

디지털 초음파 화상처리에 의한 반도체 패키지의 미소결함 검출에 관한 연구

김 재 열* · 한 응 교**

A Study on the Microdefect Detection of Semiconductor Package by Digital Ultrasonic Image Processing

J. Y. Kim and E. K. Han

Abstract Ultrasonic testing is one of the most useful NDT method for detection of microdefect in the opaque materials. Recently, many applications of the ultrasonic techniques have been extended widely in the new field like electronics and advanced materials. From the result of the experiment, we have hardly found out a crack in the internal parts of the resin and a delamination between chip and resin because of poor performance of the system.

1. 서 론

지금까지는 초음파를 이용한 비파괴검사의 기술은 Pulse식의 초음파탐상법을 중심으로 되었으며 검사 대상물의 다양화에 따르는 여러가지의 새로운 기법이 개발되고 있다.

또한 실험장치의 Digital화와 더불어 신호처리 기술도 합성개구처리와 동기가산처리에 의한 SN비 개선이나 AI기술의 도입도 실행되고 있다.

따라서 최근들어 초음파 탐상에 있어서도 화상처리로써 미소결함의 검출을 하고 있다. 우선 초음파 탐상에서 얻은 신호정보를 기초로하여 시험체의 내부상황을 화상화하여 표시하는 것이 효과적이다.

시험체에 초음파 Beam을 주사하여 탐상상의 분해능을 향상시켜서 우수한 상질을 얻기위한 방법들로서 Deconvolution법, 개구합성법, 초음파 Holography법과 초음파 CT법이 있다.

또한 최근 들어서 각종계측기의 소형화와 경량화로써 Digital IC의 진보는 현저하고 LSI, VLSI와 Microprocessor(μ P)가 각 연구분야에서 대량으로 요구되고 있으며 이것은 계측기에 있어서 처리의 고속화, 자동화, 지능화를 가능하게 하는 것으로 계측, 제어, 검사의 분야에서 상당한 발전이 되고 있는 실정이다.

따라서 본 논문에서는 Digital Data 처리와 Digital 화상처리로써 반도체 Package에 초음파를 이용해서 미소결함을 검출하는데 문제가 되고 있는 효과적인

* 조선대학교 정밀기계공학과 전임강사

** 한양대학교 정밀기계공학과 교수

접수 : 1990년 8월 23일

농도값(Grey Level Value) 결정에 의한 각종 결함 검출 한계값의 설정에 목적을 두고 있으며 Digital 신호처리 기술의 특징과 그 기본적인 방법을 알아보고, 초음파 탐상에 의한 반도체 Package의 화상화로 부터 탐상상의 분해능 향상을 위한 최적의 Algorithm을 개발하여 실제 적용함에 그 목적을 두고 있다.

2. 초음파탐상 상

초음파 탐상 결과의 표시법으로 해서 많이 이용되고 있는 것은 B-Scan, C-Scan 법(B-Scope, C-Scope)이 있다.

Fig. 1에 각각의 상형성의 방법을 나타낸다.

Fig. 1의 (a)는 초음파 Pulse에 의한 탐상 신호 파형을 그대로 관측 가능한 A-Scope 방식으로 현재까지 널리 이용되고 있다.

그러나 이 방식으로서는 표시 결과로부터 반사원의 위치, 형상, 치수에 관한 정보를 즉석으로 파악하는 것은 극히 힘들다.

시간축은 깊이 정보를 나타내므로 Gate를 거쳐서 검출한 신호강도는 시험체 내부의 어떤 깊이 정도의 음향 상황을 나타낸다.

신호강도를 화상의 휘도로 변화해서 나타내려면 수평 단면내의 초음파상을 얻을 수 있다.

이 화상을 C-Scope라고 부른다.

이것에 대해서 1-line 주사할때에 얻은 깊이방향의 신호변화의 모양을 B-Scope라고 부른다.

초음파 현미경은 C-Scope에 속하는 것이고 최근 탐상에서도 C-Scope가 많이 사용되고 있다.

따라서 지금부터 기술한 내용은 C-Scope로 분류되어진 것이다.

초음파 계측에 의한 최근의 진보는 화상화 기술과 고주파화, Computer 제어기술 등에 있다.

