韓國精密工學會 '97年度 春季學術大會論文集 pp.123~127

디지털 신호처리에 의한 박판두께측정 및 접합경계면의 결함검출에 관한 연구

A Study on the Thickness Measurement of Thin Film and the Flaw Detection of the Interface by Digital Signal Processing

김재열(조선대 공대), 유신(조선대 대학원), 김병현(조선대 대학원)
Jea Yeol Kim(Chosun Univ), Shin You(Dept. of Mechanical Engineering Graduate School, Chosun Univ),
Byung Hyun Kim(Dept. of Precision Mechanical Engineering Graduate School, Chosun Univ)

ABSTRACT

Recently, it is gradually raised necessity that interface is measured accurately and managed in industrial circles and medical world, An Ultrasonic wave transmitted from a focused beam transducer is being expected as a powerful tool for NDE of micro-defect. The ultrasonic NDE of the defect is based on the form of the wave reflected from the interface.

In this study, regarding to the thickness of film which is in opaque object and thickness measurement was done by MEM-cepstrum analysis of recived ultrasonic wave. In measurment results, film thickness which is beyond distance resolution capacity was measured accurately. Also, automatically repeated discrimination analysis method can be devided in the category of all kinds of defects on semiconductor package,

Key words : Original image(원화상), Delamination(박리), Ultrasonic wave(초음파), Interface(경계면), NDE(비파괴시험), Micro-defect(미소결함), MEM-cepstrum analysis(멤셉스트럼 해석), Semi-conductor package (반도체 패키지)

1. 서 론

오래전부터 박막의 측정 및 미소결함측정의 기본적인 기술은 다수 연구되어 왔다. 박박측정기술은 급속히 발달하여 공업의 각분야에 있어서도 큰 비중을 자지하게 되었고, 박막의 두께를 정밀하게 측정하고 미소결함을 관리할 필요성이 생기게 되었다. 또 의학분야에 있어서도 혈관벽등 생체내의 박막의 두께를 정도좋게 측정하는 방법이 요망되고 있고, IC-chip 등 박막으로 구성된 각종 부품에서 미소결함을 판별하기 위한 연구가 현재 유망시 되어지고 있다. 종래의 박막두께 측정법에는 차동트랜스를 이용한 촉침식 막두께측정법, MBI(Multiple Beam Interferometry) 법, 편광분석법등이 있다. 그러나 이러한 방법은 IC Package 내의 chip의 접착층의 두께나 생체내의 박막등 불투명한 물체내에 존재하는 박막의 두께측정에는 적용이 불가능하다. 초음파를 이용한다면 불투명한 물체내의 막두께측정이 가능하지만 막두께가 초음파 펄스의 거리분해능도다 얇은 경우 기존 A- mode 방법으로는 측정이 곤란하다. 이와같은 경우박막으로부터의 초음파 펄스의 반사파를 spectrum 해석함으로서 거리분해능 이하에서도 막막의 두께를 측정하는 것이 가능하다. 본 논문에서는 MEM-cepstrum법에 의해 박막의 투께측정을 하였고, 또한 IC의 경계면 반사파 파형을 상세히 검토하고 이것을 근거로 미소결함에 대한 검출을 시도 하였다.

2. Cepstrum법을 이용한 박막두께 측정이론

박막으로부터의 합성반사파를 $X(t)$, 기본파를 $S(t)$, 반사강도를 a_i, 지연시간을 τ_i로 하면 $X(t)$는 식(1)로 표시된다.

$$X(t) = S(t) + \sum_{i=1}^{n} a_i \cdot S(t-\tau_i) \qquad (1)$$

식(1)의 양변을 Fourier 변환하면 식(2)와 같이 표시된다.

$$X(f)=S(f)\left[1+\sum_{i=1}^{n}a_i\cdot e^{-j2\pi f\tau_i}\right] \quad (2)$$

식(2)로부터 $X(t)$의 Power spectrum을 계산하면 식(3)과 같이 된다.

$$X_{xx}(f)=S_{xx}(f)[1+\sum_{i=1}^{n}a_i^2+2\sum_{i=1}^{n}\sum_{j=1}^{n}a_i\cdot a_j\cdot\cos 2\pi f(\tau_i-\tau_j)] \quad (3)$$

