

## 초음파 신호처리에 의한 반도체 패키지의 접합경계면 결함 검출에 관한 연구

### A Study on the Detection of Interfacial Defect to Boundary Surface in Semiconductor Package by Ultrasonic Signal Processing

김재열\*, 홍 원\*\*, 한재호\*\*

Kim Jae-Yeol\*, Hong Won\*\* and Han Jae-Ho\*\*

초 록 본 연구는 다중박막(multi-layer) 구조 모델에 대한 초음파 신호처리 적용으로 접합경계면의 결함검출에 관한 연구이다. 이를 위해서 먼저 반도체 검사법에 의하여 박리(delamination), 다이 균열(die crack), 기포(void)의 유무를 확인할 수 있었고, 각 접합계면에서의 단위 cm당 결함 오차율을 모집군 25%이하에서 0.003%까지 측정 가능하였다. 또한 초음파 화상처리를 이용하여 결함 판독 프로그램을 위한 각 패키지별 화상을 8단계에서 16단계까지 데이터베이스화 할 수 있었고, 최종 결과 화면에서는 결함정도를 확률로 표현 가능하도록 하였으며, 기포의 가능성도 추론해 볼 수 있다. 그리고, 박리검사 프로그램(delamination inspection program)에 의하여 결함의 크기와 결함의 원인을 16단계로 추론하고, S.A.T 장치에 귀환(feedback) 시킬 수 있는 매개변수를 찾을 수 있었다. 특히, 반도체 결함추출 알고리즘 개발로 반도체 결함검사 자동화의 기틀을 마련하였고, 향후 결함을 세분화하고 다양한 반도체 패키지별로 데이터베이스를 구축한다면, 온라인 상태에서 보다 많은 검사를 수행할 수 있는 인공지능형 자동검사 시스템 구현이 가능할 수 있도록 하였다.

**Abstract** Recently, it is gradually raised necessity that thickness of thin film is measured accuracy and managed in industrial circles and medical world. Ultrasonic signal processing method is likely to become a very powerful method for NDE method of detection of microdefects and thickness measurement of thin film below the limit of ultrasonic distance resolution in the opaque materials, provides useful information that cannot be obtained by a conventional measuring system. In the present research, considering a thin film below the limit of ultrasonic distance resolution sandwiched between three substances as acoustical analysis model, demonstrated the usefulness of ultrasonic signal processing technique using information of ultrasonic frequency for NDE of measurements of thin film thickness. Accordingly, for the detection of delamination between the junction condition of boundary microdefect of thin film sandwiched between three substances the results from digital image processing.

#### 1. 서 론

종래의 박막 두께 측정 방법은 IC 패키지(package) 내의 칩의 접착층의 두께나 생체내의 박막 등 불투명한 물체내에 존재하는 박막의 두께 측정[1]에는 적용이 불가능하였으나 이와 같은 두께측정에 초음파 신호처리법을 이용한다면 정도 좋게 불투명한 물체내의 막 두께 측정이 가능하지만 막의 두께가 초음파 pulse의 거리

분해능 보다 얇은 경우에는 A-scope 등의 방법으로는 측정이 곤란하다. 본 연구에서는 초음파 펄스의 거리 분해능 이하의 박막 접착층을 갖는 3층 구조물을 해석 모델로 생각하고, 현재 초음파 계측장비로 각광받고 있는 S.A.T.(scanning acoustic tomograph) 장비를 사용하여 반도체 결함의 종류를 살펴보고, 반도체 결함의 종류를 토대로 데이터베이스를 구축함으로써, 기존 Sonix, Hitachi, Philips 등의 S.A.T 장치에

서도 측정가능한 화상처리를 한단계 더 발전시켜 반도체 검사 부분에서 데이터베이스를 기초로 하여 자동화 시스템을 구현함으로써 화상처리 데이터를 이용하여 귀환제어하여 보다 많은 샘플링에 대한 검수과정을 가질 수 있도록 하고자 한다. 또한 초음파 신호처리법에 의한 박판의 접합계면의 결함 검출을 위해서 초음파를 이용한 미소 결함검출의 평가를 보다 더 확실하게 하기 위해서 디지털 데이터 신호처리와 디지털 화상처리의 기능을 강화 시킬 필요가 요구되고 있다. 최근 들어서는 고주파를 사용하여 표면근방의 미소결함의 관찰이나 물성 평가 및 복합재료의 건전성 등의 평가에도 이용되고 있다. 그러므로 박막 접착층의 미소 결함 검출을 위해서 화상처리기술의 효과적인 적용으로 경계면 미소결함 분류를 정량화할 수 있을 것으로 보며 주기적인 극대치와 극소치의 패턴으로부터 3층 구조물질의 음향 임피던스의 대소 관계를 알 수 있으며 접착층을 갖는 공학 및 의학 분야의 물질의 두께 측정이나 음속 측정 등의 물질 평가나 비파괴 평가에 응용할 수 있는 새로운 비파괴 응용 계측 기법으로 본 연구의 결과가 기대된다. 반도체 검사 및 평가공정에서 더욱 제품화로 진행시키고자 하는 데에는 본 연구와 같은 대량생산 체제에 맞는 평가체제의 확립이 불가결하기 때문이다. 반도체 패키지의 구조에 대한 검사에 있어서 자동화된 평가시스템을 구축하고 신속한 양품의 선별을 행할 필요가 있다고 사료된다[1].