계측의 대상도 금속계의 결함 검출로부터 신소재, 전자제품의 결함검출이나 재료내부의 음속을 측정하는 것으로부터 재료의 물성평가등에 용도가 확대되어가고 있다.

따라서 반도체 Package 내의 수지와 Chip의 박리나 Ceramics 접합면의 강도평가의 접착부의 평가등에 사용되는 것으로 최근에 특징이 있다.

그러므로 반도체 Element의 결함검출이 정량적으로 평가가 가능하다.

3. 초음파탐상 상의 분해능 향상법

3.1 Deconvolution 법

3.1.1 거리 분해능 향상법.

시간 t=0에서 탐촉자로부터 x 방향으로 송출되는 초음파 Pulse $S_T(t)$ 가 $x=x_i$ 에서 어떤 반사원(반사계수 ρ_i)에서 반사되어 다시 탐촉자로 수신되는 반사파 신호 $S_{Ri}(t)$ 는 Delta 함수 $\delta(x_i)$ 를 이용하여

$$S_{Ri}(t) = \rho_i \delta(x_i) \cdot S_T(t - \frac{2x_i}{v}) dx \dots\dots\dots (1)$$

로 나타낸다.

여기서 v는 초음파의 전파속도이다.

윗 식에서 당면 송신 Pulse 파형 S_T 가 중첩되어 있고 거리 분해능이 저하하고 본래 관측하고자 하는 $\rho_i(x_i)$ 의 정보는 알아볼 수 없게 된다.

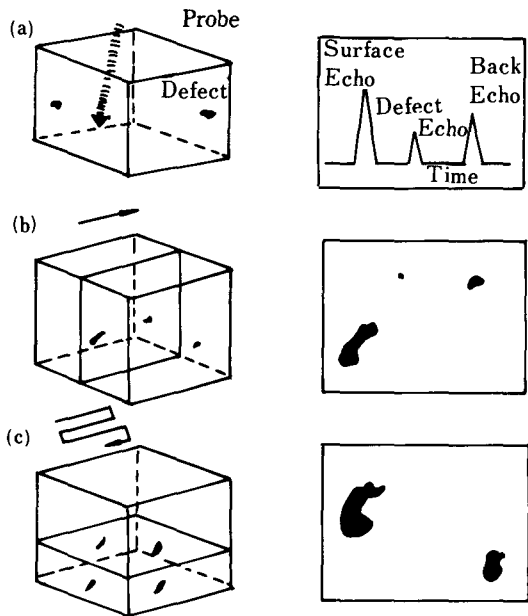


Fig. 1 Imaging display of ultrasonic testing.

지금 반사원을 $\rho(x)$ 로 하는 일반형으로 표시하면 수신신호는

$$S_R(t) = \int_0^\infty \rho(x) \cdot S_T(t - \frac{2x}{v}) dx \dots\dots\dots (2)$$

로 되는 Convolution 적분의 형으로 나타낸다.

여기서의 목적은 시험체내에 존재하는 결함등의 실제의 형태를 알아보는 것으로 이것은 $\rho(x)$ 의 형을 확실하게 하는것 밖에 없다.

그래서 $2x/v = t'$ 로 놓고, $\rho(x) = \rho'(t')$,

$S_T(t - 2x/v)dx = S_T(t - t')dt'$ 와 같이 변수변환한다면

$$S_R(t) = \int_0^\infty \rho'(t') \cdot S_T(t - t') dt' \dots\dots\dots (3)$$

윗 식을 Fourier 변환하고 변수를 시간 t로 부터 주파수 ω 의 영역으로 이동하면

$$\begin{aligned} \tilde{S}_R(\omega) &= \int_{-\infty}^\infty \int_0^\infty \rho'(t') \cdot S_T(t - t') dt' \cdot \exp(-j\omega t) \\ dt' \cdot dt &= \tilde{\rho}(\omega) \tilde{S}_T(\omega) \dots\dots\dots (4) \end{aligned}$$

여기서 $\tilde{S}_R, \tilde{S}_T, \tilde{\rho}$ 는 각각 S_R, S_T, ρ 의 Fourier 변환 형이고 식(4)은 합수적의 형으로 되어

$$\tilde{\rho}'(\omega) = \frac{\tilde{S}_R'(\omega)}{\tilde{S}_T'(\omega)} \dots\dots\dots (5)$$

로 된다.

