

50% Tukey 창함수를 이용한 위너필터의 설계와 표면결합 영상 개선

김 현* , 황 기환* , 연 규현** , 전 계석*

* 경희대학교 전자공학과 ** 경성전문대 전산학과

The Design of Wiener filter using 50% Tukey Window function and the enhancement of surface defect images

Hyun Kim* , Kihwan Hwang* , Kyuheon Yeon** , Kyesuk Jun*

* Dept. of Electronic Engineering, Kyunghee Univ.

** Dept. of Computer Science, Kyungseong Collage

요 약

본 연구에서는 50% Tukey 창함수를 이용하여 위너필터를 설계하고 표면결합의 영상을 개선하였다. 이 위너필터는 높은 공간주파수 성분에 대해 낮은 잡음이득을 주며 안정된 필터 동작 특성을 보였다. 실험을 위하여 쿼드러춰 방식의 초음파현미경을 구성하고 시편으로 10원주화를 사용하였다. 실험결과 개선된 영상은 블러링 효과가 제거되어 우수한 영상 화질을 나타내었다.

ABSTRACT

We have studied the design of wiener filter by using 50% Tukey window function and enhanced the image of the surface defect with the filter. It has been shown that the filter produces the low noise gain for the components of high spatial frequency and provides a stable operation. In this experiment, we have constructed the acoustic microscope using quadrature method and used a 10 won coin as a sample. In the result of this experiment, it has been found that the enhanced images have high guilty because of the reduced blurring effect.

I 서 론

항공전자 산업이나 반도체 산업 분야에서는 제품에 대한 품질관리와 안정성 확보 및 생산공정의 경비절감이라는 차원에서 초정밀 비파괴검사 장비의 필요성이 대두되고 있으며 최근에는 국내 반도체 산업계에서도 SAM(Scanning Acoustic Microscope)장비가 고가임에도 불구하고 수입하여 사용하고 있는 실정이다. 그리고 앞으로는 반도체, 신소재, 복합재료 및 정밀부품 공업 분야까지 그 수요가 더욱 늘어날 것으로 예측되므로 이에 대한 국산화 개발이 시급히 요망된다.

초음파현미경의 개념은 1930년대 Sokolove에 의해 처음으로 제시되었으나¹⁾ 1970년대 초까지는 고주파수의 초음파를 효율적으로 발생시키지 못함으로 인하여 이에 따른 연구가 침체 되었으나 그 후 반도체기술의 발전과 더불어서 초음파 현미경에 대한 연구가 활발히 진행되었다.^{2,3,4,5)} 기존의 초음파영상은 초음파변환기의 전달함수가 공간주파수 영역에서 대역이 제한되므로서 영상의 블러링 현상이 발생되며 이는 영상의 콘트라스트를 저하되었다.

따라서 본 연구에서는 이러한 블러링 효과를 제거하여 영상을 개선시키는 방법을 연구한다. 이를 위하여 우선 영상 복원시 초음파변환기와 피

사체 사이의 관계를 모델링하고 초음파변환기의 전달함수를 사용하여 50% Tukey 창함수를 이용한 위너필터를 설계한 후 이 필터를 사용하여 필터링처리하여 개선된 영상을 얻는다.

본 실험에서는 진폭과 위상을 동시에 검출할 수 있는 쿼드러춰 검출방법을 이용한 초음파현미경을 구성하고 중심주파수가 3MHz이고 비대역폭이 45%인 초음파변환기를 사용하여 펄스-에코방법으로 실험하였으며 시편으로는 10원주화를 사용하였다.

II. 위너필터의 설계와 표면영상 개선

반사형 초음파현미경에서 전기적인 신호로 보내스트로파가 초음파변환기에 여기되면 인가된 전기적인 신호는 초음파변환기에 의해서 음향파로 변환되고 음향렌즈에 의해서 시편위에 집중된다. 이때 음향파의 일부는 투사되고 일부는 반사되는데 반사파는 시편의 반사계수와 거리에 따라 변화하는 함수가 된다. 초음파변환기는 송수신기로 사용되며 시편에서 반사된 음향파는 다시 초음파변환기에 수신되고 전기적인 신호로 변환된다. 기존에는 이러한 반사파를 시간적으로 게이트 시킨 후 포락선 검출기를 사용하여 반사파의 진폭변화를 획득하고 디스플레이 장치의 명도에 대응시켜 2차원의 초음파영상을 복원하였다.^{3,4,5,6} 초음파영상을 복원 할 때 시편은 다음과 같은 조건을 만족한다고 가정된다. 첫째로 시료의 표면은 2차원 평면구조를 갖는다. 이는 초음파변환기의 초점깊이에 비하여 높이 변화가 적음을 의미한다. 또 하나의 가정은 시료의 표면에서 반사된 음향은 입사된 음향장과 피사체의 음향장응답에 대한 일대일 곱이라는 가정이다. 이는 초음파변환기의 수신된 신호는 모드변환에 의한 성분은 존재하지 않음을 의미한다. 이러한 가정하에서 측정된 초음파영상은 단순히 초음파변환기의 왕복 PSF와 피사체의 응답 응답과 컨벌루션으로 모델링 할 수 있으며 식(1)과 같다.

