

결합검출을 위한 실험적 연구

목종수*(숭실대원) 사승윤(숭실대원) 이명재(성남기능대) 유봉환(숭실대)

An Experimental Study for The Defect Detection

J.S. Mock* S.Y. Sa M.J. Lee B.H. Ryu

Abstract

The semiconductor, which is precision product, requires many inspection processes. The surface conditions of the semiconductor chip effect on the functions of the semiconductors. The defects of the chip surface is crack or void. Because general inspection method requires many inspection processes, the inspection system which searches immediately and precisely the defects of the semiconductor chip surface.

We propose the inspection method by using the computer vision system. This study presents an image processing algorithm for inspecting the surface defects(crack, void) of the semiconductor test samples. The proposed image processing algorithm aims to reduce inspection time, and to analyze those experienced operator. This paper regards the chip surface as random texture, and deals with the image modeling of random texture image for searching the surface defects.

For texture modeling, we consider the relation of a pixel and neighborhood pixels as noncasual model, and extract the statistical characteristics from the random texture field by using the 2D AR model(Autoregressive).

This paper regards an image as the output of linear system, and considers the fidelity or intelligibility criteria for measuring the quality of an image or the performance of the processing technique. This study utilizes the variance of prediction error which is computed by substituting

the gray level of pixel of another texture field into the two dimensional AR(autoregressive model) model fitted to the texture field, estimate the parameter using the PAA(parameter adaptation algorithm) and design the defect detection filter.

Later, we next try to study the defect detection search algorithm.

key word : Random texture(랜덤 결), Image processing algorithm(영상처리기법), 2D AR model(2차원 자기회귀모델), Computer vision system(컴퓨터 비전 시스템), Image modeling(영상 모델링), Parameter adaptation algorithm)(파라미터 적응 알고리즘)

1. 서론

일반적으로 제품의 표면상태나 치수·형상등은 제품의 품질에 많은 영향을 미치기 때문에 일정수준의 품질관리를 위해 제품의 표면상태, 길이, 위치, 폭 등을 측정하여야 하며 또한 이러한 사항들을 검사하는 기술들이 요구되고 있다.

제품의 품질을 측정하는 기존방법은 현장 근로자에 의해 이루어지며, 상당한 인력이 필요하고 육안검사이므로 반복적인 작업으로 인한 작업능력저하, 근로자의 장시간 근무에 따른 피로에 의한 검사의 신뢰성의 감소 및 검사자의 측정오차등 상당한 문제점을 갖고 있다. 또한 육안검사가 어려운 제품들의 증가등 여러요인들에 의해 검사공정의 자동화가 절실히 요구되고 있다.

그러므로 검사공정의 자동화를 통해 생산성 향상, 경비절감, 생산라인의 무인화 및 모니터링을 이룰 수 있으므로 자동검사 시스템의 개발이 절실히 대두되고

있는 실정이다. 최근 검사 공정 자동화시스템에 컴퓨터 비전시스템이 많이 도입되고 있다. 이러한 시스템들은 주로 분말야금제품의 검사공정, 용접품질의 검사공정, 보드의 각도검사, 용선시편의 검사, 웨이퍼표면 결함검사 등에 적용되고 있다.

반도체는 제품특성상 정밀제품이기 때문에 많은 검사공정이 필요하다. 반도체 칩 표면의 상태는 반도체의 기능에 많은 영향을 미치기 때문에 반드시 검사가 이루어져야 한다. 칩 표면의 결함은 반도체 제조공정중의 여러가지 원인에 의하여 발생하며 표면결함은 표면의 크랙이나 기공으로 나타난다. 기존의 검사방법은 전자현미경을 이용하였기 때문에 검사시간이 많이 소요되므로 신속하고 정확하게 결함을 측정하는 검사시스템이 요구되고 있는 실정이다.

