

웨이브렛 변환을 이용한 초음파 펄스 에코 신호의 디컨볼루션

Wavelet Transform Based Deconvolution of Ultrasonic Pulse-Echo Signal

장경영*, 장효성**, 박병일**, 하 욱**

Kyung-Young Jhang*, Hyo-Seong Jang**, Byung-Yll Park** and Job Ha**

초 록 초음파 펄스-에코법을 매우 얇은 층을 갖는 다층구조물에 적용할 때 그 얇은 층의 상하면에서의 반사파가 중첩되게 되면 검사가 곤란하게 된다. 이런 문제는 반도체 내부에서의 심한 감쇠를 피하기 위해 20MHz 이하의 비교적 저주파수를 사용하는 초음파 현미경으로 반도체의 얇은 실리콘 칩을 검사하는 경우에 쉽게 볼 수 있다. 기존에 이런 초음파 신호의 중첩을 분리하기 위해 디컨볼루션 기법이 사용되어 왔으나, 송신파의 파형이 전파하면서 왜곡되어 수신되는 경우에는 적절치 못하다. 본 논문에서는 기존의 디컨볼루션 기법에 비하여 우수한 성능으로 중첩 신호를 분리해 낼 수 있는 새로운 신호처리 기법으로서 웨이브렛 변환 기반 디컨볼루션 (WTBD) 기법을 제안하였다. 여기서 웨이브렛 변환은 송신파와 왜곡된 수신 신호의 공통 파형을 추출하기 위해 사용되고 추출된 공통 파형에 대해 디컨볼루션 처리한다. 제안하는 방법의 성능은 모형신호에 대한 컴퓨터 시뮬레이션과 인위적으로 실리콘 칩 상면에 들뜸 결함을 만든 반도체 시편에 대한 실험을 통해 검증되었다.

주요용어: 초음파시험, 신호처리, 웨이브렛 변환, 디컨볼루션

Abstract Ultrasonic pulse echo method comes to be difficult to apply to the multi-layered structure with very thin layer, because the echoes from the top and the bottom of the layer are superimposed. We can easily meet this problem when the silicon chip layer in the semiconductor is inspected by a SAM equipment using fairly low frequency lower than 20MHz by which severe attenuation in the epoxy mold compound of packaging material can be overcome. Conventionally, deconvolution technique has been used for the decomposition of superimposed UT signals, however it has disabilities when the waveform of the transmitted signal is distorted according to the propagation. In this paper, the wavelet transform based deconvolution (WTBD) technique is proposed as a new signal processing method that can decompose the superimposed echo signals with superior performances compared to the conventional deconvolution technique. WTBD method uses the wavelet transform in the pre-stage of deconvolution to extract out the common waveform from the transmitted and received signal with distortion. Performances of the proposed method are shown by through computer simulations using model signal with noise and are demonstrated by through experiments for the fabricated semiconductor sample with partial delamination at the top of silicon chip layer.

Keywords: ultrasonic test, signal processing, wavelet transform, deconvolution

1. 서론

초음파 비파괴 검사 방법의 하나인 펄스 에코법은 결

함탐상을 비롯한 다양한 분야에 광범위하게 응용되고 있다.[1] 그러나 이 방법은 검사체가 다층구조이고 검사부위가 파장에 비해 얇은 두께를 갖는 층의 계면인 경우

그 층의 전후면에서의 반사 예코가 서로 중첩되어 나타나므로 이를 이용한 계면 상태의 평가에 오류를 발생시키는 요인이 된다. 이런 예는 초음파 주사 현미경(SAM)을 이용한 얇은 반도체의 실리콘 칩 상하면 들뜸(delamination) 검사에서 쉽게 볼 수 있다[2].

한편 초음파 펄스 에코 신호의 깊이 방향으로의 분해능을 향상시키기 위한 방법에 디컨볼루션(deconvolution) 기법이 있다[3-4]. 그러나 이 방법은 반사파의 파형이 송신파와 유사하다는 가정을 전제로 하고 있어 초음파의 전파과정에서 파형의 변화가 심하지 않은 경우에 효과적으로 적용할 수 있다. 따라서 집속형 트랜스듀서를 사용하는 SAM에서와 같이 전파 깊이에 따라 파형의 변형과 왜곡이 심한 경우에는 이 기법의 적용이 곤란하다.

본 논문에서는 이렇게 초음파의 파형이 전파함에 따라 왜곡되는 경우의 중첩 에코신호를 분리함으로써 분해능을 향상시킬 수 있는 새로운 신호처리 기법을 제안한다. 이 방법은 웨이브렛 변환과 디컨볼루션 기법을 병용하는 것으로 여기서는 웨이브렛 변환 기반 디컨볼루션(WTBD: Wavelet Transform Based Deconvolution) 기법이라 명명하였다.

웨이브렛 변환(wavelet transform) 기법은 주어진 신호에서 기본 웨이브렛(mother wavelet)이라 불리는 특정 파형과 유사한 파형을 주파수 대역별로 선별하여 분리해 낼 수 있는 기능이 있다. 초음파 신호의 경우 전파함에 따라 주된 주파수 성분이 크게 변화하기는 하지만 송신파와 에코의 기본적인 파형 형태는 크게 달라지지 않으며 이것을 기본 웨이브렛으로 생각하면, 초음파 펄스 에코 신호에 웨이브렛 변환 기법을 적용할 수 있다. 이렇게 함으로써 각 계면 에코를 주파수 대역별 기본 파형으로 분리해 낼 수 있고 적절한 대역의 파형을 선택하여 디컨볼루션 기법을 적용하는 것이다. 이 경우 선택된 신호에 포함되어 있는 송신파와 에코들의 파형이 서로 유사한 상태이므로 송신신 신호간 파형의 차이로 인한 성능 저하없이 디컨볼루션 기법의 적용이 가능해진다. 즉, 제안하는 기법은 디컨볼루션의 전처리 단계에서 웨이브렛 변환을 이용하여 왜곡된 각 계면 에코 신호의 공통의 파형 성분을 추출하고 이것을 디컨볼루션 처리하고자 하는 것이다.