2. 반도체 내부 결함

초음파 현미경(S.A.T)으로 검사할 수 있는 반도체 내부 결함으로는 박리, 패키지 균열(package crack), 실리콘 칩 균열(silicon chip crack), 기울어 짐(tilt), 기포 등이 있다.

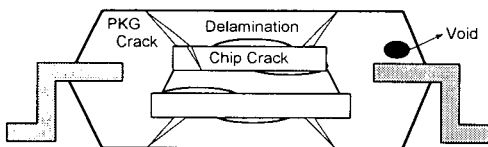


Fig. 1 The sort of inspectable badness

2.1. 박 리

박리는 성형된 물질의 들뜬형태(剝離)를 말한다.

Fig. 2는 반도체 패키지를 나타내는데, 적색부분은 성형된 다이(die) 경계면의 박리를 보여주고 있다.

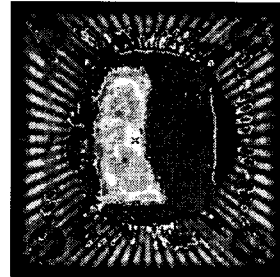


Fig. 2 Delamination (phase inversion)

2.2. Popcorn 균열

균열은 다이의 방열에 수직으로 깨지는 현상인데, Fig. 3은 B-scan화상으로서 다이패드(die pad) 가장자리 부분에서 균열이 진전되어 있음을 알 수 있다.

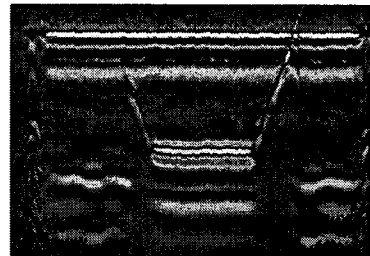


Fig. 3 Popcorn crack (B-scan image)

2.3. 다이 기울어짐(die tilt)

다이 기울어짐(die tilt)은 Fig. 4와 같이 die가 경사지게 되는 현상으로 컴파운딩(compounding)중에 종종 일어나는데, 불균형된 압력차에 의하여 발생되며, 심한 경우 다이균열(die crack)의 원인이 될 수 있다.

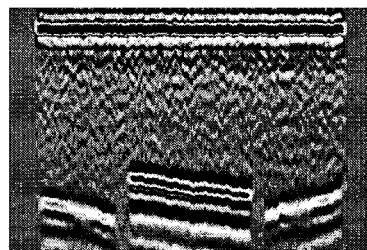


Fig. 4 Die tilt (B-scan image)

2.4. 다이 접착 기포(Die Attach Voids)

Die voids는 Fig. 5와 같이 접착중에 집합면에 수분이나 공기가 함유되어 있을 때 나타나는 현상을 말한다.



Fig. 5 Die attach voids

3. S. A. T. System 구성

본 연구에서 사용된 S.A.T 검사 시스템은 Sonix사의 3축 스캐너를 사용하였고, 초음파센서(ultrasonic probe)는 15MHz와 25MHz를 사용하였으며, 오프라인 해석은 Alpha-2000 모델링 툴(modeling tool)을 사용하여 해석하였다. 시스템의 구성은 초음파를 송신하기 위해서 초음파센서에 전압을 인가하는 유닛(unit)으로 초음파 발진기(pulser)와 초음파를 송신한 후 피검체의 표면 및 저면으로부터 반사되어 오는 미약한 초음파를 수신하여 증폭하는 수신부(receiver), 피검체를 올려놓는 수조와 x, y, z축의 구동모터와 그것을 제어하는 전자장치로 이루어져 있는 스캐너, 초음파 유닛들로부터 받은 데이터를 소프트웨어적으로 처리하여 화상으로 나타내주거나, x, y, z축 구동모터를 움직이는 자료처리부(data acquisition and processing unit)들로

