

## AlN 압전 박막과 Si를 이용한 체적탄성과 Over-moded 공진기

이시형\*\*\* · 이진국\* · 김상희 · 김종현 · 윤기현\*\*

\*한국과학기술연구원 박막기술연구센터  
광운대학교 전자공학과  
\*\*연세대학교 세라믹공학과  
(2000년 9월 25일 접수)

### AlN-Si Thin Film Bulk Acoustic Over-moded Resonator

Si-Hyung Lee\*\*\*, Jeon-Kook Lee\*, Sang-Hee Kim, Jong-Heon Kim and Ki Hyun Yoon\*\*

\*Thin Film Technology Research Center, KIST, Seoul, 136-791, Korea  
Department of Radio Science and Eng., Kwangwoon Univ. Seoul, 139-701, Korea  
\*\*Department of Ceramic Eng., Yonsei Univ. Seoul, 120-749, Korea  
(Received September 25, 2000)

#### 초 록

AlN와 Si를 이용하여 체적 탄성과 over-moded 공진기를 형성하였다. 높은 c-축 배향성을 갖는 AlN 압전박막은 sputtering에 의해 저온에서 증착하였다. AlN 박막의 c-축 배향성은 기판과 타겟의 거리가 가까울수록, 증착 압력이 낮을 수록 (002) 면으로의 성장이 촉진되었다. Si 기판을 이용한 over-moded 공진기로부터 TFR의 임피던스를 산출한 결과 공진영역의 면적에 가장 의존하였다. Al/AlN/Al로 이루어진 TFR의 입력 임피던스는 공진 영역이 크기가  $200\ \mu\text{m} \times 200\ \mu\text{m}$ 인 경우 가장  $50\ \Omega$ 에 근접하였다. Over-moded 공진 특성은 Si 기판의 낮은 Q로 인해 mode 수 294인 2.60976 GHz에서 0.109 %의 유효 전기기계결합 계수( $K_{\text{eff}}^2$ )와 0.3의  $K_{\text{eff}}^2 \cdot Q$ 값을 보였다.

#### ABSTRACT

Film bulk acoustic over-moded resonator were fabricated on Si with AlN piezoelectric film. Highly c-axis oriented AlN thin films reactively sputtered without substrate heating. The degree of c-axis orientation of piezoelectric AlN film increased as the distance between target and substrate and the operation pressure decreased. As the active areas of the over-moded resonator decreased, the input impedance of the TFR increased. In case of the  $200\ \mu\text{m} \times 200\ \mu\text{m}$  resonance area, the input impedance of the resonator is nearly  $50\ \Omega$  at 2~3 GHz. AlN-Si over-moded resonators have exhibited the effective coupling coefficient of 0.109 % and  $K_{\text{eff}}^2 \cdot Q$  product of 0.3 at 2.60976 GHz in mode number of 294.

**Key Words :** Over-moded resonator, AlN, C-axis orientation, Coupling coefficient

#### 1. 서 론

고주파 필터의 응용에 있어서 VLSI 공정에 부합하며 능동소자와의 집적화가 가능한 박막형 공진기(Thin Film Resonator, TFR)의 개발에 많은 연구가 되어지고 있다. TFR은 전극/압전박막/전극으로 이루어지며 압전특성에 의한 전기기계결합(electromechanical coupling)에 의해 형성된 standing wave를 이용한다. 이러한 standing wave의 형성에는 소자의 경계조건이 임피던스가 0인 air 또는 vacuum 상태를 만족시켜야 한다. 이런 경계 조건을 만족시키기 위해 지금까지의 많은 TFR에 대한 연구는 MEMS (microelectromechanical system) 공정의 발전에 따라  $\text{Si}_3\text{N}_4$  같은 아주 얇은 membrane을 이용한 공진기 제조에 초점을 맞추어 왔다.<sup>1,2)</sup> 그러나 최근에는 소자의 robustness, 동일 면적에 따

른 생산성 차이, 공정의 간략화등의 이유로 인해  $\lambda/4$  두께의 임피던스 차가 큰 재료의 적용에 의한 기판의 전체적인 임피던스를 최소화시킬 수 있는 bragg reflector를 이용한 TFR의 연구가 많은 관심을 끌고 있다.<sup>3)</sup> 이와 같이 기판의 영향을 없애는 방법과는 달리 높은 품질계수(Quality factor, Q)를 갖는 기판을 delay section으로, 압전박막을 transducer로 이용하여 narrow-bandwidth를 갖는 박막형 공진기가 초기 모델로 비교적 낮은 주파수 대역 사용에 많은 연구가 되어왔다. 이와 같은 공진기를 over-moded 공진기라 한다. 기판의 두께가 탄성파의 반파장의 정수배가 되면 over-moded 공진기는 공진 현상을 보이게 된다. 그러므로 비교적 넓은 주파수 영역에서 같은 간격을 두고 다중 공진 현상을 나타내게 된다. 이런 다중 공진특성은 압전박막에 의한 전기기계결합에 의해 각각 다른 bandwidth를 보이게 된다.