식(3)의 대수를 취하면 식(4)와 같이 되어 기본파의 파워스펙트럼과 지연시간차에 대응하는 quefrency를 갖는 주파수계열로 분리하는 것이 가능하다.

$$\log X_{xx}(f)=\log S_{xx}(f)+\log[1+\sum_{i=1}^{n}a_i^2+2\sum_{i=1}^{n}\sum_{j=1}^{n}a_i\cdot a_j\cos 2\pi f(\tau_i-\tau_j)] \quad (4)$$

그러므로 식(4)를 한번더 fourier 변환하여 quefrency 축상에서 지연시간에 대응하는 quefrency가 구해져 박막내에서의 음속을 안다면 그 두께를 계산하는 것이 가능하다.

Fig.1에 나타낸 MEM-cepstrum의 alogorithm에 의해 data를 해석하였다. 반사파형 $X(t)$와 입사파형

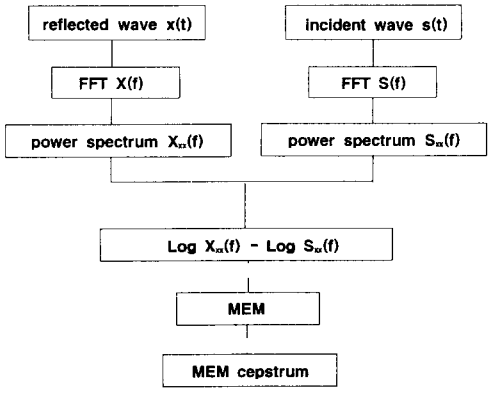


Fig. 1 Algorithm of MEM-cepstrum analysis

$S(t)$의 Power spectrum을 FFT를 이용하여 구한 후에 기본파의 Power spectrum을 이용하여 반사파의 Power spectrum을 정규화 하였다.

또한 Cepstrum을 구하는 방법으로 짧은 data에서도 분해능이 좋고 안정도가 높은 MEM을 이용하였다. time window로서는 식(5)에 나타낸 Hanning window를 사용하였다.

$$W_{HAN}(N)=0.5-0.5\cos(2n\pi/(N-1)) \quad (5)$$

또 Spectrum의 평활화를 위해서 식6)에 표시한 Hanning digital filter를 이용하였다.

$$f(n)=0.25f(n-1)+0.5f(n)+0.25f(n+1) \quad (6)$$

3. 실험방법

3.1 박막두께 측정

Fig.2 과 같이 물을 가득채운수조를 준비하여 두께 10mm의 acryl plate와 두께 50mm의 polystyrol block 사이에 똑같은 2장의 thickness gauge를 끼워 그 간격에 수막을 만들어 수막모델로 하였다.

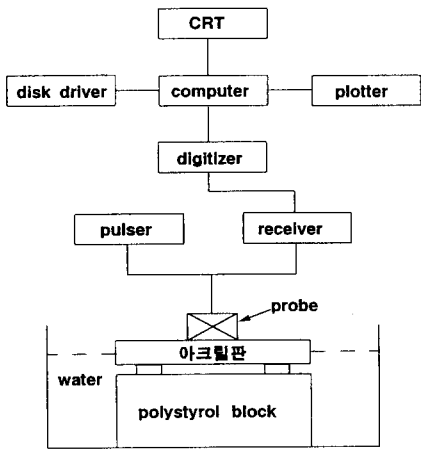


Fig. 2 Block diagram of experimental apparatus

실험은 1탐촉자법으로 행하였다. probe로부터 방출된 초음파 pulse는 acryl plate를 통과하여 수막에 반사되어 probe에 수신된다. 수신된 반사파를 receiver에서 증폭한 다음 digitizer에 입력하여 2.25C12.7N, 10C12.7N의 probe에 대해서 10 nsec 간격으로 Sampling을 행하였다. Sampling된 data를 GPIB를 거쳐서 computer에 전송하여 해석을 행하였다.

