

# 표면 위상 영상을 이용한 고체 내부영상의 개선

김 현\*, 고 대식\*\*, 전 계석\*

\* 경희대학교 전자공학과

\*\* 목원대학교 전자공학과

## The enhancement of inner-solid image using phase image of the sample surface

Hyun Kim\*, Dae-sik Ko\*\*, Kye-suk Jun\*

\*Dept. of electronic engineering, Kyunghee Univ.

\*\*Dept. of electronic engineering, Mokwoon Univ.

e-mail: hyun3443@csvlsi.kyunghee.ac.kr

### ABSTRACT

본 연구에서는 표면 거칠기가 존재하는 시편의 내부 탐상 시 내부 영상에 중첩되는 표면에 의한 영향을 제거하여 영상을 개선시키는 방법을 연구하였다. 이러한 방법은 표면을 위상체로 간주하고, 내부영상을 위해 디포커싱할 때 디포커싱 거리만큼 위상지연을 시켜 내부영상에서 대수적으로 빼어줌으로서 영상을 개선시켰다. 실험을 위하여 쿼드러춰 검출기를 사용하여 초음파현미경을 구성하였고 이때 중심주파수가 5MHz이고 비대역폭이 35%인 초음파변환기를 사용하였다. 시편으로는 100원 주화를 사용하였으며 한 단면에 표면 거칠기가 존재하도록 가공하였다. 실험결과 개선전의 영상과 비교하여 콘트라스트가 2배 이상의 향상됨을 알 수 있었다.

### 1. 서론

초음파현미경은 광학적으로 불투명한 고체 내부에 존재하는 결함을 검출할 수 있기 때문에 비파괴 검사분야에서 분야에서 유용하게 사용될 수 있으며 특히 반도체 산업에서는 고가임에도 불구하고

수입에 의존하고 있는 실정이다. 기존의 초음파현미경에서는 음향렌즈를 사용하여 피사체의 내부에 초음파를 집속시켜 보다 큰 반사신호를 얻는다. 이와같이 초음파변환기를 피사체의 내부에서 초점이 맺히도록 하는 동작을 디포커싱 모드 동작이라 한다.<sup>(1)</sup> 이와같은 디포커싱 모드 동작으로 고체 내부 영상을 얻을 때에는 초음파의 경로에서 피사체의 표면을 투과하게 되며 따라서 내부 영상은 고체내부 영상의 영향을 받게 된다. 일반적으로 이러한 고체 표면의 효과를 제거하기 위하여 표면을 폴리싱 처리하여 고체 내부 영상을 얻었다. 그러나 각종 산업 분야에서 각종 재료의 표면은 생산과정이나 가공과정에서 표면 거칠기 및 결함을 가지게 되기 때문에 이에 대한 내부영상의 질은 불량하게 나타나게 된다. 즉 고체 표면의 영향을 받아 내부결함과 표면상태가 중첩되어 나타나게 된다.<sup>(2)</sup>

본 연구에서는 이러한 내부영상에 포함되는 표면상태의 영향을 제거하여 고체내부의 영상의 질을 향상시키는 방법을 연구하였다. 특히 본 연구에서는 가공과정에서 나타나는 표면 거칠기가 존재하는 시편에 대한 고체내부 영상을 개선시켜 내부 결함영상의 질을 향상시키는 방법에 대하여 연구한다. 이 방법은 고체 표면을 위상체라고 간

주하고 표면에 대한 영상을 획득하여 내부 영상에서 이 성분을 제거하는 방법이다. 본 연구에서는 진폭과 위상 정보 획득을 위하여 수신장치를 쿼드러춰 검출기로 하였으며 동작주파수가 5MHz가 되도록 하여 초음파현미경을 구성하고 시편으로 100원 주화를 사용하였다.

## 2. 표면 거칠기가 존재하는 고체 내부 영상의 개선

그림 1은 초음파현미경에서 고체내부 영상을 획득할 경우 디포커싱 동작 모드를 보여주고 있다. 고체 내부의 영상을 획득하기 위해서는 디포커싱 모드로 동작하게 되며 그림 1에서와 같이 초음파 변환기를 피사체에 접근시켜 피사체 내부에 음향파가 집중되도록 해야한다. 피사체의 표면에서 반사와 굴절현상이 일어나게 되고 투과된 음향파는 고체의 내부면에 집중된다.