TFR에 비해 상대적으로 적은 bandwidth를 보이나 높은 Q를 갖는 공진기를 제작할 수 있는 장점이 있다.<sup>4)</sup>

박막형 공진기의 압전박막으로서는 ZnO와 AlN가 가장 많이 연구되고 있지만 ZnO의 Si으로의 deep level trap과 높은 증기압등의 단점으로 AlN를 압전물질로 선택하여 연구하였다. 박막형 공진기는 압전박막의 특성이 바로 공진기의 성능에 영향을 미치게 되므로 이상적으로는 결함이 없는 단결정 박막이 필요하다. 하지만 chemical vapor deposition (CVD)이나 molecular beam epitaxy (MBE) 방법에 의한 epitaxial 성장에는 AlN의 높은 녹는점(2200°C)으로 인해 1000°C 이상의 고온 공정이 필요하다.<sup>5,6)</sup> 그러나 고온 성장은 Al 전극을 이용하는 VLSI CMOS 공정에 부적합하므로 반응성 스퍼터링에 의한 저온에서의 AlN 박막형성이 필요하다.

TFR에서 압전박막의 두께는 탄성과 속도에 의해 결정되어진다. 탄성과 속도는 박막의 밀도와 배향성에 따른 탄성 계수에 의존한다. 그래서, 다결정 박막의 경우 소자설계를 위해서는 압전박막의 탄성과 속도 확인이 중요하다. 그리고, 고주파 정합을 위해서 관심 주파수 영역에서의 TFR의 입력 임피던스 또한 확인되어야 한다. 이처럼 TFR 소자 설계에 있어서 소자의 입력 임피던스와 박막의 탄성과 속도를 확인하는 과정이 요구된다. 공진기의 임피던스와 탄성과 속도는 TFR에 비해 짧은 공정을 요하는 over-moded 공진기를 이용하여 이론적인 결과와의 비교를 통해 빠르게 알아낼 수 있다.

본 연구에서는 AlN 박막을 반응성 radio frequency (r.f.) 스퍼터링을 통해 기판의 열처리 없이 저온 합성하였다. 이렇게 합성된 AlN 박막과 Si 기판을 delay 영역으로 이용하여 1-port over-moded 공진기를 제작하였다. over-moded 공진기의 반사 손실(S<sub>11</sub>) 측정 결과로부터 임피던스의 변환과 이론적인 수식 계산을 통해 비교함으로써 TFR의 입력 임피던스를 예측할 수 있었다.

2. 실험방법

r.f. sputtering을 이용하여 저온에서 AlN 박막을 형성하였다. 체적 탄성파를 이용한 TFR의 경우 단일 longitudinal 탄성파형성을 위해 높은 c-축 배향성을 갖는 압전박막이 요구되어진다. AlN 압전박막의 c-축 배향성 향상을 위해 증착 변수 즉, 압력, r.f. power, 타겟과 기판과의 거리 그리고 질소 분압등을 조절하였다. 박막의 두께는 SEM에 의해 측정되었으며 결정성은 XRD와 rocking curve로 분석하였다. 하부 전극은 AlN의 seed layer로서의 역할과 Si 기판과의 adhesion을 동시에 고려하여 CMOS 공정에 적합한 Al metal을 이용하였다. 본 연구에 이용된 over-moded 공진기는 Al/AlN/Al의 구조를 갖는 다층 박막을 double polishing된 Si wafer 위에 진공을 깨지 않고 연속적으로

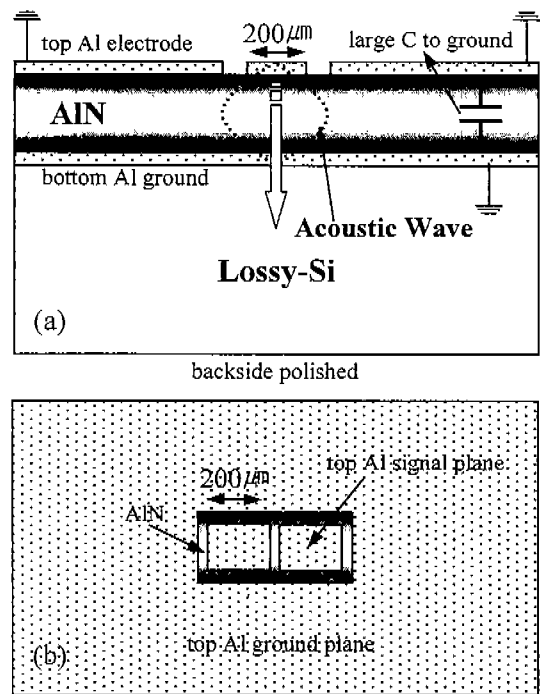


Fig. 1. Cross-section (a) and top electrode pattern (b) of the over-moded resonator composed of the sputtered AlN piezoelectric film and Al electrodes on double-polished Si (100) substrate.

