

초음파 현미경을 이용한 다층구조물의 해석

The Analysis of Multilayered Media Using Ultrasonic Microscopy.

고 대 식* 전 계 석**

(Dae-Sik Ko, Kye-Suk Jun)

요 약

본 연구에서는 수 파장 이상의 깊이에 존재하는 결함을 탐상하기 위하여 50MHz의 중심주파수에서 동작하는 small aperture형 초음파현미경을 구성하였고 다층구조 샘플에 대한 영상을 연구분석하였다. 다층구조물에서의 출력특성은 음향 감쇠, 수차, 레스형태, 샘플의 특성에 영향을 받으며 이것은 다층구조 I.C.와 bonding층 탐상에 적용할 수 있다.

실험결과, small aperture형 초음파현미경은 large aperture형 시스템에 비하여 두꺼운 샘플의 탐상에 유리하며 다 도구에서 관찰이 어려운 다층구조의 층별 탐상과 내부구조의 변형상태등을 2차원 영상으로 탐상할 수 있는 유용한 도구임을 확인하였다.

ABSTRACT

In this paper, 50MHz reflection ultrasonic microscope system with small aperture acoustic lens has been constructed in order to study the defects which lay deep in thick specimens, and acoustic images of multilayered media have been analyzed. Output characteristics of this system for multilayered media have been influenced by acoustic attenuation, aberration in specimen, type or lens and the properties of a defect, and it has been used for image processing of the multilayered I.C. and the bonding layer.

In experimental results, it has been shown that small aperture ultrasonic microscope system was powerful tool for inspection of thick specimens such as electronic device, bonding layer, quality of ceramic materials.

I. 서 론

Quate에 의하여 개발된 초음파현미경(scanning acoustic microscope)은 분해능의 향상과 응용분야의 확대를 위한 연구가 계속되고 있다.

최근 첨단 산업분야의 각종 제품은 소형화되고 있고 다양한 제작기술이 개발됨에 따라 다층구조(multilayered structure)의 수차들이 대량생산되고 있으며 이들에 대한 탐상 기술이 절실히 요구되고 있다.

그러나 다층구조물에서는 반사, 굴절, 감쇠, 수차, 지연등 여러 현상이 발생하기 때문에 정확한 해석이

* 목원대학 전자공학과 전임강사

** 경희대학교 전자공학과 교수

어려우며 lattice 필터를 이용하는 일반적인 pulse-echo 신호분석 방법의 경우도 2층 이상의 탐상에는 고도의 기술이 필요하다.^{11,12)} 한편 초음파현미경은 주로 large aperture형 음향렌즈를 사용함으로써 샘플 표면에 SAW(탄성표면파)를 여기시키고 이를 이용하여 고체내부를 영상화할 수 있기 때문에 탐상이 용이하였다. 이와같은 large aperture형 음향렌즈는 음향파를 매우 예리하게 집속시키기 때문에 표면의 crack이나 한 파장 이하의 깊이를 영상처리하는 데는 유리하지만 두꺼운 샘플의 내부나 3층 이상의 다층구조물에 대한 영상처리는 어려웠다.^{22,23)} 이에 비하여 small aperture형 음향렌즈는 aperture 각도에 비례하는 구면수차를 최소화할 수 있고 초점거리가 길기 때문에 다층구조물을 비롯한 두꺼운 샘플의 탐상에 매우 유용할 것이다.^{20,21)}

본 연구에서는 다층구조물에 대한 영상처리를 위하여 결합의 크기와 음향감쇠를 고려한 중심주파수 50MHz대에서 동작하는 small aperture형 초음파현미경 시스템을 구성하였으며 다층구조 샘플에 대한 시스템의 출력특성을 연구분석하였다. 다층구조에 대한 초음파 특성을 해석하고 음향감쇠, 결합층의 길이, 렌즈의 형태등에 따른 출력특성을 비교 고찰하였으며 다층구조 IC의 층별 영상처리와 package 된 반도체소자의 bonding 상태, 그리고 반도체 분야에서 많이 이용되고 있는 세라믹재료의 crack과 내부결함 그리고 외부충격등에 의한 내부구조의 변화등을 초음파현미경의 영상을 통하여 분석하였다.

II. small aperture형 음향렌즈를 이용한 초음파현미경 시스템

II-1. 다층구조물에서의 초음파 특성

초음파 펄스가 임의의 다층구조에 인가되었을 때 얻어지는 반사신호는 각 층에서의 반사와 굴절, 모드변환, 음향감쇠등의 영향을 받으므로 이에 대한 정확한 해석이 어렵다. 이러한 다층구조에 대한 음향선파현상을 해석하기 위하여 음향임피던스가 서로 다른 두개의 매질에서의 반사계수와 투과계수를 이용할 수 있다. 먼저 매질의 밀도와 전파속도의

