

論文2000-37TE-3-3

# 하부전극층의 두께가 ZnO 압전변환기의 음향대역특성에 미치는 영향 (The Effect on Acoustic Band Characteristics of ZnO Piezoelectric Transducer according to Thickness of Counter Electrode Layers)

朴基燁\*, 李鍾德\*\*, 朴淳太\*\*\*

(Gi-Yub Park, Jong-Deok Lee, and Soon-Tae Park)

## 요 약

본 논문에서는 광대역 특성을 가진 고주파 압전 변환기를 이론적으로 고찰하였고, 압전변환기를 제작하여 이론값과 실험값을 비교, 분석하여 그 응용가능성을 확인하였다. ZnO(3.825 $\mu$ m)/Pt/Sapphire(0001)구조의 압전변환기의 공진주파수는 827.47MHz로서 압전체의 반파장주파수에서 공진이 일어남을 알 수 있었다. 또한, 삽입손실은 약 -50dB이었고, 최소의 삽입손실은 이론적인 분석과 잘 일치하였다.

## Abstract

In this paper, piezoelectric transducer was theoretically analyzed to fabricate high frequency piezoelectric transducer with broadband characteristics. Piezoelectric transducer have been fabricated with 3.825 $\mu$ m ZnO film on Pt/Sapphire(0001), and its applicability of transducer was confirmed with analyzing theoretical and experimental frequency characteristic.

The resonance frequency was detected at the frequency of 827.47MHz corresponding to the half-wavelength frequency of ZnO thin film. Insertion loss was almost -50dB. The minimum insertion loss agrees with simulation analysis.

## I. 서 론

압전 변환기(piezo-electric transducer)는 기계적

\* 正會員, 釜山情報大學 電氣電子系列

(Group-Dept. of Electrical and Electronics, Pusan College of Information Technology)

\*\* 正會員, 西南大學校 電氣電子工學部

(Dept. of Electrical and Electronics Engineering, Seonam Univ.)

\*\*\* 正會員, 釜山情報大學 電氣電子系列

(Group-Dept. of Electrical and Electronics, Pusan College of Information Technology)

※ 이 논문은 1998년 부산정보대학의 학술연구비 지원에 의하여 연구되었음.

接受日字:1999年10月18日, 수정완료일:2000年3月10日

인 응력(mechanical stress)을 가하면 전기적인 분극(electrical polarization)이 발생하고 전장을 가하면 기계적인 변형을 나타내는 압전현상(piezoelectricity)을 이용한 것으로서, 기계적인 에너지를 전기적인 에너지로 또는 전기적인 에너지를 기계적인 에너지로 변환 시키는데 사용된다. 이러한 압전특성을 이용하여 고주파용 압전변환기<sup>[1]</sup>, 표면탄성과 필터<sup>[2]</sup> 및 비파괴검사<sup>[3]</sup> 등의 소자에 활용이 되고 있다. 또한, 비파괴검사용에 이용되는 고주파용 압전변환기는 높은 음향효율과 광대역의 특성<sup>[4]</sup>이 요구되며, 이러한 압전변환기를 설계하는데 있어서 결정되어야 중요한 요소는 압전층의 두께와 top전극의 면적, 전극층의 두께, 재료의 음향임피던스 등이다.

특히 최대의 변환기 효율을 얻기 위해서는 변환기의 재료와 각 전극의 두께, 요구되는 변환손실, 대역폭을

적절히 선택하여야 한다.

본 연구에서는 비파괴검사로의 응용을 위한 압전 변환기의 전기 및 음향특성인 대역폭 및 삽입손실을 이론적으로 분석, 정리하였으며, top 및 counter전극의 두께가 압전변환기의 음향특성에 미치는 영향을 시뮬레이션하였다. 그리고 RF magnetron 스퍼터법으로 ZnO의 최대 압전성을 고려하여 각 sputter parameter의 제조조건에 따라 압전변환기를 제작한 후, 압전변환기의 음향특성을 측정하였으며, 이론적인 분석과 비교, 고찰하여 압전변환기로서의 응용가능성을 확인하고자 한다.

## II. 압전변환기의 이론적 고찰

### 1. 압전변환기의 등가회로

압전변환기는 전기적인 신호를 주고받는 전극층과 압전현상을 발생시키는 압전층, 그리고 음향출력을 전달하는 음향기판(acoustic substrate)으로 구성된다. 압전층은 양 전극사이에 전기적 신호를 가함으로서 하나 이상의 음향모드로 진동하도록 제작할 수 있으며 그림 1에 압전변환기의 구조를 나타내었다.<sup>[5]</sup> 여기서,  $l$ 은 압전층의 두께,  $T_1, T_2$ 는 top전극층과 counter전극층의 두께,  $F_1, F_2$ 는 압전변환기의 안쪽방향(inward direction), 외부방향(external direction)의 힘을 나타내고,  $v_1, v_2$ 는 변환기 안쪽방향의 입자속도와 변환기 밖으로 향하는 입자속도를 나타낸다.

