

## 공간주파수응답의 수직기저대역 확장에 의한 고체 내부의 결합영상 개선

김 현\*

### 요 약

일반적으로 초음파현미경시스템은 동작주파수로 단일 주파수를 사용해 왔다. 측정된 영상의 분해능과 질은 초음파현미경에서 사용된 초음파변환기에 의하여 결정된다. 본 논문에서는 SFR(Spatial Frequency Response)의 기저대역 조합을 통하여 반사형 초음파현미경의 수직분해능 개선에 대하여 연구하였다. 수직 분해능을 증가시키기 위해서는 하나 이상의 동작 주파수에서 얻어진 영상을 획득하고 이를 대수적으로 합성시켜 얻어진다. 실험결과 깊이 변화율이 개선된 영상들을 얻을 수 있었다.

### 1. 서론

첨단과학의 급속한 발달과 더불어서 반도체, 전자부품, 정밀소자 및 신소재 개발과 같은 산업이 급속히 성장하고 있으며, 각 기업들은 제품생산의 품질관리와 고 신뢰도를 통한 생산성 향상에 적극 노력하고 있다. 따라서 각 관련 산업분야에서는 생산제품의 고 신뢰도와 안전성을 확보하기 위하여 비파괴검사(NDE: Non-Destructive evaluation)장비와 기술에 대한 필요성이 증대되고 있다.

초음파현미경(SAM: Scanning Acoustic Microscope)은 기존의 광학현미경으로는 검출이 어려운 불투명한 피사체의 내부를 가시화(可視化)할 수 있다는 장점을 갖고 있기 때문에 현재 반도체 산업분야에서 활발히 사용되고 있다.

이러한 초음파현미경에서 획득한 초음파영상의 분해능은 다음의 세 가지 요소에 의해 결정된다.

- 초음파 빔의 직경 또는 빔의 point spread function(PSF)
- 영상을 구성하는 픽셀들의 크기와 간격
- 결합에서 반사된 신호의 S/N(signal-to-noise ratio)

기존의 초음파현미경은 단일 동작주파수를 사용하여 초음파영상을 복원한다. 이 때 동작주파수가 일정하다면 음향렌즈에 의해 결정되는 깊이방향 공간주파수대역이 제한을 받게 된다.[1] 이러한 대역은 일반적으로 협대역의 특성을 지니며, 높은 주파수에서 동작시킬 경우, 결합의 깊이 방향 변화를 미세히 관찰할 수 있으나, 이는 또한 침투 깊이가 작아지고 장비가 고가가 된다는 단점이 있었다.

본 연구에서는 깊이 방향으로 공간주파수 대역폭을 증가시켜 시료표면과 시료 내부의 영상

\* 부천대학 컴퓨터제어학과 교수

을 개선시키는 방법에 대해 연구한다. 이러한 방법은 초음파현미경의 동작주파수를 초음파변환기가 가지는 대역폭 내에서 변화시켜 가면서 획득한 각각의 영상 데이터를 합성시킴으로써 가능하다. 이러한 영상처리를 위해서는 결합에서 반사되는 신호의 진폭과 위상정보가 필요하며 기존의 수신검출장치로 사용되던 포락선 검출기로는 이러한 정보를 획득하는 것이 불가능하였다. 따라서 위상정보 획득을 위해 반사신호에 대한 진폭과 위상을 동시에 획득할 수 있는 쿼드러춰 검출기를 사용하여 초음파현미경 시스템을 구성한다.

## II. 공간 주파수응답 대역 확장에 의한 초음파 영상개선

### 2.1 3차원 공간주파수응답

영상화하려는 결합이 시료의 표면 밑에 있는 경우, 수신된 영상은 식(2-1)과 같이 여러 평면 영상들의 합으로 나타낼 수 있다.

$$g(\vec{r}; z) = \int h(\vec{r}; z; z') \cdot f(\vec{r}; z') dz' \quad (2-1)$$

여기서  $z$ 는 초음파변환기의 수직위치이고,  $z'$ 은 시료 내 결합의 수직위치좌표이며,  $g$ 는 측정된 초음파영상,  $f$ 는 피사체의 초음파영상특성,  $h$ 는  $z'$ 평면에 있는 시료 내 결합에 대한 초음파변환기의 2차원 PSF(Point Spread Function)이다. 물과 같이 일정한 매질 내에 담겨진 물체에 대해서 2차원 PSF은  $z$ 방향으로 공간에 대해 변함이 없다. 따라서 PSF은 식(2-2)과 같이 오직

초음파변환기의  $z$ 좌표와 영상화되어지는 결합 사이의 상대적인 거리 차이에 의존한다.