본 논문에서는 WTBD 기법의 원리를 제안하고 그 유용성을 모델 신호를 이용한 시뮬레이션을 통하여 검증하였으며, 실제 적용 가능성을 예시적으로 보이기 위해 들뜸 결함을 갖는 반도체 샘플을 대상으로 한 실험을 수행

하여 기존의 디컨볼루션 기법에 비해 우월한 성능을 나타냄을 확인하였다.

2. 디컨볼루션 기법

초음파 펄스 에코법에서 송수신 신호를 각각 시간 t 의 함수 $S_T(t)$, $S_R(t)$ 로 표시하기로 하면, 수신신호는 다음과 같은 컨볼루션 적분의 형태로 나타낼 수 있다[5-6].

$$S_R(t) = \int_0^{\infty} \rho(x) S_T\left(\frac{t-2x}{v}\right) dx \quad (1)$$

즉, 수신신호는 Fig. 1에 나타난 바와 같이 탐촉자로부터 송출된 초음파가 속도 v 로 전파해서 x 의 위치에 있는 반사체에서 반사되어 돌아오는 성분이 x 축을 따라 누적된 결과임을 나타낸다. 단, 여기서 $\rho(x)$ 는 반사체의 반사계수로써 송신점으로 부터의 거리의 함수이다. $\rho=1$ 은 전반사를, $\rho=0$ 은 반사체가 없음을 의미하며, 일반적으로 들뜸 결함이 있는 계면에서의 ρ 의 값이 들뜸이 없는 계면에서의 그것보다 매우 크다.

이렇게 ρ 의 크기로부터 계면의 상태를 판정할 수 있는데 ρ 의 분포는 송수신 신호의 푸리에 변환을 이용하여 다음과 같이 구할 수 있다. 먼저, $2x/v=t'$ 로 변수치환하고 식 (1)을 푸리에 변환하면

$$\begin{aligned} S^-_R(\omega) &= \int_{-\infty}^{\infty} \int_0^{\infty} \rho'(t') S^-_T(t-t') e^{-j\omega t} dt' \\ &= \rho^-(\omega) S^-_T(\omega) \end{aligned} \quad (2)$$

을 얻게 된다. 여기서 ρ' , S^-_T 는 각각 ρ , S_T 를 t' 에 대한 함수로 표현한 것이며, S^-_R , S^-_T , ρ^- 은 각각 S_R , S_T , ρ 의 푸리에 변환형이다.

따라서, 반사계수의 푸리에 변환은 다음 식(3)과 같이 구할 수 있으며,

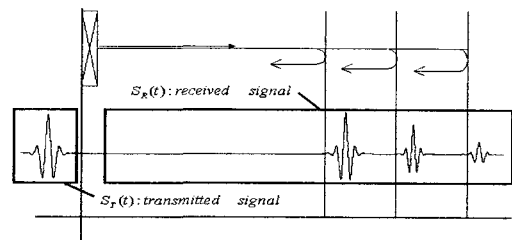


Fig. 1 Transmitted signal and received echo signals

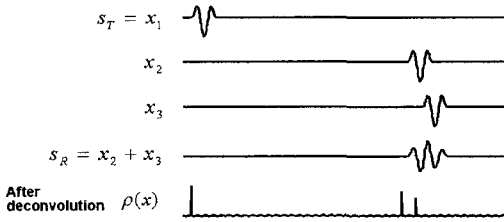


Fig. 2 Separation of superimposed signal using conventional deconvolution technique

$$\rho^{-1}(\omega) = \frac{S^{-1}_R(\omega)}{S^{-1}_T(\omega)} \quad (3)$$

최종적으로 $\rho^{-1}(f)$ 는 $\rho^{-1}(\omega)$ 의 역푸리에 변환에 의해 구할 수 있다.

이와 같은 방법으로 반사계수의 분포를 구하는 것을 디컨볼루션 기법이라고 부르며, 반사체의 위치에 대한 정보를 델타 함수적으로 나타내기 때문에 중첩된 신호라 하더라도 매우 정확하게 반사신호를 구분해 낼 수 있다.

Fig. 2는 이와 같은 디컨볼루션 기법의 개념을 나타내고 있다. x_1 이 송신신호 S_T , x_2 , x_3 는 얇은 층의 전후 계면에서의 에코로서 이들의 중첩된 성분 x_2+x_3 를 수신신호 S_R 로 취급하였다.

이 신호를 디컨볼루션 처리하면 반사계수의 분포를 그림과 같은 임펄스 형태로 얻을 수 있고 그 위치, 크기 및 위상으로부터 계면의 위치와 들뜸의 유무를 평가할 수 있다. 일반적으로 들뜸 결함이 있는 경우에는 없는 경우에 비해 그 계면의 에코 진폭이 매우 크게 나타나며 음향임피던스 차이에 따라서는 위상이 반전될 수도 있다.

