

한계레벨 가변방식에 의한 음향영상 분리검출

문 건*

A Study on the separation detection of acoustic images by using the variation method of threshold levels

Gun Moon*

요약

본 연구에서는 15 MHz 의 음향 변환자를 사용한 C-스캔 반사형 음향시스템을 구성하였다. 음향영상이 동일 축에 겹쳐있는 경우에 영상검출은 매우 어렵다고 알려지고 있다. 본 연구에서는 펄스 게이팅(pulse gating) 방식으로 얻어진 음향신호의 한계레벨을 가변 하는 기법을 사용하여 동일 축 상에 매우 근접하게 존재하는 음향영상을 분리 검출하는 방식을 제시하였다. 실험 샘플로는 집적회로를 사용하였고, 샘플 집적회로부터 반사 되돌아온 음향신호 중에 강력한 표면 신호를 제거하여 내부영상을 검출하였다. 실험 결과는 다층구조에 존재하는 음향영상의 분리 가능성을 확인하였고, 이 방식은 비파괴검사 분야에서 다층영상 분리 기법에 매우 유용하게 사용될 수 있음을 확신할 수 있는 결과를 얻었다.

ABSTRACT

On this study, constructed the reflective acoustic C-scanning system using 15MHz transducer. The image-detection in solid-interior in case images are existed on same perpendicular axis have been known as very difficult. This study showed the method detecting separately the acoustic images existed very closely on the same axis by using the variation method of threshold levels which are acquired from the time gated pulse signal. The integrated circuit(IC) is used as the experimental sample and I detected the subsurface images by using the proposed method rejecting the strong surface image among the acoustic signals returned from the sample IC. The experimental results confirmed the possibility for the separating and detecting satisfactorily the acoustic images existed on the multiple layers and I convinced this technique to be very useful one in separating multiple layers images in none destructive testing.

Key words : Acoustic, separating, threshold level, integrated circuits, none destructive

* 제주대학교 통신컴퓨터공학부, 산업기술연구소
Dept. of Telecommunication and Computer Eng. Insti. Ind. Tech.
Cheju Nat'l Univ.

I. 서 론

II. 이 론

음향파를 이용한 비파괴 검사에서 피스톤형 음향 변환자를 많이 사용하고 있다. 피스톤형은 음향파를 내부깊이 침투시키는데는 유리하나 반면에 해상도가 떨어지고 또한 고체내부의 수직 축 상에 존재하는 결함검출에는 부적합하다. 최근에는 이러한 피스톤형 변환자의 단점을 보완하는 구면형 변환자를 사용하여 비파괴 검사에 응용하고 있다.¹⁾ 구면형 변환자는 음향파를 초점에 집중시키므로 빔의 세기가 강력해지고 해상도도 초점 직경 크기로 매우 높게 할 수 있다는 이점 있다. 그러나 구면형 변환자는 피스톤형 변환자에 비교하여 내부 침투 깊이가 떨어지는 단점이 있다. 이러한 특성을 감안하여 구면형 변환자를 이용하여 고체표면에서 음향파의 수 파장 이내의 깊이에 있는 미소 결함 검출에 많은 연구결과가 발표되고 있다.²⁾ 특히 고체내부의 수직 축 상에 근접한 결함들을 분리 검출하는 데에는 구면형 변화자가 적합하여서 이를 이용하여 검출하려는 시도가 이루어지고 있으나 아직까지 그 분리된 영상의 질이 좋지 않은 상태이다.^{3,4)} 많은 노력에도 불구하고 좋은 해상도의 결함영상검출이 어려운 이유는 고체 내부에서 반사되어 오는 음향파의 복잡성으로 이론해석이 거의 불가능하다는 것이다. 음향파가 표면에서 입사한 경우에는 표면의 굴곡에서 영향을 받으면서 일차적인 반사파와 Rayleigh 반사파를 발생시키며 일단 표면에서 영향을 받은 파가 입사각에 따라서 종파, 횡파로 진행하면서 내부의 결함영상에서 반사되어 표면 쪽으로 나오면서 다시 표면의 굴곡상태에서 영향을 받아서 음향 반사 신호 파로 검출이 되는 것이다. 결국은 원하는 고체 내부의 결함은 이러한 복합적인 간섭 영향으로 원래의 영상데이터에 손상을 입게 되어서 해상도가 떨어질 수밖에 없다. 이러한 여러 가지 간섭을 배제하게 위한 노력으로 본 연구에서는 15 MHz의 구면형 변환자를 이용하여 플라스틱 재질을 쓴 집적회로를 표면을 침투시킨 음향파가 다층 구조의 집적회로 내부에서 반사되어 온 신호를 포착하여 영상 처리하여 보다 나은 해상도의 영상을 분리 검출하는 방식을 제시하였다.^{8,9)}

