

초음파를 이용한 실리콘 칩 주위의 결함 검출에 관한 연구

- 화상처리에 의한 threshold value의 자동 결정법 -

김 새 영* (조선대학교 정밀기계공학과)

박 환 규 (조선대학교 정밀기계공학과)

A Study on the Defect Detection of Silicon-Chip Surrounding by Ultrasonic Wave

- Automatic Determination Method of Threshold Value
by Image Processing -

Kim Jae Yeol , Park Hwan Kyu

ABSTRACT

This Paper is to aim the microdefect evaluation of semiconductor Package into a quantitative from NDI's image processing of ultrasonic wave.

Accordingly, for the detection of delamination between the joining condition of boundary microdefect of semiconductor package the result from sampling original image , histogramming, binary image or image processing of multinumerical value is such as the follows.

- (1) The least limitation from the microdefect detection of the semiconductor package by surveying high ultrasonic wave seems to be about 0.8 μm in degree.
- (2) A result of applying the image processing of multinumerical value to the semiconductor package it was possible to divide the Category into the effectiveness.

1. 서론

초음파를 이용한 비파괴검사 기술은 펄스식 초음파 탐상법을 중심으로 발전했으며 검사대상물의 다양화에도 따른 여러가지 기법들이 개발되고 있다.

초음파탐상법의 최근의 경향으로 보면 결함검출의 정가를 보다 확실하게하기 위해서 디지털 데이터 신호처리와 디지털 화상처리의 기능을 강화시킬 필요가 요구되어지고 있다.

또한 초음파는 고체 내부에서 감쇠와 산란등의 복잡한 거동을 나타내기때문에 그 취급에 세심한 주의가 필요하다. 따라서 가능한한 측정하고자하는 대상 물체에 맞는 탐촉자, 송 수신계를 선정한후에 데이터처리와 화상처리를 할 필요가 있다. 따라서 초음파 탐상에서 얻은 신호정보를 기초로 피검체의 내부상황을 화상화하여 표시하는것의 효과를 높여서 지금까지 연구되어지고 있는 방법을 말하자면 다음과 같다.

첫째, 초음파 빔을 주사하여 탐상상을 얻기 위해서는 B-scan법, C-scan법, 부채꼴형 주사법, 복합 주사법 등이 있다.

둘째, 탐상상의 분해능을 향상시켜 우수한 성질을 얻기

위해서는 Deconvolution법 개구형성법(Open aperture Synthetic method), 초음파 CT, 초음파 Holography법 등이 있다.

셋째, 물체의 내부상황을 보다 정확하게 검사하는데는 화상처리로부터 정보의 보정, 잡음제거, 특징추출, 이상 검출등이 가능하고 기록성의 향상으로 대량의 화상 데이터도 기록, 보존, 표시, 전송등이 가능하다.

그러나 지금까지는 초음파를 이용해서 최대 에코우 레벨(echo level)만으로 결함의 크기를 평가했던 것으로 부터 최근에는 탐상 결과를 화상처리해서 복합재료와 전자 부품 및 자동차 부품등의 미세결함을 평가하고있지만 보다 정량적인 평가를 위해서는 효과적인 데이터 처리와 화상처리 기능이 중요하다고 생각되어진다.

또한 본 논문에서는 화상안의 대상물을 배경으로부터 분리하는 2차화상처리와 다차화상처리에 의한 효과적인 문턱값(threshold value)의 결정방법에 주안점을 두고 있다. 그러므로 히스토그램(histogram)을 이용하는 방법에는 P-tile법, 모드(mode)법등 이외에도 판별본적법을 이용한 문턱값 설정방법이 있다.

따라서 본 논문에서는 판별분석법의 반복적 적용으로써 silicon-chip 주위의 각부위에 따르는 문턱값을 설정하는데 그 목적을 두고있다.

2. 초음파 시험에 있어서의 화상처리

2.1 화상변화 및 디지털 화상처리

화상처리의 입력과 출력으로부터 입력이 화상, 출력도 화상으로 되는 화상의 변환은 화상의 복원(restoration), 화상의 강조(enhancement) 등 본래의 화상의 변환이나 대역 압축등의 시뮬레이션(simulation)에 이용되는 것과 계속이나 패턴(pattern) 인식의 전처리로 해서 주요한 방법이다.