본 연구는 반도체 표면을 랜덤결로 보아 표면영상의 데이터가 2차원이기 때문에 서로영향을 받는다는 가정하에 영상데이터 집합을 noncausal 모델로 보아 결함 검출필터를 설계하기 위한 기초단계로 검출필터의 계수를 추정하였다. 지금까지 개발된 결함 검출알고리즘들은 결함검출에 대한 신뢰성을 경험적 데이터나 기존의 검출알고리즘들과 비교하여 검출알고리즘의 신뢰성을 판단하였기 때문에 검출알고리즘의 신뢰성에 대한 판단기준이 모호하다, 따라서 본 연구는 영상선형시스템의 출력으로 보아 필터를 설계하기 위한 기초단계로서 결함검출필터의 계수를 추정하였으며, 더 나아가 결의 특성을 잘 나타낼 수 있는 결영상을 만들어 내고자 한다.

2. 결모델링

결(texture)란 물체의 구조 혹은 그들의 결합관계를 잘 나타내주는 물체표면의 조직구조를 말하며, 여기에는 물체들 사이의 반복성이 없는 random 결과 반복적인 형태를 가지는 regular 결로 나누며 random 결은 주로 시계열모델링, Markov random field modelling, Autocorretation function, Gray level cooccurrence matrix 등과 같은 통계·확률적 해석방법이 많이 쓰이며 regular 결에는 구조적인 해석방법이 많이 쓰인다.⁽¹⁾

본 연구에서는 반도체 칩 표면을 랜덤결로 보아 반도체 표면 영상을 확률적인 방법으로 모델링하여 칩 표면의 특성을 나타내려 한다.

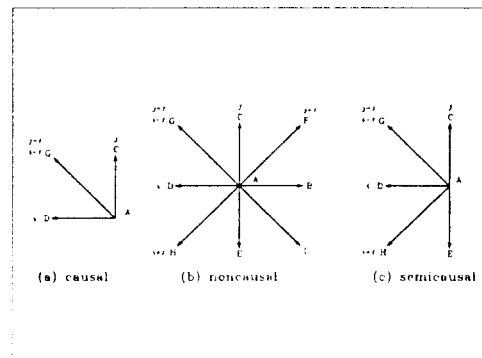


Fig. 1 image data model

확률적인 모델링은 영상내의 임의의 화소와 인접화소사이의 상관관계 특성을 고려하여 임의의 화소와 인접화소사이의 관계를 고려하여 causal 모델, semicausal 모델, noncausal 모델로 분류할 수 있다. Fig. 1은 영상내의 임의의 화소와 인접화소 사이의 관계를 나타내고 있다. 만일 영상이 위에서 아래로, 왼쪽에서 오른쪽으로 주사되었다고 가정한다면 Fig. 1(a)처럼 임의의 한 화소가 앞의 화소에 영향을 받는 경우를 causal 모델이라 하는데, causal 모델은 현재의 데이터는 과거의 데이터에만 영향을 받는것을 나타낸다.

또한 Fig. 1(b)처럼 임의의 화소가 앞과 뒤, 위와 아래의 화소에 영향을 받는다면 이것은 noncausal 모델이라 하며 Fig. 1(c)처럼 임의의 화소가 영향을 받는다면 이것은 semicausal 모델이라 한다.

이러한 형태들의 모델은 AR(autoregressive)모델과 ARMA(autoregressive-movingaverage)모델로 표현될 수 있다.⁽²⁻⁵⁾

3. 2차원 AR 모델

2차원 AR모델은 2차원 평면상의 데이터의 동특성(dynamic characteristic)을 나타내는데 사용된다. 영상내의 한점 $x(i, j)$ 는 평균 0, 공분산 $\chi(i, j)$ 인 랜덤필드의 한 데이터로 가정한다면

$$x_{ij} = \sum_p \sum_q a_{pq} x_{i-p, j-q} + n_{ij} \quad (1)$$

로 나타낼 수 있으며, 여기서 $n(i, j)$ 는 평균이 0이며, 분산이 σ^2 인 가우시안 분포를 가진다.