단, 이 기법은 식(1)에서 알 수 있듯이 송신파형과 수신파형이 동일하다는 것을 전제로 하고 있다. 따라서 에코가 송신파의 파형과 주파수 성분이나 모양등에 있어서 차이가 큰 경우에는 이 기법의 성능은 크게 저하되어 적용하기가 곤란하다.

3. 웨이브렛 변환 기법

웨이브렛 변환은 시간정보와 주파수정보를 동시에 분석할 수 있는 효과적인 신호처리 기법으로 최근 다양한 응용이 시도되고 있다. 다음 식 (4)는 웨이브렛 변환의 기본식을 나타낸다.

$$F(a, b) = \int_{-\infty}^{+\infty} f(t) \Psi_{a,b}^*(t) dt \quad (4)$$



Fig. 3 The Mother wavelet used in the wavelet analysis(bior2.8), which is similar to the actual ultrasonic pulse

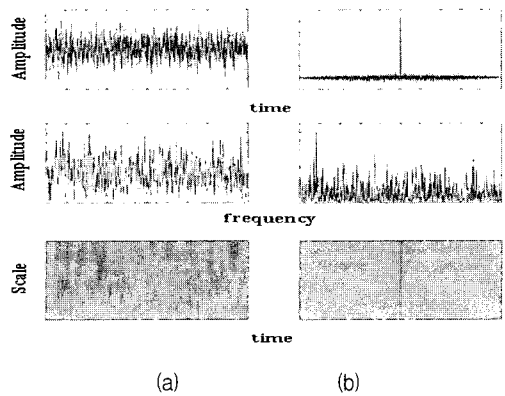


Fig. 4 Results of Fourier transform and wavelet transform (a) white noise, and (b) impulse with background noise

여기서, f 는 변환하려는 신호이고, F 는 f 의 웨이브렛 변환이다. $\Psi_{a,b}$ 는 웨이브렛으로 식(5)와 같이 주어지며 $*$ 는 위상공액을 나타낸다.

$$\Psi_{a,b}(t) = \frac{1}{\sqrt{a}} \Psi\left(\frac{t-b}{a}\right), \quad a > 0 \quad (5)$$

여기서 $\Psi(t)$ 는 기본 웨이브렛, a 는 확대 파라미터(dilation), b 는 이동 파라미터(translation)를 나타내고, $\Psi(t)$ 는 다음 조건을 만족해야 한다.

$$\int_{-\infty}^{+\infty} \Psi(t) dt = 0 \quad (6)$$

이런 조건을 만족하는 파형에는 여러 가지 형태가 있을 수 있는데, 본 연구에서는 Fig. 3에 보이는 바와 같이 초음파 펄스 파형과 유사한 파형을 이용하였다[7]. Fig. 4는 웨이브렛 변환의 효과를 예시하기 위하여 (a) 일반 백

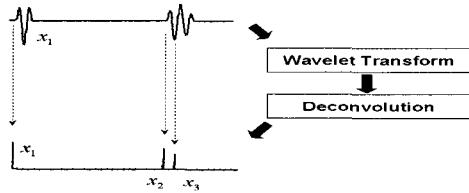


Fig. 5 Singal decomposition by discre wavelet transform

색잡음과 (b) 펄스 (미약한 백색잡음을 배경잡음으로 가지고 있음)에 대해 각각 푸리에 변환과 웨이브렛 변환한 결과를 비교하여 나타낸 것이다. 푸리에 변환 결과는 단순히 두 신호 모두 전 주파수 대역의 주파수 성분을 가지는 것을 나타내고 있다. 이에 반해 웨이브렛 변환은 백색잡음은 모든 시각에서 모든 주파수 성분을 가짐을 보여주지만 펄스는 해당 펄스가 나타난 시각에서만 전 주파수 성분을 갖고 다른 시각에서는 잡음 이외의 신호가 없음을 나타낸다.

웨이브렛 변환은 이렇게 시간정보와 주파수정보를 동시에 관측할 수 있을 뿐만 아니라, 푸리에 해석이 여러 주파수 성분으로 신호를 분리해 내듯이 기본 웨이브렛 (mother wavelet)이라 불리는 특정 파형과 유사한 성분을 주파수 대역별로 선별하여 분리해 내는 서브밴드필터(subband filter)의 기능을 가지고 있다[8]. 이것은 이산 웨이브렛 변환 (discrete wavelet transform)에 의해 가능하다[9]. Fig. 5는 이런 기능을 초음파 신호를 예로 들어 보여주고 있다. 즉, 먼저 원신호를 A 성분 (Approximation, 저주파대역에 해당)과 D 성분 (Detail, 고주파 대역에 해당)으로 분해하고 이를 A1, D1이라 한다. 그리고 A1을 다시 A2, D2로 분해하고, A2를 다시 A3, D3로 분해하는 과정을 반복하게 된다. 이 때 반복 회수를 레벨 (level)이라 부른다.

