조기에 확보하고 양산 제품의 수율을 고수율로 유지하는 것이 생산 활동에 주된 목표가 되고 있다.

반도체는 크기가 매우 작기 때문에 불량률 육안으로 판별하기 어렵다. 따라서 생산 과정에서 자동으로 반도체의 불량을 검출하여 생산성 및 경제성을 향상시키는 영상처리 기법들이 대두되고 있다. 기존의 영상처리 기법은 반도체의 정면 영상에서 명암도 패턴 매칭 방법을 이용하여 반도체의 불량을 검출하였다[2]. 이러한 기법은 반도체의 굴곡에 대한 조도량을 고려하지 않고 명암도만 비교하기 때문에 제품 성능에 영향을 미치지 않는 미세한 굴곡을 불량으로 오판하는 문제가 발생한다[3].

따라서 본 논문에서는 기존 반도체 불량 검출 방법의 문제점을 개선하기 위해서 퍼지 추론 기법을 적용한다. 제안된 방법은 먼저 회전각과 양선형 보간법을 이용하여 반도체 영상의 각도를 보정하는 전처리 과정을 수행한다. 보정이 수행된 테스트 영상과 기준 영상의 조도량 차이와 패턴 매칭을 통해서 구해진 명암도 차이를 퍼지 추론 기법에 적용하여 반도체 불량을 검출하는 과정에서 제품 성능에 영향을 미치지 않는 미세한 굴곡을 불량으로 판별하는 문제점을 개선한다.

## II. 불량 제품 검출

본 논문에서 제안하는 반도체 초기 불량을 검출하는 전체 과정은 그림 1과 같다.

### 2.1 기준 영상 제시

영상처리 기법을 이용하여 반도체의 불량을 검출하기 위해서는 제품 판별에 기준이 되는 정상 제품의 영상 학습이 필요하다. 따라서 본 논문에서는 명암도 패턴 매칭 기법을 적용하기 위해서 정면 영상을 획득한 후에 양자화를 수행한다.

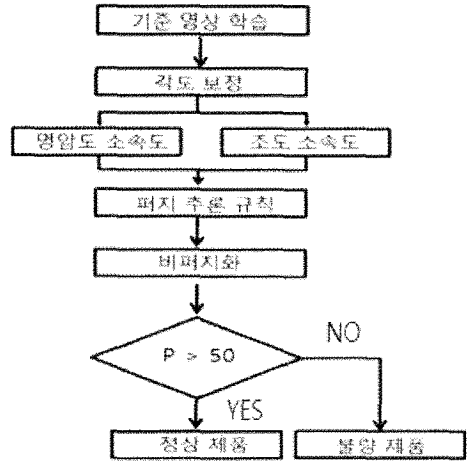


그림 1. 반도체 불량 검출 과정  
Fig. 1 Flow of Semiconductor Inspection

그리고 굴곡에 대한 조도량 차이를 측정하기 위해서 기준 영상을 습득할 때 얻어진 단위 면적당 및 습도량, 전력량을 학습한다. 정면 영상을 양자화 한 영상은 그림 2와 같고 촬영 당시의 환경 조건은 그림 3과 같다.

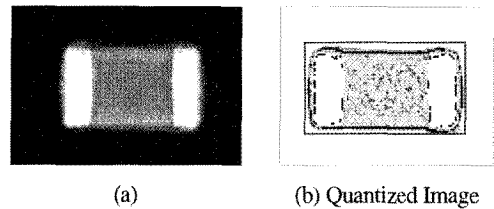


그림 2. 기준 영상  
(a) 기준 영상 (b) 양자화 영상  
Fig. 2 Standard Images  
(a) Standard Image (b) Quantized Image

original environment value		LEARNING
전력량	ORIGINALOPEN	LEARNING W
거리		LEARNING m²
dust loading		LEARNING %
humidity		LEARNING %
intensity of light		LEARNING cd
intensity of illumination		LEARNING lux

그림 3. 촬영 당시의 환경 조건  
Fig. 3 Environmental Conditions

2.2 각도 보정

반도체 영상을 촬영하는 도중에 기계의 미세한 진동에 의해서 반도체 영상의 각도가 기울어져 있는 경우가 존재하기 때문에 명암도 패턴 매칭 기법을 사용하는 데 문제점이 있다. 따라서 본 논문에서는 영상에 존재하는 반도체 영역의 회전각을 측정하여 영상을 회전하고, 회전시에 발생하는 정보의 손실을 복원하기 위하여 양선형 보간법[4]을 적용한다.