2.1. Rayleigh파에 의한 침투현상

음향파가 고체표면에 입사하면 그 입사각에 따라서 표면 반사파, Rayleigh파, 종파 그리고 횡파가 발생이 되어서 일부는 반사되고 일부는 고체내부로 침투하게 된다. Rayleigh파는 고체표면에서 여기 되어 고체표면을 따라 진행하며 이를 표면파라고도 한다. 이 Rayleigh파는 내부의 침투깊이는 적으나 강력한 표면파를 발생시키므로 고체내부의 영상검출에 큰 영향을 주어서 방해요인으로 작용하게 된다. Rayleigh파가 어느 정도의 깊이까지 침투되는가를 다음 식으로 해석할 수 있다.^{8,9)} Rayleigh파는 표면과 평행인 진행방향(x_1)과 고체내부 수직방향($-x_3$)에 대해서 입자변위 성분을 가지며 그 변위량은 다음과 같다.^{5,6)}

$$u_1 = C[\exp(kb_1x_3) - A \exp(kb_2x_3)] \exp ik(x_1 - v_R t) \dots \dots (1)$$

$$u_3 = -ikb_1 C [\exp(kb_1x_3) - A^{-1} \exp(kb_2x_3)] \exp ik(x_1 - v_R t) \dots \dots (2)$$

여기서

$$b_1 = \{1 - v_R / v_l\}^{1/2}, b_2 = \{1 - (v_R / v_s)^2\}^{1/2}, A = (b_1 b_2)^{1/2}$$

v_R : Rayleigh 속도, v_l : 종파속도, v_s : 횡파속도
Rayleigh파의 고체내부 침투깊이는 수직방향($-x_3$)에서의 입사 변위량을 비교하여 알 수 있다. (1)식 u_1 은 수평과 수직방향의 변위량을 깊이($-x_3$)에 대한 크기를 나타낸 것이다. u_1 에서 Rayleigh파의 수직 및 수평 변위는 고체표면에서 한 파장(λ) 이내로 제한됨을 알 수 있다.

Fig. 1은 u_1 과 (2)식 u_3 를 각각 벡터 합성한 변위량의 에너지 세력을 표면 치에 비교하여 도시한 것으로 Rayleigh파 세력이 한 파장 이내에 존재하고 있음을 보여주고 있다. 그러나 1985년 미국의 Atalar는 Rayleigh파의 실제 침투깊이가 파장의 1.5배까지 침투한다는 것을 실험결과 발표하였다.⁵⁻⁷⁾

2.2. 종파의 임계각

종파는 고체표면의 굴곡과 Rayleigh파의 간섭을 받

으면서 고체내부로 침투하며 내부의 결함에서 반사되어 돌아오면서 다시 한번 더 표면을 지나게 되어서 이중으로 표면영상의 간섭을 받게되므로 음향반사파 중에는 반드시 표면영상도 포함되게 된다. 이처럼 고체내부에 침투하였다가 반사되어 돌아오는 음향신호에는 여러 가지 간섭파가 복합적으로 작용하므로 이에 대한 신호해석이 이론적으로 정립하기 어려운 실정이다. 본 연구에서는 이러한 복잡성을 보다 단순화하여서 표면영상신호와 내부영상신호를 시간적으로 구분하여 먼저 표면영상을 제거하고 다음에는 내부영상신호에 포함된 표면영상의 잔상을 영상처리 기법으로 최소화하는 방식을 도입하였다. 집적회로(플라스틱)와 물을 사용한 경우의 Snell 법칙을 이용하여 종파의 임계각(Q_{LC})을 구하면 다음과 같다.^{5,6,9)}

$$v_l (\text{플라스틱 종파속도}) = 2.395 \text{ m/s}$$

$$v_D (\text{물의 종파속도}) = 1.500 \text{ m/s}$$

$$Q_{LC} = \sin^{-1}(\sin 90^\circ \times v_D / v_l) = \sin^{-1}(0.6263) = 38.8^\circ$$