이것을 구하는데에서는 $\rho(x)$ 의 정보를 수신신호 S_R 과 송신 Pulse신호 S_T 의 정보를 기초로해서 검출하는 수단을 주는 것이다.

이 조작이 Deconvolution이다.

또한 $1/\tilde{S}_T'(\omega)$ 는 Kernel이라고 부르며 Filter 기능을 나타낸다.

이것은 적당한 수정을 실시하여 연산시의 오차나 잡음의 억제를 가져온다.

식(5)의 역 Fourier 변환

$$\int_{-\infty}^\infty \frac{\tilde{S}_R'(\omega)}{\tilde{S}_T'(\omega)} \exp(j\omega t') d\omega \rightarrow \rho'(t') \dots\dots\dots (6)$$

에 의해 얻어지는 $\rho'(t')$ 를 구하는 반사원의 상태를

나타내는 것으로 되고 수신신호에 개재하는 송신 Pulse 신호의 영향이 없어진다.

3.1.2 방위 분해능의 향상

Fig. 2에 나타내었듯이 탐촉자를 y 방향으로 주사하고 그 이동거리를 y' 라고 하자.

또한 피검부의 반사원을 반사계수의 분포로 나타내는 함수 $\rho(y')$, 탐촉자의 송수신 감도 분포를 $S(y)$ 로 나타내면 반사파 신호의 분포 $m(y)$ 는 식(3)과 똑 같이 다음의 Convolution 적분으로 주어진다.

$$m(y) = \int_0^\infty \rho(y') \cdot S(y - y') dy' \dots\dots\dots (7)$$

여기서 $S(y)$ 는 예를 들면 점상 반사체에 대하는 y 방향의 신호강도 분포로부터 구할 수 있다.

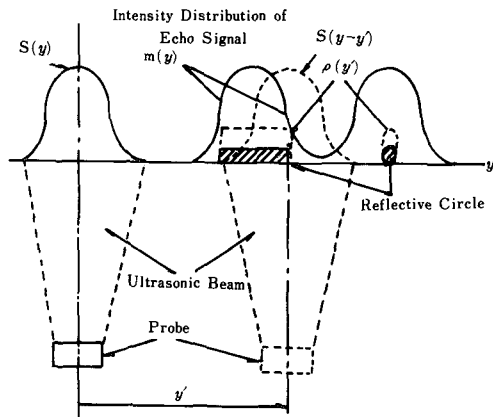


Fig. 2 Intensity distribution of echo signal of reflective circle.

$\rho(y')$ 를 안다는 것은 식(3)-(6)의 처리와 동일하고 다음의 Deconvolution 처리를 행하면 좋다.

$$\tilde{\rho}(P) = \frac{\tilde{m}(P)}{\tilde{S}(P)} \dots\dots\dots (8)$$

여기서 $\tilde{m}(P), \tilde{S}(P), \tilde{\rho}(P)$ 는 각각 $m(y), S(y), \rho(y)$ 의 Fourier 변환이고 P는 y에 대응하는 공간 주파수로 된다.

이 경우 Kernel $1/\tilde{S}(P)$ 는 $S(y)$ 로부터 결정되지만 역시 연산시의 오차나 잡음을 적게 하는 것처럼 cut off 주파수를 선택하는 것이 중요하게 된다.

4. 실험장치

4.1 Data 수록에 의한 화상처리장치

반도체 Package를 대상으로 초음파 시험에 이용되는 3축 Scanner를 갖는 측정장치로써 Data 수록과 화상처리 System이 Fig. 3과 같다.

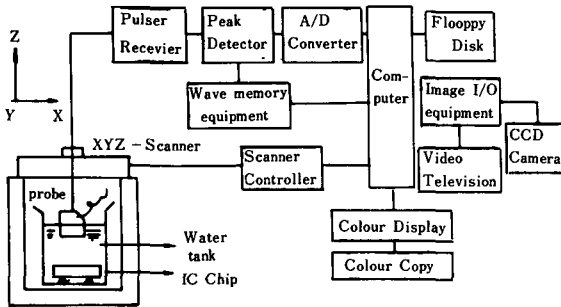


Fig. 3 Block diagram of digital image processing.