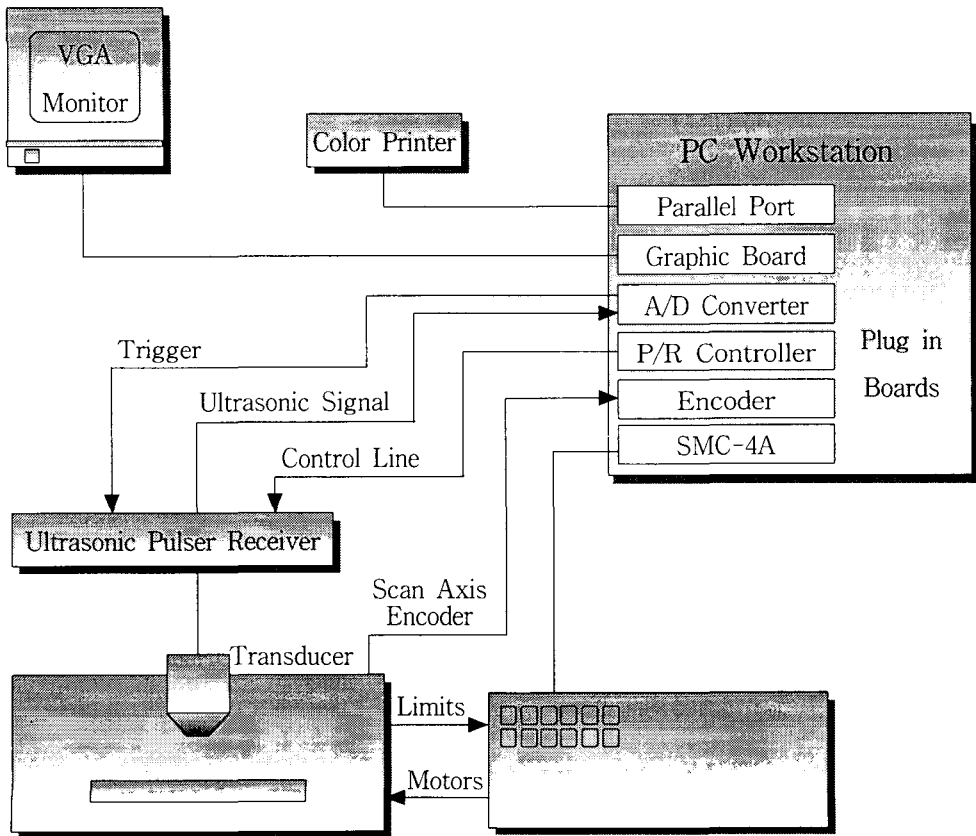


Fig. 6 The schematic diagram of S. A. T system

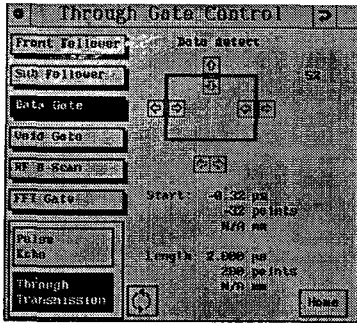


Fig. 7 Data gate setup (T-scan)

이루어져 있다[2].

Fig. 6은 본 연구의 실험에 사용된 S.A.T 장비의 전체적인 시스템 구성도를 나타낸다.

4. 실험 결과 및 데이터 분석

S.A.T 장치를 이용한 초음파 박막 두께 측정에 있어서 정밀도는 S.A.T의 초음파 탐촉자의 정밀도에 의해 결정되고 이는 S.A.T 화상에서 비교되므로, 실험에서 별도의 초음파 두께 측정은 고려하지 않아도 되었다.

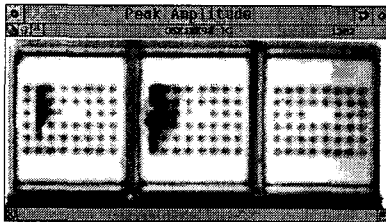
S.A.T system을 구동하기 전에 기본 파라미터를 설정하게 되고, Fig. 7은 T-scan system 구동하기 전 data gate를 설정하는 화면을 보이고 있다. T-scan에서의 데이터 검출은 반도체의 경우 5%를 기본 설정치로 실험하였는데, T-scan과 C-scan은 역상의 관계에 있으므로 C-scan에서는 95%를 기본값으로 하여 측정하였다.

Fig. 8의 (a)는  $\mu$ BGA(micro ball grid array)의 peak amplitude, (b)는 phase inversion, (c)는 (b)의 1지점에서의 A-scan 화상 (d)는 (b)의 2지점에서의 A-scan image를 보여주는는데, (c)와 (d)에서 보는 바와 같이 결함이 있는 계면에서의 peak point 방향이 위쪽을 함함(위상:+)을 알 수 있었다.