고로 종파의 임계각은 38.8° 가 되며 음향파가 고체표면의 법선에 38.8° 이내의 각도로 입사되는 경우에는 종파만을 발생시키며 횡파는 발생치 않게 된다. 본 실험에서는 영상분리 과정에서 보다 해상도를 좋게 하기 위하여 횡파의 발생을 배제시켰다. 이는 횡파와 종파가 동시에 존재하면은 서로의 속도차이에 의하여 검출 영상신호에 오차로 작용하기 때문이다.

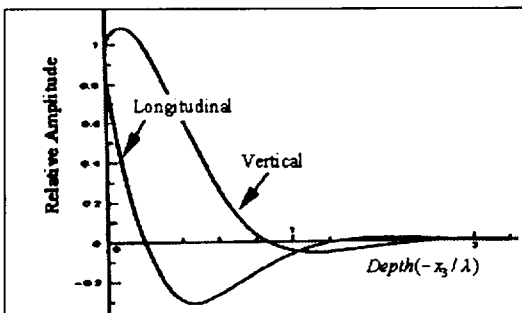


Fig. 1 Simulation of Rayleigh wave

Fig. 1은 Rayleigh파에 의한 내부 침투깊이를 시뮬레이션 결과를 나타내고 있고 Fig. 2는 Rayleigh, 종파, 횡파를 보여주고 있다.

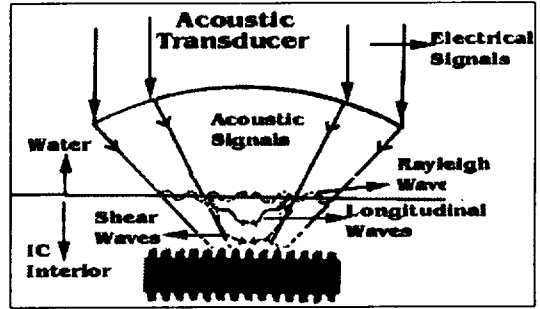


Fig. 2 Geometrical diagram of acoustic waves

III. 시스템 구성

실험에 사용한 변환자의 재원은 Table 1과 같고 Fig. 3은 실제 주문 제작한 변환자이다.

Table 1. Factors of transducer

중심주파수	15 MHz
개구면 직경	9.525mm
초점 거리	50.8mm
최대 입사각	5.4°
대역 폭	40%

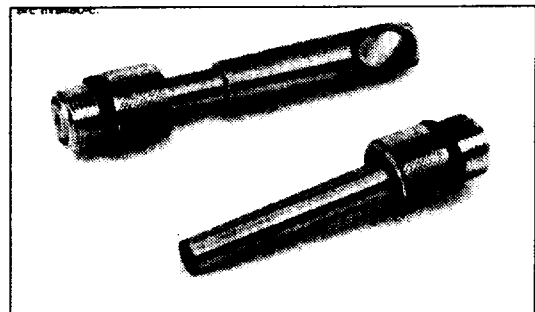


Fig. 3 Photo of transducer

변환자의 최대입사각이 5.4° 임으로 종파와 Rayleigh 파만을 발생시키며 횡파는 발생치 않는다. 횡파를 발생시키려면 최대 입사각이 적어도 38.8° 이상으로 커야 되기 때문이다.

실험을 위하여 구성된 시스템 각부의 기능은 다음과 같다.