여기서 탐촉자의 개구각, 초점거리, 주파수 특성, 송수신기의 주파수 특성, 증폭 특성에 주의를 기울일 필요가 있다.

또한 A-Scope 만의 관찰에서는 재료중 깊이방향 1-line에 따르는 정보밖에 조사되지 않고 시험편 전체를 검사하는데는 엄청난 시간이 필요하기에 실용적이 되지못한다. 그래서 탐촉자를 상하의 Z, 수평의 XY 면내를 자유로이 이동 가능하는 주사장치를 설치하고 각 설정위치로부터 신호를 Computer로 부터 효율 좋게 검출가능하는 C-Scope 방식을 표준으로 했다.

따라서 본장치에서는 소정 Gate내의 신호 Peak치를 검출하고 이것을 A/D변환으로부터 Computer Memory에 기억한다.

일정 Pitch마다 Data를 Sampling하여 기억시키는 것으로 부터 시험편의 소정깊이에 있어서 초음파 Echo 정보를 수집한다.

사진 1은 반도체 Package에 대해서 Data 수록장치와 화상처리장치를 나타내고 있다.

4.2 초음파 탐상에 있어서 화상화의 Algorithm.

Fig. 4에 초음파 탐상에 있어서의 Algorithm을 나

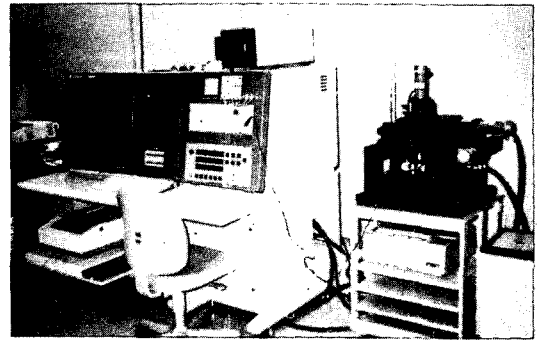


Photo. 1 Experimental apparatus for digital image processing.

타낸다.

시험체를 검사위치로 보내주고서 평균가산을 행하면서 화상을 실시한다. 양자잡음을 없애므로 윤곽을 강조하기 위해서 강조미분을 행하지만 미분에서는 잡음을 강조하는 것에 불과하므로 각 영역마다 평활

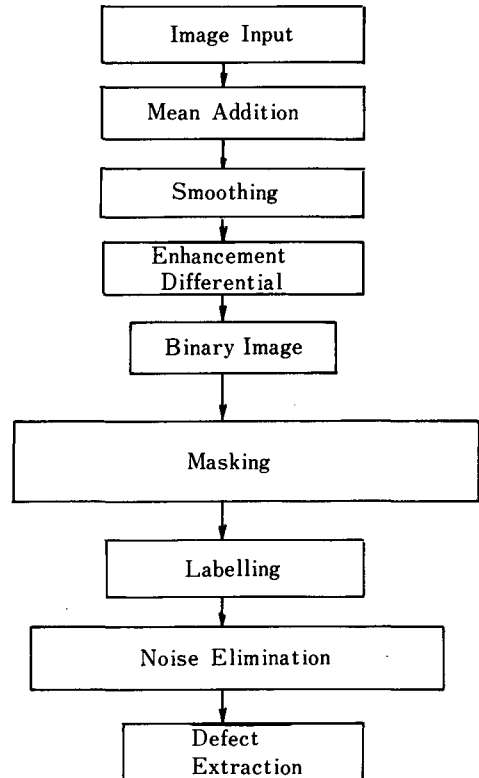


Fig. 4 Algorithm for defect detection.

화를 하기 위해서는 공간 Filter를 사용한다.

또한 차분 히스토그램 법에 의해서 농도값을 결정하며 입력화상으로부터 농도 레벨수의 배열요소와 농도값과의 관계는 히스토그램 관련의 루틴을 이용하여 농도값을 결정하며 농도레벨의 범위를 지정하게 된다.

그 다음으로 2차 화상화를 행한후 시험체의 경계를 Mask해서 결함부를 포함하는 화상만이 남는다.

잡음제거를 위해서는 각 요소에 대하여 Labelling 하고서 유해 결함 이상의 면적을 갖는 것을 픽업하게 된다.