$$h(\vec{r}; z; z') = h(\vec{r}; z - z') \quad (2-2)$$

2차원 PSF들은 하나의 3차원 PSF에 의해 식(2-3)처럼 대치될 수 있다.

$$h(\vec{R}) \equiv h(\vec{r}; z) \quad (2-3)$$

식(2-1)에 3차원 공간 좌표에 대한 컨벌루션을 적용하면 식(2-4)처럼 정리된다.

$$g(\vec{R}) = h(\vec{R}) * f(\vec{R}) \quad (2-4)$$

공간주파수영역에서 컨벌루션은 식(2-5)과 같이 대수적인 곱의 형태로 바뀐다.

$$G(\vec{k}) = H(\vec{k})F(\vec{k}) \quad (2-5)$$

송수신 초음파변환기의 PSF인  $h(\vec{R})$ 는 3차원 송신PSF과 수신PSF의 곱으로 식(2-6)과 같다.

$$h(\vec{R}) = s_{10}(\vec{R})s_{01}(\vec{R}) \quad (2-6)$$

영상 스펙트럼의 개념으로부터 3차원 공간주파수영역에서 식(2-6)은 식(2-7)과 같이 전송계수와 반사계수에 대한 공간주파수 스펙트럼의 컨벌루션으로 변형된다.

$$H(\vec{k}) = S_{10}(\vec{k}) * S_{01}(\vec{k}) \quad (2-7)$$

형방향에 대한 파수  $\vec{k}_r$ 와 비 초점거리  $z$ 항에

의해 단방향으로 전송되는 공간주파수응답(SFR)은 식(2-8)과 같이 표현된다.

$$S_{10}(\vec{k}_r; z) = S_{10}(\vec{k}_r; 0) e^{ik_z z} \quad (2-8)$$

식(2-8)의 지수부분은  $k_z$  영역에서 델타함수로 변형되며, 따라서 스펙트럼은 식(2-9)과 같이 된다.

$$S_{10}(\vec{k}) = S_{10}(k_x, k_y) \delta(k_z - \sqrt{k_\omega^2 - k_x^2 - k_y^2}) \quad (2-9)$$

여기서  $k_\omega$ 는 각주파수  $\omega$ 에서 초음파의 파수이다.  $k$ 에 붙은 아래첨자들은  $k = |\vec{k}|$ 과 혼동을 피하기 위하여 사용하였다. 식(2-9)에서  $\vec{k}$ 가 어떠한 값을 가지든지 상관없이 델타함수는 단일주파수에서 평면파를 구성하는  $k_x$ 와  $k_y$ 에 의해  $k_z$ 가 결정된다는 사실을 나타낸다. 따라서 스펙트럼 중 0이 아닌 기저대역(base of support)은 식(2-10)에 의해 주어지는 구의 표면부분이다.

$$k_x^2 + k_y^2 + k_z^2 = \frac{\omega}{c} \quad (2-10)$$

아래방향과 측방향에서 기저대역의 범위는 초음파변환기의 수용각(acceptance angle),  $\theta_a$ 에 의해 결정되어지며, 여기된 최대 측방향 공간주파수,  $k_{rmax}$ 에 의해 식(2-11)과 같이 주어진다.

$$\sin(\theta_a) = \frac{k_{rmax}}{k} \quad (2-11)$$

반사형 초음파현미경에서는 하나의 초음파변환기를 가지고 송수신을 함께 사용하므로 수신하는 SFR,  $S_{01}$ 은 송신SFR와 같은 기저대역을 가진다. 그림 2-1에서 보여지는 바와 같이 두개의 공간스펙트럼을 컨벌루션하면, 기저대역은 단방향응답의 폭과 높이의 두 배가 된다. 그러므로 양방향 기저대역(two-way base of support)은 식(2-12)과 같이 반지름이 두 배인 구에 의해 경계를 이룬다.

$$k'_x{}^2 + k'_y{}^2 + k'_z{}^2 = \frac{2\omega}{c} \quad (2-12)$$

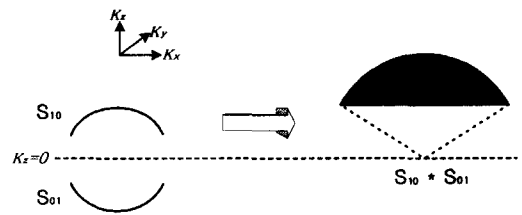


그림 2-1. 송신과 수신 공간스펙트럼의 컨벌루션

Fig. 2-1 Convolution of transmitting and receiving spatial frequency

## 2.2 공간주파수 응답 대역 확장에 의한 깊이 분해능의 개선

초음파 영상에서 분해능의 개선정도는 공간주파수영역에서 보다 쉽게 가시화(可視化)시킬 수 있다. 획득 가능한 최대 깊이 분해능은 초음파영상의 SFR(Spatial Frequency Response)에 의해 채워지는 공간주파수영역의 범위에 의해서 결정된다. 이 영역을 SFR의 기저대역(Base of support)이라고 부르며 이 영역밖에 존재하는