따라서 여기서는 화상변환의 기본적인 수단인 점연산에 대해서 말한다. 점연산은 입력화상에 주목하고있는 화소(picture element) 만의 데이터에 기초를 두고서 처리를 한다.

점연산 중에서 대표적인 것으로 계조처리가 있다.

이것은 화상마다 농도를 변화시키는 처리로 되어있고 디지털 화상처리에 있어서 입력과 출력의 관계를 임의로 설정될수 있다는 특징이 있고 입력과 출력의 특성을 수식 또는 포도 주어지는 처리를 말한다.

화상처리에서 화상의 장소에 따라 변화하지 않고 화상 전체에 대해서 일정한 처리를 실시하는 Shift(space) invariant 한 처리와 장소에 따라서 처리가 변화하는 Shift variant 한 처리가 있다. Shift invariant한 처리에서는 화상 전체의 각 화소의 농도에 대해서 일정한 변화를 가져오는 것이 좋기 때문에 그 인산에 필요한 기억용량을 주의하는 편이 좋게되고 또한 비교적 용이하게 처리할수가 있다.

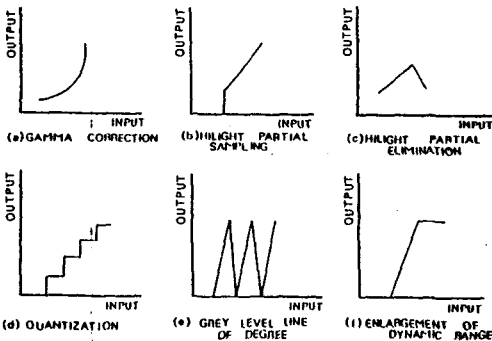


Fig.1 Method of contrast manipulation.

한편 Shift variant의 경우 화상마다 연산의 내용을 기억하여 놓은것은 거대한 기억용량을 필요로하고 있기 때문에 현실적이 되지 못한다.

이 때문에 Shift invariant로 간주되는 작은 영역으로 나누어서 처리하기도 하고 내삽으로부터 처리하는 동기용량을 줄이는 것이 시도되고있다. 계조처리는 예를들면 fig.1에 나타난 것처럼 입출력 특성의 처리를 한다. 각각의 처리의 내용은 그림중에서 나타냈지만 (a)는 γ 조정, (b)는 배경잡음수거이다.

(f)는 원화상의 데이터를 좁은 농도 범위로 모아서 contrast가 약한 화상에 대하여 다이내믹 레인지(dynamic range)를 확대하는 처리를 실시한 경우이다. 원화상의 밝기의 분포는 극히 좁은 영역에 집중하고 있어서 좁은 부분은 인간의 눈으로 판별되지 않는다. fig.2는 디지털 화상처리시스템의 구성도이다.

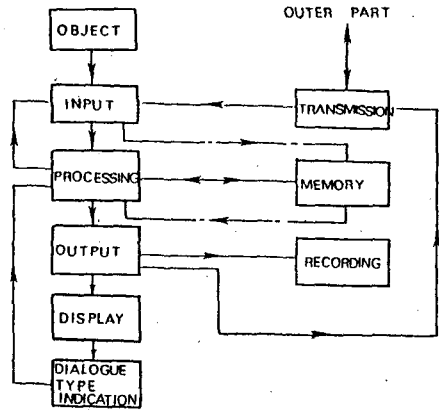


Fig.2 Digital image processing system.

입력의 부분은 X-선, 초음파 등을 대상으로하는 화상의 종류에 따라 활상 센서가 다르다. 또한 계산기에 넣은 데이터량을 줄이고 고속화를 도모하기 위해서 시야의 안으로부터 필요한 영역을 자동설정하기도 하고 잡음제거, 평활화, 변화분추출, 등의 전처리를 행하는 것이 대부분으로 되어왔고 현재에는 입력부 전용의 프로세서(processor)를 이용한 지능화가 진행되고있다.

출력은 연구단계에서 중간처리결과를 신속하게 표시하여 대화형 표시처리로 피드 백(feed back) 가능하게하고 필요에 따라 하드 카피(hard copy)에 기록 가능하게한다.

2.2 2차 화상처리

화상안의 대상물을 배경으로부터 분리하는 처리를 2차 화상처리라고 말한다. 여기서 효과적인 문턱값

(threshold value)의 결정이 문제가된다. 히스토그램을 이용하는 방법에는 대상물이 차지하는 비율 P를 미리 알고 있을때 누적 히스토그램을 이 지로 되는 점을 선택하는 p-tile 법이었다.