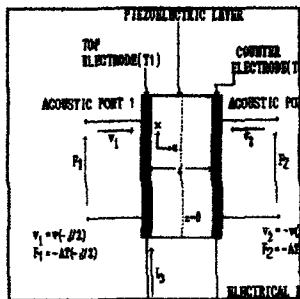


그림 1. 압전변환기의 구조  
Fig. 1. The structure of a piezoelectric transducer.

여기서 압전변환기는 전극층에서의 질량부하(mass loading)효과를 무시하고, 종파모드(longitudinal mode) 즉, 그림에서 z축방향으로의 여기만을 고려하면 압전층

의 전기-음향특성은 식(1)과 같은 matrix로 유도할 수 있다.

$$\begin{bmatrix} F_1 \\ F_2 \\ V_3 \end{bmatrix} = -j \begin{bmatrix} Z_c \cot \beta_a l & Z_c \operatorname{cosec} \beta_a l & \frac{h}{w} \\ Z_c \operatorname{cosec} \beta_a l & Z_c \cot \beta_a l & \frac{h}{w} \\ \frac{h}{w} & \frac{h}{w} & \frac{1}{wC_0} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} v_1 \\ v_2 \\ I_3 \end{bmatrix} \quad (1)$$

여기서,  $C_0$ 는 변환기의 고유정전용량,  $Z_c$ 는 힘/속도의 차원을 갖는 압전체의 음향임피던스로 방사임피던스(radiation impedance),  $\beta_a$ 는 주파수인  $\omega$ 인 파동에 대한 압전체내에서의 전파상수를 나타낸다. 그림 2-1에서 음향파의 여기는 전기입력임피던스가 계산될 때 알 수 있으며, 이는 위 식의 임피던스 matrix 요소에 의해 계산될 수 있다.

본 연구에서는 고주파의 응용에 이용되는 Air-backed 변환기모델 즉,  $Z_1 = 0$ , 임피던스  $Z_2$ 의 매개체 내로 파가 여기되는 구조를 가진 변환기를 이론적으로 음향특성을 해석하고자 한다. 이 때, 변환기의 대역폭 및 삽입손실은 압전체의 물질이나 부하매개체의 물질, 그리고 전극재료 및 형상에 의해 크게 영향을 받으므로 최적의 설계가 요구된다.

따라서, 전극층들이 무한히 얇은 즉 전극층의 음향손실을 무시한 이상적인 변환기라고 할 때, 식(1)을 전개하여 전기입력임피던스( $Z_3$ )를 구하여 보면

$$Z_3 = \frac{V_3}{I_3} = \frac{1}{jwC_0} .$$

$$\left[ 1 + k_T^2 \frac{jZ_2 Z_c \sin \beta_a l - 2Z_c^2 (1 - \cos \beta_a l)}{[Z_c^2 \sin \beta_a l - jZ_2 Z_c \cos \beta_a l] \beta_a l} \right] \quad (2)$$

$$k_T^2 = \frac{K^2}{1 + K^2}, \quad \frac{c^D}{c^E} = 1 + K^2 = \frac{1}{1 - k_T^2} \quad (3)$$

이다. 여기서,  $k_T$ 는 압전결합계수 (piezoelectric coupling coefficient)를 나타내며, 전기입력임피던스는 압전결합계수와 밀접한 관계를 보이고 있다. 또한,  $Z_3$ 는 고유정전용량( $C_0$ )와 전기-음향적으로 유도된 방사 임피던스( $Z_a$ )와 직렬등가회로로 나타낼 수 있으며,  $Z_a$ 는 방사저항(radiation resistance)  $R_a$ 와 방사리액턴스(radiation reactance)  $X_a$ 의 합으로 나타낼 수 있다. 즉,

$$Z_3 = \frac{1}{j\omega C_0} + Z_a, Z_a = R_a + jX_a \quad (4)$$

이다. 또한, 압전변환기를 설계할 경우 변환기의 반파장주파수는 압전층의 두께와 음향속도에 의해 결정되며,  $v_a (= \sqrt{c^D/\rho_{m0}})$ 를 압전층의 음향속도,  $f_0$ 를 압전층의 반파장주파수(=  $v_a/2l$ )라 하면  $\beta_a l = \frac{\omega}{v_a} \cdot \frac{v_a}{2f_0} = \frac{\pi f}{f_0}$ 로 계산되며 식(2)-(4)에 대입하여 정리하면 식(5)와 같이 계산된다.