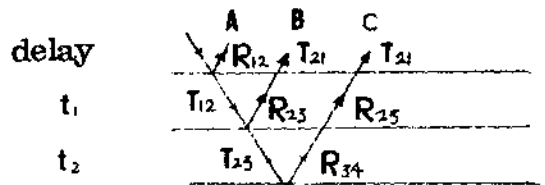
값으로 표시되는 음향임피던스를 Z_1, Z_2 라고 하면 반사계수와 투과계수는 다음과 같다.²⁴⁾

$$R_{12} = \frac{Z_2 - Z_1}{Z_1 + Z_2}, T_{12} = \frac{2Z_2}{Z_1 + Z_2} \quad (1)$$

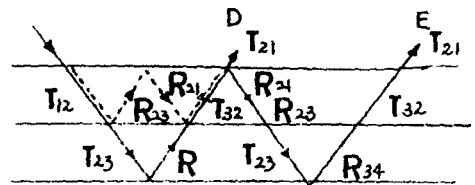
경계면에서 연속적이라면 $R_{12} = -R_{21}$ 이며 $R+T=1$ 일 것이다. 임의의 다층구조에 대한 이론적 해석은 매우 복잡하지만 상통화 되어있는 대부분의 샘플은 2~4층 정도이고 특히 본 연구에서 취급하는 다층구조물은 층사이의 간격이 일정한 경우이기 때문에 음향파의 지연시간을 예측할 수 있으며 각 층에서의 반사신호처리 또한 비교적 용이하다.

해석을 간단히 하기 위하여 4층구조에 대한 음향파의 경로를 추적하여 반사신호의 지연시간과 진폭을 구해보면 그림 1과 같다.

| | |
|--|--------------|
| 1차 반사신호 1-(a) | |
| Amplitude | delay |
| A → R_{12} | 0 |
| B → $R_{23}(1-R_{12}^2)$ | t_1 |
| C → $R_{34}(1-R_{23}^2)(1-R_{12}^2)$ | t_1+t_2 |
| 2차 반사신호 1-(b) | |
| Amplitude | delay |
| D → $R_{12}R_{23}^2(1-R_{12}^2)$ | $2t_1$ |
| E → $R_{12}R_{34}^2(1-R_{23}^2)(1-R_{12}^2)$ | $2(t_1+t_2)$ |
| F → $R_{23}R_{34}^2R_{23}(1-R_{23}^2)(1-R_{12}^2)$ | $2t_1+t_2$ |



1-(a)



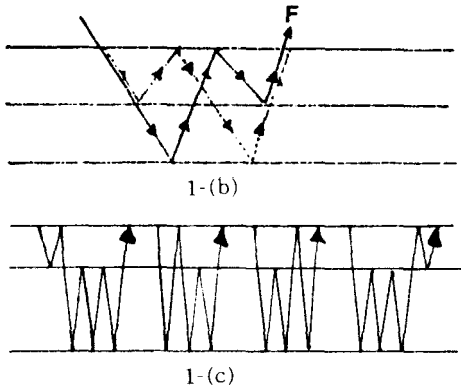


그림 1. 다층구조물에서의 음향파 경로.
Fig 1. Ray tracing for multilayered media.

그림 1에서 R과 T의 철자들은 식[1]에서 정의된 것처럼 2,3,4층으로 확대한 것이고 1차 반사신호는 A,B,C로, 2차 반사신호는 D,E,F로 표시하였으며 상대적으로 진폭이 커다란 1차신호가 영상처리에 이용될 것이다. 특히 그림 1-(c)에서 나타난 것처럼 동일한 지연시간을 갖는 신호가 매우 많은 것을 알 수 있고 만약 층사이의 간격이 일정하다면 그 해석은 보다 간단해지기 때문에 그에 따른 정밀한 time-gating 과정을 통하여 원하는 반사신호를 분리해 낼 수 있을 것이다.

II-2. 다층구조물에 대한 출력특성

물-샘플-결합층이나 물-샘플-1 결합층-2 결합층과 같은 다층구조물에 대하여 defocus length의 변화에 따른 초음파현미경 시스템의 출력특성을 해석하기 위하여 그림 2와 같은 기하학적구조를 이용할 수 있다.¹⁰⁾

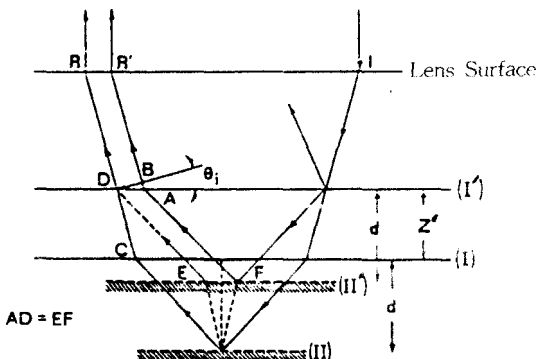


그림 2. 다층구조물에 대한 음향렌즈의 기하학적 구조.
Fig. 2 Geometrical structure of acoustic lens for multilayered media

그림 2에서 I 나 I'는 샘플의 표면이고 II나 II'는 결합층면이며 일반적인 snell의 법칙을 고려할 때 small aperture형 음향렌즈는 진축점거리를 형성 시키므로 결합층까지 음향에너지를 최대로 전달할 수 있음을 알 수 있다. 이와같은 두가지 경우의 defocus length 위치에서 반사되어 음향렌즈에 수신되는 음향파의 경로차는

