

**창립**  
40주년 학술대회  
논문 87-K-20-2

음향 현미경의 구성과 비파괴 검사 기술에 관한 연구

고 대식\*, 김 장권, 전 계석  
경희 대학교 전자 공학과

(A study on the construction of acoustic microscope and NDT technique)

Dae-Sik Ko, Jang-Kwon Kim, Kye-Suk Jun  
Dept. of Electronics, Kyung Hee Univ.

ABSTRACT

In this paper, a low frequency acoustic microscope system has been built for the purpose of detecting subsurface defects in materials.

100 won coin, aluminium, ceramics, I.C. are used for experimental and the acoustic microscope is operated in the focused and defocused mode at a frequency of 3 MHz.

In experiment, it has shown that acoustic microscope has the resolution of 0.5mm and the defects presented on the surface and near surface of samples are detected by a monitor.

I. 서론

음향 이미지 처리 기술은 1930 년대에 sokolov 에 의해 처음으로 제시되었<sup>1)2)</sup>으며 제 1 차 대전 중 sonar 의 개발로 급격히 발전하였다. 특히 1975년 미국의 quate 와 lemons는 증래 피스톤형 음향 변환기에 음향 렌즈를 부착하여 고분해능을 갖는 음향 현미경 시스템을 개발하였다. 1)3)4)

조기의 음향 현미경은 주로 전달모드에서 동작하므로써 생체의 조직이나 세포를 검사하는데 사용되었으나 1978년 atalar는 레이더에서 사용하는 펄스 에코 방법을 이용하여 반사모드에서 동작하는 음향 현미경을 개발하였으며 이것은 두께가 큰 샘플에 적용할 수 있으므로 비파괴 검사에 이용할 수 있다. 5)6)7)

본 연구에서는 3 MHz 에서 저주파대 음향 현미경 시스템을 구성하고 샘플로서 100 원 주화, 알루미늄, 세라믹스 그리고 집적회로 등을 선택하여 음향 현미경 시스템을 focused mode 및 defocused mode 동작으로 나누어 실험하였으며 실험 결과에서 나타난 고체샘플의 표면과 내부의 영상을 통하여 본 시스템의 성능을 연구 분석하였다.

II. 저주파대 음향 현미경 시스템의 구성 및 동작원리

II.1 시스템 구성

저주파대 음향 현미경 시스템은 고체 표면 및 표면내부를(subsurface)를 영상화하여 재료의 표면상태나 내부결함등을 탐상할 수 있는 장비이고 (1)신호 발생 장치 (2)음향 변환기 (3) 반사신호 처리 장치 (4)음향 이미지 처리 장치 (5)기계적 스캐닝 시스템등의 5개 부분으로 구성되며 그 구조는 그림 1 과 같다. 1)3)8)

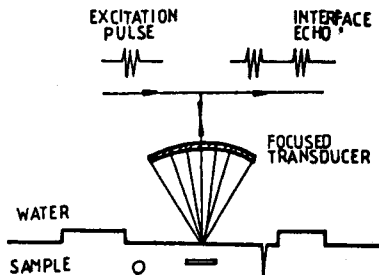


그림 1. 음향 현미경의 구조

11.2 동작원리

그림 1 에서 변환기에 tone burst 파를 인가하면 변환기는 전기적 신호를 음향파로 변환시키며 변환된 음향파를 샘플물에 집약시킨다. 음향파는 샘플의 반사계수에 따라 반사하며 이 반사 신호의 진폭은 샘플의 음향 임피던스 값과 샘플과 변환기사이의 거리의 함수로 나타나므로 모니터의 명도(brightness)를 변화시키는데 사용된다. 모니터의 한점(pixel)은 샘플에 대한 변환기의 한 위치에 대응하므로 샘플에 대한 2 차원 영상을 얻기 위해서는 X-Y 스캐닝이 필요하다.

변환기의 초점을 샘플표면에 일치시키고 변환기를 샘플에 주사하는 방법을 focused mode 동작이라고 하며 이 동작은 샘플의 표면상태를 영상화하는 데 사용된다. 7)

한편 샘플 내부의 결함을 검출하고자 할 때는 변환기를 샘플에 접근시켜 초점이 샘플의 내부에 형성되도록 한다. 이러한 동작 모드를 defocused mode 동작이라고 부르며 음향 현미경을 defocused mode 에서 동작시킬때 음향파의 일부는 탄성 표면파(SAW; surface acoustic wave)를 발생시키는 rayleigh angle 로 샘플에 입사되어 샘플의 표면을 따라 전파하는 탄성 표면파를 발생시킨다. 탄성 표면파는 샘플 내부로 1 파장 길이 만큼 침투할 수 있으므로 그 파장 내의 결함이 존재한다면 그 부분의 음향 임피던스가 변화하여 반사신호의 세기가 변화할 것이다. 이러한 변환기의 동작모드를 이용하여 음향 현미경은 비파괴 검사도구로서 응용될 수 있다. 1)6)