증착하였다. Fig. 1에는 over-moded 공진기의 단면과 상부 전극의 개략도를 나타내었다. 양면 연마된 480 μm Si 기판과 0.15 μm Al 상부전극 및 0.1 μm Al 하부전극과 1.9 μm AlN 압전박막으로 이루어져 있으며 단일 mask를 이용하여 제작하였다. 하부전극은 electrical ground plane으로의 역할을 하며 상부전극은 ground-signal-ground 형태로 patterning하였다. AlN에 의해 형성된 탄성파는 Si으로 전파되고 연마된 뒷면으로부터 다시 반사되어지게 된다. Over-moded 공진기의 주파수에 따른 임피던스 계산은 MATLAB을 이용하였다. 상부 Al은 인산, 아세트산, 질산을 16:1:1로 혼합한 용액을 이용하여 Fig. 1(b)처럼 ground-signal-ground 형태의 pattern을 형성시켰다. 공진기의 상부전극 크기는 400 μm×400 μm, 200 μm×200 μm, 100 μm×100 μm, 50 μm×50 μm으로 다양하게 제작하였다. 이렇게 제작된 공진기는 HP 8510 C network analyser와 Picoprobe (GGB Inc.)를 이용하여 측정하였다.

3. 결과 및 고찰

공진기의 주파수 특성과 임피던스 특성을 결정 짓는 AlN 박막은 두께방향의 진동을 필요로 하므로 기판에 대해 c-axis 방향으로 성장하여야 한다. (002) 면으로의 성장을 유도하기 위해 N<sub>2</sub> 함량, 증착 압력, 타겟과 기판과의 거리

및 rf power 등의 공정 변수를 변화시켰다. 먼저, N<sub>2</sub> 함량이 따른 실험 결과 N<sub>2</sub> 함량이 20%로 줄어들며 따라 (002) 배향성이 증가하였으며, 타겟과 기판과의 거리가 10 cm에서 6 cm로 감소함에 따라 역시 다결정 박막에서 c-axis AlN 박막으로의 변화를 보였다. 타겟과 기판과의 거리를 6 cm로 고정한 후 증착 압력을 변화시킨 결과 1~10 mtorr의 비교적 넓은 압력 범위에서 c-axis 우선 배향되는 박막을 얻을 수 있었다. 하지만 50 motrr의 높은 압력에서는 (110) 방향으로의 변화를 관찰할 수 있었다. 낮은 압력과 짧은 타겟과 기판과의 거리는 scattering 효과를 줄여 스퍼터링된 입자들이 비교적 높은 에너지 상태로 기판에 도달할 수 있다. 이런 높은 입자 에너지로 인해 AlN의 최밀 층전 면인 (001) 면을 따라 c-축 성장이 가능하리라 사료된다. Table 1 에는 본 연구에서 도출된 AlN 박막의 최적 조건을 나타내었다. Fig. 2는 최적 증착 조건에서 증착된 AlN 박막의 XRD와 roc-king curve 분석 결과를 보여주고 있다. 증착된 박막은 (002)와 (004) 피크만 관찰되어 c-축 배향이 잘 되었음을 알 수 있었다. 하지만 (002) 면에 대한 rocking curve 분석 결과 상대적으로 다소 높은 3.3°의 편차를 보여

기판에 대해 c-축 배향된 columnar grain들이 다소 수직에서 벗어나 있음을 알 수 있었다. Fig. 3는 AlN 박막의 표면 및 단면 SEM 관찰 사진을 보여주고 있다. 평균 100 nm 크기의 균일한 grain으로 아주 dense한 박막을 이루고 있으며 잘 정렬된 columnar 구조를 갖는 것을 알 수 있다.