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

여기서 g 는 측정된 초음파영상이고 h 는 초음파현미경의 PSF이며 f 는 피사체의 영상특성이다. 식(1)에서 측정된 초음파영상은 측정시 사용된 초

음파변환기의 2차원 영상전달함수의 특성이 포함 되어져 있으며 이는 측정된 영상에서 블러링 효과를 나타내면서 영상의 질을 저하시킨다. 식(1)에서 피사체가 점반사원 이라면 f 는 2차원적인 임펄스함수로 근사화 된다. 이러한 피사체를 스캔하여 얻어진 영상은 초음파현미경의 PSF(Point Spread Function)으로 알려져 있다.⁹⁾ 식(1)를 공간에 대해서 2차원 푸리에변환하면 식(2)와 같다.

$$G(\vec{k}; z) = H(\vec{k}; z)F(\vec{k}) \quad (2)$$

G, H, F 는 각각 g, h, f 에 대한 상대적인 공간 푸리에 변환 관계를 갖으며 k 는 2차원 평면에 대한 공간주파수 분포로서 $|\vec{k}| = \sqrt{k_x^2 + k_y^2}$ 이고 $\alpha(\vec{k}) = \tan^{-1}(k_y/k_x)$ 인 관계를 갖으며 특히 H 는 초음파현미경의 공간주파수 응답(Spatial Frequency Response)로 알려져 있다.⁹⁾ 이와같은 초음파변환기의 영상특성은 초음파변환기에 대한 전송 PSF와 수신 PSF의 곱으로서 식(3)의 관계를 갖는다.

$$h(\vec{X}; z) = s_{10}(\vec{X}; z)s_{01}(\vec{X}; z) \quad (3)$$

s_{10} 와 s_{01} 은 초음파변환기의 전송 PSF와 수신 PSF이다. 식(3)을 공간 2차원 푸리에변환 시키면 식(4)와 같이 초음파변환기의 공간주파수 응답은 공간주파수 영역에서 S_{10} 과 S_{01} 의 2차원 컨벌루션으로 표현될 수 있다.

$$H(\vec{k}; z) = S_{10}(\vec{k}; z) ** S_{01}(\vec{k}; z) \quad (4)$$

따라서 측정된 영상은 초음파변환기의 전달함수가 갖는 유한한 대역폭에 의해서 제한되어지고 초음파변환기를 송수신으로 사용함으로써 초음파현미경의 공간주파수 응답은 2배로 넓어진다. 일반적으로 초음파영상에서 보다 좋은 분해능을 얻기 위해서는 공간적으로 PSF는 작은 사이드로브를 가지면서 중앙에 빔 폭이 작아야 한다. 따라서 출력 영상에서 이러한 초음파변환기의 영상특성을 제거한다면 측정된 영상의 분해능은 개선 될 것이다. 측정된 영상에서 초음파변환기의 전달함수의 특성을 제거는 식(5)와 같다.

$$G_{inv}(\vec{k}) = \frac{1}{H(\vec{k}; z)} G(\vec{k}; z) = \frac{1}{H(\vec{k}; z)} H(\vec{k}; z) F(\vec{k}) \quad (5)$$

식(5)에서 보면 H 가 공간주파수영역에서 스펙트럼 분포가 특정한 대역을 가지므로 실제 처리가 불가능하므로 실제 적용에 있어서는 근사적인 방법을 사용한다. 즉 주파수에 의존하는 잡음행렬을 추가 시킴으로서 필터를 안정화시킨다.¹¹⁾

$$G_{enh}(\vec{k}) = \frac{W(\vec{k})H^*(\vec{k}, z)}{|H(\vec{k}, z)|^2 + N^2} G(\vec{k}, z) \quad (6)$$