만일 정의영역이

$$D_1 = [(p, q) \quad -P \leq p \leq P, \quad Q \leq q \leq Q]$$

처럼 정의되어 있으면 noncausal model이라 하며

$$D_2 = [(p, q) \quad -P \leq p \leq P, \quad 0 \leq q \leq Q]$$

처럼 정의되어 있으면 semicausal model이라 하며

$$D_3 = [(p, q) \quad -0 \leq p \leq P, \quad 0 \leq q \leq Q]$$

처럼 정의되어 있으면 causal model이라 한다.

본 연구는 2차원 영상의 데이터 집합을 noncausal model로 보아 2차원 AR모델에 대해 최소자승오차법을 적용하였다.

영상내의 임의의 화소 x_{ij} 에 대한 추정값 \hat{x}_{ij} 은 다음과 같이 정의할 수 있다.

$$\hat{x}_{ij} = \sum_p^P \sum_q^Q a_{pq} x_{i-p, j-q} + n_{ij} \quad (2)$$

임의의 위치의 화소값 x_{ij} 와 그 자리의 추정값 \hat{x}_{ij} 의 오차는 다음과 같이 정의할 수 있다.

$$\begin{aligned} e_{ij} &= x_{ij} - \hat{x}_{ij} \\ &= x_{ij} - \sum_p^P \sum_q^Q a_{pq} x_{i-p, j-q} + n_{ij} \end{aligned} \quad (3)$$

$$\begin{aligned} S &= E [e_{ij}]^2 \\ &= [(x_{ij} - \sum_p^P \sum_q^Q a_{pq} x_{i-p, j-q} + n_{ij})^2] \end{aligned} \quad (4)$$

S를 최소로 하는 계수는 다음과 같이 유도할 수 있다.

$$\frac{\partial S}{\partial a_{kl}} = 0 \quad (5)$$

여기서 $k = 1, 2, \dots, P, \quad l = 1, 2, \dots, Q$ 이며 k, l 은 동시에 0이 될수 없다.

식(5)에 의해 다음관계를 유도할 수 있다.

$$\sum_p^P \sum_q^Q a_{pq} [x_{i-p, j-q} x_{i-k, j-l}] = E [x_{ij} x_{i-k, j-l}] \quad (6)$$

(6)식에 의해 계수 a_{kl} 는 식(7)의 PAA(Parameter Adaptation Algorithm) 알고리즘을 이용하여 구할 수 있다.⁽⁶⁾

$$\begin{aligned} \hat{\theta}(k) &= [a_1(m-1n), a_2(m, n-1), \\ & \quad a_3(m+1, n), a_4(m, n-1)] \end{aligned} \quad (7)$$

$$\begin{aligned} \hat{\phi}(k) &= [x(m-1n), x(m, n-1), \\ & \quad x(m+1, n), x(m, n-1)] \end{aligned} \quad (8)$$

$$\hat{\theta}(k+1) = \hat{\theta}(k) + F(m+1, n) \phi(m, n) \varepsilon(m+1, n) \quad (9)$$

$$F(m+1, n) = F(m, n) + \frac{F(m, n) \phi^T(m, n) \phi(m, n) F(m, n)}{1 + \phi^T(m, n) F(m, n) \phi(m, n)} \quad (10)$$

$$\begin{aligned} \hat{\varepsilon}(m+1, n) &= x(m+1, n) - \hat{a}_1 x(m-1, n) \\ & \quad - \hat{a}_2 x(m, n-1) - \hat{a}_3 x(m-1, n) - \hat{a}_4 x(m-1, n) \end{aligned} \quad (11)$$