물체의 스펙트럼은 초음파현미경에 의해 검출이 불가능하다. 이러한 공간주파수 영역의 범위는 획득 가능한 분해능을 제한한다. 반사형 초음파현미경에서 초음파변환기의 형태가 원형이면서 대칭인 경우, 초음파영상의 분해능과 관련된 공간주파수와 동작주파수 사이에는 식(2-12)과 같은 관계가 있다.

깊이 방향, 즉 z축에 대한 공간주파수에 대해서 횡방향 벡터성분을 x, y성분으로 분리하여 정리하면 식(2-13)과 같이 표현된다.

$$k_z = \sqrt{(k^2 - (k_x^2 + k_y^2))} \quad (2-13)$$

식(2-13)에서 보면 동작주파수 f의 변화에 의해 공간주파수 k가 변화하게 되고, 이 변화는 깊이방향 분해능을 결정짓는 k<sub>z</sub>성분의 변화를 유도한다.

이 때 횡방향 분해능은 식(2-14)과 같다.

$$k_r = \sqrt{k_x^2 + k_y^2} \quad (2-14)$$

초음파현미경에서 영상분해능을 결정짓는 공간주파수응답(SFR: spatial frequency response)의 기저대역은 그림 2-2와 같다.[2]

그림 2-2는 3개의 다른 동작주파수에서 동일한 초음파변환기를 동작시켰을 때 각각의 동작주파수에 대한 공간주파수응답을 표시하고 있다. 공간주파수 k<sub>1</sub>, k<sub>2</sub>, k<sub>3</sub>에 대해 횡방향은 a<sub>1</sub>, a<sub>2</sub>, a<sub>3</sub>의 대역폭을 가지며, 깊이 방향의 대역폭은 각각 b<sub>1</sub>, b<sub>2</sub>, b<sub>3</sub>를 갖는다. SFR의 상측 경계는 2.1의 식(2-12)에서 설명한 것과 같고, 하측 경계는 초음파변환기의 f-number에 의해서 결정된다. 만일 초음파변환기가 다른 동작

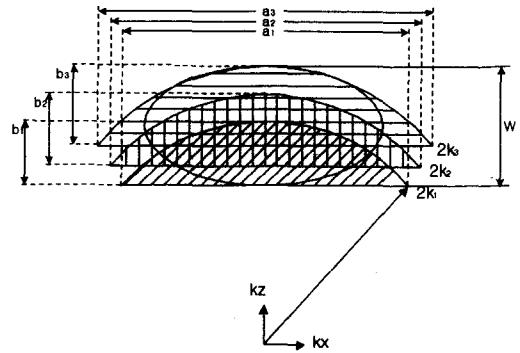


그림 2-2. 3개의 다른 주파수를 중첩할 때 초음파현미경의 공간주파수응답의 기저대역

Fig. 2-2 Bases of support for the microscope's spatial frequency response operating at three different frequencies superimposed

주파수에서 사용된다면 k<sub>z</sub>방향으로 기저대역이 천이 될 것이다. 이러한 공간스펙트럼들을 합성하면 단일주파수에서 동작시키는 것에 비하여 기저대역이 확장 될 것이다. 특히 그림 2-3에서의 결과를 통하여 보면, 상대적으로 높은 주파수에서는 동작주파수 변화에 의한 빔폭의 변화가 작으므로 빔폭에 의해 결정되는 횡방향 분해능은 거의 차이를 나타내지 않는다. 그러나 z방향인 깊이 방향에 대해서는 식(2-13)의 관계에 의해 상대적으로 기저대역폭이 크게 향상되어 W로 확대됨을 그림 2-2를 통해 알 수 있다.

k<sub>z</sub>에 대한 공간주파수 대역폭의 증가는 초음파변환기의 대역폭과 부착된 음향렌즈의 최대 개구면에 의해 결정되기 때문에 증가시킬 수 있는 최대 범위도 초음파변환기의 특성에 의해서 제한을 받는다.