4. 웨이브렛 변환 기반 디컨볼루션(WTBD) 기법

제면에서의 에코 신호는 전파거리, 매질에 따라서 주파수 성분이 변화하고, 또 집속형 트랜스듀서를 이용할 경우 초점 영역과 비초점 영역에서 에코의 파형이 달라지므로 앞서 기술한 디컨볼루션 기법을 효과적으로 적용할 수 없다. 그러나 에코의 기본형태는 크게 달라지지 않는다. 이 형태를 기본 웨이브렛 (mother wavelet)으로하여 웨이브렛 변환하면 Fig. 6에 보인 바와 같이 송수신 신호를 주파수대역별 웨이브렛으로 분리할 수 있다. 이렇게

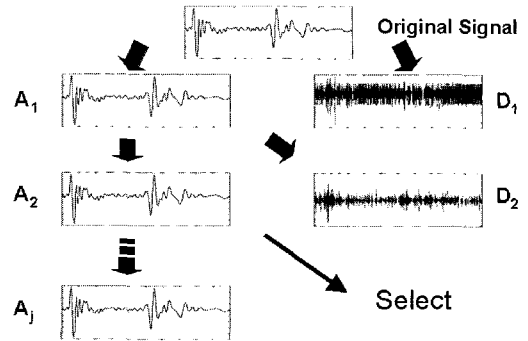


Fig. 6 Concept of the proposed method : WTBD (Wavelet Transform Based Deconvolution)

분리된 신호는 그 안에 들어 있는 에코 신호들이 모두 유사한 파형을 가지므로 적절한 레벨의 A 성분을 선택하여 디컨볼루션 기법을 적용하면 각 에코의 재현이 가능해 질 것이다. 이런 방법을 본 논문에서는 웨이브렛 변환 기반 디컨볼루션 (WTBD) 기법으로 명명하였으며 Fig. 6은 그 개념을 나타낸다. 단, 후술하는 시뮬레이션과 실험에서 선택한 레벨은 4로 하였으며 이것은 원신호의 주된 주파수 성분이 크게 변하지 않는 레벨의 A 성분을 선택한 것이다.

5. 시뮬레이션

5.1. 시뮬레이션에 사용된 모형신호

제안하는 원리의 타당성을 검증하기 위하여 식(7)과 같은 모형신호를 발생시켜 컴퓨터 시뮬레이션을 수행하였다.

$$S(t) = a \sin \{ \omega(t - \tau) \} \sin \left\{ \frac{\omega(t - \tau)}{2n} \right\}$$

$$S(t) = 0$$

$$\tau < t < \tau + nT$$

$$t < \tau, t > \tau + nT$$
(7)

여기서 a 는 진폭, ω 는 각주파수($= 2\pi f$), τ 는 위상지연시간, n 은 발생시킬 파형의 길이, T 는 주기를 나타내며, a 와 ω 를 변화 시킴으로써 초음파신호의 감쇠에 따른 진폭과 주파수성분을 변화시킬 수 있다.

5.2. 에코 파형의 변화가 없는 경우

첫번째 시뮬레이션은 디컨볼루션 기법의 검증을 위해 에코 파형의 변화는 없고 초음파가 진행함에 따라 나타

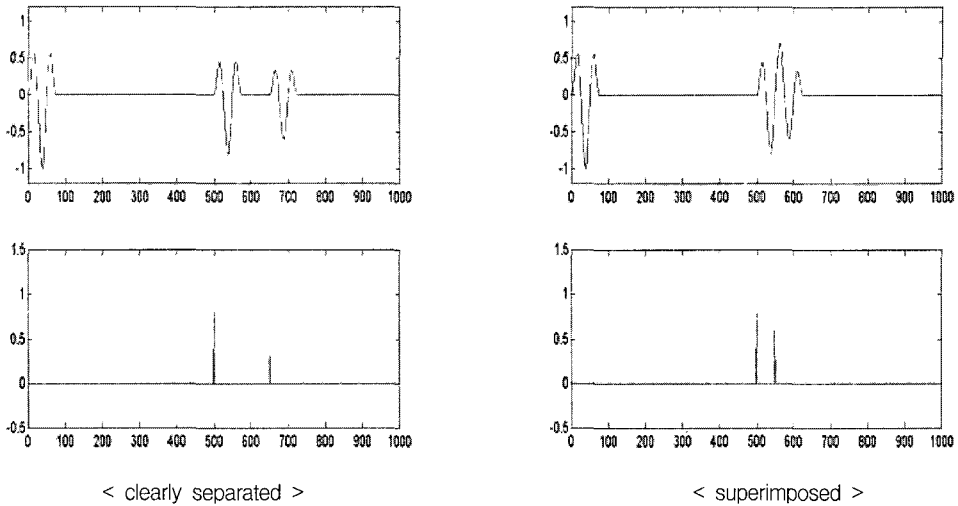


Fig. 7 Simulation results of deconvolution technique in case each echo has the same waveform with the transmitted one. Upper: given signal, lower: after deconvolution.

나는 진폭감쇠만을 고려한 단순한 경우에 대해서 실시하였다. 여기서 x_1 이 송신신호, x_2, x_3 가 에코 성분이다. 또 식(7)에서의 $f=20\text{MHz}$, $n=1.5$ 로 하고, x_1, x_2, x_3 의 진폭은 각각 1.0, 0.8, 0.6으로 하였다. 그리고 에코가 명확히 분리되는 경우와 중첩되는 경우의 두 가지 신호를 각 에코성분에 적절한 시간 지연을 주어 발생시켰다. Fig. 7은 시뮬레이션 결과를 보여준다. 좌측은 에코가 명확히 분리된 경우, 우측은 중첩된 경우이며, 수평축은 시간을 데이터의 샘플링 번호로 나타낸 것이고 수직축은 상대적 크기를 나타내었다. 주파수성분에 변화가 없으므로 기존의 디컨볼루션 기법만으로 원래 신호의 위치 및 진폭이 잘 복원됨을 알 수 있다.