대상물과 배경은 히스토그램상에서 커다란 산을 만들고 그 사이의 골짜기를 찾아내는 모우드(mode)법이 많이 이용되고있다. 상봉우리적인 히스토그램을 정규분포의 합으로 근사시키는 방법도 있지만 시간이 걸린다.

실제의 히스토그램은 fig.3과 같이 상봉우리적으로 된다는 것에 한정되어 있지않고 히스토그램의 골짜기를 찾아내는 것은 어려운 경우가 많다. 이와같은 경우에는 문턱값을 결정하기 위해서 판별분석법과 엣지(edge)의 정보를 주의하여 문턱값을 결정하는 방법을 채택하였다.

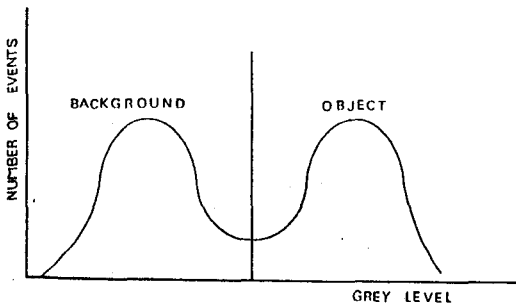


Fig.3 Histogram of twin top.

판별분석법은 2개의 크라스(class) 사이의 크라스 분산과 전분산의 비율 최대도하는 문턱값을 구하므로 히스토그램으로부터 얻은 정보만을 이용하여 순수하게 문턱값을 결정하는 잇점이었다.

엣지의 정보에 주목하여 문턱값을 결정하는 방법에는 대상물과 배경의 경계를 구하는 경우에는 경계에서는 농도의 변화가 심하는 것을 이용하여 각 농도치에 대하여 주위의 화소와의 차분치의 값을 구하는 차분 히스토그램법과 뒤에 기술되는 2차미분에서 어떤 라플라시안(Laplacian)의 커다란 값(値)을 갖는 화소만을 추출하여 그 히스토그램을 취한다면 경계의 경사부의 양어깨를 대상으로 포함하는 상봉우리성(상봉성)으로 되는 곳을 이용하여 모우드법으로 문턱값을 구하는 라플라시안 히스토그램법이었다.

판별분석법에서는 2치화를 대상물과 배경의 2개의 크라스로 나누는 문제로서 받아들이고 k level에서 문턱값을 설정하여 2치화한 경우의 문턱값의 효과를 측정하기 위해서 평가방법으로서 판별분석법이 이용되는 크라스 분리도 $\eta(k)$ 를 도입한다.

$$\eta(k) = \frac{\sigma_B^2(k)}{\sigma_T^2} \quad (1)$$

단 $\sigma_B^2(k)$ 는 문턱값을 k로 한 때의 크라스 사이 분산이고 다음식에 따라서 주어진다. 또한 σ_T^2 은 전체의 분산이다.

$$\sigma_B^2(k) = \frac{\{\mu_T \cdot \omega(k) - \mu(k)\}^2}{\omega(k) \{1 - \omega(k)\}} \quad (2)$$

$$\sigma_T^2 = \sum_{i=1}^L (1 - \mu_T)^2 P_i \quad (3)$$

여기서 전체 화소수를 N, 전체 레벨 수를 L, l 레벨의 발생하는 확률 P_l , l 레벨의 화소수를 n_l 라고 한다면 P_l 전체의 평균치 μ_T , 분산 σ_T^2 , $\omega(k)$, $\mu(k)$ 등은 다음식으로 통하게 된다.

$$P_l = \frac{n_l}{N} \quad (4)$$

$$\mu_T = \sum_{i=1}^L i P_i \quad (5)$$

$$\sigma_T^2 = \sum_{i=1}^L (i - \mu_T)^2 P_i \quad (6)$$

$$\omega(k) = \sum_{i=1}^k P_i = \omega(k-1) + P_k \quad (7)$$

$$\mu(k) = \sum_{i=1}^k i P_i = \mu(k-1) + k P_k \quad (8)$$

이 크라스 분리도 $\eta(k)$ 를 이용해서 문턱값 k^* 를 구하기 위해서는 (σ_T^2 이 일정하게 되어 있으므로) $\sigma_B^2(k)$ 의 k를 1로부터 순서대로 바꾸어서 $\sigma_B^2(k)$ 를 계산하고 최대치를 나타내는 레벨 k를 문턱값 k^* 라고 한다.