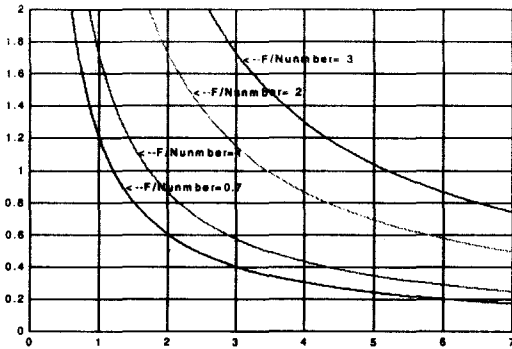


그림 2-3. 음향렌즈와 동작주파수의 변화에 따르는 빔폭의 변화

Fig. 2-3 Beam width in accordance with variation of acoustic len and operating frequency

영상을 조합하는 방법은 초음파현미경의 동작 주파수를 초음파변환기의 대역폭 내에서 변화시켜 얻어진 영상 스펙트럼을 조합하여 얻을 수 있으며  $i$  번째 단일 주파수를 사용하여 얻어진 영상스펙트럼은 식(2-15)과 같다.

$$G(\omega_i; \vec{k}) = H(\omega_i; \vec{k})F(\vec{k}) \quad (2-15)$$

초음파현미경에 의해 측정된 영상의 공간스펙트럼 ( $G(\omega_i; \vec{k})$ )은 피사체의 영상특성 ( $F(\vec{k})$ )과 초음파현미경의 공간주파수 응답 ( $H(\omega_i; \vec{k})$ )의 곱의 형태로 나타낼 수 있다. 즉, 주파수  $\omega_i$ 가 변할 때마다 초음파현미경의 공간주파수 응답이 변화하게 되고 따라서 측정되어지는 영상의 공간스펙트럼 또한 변화된다.

식(2-15)을 동작주파수를 변화시키면서 획득한 영상들에 대한 행렬방정식의 형태로 표현하면 다음 식(2-16)과 같다.

$$\begin{bmatrix} G(\omega_i; \vec{k}) \\ G(\omega_N; \vec{k}) \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} H(\omega_i; \vec{k}) \\ H(\omega_N; \vec{k}) \end{bmatrix} [F(\vec{k})] \quad (2-16)$$

식(2-16)을 행렬 표기법으로 표기하면 식(2-17)과 같다.

$$G_{\vec{k}} = H_{\vec{k}} F_{\vec{k}} \quad (2-17)$$

식(2-17)에 최소자승법을 사용하여 피사체의 영상특성인  $F(\vec{k})$ 에 대해서 정리하면 식(2-18)과 같이 되어 피사체의 영상을 얻을 수 있다.

$$F_{\vec{k}} = \frac{H_{\vec{k}}^T G_{\vec{k}}}{H_{\vec{k}}^T H_{\vec{k}}} \quad (2-18)$$

$F_{\vec{k}}$  결과는 다른 주파수에서 얻어지는 모든 영상들로부터 계산되어짐으로써 물체 스펙트럼에 대한 최소자승근사가 된다.

변화시키는 주파수 사이의 간격은 한 공간주파수응답(SFR)의 상측 경계와 다른 공간주파수응답(SFR)의 하측 경계가 서로 충분히 겹쳐지도록 해야한다.  $k_z$ 방향으로의 이동은 주파수 변화에 비례하며 식(2-19)과 같다.

$$\Delta k = 2 \frac{\Delta \omega}{c} \quad (2-19)$$

여기서  $\Delta \omega$ 는 식(2-20)과 같이 변형된다.

$$\Delta \omega = \frac{c \Delta k}{2} \quad (2-20)$$

실제 동작주파수의 간격은 기저대역이 겹쳐지기 위해서 계산된 양보다 더 적어야만 한다.

### III. 실험결과 및 고찰

#### 3.1. 주파수 변화에 따른 초음파현미경의 V(z)곡선에 대한 모의실험

초음파현미경에서 영상의 분해능의 정도를 분석하는 데는 전압출력 곡선인 V(z)곡선을 사용한다. 모의실험에서는 여러 동작주파수에서 계산한 이상적인 V(z)곡선을 이용하여 기존의 V(z)곡선과 제안된 방법에 따른 V(z)곡선의 변화를 모의실험하였다. V(z)곡선이 유한 범위를 갖는 함수인 SFR에 따르고 이웃하는 두 곡선의 기저대역이 주파수영역에서 지연될 때 겹치지 않는다고 가정하면 V(z)곡선은 그림 3-1, 3-2, 3-3에서와 같이 sinc함수의 형태를 갖는다. 각각의 그림은 초음파현미경의 동작주파수를 다르게 하였을 때, 초음파현미경의 전압 출력곡선인 V(z)의 변화와 합성된 V(z)곡선을 모의 실험한 결과이다. 그림 3-4는 동작주파수가 5MHz일 때, 그림 3-5는 동작주파수가 5.5MHz일 때 V(z)곡선의 변화를 나타낸다. 식(3-1)과 같이 그림 3-1과 그림 3-2의 V(z)곡선을 대수적으로 합하면 합성된 V(z)곡선을 그림 3-3과 같이 얻을 수 있다.