반도체의 각도를 보정하기 위하여 그림 4와 같이 COS 삼각함수를 이용하여 반도체 영역의 회전각( $\theta$ )을 구한 후에 식(1)에 적용한다.

$$\begin{bmatrix} x_u \\ y_v \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \cos\theta & \sin\theta \\ -\sin\theta & \cos\theta \end{bmatrix} \begin{bmatrix} x \\ y \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} c_x \\ c_y \end{bmatrix} \quad (1)$$

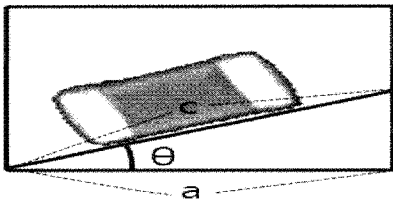


그림 4. 기울어진 영상  
Fig. 4 Bended Image

식(1)을 이용해서 얻어진 결과 값을 정수화한 후에 그림 5와 같이 해당 좌표를 기준점으로 주변 픽셀의 명암도 a, b, c, d를 구한 후, 식(2)에 적용한다.

a	b
( $x_a$ , $y_b$ )	
c	d

그림 5. 양선형 보간법 마스크  
Fig. 5 Bilinear Interpolation

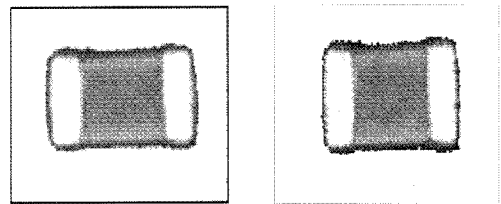
$$\begin{aligned} x &= (1-p)a + pb \\ y &= (1-p)c + pd \end{aligned} \quad (2)$$

식(2)에서 p는 식(1)에서  $x_u$ 의 소수점 값이다. 식(2)의 결과 값을 식(3)에 적용하여 손실된 명암도 정보를 복

원한다.

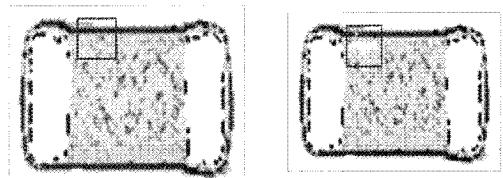
$$z = (1-q)x + qy \quad (3)$$

식(3)의 q는 식(1)에서  $y_v$ 의 소수점 값이다. 양선형 보간법을 적용하여 보정한 영상은 그림 6과 같다. 그리고 테스트 영상에 대한 패턴 매칭 과정은 그림 7과 같다.



(a) (b)

그림 6. 양선형 보간법 결과 영상  
(a) 양선형 보간법 영상 (b) 각도만 보정한 영상  
Fig. 6 Result of Bilinear Interpolation  
(a) Bilinear Interpolation Image  
(b) Image after Degree Compensations



(a) (b)

그림 7. 패턴 매칭 기법  
(a) 기준영상 (b) 테스트영상  
Fig. 7 Pattern Matching Technique  
(a) Standard Image (b) Test Image

2.3 명암도 소속 함수

그림 8과 같이 명암도 소속 함수의 구간은 [Low, Normal, High] 구간으로 구성한다. Low 구간은 기준 영상의 명암도보다 -20 보다 작고, Normal 구간은 -20에서 +20, High 구간은 +20 이상으로 설정한다. 명암도 소속 함수의 입력 값은 그림 7과 같이 기준 영상과 테스트 영상의 명암도 패턴 매칭 기법을 적용하여 얻어진 오류 영역의 명암도 차이를 나타내는 값이다.

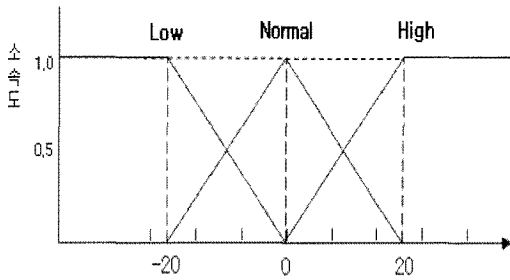


그림 8. 명암도 소속 함수  
Fig. 8 Brightness Membership Function

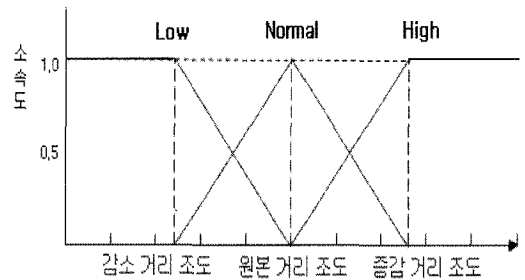


그림 10. 조도 소속 함수  
Fig. 10. Intensity Membership Function

2.4 조도 소속 함수

조도란 대상이 받는 빛의 세기로 미세한 굴곡을 가지는 반도체 영역의 오류를 검출하기에 중요한 정보로 사용된다. 조도 소속 함수의 입력 값은 식(4)를 이용하여 계산한다.

$$\text{조도} = \frac{\text{광원의 밝기}(cd) - \frac{\text{단위면적량}(\%) + \text{습도량}(\%)}{100}}{\text{거리의 제곱}(m^2)} \quad (4)$$

식 (4)에서 거리의 제곱은 그림 9와 같이 두 방향에서 촬영한 측면 영상을 이용하여 굴곡의 위치를 측정 한 카메라에서 굴곡까지의 거리이다. 광원의 밝기는 전력량과 같다.

