

# 압전층의 2단 증착법을 이용한 체적 음향파 박막형 공진기의 제작과 성능향상에 관한 연구

論 文

54C-7-3

## A Study of the Fabrication and Enhancement of Film Bulk Acoustic Wave Resonator using Two-Step Deposition Method of Piezoelectric Layer.

朴成賢<sup>†</sup> · 秋順男<sup>\*</sup> · 李能憲<sup>\*\*</sup>

(Sung-Hyun Park · Soon-Nam Chu · Neung-Heon Lee)

**Abstract** - The 2 GHz film bulk acoustic wave resonator(FBAR), one of the most necessary device of the next generation mobile communication system, consisted of solidly mounted resonator(SMR) structure using Bragg reflector, was researched in this paper. The FBAR applied SiO<sub>2</sub> and W had large difference of the acoustic impedance to reflector, Al to electrode and ZnO to piezoelectric layer. Specially, the FBAR applied the two-step deposition method to improve the c-axis orientation and increase reproducibility of the fabrication device had good performance. The electrical properties of plasma such as impedance, resistance, reactance, V<sub>pp</sub>, I<sub>pp</sub>, VSWR and phase difference of voltage and current, was analyzed and measured by RF sensor with the variable experiment process factors such as gas ratio, RF power and base vacuum level about concerning the thickness, c-axis orientation, adhesion and roughness. The FBAR device about the optimum condition resulted reflection loss(S<sub>11</sub>) of -17 dB, resonance frequency of 1.93 GHz, electric-mechanical coefficient(k<sub>eff</sub>) of 2.38 % and quality factor of 580. It was seen better quality than the common dielectric filter at present and expected on business to the filter device of 2 GHz bandwidth with the MMIC technology.

**Key Words** : FBAR, ZnO, Two-Step Deposition, Filter, RF Magnetron Sputtering

### 1. 서 론

최근 정보통신 산업의 눈부신 발전에 힘입어 장소에 상관 없이 자유롭게 정보를 주고받을 수 있는 유비쿼터스 환경에 대한 관심이 증폭됨에 따라 800 MHz ~ 5 GHz의 캐리어 주파수가 요구되는 개인 휴대 통신시스템 및 무선가입자망, blue tooth, 위성통신을 이용한 데이터통신망 등의 시스템에 대한 경박단소화, 고주파수화, 고품질화, 저가격화, 고기능화, 대량생산화의 중요성이 커지고 있다. 현재 PCS나 IMT2000에서 사용되는 전송 중심 주파수는 2 GHz 대역으로서 기기의 소형화를 위한 마이크로파 대역의 필터 개발이 시급한 시점이다.[1]

본 논문에서 제작한 체적 음향파를 이용한 박막형 공진기(FBAR)는 유전체 공진기의 높은 유전율과 저삽입손실, 높은 온도안정성, 내진동, 내충격 등의 장점과 SAW 필터의 소형이면서 회로의 간략화, 무조정화, 반도체 공정을 이용한 대량생산이 가능하다는 이점을 동시에 가지고 있다. 또한 신호 대 잡음비가 뛰어나 고품질의 무선 데이터 통신이 가능하며, 최근 연구에 따르면 FBAR 필터의 동작 가능 주파수 대역이 5 MHz ~ 10 GHz까지 가능하고, 기존의 필터 성능을

압도적으로 증가하면서 박막 형태로 구현이 가능하므로 빠른 시일 내에 기존의 필터 기술을 대체 할 수 있을 것으로 전망하고 있다.[2],[3]

FBAR는 압전물질에 전계를 가하면 분극현상이 일어나 왜형이 생기고 체적탄성파가 발생되어 공진이 일어나는 원리를 이용한다. 이때 공진특성은 압전물질의 종류 및 두께, 결정상태, 전극의 두께와 면적 등의 다양한 변수에 의해 결정되는데 전기기계 결합상수(k<sup>2</sup>)가 클수록 좋은 특성을 갖는 소자가 된다.[4]

FBAR에 대한 개념은 1967년 발표된 Sliker와 Roberts의 CdS 박막공진기로부터 발전하여 1980년 Lakin과 Wang이 실리콘 기판을 diaphragm 형태로 깎는 기술을 이용하여 435 MHz 공진기를 만드는데 성공함으로써 본격적인 FBAR에 의한 GHz 대역 필터의 소형화 및 실용화가 이루어지기 시작하였다. 최근에는 기존의 방법 보다 훨씬 제작방법이 간편하고 견고한 소자를 만들 수 있는 acoustic Bragg's reflector를 이용한 SMR 구조의 FBAR 소자에 대한 연구가 관심을 모으고 있다. 이 소자는 향후 VCO(voltage controlled oscillator)나 대역통과필터, 듀플렉서필터 등의 수동소자 제조에 응용될 것으로 기대된다.[5],[6]

본 논문에서는 우수한 압전특성을 가진 ZnO를 RF magnetron sputtering 법으로, 우수한 c축 배향성을 갖도록 two-step 공정 방식으로 증착하여 2 GHz 대역의 Bragg 반사층을 가지는 SMR 구조의 FBAR 소자 제작과 성능향상에 관하여 연구하였다.