- (1) Synchro signal generator : 각 장치의 신호의 타이밍을 맞추기 위하여 동기신호 펄스를 공급하는 장치
- (2) Gate pulse controller : 반사 음향파 신호 중에 표면파를 제거하고 동전의 뒷면 음향신호만을 취하기 위한 게이트 펄스의 위치와 폭을 설정하기 위한 장치
- (3) Pulse generator : 변환자를 구동하기 위한 임펄스신호 발생장치
- (4) Acoustic transducer : 중심주파수 15MHz 인 구면형 변환자로 입력 임펄스에 의해 음향파를 발생시키며 샘플에서 반사되어 돌아온 음향파를 전기신호로 변환하는 소자
- (5) A/D converter : 변환자에 의하여 검출된 반사신호 파를 디지털 신호로 변환하는 장치
- (6) Oscilloscope : 입력신호, 반사신호, 게이트펄스 파형 관찰 장치
- (7) Data storage : 영상처리를 위한 음향반사신호의 데이터를 저장하는 장치
- (8) Signal data processing : 저장한 영상데이터를 처리하여 원하는 영상을 얻기 위한 프로세싱
- (9) Image displayer : 음향영상신호를 화상으로 표시하는 장치

IV. 실험결과

먼저 주문 제작한 음향변환자의 특성을 실험하기 위하여 33 nS(나노 초)인 임펄스를 인가하여 응답특성을 검출한 결과는 Fig. 4와 같다. 왼쪽은 설계 이론치에 의한 시뮬레이션 결과이며, 오른쪽 사진은 변환자의 실제 임펄스 응답을 나타내고 있다. 제작된 음향 변환자는 이론 치와 거의 일치하는 좋은 특성을 나타내고 있음을 확인 할 수가 있다.

본 실험에서는 비파괴로 집적회로의 내부의 음향영상을 검출하기 위하여 15 MHz의 음향변환자를 초점거리보다 접근시키는 defocus 방식으로 반사신호를 검출하였다. 이 방식은 집적회로의 표면으로부터 내부로 종파를 침투시켜 내부의 영상을 검출하기 위하여 변환자와 샘플 집적회로간의 간격을 초점거리보다

근접(defocusing)시켜서 종파의 침투깊이가 집적회로의 내부까지 충분히 도달할 수 있도록 조정하였다. 이때에 defocusing 거리는 파형 관측으로 집적회로의 내부에 도달하는 음향신호가 최대 감도가 되는 점으로 결정하였고 그 거리는 30.5mm 부근이 됨을 확인할 수가 있었다.

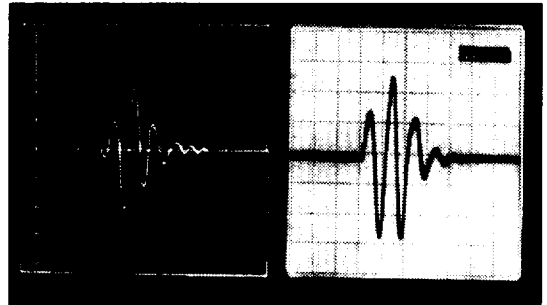


Fig. 4 Impulse response of transducer
(L: theoretical & R: experimental)

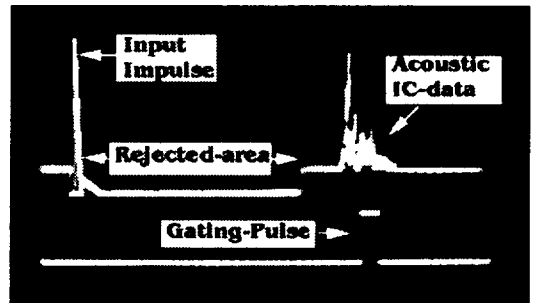


Fig. 5 Input pulse, returned acoustic waves & gating pulse

Fig. 5는 입력신호펄스와 불필요한 신호구간을 제거하기 위한 시간 간격을 설정한 구간을 나타내고 있으며 이는 입력 펄스 신호가 입사된 바로 직후부터 표면 반사파가 제거되는 시간까지 도달한 구간으로 설정하였다. 이는 처음에 강력하게 도달되는 표면파 성분을 일차적으로 제거하는 효과를 가져온다. 그리고 왼쪽 끝에 보이는 펄스는 음향 변환자에 인가한 임펄스(impulse)로서 여기서 사용한 펄스 폭은 33nS로서 15MHz에 동조되는 주파수 폭과 일치한다. 왼쪽의 펄스는 집적회로의 표면과 내부로부터 반사되어온

음향과 성분으로 앞쪽의 침여한 펄스는 강력한 표면 음향신호이며 뒤쪽의 보다 낮은 세력의 신호는 집적회로의 내부 음향반사신호이다. 표면의 음향파가 내부까지 영향을 미치지 때문에 이를 제거하기 위하여 Fig. 5의 밑에 표시된 게이트 펄스로 게이팅(gating) 하여서 내부의 필요한 음향신호만을 추출하는 기법을 사용하여서 표면파의 영향을 최소로 하였다.