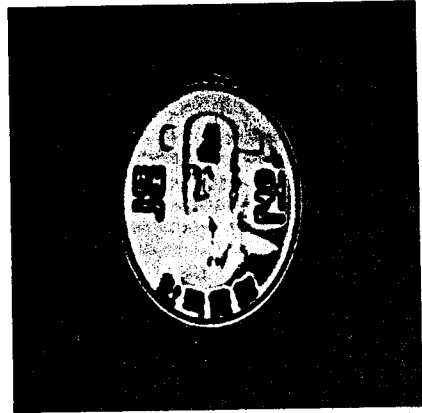
III. 실험 및 고찰

본 연구에서 사용한 음향 변환기는 중심 주파수 3 MHz 인 focused transducer 로 F/number 1.0, 비대역폭 45 %, 초점거리 16 mm 이고 송수신 겸용이다.

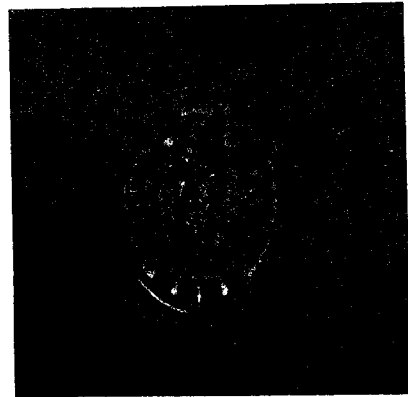
III.1 focused mode 동작 특성

그림 2 (a)는 샘플로서 100원 주화를 사용하고 중심 주파수 3MHz의 focused transducer 의 초점을 샘플 표면에 일치시킨 후 변환기를 스캐

닝하여 샘플 표면을 영상 처리한 것이며 그림 2 (b)는 동일한 변환기를 3 차 고조파(3 rd harmonic wave) 주파수인 약 10 MHz 에서 동작시켜 얻어진 음향 이미지이다. 그림 2(a)(b)를 비교할 때 주파수를 높게할수록 분해능이 향상되는 것을 알 수 있다.



(a) 3 MHz 의 동작 특성



(b) 10 MHz 의 동작 특성

그림 2, 음향 현미경의 focused mode 동작 특성

이와같이 음향 현미경의 focused mode 동작은 정밀성을 요구하는 공업재료의 표면상태를 관찰하는 데 이용될 수 있고 광학 현미경에서 필요한 표면처리(staining) 과정이 불필요한 잇점을 갖는다.

III.2 defocused mode 동작 특성

음향 현미경은 영상을 위한 파라미터가 재료

의 기계적 성질( 밀도, 점성율, 탄성계수) 이므로 광학적으로 불투명한 고체내부를 영상화할 수 있다.

III.2.1 금속내부의 결함 검출

그림 3 은 지름이 3.2 cm 이고 높이가 3 mm 인 원주형의 알루미늄을 샘플로서 사용하고 표면으로부터 1 mm 깊이 부근에 0.3 mm 에서 1.0 mm 의 원형 결함을 임의로 제작한 샘플의 설계 도형을 보여주며 그림 4는 음향 현미경 시스템을 defocused mode 에서 동작시켜 얻어진 샘플에 대한 음향 이미지로서 0.5 mm 이상의 원형 결함이 모두 검출되었음을 확인할 수 있다. 알루미늄에서의 표면파(rayleigh surface wave)속도는 2850 m/sec 로서 철에서의 표면파 속도인 2960 m/sec 과 근사하므로 알루미늄과 같은 음향 이미지를 얻을수 있을 것으로 예측되며 결과적으로 음향 현미경 시스템은 금속 내의 결함 검출할 수 있다.

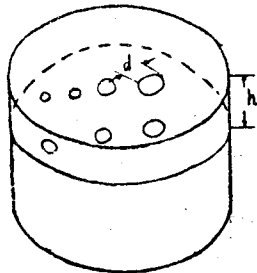


그림 3. 알루미늄 샘플의 설계도형

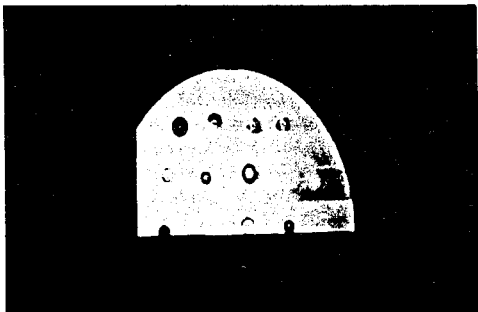


그림 4. 금속에 대한 음향 이미지

III.2.2 세라믹스 내부의 결함 검출

그림 5 는 티탄산 바륨 본체에  $Sb_2O_3$  0.15 wt % 와 AST 5 mol % 를 혼합 조성한 Ba(Sb)TiO<sub>3</sub> 세라믹 반도체에서 소성 과정 중에 내부에 기포가 발생한 것을 샘플로서 선택하고 음향 현미경을 사용하여 관찰한 것으로 샘플의 크기는 직경이 9 mm 이고 높이가 3 mm 이며 형태는 원통형이다. 세라믹스에대한 표면파 속도는 fused quartz (3000 m/sec) 에 근사하며 그림 5 에서 보는 바처럼 내부의 결함이 분명한 영상으로 나타남을 알 수 있다.