이때 고체 내부 영상은 초음파의 경로에 의하여 내부영상에 표면의 상태가 중첩되어 나타나게 된다.

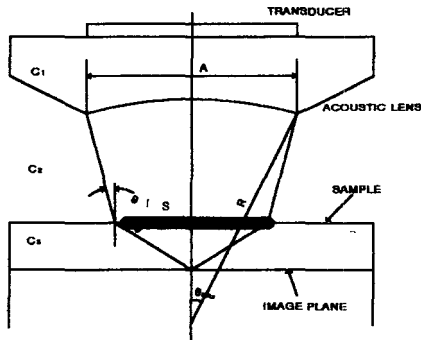


그림 1. 디포커싱 동작모드  
Fig 1. Defocusing operation mode

기존에 고체 내부의 영상을 획득하기 위해서는 피사체의 표면을 폴리싱(Polishing)처리하여 스캐닝 하였다. 특히 피사체의 표면에 존재하는 거칠기는 각종 재료의 가공 과정에서 발생될 수 있으며 이러한 표면 거칠기는 고체 내부의 결함 탐상에서 내부영상의 질을 저하시킨다. 따라서 고체 내부 영상 개선을 위해서는 표면에서 내부 영상에 미치는 영향을 분석해야 한다. 이를 위해서는 몇 가지의 가정이 필요하며 다음과 같다.

첫째는 피사체의 표면이 상대적으로 평평하다는 가정이다. 이는 피사체의 검사 면이 상대적으로 평평한 상태로서 표면 거칠기와 같은 경우에 해당함을 의미한다. 두 번째 가정은 피사체 표면에서 반사된 음향장은 입사된 음향장과 시료 음향장 응답의 점과 점들의 곱이라는 가정이다. 이는 초음파변환기에 의한 모드 변환이 없음을 의미한다. 초음파변환기의 동작주파수가 5MHz이면서 음향렌즈에 의한 입사각도가 10° 이하인 경우 일반적인 금속 재료에서 종파나 횡파로 모드 변환이 일어나지 않는다. 이러한 조건을 만족할 때 초음파현미경에서 초음파영상은 식(1)과 같이 모델링 될 수 있다.<sup>(3)</sup>

$$g(\vec{X}; z) = h(\vec{X}; z) ** f(\vec{X}) \quad (1)$$

식(1)에서  $g(\vec{X}; z)$ 는 z 면에 대한 측정된 초음파 영상이며,  $h(\vec{X}; z)$ 는 z면에서 초음파현미경의 PSF(Point Spread Function)이고  $f(\vec{X})$ 는 피사체의 영상 특성이 된다. z=0인 초점에서 측정된 영상은 피사체의 표면영상이 되고  $f(\vec{X})$ 가 임펄스인 경우 측정된 영상은 초점면에서 PSF(Point Spread Function)이 된다. 그림 1에서 보면 내부 영상에는 경로차에 의해서 표면의 s부분이 겹쳐서 나타나게 된다. 만일 표면의 위상정보를 알고 있다면 내부 영상 면에서 표면 상태가 미치는 영향을 모델링 할 수 있다.<sup>(3)</sup>

$$G_{\text{focus}}(\vec{k}_r) = \frac{H_{\text{focus}}(\vec{k}_r)}{H(\vec{k}_r; z)} G(\vec{k}_r; z) \quad (2)$$

여기서 G는 디포커스된 영상의 스펙트럼이고, H는 피사체 표면의 특성에 대해서 초음파변환기를 디포커싱시켰을 때 응답 특성이고,  $H_{\text{focus}}$ 는 z=0 면에서 얻어진 초음파변환기의 공간주파수 응답이고  $G_{\text{focus}}$ 는 표면영상을 개선시켜 얻어진 영상 스펙트럼이다.  $G_{\text{focus}}$ 를 역푸리에 변환하면 개선된 영상  $g_{\text{focus}}$ 를 얻을 수 있다. 만일 표층부에 결함이 존재하지 않는다면 이 영상은 표면에 초점을 맞추고 개선시킨 영상과 같다. 피사체 표면을 완전한 위상체로만 간주한다면 식(3)와 같이 나타낼 수 있다.<sup>(2,3,4)</sup>

$$g_{\text{surface}}(\vec{X}) = g_0 \exp(i \arg (g_{\text{focus}}(\vec{X}))) \quad (3)$$