2.3 다치화 화상처리

앞 절에서 2치화의 경우를 언급했었지만 경우에 따라서는 히스토그램 상에 대상을 2개 이상으로 분류 하고자 하는 경우가있다.

따라서 다치화를 하는 경우에도 2치화의 이론이 성립되므로 다치화로의 확장이 가능하다.

M치화의 경우 M-1 개의 문턱값

$$1 \leq k_1 < k_2 < \dots < k_{M-1} < L \quad (9)$$

으로부터 M 크라스

$$C_J \text{ for } S_J = [k_{J-1} + 1, \dots, k_J]$$

$$(J=1, \dots, M) \quad (10)$$

으로 분리 하는 것으로 된다.

단 $k_0 = 0, k_M = L$ 로 한다.

이때 각 크라스의 발생확률 ω_j , 평균 레벨 μ_j 는

$$\omega_j = \Pr(C_J) = \sum_{1 \leq i \leq j} P_i = \omega(k_i) - \omega(k_{j-1}) \quad (11)$$

$$\begin{aligned} \mu_j &= \sum_{i \in S_j} 1P_r(i|C_j) = \sum_{i \in S_j} 1P_i/\omega_j \\ &= \frac{\mu(k_j) - \mu(k_{j-1})}{\omega(k_j) - \omega(k_{j-1})} \end{aligned} \quad (12)$$

로 주어진다.

단 이때 $\omega(0)=0, \mu(0)=0$ 라고 한다면 다음의 관계는 간단하게 확인될 수 있다.

$$\sum_{j=1}^M \omega_j \cdot \mu_j = \mu_T \quad \left(\sum_{j=1}^M \omega_j = 1 \right) \quad (13)$$

따라서 σ_B^2 은 이 경우 M-1 개의 문턱값의 함수이다.

$$\sigma_B^2(k_1, \dots, k_{M-1}) = \sum_{j=1}^M \omega_j (\mu_j - \mu_T)^2 \quad (14)$$

$$= \sum_{j=1}^M \omega_j \cdot \mu_j^2 - \mu_T^2 \quad (14)'$$

그러므로 최적의 문턱값은 식(14)의 조건 아래서 σ_B^2 을 최대로 하는 것으로 해서 구하는 것이 된다.

3. 디지털 화상처리 장치 및 방법

화상처리장치는 수침법에 의한 초음파탐상으로써 XYZ Scanner를 자동제어 하는 것으로 피검체의 측정위치를 자유로이 변경할 수 있다. 특히 초음파에 의한 Ceramics 와 같은 미세한 결함을 검출하기 위해서는 고주파수 영역의 신호를 대상으로 하고 있기 때문에 분해능은 향상되지만 물결내부에서는 초음파의 감쇠가 현저하게 많으므로 주의할 필요가 있다.

이와같은 ceramics에서는 검출목표의 결함이 작기 때문에 미소 pitch로 이동시키면서 초음파를 송·수신하고 위치결정의 재현성이 2μm의 stage를 사용하고 있다.

초음파의 탐측자는 수조안의 stand에 설치하고 XYZ방향으로 이동이 가능하며 수침촉점형의 탐측자를 이용함으로써 미세결함의 검출이 가능하게 된다.

초음파 pulse는 수침을 전파하면서 일부는 고계 표면에서 반사하지만 나머지는 탄성파로써 내부로 전파 되어간다. 만일 고계내부에 결함부위의 용량 임피던스차에 의해 초음파는 반사되고 다시 되돌아가게 된다. 이 신호는 oscilloscope로 관측하게되면 피검체 내부 상황을 자세히 알아 볼 수 있다. 그러나 미세결함에 대해서는 이와같은 방법은 비능률적이므로 증폭된 신호를 일정시간 범위내에서 peak값을 결정하고 A/D변환 한 후에 Digital 망으로 해서 computer로 부터 memory에 기억시킨다. XYZ scanner를 조작하면 일정시간 마다 data를 Sampling 하여 memory에 기억시키면 피검체의 어떤 깊이에서의 초음파 예외우 정보를 수집한다.