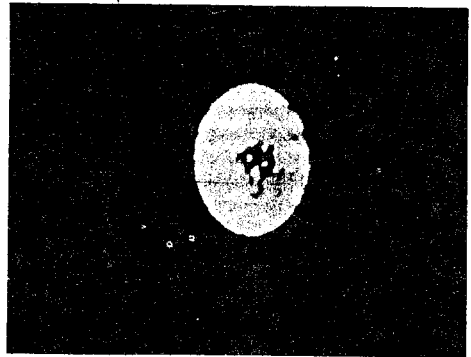


그림 5. 세라믹스에 대한 음향 이미지

III.2.3 집적 회로 소자 내부에 대한 음향 이미지

그림 6 은 샘플로서 집적 회로 소자 (GD74LS 154)를 선택하고 그 package 표면을 균일하게 연마한 다음 음향 현미경을 defocused mode 에서 동작시켜 집적 회로 소자의 내부를 영상으로 나타낸 것으로서 음향 이미지는 소자 내부의 배선도만을 보여주며 영상의 질도 저하되었음을 볼 수 있으나 이것은 본 연구에서 구상한 음향 현미경 시스템의 제한된 분해능(500 μm) 과 실험 장치가 다소 미비한 점 때문으로 분석된다. 그러나 분해능을 향상시키고 실험 장치를 개선한다면 상당히 좋은 음향 이미지를 얻을 것으로 예측되며 본 음향 현미경 시스템을 반도체 산업 분야에 응용한다면 비파괴 검사 도구로서 크게 기여할 수 있을 것으로 기대된다.

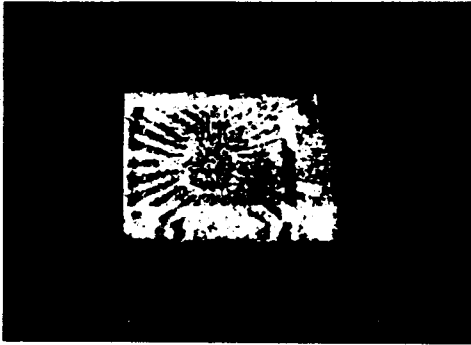


그림 6. 집적회로 소자에 대한 음향 이미지

#### IV. 결 론

본 연구에서는 저주파대 음향현미경 시스템을 구성하고 그 동작원리를 연구 분석하였으며 재료의 표면과 공학적으로 불투명한 재료 내부에 존재하는 미소 결함을 검출하는 실험을 통하여 본 시스템의 성능을 제시하였다.

이를 위하여 100 원 주파를 샘플로 사용하고 음향 현미경 시스템을 focused mode에서 동작시켰을 때 샘플 표면상에 대한 음향 이미지를 얻을 수 있었으며 주파수를 10 MHz로 높였을 때 분해능은 현저하게 향상되었다.

샘플로서 알루미늄, 티탄산 바륨, 집적회로등을 선택하고 음향 현미경을 defocused mode에서 동작시켰을 때 샘플 내부에 존재하는 결함과 집적회로 내부 배선상태를 영상화 할 수 있었으며 측방향 분해능은 0.5 mm 이었다.

본 연구의 결과 저주파대 음향 현미경 시스템은 재료의 특성조사나 산업분야의 각종 비파괴 검사에 응용할 수 있으며 고주파대(수백 MHz ~ 수 GHz)음향 현미경 시스템을 구성하면 생물학 및 의학 그리고 반도체 산업에서 광학 현미경과 앙립하는 강력한 과학적 도구로서 활용이 기대된다.

#### REFERENCE

1. C.F.Quate, et.al., "Acoustic microscopy with mechanical scanning - a review," Proc. IEEE, Vol. 67, PP.1092, 1979

2. C.F. Schueler, "Fundamentals of digital ultrasonic imaging" IEEE Trans. Sonic & Ultra. Vol. SU-31, No. 4, PP.195-202, July 1984

3. R.A.Lemons "Acoustic microscopy by mechanical scanning" M.L.Report, No.2456, Stanford Univ., PP.19-24, May 1975

4. H.K.Wickramasinghe, "Scanning acoustic microscopy" J. of microscopy, Vol.129, PP 63-73, Janu. 1982

5. L.W.Kessler, "Acoustic microscopy-1979" Proc. IEEE, Vol.67, No.4, April 1979

6. A.Atalar, "Acoustic reflection microscope" Ph. D. Dissertation, Stanford Univ. 1978

7. B.T.Khuri-Yakub, "Acoustic imaging of subsurface defects in composite & samples with rough surfaces" Ultrasonic Symposium, Vol.2, PP 746-749, Oct. 1985

8. M.E. Schafer, "The influence of front-end H/W on digital ultrasonic imaging" IEEE Trans. Sonic & Ultra. , Vol. SU-31 No.4, PP 295-305 July 1984