<sup>†</sup> 교신저자, 正會員 : 暎園大 工大 電氣電子工學科 博士課程  
E-mail : ttudolii@chol.com

<sup>\*</sup> 正會員 : 暎園專門大 電氣制御시스템科 副教授 · 工博

<sup>\*\*</sup> 正會員 : 暎園大 工大 電氣電子工學科 教授 · 工博

接受日字 : 2005年 3月 4日

最終完了 : 2005年 5月 12日

## 2. 실험

본 연구에서는 멀티 RF magnetron sputtering 장치를 사용하여 반사층 및 전극, 압전층을 형성하였다. 기판으로는 p-Si(100)과 SiO<sub>2</sub>/p-Si(100)을 사용하였다. 우수한 성능을 가지는 박막의 제작 재현성을 높이기 위하여 RF Sensor를 이용하여 각 공정마다 플라즈마의 전기적 특성을 분석하였다. 표 1에 반사층(W과 SiO<sub>2</sub>)과 압전층(ZnO), 전극(Al-Cu)의 RF magnetron sputtering 조건을 나타내었다.

반사층으로는 음향파 임피던스 차가 큰 W과 SiO<sub>2</sub>를 음향파 공진주파수의 λ/4 두께인 7000 Å로 번갈아 증착하여 5층 구조로 형성하였다. W 박막 증착 시 각 시편마다 두께 편차가 특정 범위를 넘지 않도록 하고, 특히 표면에서 발생하는 균열이나 접착성이 떨어지지 않도록 주의할 것을 기울였다. 또한 SiO<sub>2</sub>의 경우 W과 같이 증착 두께에 대한 것뿐만 아니라, ZnO 박막의 c축 배향성에 영향을 주는 박막의 거칠기를 낮추어 고른 표면을 갖도록 하였다.

일반적으로 전극은 DC sputtering 장치나 thermal evaporation 장치를 사용하지만, 본 연구에서는 Cu가 3% 함유된 Al target과 함께 RF magnetron sputtering 장치를 사용하여 형성하였다. 전극의 두께는 mass loading 효과에 의하여 공진 주파수를 약 10% 정도 낮추게 되므로 이를 고려하여 상부전극과 하부전극의 두께는 1500 Å으로 증착하였다.

압전층으로 사용한 ZnO의 증착은 산소의 함량을 조절하여 비저항이 큰 막질이 형성되도록 하였으며, 특히 FBAR 소자의 성능을 결정하게 되는 c-축 우선 배향성 향상을 위하여 in-situ two-step deposition 법을 이용하여 박막을 형성하였다.

각각의 증착된 박막의 결정성 및 c축 우선 배향성의 측정에는 XRD(D-MAX2200, Rigaku)를 사용하였으며, 막의 표면 형상을 분석하기 위해서 SEM과 AFM을 이용하였다. 증착한 박막의 두께는 α-step(Tencor)을 사용하여 측정하였고, 박막의 비저항을 측정하기 위해서 4-point probe(CMT-SR2000N, 창민테크)를 사용하였다. 또한, 소자의 공진특성을

network analyzer(E8364A, Agilent)로 측정 및 분석하였다.

그림 1에 FBAR 소자의 제작 공정을 나타내었다. 압전체의 파잉 식각 방지와 명확한 전극 형상을 위하여 상부전극은 lift-off 공정을 사용하였다.

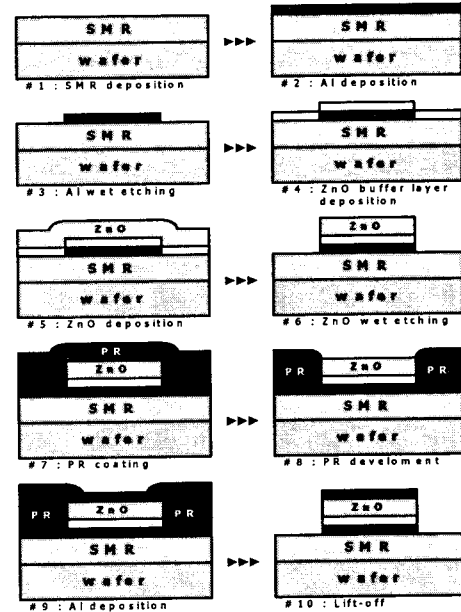


그림 1 FBAR 소자의 제작 공정도.