$$V_{sum}(z) = V_{\omega_1}(z) + V_{\omega_2}(z) \quad (3-1)$$

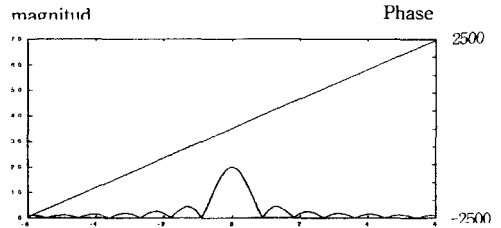


그림 3-1. 동작주파수 5MHz에서의 V(z)곡선  
Fig. 3-1 V(z) curve for 5MHz operating frequency

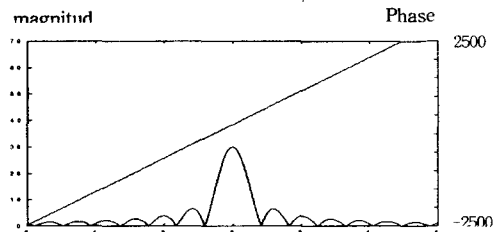


그림 3-2. 동작주파수 5.5MHz에서의 V(z)곡선  
Fig. 3-2 V(z) curve for 5.5MHz operating frequency

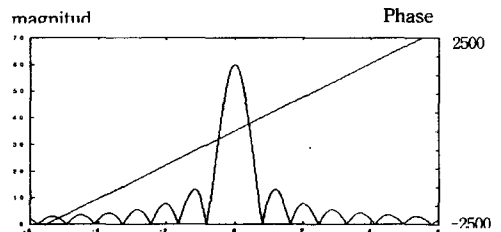


그림 3-3. 다중 동작주파수에서 합성된 V(z)곡선  
Fig. 3-3 V(z) curve for multi-operating frequency

그림 3-1, 3-2와 3-3을 비교할 때, 그림 3-3은 단일주파수를 사용한 경우에 비하여 절반 정도의 폭을 갖는 sinc형태의 V(z)곡선을 얻을 수 있으며, z변화에 대하여 기울기가 더 급격함을 볼 수 있다. 따라서 시료의 깊이 방향에 대해

보다 민감한 진폭 영상을 얻을 수 있음을 예측할 수 있다.

### 3.2. 초음파현미경 시스템 구성

개선된 초음파영상을 얻기 위해서는 초음파현미경의 동작주파수를 가변시키면서 획득한 영상들에 대한 진폭과 위상정보가 필요하다. 그림 3-4은 진폭과 위상정보를 동시에 획득할 수 있도록 구성된 쿼드러춰 초음파현미경 시스템의 블록선도를 보이고 있다. 이때 초음파변환기는 중심주파수가 5MHz이고 비대역폭이 30%인 초음파변환기를 사용하였다.

시료에서 반사된 음향파의 진폭과 위상 성분을 검출하기 위한 장치는 믹서, 저역통과필터, 증폭기, 그리고 A/D변환을 위한 양극성 피크홀드회로로 구성된다. 그림 3-5와 같이 디지털 위상 지연기를 통해 위상변화가 가능한 기준신호는 반사신호와 믹싱된 후 저역통과필터를 통과한다. 필터 후단에는 양자화를 위해 양극성 피크 홀드회로를 부가한다. 본 시스템은 다중 채널로 인한 에러를 줄이기 위해 단일채널을 갖는 쿼드러춰 검출기를 제작하여 동일한 공간적 위치에서 순차적으로 실수부와 허수부를 얻을 수 있도록 제작하였다.

개선된 깊이 분해능을 시험하기 위해 integrated circuit capacitor의 스케일 모델로 설계된 시편을 제작하여 실험하였다. 알루미늄을 사용하여 제작된 시편은 그림 3-6과 같이 깊이가 100μm이고 폭이 2mm인 결함(trench)을 가지고 있다.