$x=2 \overline{CD}-\overline{AB}=2Z \cos\theta_1$ 이다. 그러므로 위상차는 $\exp(jkx)$ 일 것이고 small aperture형 렌즈라면 $x=2 Z'-Z \sin^2\theta_1$ 로 근사화시킬 수 있으며 둘째 경계면이 축점과 일치하는 경우($Z'=0$)의 출력특성은 반사파 음향장의 진폭과 위상으로 표현할 수 있다.

$$V(Z) = \frac{1}{R_0^2} \int_0^R P^2(r) \exp(j2kZ') \exp(-j2kZ' \sin^2\theta_1) (2r dr) \tag{2}$$

여기서 P(r)은 문헌[3]에 주어진 렌즈의 특성함수로서 렌즈의 구조와 구면수차를 포함하는 함수이고 k는 물속에서의 파수이며 r은 원형좌표($r^2=x^2+y^2$)이다. $P^2(r)$ 은 송신과 수신을 고려하여 제품이 되었고 defocus 길이를 S라고 하면 $S=\bar{c} \cdot d$ 이다. \bar{c} 는 샘플과 결합용액사이의 음향속도 비율이므로 $Z=Z+S$ 이 되며 이를[2]식에 대입하면 [3]식으로 다시 쓸 수 있다.

$$V(Z) = \frac{1}{R_0^2} \int_0^R P^2(r) \exp(j2k(Z+S)) \exp(-j2k(Z+S) \sin^2\theta_1) (2r \cdot dr) \tag{3}$$

이제 물속에서의 음향감쇠 $\exp[-2ac(Z+F)] \exp(-ac(Z+F) \sin^2\theta_1)$ 를 고려하면 결합층에서의 출력특성은 [4]식과 같이 유도된다.

$$V(Z) = \frac{1}{R_0^2} \int_0^R P^2(r) \exp(j2k(Z+S)) \exp(-j2k(Z+S) \sin^2\theta_1) \exp(-2ac(Z+F)) \times \exp(ac(Z+F) \sin^2\theta_1) (2r \cdot dr) \tag{4}$$

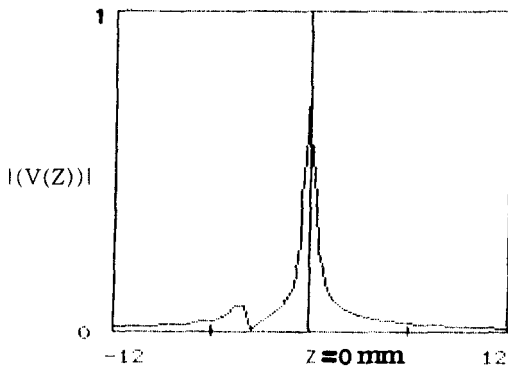
[4]식에서 F는 축점거리이고 ac는 물속에서의 감쇠계수이다. 이제 대분위 표면에서 반사되는 출력특성을 $V_1(Z)$ 라고 놓으면 전체적인 출력특성은 [5]식이 된다.

$$V(Z) = R_{12} V_1(Z) + T_{12} R_{23} T_{23} V'(Z) \exp(-2\alpha s \cdot d) \tag{5}$$

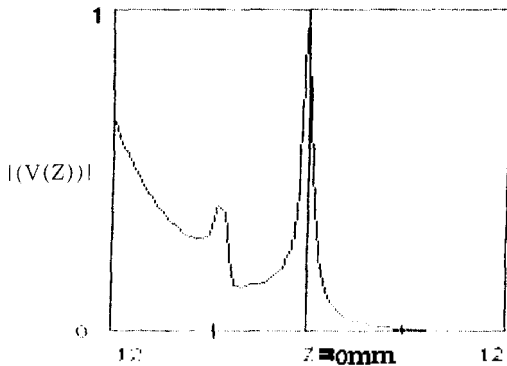
여기서 R, T는 그림 2에서 정의된 반사계수와 투과계수이고 α_s 는 샘플에서의 음향감쇠계수이다.

샘플의 종류나 음향감쇠계수, 결합층의 길이, 렌즈의 형태등의 변화에 따른 small aperture형 시스템의 출력특성을 구하여 보면 그림 3과 같다. 이때 동작주파수는 50MHz, 초점거리는 12mm, R_0 는 SAW를 여기시키 않는 4mm이었으며 샘플은 반도체 분야에 많이 사용되는 실리콘과 알루미늄으로 가정하였다.