$$R_a = \frac{k_T^2}{\omega C_0 \frac{\pi f}{f_0}} \frac{\frac{Z_2}{Z_c} (1 - \cos \frac{\pi f}{f_0})^2}{\sin^2 \frac{\pi f}{f_0} + (Z_2/Z_c)^2 \cos^2 \frac{\pi f}{f_0}}$$

$$X_a = \frac{k_T^2}{\omega C_0 \frac{\pi f}{f_0}} \frac{(\frac{Z_2}{Z_c})^2 \sin^2 \frac{\pi f}{f_0} + 2 \sin \frac{\pi f}{f_0} - \sin \frac{2\pi f}{f_0}}{\sin^2 \frac{\pi f}{f_0} + (Z_2/Z_c)^2 \cos^2 \frac{\pi f}{f_0}} \quad (5)$$

그리고, 압전변환기가 공진시 즉,  $X_a=0$ ,  $f_0=f$ ,  $\beta_a l = \pi$  이므로 이 때의 전기방사저항을  $R_{a0}$ 라 하면 다음과 같다.

$$R_{a0} = 4k_T^2 \frac{Z_c}{Z_2 \pi \omega C_0} = \frac{2k_T^2 Z_c}{\pi^2 f_0 C_0 Z_2} \quad (6)$$

따라서, 음향임피던스는 주파수의 의존성을 보이고 있으며, 결합계수  $k_T$ 의 제곱에 비례하고, 음향부하와 변환기의 임피던스의 비( $Z_c/Z_2$ )에 의해 변화하며, 압전변환기의 대역폭 및 삽입손실을 결정하는 중요한 요소가 된다.

## 2. 압전변환기의 대역특성 및 삽입손실

음향방사 임피던스를 변환기의 중심주파수  $f_0$ 에 대해 규준화시키면  $Z_a$ 의 주파수에 따른 응답특성을 구할 수 있으며,  $Z_a$ 의 주파수에 따른 응답함수를  $H_a(f)$ 라고 정의하면, 다음과 같은 식으로 표현된다.

$$Z_a = R_a + jX_a = R_{a0} \left(\frac{f_0}{f}\right)^2 H_a(f) \quad (7)$$

$$H_a(f) = H_r(f) + jH_i(f) \quad (8)$$

$$H_r = \frac{1}{4} \left(\frac{Z_2}{Z_c}\right)^2 \frac{(1 - \cos \frac{\pi f}{f_0})^2}{\cos^2 \frac{\pi f}{f_0} [(\frac{Z_2}{Z_c})^2 - 1] + 1}$$

$$H_i = \frac{1}{4} \frac{Z_2}{Z_c} \frac{2 + [(\frac{Z_2}{Z_c})^2 - 1] \cos \frac{\pi f}{f_0}}{1 + [(\frac{Z_2}{Z_c})^2 - 1] \cos^2 \frac{\pi f}{f_0}} \quad (9)$$

따라서, 음향응답특성은 음향기판과 압전체의 음향임피던스의 비  $Z_2/Z_c$ 에 의존적이며, 이들의 관계에 의해 주파수응답이 결정될 수 있음을 알 수 있다. 또한, 압전층에 의한 음향파의 여기는  $1/j\omega C_0$ 와 직렬로 음향방사임피던스  $Z_a$ 가 발생하고, 삽입손실을 측정할 때 직렬접촉임피던스( $R_{se} + jX_{se}$ )가 부가적으로 존재한다. 이는 고주파에서 중요한 영향을 미치므로 이를 고려한 삽입손실,  $\eta_T$ 는

$$\eta_T = \frac{(R_{se} + R_0 + R_a)^2 + (X_{se} + X_a - 1/\omega C_0)^2}{4R_0 R_a} \quad (10)$$

또한, 삽입손실은  $M_e(f)$ 와  $M_r(f)$ 를 각각 전기회로의 대역함수(circuit bandshape function) 및 압전층과 기판에 의해 형성된 음향공진기의 음향대역함수(acoustic bandshape function)라 하면 다음의 식으로 나타내어진다.

$$\eta_T = [M_e(f)][M_r(f)] \quad (11)$$

여기서,

$$M_e(f) = \frac{(R_{se} + R_0 + R_a)^2 + (X_{se} + X_a - 1/\omega C_0)^2}{4R_0 R_{a0} (f_0/f)^2} \quad (12)$$

$$M_r(f) = \left(\frac{f_0}{f}\right)^2 \frac{R_{a0}}{R_a} = \frac{1}{H_r(f)} \quad (13)$$

따라서, 식(9), (13)을 해석하면 주파수변화에 의한 대역의 특성을 알 수 있다. 즉, 식(9)는 음향기판의 음향임피던스와 압전체의 음향임피던스에 의해 대역폭을 결정하는 관계를 간접적으로 알 수 있으며, 위의 식(10)과 식(13)에 데시벨(decibel)을 적용하면 설계된 변환기의 대역폭 및 삽입손실을 얻을 수 있다.

