

동작주파수 변화에 의한 초음파 영상의 깊이분해능 개선

오동인*, 김 현*, 전계석*

* 경희대학교 전자공학과

The enhancement of depth resolution for acoustic image using variation of the frequency

Dong-In Oh*, Hyun Kim*, Kye-Suk Jun*

* Dept. of Electronic Engineering Kyunghee Univ.

요 약

본 연구에서는 초음파현미경에서 다중의 동작주파수를 사용하여 얻어진 영상을 합성하여 깊이분해능이 개선된 초음파영상을 복원하는 방법을 연구하였다. 실험을 위하여 중심주파수가 5MHz이고 비대역폭이 35%인 초음파변환기를 사용하여 초음파현미경을 구성하였다. 시편은 알루미늄을 이용하여 표면에 깊이가 100 μ m이고 자름이 2mm인 원형결함을 제작하였다. 실험결과, 동작주파수가 5MHz인 단일 주파수를 사용하여 얻어진 영상에서 결함이 존재하는 면과 그렇지 않은 면에 대한 콘트라스트가 0.098로 나타났다. 반면에 동작주파수를 4.4MHz~5.6MHz 범위에서 200kHz씩 변화시키면서 획득한 데이터를 합성하여 얻어진 영상에서 결함이 존재하는 면과 그렇지 않은 면에 대한 영상 콘트라스트가 0.398로 나타났다. 따라서 초음파현미경에서 다중의 동작주파수를 사용한 경우, 피사체의 깊이 변화에 대한 영상의 콘트라스트가 단일주파수를 사용한 경우에 비하여 개선되어 나타났으며 깊이분해능이 향상되었다. 앞으로의 과제는 초음파현미경에서 음향렌즈의 집속도 변화에 대한 적절한 동작주파수의 동작범위와 영상의 분해능과의 관계에 대한 연구가 계속되어야 한다고 본다.

1. 서 론

최근 산업기술이 고도로 발전함에 따라 반도체, 신소재 및 정밀부품 산업분야 등에서 생산되는 IC 소자 및

다층구조를 갖는 첨단부품에 대한 수요가 급증하고 있다. 특히 시료의 탄성특성에 대한 변화를 영상화 시켜 주는 초음파현미경(Scanning Acoustic Microscope)은 불투명한 시료의 내부를 분석할 수 있다는 장점이 있다.^{[1][2][3]}

일반적인 초음파현미경은 단일주파수의 동작주파수를 사용하여 초음파영상을 복원한다. 그러나 피사체의 깊이 방향의 변화가 반파장 정도인 경우, 영상의 콘트라스트가 저하되기 때문에 결함의 형태를 분석하기 어렵다. 본 연구에서는 일반적인 초음파현미경에서 사용된 초음파변환기의 대역폭 범위내로 동작주파수를 가변하여 얻어진 데이터를 합성하여 개선된 영상을 얻는 방법으로 깊이 분해능을 개선하여 영상의 콘트라스트를 향상시키는 방법을 연구하였다. 실험을 위하여 동작주파수가 5MHz이고 비대역폭이 35%인 초음파변환기를 사용하여 초음파현미경을 구성하였으며 시편은 알루미늄을 선택하여 표면에 깊이가 100 μ m이고 폭이 2mm인 원형결함을 제작하였다.

2. 동작주파수 변화에 의한 초음파 영상의 깊이분해능 개선

초음파영상의 분해능은 일반적으로 초음파변환기에 부착된 음향렌즈와 동작주파수에 의해서 결정된다.^[3] 따라서 초음파현미경에서 음향렌즈와 동작주파수가 결정되었다면 횡방향 분해능과 깊이방향에 대한 분해능이 결정된다. 만일 초음파변환기의 대역폭 범위 내에서 동

작주파수를 변화시킨다면 초음파영상의 분해능도 변화하게 되며, 특히 깊이 방향에 대한 성분의 변화가 크게 나타나게 된다. 그림 1에서는 3개 동작주파수의 변화에 대한 공간주파수 응답특성 변화의 관계를 나타내었다.