이와같은 echo level위도레벨로 바꾸고 monitor위에 표시하면 한단면에서의 초음파에 의한 화상이 얻어지게 된다. 이러한 화상은 피검체를 구성하는 재료가 균일해질이려면 해석하기 어렵지만 단일 재질이라면 내부에 존재하는 결함부의 위도가 주변부와 다르기 때문에 결함을 분리할수가 있다. fig.4는 본실험에서 사용한 디지털 화상처리 장치의 구성도를 나타내고 있다.

또한 본 논문에서는 결함 파형 검출을 위해서 특수한 검출기를 사용하고 있기때문에 fig.5에서와 같이 디스플레이

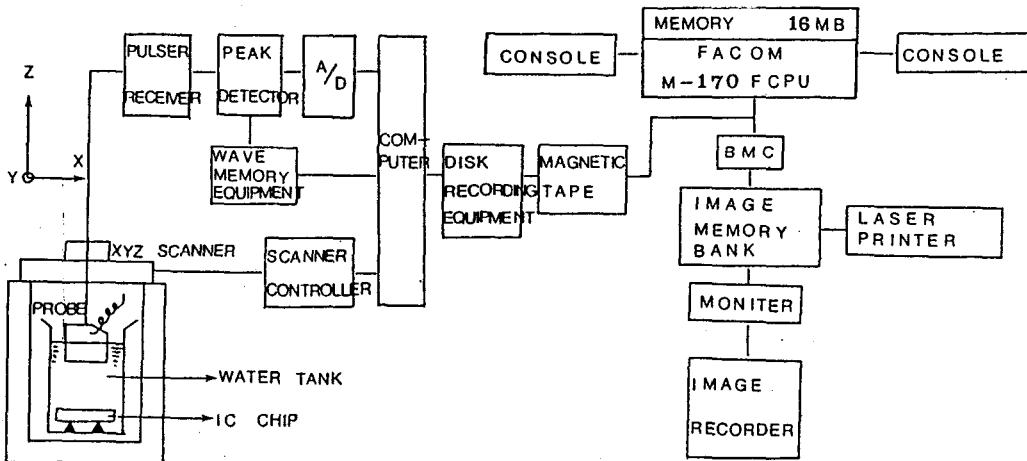


Fig.4 Block diagram of digital image processing.

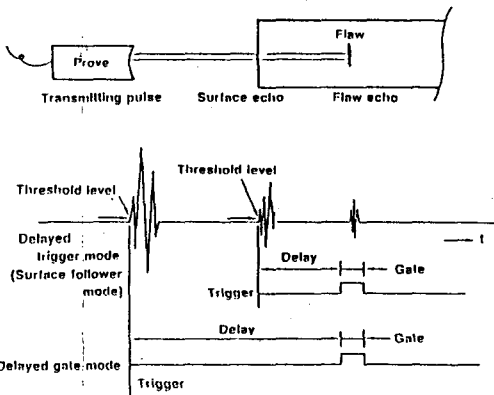


Fig.5 Time chart of delay and gate.

시간 (발생파에서 gate 시작점까지의 시간)은 최소 50 nsec(보통 200 nsec로 사용) 까지 조정할 수 있고 gate의 폭은 최소 30 nsec(보통 100 nsec로 사용)까지 조정할 수 있다. 여기서 전자의 경우는 피측정물의 내부에 다른 성분의 매질이 존재하는 구조물의 경우 다른 매질의 표면 가까이에 있는 결함을 쉽게 검출할 수 있고 후자의 경우는 측정부위의 범위지정용 극소로하고 분해능을 향상하여 극히 작은 결함까지도 검출할 수 있는 특징이 있다.

4. 화상처리 결과 해석 및 고찰

IC, LSI 패키지, 칩 콘덴서(Chip condenser)등의 전자부품의 신뢰성은 내부에 존재하는 보이드 경계면 박리등의 결함의 영향을 받기 쉽다.

비교적 큰 보이드에 대해서는 X선 검사로부터 검출이 가능하지만 리드 프레임의 영향으로 가려진 부분의 보이드나 경계면 박리 특히 패키지 내부의 수지봉의 검출은 초음파를 사용 할수도 있다.