이때 식(3)는 표면에 대한 위상채 영상으로서 표층부까지 디포커싱 시켜서 원래 디포커싱 시켜 얻어진 영상에서 대수적으로 빼 주면 표층부만의 특징만 나타나는 개선된 영상을 얻을 수 있으며 식(4)과 같다.

$$g_{\text{sub}}(\vec{X}) = h_{\text{defocus}}(\vec{X}; z) ** (g_{\text{focus}}(\vec{X}) - g_{\text{surface}}(\vec{X})) \quad (4)$$

그림 2는 표면 거칠기가 존재하는 고체 내부 영상 개선을 위한 흐름도이다. 그림 2에서 보는 바와같이 내부 영상을 개선하기 위해서는 우선 표면 거칠기가 존재하는 표면에 대한 위상영상을 획득한다. 또한 내부 영상을 획득한 후 디포커싱된 깊이를 고려하여 표면에 대한 위상영상을 내부 검출면까지 대수적으로 디포커싱시켜 실험적으로 얻어진 내부영상에서 빼어줌으로서 개선된 영상을 얻을 수 있다.

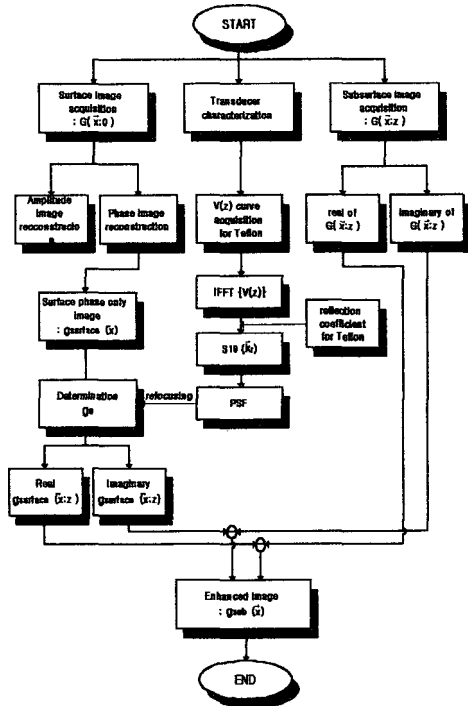


그림 2. 내부 영상 개선을 위한 흐름도

### 3. 실험 및 고찰

표면 거칠기가 존재하는 피사체의 내부 영상을 개선하기 위해서는 반사신호에 대한 진폭과 위상을 동시에 획득해야 하므로 그림 3과 같이 쿼드러춰 검출기를 사용하여 초음파현미경을 구성하였다. 이때 동작주파수가 5MHz이고 비대역폭이 35% 인 초음파변환기를 사용하였다. 시편으로는 100원 주화를 사용하였으며 한 단면에 표면 거칠기가 존재하도록 가공하였다. 그림 4, 5, 6의 영상은 이미지 필드를 200×200으로 하였으며 픽셀간의 간격은 40μm로 하여 얻어진 영상이다.

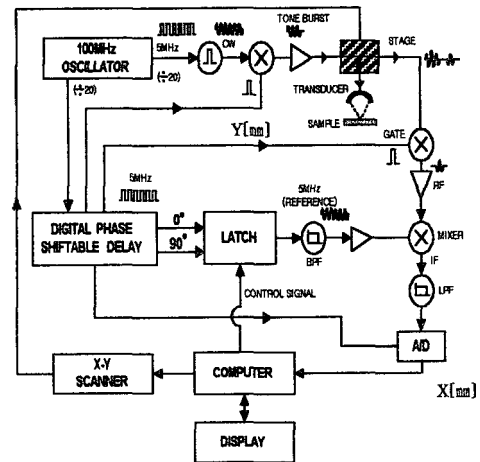
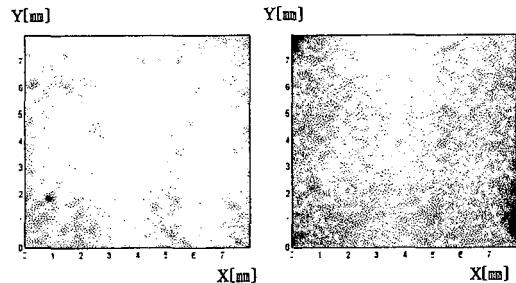


그림 3. 쿼드러춰 검출기를 이용한 초음파현미경의 블록선도

그림 4는 100원 주화의 단면을 표면 거칠기가 존재하도록 하였을 때 표면에 대한 위상영상이다.