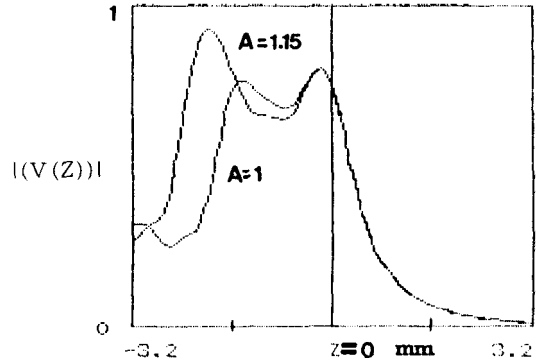
그림 3-(a), (b), (c)에서 종래의 large aperture형 렌즈에서 나타난 진동형태는 나타나지 않았고 초점을 벗어난 $Z=0$ 이상의 영역에서는 급격한 감쇠



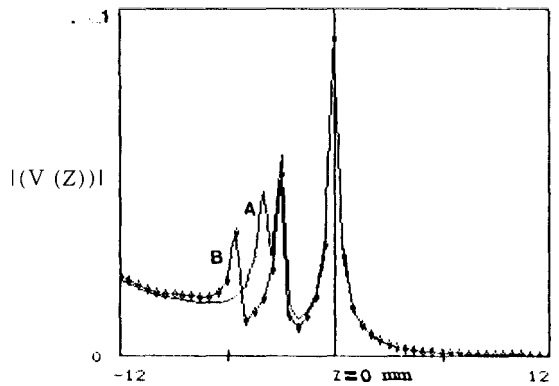
3-(a) Si-0.6mm 두께, α 는 무시, $F=12$ mm, frequency=50MHz



3-(b) Si-0.8mm 두께, α 는 고려, $F=12$ mm, frequency=50MHz



3-(c) Al-0.5mm 두께, α 는 고려, $F=3.2$ mm, frequency=150MHz



3-(d) A:Si-0.5mm+Al-0.5mm, B:Si-0.5mm+Al-1mm, <기타조건은 3-(b)와 동일>

그림 3. 출력특성에 대한 시뮬레이션 결과
Fig. 3 Results of simulation for output of system ($V(Z)$ curve)

를 보이고 있으며 샘플의 두께에 해당하는 defocus length에서 커다란 반사신호가 발생하는 것을 볼 수 있다. 이것은 입사각과 샘플의 굴절률을 고려할 때 잘 일치하는 것이며 그림 3-(c)에서 A는 굴절각에 비례하는 수차(aberration)상수로서 알루미늄=1.15, 실리콘=1.2, 강철=1.14 인데 수차가 클수록 출력의 최대점은 좌측으로 이동하는 것을 볼 수 있으며 150MHz의 고주파수에서 발생하는 음향감쇠의 영향에 의하여 2mm 이상의 defocus length부터는 표면에서보다도 커다란 출력을 나타내고 있다. 그림 3-(d)에서는 두개의 결합층을 고려한 출력으로서 A,B 모두 실리콘 결합층의 0.5mm두께에서 1차 최대점이 발생하였고 A는 두번째 결합층인 알루미늄의 0.5mm두께에서, B는 1mm두께에서 각각 2차 최대치가 발생하였다.

그림 3. 출력특성에 대한 시뮬레이션 결과
Fig. 3 Results of simulation for output of system

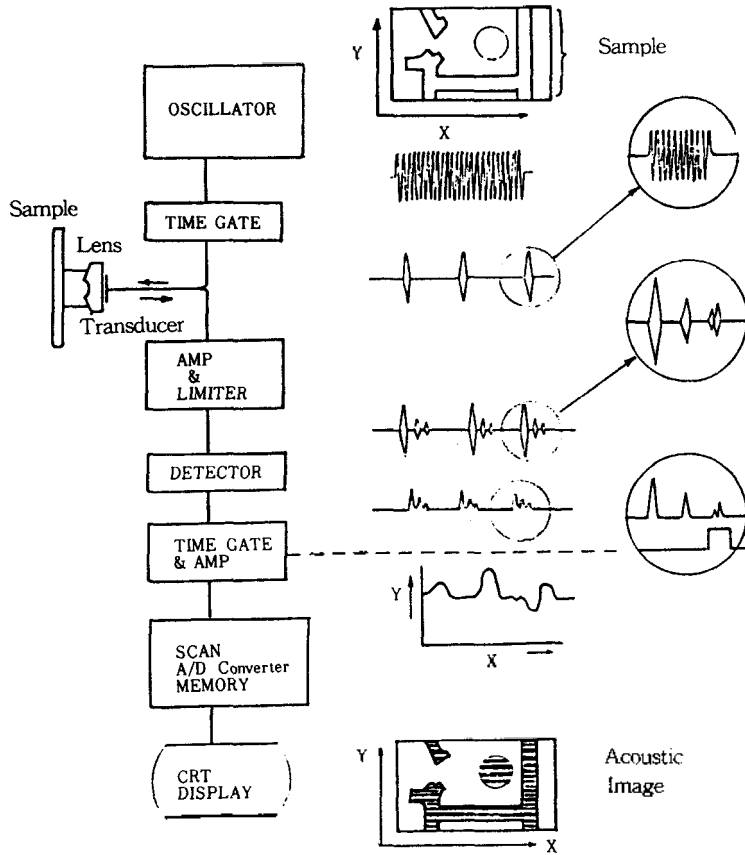


그림 4. 50MHz대 초음파현미경의 구성
 Fig. 4 Block diagram of the 50MHz ultrasonic microscope system.