AlN 압전박막과 Al 전극을 이용한 TFR의 경우 극소의 두께를 갖는 전극과 압전박막으로만 이루어져 소자의 탄성 손실이 없는 ideal TFR의 임피던스 특성으로부터 고려되어 질 수 있다. Ideal TFR의 임피던스 특성은 stress, strain, stiffness tensors들을 고려하여 다음과 같이 표현될 수 있다.<sup>7)</sup>

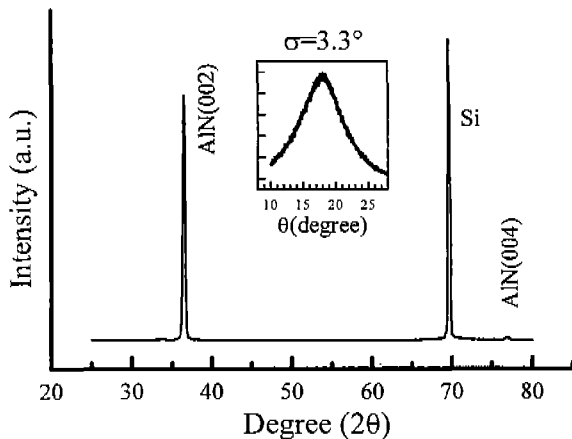
$$Z = \frac{1}{j\omega C_0} \left[ 1 - \frac{K^2 \tan(kh)}{1 + K^2 kh} \right] \tag{1}$$

여기에서 k는 wave number이며, 2 h는 압전박막 두께이다. 그리고, K<sup>2</sup>은 압전박막의 electromechanical coupling constant이며, C<sub>0</sub>는 AlN 유전체의 total capacitance로 device 면적 (A)에 의존한다. K<sup>2</sup>과 C<sub>0</sub>는 공진기의 구조와 dimension 및 박막의 특성에 의해 결정되어지는 값들로 아래의 수식으로 표현되어진다.

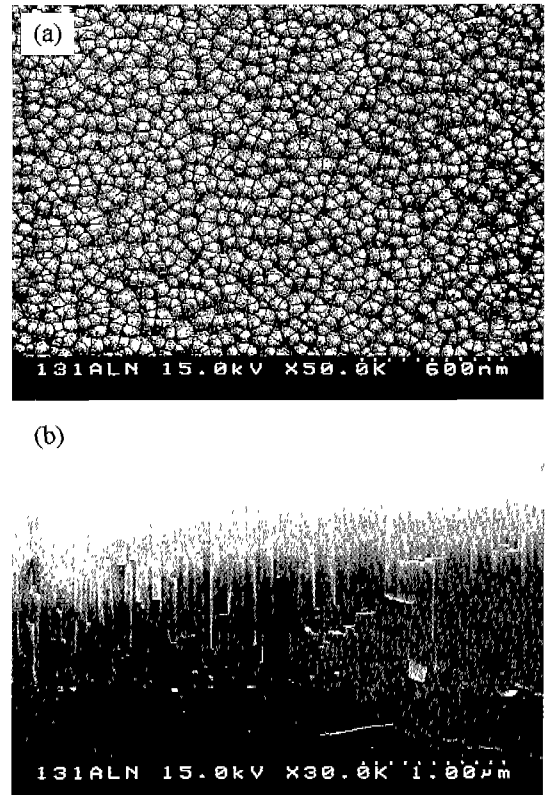
$$K^2 = \frac{c^2}{c_E \epsilon^S} \tag{2}$$

**Table 1.** Optimum Deposition Conditions of the AlN Thin Film

deposition variables	conditions
base pressure	< 2 × 10 <sup>-7</sup> torr
target	Al (99.999%), 2 inch
distance ( target-substrate)	6 cm
sputtering pressure	5 mtorr
rf power	200 W
Ar : N <sub>2</sub> flow rate	16 : 4 sccm
substrate temperature	room temperature
deposition rate	120 Å/min



**Fig. 2.** θ-2θ XRD scan of a AlN film on Si(100) grown at room temperature. Inset shows the rocking curve of AlN(002) peak.



**Fig. 3.** Microstructure of the sputtered AlN film on Si(100) at room temperature. (a) surface and (b) cross-section morphology.

$$C_0 = \frac{\epsilon^S A}{2h} \quad (3)$$

여기에서  $e$ ,  $c^E$ ,  $\epsilon^S$ 는 각각 piezoelectric stress constant, 일정한 전기장에서의 stiffness, 그리고 dielectric constant를 나타낸다.

본 연구에서 사용된 over-moded 공진기의 경우 전극과 기판의 영향을 고려하여 아래와 같이 공진기의 임피던스를 수식화 할 수 있다.<sup>4)</sup> 이때 압전박막의 상 하부에서의 전기적인 load는 전송선로 모델을 이용하여 계산하였다. 그리고, AlN 압전박막의  $K^2$ 과 relative dielectric constant ( $\epsilon_p$ )는 ideal로 가정하여 6.4%와 10.7로 계산하였다.

$$Z = \frac{1}{j\omega C_0} \left[ 1 - \frac{K^2}{1+K^2} \frac{\tan(kh)}{kh} \frac{(z_{top} - z_{bot})\cos^2(kh) + j\sin(2kh)}{(z_{top} - z_{bot})\cos(2kh) + j(1 - z_{top}z_{bot})\sin(2kh)} \right] \quad (4)$$