그림 2는 top 및 counter전극의 두께가 매우 얇을 때, 즉 각 전극층에서의 음향손실을 무시하였을 때 규

준화된 주파수의 변화에 따른 음향대역의 특성을 나타내었다. 그림 2에서 음향대역응답 특성은 음향기판의 임피던스와 압전체의 음향임피던스의 비  $Z_2/Z_c$ 의 의존성을 보이고 있으며,  $Z_2/Z_c$ 의 비가 음향대역을 결정함을 알 수 있다. 즉, 그래프 ㉑와 ㉒는  $Z_2/Z_c$ 비가 0.5, 1.0인 경우로서 협대역의 특성을 보이며, ㉑와 ㉒ 그래프에서는 반파장주파수( $f/f_0$ )를 기준으로 양쪽으로 두 군데의 주파수에서 좁은 대역특성을 나타내고 있다. 그래프 ㉓는  $Z_2/Z_c$ 비가 1.4인 경우로서 광대역의 특성을 가진다. 그러므로 광대역폭을 가진 변환기의 압전매질과 부하매질의 비는 이 근처의 값을 가지는 것이 좋으며, 압전층이 ZnO(Zinc Oxide)이고 음향기판은 사파이어일 때 광대역을 가지는 변환기를 설계할 수 있다. 여기서, ZnO는 박막으로 성장시키면 c축 우선방향성(c-axis orientation)을 가지고 성장하므로, PZT등과 같은 소결체로된 압전체와는 달리 분극을 시키지 않아도 압전성을 가지며, 비압전기판에서 종파(longitudinal wave)를 발생시키는 특성이 있어 변환기의 압전재료로 널리 이용된다.

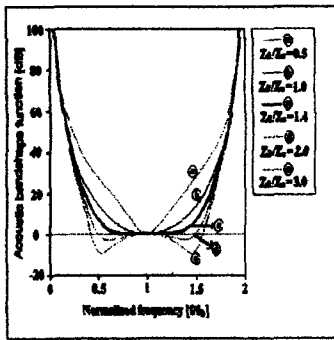


그림 2. 음향적으로 얇은 전극을 가진 압전변환기의 음향대역응답  
Fig. 2. Acoustic bandshape response for piezoelectric transducer with acoustically thin electrodes.

또한, 대역폭을 결정하는 중요한 변수는 압전변환기의 양 전극층이다. 압전변환기의 양 전극층은 전기적인 신호를 주고 받는 목적이 있지만 전기신호의 인가에 따른 압전체내의 음향파의 여기는 전극층에서의 음향파의 흡수나 반사로 인하여 음향대역특성에 큰 왜형을 발생시킬 수 있다. 따라서, top전극 및 counter전극의 두께가 음향대역응답에 미치는 영향을 고찰하였다. 시

물레이션에 이용된 압전변환기의 구조는 Pt/ZnO/Pt/Z-oriented sapphire 구조를 갖는 종파모드의 변환기로 해석하였다. 시물레이션에 이용된 백금(Pt), ZnO, 사파이어의 음향임피던스 및 음향속도는 표 1에 나타내었으며, Counter전극(T1) 및 Top전극(T2)의 두께는 1000[Å], 2000[Å], 3000[Å], 5000[Å]으로 설정하여 시물레이션하였다.

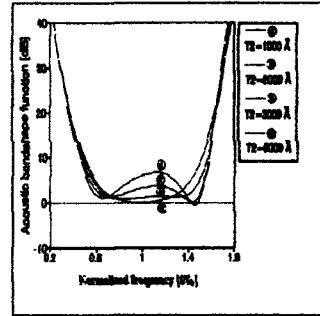


그림 3. Counter 전극의 두께를 고려한 음향대역 응답  
Fig. 3. The response of acoustic bandshape with the considerations of counter electrode thickness.

그림 3은 top전극이 매우 얇다고 가정하였을 때, counter전극의 두께의 변화에 대한 음향대역특성을 나타내었다. 그래프 ㉑와 전극층이 1000Å일 때는 왜형이 없는 양호한 대역특성을 나타내지만 ㉒(㉑)와 같이 전극층이 두꺼워 질수록 왜형이 심해지는 것을 알 수 있으며, 전극층의 두께가 5000Å일 때는 대역형태에 상당한 왜형(distortion)이 일어나는 것을 알 수 있다.