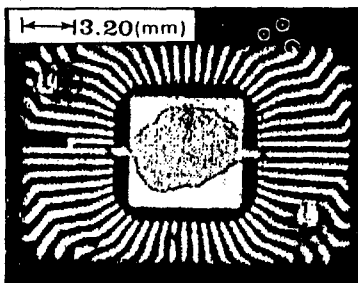


Fig.6 Experimental result of original image semiconductor package.

따라서 fig.6은 초음파에 의해 관측된 화상의 입력화상 데이터는 200×160 화소(picture elements)로 o-scope(평면 표시)상의 예를 나타낸것이다. 그림과 같이 IC 주변의 chip포면과 리드 프레임부의 수지봉에 대해서도 초음파에 의해 관측된 원화상(original image)으로써 그림중의 칩 부분의 동근부분은 비교적 결함이 잘린 부분을 나타내고 있으며 칩 부분의 모서리부분에 여러가지의 결함이 존재하고 있음을 알 수가 있다.

또한 fig.7에서는 효과적인 디지털 화상처리로부터 구한 결함의 최소한계값을 구하기 위해서 IC 패키지의 배경부에 대해서 문턱값 80 이하를 무시한 경우의 처리결과로서 그 최소 한계값은 화상처리 후 전자 현미경(SEM)으로 관찰한 결과 약 0.8 μm까지의 각종 결함을 검출할수가 있었다. 따라서 그림에서 알수 있듯이 화상의 배경부에 극히 미소한 크기의 결함이 많이 존재하고 있음을 알 수가 있다.

←→3.20(mm)



Fig.7 Experimental result of image processing for microscopic defects detection.

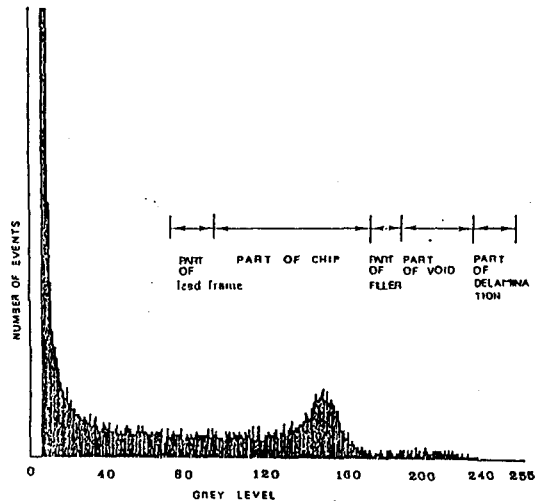


Fig.8 Experimental result of histogram for IC chip part and lead frame surface.

fig.8에서는 반도체 패키지의 히스토그램화로서 좌우는 농도를 의미하고 우측으로 갈수록 농도가 높게 된다. 상하는 각 농도별의 빈도의 누적값을 의미하고 0 계조로부터 그 농도까지의 누적이다.

255 계조까지의 누적(=245760)이 최대 스케일로 되는것으로 크기가 결정된다. fig.8은 IC 패키지 의 경우로서 실리콘 칩 부분의 접합부분과 박리부분 및 리이드 프레임(lead frame)면에 대해서 영역분할을 하고자 한것이다.

그 히스토그램은 fig.8에서 보는바와 같이 농도치 150 부근의 산은 Chip부분의 접합부를 나타내고 있으며 우측값의 큰 부분은 박리부에 해당하고 있다.

fig.9의 경우는 실리콘 Chip부분의 접합부분 박리부분 그리고 리이드 프레임(lead frame)면을 대상으로 2치화 상호화한것이다.

fig.9 (a)의 (상)은 원화상이며 (중)는 2치화로 구한 $Th1 = 78$ 의 경우로 레벨 값 79~255 까지로 이것을 다시 256 계조로 나눈것이다. (하)의 경우는 레벨 값 0~78 까지의 경우이다.

fig.9 (b)의 (상)은 원화상이며 (중)는 $Th3 = 142$ 에서 2치화하면 142 이상이 흑색으로써 사진과는 반대이다.

(하)는 $Th4 = 172$ 에서 2치화 한것으로 172 이상이 흑색으로써, 사진과는 반대임을 알수가있다.

fig.9 (c)의 (상)은 원화상이며 이것을 4치화하면 다음과 같다.

(중)는 영역1 ($Th1 = 43$ 이하)로써 레벨 값 0~43을 표시하고있다.