여기서  $z_{top}$ 과  $z_{bot}$ 은 압전박막의 임피던스  $Z_p$ 에 대한 값들로 압전박막 상 하부에서의 effective terminating acoustic impedance이다. 또한, 주파수에 따른 acoustic loss 역시 공진기의 특성을 확인하는데 고려되어야 한다. 이런 loss는 탄성계수에 acoustic viscosity,  $\eta$ 의 주파수 의존성이 포함되어 다음과 같이 표현된다.

$$c = c_{real} + j 2\pi f \eta \quad (5)$$

Si를 이용한 over-moded resonator의 경우 대부분의 loss는 압전박막과 전극의 두께에 비해 상대적으로 아주 큰 Si

기판 (두께 = 약 480  $\mu\text{m}$ )에서 발생한다.<sup>8)</sup>

Fig. 4는 공진면적이 40000  $\mu\text{m}^2$ 이고 480  $\mu\text{m}$  두께의 Si 기판과 0.10  $\mu\text{m}$  하부전극, 1.9  $\mu\text{m}$  AlN, 0.15  $\mu\text{m}$  상부전극으로 이루어진 over-moded 공진기와 기판을 고려하지 않은 TFR의 임피던스 simulation 결과이다. 이때 압전박막과 전극의 acoustic loss는 고려하지 않고 Si의 viscosity,  $\eta_{Si}$ 만 0.008 ( $\text{Ns/m}^2$ )로 고려하였다.<sup>9)</sup> TFR의 임피던스는 capacitive 효과에 의해 주파수에 따라 감소하며, piezoelectric 효과에 의해 공진 반공진의 임피던스 변환이 주기적으로 일어난다. 기판의 영향을 배제한 경우에는 압전박막의 두께가  $\lambda/2$ 의 홀수배 조건을 만족하는 주파수, 즉 mode 수가 1, 3, 5 등에서만 공진 ( $f_s^1$ ,  $f_s^3$ )이 발생하는 반면, Si 기판을 포함하고 있는 over-moded 공진기의 경우 Si(약 480  $\mu\text{m}$ )의 영향으로 일정한 간격으로 지속적인 공진이 발생한다. 기판의 영향을 없애기 위한 membrane형이나 bragg reflector형 TFR의 입력 임피던스는 수식 (1), (4)에서 볼 수 있듯이 압전박막에 의한 capacitance,  $C_0$ 에 크게 의존한다. 그러므로, 동일한 acoustic wave 발생 영역을 갖는 over-moded resonator의 임피던스와 같은 현상을 보이리라 예상된다. 예상과 같이 Si 기판을 고려하지 않은 simple resonator와 Si를 포함한 over-moded resonator의 임피던스가 simulation 결과 주파수에 따라 동일하게 나타났다. 이론적인 계산 결과 압전박막과 전극의 acoustic loss에 의한 임피던스에 대한 영향은 미약하였다. 공진 영역의 크기에 따른 TFR의 임피던스 주파수 특성 변화를 수식(4)에 의해 계산해본 결과 면적이 커짐에 따라 압전박막의 capacitance 차이에 의해 임피던스가 점차적으로 줄어들음을 알 수 있었다. 그러나 공진 발생 영역의 두께 변화와 면적차이에 의한 재료 특성의 변화가 없다면 공진 주파수의 변화는 발생하지 않는다. Fig. 5 (a)에는 면적차이에 의한 over-moded 공진기의  $S_{11}$  측정 결과를 이용하여 임피던스로의 변환한 결과를 나타내고 있다. 측정된  $S_{11}$  특성은 아래 식에 의해 임피던스로의 변환이 가능하다.

$$Z_{input} = Z_0 \left( \frac{1+S_{11}}{1-S_{11}} \right); Z_0 = 50\Omega \quad (6)$$

측정된 삽입손실의 임피던스 변환 결과 Al(0.15  $\mu\text{m}$ )/AlN(1.9  $\mu\text{m}$ )/Al(0.1  $\mu\text{m}$ )/Si(480  $\mu\text{m}$ )으로 형성된 over-moded 공진기의 경우 Fig. 5(a)에서 알 수 있듯이 2-3 GHz 영역에서 active area가 (200  $\mu\text{m}$ )<sup>2</sup>인 경우 가장 50  $\Omega$ 에 근접함을 알 수 있었다. 수식 (4)에 의한 simulation 결과 역시 Fig. 5 (b)에 나타난 것처럼 면적이 커짐에 따라 임피던스는 점차 감소하고 있으며 역시 (200  $\mu\text{m}$ )<sup>2</sup>에서 50  $\Omega$ 에 근접함을 알 수 있다. 이상의 결과로부터 기판의 영향을 최소화하는 TFR의 입력 임피던스를 1-port over-moded 공진기를 이용하여 예측 가능함을 알 수 있고 AlN와 Al으로 이루어진 TFR의 경우 약 (200  $\mu\text{m}$ )<sup>2</sup>의 공진 면적에서