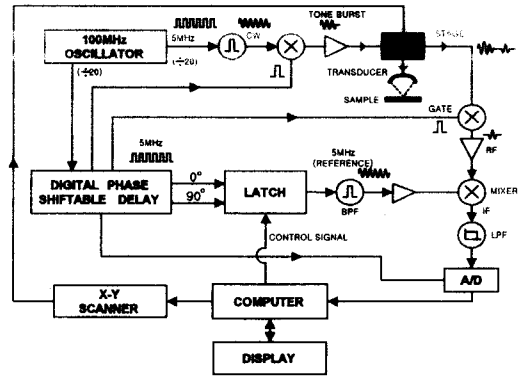


그림 3-4. 쿼드러춰 검출기를 이용한 초음파현미경의 블록선도

Fig. 3-4 The block diagram of an acoustic microscope using quadrature detector

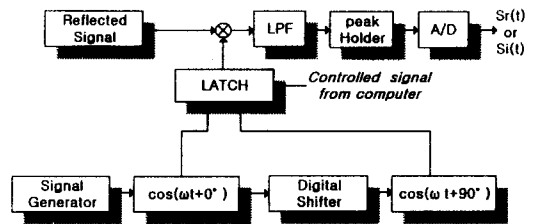


그림 3-5. 쿼드러춰 검출기의 블록선도

Fig. 3-5 The block diagram of a quadrature detector

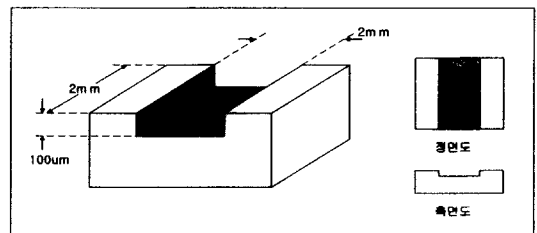
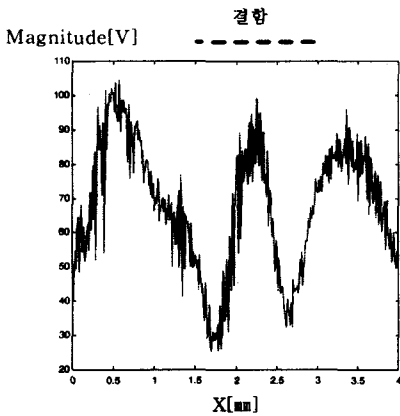


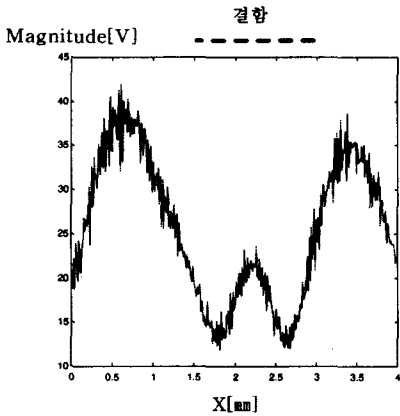
그림 3-6. 집적회로 캐패시터의 스케일모델

Fig. 3-6 scale model of integrated circuit capacitor

그림 3-7(a)은 5MHz의 단일 동작주파수를 사용하여 그림 3-8의 시료를 라인 스캔한 영상이고, 그림 3-7(b)는 동작주파수를 4MHz에서 6MHz까지 100kHz 간격으로 변화시켜 가면서 동일한 시료를 라인 스캔하여 획득한 영상 데이터를 합성한 영상이다.



(a) 동작주파수: 5MHz



(b) 동작주파수: 4MHz ~ 6MHz

그림 3-7. 라인스캔곡선  
Fig. 3-7 Line-scan curve

단일 주파수만을 사용하여 얻은 라인 스캔곡선은 결함의 edge부분에서만 산란으로 인해 큰 영상강도를 나타내고 있을 뿐 실제결함이 존재하는 부분에서의 영상강도 차는 상대적으로 작게 나타나고 있다. 그림 3-7(a)에서 보면 결함이 존재하는 부분과 존재하지 않는 부분의 영상강도 차이가 0.077로 나타났다. 그러나 다중주파수를 이용하여 개선한 라인 스캔곡선은 그림 3-7(b)에서와 같이 결함의 edge부분 뿐 아니라 결함이 실제로 존재하는 영역 전체에 걸쳐 존재하지 않는 영역과 0.290의 큰 영상강도 차이를 보이고 있다. 또한 최소자승법을 사용함으로써 잡음레벨도 작아져 영상이 크게 개선됨을 볼 수 있다.

그림 3-8와 같이 표면에서 결함까지의 깊이가 다르게 위치하도록 하여 4개의 원형결함을 제작한 시료에 대해서 내부결함에 대한 초음파영상을 복원하였다. 그림 3-8에서 결함 a는 표면으로부터 깊이가 -1.5mm이고, b는 -2mm, c는 -2.5mm, d는 -3mm이다. 따라서 높이가 다른 내부 결함에 대해 높이에 따라 다른 영상강도가 측정된다면 이를 통해 내부 결함에 대한 깊이 방향 분해능이 향상되었음을 확인할 수 있다.