또한 (하)은 영역2 ($Th1 = 43$ 이상, $Th2 = 108$ 이하)로써 레벨 값 44~108 까지를 나타낸다.

fig.9 (d)의 (상)는 영역3 ($Th2 = 108$ 이상, $Th3 = 172$ 이하)으로 레벨 값 109~172로 된다.

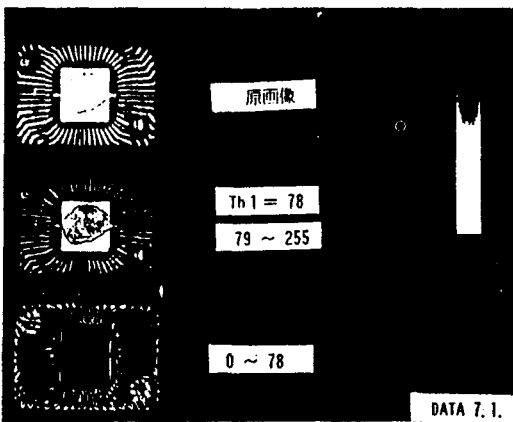
(중)는 영역4 ($Th3 = 172$ 이상)는 레벨 값 173~255까지를 나타낸다.

fig.9 (e)의 (상)은 원화상이며 (중)는 4치화로써 영역1 (0~43)은 흑색 부분으로 사진과는 반대이다.

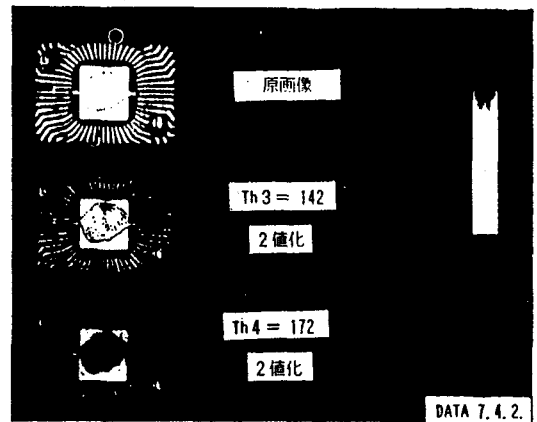
(하)은 4치화의 결과로써 영역 (44~108)의 흑색부분을 나타내며 사진과는 반대로 된다.

fig.9 (f)의 (상)는 4치화로써 영역3 (109~172)으로 흑색부분이다. (중)는 4치화의 영역4(173~255)의 흑색부분을 나타낸다.

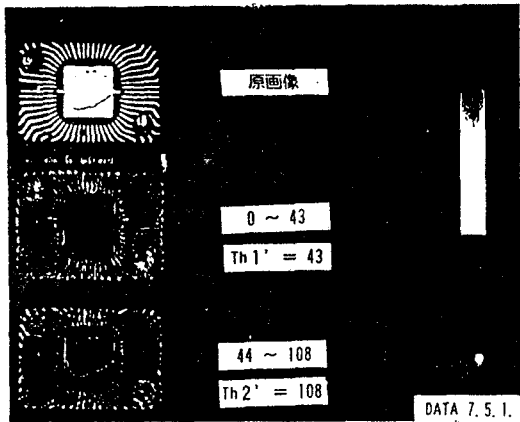
이상의 결과로부터 $Th3 = 142$ 의 경우 중심의 백색부분은 IC Chip 부분으로 접합부를 표시하고 있으며 Chip의 엣지 흑색부분은 각종결함이 존재하고 있음을 알수있다. $Th1 = 78$ 은 리이드 프레임 부에 대응하고 $Th4 = 172$ 이상 은 부분 및 완전 박리부를 나타내고있다.



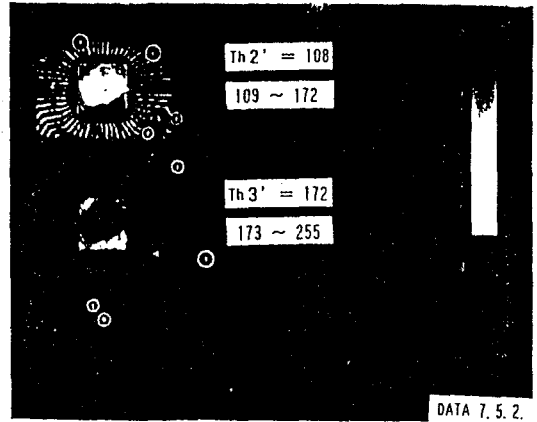
(a)