초음파현미경에서 영상분해능은 공간주파수 응답(SFR:spatial frequency response)에 의해 결정되는데 이 때 SFR은 공간주파수 영역에서 횡방향과 종방향에 대해서 대역을 가지게 되며 이 영역을 지지대역(Base of support)의 범위라고 한다. 이 영역 밖의 피사체의 영상 스펙트럼은 현미경으로 측정되지 않으며 공간주파수의 범위는 얻을 수 있는 영상의 분해능을 제한한다. 초음파변환기의 형태가 원형이고 대칭인 경우라면, 공간주파수와 동작주파수와의 관계는 식(1)과 같다.

$$k_x^2 + k_y^2 + k_z^2 = \frac{2\omega}{c} \quad (1)$$

그림 1에서 횡방향의 대역폭은 초음파변환기의 최대 개구면 각도에 의해서 결정되며 동작주파수에 따라서 식(2)에 의해 깊이 방향 분해능도 결정된다.

$$k_z = \sqrt{k^2 - (k_x^2 + k_y^2)} \quad (2)$$

만약 그림 1과 같이 초음파현미경에서 동작주파수를 변화하여 동작시키면, 지지대역은 k_z 방향에 대해서 변화하게 되고, 3가지 다른 주파수에서 동작하는 현미경의 공간 주파수 응답에 대한 지지대역을 겹쳐 놓는다면, 합성된 영상은 깊이 분해능이 단일 주파수를 사용한 경우에 비하여 폭이 넓어져 광대역 특성을 갖게 된다.

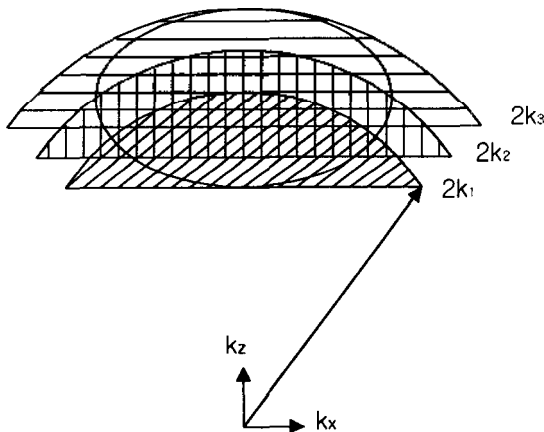


그림 1. 3개의 다른 주파수를 중첩할 때 초음파현미경의 공간주파수 응답의 지지대역

즉, 다른 주파수에서 현미경을 동작시킴으로서 형성되는 영상은 합성시 k_z 차원을 따라 공간주파수가 넓은 범위를 갖도록 결합되어진다. 초음파현미경에서 동작주파수를 달리한 경우 측정된 영상을 공간주파수 영역에서 초음파변환기의 특성 영상과 피사체의 영상특성에 대한 부분의 곱으로서 모델링 할 수 있다.

$$G(\omega_i, \vec{k}) = H(\omega_i, \vec{k})F(\vec{k}) \quad (3)$$

$G(\omega_i, \vec{k})$ 는 측정된 영상의 공간스펙트럼, $H(\omega_i, \vec{k})$ 는 초음파현미경의 SFR, $F(\vec{k})$ 는 피사체의 영상특성이며, 각각의 공간주파수 \vec{k} 에 대해서 식(3)은 행렬 방정식인 식(4)로 나타낼 수 있다. 식(4)에서 인덱스는 ω_i 이다.

$$\begin{bmatrix} G(\omega_i, \vec{k}) \\ G(\omega_N, \vec{k}) \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} H(\omega_i, \vec{k}) \\ H(\omega_N, \vec{k}) \end{bmatrix} [F(\vec{k})] \quad (4)$$

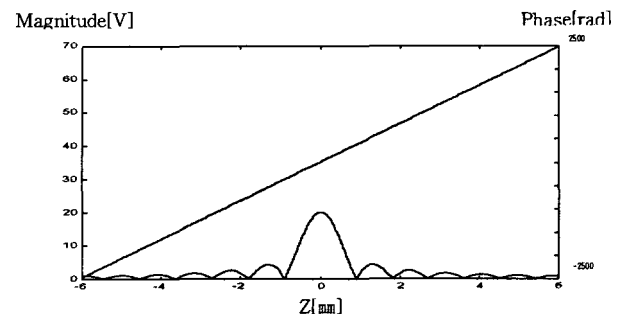
식(4)를 행렬 표기법으로 표기하면 식(5)와 같다.