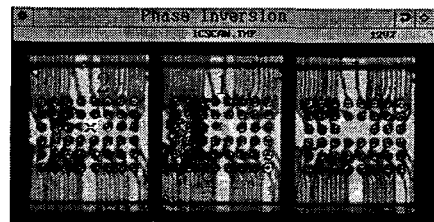
Fig. 9는 BGA를 3차원 형상으로 도시한 화면으로, x축과, y축의 거리와 시험대상물의 크기를 비교할 수 있는 좌표로 구성된다.

Fig. 10은 패키지균열(package crack)을 3차원 형상으로 도시한 화면으로, 종축으로 균열이 진전해 있음을 알 수 있었다.

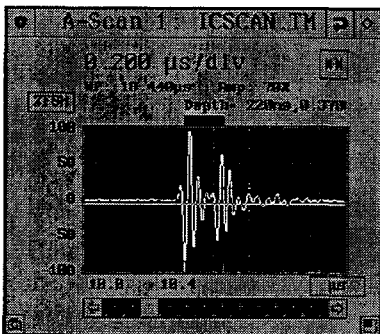
지금까지 살펴 본 화상에서 알 수 있듯이 결함이 있는 계면에서의 특성은 C-scan에서는 많은 양의 초음파가 반사하므로 흰색으로 나타나고, T-scan에서는 적



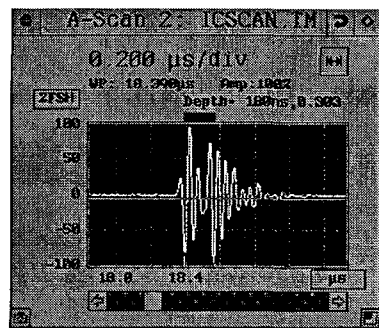
(a) peak amplitude



(b) phase inversion



(c) A-scan 1



(d) A-scan 2

Fig. 8 T-Scan image ( $\mu$ BGA)

은 양의 초음파가 투과하므로 검은색으로 보인다는 것을 알 수 있었다. 또한 장비에서 출력된 화상은 256단계 이상의 정보를 가지고 있는 화상으로 이것을 화상처리에 의해 gray level로 자료화하고 다시 2치화 하였다[3]. 이 화상의 흑백 대비는 화상처리의 중요한 변수가 되었다.

5. 화상 해석 및 프로그래밍

본 프로그래밍에는 화상처리에서 다른 이론을 바탕으로 Fig. 6의 순서도 차례로 입력화상을 처리하였는데, 먼저 히스토그램을 작성하고 임계값을 정한 후 명도(bright)와 채도(contrast)를 조정하고 평활화(smoothing)한 후 2치화(binazition)하였고, 다시 오차율을 고려하여 결함 정도를 추정할 수 있었다. 이 방법은 먼저 2치화하고 평활화한 후 외곽선을 추출하는 보편적인 화상처리와 순서를 달리하는데, 얻고자 하는 결과값이 틀림에 원인을 찾을 수 있었다[4].

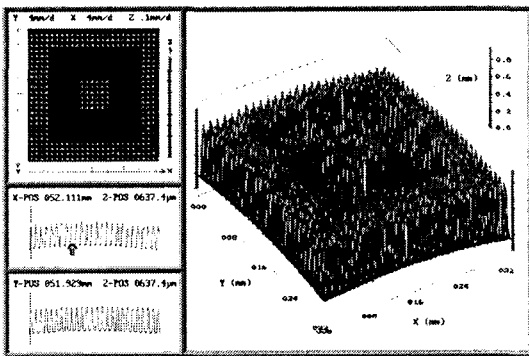


Fig. 9 3D full view (BGA)

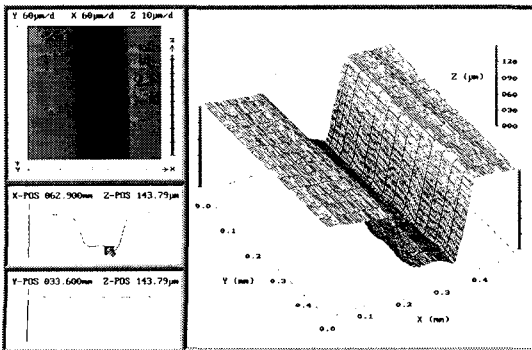


Fig. 10 Package crack 3D area view

5. 1. 디더법(Dither Method)

계조화상을 4계조 (2비트)로 표시하였기 때문에, 원화상에는 존재하지 않는 명확한 모조 윤곽선이 나타나 있어, 화질을 지극히 떨어 뜨리고 있다. 이 모조 윤곽선을 두드러지지 않게 하기 위해 잡음을 가하는 방법이 있는데 이를 디더법(dither method)이라고 한다.

칼라 디더는 흑백 디더의 처리 방법에 전처리 과정이 포함되어 있지만 프로그래밍에서는 입력화상이 흑백이므로 고려치 않아도 되었다[5].