5. 실험결과 및 고찰

Fig. 5에서는 초음파에 의한 접착박리의 검출에 있어서의 Echo의 모델로서 초음파는 임피던스가 다른 경계에 있어서 반사하고 그 반사신호의 크기는 경계면을 구성하는 물질의 임피던스에 좌우하고, 박리의 진행과 함께 반사신호의 크기는 변화하게 된다.

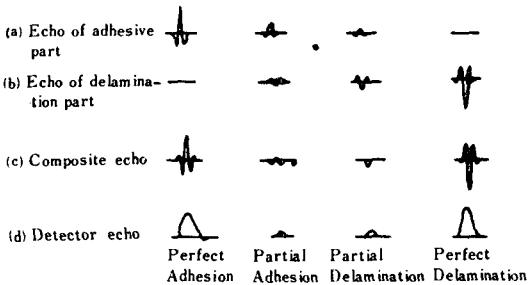


Fig. 5 Model of ultrasonic waves in adhesive delamination

Fig. 5는 Impedance가 작은 고체로부터 큰 고체로 초음파가 입사하는 경우로 박리부는 공기층의 Model이다. (a)는 접착부로부터의 반사파이고 위상은 입사파와 동일하다. 접착정도가 작아진다면 이 신호는 감소한다.

(b)는 박리부로부터의 반사파로 되어 위상은 역상한다. 박리의 진행과 함께 신호는 증가한다. (c)는 (a)와 (b)의 합성신호이다.

실제에는 이 신호가 RF파로 하여 검출된다. 지금 (+)의 Peak 치에 주목하여 보면 접착정도가 낮게되고 이 Level은 저하한다.

또한 (-)의 Peak치는 박리의 진행과 함께 증가하고 있다.

(d)의 검파의 경우도 있다.

Fig. 6에서는 반도체 Package 내부 및 표면에 존재하는 결함의 검출을 위해서 얻은 화상으로써 Fig 중 에서 (+)자의 커서선 부분에 존재하는 반도체 Package의 결함에 대한 결함 Echo의 높이를 나타내고 있다.

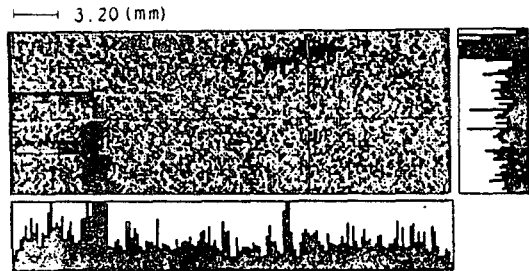


Fig. 6 Defect of the inside and surface of semiconductor package.

Fig. 7에서는 Fig. 6을 Histogram화 하는 것으로써 여기에서 농도치 144이하는 접착상태가 양호한 건전부 즉 접합부이고 농도치 192부터 239까지는 반도체 Package 내부에 존재하는 각종 Void를 나타내고 있다.

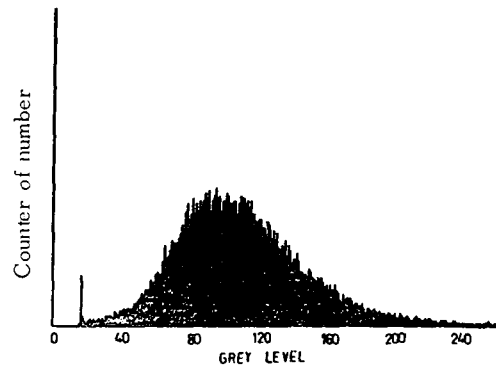


Fig. 7 Histogram of semiconductor package

또한 농도치 240 이상은 반도체 Package의 내부에서의 접합면 사이에 공기가 존재하는 박리부분을 나타낸다.

여기서 반도체 내부에 존재하는 결함으로써 접합부와 박리부가 많이 존재하는 경우 반사율의 계산이 곤란하게 된다.

따라서 논리계산에 의한다면 박리율에 따르는 음압반사율(입사음압 P_0 에 대한 반사음압 P 의 비)는 Fig. 8과 같다.

접합 경계부의 음향 Impedance 차이 r 값의 대소에 따라 반사율은 +와 -의 넓은 범위에서 변화하는 것을 알 수 있다.