3.2 미소결함 검출을 위한 초음파신호의 화상처리 장치 및 방법

반도체 패키지 내부와같은 얇은 박막으로 구성되어져 있고, 또한 미소결함을 측정하기 위한 초음파 탐상장치로써 3축 스캐너를 갖는 측정장치를 구성했다. 여기서 탐촉자의 개구각, 초점거리, 주파수특성, 송수신기의 주파수특성, 증폭특성에 주의를 기울일 필요가 있다. 또한 A-scope만의 관찰에서는 재료중의 깊이방향 1line에 따르는 정보밖에 조사되지 않고 시험편 전체를 조사하는 데에는 엄청난 시간이 소요되기 때문에 실용적이지 않다. 그래서 탐촉자를 상하의 Z, 수평의 X,Y 면내를 자유로이 이동가능한

주사장치를 설치하고 각 설정위치로부터의 신호를 컴퓨터로 효율성 있게 검출가능한 C-scope 방식을 표준으로 했다. 본 장치에서는 소정 게이트내의 피이크치를 검출하고 이것을 A/D변환으로부터 컴퓨터에 기억한다. 일정 피치마다 데이터를 샘플링하여 기억시킨다. 이러한 방식으로부터 시험편의 소정깊이에 있어서 초음파 에코우 정보를 수집한다.

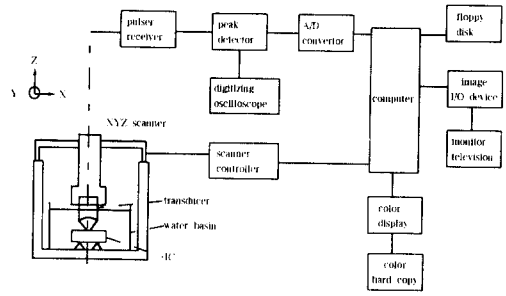


Fig.3 Block diagram of digital image processing

일반적으로 결함의 상태는 초음파 에코의 크기로부터 평가되며 리시버로 증폭된 신호를 oscilloscope로 관측하면 시험편 내부의 결함상황을 알 수 있다. 하지만 미세한 결함의 경우에는 oscilloscope만의 관측으로는 비능율적이므로 본 논문에서는 원화상을 얻기위해서 초음파의 반사파로부터 게이트 설정의 시작점까지가 최소 50nsec이며 게이트의 폭은 30nsec로 된다. RF 신호안의 게이트 범위내의 정(+)과 부(-)의 피이크치를 검출하고 A/D 변환후 컴퓨터 메모리에 기억된 메모리 데이터는 화상입·출력장치로부터 신호레벨을 휘도레벨로 변환하여 모니터로 출력한다. Fig.3은 디지털 화상처리 시스템을 표시한 것이다.

4. 실험결과 및 고찰

Fig.4는 true thickness와 MEM-cepstrum법에 의해 구해진 $\Delta\tau$로부터 계산한 막두께를 비교한 그래프 이다. 그래프로부터 막두께가 두꺼운 부분에서는 양자는 잘일치하고 있지만 얇은 부분에서는 어느 일정치로 됨을 알 수 있다.

반사파형 $X(t)$의 Power spectrum $X_{xx}(f)$와 입사파형 $S(t)$의 Power spectrum $S_{xx}(f)$도 거의 같게 되기 때문에 정규화 spectrum의 주파수축상에서 지연시간에 대응한 주파수계열은 매우 확대되어 퍼지게 된다. 그래서 낮은 주파수의 초음파를 이용한 계측에서는 지연시간의 검출이 어렵게 된다. 이 사실로부터 사용하는 탐촉자의 주파수에 의해 검출가능

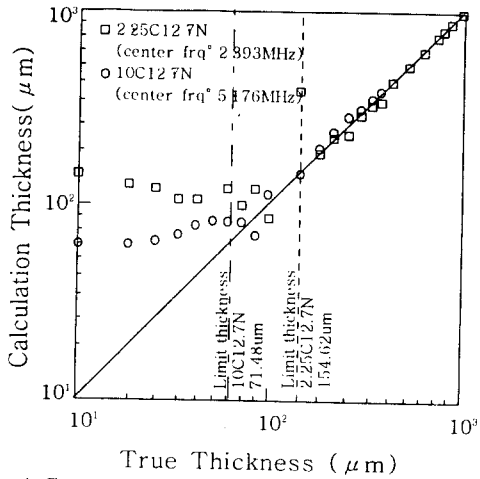
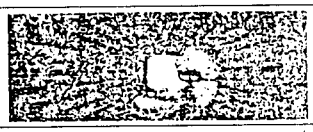
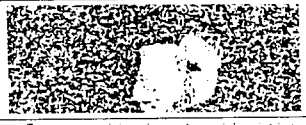
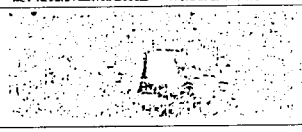