5. 2. 2치 디더법

각 화소의 농도 신호에 잡음을 더하여 화상 농도를 변화시킨 후에 임계값 처리에 의해 2치화하면, 모조의

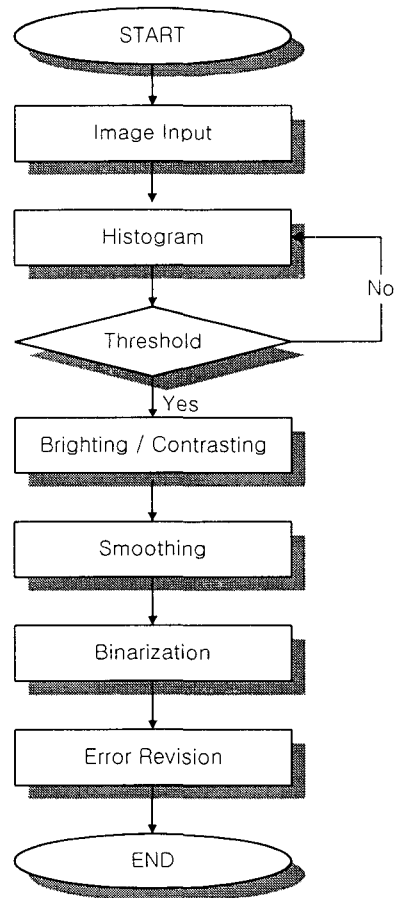


Fig. 11 Flowchart of program

윤곽선이 비교적 두드러지지 않게 된다. 이러한 방법을 2치 디더법 또는 간단히 디더법이라고 한다. 현재 널리 사용되고 있는 디더법은 Fig. 12와 같이, 어떤 규칙에 따라서 생성되는 임계값  $T_{x,y}$ 와 입력 화상 농도  $g(x, y)$ 를 비교하여, 그 결과를 "1"의 흑 레벨이나 "0"의 백 레벨로 결정해 2치 표현한다[6].

5.3. 평균 오차 최소법

원화상의 농도  $g(x, y)$ 와 디더법에 의해 표시된 농도  $p(x, y)$ 의 오차  $E_{x,y}$ 를, 평균으로써 작게 되도록 결정하는 것이 평균 오차 최소법이며, 일반적인 임계값  $T_{x,y}$ 는 식 (1)로써 결정한다.

$$T_{x,y} = \frac{1}{2} + \frac{1}{\sum_{k,l} \alpha_{k,l}} \sum_{k,l} \alpha_{k,l} \cdot E_{x+k,y+l} \dots\dots\dots (1)$$

$$\alpha_{k,l} = \begin{bmatrix} 1 & 3 & 5 & 3 & 1 \\ 3 & 5 & 7 & 5 & 3 \\ 5 & 7 & * & & \end{bmatrix}$$

여기서  $\alpha_{k,l}$ 은 가중값(weight) 계수로서 현재 주목하고 있는 화소  $g(x, y)$ 의 근처에 있는 화소일수록 큰 값의 가중값을 가한다. 그리고 \*는 주목 화소이다[7].

5.4. 임계값 처리

계조 화상이 주어졌을 경우, 그 해석 처리의 방법을 크게 나누면 농도값을 직접 이용해서 해석하는 방법과 주어진 화상을 2치의 도형으로 변환시킨 후에 그 2치 도형을 대상으로 해석하는 방법이 있다. 임계값 처리는 2치 도형을 대상으로 화상을 해석할 때 각종의 특징을 추출하기 위한 전처리로서 필요하며 중요한 의미를 가진다. 화상에서 특징을 추출하기 위하여 가장 널리 사용되고 있는 방법이 화상을 임계값 처리하는 것이다[8].

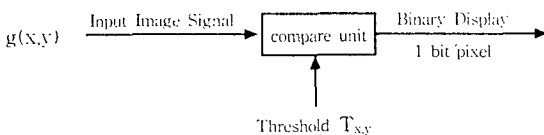


Fig. 12 The principles of the binary dither method

5.5. 모집군 선택(group select)

입력된 화상은 기포나 박리와 같이 군락을 형성하게 하였으며 모집군선택을 위해서 Fig. 13과 같이 도형 형상 인식을 위한 수직선 마스크와 수평선 마스크를 사용하였다.

만약, 모집군을 선택하지 않고 화상처리를 한다면 명도(bright)와 채도(contrast)를 단계적으로 처리할 때 결합이외의 화상도 결합으로 인식될 수 있었다[9].

또한 Fig. 14와 같이 모집군을 선택하지 않고 화상 처리를 하면 다이 윗(die top)의 가장자리에 존재하는 결합이 최종 2치화 명도(bright)/채도(contrast) 변 화시 원하는 화상이 나오지 않았다.