강력한 표면 음향신호를 게이팅 방식으로 제거하여 얻은 집적회로의 내부 음향신호 데이터를 256 그레이 레벨로 신호처리 없이 나타낸 집적회로의 내부의 음향영상을 Fig. 6과 같다. 그림에서 보이는 것은 집적회로의 내부의 인입 선과 칩 그리고 홀딩 바(holding bar) 등으로 구성되어있음을 알 수 있으나 그들 내부 영상들의 2차원적인 배열로만 보여지고 있다. 실제로는 다층구조를 갖고 있는 것으로 이처럼 수직 축 상에 다층 구조를 갖는 내부 영상의 분리 검출을 위하여 본 실험에서는 영상처리에 앞서 얻은 음향데이터의 한계레벨을 가변 조종하는 기법을 도입하였다.

저 않은 영상데이터를 저장한 후에 이를 히스토그램으로 분석한 것으로 이 데이터에는 집적회로의 표면 및 내부의 음향신호의 모든 레벨이 표시된 것으로서 이를 기본으로 한계레벨의 가변 점을 이동하면서 영상의 변화를 관찰하였고, 동시에 특정 층의 영상에 나타나는 평균 레벨을 추출한 후에 최적 한계레벨의 가변 점을 찾아내는 기법으로 영상처리 하였다.

최상위층에 존재하는 집적회로의 내부의 음향영상을 검출을 위하여 한계레벨을 낮춤으로서 낮은 레벨의 신호를 저감시키는 효과가 있다. 이를 위하여 최상위 층의 평균레벨을 구하기 위하여 라인 스캐닝(line scanning) 데이터를 검출하여 분석하는 기법을 사용하였고 그 결과는 Fig. 8과 같다. 이 영상에서 보이는 것과 같이 데이터 처리하지 않고 그대로 얻은 Fig. 6의 영상과 비교할 때 확연하게 저위 층에 존재하는 영상이 거의 사라지고 최상위의 내부영상인 인입 선만이 보다 뚜렷하게 나타나고 있음을 확인할 수 있다.