5.3. 에코 파형의 변화가 있는 경우

다음은 실제의 경우를 고려하여 파형의 변화가 있는 경우를 생각한다. 이러한 경우 단순 필터방식이라 불리우는 식(3)의 계산은 우변의 분모가 0에 가까운 값이 될 때 매우 불안정하게 된다. 이를 방지하기 위해 식(3)의 우변 $\frac{1}{S_T^{-'}(\omega)}$ 를 식(8)로 대체하여 이용하게 되는데 이것을 위너(wiener) 필터라 부른다[10].

$$W(\omega) = \frac{S_T^{-'}(\omega)}{|S_T^{-'}(\omega)|^2 + N(\omega)} = \frac{S_T^{-'}(\omega)}{|S_T^{-'}(\omega)|^2 + N} \quad (8)$$

여기서, $N(\omega)$ 는 잡음의 스펙트럼을 나타내는데 대부분의 초음파 신호에서 잡음은 백색 잡음에 유사하고 따라서 본 시뮬레이션에서는 $N(\omega)$ 를 주파수에 무관한 상수 N 으로 가정하는 유사 위너 필터를 이용하기로 하였다.

시뮬레이션을 위한 신호는 진폭은 앞에서와 동일하되 파형의 변화를 고려하여 x_1, x_2, x_3 의 주파수를 각각 20MHz, 19.8MHz, 19.6MHz로 하였으며, 약간의 비대칭성을 주었다.

Fig. 8은 시뮬레이션 결과로서 모형신호와 함께 웨이브렛 변환 기법의 적용 전후에 대한 디컨볼루션 결과를 비교하여 나타낸다. 좌측은 신호가 명확히 분리되어 있는 경우, 우측은 중첩된 경우이며, 상단은 모형신호, 중앙은 웨이브렛 변환 적용 전의 디컨볼루션, 하단은 적용 후의 디컨볼루션 결과이다. 단, 이 경우 식(8)의 상수 N 의 값은 0.1로 하였다. 처리 결과를 보면 웨이브렛 변환 기법을 적용한 후의 결과가 그렇지 않은 경우에 비해 불필요한 임펄스의 발생이 크게 줄어들 뿐만 아니라 원래 신호의 크기 정보(x_3 가 x_2 의 75%)가 잘 재현됨을 알 수 있다.

5.4. 파형의 변화와 함께 잡음을 포함하는 경우

제안하는 기법은 원신호를 A성분과 D성분으로 분해한 후 특정 레벨의 A성분을 선택하여 사용하기 때문에 잡음을 저감시키는 효과가 있을 것으로 기대할 수 있다. 여기서는 이를 검증하기 위해 앞 절의 신호에 잡음을 부가

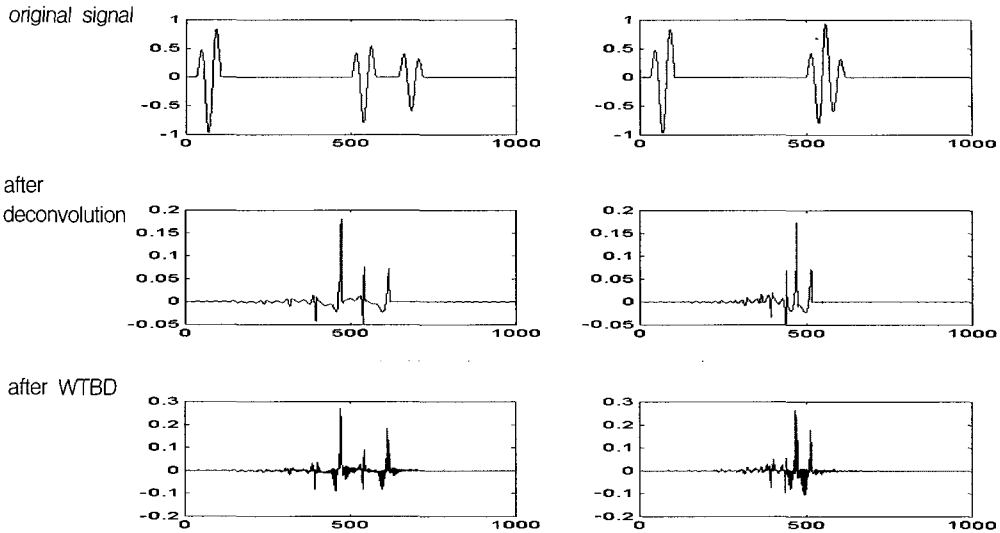


Fig. 8 Simulation results of deconvolution technique in case each echo has different waveform
 Left: clearly separated, right:superimposed, upper:given signal, medium:after deconvolution,
 lower:after WTBD