Fig. 1 Fabrication flow chart of FBAR device.

## 3. 결과 및 고찰

### 3.1 ZnO 박막의 특성

본 연구에서는 우수한 공진특성을 갖는 FBAR 소자를 제작하기 위해 two-step 증착법을 활용하여 ZnO 박막의 c-축 우선 배향성을 향상시켰다. 1st-step에서는 높은 산소 혼합비와 낮은 증착압력, 낮은 RF power 하에서 작고 미세한 grain을 형성시켜 고른 표면의 buffer layer 박막을 형성하

표 1 RF magnetron sputtering을 이용한 반사층 및 압전층, 전극의 증착조건.

Table 1 Deposition condition of reflector, piezoelectric layer and electrode using RF magnetron sputtering.

증착조건	W	SiO <sub>2</sub>	ZnO	Al-Cu(3%)
target	5N, 4 inch	5N, 4 inch	5N, 4 inch	5N, 4 inch
초기진공도	2~6×10 <sup>-6</sup> Torr	2~6×10 <sup>-6</sup> Torr	2~6×10 <sup>-6</sup> Torr	2~3×10 <sup>-6</sup> Torr
working gas	Ar	Ar	Ar/O <sub>2</sub> (25~75%)	Ar
증착압력	3~20 mTorr	12~20 mTorr	5~20 mTorr	3 mTorr
RF power	100~230 W	150~270 W	100~300 W	180 W
기판온도	room temp.	room temp.	room temp.	room temp.
기판과 target 사이 거리	12.5 cm	12.5 cm	8~10 cm	12.5 cm
기판의 회전속도	15 rpm	15 rpm	15 rpm	15 rpm
thickness	7000 Å	7000 Å	14000 Å	1500 Å

였고, 2nd-step에서는 증착율이 c-축 배향성과 밀접한 관계가 있으므로 높은 RF power를 통하여 빠른 박막이 형성될 수 있도록 조건을 확립 하였다. 그림 2와 같이 최적의 one-step 공정으로 증착한 박막의 반가폭(full width half maximum, FWHM)은 8.02°이었지만, two-step 공정으로 증착한 박막의 경우 7.28°의 반가폭을 얻을 수 있었다.[7]

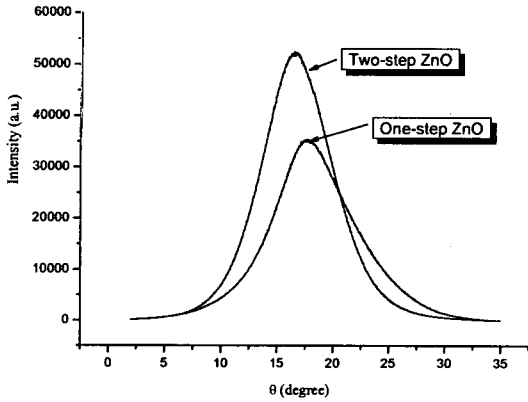


그림 2 증착법에 따른 ZnO 압전박막의 rocking curve 비교.

Fig. 2 Rocking curve of ZnO piezoelectric layer according to deposition method.

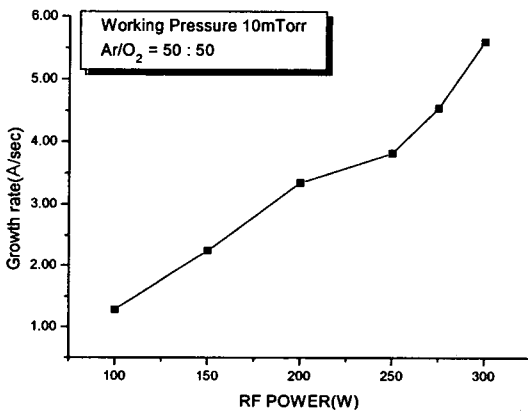


그림 3 RF power에 따른 ZnO의 증착률 변화.  
Fig. 3 Variation of ZnO growth rate according to RF power.