따라서 실제처리는 식(6)과 같이 50% Tukey 창함수를 포함한 위너필터로 설계해야 한다. 50% Tukey 윈도우 함수는 피사체 영상이 갖는 대역의 50%에 대해서는 진폭이 1인 특성을 갖고 경계부분에서는 코사인함수의 제곱형태로 감소하는 특성을 갖고 있으며 이는 기존의 다른 종류의 창함수에 비하여 높은 공간주파수 성분에 대해 낮은 잡음 이득을 준다. 또한 위너필터는 대역이 제한된 초음파변환기의 전달함수 특성으로 인한 불안정한 성분을 제거하면서 PSF의 사이드로브를 줄여준다.

$$H_{design}(\vec{k}, z) = \frac{W(\vec{k})H^*(\vec{k}, z)}{|H(\vec{k}, z)|^2 + N^2} \quad (7)$$

식(7)은 설계된 필터의 전달함수를 보여주고 있다. 따라서 개선된 영상은 식(6)에서 얻어진 $G_{enh}(\vec{k})$ 를 공간영역으로 2차원 역푸리에 변환시켜 얻을 수 있다.

III. 실험 및 고찰

그림 1은 실험을 위하여 구성된 초음파현미경의 구성도이다. 데이터 획득은 진폭과 위상 정보를 모두 획득하기 위하여 Lock-in Amp를 사용하였다. 실험에서는 중심주파수가 3MHz 이고 비대역폭이 45%인 렌즈형 초음파변환기를 사용하였으며 시편으로는 10원 주화를 사용하였다.

그림 2은 쿼드러춰 방식의 초음파현미경에서 복원된 초음파영상을 보여주고 있으며 이때 픽셀 간의 간격은 100 μ m로 하였으며 이미지필터는 256 \times 256으로 하여 데이터를 획득하였다.

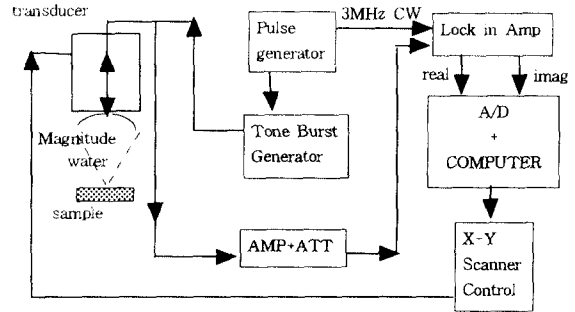
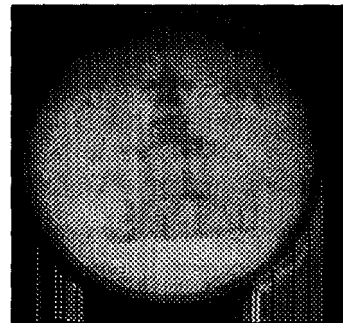


그림 1. 쿼드러춰 검출기에 사용한 초음파현미경의 구성도



(a) 진폭영상



(b) 위상영상

그림 2. 획득한 10원 주화의 영상

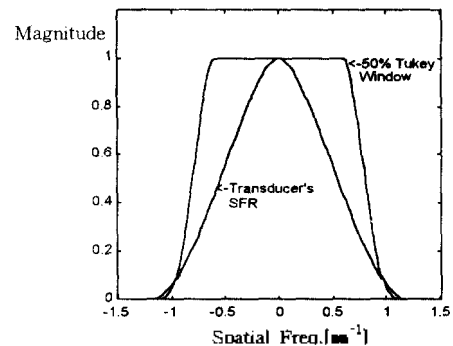


그림 3. 초음파변환기의 응답특성과 50% 창함수

그림 3은 초음파변환기의 SFR(Spatial Frequency Response)와 50% Tukey 창함수의 특성을 보여주고 있다. 50% Tukey 창함수는 SFR의 중심에서 에지의 1/2까지는 평탄특성을 갖으나 이후부터는 cos함수의 제곱으로 감소하는 특성을 갖는다. 이는 고주파수의 공간주파수 성분에서 잡음을 잘게해 주는 효과가 있다.

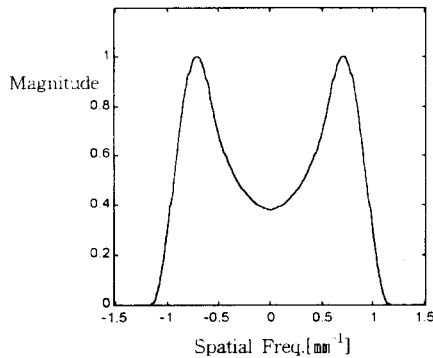


그림 4. 설계된 필터의 이득

그림 4는 설계된 필터의 이득을 보여주고 있으며 그림 5는 2차원으로 확장될 시 형태를 보여주고 있다. 일반적으로 초음파영상은 저역에 스펙트럼이 집중되기 때문에 그림 4와 5를 보면 필터는 이러한 저역신호를 억제하면서 피사체의 영상스펙트럼 분포에서 고주파대역신호는 강조시키는 효과를 나타낼 것이다. 또한 이보다 큰 고주파수 성분은 잡음에 의한 성분이며 이를 제거시키는 효과도 있다.