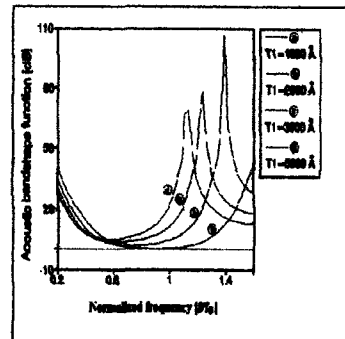


그림 4. Top전극의 두께를 고려한 음향대역응답  
Fig. 4. The response of acoustic bandshape with the considerations of top electrode thickness.

그림 4는 counter전극이 매우 얇다고 가정하였을 때, Top전극의 두께의 변화에 대한 음향대역특성을 나타낸 그림이다. 전극층의 두께가 두꺼워질수록 통과대역이  $f/f_0=1$ 을 기준으로 좌측으로 이동하고 있으며 하나의 손실 극점(loss pole)이 생겨 통과대역이 두개의 부분(segment)으로 분리되어 음향대역의 제한요소가 된다. 따라서 변환기를 설계할 경우 전극층의 두께를 적절히 선정하여야 하며 가능한 한 얇게 증착시켜야 한다.

표 1. 시뮬레이션에 사용된 상수

Table 1. Some of the used constants for simulation.

압전물질 : ZnO	종파 음향임피던스 $Z_L : 36 \text{ kg/m}^2\text{-s}\cdot 10^6$ 종파 음향속도 $v_L : 6330 \text{ m/sec}$ 비유전율 $\epsilon_r : 8.9$ 압전층의 두께 : $3.825 \mu\text{m}$ 반파장공진주파수 $f_0 : 827.45 \text{ MHz}$ 고유정전용량 $C_0 : 64 \text{ pF}$ 전기기계결합계수 $k_T : 0.2$
전극층 : 백금(Pt)	종파 음향임피던스 $Z_L : 69.8 \text{ kg/m}^2\text{-s}\cdot 10^6$ 종파 음향속도 $v_L : 3260 \text{ m/sec}$ counter 전극층 두께 T2 : 1000,2000,3000,5000 Å top 전극층 두께 T1 : 1000 Å top 전극 지름 : 2 mm
음향부하 : 사파이어	종파 음향임피던스 $Z_L : 44.3 \text{ kg/m}^2\text{-s}\cdot 10^6$ 종파 음향속도 $v_L : 11100 \text{ m/sec}$

삽입손실은 압전층의 재료적인 변수와 압전층 및 양전극층의 두께, 그리고 고유정전 용량 등의 성질에 따라 크게 영향을 받는다. 그림 5는 압전변환기의 정규화된 입력주파수변화에 따른 삽입손실을 식(10)을 이용하여 시뮬레이션한 그림이다. 시뮬레이션에 이용된 상수들은 표 1과 같으며, 각 층의 음향임피던스와 음향속도는 이상적인 제정수를 이용하였고, 압전결합계수는 0.2로 선정하였다. 압전층의 두께는  $3.825 \mu\text{m}$ , top전극층(T1)은 백금(Pt) 1000 Å, counter전극층(T2)은 백금 1000 Å, 2000 Å, 3000 Å으로 설정하여 압전변환손실을 분석하였다.

그림 5에서 그래프 ㉔는 counter전극이 1000 Å일 때의 변환손실로서 3dB대역폭은 265MHz, 최소손실주파수는 635MHz에서 -42.5dB의 손실을 가진다. 그래프 ㉕는 counter전극이 2000 Å일 때로서 3dB대역폭은 170MHz, 최소손실주파수는 590MHz에서 -40.0dB의

손실을 보이며, counter전극이 3000 Å일 때 그래프 ㉖에서 보는 바와 같이 3dB대역폭은 125MHz, 최소손실주파수는 575MHz에서 -39.5dB의 손실을 보인다.

표 2에 counter전극층의 두께의 변화에 따른 삽입손실의 시뮬레이션한 결과를 나타내었다.

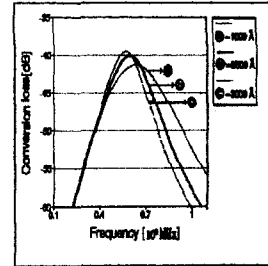


그림 5. 주파수에 따른 삽입손실의 시뮬레이션  
Fig. 5. Simulation of conversion loss for frequency.

표 2. Counter전극(T2)두께에 따른 시뮬레이션 결과.