3. 실험장치 및 방법

3.1. 실험장치

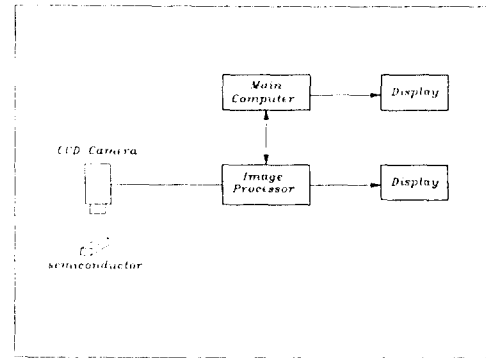


Fig. 2 Experimental Equipment

Fig. 2는 본 실험의 실험장치이며 메인컴퓨터는 486 DX-II를 이용하였으며 영상획득과 처리를 위한 영상 보드는 DT2853을 사용하였다. 그리고 영상획득을 위한 광학시스템을 구성하였으며 할로겐 램프를 조명으로써 CCD카메라로 광학테이블에 고정되어 있는 반도체 칩의 영상을 획득하였으며 Fig. 3, Fig. 4, Fig. 5, Fig. 6은 측정대상인 반도체 칩을 확대($\times 15$) 하여 얻은 것이다.

3.2 실험방법

본 실험은 반도체 칩의 표면결함을 영상처리기법을

이용하기 위해 결함이 있는 반도체와 결함이 없는 반도체를 임의로 선정하였다. 컴퓨터 비전 시스템을 이용하여 우선 표면결함이 없는 반도체 표면의 영상을 획득하였다.

Fig.2 은 본 연구에서 적용된 결함검출 알고리즘을 나타내는 흐름도이다.

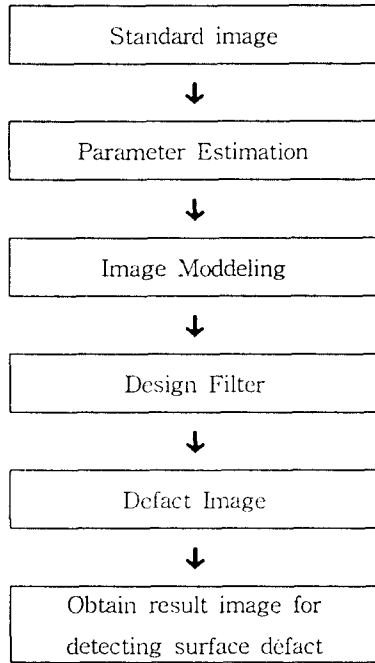


Fig.2 Flow Chart for detection defect algorithm

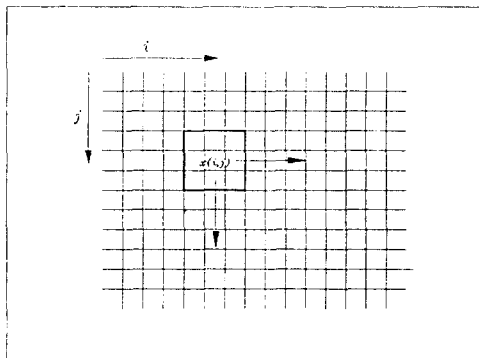


Fig. 3 moving window

획득된 영상내의 반도체 표면부분의 일부를 16×16 화소의 크기를 가진 영역을 임의로 정의한후 정의된 영역에 Fig.3처럼 3×3의 크기를 갖는 윈도우를 정의영역의 왼쪽에서 오른쪽, 위에서 아래쪽으로 이동시키며

이동하는 창내의 화소관계를 noncasul모델로 보아 윈도우내의 계수 $a_1(i-1,j)$, $a_2(i,j-1)$, $a_1(i+1,j)$, $a_1(i,j+1)$ 를 PAA 알고리즘으로 추정한다. 이렇게 추정된 계수를 필터의 계수로 사용하여 결함이 있는 영상에 결함검출필터를 적용하여 결함식별이 가능한 개선된 영상을 획득한다.