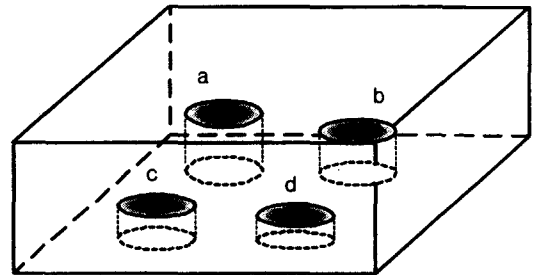


그림 3-8. 내부결함을 갖는 시편

Fig. 3-8 The sample with subsurface defects

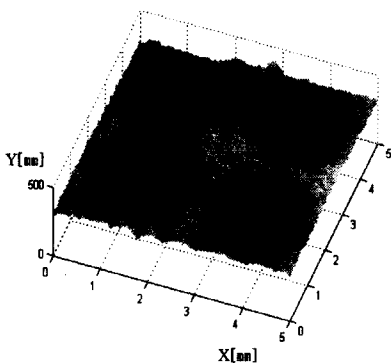
그림 3-9(a)과 그림 3-9(b)은 개선 전과 개선



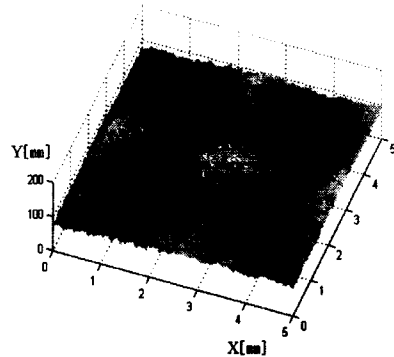
후의 영상으로 이미지 필드는  $5\text{mm} \times 5\text{mm}$ 로 하였으며 픽셀간의 간격은  $50\mu\text{m}$ 로 하였다. 한편 디포커싱 깊이는 초점( $z=0$ )에 대하여  $-3\text{mm}$ 시켜 얻었다.

그림 3-9(a)은 단일주파수를 사용하여 얻어진 고체 내부영상이다. 결함의 깊이가 다름에도 불구하고 거의 유사한 영상강도를 나타내고 있으며 결함의 형태는 나타나고 있으나 깊이는 알 수 없었다. 그림 3-9(b)은 동작주파수를  $4.4\text{MHz}$ 에서  $5.6\text{MHz}$ 까지  $200\text{kHz}$ 씩 가변 시키면서 획득한 영상 데이터들을 합성하여 얻어진 영상이다. 그림 3-9(b)에서 보면 결함이 존재하고 있는 깊이에 따라서 영상강도가 다르게 나타나고 있으며 결함이 존재하는 면이 각각 다름을 알 수 있었다.

그림 3-9(b)에서 보는 바와 같이 동작주파수 변화에 의하여 얻어진 영상들을 합성하여 복원한 영상에서는 깊이 방향에 대한 분해능이 향상되어 나타났으며, 고체 내부의 결함이 존재하는 층이 다른 경우에 있어서 영상의 질을 향상시키는 물론 결함이 존재하는 면에 대한 예측이 가능하였다.



(a) 동작주파수:  $5\text{MHz}$



(b) 동작주파수:  $4.4\text{MHz} \sim 5.6\text{MHz}$

그림 3-9. 복원된 고체 내부 mesh영상  
(디포커싱 깊이:  $-3\text{mm}$ )

Fig. 3-9 Inner mesh image reconstructed by operating SAM (Depth of defocusing:  $-3\text{mm}$ )

## IV. 결론

기존의 초음파현미경에서는 단일 동작주파수를 사용하여 초음파영상을 획득하여 왔다. 따라서 단일 동작주파수를 사용하여 획득한 영상의 깊이 방향 분해능은 오직 초음파변환기의 음향렌즈에 의해 결정되어졌다. 본 연구에서는 공간주파수 영역에서 다중주파수를 사용하여 획득한 영상들을 합성하여 수직 기저대역을 확장시킴으로써 깊이 방향 분해능이 향상된 고체내부의 결함영상을 얻는 방법에 대해 연구하였다. 초음파현미경에서 동작주파수를 변화시키면 깊이 방향으로 기저대역의 천이가 일어나게 되므로 현미경의 동작주파수를 변화시키면서 획득한 영상들을 합성할 경우 기저대역이 단일 동작주파수만을 사용하여 얻어지는 영역보다 확장되게 된다.

이러한 영상개선 방법은 반사신호의 진폭과 위상정보가 필요하므로 기존의 포락선검출기가 아닌 쿼드러춰 검출기를 사용하였다.