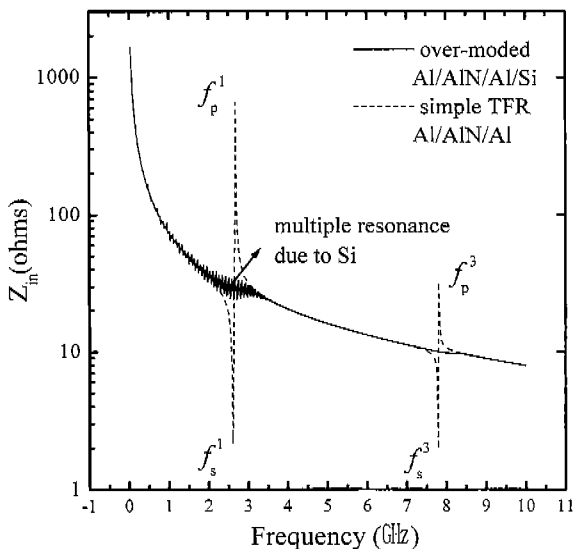
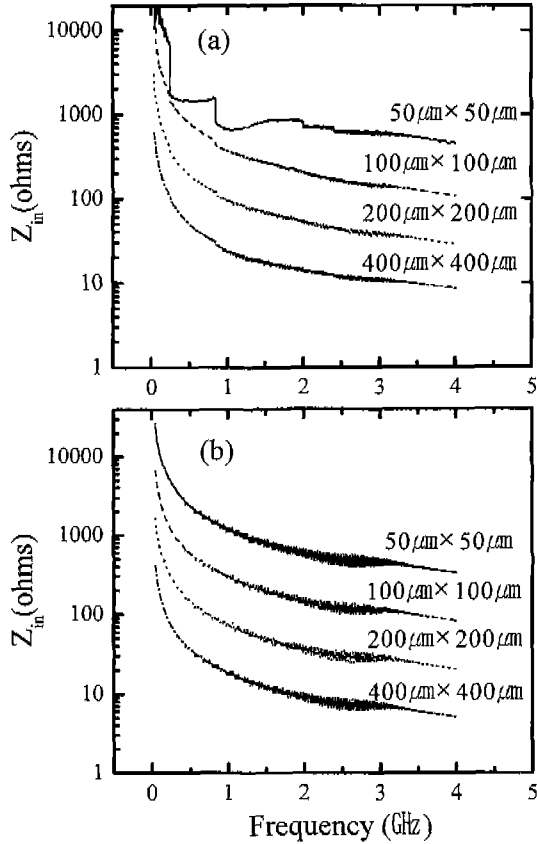


Fig. 4. Simulated broad band impedance of the simple resonator without substrate and over-moded resonator with substrate acoustic impedance and loss. The resonators are composed of Al(0.15  $\mu\text{m}$ )/AlN(1.9  $\mu\text{m}$ )/Al(0.1  $\mu\text{m}$ )/Si(480  $\mu\text{m}$ ). The straight line is over-moded resonator and the dotted line is TFR.



**Fig. 5.** Measured (a) and simulated (b) broad band impedance of the over-moded resonator as a function of active area. The resonators are composed of Al(0.15 μm)/AlN(1.9 μm)/Al(0.1 μm)/Si(480 μm).

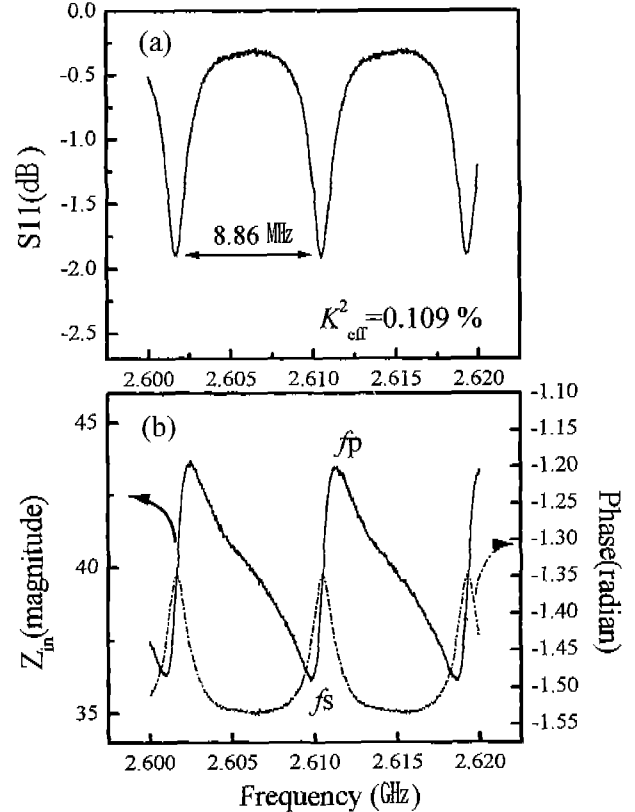
50 Ω에 근접하는 임피던스 특성을 나타내었다.