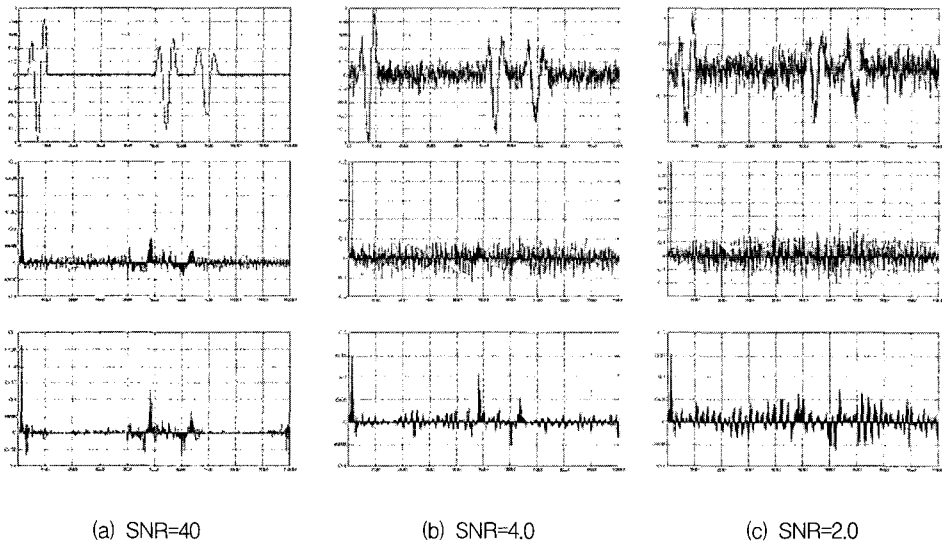


Fig. 9 Simulation results of deconvolution in case noise is added

한 경우에 대해 살펴보았다. Fig. 9는 대표적으로 SNR이 40.0, 4.0, 2.0인 세 가지 경우에 대해 본 기법의 적용 결과를 기존 디컨볼루션 기법의 경우와 비교하여 나타낸 것이다. SNR이 큰 경우 (40 이상)에서는 Fig.8의 결과와 유사한 결과가 얻어지나 SNR이 작아지면 기존 기법은

신호의 복원이 불가능해지는데 반해 제안하는 기법은 여전히 효과적임을 알 수 있다. 즉, 제안하는 기법은 신호에 불규칙 잡음이 내포된 경우에 특히 그 위력을 발휘함을 알 수 있다. 그러나 SNR이 2.0 이하로 내려가면 처리 결과에서 에코의 위치를 알 수는 있으나 그 진폭 정보가

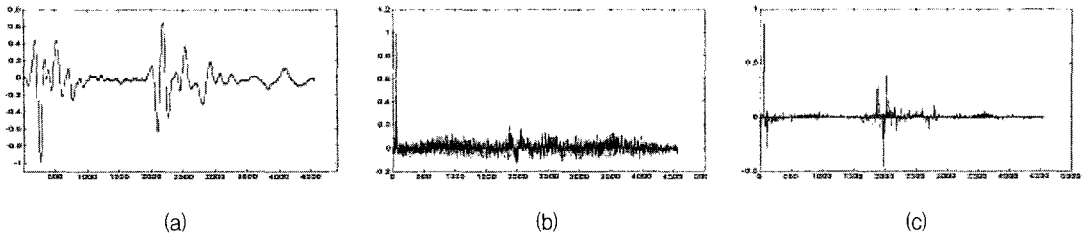


Fig. 10 Experimental results; (a) original signal, (b) after deconvolution (c) after WTBD

많이 변질되는 것을 볼 수 있다.

6. SAM을 이용한 반도체 실리콘 칩의 계면 들뜸 검사에의 적용

최근 반도체의 개발 추세는 고집적화, 고속화와 함께 소형화를 요구하고 있고, 특히 인쇄회로기판의 표면에 실장하기 위해 조립하는 반도체 패키지의 두께는 1~2mm로 얇아져 가고 있다. 이렇게 얇은 반도체 패키지를 인쇄회로기판의 표면에 납땜하여 붙이기 위해서는 220°C의 납땜장치를 통과해야 하는데 이때 반도체 내부의 수분의 팽창 또는 다른 요인들에 의해서 들뜸(Delamination)이나 깨짐(Package Crack)과 같이 반도체의 성능에 치명적인 영향을 미치는 결함이 발생할 수 있게 된다[11].

일반적으로 이러한 결함들을 검출하기 위하여 초음파 주사 현미경 (Scanning Acoustic Microscope, 이하 SAM이라한다)을 이용하는 방법이 널리 이용되고 있으며, 그 검사결과도 높은 신뢰성을 가지는 것으로 검증되고 있다. 이 장치는 초음파 펄스 에코법에 기본을 두고 있으며, 집속형 트랜스듀서를 이용하여 특정 깊이에서의 반사신호를 선택적으로 얻을 수 있고, 또 주사기능을 이용하여 검사체 내부의 수평, 수직면에 대한 초음파 신호를 영상 처리함으로써 들뜸이나 이상 경계면을 쉽게 알아낼 수 있도록 하고 있다[12]. 그러나 반도체 패키지의 두께가 얇아지면서 실리콘 칩의 상하부 반사파가 서로 중첩되어 나타나게 되어 실리콘 칩의 상하부 경계면에 대한 들뜸의 검출이나 접착상태의 평가가 어려워지고 있다. 특히 이런 경우 집속형 트랜스듀서의 초점을 하부 경계면에 맞추기도 곤란하므로 하부 경계면의 들뜸 결함의 검출은 거의 불가능하다. 물론 사용 주파수를 높이면 펄스 에코 신호의 깊이 방향으로의 분해능을 향상시킬 수 있다. 그러나 고주파수의 초음파 신호는 큰 감쇠를 수반하므로 검사할 수 있는 깊이에 한계가 있다. 따라서 15

MHz 정도의 비교적 낮은 주파수를 사용하면서 중첩 신호를 분리해 낼 수 있는 기법이 필요하다. 본 논문에서는 실제적인 적용을 예시하기 위해 이런 얇은 반도체 내부의 실리콘 칩의 계면 들뜸 검사에 제안하는 기법을 적용하여 그 성능을 평가하였다.