III. 실험 및 고찰

III-1. 시스템의 구성 및 동작원리

small aperture형 음향렌즈가 부착되어 있는 하나의 음향변환기에 의하여 송수신을 수행하는 반사형 초음파현미경 시스템의 기본구성은 그림 4와 같다.

그림 4에서 펄스나 tone-burst 같은 전기적인 신호는 음향변환기를 통하여 음향파로 변환되고 음향렌즈와 결합용액사이의 커다란 속도차이에 의하여 매우 예리하게 집속된다. 집속된 음향파 비임은 음향 임피던스의 차이가 발생하는 불연속면에서 강한 반사를 일으키며 음향변환기로 되돌아온 반사신호는 이들을 영상처리를 위하여 A/D 변환된다. 2차원적 영상은 기계적인 c-scan방법에 의하여 구성되고 scan면적은 X-Y스캐너가 컴퓨터로 제어되므로 샘플에 따라 쉽게 조정할 수 있으며 각 지점마다 발생하는 반사신호의 미소한 변화는 모니터에서 brightness

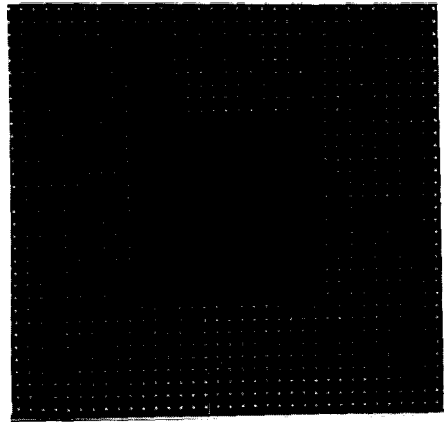
로 대응되어 현저한 콘트라스트를 나타내준다. 음향 변환기를 샘플에 더욱 근접시키면 음향파의 초점은 샘플의 내부에 형성되며(defocused mode동작) 만약 내부에 형성된 초점평면에 결함이 존재한다면 다른 다중 반사신호보다 강한 반사를 일으키므로 이를 영상처리하여 타 도구에서는 얻기 어려운 고체내부의 영상을 얻을 수 있다. 종래의 저주파대(3MHz) 시스템에서는 수 μ sec 폭의 tone-burst신호를 이용하였으나 본 시스템의 경우에는 수백 nsec정도의 짧은 펄스를 이용하여야만 시간영역에서의 분해능이 향상되기 때문에 별도의 50MHz용 pulser-receiver가 필요하고 이외에도 detector, AMP, time-gate 회로들도 50MHz의 주파수 특성을 갖는 것으로 대체하여야 한다. 일반적으로 40%정도의

비대역폭 특성을 갖는 음향변환기와 20-100 nsec 정도의 짧은 펄스를 사용하는 방법에 의하여 축방향(depth) 분해능을 다층구조의 각층이 분리될 수 있을 정도로 향상시킬 수 있다.

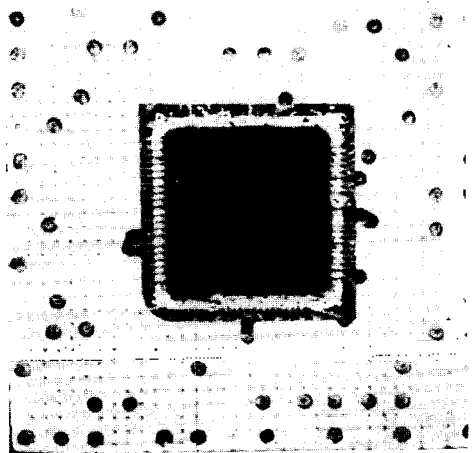
III-2. 다층구조 I.C. 층별 탐상

VLSI의 설계와 제작방법의 고도화로 최근 PCB를 비롯한 대부분의 I.C.는 다층구조로 제작되기 때문에 각 층별 탐상기술이 필요하다. 초음파현미경에서 다층구조 I.C. 칩에 대한 영상을 얻기 위해서는 1 GHz정도에서 얻어지는 고분해능을 요하며 이러한 고주파수 동작에 따른 신호처리상의 어려움이 있지만 이것은 초고주파용 음향변환기의 개발과 결합용액의 적절한 선택등 추가적인 기술 개발을 통하여 극복할 수 있으며 PCB나 I.C.의 각 층별 배선도 등은 50-100MHz 대에서도 명확하게 영상처리할 수 있다. 다층구조 I.C. 탐상을 위하여 2절에서 논한 다층구조 해석에 따라 음향변환기를 축방향(z축)으로 이동시켜 음향파의 초점을 각 층의 배선도면에 일치시키고 defocused mode로 동작시키면 신호처리에 충분한 반사신호를 얻을 수 있으며 이를 디지털 영상처리하면 각 층별 영상을 얻을 수 있다. 본 시스템의 출력은 Z의 변화외에도 매질의 특성과 결합여부에 따라서 매우 민감한 변화를 나타내므로 2.2절의 특성곡선은 층별 영상처리에 필요한 defocus 길이를 예측하는데 커다란 도움을 준다. 음향변환기를 샘플의 표면으로부터 defocus 시킴에 따라 반사신호는 서로 다른 형태를 보이지만 이것들은 각 층에서의 왕복지연시간이 각 층 사이의 간격과 세라믹 재료의 음향 속도에 의하여 계산되므로 예측가능한 것이며 이와 같은 방법에 의하여 음향렌즈의 초점이 배선도면에 일치한 경우를 찾아 고정시키고 tiem-gating하여 c-scan하여야 한다. 그림 5는 리드선이 4-layer로 구성되어 있고 두께가 2mm, 가로 세로가 35×35mm인 I.C. 샘플을 선택하고 각 층별로 영상처리한 것으로서 콘트라스트가 분명하게 나타났음을 볼 수 있다.