$$\mathbf{G}_{\vec{k}} = \mathbf{H}_{\vec{k}} \mathbf{F}_{\vec{k}} \quad (5)$$

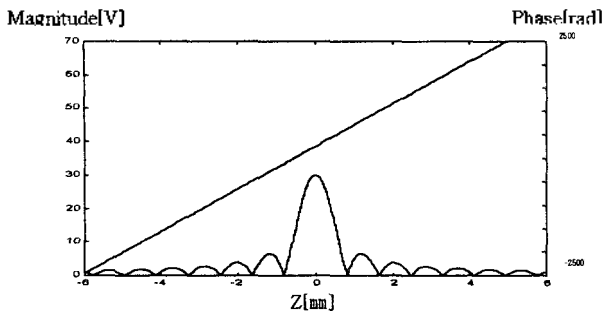
식(5)로부터 최소자승법을 사용하여 식(6)을 얻을 수 있다.

$$\mathbf{F}_{\vec{k}} = \frac{\mathbf{H}_{\vec{k}}^H \mathbf{G}_{\vec{k}}}{\mathbf{H}_{\vec{k}}^H \mathbf{H}_{\vec{k}}} \quad (6)$$

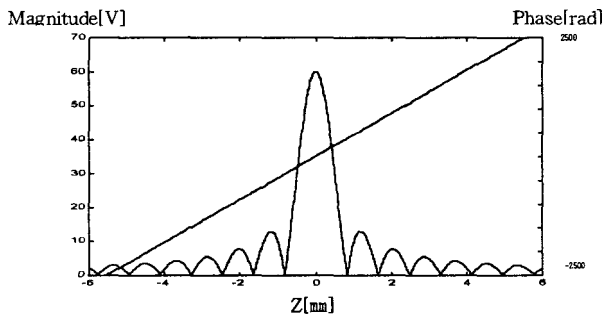
그림 2는 초음파현미경에서 동작주파수를 다르게 하였을 때 초음파현미경의 전압 출력곡선 $V(z)$ 변화와 합성된 $V(z)$ 를 모의실험하여 얻은 곡선이다.



(a) 동작주파수 5MHz에서의 $V(z)$



(b) 동작주파수 5.5MHz에서의 V(z)



(c) 다중 동작주파수에 대한 V(z)

그림 2. 다중 동작주파수에 의한 V(z)의 개선

그림 2에서 보면 다중 주파수에 의해서 합성된 V(z) 곡선이 초음파변환기와 시료사이의 거리변화에 대한 전압의 기울기로 크게 나타났으며, 따라서 영상이 민감함을 알 수 있다.

3. 실험 및 고찰

그림 3은 실험을 위하여 구성된 펄스 에코방식을 사용한 초음파현미경의 블록선도를 보여주고 있다.

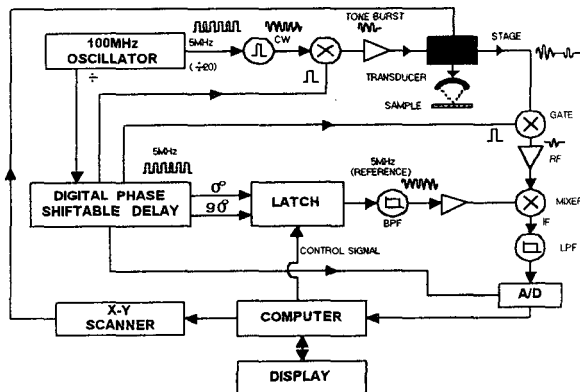


그림 3. 초음파 현미경시스템의 구성도

실험에서는 중심주파수가 5MHz이고 비대역폭이 35%인 초음파변환기를 사용하여 구성하였다. 시편으로 알루미늄을 선택하여 표면에 깊이가 100 μ m이고 폭이 2mm인 원형결함을 제작하였다.

그림 4는 동작주파수가 5MHz인 경우 복원된 표면 영상이다.