그러므로 컴파파형으로부터 Echo 높이의 절대치를 취해서 화상화하면 박리의 검출이 불충분하다. 따라서 충분한 박리 검출을 위해서는 RF 파형의 (+) Peak치와 (-) Peak에 주의하여 화상화할 필요가 있다.

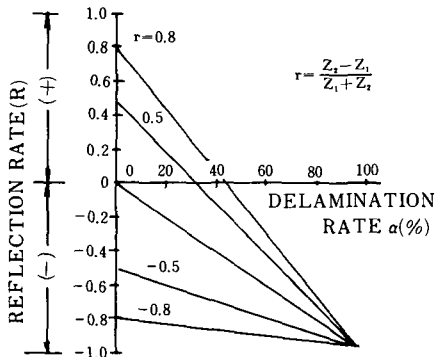


Fig. 8 Ratio of reflection according to ratio of delamination.

Fig. 9에서는 반도체 Package내의 박리 크랙의 검출결과로써 C-Scope 화상에서의 Echo 진폭에 대응하여 화상화한 평면표시의 예이고 화상의 좌측에 Crack이 진전하고 있는것을 나타내고 있다.

6. 결 론

1. 초음파 탐상의 결과에 디지털 신호처리와 디지털 화상처리를 하면 종래에 결함이 불충분했던 반도체 Package 내부의 박리검출과 크랙의 검출

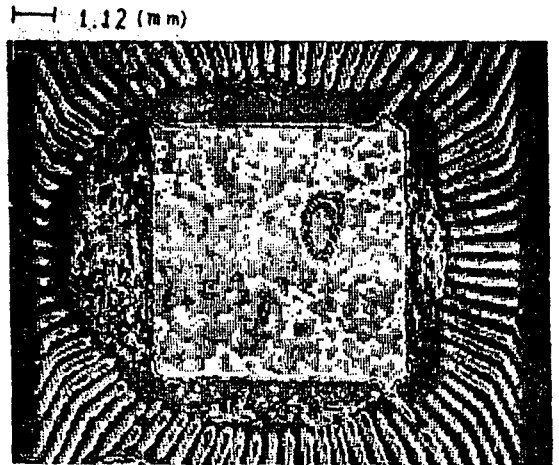


Fig. 9 Delamination crack of the inside semiconductor.

이 가능하였다.

2. 각종의 접합상태에서 발생하는 미소결함이나 표면의 결함을 검출하는데는 초음파를 이용하는 계측이 장점이 많지만 수많은 데이터로부터 정량적인 해석을 할 수 있기를 바란다.

References

1. Robert A. Blake : International Advances in NDT, Vol. 9, 1983.
2. 飯沼一洗ほか : 高分解能リニア電子走査型超音波診断装置, 超音波醫學, 3, 4(1976) pp. 201~206.
3. 高橋文信, 金森隆裕, 鈴木一道 : デジタル方式超音波 木ログラフィ法の提案, 第25回 應物學會講演予橋集.(1977. 10)
4. Krautkrämer : Ultrasonic Testing of Materials, Springer-Verlag.
5. Y. Tomikawa, Y. Iwase, K. Arita and H. Yamada : Non-destructive Inspection of Wooden Pole using Ultrasonic Computed Tomography, IEEE Trans. Ultrason. Ferroelectr. Freq. Control, UFFC-33, 4(July 1986)
6. H. Yamada, Y. Tomikawa and M. Nishida : Application of Ultrasonic Computed Tomography to Non-destructive Inspection of Silicon Ingot Ma-

- terial Qualities, J. Acoust. Soc. Am. Suppl. 1, 84, Fall(1988)
7. 尾上：超音波検査とデジタル信號處理, 非破壊検査, 29, 10, 9. 694(昭 55)
 8. E. E Aldridge : Ultrasonic Holography and Non-destructive Testing, Materials Research and Standards, (Dec. 1972), pp. 13.
 9. W. L. Gans and N. S. Nahman : Continuous and Destrere Fourier Transforms of Steplike Waveforms, IEEE trans. Instrum. Meas., Vol. IM-31, (June 1982), pp. 99, 97~101.
 10. A. M. Shaarawi and S. M. Raid : Computing the Complete FFT of a Step-like Waveform, IEEE Trans. Instrum. Meas., Vol. IM-35, (Mar. 1986), pp. 91~92.