실험에서는 중심주파수가 5MHz이고, 비대역폭이 35%인 초음파변환기를 사용하여 쿼드러춰 검출기에 이용한 반사형 초음파현미경 시스템을 구성하였다. 결함(Trench)을 갖는 시료에 대한 실험 결과, 단일 동작주파수를 사용하여 획득한 영상에서는 결함이 존재하는 영역과 그렇지 않은 영역 사이의 영상강도 차가 0.077로 작게 나타난 반면, 4MHz~6MHz에서 100kHz 간격으로 동작주파수를 변화시키면서 획득한 데이터를 합성하여 복원한 영상에서는 영상강도의 차가 0.290으로 단일주파수를 사용한 것에 비해 약3.77배가 향상되어 나타났다.

또한, 깊이가 다르게 제작된 4개의 내부 원형 결함에 대해 살펴보면 단일주파수를 사용한 경우 복원된 영상에서 결함의 형태는 나타났으나 영상강도의 차를 가지고 결함이 존재하는 깊이는 알 수 없었다. 반면에 동작주파수를 4.4MHz~5.6MHz까지 200kHz 간격으로 가변 시키면서 획득한 영상데이터들을 합성하여 복원한 영상에서는 단일주파수만을 사용한 영상과는 달리 실제 결함의 깊이 차에 따라 영상강도의 차가 다르게 나타났다. 따라서 다중주파수를 사용할 경우 초음파영상의 깊이 변화에 대한 영상의 콘트라스트가 향상됨을 알 수 있었다.

앞으로의 연구과제는 동작주파수 가변 시 변화되는 주파수의 범위와 개수가 영상의 질(quality)에 미치는 관계를 연구하고 처리시간을 보다 빠르게 할 수 있는 알고리즘의 개발, 연구가 이루어져야 하겠다. 또한, 결함의 형태뿐만 아니라 깊이 방향성 등을 정량적으로 평가할 수 있는 3차원 영상개선기법과 입체적인 결함영상을 복원하는 연구가 계속 되어져야겠다.

## 참고문헌

- [1] G. S. Kino, "Acoustic waves," Prentice-Hall, 1987
- [2] Rugar D., "Resolution Beyond the Diffraction Limit in the Acoustic Microscope: A Nonlinear Effect," J.Appl. Phys. 56, 1338 (September 1984)
- [3] Carlin B, Ultrasonics, (New York: McGraw-Hill), 1949
- [4] McMaster R C, Nondestructive Testing Handbook vol. II, (New York: Ronald), 1959
- [5] Abdullah Atalar, "Acoustic Reflection Microscope", Ph. D. dissertation, Stanford Univ., 1978
- [6] D. O. Thompson and D. E. Chimenti, Eds., Review of Progress in Quantitative Nondestructive Evaluation 6A, (New York: Plenum Press), 1987
- [7] Fraser J. D., "The Design of Efficient Broadband Ultrasonic Transducers," G.L. Report No. 2973, Stanford University (May 1979)
- [8] R. D. Weglein and R. G. Wilson, "Characteristic Material Signatures by Acoustic Microscopy," Electron. Lett. 14, 352 (June 1978)
- [9] Spencer M., Fundamentals of Light Microscopy, Cambridge: Cambridge University Press, 1982
- [10] 고대식, "Small aperture형 초음파현미경 시스템의 구성 및 성능해석", 경희대학교 박사학위논문, 1991

- [11] Joseph W. Goodman, "Introduction to Fourier Optics", McGraw-Hill, 1996
- [12] A. V. Oppenheim, "Signal and system", Prentice-Hall, 1983
- [13] A. Briggs, "Acoustic Microscopy", Oxford, 1992
- [14] L. W. Kessler and D. E. Yuhas, "Acoustic Microscopy -1979", Proc. IEEE, Vol. 67, No.4 87, pp.526-536, 1979
- [15] 문 건, "음향현미경의 특성해석과 고체표면 및 내부영상 검출", 경희대학교 박사학위 논문. 1988

## The Enhancement of the Defects Image in Solid by Increasing Vertical-Support Base for SFR(Spatial Frequency Response)

Hyun Kim\*

### Abstract

Conventionally, we have used an acoustic microscope at single operating frequency. The resolution and quality of the measured images are determined by transducer of the microscope.

In this paper, we have studied Vertical Resolution Enhancement with Acoustic Reflection Microscope using combining bases of support for SFR(Spatial Frequency Response). Increased Vertical resolution can be obtained by taking three-dimensional images at more than one frequency and numerically combining the results. As results of the experiment, we could get enhanced images with the rate of contrast in proportion to the changing rate of depth.

---

\* Dept. of Computer Control, Bucheon Collage