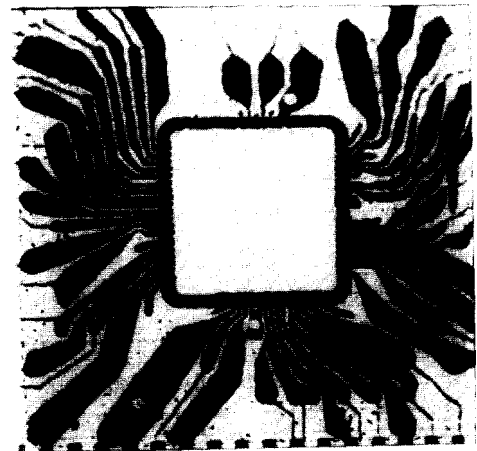
그림 5에서 흑백으로만 표현한 한 관계로 5-(b) 영상은 콘트라스트가 불량한 듯하지만 실제 모니터에서는 의사칼라 기법에 의하여 현저한 콘트라스트를 유지하고 있으며 각각에 대한 defocus



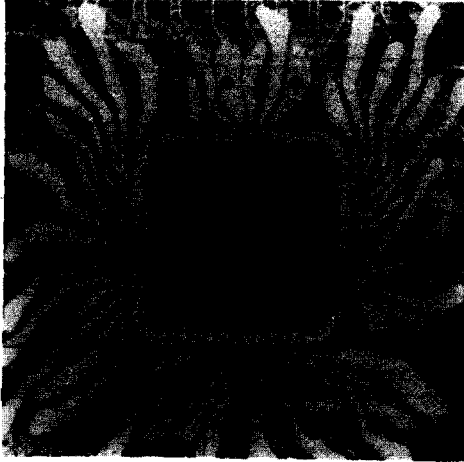
5-(a) defocus=2.3mm



5-(b) defocus=4.7mm



5-(c) defocus=7.3mm



5-(d) defocus=9.7mm

그림 5. 다층구조 IC의 각 층별 초음파 영상
Fig. 5 Acoustic image of multilayered I.C.

length는 층사이의 간격인 0.4mm와 음향속도를 고려하여 일단 선정하고 그 지점을 중심으로 약간의 수동적인 조작을 통하여 최대 반사가 발생하는 정확한 초점을 찾았다.

Ⅲ-2. 반도체 소자의 bonding 층 탐상

반도체 소자의 bonding 층에 결함이 존재하거나 접착상태가 불량할 경우 소자의(device)의 열적저항을 증가시키는 요인이 되기 때문에 결과적으로 완제품의 동작특성과 기계적 안정도 그리고 수명에 커다란 영향을 미치게 된다. 사실 현대의 반도체 소자들은 고도의 제작기술 의존하여 생산되고 있지만 생산과정에서의 soldering 기계는 1:2초 정도로 매우 빠르게 동작하기 때문에 동일한 제품일지라도 bonding 상태는 매우 다양하게 나타난다. 초음파현미경은 이미지를 위한 정보가 샘플의 물리적 성질이므로 반도체 소자의 bond층을 영상처리할 수 있고 이를 통하여 접착상태를 조사할 수 있다. 그림 6은 샘플로서 packaged I.C.를 선택하여 음향현미경의 주검은 bond층에 위치하여 312.5kHz의 주파수 I.C. scan하여 얻어진 영상이다. 그림 6에서 bonding 상태는 비교적 고르지 못한 것을 볼 수 있고 특히 흰색으로 나타난 중심부의 우측 edge부분의 bonding 상태가 불량한 것을 볼 수 있다.

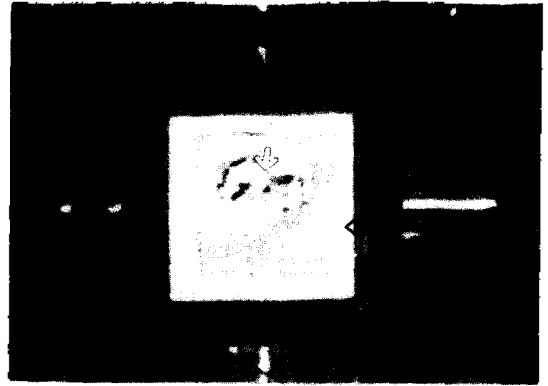


그림 6. bonding 상태의 탐상
Fig. 6 Inspection of bonding layer.