Fig. 15는 모집군을 선택한 화면으로 세 번째 화면에서 잡음이 제거 된 형태를 보여준다.

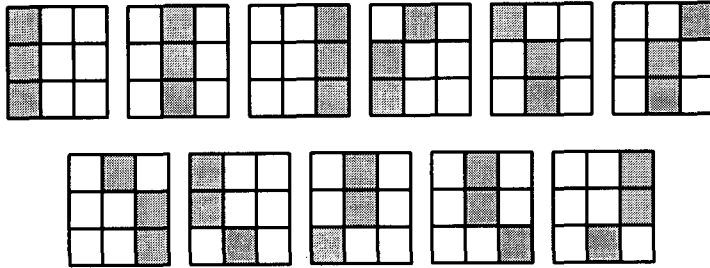
디더링(dithering)을 거치기 전 256 gray level의 화상은 흑백의 중간단계를 결합으로 보느냐 보이지않느냐 하는 문제를 해결해야 최종결과 오차를 최소화 할 수 있다. 프로그래밍에서는 명도(bright)와 채도(contrast)를 증가하는 방향으로 화상처리 루틴을 설계했기 때문에 실제 결합보다 처리과정의 오차만큼 커졌다. 그래서, 최종 화상에서 오차 만큼을 빼 준 값이 실제 결합의 분포를 나타내었다[10].

Fig. 16은 메쉬법(mesh method)에 의한 화상 픽셀(image pixel) 값과 각 단계별(8/16단계) 명도값을 조절한 후 처리과정의 오차율을 비교하였는데, bright를 조절한후 데이터를 살펴보면, 단위길이(cm)당 모집 군의 크기가 크면 오차율이 적다는 것을 알 수 있었고, 오차율은 단위 cm당 모집군 25%이하때의 0.003부터 75%때의 0.031까지 변화함을 알 수 있었다.

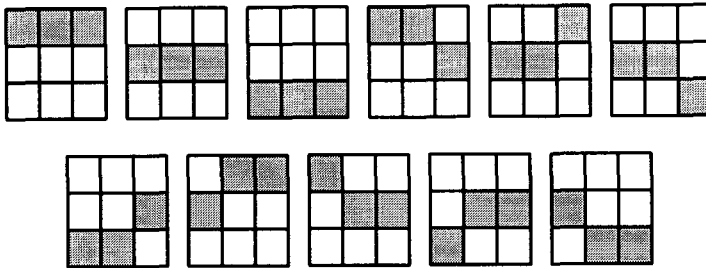
Fig. 17은 메쉬법(mesh method)에 의한 화상 픽셀(image pixel) 값과 각 단계별 채도(contrast)값을 조절한 후 오차율을 비교한 것으로 contrast를 조절한후 데이터를 살펴보면, 단위길이(cm) 당 모집군의 크기가 크면 오차율이 적다는 것을 알 수 있었고, 오차율은 단위 cm당 모집군 25%이하 0.003에서 75%이상에서 0.032까지 변화함을 알 수 있었다[11].

상반전(image reverse)은 프로그래밍에서 채택한 기본 알고리즘을 C-scan 화상에 기초를 뒀기 때문에 각 스캔 방법에 따라 알고리즘을 작성하는 것 보다 더 효율적이었다[12].

즉 C-scan 화상은 원화상을 그대로 처리하고, T-



(a) vertical mask



(b) horizontal mask


 black pixel     white pixel

Fig. 13 Mask for diagram recognition

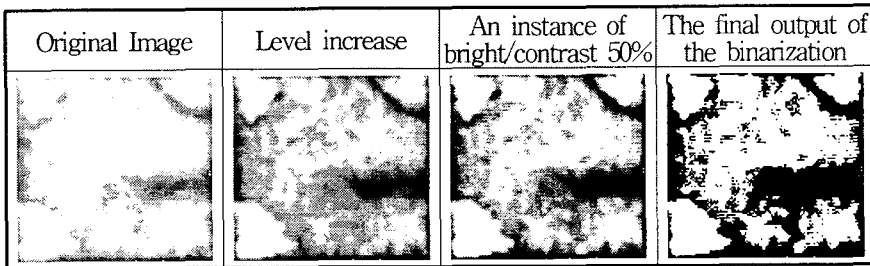


Fig. 14 A practice applied to non-grouping

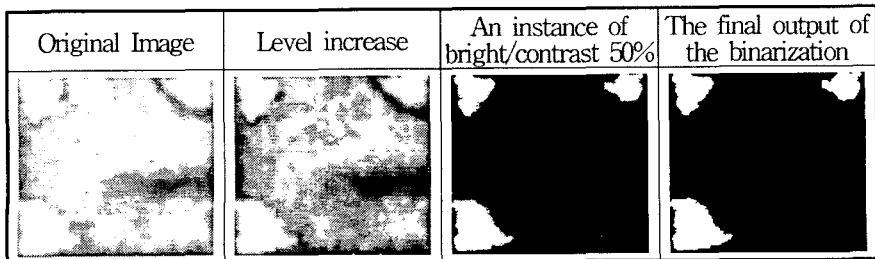


Fig. 15 A practice applied to grouping

scan 화상은 중간 단계에 상반전(image reverse)이라는 단계를 두어 C-scan 화상 처리 루틴과 동일 방법으로 처리하였다.