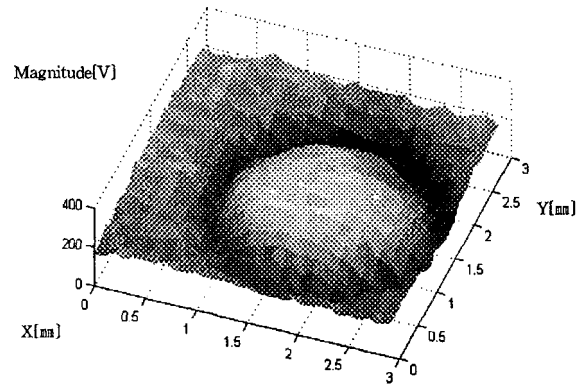


그림 4. 단일주파수를 사용하여 복원된 영상 (동작주파수:5MHz)

그림 5는 4.4MHz에서 5.6MHz까지 200kHz 간격으로 동작주파수를 변화시켜 가면서 획득한 데이터들을 합성하여 얻어진 영상이다.

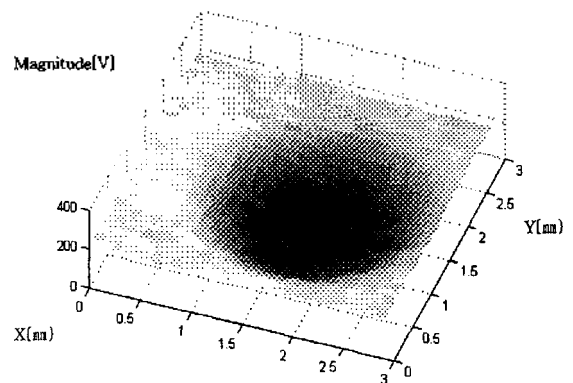


그림 5. 다중주파수에 의해 합성된 영상 (동작주파수: 4.4MHz~5.6MHz)

그림 4와 5에서 이미지 필드는 3mm \times 3mm이고 화소간의 간격은 100 μ m이다.

그림 4에서 보면 결함이 존재하는 면에서 영상강도의 변화가 적게 나타나고 단지 경계면에서만 크게 나타남을 볼 수 있다. 이때 결함이 존재하는 면과 그렇지 않은 면의 영상 콘트라스트는 0.098로 나타났다. 반면에

그림 5에서 보면 다중 주파수에 의해 개선된 영상에서는 결함면에 대해서 영상강도의 변화가 크게 나타났으며, 결함이 존재하는 면과 그렇지 않은 면의 영상 콘트라스트가 0.396을 나타내어 콘트라스트가 향상됨을 볼 수 있었다.

4. 결 론

본 연구에서는 초음파현미경시스템을 이용하여 표면에 원형결함을 갖는 알루미늄 시료에 대해 다중 주파수 동작에 의한 초음파영상을 합성하여 깊이분해능을 향상시킨 개선된 초음파영상 복원 방법에 대하여 연구하였다. 실험에서는 중심주파수가 5MHz이고 대역폭이 35%인 초음파변환기를 사용하여 초음파현미경시스템을 구성하였고 펄스 에코방법을 사용하였다. 실험결과 5MHz의 동작 주파수에 대한 영상은 결함면에 대한 콘트라스트가 0.098로 나타난 반면 경계면에서는 급격한 변화를 나타내었다. 한편 4.4MHz~5.6MHz로 200kHz씩 동작주파수를 변화시키면서 획득한 영상들을 합성하여 얻은 영상에서는 콘트라스트가 0.396으로 나타났다. 따라서 다중 주파수를 사용하여 영상을 수취한 경우 초음파 영상의 깊이 변화에 대한 영상의 콘트라스트가 향상됨을 알 수 있었다. 향후 연구 과제로서는 적절한 주파수 범위와 개수가 영상의 질에 미치는 영향 및 처리시간과의 관계가 연구되어야 하겠다.

참고문헌

- [1] Lemons, R. A., & C. F. Quate, "Acoustic Microscopy Scanning", Appl. Phys. Lett. 24, p163, 1974
- [2] A. Atalar, "Acoustic reflection microscope", Ph. D. dissertation, Stanford Univ., 1978
- [3] 고대석, 문건, 전계석, 황금찬, "저주파수대 음향현미경의 구성과 그 응용에 관한 연구", 대한공학회지 25권 5호, pp. 108-113, 1988
- [4] G. S. Kino, "Acoustic waves", Prentice-Hall, 1987
- [5] A. Briggs, "Acoustic Microscopy", Oxford, 1992