Fig. 4 Comparison of true thickness with calculation thickness

한 한계의 지연시간이 존재하는 것을 알수 있다. 본 연구에서는 $f \cdot l = 370$, 즉 탐촉자의 주파수와 박막의 두께의 곱이 370인 점을 유효한 간섭의 한계로 하여, 사용한 탐촉자의 중심주파수로 370을 나눈값을 Fig.4에 점선으로 나타내었다. 대략 이 선을 경계로 하여 그 이하에서는 true thickness와 계산치는 어긋나기 시작하여 어느 일정한 값으로 됨을 알 수 있다.

또한 IC-package 내부의 미소결함을 검출하기 위해서 초음파 주파수 25Mhz에 의한 검출결함에 대해 영역분할을 위한 2치 화상처리를 실시한다. Fig.5는 원화상의 경우를 판별분석법으로 반복적용하여 자동적으로 영역분할을 실시한 것이다. 따라서 Fig.5에서 (a)의 (ⅰ)은 원화상이며 (ⅱ)는 2치와의 문턱값(이하 Th라 칭함) 즉 Th1=102의 경우이며 레벨값은 103~255로 이것을 256계조로 나눈 것을 나타내고 그림중의 (ⅲ)는 레벨값 0~102까지를 256계조로 나눈 것을 나타내고 있다. 그러므로 Fig.5중 (a)는 chip 부근의 여러결함을 중심적으로 표시한 것이다. Fig.5중의 (b)의 (ⅱ)는 Th1=102의 화상에 대하여 다시 2치화한 경우로써 Th2=145 경우이고 레벨값 146~225까지를 표시한 것이고, 그림중의 (ⅲ)는 레벨값 103~145까지를 256계조로 나눈 것이다. 그림(b)중의 (ⅲ)은 chip 부근과 그 주위에 내재해 있는 결함을 나타내고 있다. Fig.5중 (c)의 (ⅱ)는 Th1=102의 화상에 대하여 다시 구한 Th0=37의 경우로 레벨값 38~102까지를 256계조로 나눈 것을 나타낸다. 그림중 (ⅲ)의 경우는 리이드 프레임부근과 배경부를 중심으로 구한 2치 화상이다.

Test number		Threshold value	Results of ultrasonic image
(a)	(i)	Original image	
	(ii)	Th1 = 102 103 ~ 255	
	(iii)	0 ~ 102	
(b)	(i)	103 ~ 255	
	(ii)	Th2 = 145 146 ~ 255	
	(iii)	103 ~ 145	
(e)	(i)	Original image	
	(ii)	146 ~ 255	
	(iii)	Th3 = 186 187 ~ 255	
(f)	(i)	Original image	
	(ii)	Th2 = 145 Binary images	
	(iii)	Th3 = 186 Binary images	

Test number		Threshold value	Results of ultrasonic image
(c)	(i)	0 ~ 102	
	(ii)	Th0' = 37 38 ~ 102	
	(iii)	0 ~ 37	
(d)	(i)	103 ~ 255	
	(ii)	146 ~ 255	
	(iii)	Th3 = 186 187 ~ 255	
(g)	(i)	Original image	
	(ii)	0 ~ 56 Th0' = 56	
	(iii)	57 ~ 104 Th1' = 104	
(h)	(i)	Th1' = 104 105 ~ 181	
	(ii)	Th2' = 181 182 ~ 255	

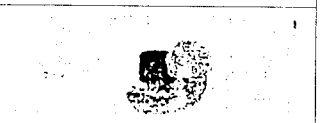
Test number		Threshold value	Results of ultrasonic image
(i)	(ⅰ)	Original image	
	(ⅱ)	Multinumerical value image Th0` = 56	
	(ⅲ)	Multinumerical value image Th1` = 104	
(j)	(ⅰ)	Th1` = 104 Multinumerical value image	
	(ⅱ)	Th2` = 181 Multinumerical value image	

Fig.5 Experimental result of binary image processing of moulded semiconductor package

Fig.5중 (d)의 (ⅰ)은 Th1=102보다 큰 경우이며 레벨값은 103~255이고 (ⅱ)는 Th2=145보다 큰 경우이며 레벨값 146~255를 나타내고 있고 그림중 (ⅲ)은 (ⅱ)의 화상에 대하여 2치화한 것으로 Th3=186보다 큰 레벨값 187~255까지를 나타낸 것이다.