Table 2. The simulation results with the various thickness of counter electrode(T2).

counter electrode(T2)	3dB(min) MHz	3dB(max) MHz	최소손실 주파수(MHz)	최소손실 dB
1000 Å	505	770	635	-42.5
2000 Å	510	670	590	-40.0
3000 Å	515	635	575	-39.5

시뮬레이션한 결과를 살펴보면, 전반적으로 광대역 특성을 보이고 있으나 counter전극의 두께가 두꺼워짐에 따라 주파수의 대역이 좌측으로 이동하고 있으며, 협대역의 특성을 보인다. 따라서, 압전층의 두께가  $3.825 \mu\text{m}$ 일때 반파장주파수는 827.45MHz이므로 변환효율이 가장 높은 주파수대역은  $1/2 \sim 1/4$ 파장 주파수사이의 값을 가지고 있다.

### III. 실험

#### 1. 압전변환기의 제작

본 실험에서는 그림 6의 제조공정에 따라 압전변환기를 제작하였다. 사용된 음향기판은 원통형 사파이어( $\phi=10\text{mm}$ )를 사용하였으며, 세제액으로 세척한 후 질소 gun으로 건조하여 사용하였다. 하부전극은 DC 스

퍼터링으로 백금(Pt)을 1000, 2000, 3000 Å으로 각각 증착하여 기관과의 부착력을 좋게 하기 위해 800°C의 오븐에서 1시간동안 열처리를 행하였다. 압전층인 ZnO는 RF Magnetron Sputtering<sup>[6][7]</sup>으로 표 3의 스퍼터 조건으로 4시간 동안 증착하였으며, 증착된 ZnO막의 두께는 3.825 μm이었다. 또한, 증착된 ZnO막 위에는 e-beam(Anelva)으로 약 1000 Å의 상부전극(top electrode)을 형성하였다.

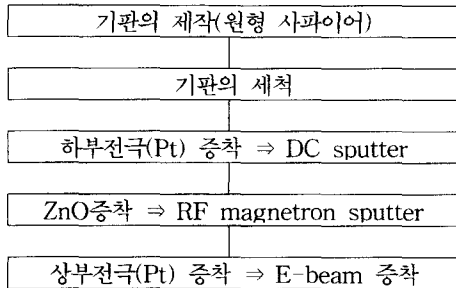


그림 6. 압전변환기 제작 과정  
Fig. 6. Fabrication procedures of a piezoelectric transducer.

표 3. ZnO 압전변환기의 스퍼터링 조건  
Table 3. Sputtering conditions of ZnO thin films

Target	Sintered ZnO
Substrate	Sapphire(0001)
Base pressure	$4.5 \times 10^{-6}$ [Torr]
Sputter pressure	$5 \times 10^{-3}$ [Torr]
RF power	200 [W]
Substrate temperature	350 [°C]
O <sub>2</sub> concentration	50 [%]
Target-substrate distance	5.5 [Cm]

2. 측정  
증착된 박막의 두께측정은 Tencor사의 α-step 200을 이용하였고, 증착된 박막의 결정구조를 검사하기 위해 XRD(Rigaku Co., Japan)를 사용하였다. 증착된 ZnO박막의 비저항은 Keithley model 617 programmable electrometer를 사용하여 측정하였으며, 압전변환기의 공진 및 대역특성의 측정을 위하여 top전극은 길이 3cm정도의 은선을 50Ω의 고주파동축 커넥터인 BNC케넥터에 연결하였고 counter 전극은 50Ω의 BNC단자의 접지부와 동판부의 접지를 통해

직렬리액턴스 및 고주파 잡음을 최소화 할 수 있도록 측정장치를 제작하여 Network analyzer(Wiltron Model 5400)로 측정주파수에서 입력임피던스를 50 Ω으로 보정을 한 후, 변환기의 공진주파수 및 삽입손실을 측정하였다.

IV. 실험결과 및 고찰

그림 7은 증착한 ZnO 박막의 XRD 회절 결과를 보여준다. 34°부근의 2θ값이 ZnO (002)면의 peak이고, 46°부근의 peak은 백금의 (200) 면의 peak을 나타내며, (002)면으로 양호한 c축의 배향성이 이루어졌음을 알 수 있다. 또한, 박막의 비저항은 5회 측정된 후 평균값을 구하여 계산한 결과  $1 \times 10^7 \sim 1.2 \times 10^8 [\Omega \cdot cm]$ 으로 높은 비저항값을 보였다.

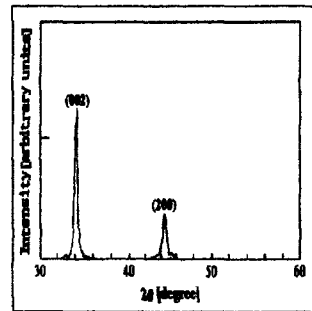


그림 7. Pt/Sapphire(0001) 기판상에 증착한 ZnO박막의 XRD의 세기  
Fig. 7. XRD intensities of ZnO thin film on Pt/Sapphire(0001) substrate.