일반적으로 RF magnetron sputtering의 경우 RF power가 증가함에 따라 증착율은 직선적으로 증가하는 것으로 알려져 있다. 그림 3은 증착압력을 10 mTorr, 가스조성비를 50:50으로 고정하고 RF power를 100~300 W로 변화시켰을 때의 ZnO 증착율의 변화이다. RF power를 증가시킬수록 target 표면 전위차의 선형적인 증가에 의해 증착율은 거의 직선적으로 증가하는 것을 알 수 있다. c-축 배향성을 가장 잘 나타내는 최적 조건의 증착율은 다른 타 연구보고서마다 다소 상이하지만, 대략 2.0~3.0 Å/sec로 보고 되고 있다. 본 연구에서는 그림 4와 같이 RF power가 275 W일 때, 다소 높은 4.6 Å/sec에서 가장 우수한 c-축 배향성을 나타내었다.[7]

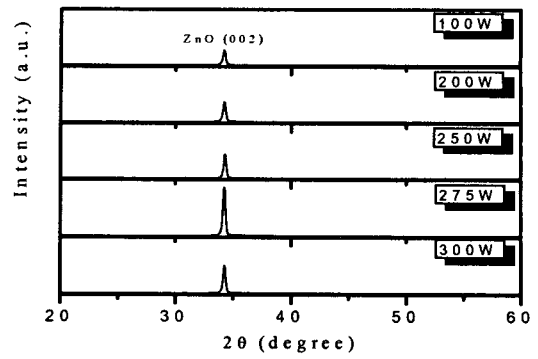


그림 4 RF power에 따른 ZnO 박막의 XRD 측정 결과.  
Fig. 4 XRD measurement result of ZnO layer according to RF power.

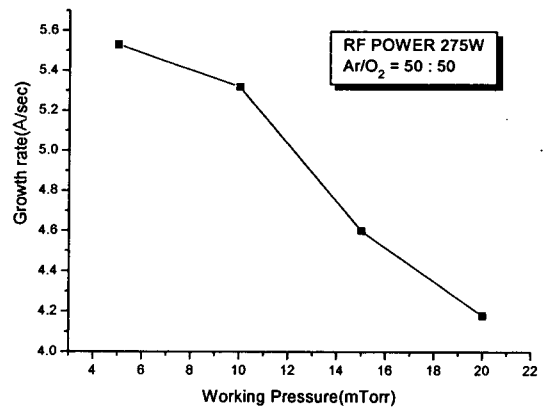


그림 5 증착압력에 따른 ZnO 증착률의 변화.  
Fig. 5 Variation of ZnO growth rate according to working pressure.

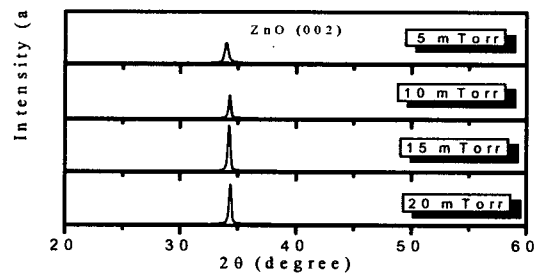


그림 6 증착압력에 따른 ZnO 박막의 XRD 측정 결과.  
Fig. 6 XRD measurement result of ZnO layer according to working pressure.

다음은 증착압력이 ZnO 박막에 미치는 영향을 알아보기 위해서 가스조성비를 50:50, RF power를 275 W로 고정하고, 증착압력을 5~20 mTorr로 변화시켰을 때의 ZnO 증착율의 변화를 그림 5에 나타내었다. 증착압력의 증가는 chamber 내의 반응가스 량의 증가를 의미하게 되는데, 이는 sputtering 된 ZnO의 입자들의 chamber 내의 mean free path의 감소를 가져오게 되어 증착율의 감소를 가져오게 되는 것이 일반적인 경향이다. 그림 6에는 증착압력에 따른 XRD 측정 결과를 나타내었다. 낮은 압력 하에서는 반응가스들의 운동에너지보다는 ZnO 입자의 운동에너지가 상대적

으로 커서 기판에 더 잘 증착하게 되어 증착율의 증가를 보이지만, 한편으로는 상대적으로 큰 에너지로 인하여 일정한 방향성을 가진 박막이 성장하기 어렵게 된다. 본 연구에서는 증착압력이 15 mTorr에서 ZnO (002)면에 대한 peak가 최대값을 보였다.