Fig.5중 (e)의 (ⅰ)은 원화상이고 (ⅱ)의 경우는 Th2=145보다 큰 레벨값 146~255까지이며 Fig.5중 (b)의 (ⅱ)와 같다. 또한 (ⅲ)의 경우 Th3=186보타 큰 레벨값 187~255까지로서 Th2 보다 Th3쪽이 선명하다. Fig.5중 (f)의 (ⅰ)은 원화상이며 (ⅱ)는 Th2=145에서 2치화한 것으로 레벨값 146~255가 흑색으로 나타나고 있으며 이것은 사진에서는 반대이고 (ⅲ)의 경우는 Th3=186에서의 2치화로 레벨값 187~255가 흑색으로 사진과는 반대이다.

이상에서 알 수 있듯이 Th2에서는 chip부분에 결함이 확실하게 남아 있음을 알 수 있다. Fig.5중 (g)의 (ⅰ)은 원화상이며 이것을 4치화 하는 것으로써 그림중 (ⅱ)는 영역1(Th0`=56 이하) 즉 레벨값 0~56까지를 256계조로 나타낸 것이고, (ⅲ)는 영역2(Th0`=56 이상, Th1=104 이하)로 레벨값 57~104까지를 표시한 것이다. Fig.5에서 (h)의 (ⅰ)은 영역3(Th1=104 이상, Th2=181 이하)의 경우로써 레벨값 105~181까지를 256계조로 나눈것이며 (ⅱ)는 영역4(Th2=181 이상)는 레벨값 182~255까지의 경우이다.

Fig.5에서 (i)의 (ⅰ)은 원화상이며 (ⅱ)는 4치화로 영역1(0~56)이 흑색으로 사진과는 반대임을 알 수 있다. (ⅲ)은 4치화로써 영역2(57~104)로 흑색을 나타내고 있으며 사진과는 반대이다. Fig.5에서 (j)의 (ⅰ)은 4치화로써 영역3(105~181)이 흑색으로 보이고 있으며 (ⅱ)는 4치화로써 영역4(182~255)는 흑색이다.

이상에서 보는 바와 같이 4치화의 적용은 효과적임을 알 수 있다. 따라서 지금까지의 결과로보면 Th1=102의 부근에서 배경부를 제거할 수 있었으며 Th1=104 ~ Th2=181의 영역은 chip부와 박리부의 일부에 해당된다. 또한 그림중 Th3=186의 경우는 부분박리부로써 chip 부분의 주변 에찌(edge)부에 여러가지 결함이 존재하고 있는 것을 보이고 있으며 칩에찌(chip edge)의 우측상단에 부분에 비교적 많은 결함을, 좌측하단의 부분은 비교적 적은 결함을 나타내고 있다.

5. 결 론

본 논문에서는 MEM-cepstrum법에 의해서 막막의 두께를 측정하였고, 또한 이종재 경계면에서의 미소결함(접착 및 박리등)의 정보를 얻기 위해 반도체 패키지가 모울딩 된 것을 시험편으로 하여 경계면의 반사파형 변화에의한 화상해석 수행했다.

1) 박막으로부터의 반사파를 MEM-cepstrum 해석함으로써 중심주파수 2.39Mhz탐촉자의 경우는 약 150㎛까지 중심주파수 5.17Mhz 탐촉자의 경우는 약 80㎛까지가 거리분해능 이하의 막두께의 측정이 가능하였으며, 이 결과는 간섭한계값인 $f \cdot l = 370$의 관계로 구한 이론적인 특정한계값과 일치함으로서 다른 탐촉자의 경우에도 측정한계 값을 추정할 수 있다.

2) 반도체 패키지의 각종결함에 판별분석법의 반복적인 적용으로 그 영역분할이 가능하였으며 박리부분만의 추출도 가능하였다.

참 고 문 헌

1. 魚住淸彦, 山口十六夫 ; 薄膜測定, 應用物理 第56卷 第6號, 1980
2. Fuminobu Takahashi, Katsumichi Suzuki and Takahiro Kanamori : Digital signal processing in Acoustic Focused Image Holography,pp. 685~6979, Evaluation/440/October, 1986, pp.24~36