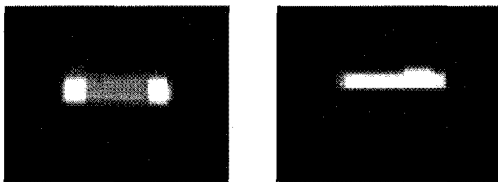


그림 9. 측면 영상  
Fig. 9 Side Image of Semiconductor

조도 소속 함수의 구간은 [Low, Normal, High] 구간으로 구성한다. Low 구간은 굴곡이 함몰된 경우로 정상 제품의 조도량보다 낮다. Normal 구간은 굴곡이 없는 경우로 정상 제품의 조도량과 같다. High 구간은 굴곡이 돌출된 경우로 정상 제품의 조도량 보다 높다. 식(4)를 이용하여 계산된 값을 미리 설계된 퍼지 소속 함수에 적용하여 소속도를 구한다. 조도 소속 함수는 그림 10과 같다.

2.5 퍼지 추론 규칙

소속 함수에서 구해진 소속도를 정의된 퍼지 추론 규칙에 적용하여 최종 소속값을 구한다. 제안된 방법에서는 Max-Min 추론 방법[5]을 적용한다. 표 1은 정의된 퍼지 추론 규칙이다.

표 1. 퍼지 추론 규칙  
Table 1. Fuzzy Reasoning Rules

규칙	조도량	명암도 차이	->	오류 가능성
규칙1	L	L	->	B
규칙1	L	M	->	A
규칙1	L	H	->	A
규칙1	M	L	->	A
규칙1	M	M	->	B
규칙1	M	H	->	A
규칙1	H	L	->	A
규칙1	H	M	->	A
규칙1	H	H	->	B

표 1과 같이 정의된 규칙을 이용하여 반도체 불량 값을 판별하기 위해 각 규칙의 전반부 소속도의 Min 값을 선택하고 불량 가능성에 대한 소속 함수 구간에 Max 값을 무게중심법[6]에 적용하여 비퍼지화 하고 반도체 불량 여부를 판독한다.

그림 11은 불량 가능성을 나타내는 소속 함수 이며, 식(5)는 반도체 불량 여부를 판별하는 임계값을 구하기 위한 비퍼지화 과정에서 적용된 무게중심법이다.

$$p^* = \frac{\sum u(Y_i)X_i}{\sum u Y_i} \quad (5)$$

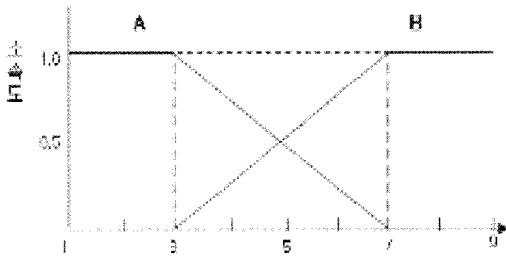


그림 11. 불량 가능성 소속 함수  
Fig. 11 Membership Function for Fault

### III. 실험 및 결과 분석

실험 환경은 IBM 호환 기종의 Pentium-IV PC상에서 Visual C++ 6.0으로 구현하였다. 본 논문에서는 실제 사용되는 반도체 정면 영상과 측면 영상 30쌍을 대상으로 실험하였다. 제안된 방법으로 반도체의 불량을 검출하는 화면은 그림 12와 같다.

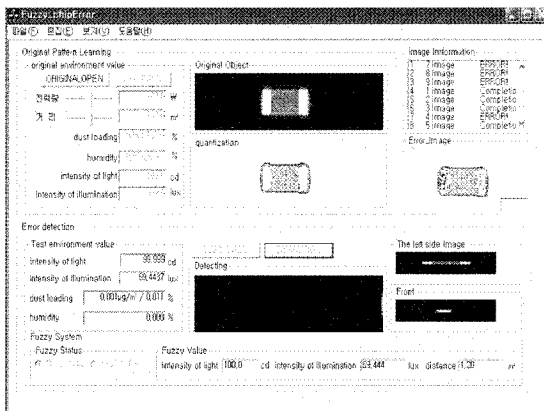


그림 12. 반도체 불량 판별 화면  
Fig. 12 Screen Shot for Fault Detection

제안된 방법을 실제 사용되는 멀티레이어 세라믹 칩 영상 30쌍을 대상으로 적용한 결과는 표 2와 같다. 표 2(a)에서 기존의 방법으로 반도체의 불량을 판독한 결과, 20장의 정상 제품에서 17장만을 정상 제품으로 판별하고 제품에 영향을 미치지 않는 1mm 내의 미세한 굴곡을 가진 정상 제품 3장은 불량으로 판별하였다. 그러나 제안된 방법으로 반도체의 불량을 판독한 결과, 기존의

방법 보다 반도체 불량 판독률이 개선된 것을 표 2에서 확인할 수 있다.