Ⅲ-3. 세라믹 재료의 탐상

반도체 소자뿐 비롯한 각종 산업분야에 광범위하게 이용되고 있는 세라믹재료의 표면 crack이나 내부에 존재하는 결함은 세라믹재료의 강도특성을 고려할 때 fracture를 야기시키기에 충분한 원인이 되며 이러한 결함은 세라믹의 생산과정이나 grinding 같은 표면마무리 작업 그리고 완제품에 대한 외부충격등에 의하여 쉽게 발생할 수 있다.

초음파 반사신호는 결함이나 표면상태의 변화에 민감하게 작용하므로 초음파현미경은 세라믹 재료에 대한 탐상에 이용될 수 있다. 그림 7은 고온으로 소결시킨 세라믹에 대한 음향이미지로서 고온으로 인한 균열상태가 crack으로 나타난 것을 볼 수 있으며 이와같은 결과는 세라믹 제조공정에서 매우 요긴하게 응용될 수 있을 것이다.

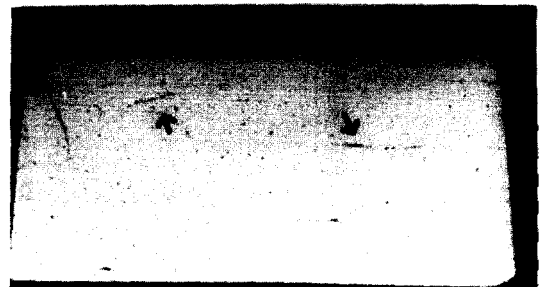


그림 7. 표면 crack의 탐상
Fig. 7 Inspection of crack in ceramic

초음파현미경에 의하여 검출이 가능한 crack의 크기는 동작주파수와 crack에서 발생하는 산란파의 세기에 의하여 결정되는데 현재 한과장이내인 것으로 발표되고 있다. 아울러 초음파현미경의 2차원적 영상에서는 crack의 깊이를 결정하기는 어려우므로 이를 위한 주파수 분석등의 연구가 계속되고 있다.

한편 초음파현미경은 타 도구에서 관찰이 어려운 세라믹재료의 내부구조 나아가서는 grain 형태를 탐상할 수 있는 장점이 있다. 즉 외형적으로는 같으나 생산과정에서 압력 정도의 차이를 두었을 때 내부 구조에는 현저한 차이가 있고 동일한 완제품에 대하여 외부에서 충격을 가했을 때도 내부구조에는 커다란 변형을 일으킨다. 이러한 압력이나 외부충격이 재료에 가해지면 재료의 밀도등이 변화되므로 이들에 대한 탐상이 가능하다.

그림 8은 세라믹재료의 생산과정에서 압력을 실험적으로 50,100, 200kg/cm²로 하여 제작된 새개의 샘플의 단면을 초음파현미경으로 영상처리한 것이고 그림 9는 세라믹재료에 외부충격을 가한 후 그 단면을 영상처리한 것으로서 현저한 밀도 차이와 충격을 받은 부분에서의 심한 왜곡현상이 발생하였음을 확인할 수 있다.

이때 신호처리에서 중요한 것은 어느 반사신호를 선택할 것인가 하는 것인데 실험결과, 표면이나 옆면에 대한 반사신호의 영상보다 표면을 통과하여 이면에서 반사된 신호를 영상처리한 것이 내부 전체를 통과한 신호이기 때문에 가장 정확한 영상임을 알 수 있었다. 그림 8에서 A는 가장 강한 압력을 가한 경우의 영상으로서 고른 내부구조를 보이고 있고

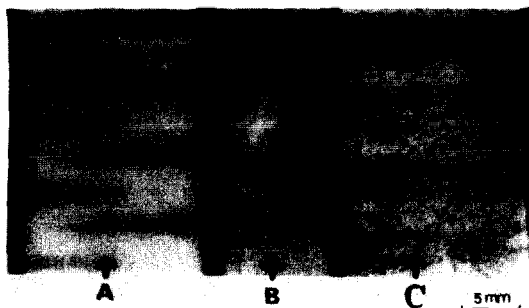


그림 8. 인가 압력차에 의한 내부구조 탐상
Fig. 8 Inspection of interior structure by variation of the pressure.

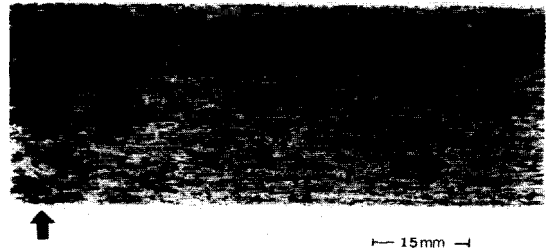


그림 9. 외부충격에 의한 내부구조의 변화탐상
Fig. 9 Inspection of interior structure by stress.

B나 C에서 나타난 기포는 전혀 없으며 좌우로 발생한 검은 부분은 압력의 인가시 발생한 일종의 결함으로 판단된다.