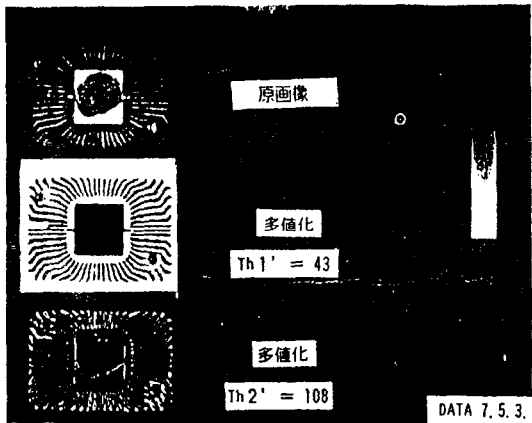
(b)



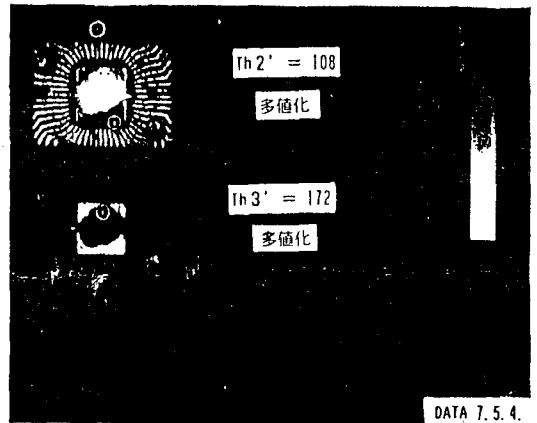
(c)



(d)



(e)



(f)

Fig.9 Experimental results of binary image processing of semiconductor package.

5. 결론

반도체 패키지의 silicon-chip 주위를 초음파 탐상에 대하여 미소결함 검출을 위한 디지털 화상처리를 실시한 결과는 아래와 같다.

1. 고주파의 초음파를 이용한 반도체 패키지의 미소결함 검출의 최소 한계는 약 $0.8\mu\text{m}$ 정도까지 검출이 가능하였다.
2. 반도체 패키지에 대해 다지화 방식으로 영역분할 한 결과 화상을 더욱더 선명하게 효과적으로 할 수가 있었다.

참고 문헌

1. ECKART E. HUNDT and ELMAR A. TRAUTENBERG : Digital processing of ultrasonic Data by Deconvolution, IEEE TRANSACTIONS ON SONICS AND ULTRASONICS, VOL.SU-27, NO.5, PP.249~252, SEPTEMBER, 1980
2. W. A. Simpson : Time-Domain Deconvolution : A New Technique to Improve Resolution for Ultrasonic Flaw Characterization in stainless steel Welds, Materials Evaluation /44/ PP.998~1003, July 1986
3. Takuso Sato and Osamu Ikeda: Super-resolution

3. Takuso Sato and Osamu Ikeda: Super-resolution ultrasonic imaging by combined Spectral and aperture synthesis, J. Acoustic. SOC. Am., Vol. 62, NO.2, PP.341~345, August 1977
4. YOSHIRO TUMIKAWA, YUKIHARU IWASE, KISHIO ARITA, and HIRDAKI YAMADA : Nondestructive Inspection of a Wooden Pole Using Ultrasonic Computed Tomography, IEEE TRANSACTIONS ON ULTRASONICS, FERROELECTRICS, and FREQUENCY CONTROL, VOL. VFCC-33, NO.4, PP. 354~35, 1986
5. Fuminobu Takahashi, Katsumichi Suzuki and Takahiro Kanamori : Digital signal processing in Acoustic Focused Image Holography, PP.685~697
6. R.B.Thompson : Quantitative Ultrasonic Nundestructive Evaluation Methods, Journal of Applied Mechanics, Vol. 50, PP.1191~1201, (1983)
7. 飯沼一浩 : 超音波画像技術, ラレビジョン学会誌, 第35巻 第1号, PP. 2~10, (1981)
8. 根岸藤雄 外 1人 : 超音波の張さの計測, 電子情報通信学会誌, Vol. 72, NO. 4, PP. 391~394, 1989
9. 西藤勝乙 外 1人 : 接合材缺陷弁別われめの周波数解析(Ⅱ), NDI 資料, 21193, PP.79~83, (昭 63)