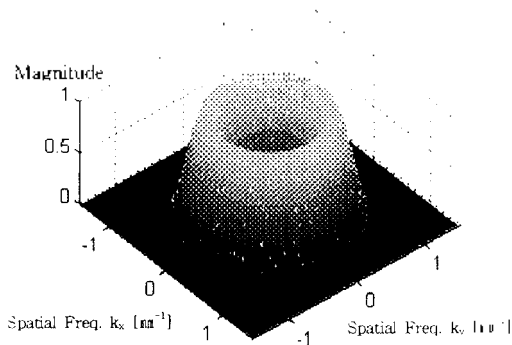
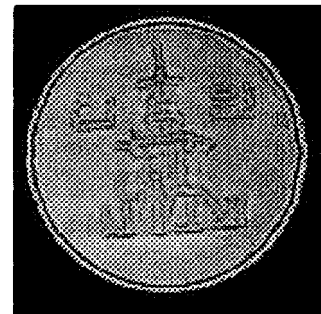


그림 5. 설계된 필터이득의 Mesh

그림 6은 개선된 진폭과 위상영상을 보여주고 있다. 예측된 바와같이 결함의 경계면에서 나타나는 블러링이 제거되고 경계면이 강조되어 영상의 콘트라스트가 향상되어짐을 볼 수 있다.



(a) 진폭영상



(b) 위상영상

그림 6. 개선된 진폭과 위상영상

IV. 결론

본 연구에서는 초음파변환기의 SFR에 의한 내역제함에 따르는 초음파 영상의 블러링 효과를 제거하기 위하여 50% Tukey 창 함수를 이용한 위너필터를 설계 방법을 연구하고 표면결함의 영상을 개선하였다. 이를 위하여 우선 초음파영상 복원시 초음파변환기와 피사체 사이의 관계를 모델링하고 초음파변환기의 SFR을 분석하여 50% Tukey를 결정하였다. 설계된 위너필터는 기존의 다른 종류의 창 함수를 사용한 필터에 비하여 높은 공간주파수 성분에 대한 낮은 이득 잡음을 주면서 안정된 필터의 동작특성을 나타내었다. 본 실험에서는 웨드러취 검출방식을 사용한 초음파 현미경을 구성하고 중심주파수가 3MHz이고 비대역폭이 45%인 초음파변환기를 사용하여 펄스-에코방법으로 실험하였다. 시편으로는 10원주화를 사용하였고 픽셀간격이 100 μ m이고 영상필드가 256 \times 256인 영상을 획득하였다. 실험결과 개선된 영상은 위너필터에 의해서 초음파변환기의 특성에 의한 나타나는 영상의 블러링 효과가 효과적으로 억제되어 우수한 영상 화질을 보여주었다.

이와 같은 본 연구의 결과는 반도체 뿐만 아니라 복합재료 및 신소재 산업분야에서 비파괴검사 응용에 많은 활용이 기대된다.

참 고 문 헌

- [1] Sokolov, S .Y.,Dokl.Akad.Nauk.SSSR 64,333,1949
- [2] Lemons, R. A., and C. F. Quate,"Acoustic Microscopy Scanning",*Appl.Phys.Lett.*24,163,1974
- [3] A. Atalar,"Acoustic reflection microscope" ,PH.D. dissertation, Standford Univ., 1978
- [4] L.W. Kessler and D.E.Yuhas,"Acoustic Microscopy-1979".*Proc.IEEE*,Vol.67,No.4,pp.526-536,1979
- [5] 고대식, 문건, 전계석, 황금찬,"저주파대 음향 현미경의 구성과 그 응용에 관한 연구",*대한전자 공학회지* 25권 5호, pp.108-113,1988
- [6] K.Liang,"Precision Phase Measurement im Acoustic Microscopy",PH.D. dissertation, Standford Univ., 1985
- [7] R.Crane,"A simplified approach to image processing",Prentice-Hall, 1997
- [8] 문상택,"디지털 신호처리에 의한 결함형태에 따른 초음파신호의 특징추출",*경희대학교 석사학 위논문*,1995
- [9] Jae S.Lim,"Two-dimensional Signal and Image processing", Prentice-Hall, 1990