Fig. 18은 화상처리 매개변수를 결정하는 단계로, 첫번째는 입력되는 화상의 스캐닝 방법(scanning method)을, 두 번째는 명도(bright)와 채도(contrast)를 몇 단계로 나누어 처리할 것인지를 결정

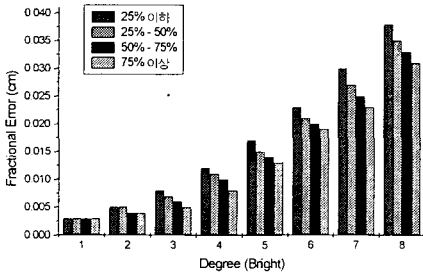


Fig. 16 Error ratio (bright)

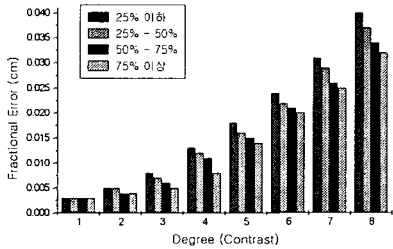


Fig. 17 Error ratio (contrast)

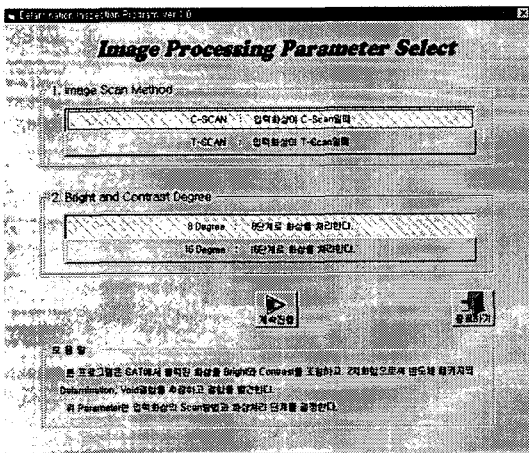


Fig. 18 Image processing parameter select

할 수 있도록 처리 하였다. 8단계를 선택하면 속도는 빠르고 에러율은 16단계보다 조금 높았고, 16단계를 선택하면 속도는 8 단계보다 느리지만, 에러율은 낮음을 알 수 있었다.

Fig. 18, Fig. 19, Fig. 20은 결함 검출용 전문가용 프로그램 화면으로써, Fig. 18에서는 입력화상, Fig. 19에서는 결과 출력값을 선택하도록 하였고, Fig. 20은 최종 결과값을 보이도록 하였다.

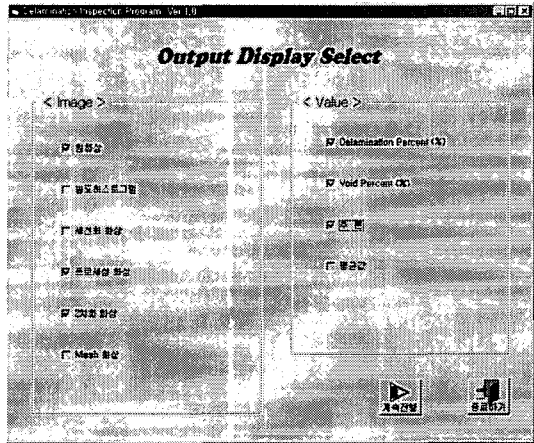


Fig. 19 Output display select

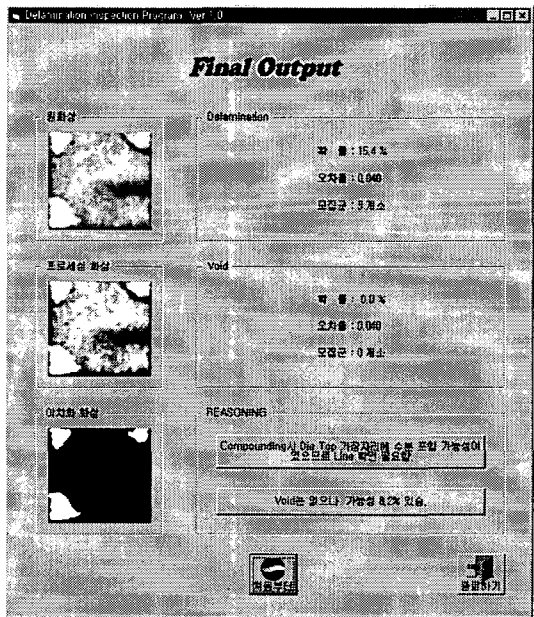


Fig. 20 Final output display



## 6. 결 론

이상과 같이 초음파 신호처리 기법과 S.A.T 시스템을 적용해서 반도체 패키지(package) 결함의 종류분석과 검사방법으로 다음과 같은 결론을 얻을 수 있었다.