실험에 사용된 SAM은 SONIX사 제품으로 주파수는 15MHz를 사용하였다. 실험 샘플로는 실리콘 칩과 비슷한 음향 특성을 가지는 두께 0.1 mm의 얇은 유리를 실리콘 칩 대신 넣어 반도체 제조 공정과 동일하게 만든 시편을 대상으로 하였다. 즉, 이 시편은 일반 반도체와 비교하여 칩이 대체된 것 이외에는 에폭시 몰딩, 접착조건, 리드프레임 등 모든 것이 동일하다. 단, 이 시편은 유리 상면의 가장자리에 들뜸 결함을 가지고 있으며, 이를 검출하기 위해 SAM의 초점은 유리 상면에 맞추어졌다.

7. 실험결과 및 고찰

Fig. 10은 제안하는 기법을 실험에서 얻어진 데이터에 적용한 결과를 나타낸다. 그림의 (a)는 SAM 장치에서 얻은 원래의 신호, (b)는 기존의 디컨볼루션만을 적용한 결과, (c)는 WTBD 기법을 적용한 결과이다. 단, 여기서 x_1 은 패키지 상면 에코로서 디컨볼루션에서 S_T 신호로 사용되었으며 x_2 , x_3 는 각각 유리 상하면의 에코에 해당한다. 이들 에코의 시간축 위치는 시편 제작시 이미 알고 있는 각 층의 두께 및 음속 정보로부터 계산한 전파 시간과 일치한다.

원래신호 (a)에서 x_2 와 x_3 가 분리되지 않고 중첩 나타나 있는 것을 알 수 있다. 또한 x_3 의 뒤에 여러 개의 피크 성분이 따라오는 것은 칩 내부에서의 다중반사와 에폭시, 리드프레임등 유리의 하부 계면에서의 에코들이므로 보여진다. 그러나 이들에 대한 규명은 본 연구의 범위 밖이므로 검증은 생략하였다. 한편 그림 (b)의 디컨볼

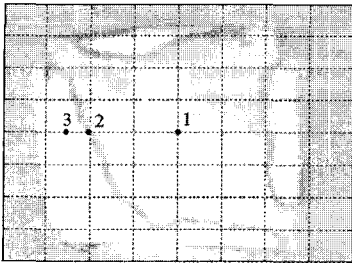
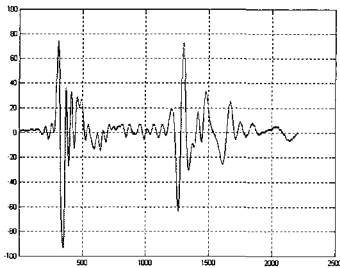


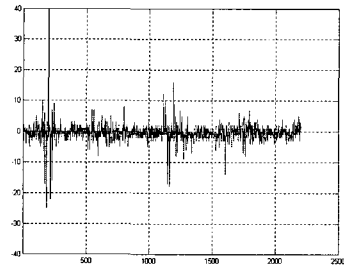
Fig. 11 C-scan image obtained by a 15MHz transducer focused at the upper layer of thin glass

루션만 적용한 결과를 보면 신호가 잡음과 비슷한 크기로 나타나 x_2 , x_3 신호를 명확히 구별하기 어려운 것을 알 수 있으며, 반면 제안하는 방법을 적용한 결과 (c)에서는 x_2 , x_3 가 잘 분리되어 나타나는 것을 볼 수 있다.

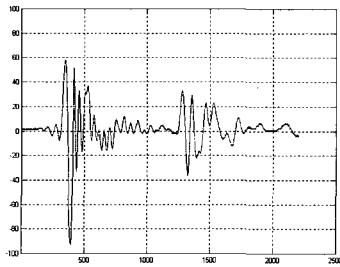
다음에는 이 기법을 이용하여 유리 상면의 C-스캔 이미지를 얻었을 때 들뜸 결함 검출의 성능이 향상되는지를 확인하고자 하였다. Fig. 11은 별도의 신호처리 없이 SAM에서 얻어진 C-스캔 결과를 보여준다. 단, 게이트는 속련자가 x_2 에코 (유리 상면 에코)라고 판단하는 부분에 걸었다. 그림에서 희게 나타나는 부분이 들뜸이 존재하는



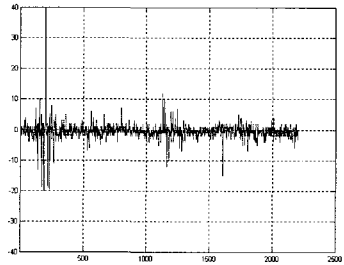
(a) Position 1



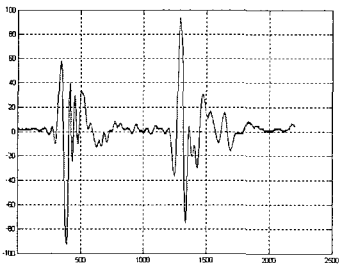
(a) Position 1



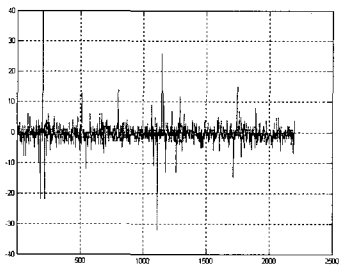
(b) Position 2



(b) Position 2



(c) Position 3



(c) Position 3

Fig. 12 A-scan data obtained at three positions indicated in Fig. 11 as number 1, 2, and 3

Fig. 13 WTBD results for A-scan data shown in Fig. 12

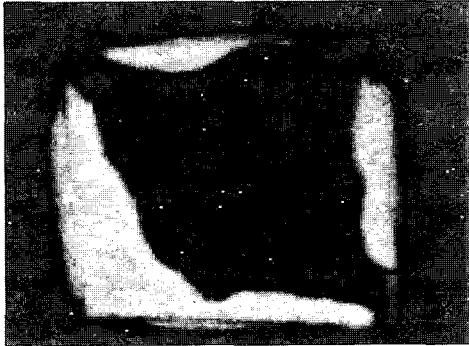


Fig. 14 C-scan image after WTBD

부분으로 이 시편의 경우 가장자리에 들뜸이 존재함을 알 수 있다. 그러나 이 경우에는 중양부에도 결함이 있는 것처럼 보인다. Fig. 12는 Fig. 11에 1, 2, 3으로 표시한 위치에서 얻은 A-스캔 데이터를 보여준다. Point 1은 정상, Point 2는 들뜸이 시작되는 부위, Point 3은 들뜸이 있는 부위에 해당한다. 모든 신호에서 x_2 와 x_3 가 중첩되어 식별이 어려움을 알 수 있다.