(a) Amplitude image (b) Phase Image

그림 4. 표면영상(100원주화)

그림 5는 -2mm 디포커싱하여 얻어진 진폭과 위상영상이다.

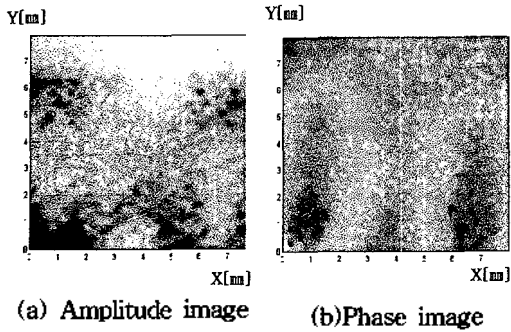


그림 5. 고체 내부영상(-2mm 디포커싱)

그림 5에서 보면 100원 동전의 00부분이 나타나 보인다. 그러나 표층부의 효과로 인하여 결함의 형태가 명확하지 않음을 볼 수 있다.

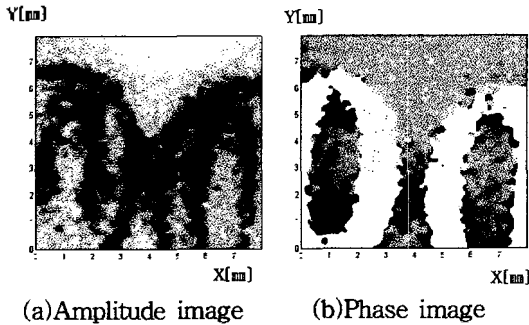


그림 6. 개선된 고체 내부 영상

그림 6은 개선된 진폭과 위상 영상이다. 진폭영상의 경우 개선 전에는 영상강도 차가 24 였으나 개선 후 39로 나타났으며 위상영상인 경우 영상강도가 29에서 61로 나타내어 영상의 콘트라스트가 향상되었다.

#### 4. 결 론

본 연구에서는 표면 거칠기가 존재하는 시편의 내부 탐상 시 내부영상에 중첩되는 표면에 의한 영향을 제거하여 영상을 개선시키는 방법을 연구하였다. 이러한 방법은 표면을 위상체로 간주하고 내부영상을 위해 디포커싱할 때 디포커싱 거리만큼 위상지연을 시켜 내부영상에서 대수적으로 빼어줌으로서 영상을 개선시켰다. 실험에서는 시편으로 100원 주화 선택하여 사용하였으며 이때 주화의 단면에 표면 거칠기가 존재하도록 하여 가

공하였다. 또한 이 영상처리에는 반사신호의 진폭과 위상 정보를 동시에 획득해야 하므로 수신신호 검출기를 쿼드러춰 검출기를 사용하여 초음파현미경을 구성하였다. 실험결과 개선된 영상에서 결함이 존재하는 면에 대한 영상콘트라스트를 비교하여 본 결과 2배 이상의 차이를 나타내어 영상의 콘트라스트가 향상됨을 알 수 있었다. 본 연구에서는 시료의 표면 상태가 가공과정에서 작게 나타난 경우를 가정하고 실험하였으므로 앞으로 연구과제는 표면 결함이 파장에 비하여 큰 경우에 영상개선 방법이 계속 연구되어야겠다.

#### 참고문헌

1. 고대식, "Small aperture형 초음파현미경 시스템의 구성 및 성능해석", 경희대학교 박사학위논문, 1991
2. P.Reinholdtsen, "Remove the effects of surface in acoustic microscopy", IEEE. Ultrasonic Symposium, pp.756-763, 1986
3. G.S.Kino, "Acoustic Waves: Devices, imaging and analog signal processing", PRENTICE-HALL
4. Philip Denbigh, "System analysis & signal Processing", Addison-Wesley