4. 실험결과 및 고찰

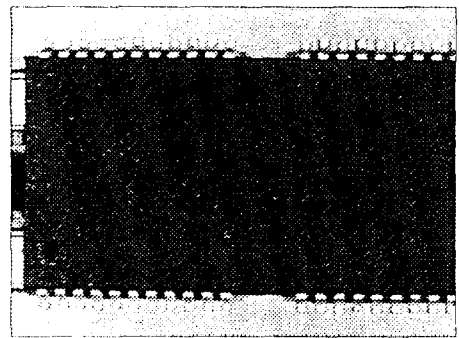


Fig. 4 Type- I image of semiconductor

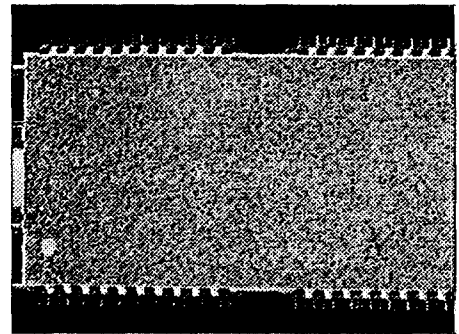


Fig. 5 The result image of type I

Fig. 4는 약간 거칠은 형태(type I)를 갖는 반도체 표면영상이며, Fig. 5는 type I의 영상데이터에 대해서 추적한 계수를 이용한 필터를 적용하여 얻은 영상이다.

그림에서 보는바와 표면과 배경을 분리를 위해 전 처리과정등을 하지 않고도 배경과 표면을 쉽게 분리할 수 있었으며, 필터를 적용하여 육안으로 기공의 위치를 쉽게 찾아 볼 수 있는 개선된 영상을 얻을 수 있었다.

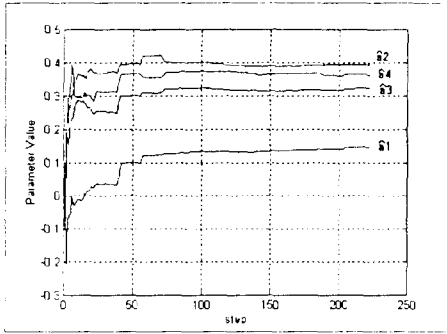


Fig. 7 the estimated parameter

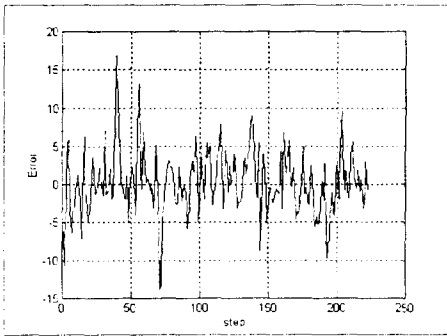


Fig. 7 error of estimated value and observation data value (type I)

Fig. 6은 type I에 대한 계수 추정을 나타내며, Fig. 7은 실제영상값과 예측된 영상값의 오차를 나타내고 있다. 오차상태가 백색잡음상태를 나타내고 있으므로 볼 수 있기때문에 추정된 계수가 영상데이터의 특성을 잘 나타낸다고 볼 수 있다.

$a_1=0.147$, $a_2=0.394$, $a_3=0.322$, $a_4=0.364$ 는 type I의 영상에 대해 추정된 계수이며, type II에 대한 추정 결과는 $a_1=0.599$, $a_2=0.126$, $a_3=0.428$, $a_4=0.48$ 로 나타났으며, 이 계수들은 각각의 다른 표면상태를 가지고 있는 반도체 표면 결의 특성을 잘 나타낸다고 볼 수 있으므로 추정된 계수들을 이용해 개선된 표면영상을 얻을 수 있었으며 반도체 표면과 배경을 분리하기 위한 쓰레쉬홀딩이나 에지검출등과 같은 영상전처리과정을 생략할 수 있음으로 영상처리시간을 줄일 수 있었다.⁽⁷⁾