공진기의 filter 응용을 위해 측정되어야 하는 특성에는 다음과 같은 두 가지가 있다. 하나는 유효 전기기계결합계수,  $K_{eff}^2$ ,이고, 다른 하나는 Quality factor,  $Q_s/Q_p$ 이다. 이 변수들은 소자의 filtering 특성을 나타내는 척도이다. 아래에 이 두 가지 특성의 정의에 대해 수식으로 나타내었다.<sup>10,11)</sup>

$$K_{eff}^2 = \frac{\pi f_s}{2 f_p} \frac{f_p - f_s}{\tan\left(\frac{\pi f_s}{2 f_p}\right)} \approx \left(\frac{\pi}{2}\right)^2 \frac{f_p - f_s}{f_p} \quad (7)$$

$$Q_{s/p} = \frac{f_x}{2} \frac{dZ_{in}}{df} \Big|_{f_x=f_{s/p}} \quad (8)$$

여기에서  $f_s$ 와  $f_p$ 는 공진과 반공진 주파수를 말한다.  $K_{eff}^2$ 은 공진모드에서  $f_s$ 와  $f_p$  사이의 절대 간격을 의미한다. Ideal TFR에서는 기본 모드에서의  $K_{eff}^2$ 는 압전물질의 전기기계결합계수( $K^2$ )와 같다. 이 상수는 수식 (2)에 나타낸 것처럼 압전박막의 압전, 유전, 기계적 변수의 조합이다. TFR에서의  $K_{eff}^2$ 은  $K^2$ 과 TFR의 구조적 특성 즉, 전극의 두께와 물질



**Fig. 6.** The measured return loss (a), magnitude and phase (b) of the input electric impedance of an over-moded resonator. The series resonance frequency is 2.60976 GHz and the parallel resonance frequency is 2.61136 GHz, and the Q's are 133 and 134, respectively. The silicon substrate thickness of 480 μm produces a resonance spacing of 8.86 MHz. Therefore, the resonator mode number is 294.

등에 의존하는 함수이다. 소자의 Q값은 소자내의 loss의 척도이다. 이런 loss는 전극에서의 ohmic resistance, 공진기 층내에서의 acoustic loss, grain boundary나 rough한 표면에서의 탄성파의 scattering, 그리고 device 주위로의 acoustic radiation들로부터 발생한다. 유효전기기계결합계수는 filter의 bandwidth를 결정하는 변수이며,  $K_{eff}^2$ 과 Q의 곱은 삽입손실을 결정하게 된다. 지금까지 연구된 over-moded 공진기의 특성은 CdS-quartz( $Q = 2.7 \times 10^4$ )의 경우 mode 수 10인 278.4 MHz에서  $K_{eff}^2$ 은 0.4 %이고 Q는 6,000이었으며,<sup>12)</sup> AlN-sapphire( $Q = 2 \times 10^5$ )에서는 mode 수 185인 1.60327 GHz 영역에서  $K_{eff}^2$ 은 0.019%이고  $Q_s$ 는 47,500을 보였다.<sup>4)</sup> 그러나, 본 연구에서 사용한 over-moded 공진기의 경우 낮은 Q를 갖는 Si 기판에 의해 공진기의 Q는 낮은 값을 보였으며, 높은 mode 수에서의 coupling에 의해  $K_{eff}^2$  값 역시 낮은 값을 나타내었다. Fig. 6에는 AlN-Si을 이용한 over-moded 공진기의 최대 coupling이 일어나는 영역에서의 협대역 측정 결과를 나타내었다. 탄성파 발생영역인 Al(0.15