이에 반해 Fig. 14는 이 신호에 대한 제안하는 기법의 적용 결과를 보여준다. 각 신호에서 x_2 와 x_3 의 구별이 명확하며 특히 Point 3의 신호에서 x_2 는 들뜸으로 인하여 위상이 반전되어 있음을 용이하게 확인할 수 있다. Fig. 15는 본 기법을 적용하여 얻은 C-스캔 결과를 나타낸다.

Fig. 11과 비교하여 가장자리의 들뜸 결함이 있는 부분이 대부분 일치하고 있으며, 그러나 정상 부위와 들뜸 부위의 차이가 분명하여 결함 검사의 신뢰성이 크게 향상되었다고 할 수 있다.

8. 결 론

본 논문에서는 초음파를 이용하여 얇은 층 구조물의 내부 계면 상태를 검사할 때 계면 에코의 중첩으로 인한 평가 곤란 문제를 극복하기 위하여 디컨볼루션과 웨이브렛 변환을 병용하여 중첩 에코를 분리하는 새로운 신호처리 기법, 즉 웨이브렛 기반 디컨볼루션 (WTBD) 기법을 제안하였다.

제안한 기법의 성능을 검증하기 위하여 실제 SAM 신호에 유사한 모형신호를 발생시켜 시뮬레이션을 실시하였으며, 파형의 변화가 있는 경우에도 정확하게 신호분리가 가능함을 확인할 수 있었고 또한 기존의 디컨볼루션

기법보다 잡음에 매우 강인함을 알 수 있었다.

이 기법의 실용적 가능성을 검증하기 위하여 초음파 주사 현미경 (SAM)을 이용한 반도체 칩의 계면 집합 상태 평가에 적용하였다. 실험 대상으로는 실리콘 칩을 얇은 유리판으로 대체한 반도체 샘플을 제작하여 이용하였으며 그 결과 제안하는 기법에 의해 중첩된 에코가 잘 분리됨과 함께 C-스캔 이미지에 의한 들뜸 결함의 검출이 정확하게 이루어짐을 확인할 수 있었다.

이 연구결과는 그동안 경험에 크게 의존해오던 얇은 반도체 칩의 계면 상태 평가를 용이하게 하고 반도체 결합 분석의 신뢰도를 크게 향상시키는데 기여할 것으로 기대된다.

참고문헌

- [1] 한응교, 장경영 외, "비파괴검사공학", 학연사, (1995)
- [2] H. S. Jang, K. Y. Jhang, D. K. Lee, "The separation of Superimposed Ultrasonic Pulse Echo Signals for Semiconductor Failure Analysis using Scanning Acoustic Tomography", IEEE Int. Reliability Physics Symp. Proc., 35th Annual pp. 136-140, (1997)
- [3] K. I. McRae "Deconvolution Techniques for Ultrasonic Imaging of adhesive joints," Materials Evaluation. Vol. 48, No. 11, pp. 1380-1384, (1990)
- [4] K. I. McRae, "Applications of High Resolution Inversion to Ultrasonic Imaging of Multi-layered Structure", Advances in Signal Processing for Nondestructive Evaluation of Materials, Kluwer Academic Publishers-NATO ASI Series Vol. 262, (1993)
- [5] 장경영, 김경조, 강석환, "초음파 비파괴 평가를 위한 신호처리 기술", '98 비파괴평가를 위한 신호 및 화상 처리 기술 워크샵 논문집, 한국비파괴검사학회, pp. 1-11, (1998)
- [6] S. F. Russell, "Theory of Spread Spectrum Ultrasonic Evaluation," Review of Progress in QNDE, Vol. 13, pp. 841-846, (1994)
- [7] Michel Misiti, Yves Misiti, Georges Oppenheim, Jean-Michel Poggi, "Wavelet Toolbox User's Guide," The Math Works, (1996)
- [8] Amara Graps, "An Introduction to Wavelets," IEEE

-
- Computational Science & Engineering, Vol. 2, No. 2, Summer (1995)
- [9] D. E. Newland, "An Introduction to Random Vibrations, Spectral and Wavelet Analysis," Longman Scientific & Technical. (1993)
- [10] M. A. Sapia, "Deconvolution of Ultrasonic Waveforms using Adaptive Wiener Filter," Review of Progress in QNDE, Vol. 13, pp. 855-862, (1994)
- [11] T. M. Moore, R. G. Mckenna, "Characterization of Integrated Circuit Packaging Materials," ch4. Moisture Sensitivity and Delamination, Butterworth-Heinemann, (1993)
- [12] T. M. Moore, "C-mode Acoustic Microscopy Applied to Integrated Circuit Package Inspection," Solid state Electronics, Vol. 35, No. 3, pp. 411-421, (1992)