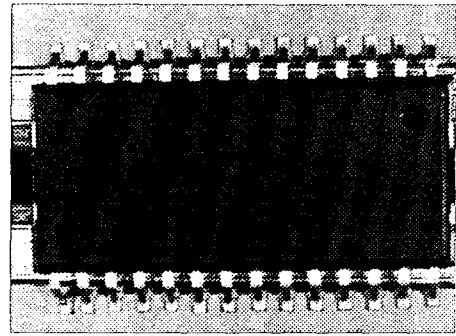


Fig. 8 Type II image of semiconductor

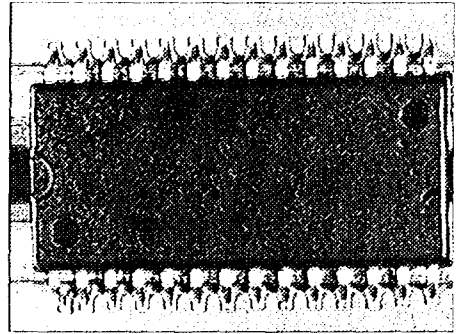


Fig. 9 The result image of type II

Fig. 6은 type I보다 고운 표면을 가진 type II의 영상이며 Fig. 7은 Fig. 6의 영상데이터를 이용하여 계수추정을 한 필터를 적용하여 얻은 결과영상으로 육안으로 기공이나 크랙을 쉽게 확인할 수 있었다.

그러나 정의영역과 윈도우의 크기를 임의로 정의하였기 때문에 주어진 상황에 대한 영상데이터내의 화소 사이의 관계를 좀 더 명확하게 규정할 수 없었기 때문에 주어진 상황에 맞는 임의의 영역, 윈도우의 크기 및 AR모델의 적합한 차수를 정할 수 있는 연구가 필요하다.

또한 조명상태가 영상처리에 많은 영향을 미치나 반도체 표면에 적합한 조명시스템을 고려하지 않았으므로 반도체 표면에 적합한 조명시스템의 개발이 필요하다.

추정된 계수들을 적용한 필터를 이용하여 결함들을 가시적으로 쉽게 구별할 수 있는 개선된 영상을 얻을 수 있었으나 검출된 결함에 대한 정량적 기준정립이 필요하며 이러한 필터를 통한 영상내의 결함을 자동으로 검출할 수 있는 결함탐색알고리즘에 대한 연구가

발이 필요하다.

7. Gonzalez and Woods, *Digital Image Processing*, Addison Wesley, 1992

5. 결론

이상과 같은 실험결과를 통하여 다음과 같은 결론을 얻을 수 있었다.

1. 랜덤결의 데이터 집합에 대해 noncausal모델을 적용함으로써 noncausal모델이 랜덤결을 잘 나타낼 수 있다는 것을 알 수 있었다.
2. PAA알고리즘을 이용하여 반도체 표면을 잘 나타낼 수 있는 계수들 추정할 수 있었다.
3. 추정된 계수를 검출필터의 계수로 사용하여 결함이 있는 영상에 적용시켜 영상내의 결함을 식별할 수 있는 개선된 영상을 얻을 수 있었다.
4. 계수추정을 통한 필터를 설계함으로써 배경과 표면이 자동으로 구별되이기 때문에 표면과 배경을 분리하기위한 쓰레쉬홀딩, 에지검출, 영상분할등과 같은 영상전처리가 불필요하다는 것을 알 수 있었다.

6. 참고문헌

1. G. R. Cross and A. K. Jain, "Markov Random Texture Models", IEEE Trans. Vol. PAMI-5, pp. 25~39, 1983
2. A.K. Jain, "Advances in Mathematical Model for Image Processing", IEEE, Vol. 69(5), pp. 502~528, 1981
3. A.K. Jain, *Fundamental of Image Processing*, Prentice Hall, 1989
4. Chellppa, Rangasmil and Kashyap, "Texture Synthesis Using 2-D Noncasul Autoregressive Models", IEEE Trans Acoustic, Speech. and Signal Processing, Vol, ASSP-33, Nov. 1985
5. Shunichiro Oe, "Texture Segmentation Method By Using Two-Dimensional AR Model and Kullback Information", Pattern Recognition, Vol. 26, No. 2, pp. 237~244, 1993
6. I. D. Landau, *System Identification and Control Design*, Prentice Hall, 1990