$\mu\text{m}/\text{AlN}(1.9 \mu\text{m})/\text{Al}(0.1 \mu\text{m})$ 으로부터 계산된 공진 주파수 ( $f_0$ )는 2.6142 GHz이다. 그러므로 약 2.6 GHz에서 가장 높은 coupling 효과가 발생하리라 예상된다. 그러나, Si 기판의 아주 낮은 Q ( $Q_{\text{Si}} = 3000$ )로 인해 over-moded 공진기는 mode 수 294인 2.60976 GHz에서 0.109%의 유효 전기계 결합계수( $K_{\text{eff}}^2$ )와 0.3의  $K_{\text{eff}}^2 \cdot Q$ 값을 보였다. 공진간 간격은 8.86 MHz으로서 480  $\mu\text{m}$ 의 Si 기판두께와 8415 m/s의 탄성과 속도에 의한 계산 결과와 잘 일치함을 알 수 있었다. 위의 측정 결과에서 알 수 있듯이 Si를 이용한 over-moded 공진기는 낮은 Q와  $K_{\text{eff}}^2$ 에 의해 실제 filter로의 응용에는 제한이 있다. 그러나 공진기를 형성하고 있는 물질들의 제 정수를 변수로 하여 수식 (4)의 계산 결과로부터 측정된 결과의 fitting에 의해 압전박막의  $K^2$ 와 탄성과 속도, 전극의 저항 및 capacitance의 산출이 비교적 빠르고 간단하게 가능하리라 예상된다.

#### 4. 결 론

박막형 공진기의 압전체인 AlN 박막을 rf sputtering에 의해 저온에서 높은 c-축 배향성을 갖는 박막을 얻을 수 있었다. AlN 박막의 c-축 배향성은 스퍼터된 입자들의 kinetic 에너지 차이에 의해 기판과 타겟의 거리가 가까울수록, 증착 압력이 낮을 수록 (002) 면으로의 성장이 촉진되었다. 비교적 간단한 Si 기판을 이용한 over-moded 공진기로부터 TFR의 임피던스를 산출한 결과 공진영역의 면적에 가장 의존하였다. Al/AlN/Al로 이루어진 TFR의 입력 임피던스는 공진 영역이 크기가 200  $\mu\text{m} \times 200 \mu\text{m}$ 인 경우 가장 50  $\Omega$ 에 근접하였다. Over-moded 공진 특성은 Si 기판의 아주 낮은 Q로 인해 mode 수 294인 2.60976 GHz에서 0.109%의 유효 전기계 결합계수( $K_{\text{eff}}^2$ )와 0.3의  $K_{\text{eff}}^2 \cdot Q$ 값을 보였다. 공진간 간격은 8.86 MHz으로서 480  $\mu\text{m}$ 의 Si 기판 두께와 8415 m/s의 탄성과 속도에 의한 계산 결과와 잘 일치하였다.

#### REFERENCES

1. K. M. Lakin and J. S. Wang, "UHF Composite Bulk Wave Resonators," In Ultrasonics Symposium, **834**, 1980.
2. G. R. Kline and K. M. Lakin, "1.0-GHz Thin-Film Bulk Acoustic Wave Resonators on GaAs," *Appl. Phys. Lett.*, **43** (8), 750 (1983).
3. G. D. Mansfeld, "Bulk Acoustic Wave Microwave Composite Resonators and Filters with Acoustic Isolation of Resonating Layers," IEEE Ultrasonic Symposium Proceeding, 1998.
4. K. M. Lakin, G. R. Kline and K. T. McCarron, "High-Q Microwave Acoustic Resonators and Filters," *IEEE Trans. MTT*, **41**, 2139 (1993).
5. D. R. Lide, *Handbook of chemistry and physics*, 72<sup>nd</sup> Ed. CRC, 1991.
6. A. Saxler, P. Kung, C. J. Sun, E. Bigan and M. Razeghi, "High Quality Aluminum Nitride Epitaxial Layers Grown on Sapphire Substrates," *Appl. Phys. Lett.*, **64**, 339 (1994).
7. B. A. Auld, "Acoustic Fields and Waves in Solids," **Vol. I**. Malabar, FL: Krieger Publishing, 365-386, 1990.
8. R. S. Naik, J. J. Lutsky, R. Reif and C. G. Sodini, "Electromechanical Coupling Constant Extraction of Thin-film Piezoelectric Materials Using a Bulk Acoustic Wave Resonator," *IEEE Trans. Ultrason. Ferroelect. Freq. Contr.*, **45**, 257-263 (1998).
9. B. A. Auld, "Acoustic Fields and Waves in Solids," **Vol. I**, Malabar, FL: Krieger, Publishing, 95, 1990.
10. K. M. Lakin, Modeling of Thin Film Resonators and Filters. In *IEEE MTT-S Digest*, 149, 1992.
11. R. Ruby and P. Merchant, Micromachined Thin Film Bulk Acoustic Resonators. In *Proc. Intl. Freq. Control Symposium*, 135, 1994.
12. T. R. Sliker and D. A. Roberts, "A Thin Film Cd-S Quartz Composite Resonator," *J. Appl. Phys.*, **38**, 2350 (1967).