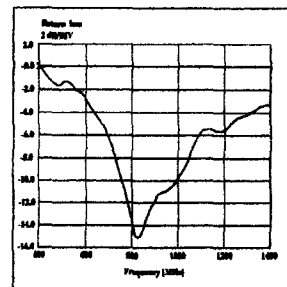
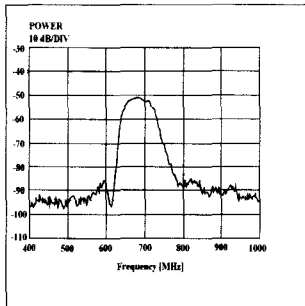


그림 8. ZnO압전변환기의 공진주파수  
Fig. 8. Resonance frequency of ZnO piezoelectric transducer.

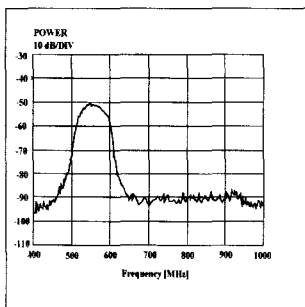
그림 8은 제작된 압전변환기의 return loss를 측정한 그림으로, 횡축은 입력주파수로서 200MHz/DIV의

주파수 간격을 나타내고, 종축은 dB(decibel)로서 2.0dB/DIV의 폭을 가진다. 여기서, return loss는 827.47MHz에서 가장 낮은 dB값을 보이고 있으며, 이론적으로 압전층의 두께가 3.825 $\mu$ m 일때 반파장주파수에서 공진이 일어난다는 것을 알 수 있다.

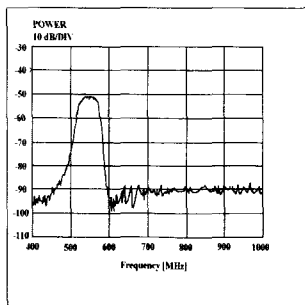
그림 9는 하부전극의 두께에 따른 변환기의 삽입손실을 측정된 것으로, 종축은 power 모드로서 10dB/DIV, 횡축은 입력주파수로서 100MHz/DIV의 크기를 가진다. 전반적으로 약 50dB의 삽입손실이 나타나고 있으며 이는 시뮬레이션의 값과 비교 하면 약 10dB정도의 차이를 보이고 있다. 이는 제조된 압전박막의 결합계수가 이론적인 값보다 약간 낮은 값을 갖는 것으로 사료된다. 표 4에 측정된 변환기의 삽입손실의 결과를 주파수별로 나타내었다.



(a) 1000 Å



(b) 2000 Å



(c) 3000 Å

그림 9. 하부전극의 두께에 따른 변환기의 변환손실  
Fig. 9. Conversion loss of the piezoelectric transducer as a function of counter electrodes.

표 2의 이론적인 결과와 표 4의 실험결과를 살펴보면 3dB대역폭이 상당한 차이가 있어 만족할 만한 결과는 아니다. 그러나, 전극의 두께가 두꺼워짐에 따라 최대효율을 얻는 주파수가 좌측으로 이동하고 있으며, 대역폭이 좁아지는 점은 시뮬레이션의 결과와 잘 일치한다. 또한, 압전층이 박막으로 제조된 압전변환기의 경우 1/2파장과 1/4파장(두께가 3.825 $\mu$ m 일 경우의 주파수 범위 : 414~827MHz) 사이에서 높은 변환효율이 나타난다는 이론치의 결과와 비교하여 보면, 비록 대역폭은 좁지만 이 영역의 주파수 범위에서 최대의 효율이 나타나고 있음을 확인할 수 있었다.

표 4. 변환기의 삽입손실  
Table 4. Insertion loss of the transducer.

counter electrode(T2)	3dB(min) MHz	3dB(max) MHz	최소손실 주파수(MHz)	최소손실 dB
1000 Å	645	720	695	-51
2000 Å	524	584	550	-52
3000 Å	525	575	546	-50

표 5는 최소변환손실주파수의 시뮬레이션 결과와 실험결과의 오차범위를 나타내었다. 표 5에서 보면, 평균 오차범위가 7.3%로서 양호한 특성을 보이고 있다. 그러나 대역폭의 범위는 큰 차이를 보였는데 이와같이 좋지 않은 특성을 보이는 이유는 박막의 두께가 균일하지 않은 점과 박막의 우선방향성의 정도가 좋지 않은 점, 고주파 유도에 의한 영향, 측정시 시편과 단자 사이의 직렬접촉임피던스의 영향으로 초래된 결과로 생각되어지며, 또한 시뮬레이션은 이상적인 음향변수들의 값을 인용하였으므로 상당한 차이가 났다고 사료된다