표 2. 불량 추출 결과  
(a) 05A104M (b) 21B474MQ  
Table 2. Result of Fault Detection  
(a) 05A104M (b) 21B474MQ

	기존의 방법	제안된 방법
정상 제품	17 / 20	20 / 20
불량 제품	13 / 10	10 / 10

(a)

	기존의 방법	제안된 방법
정상 제품	16 / 20	18 / 20
불량 제품	14 / 10	12 / 10

(b)

그림 13에서와 같이 테스트 영상 획득시 다른 반도체가 중첩된 경우에는 반도체의 불량 판독에 실패하였다.

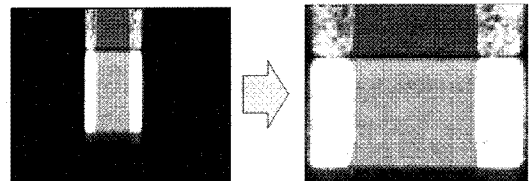


그림 13. 반도체 불량 판독 실패 영상  
Fig. 13 Failed Inspection Case

### IV. 결 론

기존의 반도체 초기 불량을 검출하는 방법은 영상 촬영 도중에 기계의 미세한 진동으로 반도체 영상의 각도가 기울어져 있는 경우에 대해서는 반도체 불량 검출을 정확히 판독할 수 없는 경우가 발생하였다. 그리고 제품 성능에 영향을 미치지 않는 미세한 굴곡을 불량으로 오판하는 문제점도 발생하였다. 따라서 본 논문에서는 각도 보정을 위해서 회전각과 양선형 보판법을 이용하여 반도체 영상의 각도를 보정하는 전처리 과정을

수행하였다. 그리고 제품 성능에 영향을 미치지 않는 미세한 굴곡을 불량으로 오판하는 문제를 해결하기 위해서 굴곡에 대한 조도량의 차이와 패턴 매칭을 이용하여 얻어진 오류 영역의 명암도 차이를 퍼지 소속 함수에 적용하여 결과 값을 추론하였다. 그리고 최종적으로 비퍼지화된 결과 값을 적용하여 반도체의 초기 불량을 판독하였다. 실험에서도 알 수 있듯이 기존의 방법에 비해서 반도체의 초기 불량 판별률이 개선된 것을 확인하였다.

향후 연구 과제는 다양한 종류의 반도체 패턴을 학습 시켜서 다양한 종류의 반도체 영상에서 초기 불량을 검출하고 판별할 수 있도록 할 것이다.

### 저자소개



김광백(Kwang-Baek Kim)

1999년 : 부산대학교  
전자계산학과(이학박사)  
1997년~현재 신라대학교  
컴퓨터정보공학부 교수

2005년~현재 한국해양정보통신학회 학술상임이사  
2007년~현재 Scientific Journals International(USA)  
Editor

※ 관심분야: 퍼지 논리, 영상 처리, 유전자 알고리즘,  
의료정보시스템, 생물정보학

### 참고문헌

- [1] 신장섭, 삼성반도체 세계 일등 비결의 해부, 삼성경제연구소, 2006.
- [2] D. M. Tsai and C. H. Chiang, "Automatic band selection for wavelet reconstruction in the application of defect detection," *Image and Vision Computing*, Vol.21, No.5, pp. 413-431, 2003.
- [3] S. M. Chao, D. M. Tsai, Y. H. Tseng and Y. R. Jhang "Defect detection in low-contrast glass substrates using anisotropic diffusion," *IEEE Trans Proceedings of the 18th International Conference on Pattern Recognition (ICPR'06)*, Vol.1, pp.654-657, 2006.
- [4] S. E. Umbaugh, *Computer Vision and Image Processing*, Prentice Hall PTR, 1998.
- [5] W. Pedrycz, *Fuzzy Control and Fuzzy Systems*, Research Studies Press Ltd., 1989.
- [6] 김광백, 박충식, "퍼지 제어 시스템을 이용한 학습률 자동 조정 방법에 의한 개선된 역전파 알고리즘", 한국해양정보통신학회논문지, Vol. 8, No. 2, pp.464-470, 2004.