이와같이 초음파현미경은 광학적으로 관찰이 어려운 다층구조 I.C.의 층별 탐상이나 bonding 상태 그리고 세라믹재료의 crack 및 내부구조를 탐상할 수 있고 10-15분 정도의 영상처리 시간만으로 비교적 용이하게 동작할 수 있는 장점이 있으므로 다층구조 소자를 비롯한 재료의 탐상분야에 응용이 가능할 것으로 기대된다.

IV. 결 론

본 연구에서는 초음파현미경을 이용하여 기존의 영상처리시스템에서는 관찰이 어려운 다층구조물에 대한 탐상 탐법을 연구분석하였다.

다층구조물에 대한 small aperture형 시스템의 출력곡선에서 물과 샘플에서의 유향감쇠는 시스템의 감도를 둔화시키며 출력곡선의 최대값은 초점이 결합층면에 일치하였을 때 발생하므로 다층구조물의 영상처리에 이용될 수 있다. 종파 입계각도 이하의 small aperture형 음량렌즈는 구면수차를 감소시키며 수 광장 깊이에 존재하는 결합의 영상처리에 적합하다.

4-layer I.C. 샘플을 선택하고 초음파현미경을 defocused 모드로 동작시켰을 때 그림 5와 같이 각 층별 영상을 얻을 수 있었고 bonding 상태에 대한 탐상도 가능하였으며 이와같은 결과는 도청에

벨의 차이가 있는 TR이나 FET의 전극등에 대한 탐상에도 이용될 수 있을 것으로 판단된다.

일반적인 반사모드 동작과는 다르게 샘플의 이면에서 반사된 신호를 영상처리함으로써 압축량의 변화에 따른 세라믹재료의 내부구조와 외부충격에 의한 내부구조의 변형등을 콘트라스트가 분명한 영상으로 확인할 수 있었다.

이와같이 small aperture형 초음파현미경 시스템은 다층구조물의 탐상이나 재료의 특성조사에 유용한 도구이며 앞으로 주파수 분석과 응용분야의 확대를 위한 연구가 계속되어야 하겠다.

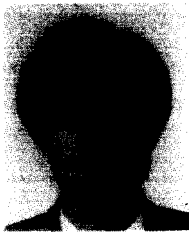
참 고 문 헌

1. "Transmission and reflection of ultrasonic waves in layered media." D.L.Folds, C.D.Loggins, J.Acoust. Soc.Am., Vol.62, No.5, November 1977, pp. 1102-1109.
2. "An acoustic microscope for industrial applications." I.R. Smith, R.A. Harvey, IEEE transactions on sonics & ultra. SU-32 march 1985. pp.274-288.
3. "Acoustic reflection microscope", A. Atalar, ph.D. Dissertation, stanford univ. May 1978.
4. "Acoustic microscopy of ceramic surfaces.", K. Yam-

- anaka, Y. Enomoto, IEEE transactions on sonics & ultra. SU-32 march 1985, pp. 313-319.
5. "Development of an acoustic model for multi-layered NDE", R.Shanker, Review of progress in quantitative nondestructive evaluation, 1984, pp. 1679-1696.
6. "Pattern recognition in the ultrasonic imaging of reverberant multilayered structure", J.Sanie, IEEE transactions on ultrasonics and frequency control. Vol. FFC-36, No.1, January 1989, pp. 80-92.
7. "Generalized formulas for reflected pulse response of multilayered structure", E.James Chern, J.Appl. Phys. 66(7), 1 October 1989, pp. 2833-2837.
8. "Subsurface broadband acoustic microscopy of solid using aperture lenses", Review of progress in quantitative nondestructive evaluation, 1984, pp. 1911-1923.
9. "Lens design for acoustic microscopy", Ching-Hua Chou, IEEE transactions on ultrasonics and frequency control, Vol.35, No. 4,July 1988, pp. 464-469.
10. "Modeling the acoustic material signature in the presence of a subsurface crack", Review of progress in quantitative nondestructive evaluation, 1983, pp. 1173-1184.
11. "Reflection acoustic microscopy for thick specimens" J.K. Wang, J.Appl. Phys. 55(1), 1 January 1984, pp. 80-88.

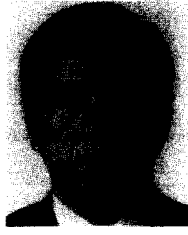
▲高大植 (정희원)

1959년 4월 24일생
 1982년: 경희대학교 전자공학과 졸업(공학사)
 1987년: 경희대학원 졸업(공학석사)
 1990년: 경희대학원 박사과정 수료
 현재: 목원대학 전자공학과 전임강사



▲田啓石 (정희원)

1944년 9월 30일생
 1969년: 연세대학교 전기공학과 졸업(공학사)
 1973년: 연세대학교 대학원 졸업(공학석사)
 1983년: 연세대학교 대학원 졸업(공학박사)
 1984년~1985년: 미국 스탠포드대학교 W. W. HAN SEN LAB.



현재: 경희대학교 전자공학과 교수(주관심분야: 초음파 영상처리 및 비파괴 검사 등)