- 1) 반도체 검사법에 의하여 박리, 다이 균열, 기포의 유무를 확인할 수 있었고, 각 접합계면에서의 단위 cm당 결함 오차율을 모집군 25%이하에서 0.003%까지 측정 가능하였다.
- 2) 초음파 화상처리를 이용하여 결함 판독 프로그램을 위한 각 패키지별 화상을 8단계에서 16단계까지 데이터베이스화 할 수 있었고, 최종 결과 화면에서는 결함정도를 확률로 표현 가능하도록 하였으며, 기포의 가능성도 추론해 볼 수 있었다.
- 3) 박리검사프로그램(delamination inspection programming)에 의하여 결함의 크기와 결함의 원인을 16단계로 추론하고, S.A.T 장치에 귀환(feedback)시킬 수 있는 매개변수를 찾을 수 있었다.
- 4) 반도체 결함추출 알고리즘 개발로 반도체 결함검사 자동화의 기틀을 마련하였고, 향후 결함을 세분화하고 다양한 반도체 패키지별로 데이터베이스를 구축한다면, 온라인상태에서 보다 많은 검사를 수행할 수 있는 인공지능형 자동검사 시스템 구현이 가능하리라 본다.

## 후 기

본 연구는 한국과학재단의 핵심전문연구(과제번호: 971-1001-004-2) 지원비에 의해 연구되었으며 이에 감사드립니다.

## 참고문헌

- [1] 김재열, "초음파를 이용한 반도체 패키지의 미소결함 검출을 위한 화상처리에 관한 연구", 한양대학교 대학원 박사학위논문, (1990)
- [2] David. Broek., "The practical use of fracture mechanics" Kluwer Academic Publishers, pp. 123-167, (1988)
- [3] E. Oran Brigham., "The fast Fourier transform and its applications" Prentice-Hall, pp. 131-166, (1988)
- [4] J. L. Rose, J. B. Nestleorothand and K. Banlasubramanian, "Utility of feature mapping in ultrasonics non-destructive evaluation", Ultrasonics, Vol. 26, pp. 124-131, (1988)
- [5] H. C. Andrews and B. R. Hunt: Digital Image Restoration, Prentice-Hall, (1977)
- [6] IIW Collection Reference Radiographys for Weld in Steel., (1965)
- [7] Mahalanobis, P. C., "On the generalized distance in stastics", Proc. Nat. Inst. Sci. Calculate, Vol. 12, pp. 49-55, (1936)
- [8] J. L. Rose, "Element of a feature-based ultrasonic inspection system", Materials Evaluation, Vol. 42, No. 2, pp. 210-218, (1984)
- [9] J. L. Rose, T. H. Jeong, E. Alloway, and C. T. Cooper, "A methodology for reflector classification analysis in complex geometric welded structures", Materials Evaluation, Vol. 42, No. 1, pp. 98-106, (1984)
- [10] W. K. Pratt: Digital Image Processing, John Wiley, (1978)
- [11] David Broek, "Elementary engineering fracture mechanics" Martinus Nijhoff Publishers, pp. 33-116, (1986)
- [12] Gordon S. Kinond., "Acoustic waves" Prentice-Hole, pp. 1-14, pp. 92-110, (1987)
- [13] Fredric J. Harris., "On the use of windows for harmonic analysis with the discrete fourier transform" IEEE, Vol. 66, No. 1, (1978)
- [14] O. R. Gericke., "Determination of the geometry of hidden defects by ultrasonic pulse analysis testing", The Journal of Acoustical Society of America, Vol. 35, No. 3, (1975)
- [15] O. R. Gericke., "Ultrasonic spectroscopy" Army Materials & Mechanics Research Center, pp. 299-320, (1980)
- [16] R. B. Randall, B. Tech., B. A., "Frequency analysis" Brüel & Kjaer, pp. 49-67, pp. 165-171
- [17] S. Serabian, "Ultrasonic size determinations of inclined flaw-use of response envelope width", British J. of NDT, Vol. 23, No. 9, pp. 281-285, (1981)
- [18] J. T. Tou, Pattern Recognitionand Principles, Addison-Willey Publishing Company, (1974)