표 5. 오차범위  
Table 5. Ratio of error.

counter electrode	시뮬레이션결과	실험결과	오차(%)
	최소손실주파수 (MHz)	최소손실주파수 (MHz)	최소손실 주파수
1000 Å	635	695	9.4
2000 Å	590	550	6.7
3000 Å	575	546	5.0

## V. 결 론

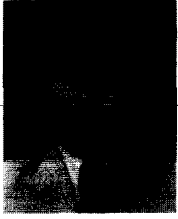
본 연구에서는 광대역 특성을 가진 고주파용 압전 변환기로의 응용을 위해 압전변환기의 음향특성을 이론적으로 해석하였고, 압전변환기를 제작하여 이론값과 비교, 분석하였다. 압전변환기의 대역폭 및 삽입손실은 압전체와 음향기판의 임피던스, 전극층의 두께에 따라 크게 달라진다. 또한, 압전체인 ZnO박막의 두께가 약  $3.825 \mu\text{m}$ 일 때 공진주파수는  $827.47[\text{MHz}]$ 로서 반파장주파수에서 공진이 일어남을 알 수 있었고, 1/2파장~1/4파장 사이에서 최소 삽입손실이 나타남을 확인할 수 있었다. 제작한 변환기의 삽입손실은 이론치에 비해 약 10 [dB]의 감소를 보였으며, counter전극의 두께의 변화에 의한 대역은 이론치와는 상당한 차이가 있지만 이 대역의 주파수 범위에서 최대의 효율이 나타나고 있음을 확인할 수 있었다.

## 참 고 문 헌

- [1] T. Mitsuyu, S. Ono, and K. Wasa, "Structures and SAW properties of rf-sputtered single crystal films of ZnO on sapphire", J. Appl. Phys., Vol. 51, No. 5, pp. 2464-2470, 1980.
- [2] Osamu yamasaki, Tsuneo Mitsuyu, and Kiyotaka Wasa, "ZnO thin film saw devices", IEEE. Trans. on Sonics Ultrasonics, Vol. 27, No. 6, pp. 369-379, 1980.
- [3] R.D. Weglein and R. G. Wilson, "Image resolution of the scanning acoustic microscope" Appl. Phys. Lett., Vol. 31, No. 12, pp. 793-796, 1977.
- [4] Donald N. Denberg, "Wide bandwidth high-coupling sputtered ZnO transducers on Sapphire", IEEE Trans on Sonic Ultrasonic., Vol, 18, No. 1, pp 31-35, 1971.
- [5] Thomas M. Reeder, "Characteristics of Micro-wave Acoustic Transducers for Volume Wave Excitation", IEEE Trans. on Microwave Theory and Techiques, Vol. 17, pp. 927-941, 1969.
- [6] 이종덕, 고상춘, 송준태, "고주파 마그네트론 스퍼터링으로 증착한 ZnO박막의 증착변수와 열처리 온도에 따른 c축 배향성에 관한 연구", 대한전기학회논문집, Vol 45, No. 6, pp. 844-850, 1996
- [7] F. C. M. van De Pol, F. R. Blom, and TH. J. A. Popma, "RF Planar Magnetron sputtered ZnO Films I: Structural", Thin Solid Films., Vol. 204, pp. 349-364, 1991.



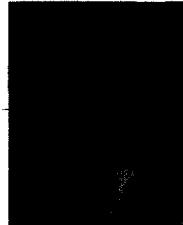
## 저 자 소 개



## 朴 基 燁(正會員)

1959년 8월 11일생. 1986년 부산공업대학 전자공학과(공학사). 1988년 동아대학교 대학원 전자공학과(공학석사). 1996년 성균관대학교 대학원 전기공학과(공학박사). 1990년 4월~

현재 부산정보대학 전기전자계열 부교수. 주관심분야 : 압전세라믹필터, FRAM, 센서디바이스



## 李 鍾 德(正會員)

1964년 10월 17일생. 1988년 성균관대학교 전기공학과 (공학사). 1990년 성균관대학교 대학원 전기공학과(공학석사). 1997년 성균관대학교 대학원 전기공학과(공학박사).

1996년 3월~현재 서남대학교 전기전자멀티미디어공학부 전임강사. 주관심분야 : 압전박막, 초음파센서, 압전진동자, 강유전체 박막등



## 朴 淳 太(正會員)

1950년 3월 21일생. 1973년 동아대학교 전자공학과 (공학사). 1980년 동아대학교 대학원 전자공학과 (공학석사). 1994년 동아대학교 대학원 전자공학과 (공학박사). 1979년 3월~현재 부산정보대학 전기전자계열

교수. 주관심분야 : 압전세라믹 소자, 전계발광(디)