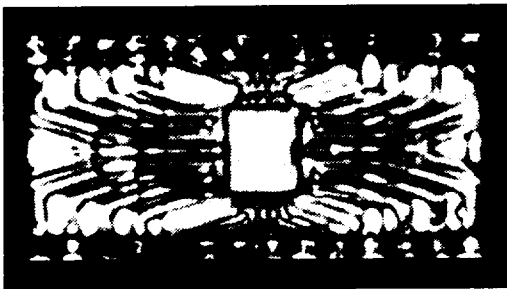


Fig. 6 Native acoustic images of IC-interior

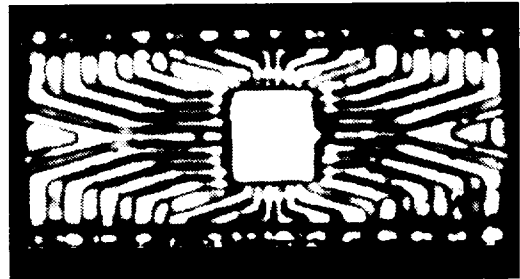


Fig. 8 Acoustic images of IC upper layer

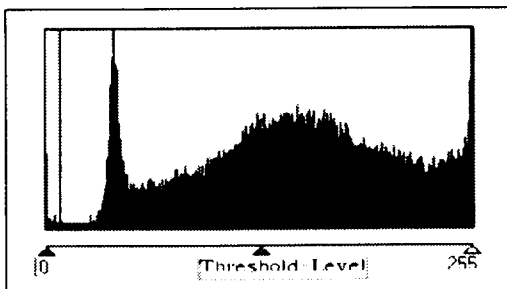


Fig. 7 Histogram of IC acoustic data level

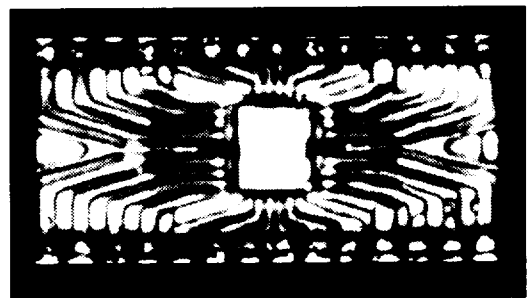


Fig. 9 Acoustic images of IC lower layer

다음은 다층구조의 분리검출을 위하여 일단 변환되

그리고 Fig. 9는 한계레벨의 가변 점을 보다 높은

곳을 이동하여 영상 처리한 결과이다. 한계레벨을 높이면 저 레벨 데이터가 보다 분명하게 영상화되고 고 레벨 데이터는 상대적으로 약화되는 효과를 얻게 된다. 보이는 영상에서는 Fig. 8에서 거의 사라졌던 홀딩 바가 나타나고 있음을 확인 할 수가 있다.

V. 결 론

15MHz의 구면형 음향 변환자를 사용하여 defocusing과 펄스 게이팅(pulse gating) 기법으로 집적회로의 내부 음향파를 검출하여서 불필요 영상의 레벨을 제거하고 나서 한계레벨을 가변 하는 기법으로 집적회로의 존재하는 다층 구조의 영상을 분리 검출하였다. 지금까지는 이와 같이 매우 근접하고 수직 축 상에 존재하는 결합영상을 검출하는 것이 매우 어려운 것으로 여겨 왔으나 본 연구에서는 게이트 펄스신호로 음향파 신호를 내부영상에 맞추어서 취사 선택한 후에 필요한 데이터를 얻었고 이로 얻어진 데이터를 쓰레숄딩(thresholding) 영상처리 기법으로 표면의 간섭영상을 제거하므로써 만족할 만한 샘플 집적회로 내부의 영상을 표면영상으로부터 분리 검출할 수 있음을 보여 주었다. 이처럼 비파괴로 수직 축 상에 겹쳐 있는 영상을 분리하는 기법을 응용하면은 불규칙한 금속표면을 갖고있는 고체 내부에 존재하는 여러 가지 결합을 검출하는데 매우 유용하게 사용될 수 있을 것이다. 그러나 표면영상 및 타 레벨의 영상을 제거하는 과정에서 원하는 전체적인 영상의 해상도에도 손상을 가져오므로 앞으로는 손상의 정도를 좀 더 줄

일 수 있는 기법 연구가 계속되어야 할 것이다.

참고 문헌

- 1) D. Rugar, 1984, Resolution beyond the diffraction limitation the acoustic microscope, *J. Appl. phys.* 56, pp.1338-1342.
- 2) M. Waugh, 1976, Acoustic imaging techniques for nondestructive testing, *IEEE Trans. Sonics and Ultrasonics*, Vol. 32, No. 5, pp.312-316.
- 3) B. T. Khuri-Yakub, 1984, Subsurface defect detection using acoustic microscope, *Proc. IEEE, Ultrasonics Symp.* Vol. 2, pp.580-587.
- 4) M. A. Breazeale, 1977, Interaction of ultrasonic waves incident the rayleigh angle onto a liquid-solid interface, *J. Appl. phys.* 48, pp.530-537.
- 5) A. Atalar, 1985, Penetration depth of the scanning acoustic microscope, *IEEE, Trans. Sonics and Ultrasonics*, Vol. su-32, No. 2, pp.164-167.
- 6) 문건, 1988, 음향현미경 특성해석과 고체표면 및 내부영상검출, 경희대학교 박사학위 논문, pp.1-134.
- 7) P. A. Reinholdtsen, 1989, Image processing for an amplitude and phase acoustic microscope, *Ph. D. dissertation Stanford university*, pp.1-104.
- 8) 문건, 1998, 지연시간 변별에 의한 음향영상 분리 개선에 관한 연구, 제주대학교 산업기술연구 논문집, 제16권 2호, pp.25-30.
- 9) 문건, 1999, 디포커스를 이용한 고체내부의 음향영상의 해상도 개선에 관한 연구, 제주대학교 산업기술연구 논문집, 제10권 1호, pp.49-55.