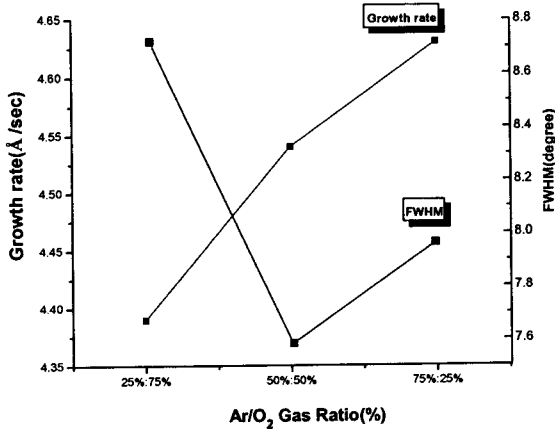


그림 7 가스함량비에 따른 ZnO의 증착률 변화 및 ZnO 박막의 FWHM.

Fig. 7 Variation of ZnO growth rate and FWHM according to Ar/O2 gas ratio.

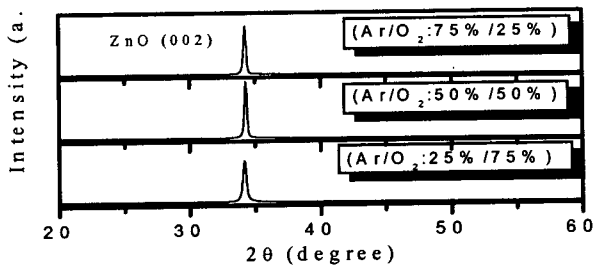


그림 8 가스함량비에 따른 ZnO 박막의 XRD 측정 결과.

Fig. 8 XRD measurement result of ZnO layer according to Ar/O2 gas ratio.

다음은 Ar/O<sub>2</sub>의 가스조성비가 ZnO 박막의 특성에 미치는 영향을 알아보기 위해서 RF power를 275 W, 증착압력을 10 mTorr로 고정하고, Ar/O<sub>2</sub>의 가스조성비를 25:75, 50:50, 75:25로 변화시켰을 때의 ZnO 증착율의 변화와 박막의 XRD 측정결과를 그림 7과 8에 나타내었다. 그림과 같이 Ar/O<sub>2</sub>의 가스조성비가 50:50 일 때, XRD peak intensity가 가장 높고 반가폭 또한 가장 낮음을 알 수 있다. O<sub>2</sub>의 함량이 높아질수록 ZnO 증착율이 저하되는 것을 볼 수 있는데, 이는 Ar 원자의 질량이 산소보다 더 크기 때문이다. ZnO를 sputtering 할 경우 산소가 적어도 증착율이 높은 반면, 산소농도가 증가하면서 Ar의 원자수가 감소하게 되므로 ZnO의 증착율이 감소하게 된다.

본 연구에서 FBAR 소자의 우수한 공진특성을 위한 가장 우수한 c-축 우선 배향성을 갖는 ZnO 박막의 형성 조건은 RF power가 275 W, 증착압력이 15 mTorr, 그리고 Ar/O<sub>2</sub> 가스조성비가 50:50일 때 이다.

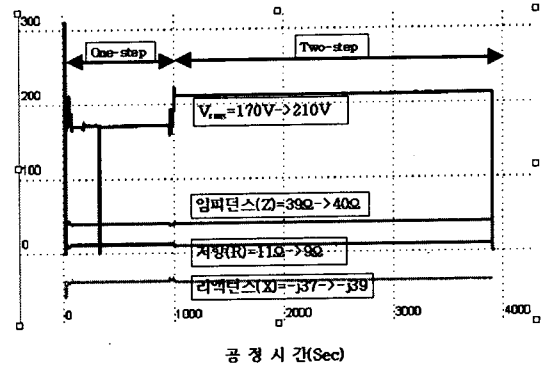


그림 9 RF sensor로 측정된 two-step 공정 중 플라즈마의 전기적 특성 변화.

Fig. 9 Electrical properties of plasma in two-step deposition process by RF sensor.

그림 9는 two-step 플라즈마 공정 과정에서 ZScan RF sensor로 측정된 플라즈마의 전기적 특성 변화이다. 1st-step에서 2nd-step으로 바뀌면서 V<sub>rms</sub>가 170 V<sub>rms</sub>에서 210 V<sub>rms</sub>로 크게 변화하였고, 기타 저항이나 임피던스는 미소하게 변한 것을 알 수 있다.

### 3.2 W과 SiO<sub>2</sub> 박막의 특성

RF magnetron sputtering으로 W를 증착할 경우, 형성된 W 박막 내에서 큰 응력이 걸리기 쉽고, 기판과의 접착력이 좋지 못하다면 W 박막이 기판위에서 쉽게 깨지거나 벗겨져 버린다.

그림 10, 11과 같이 증착압력과 RF power가 W의 접착력에 미치는 영향을 알아본 결과, RF power가 커지면 증착된 W 박막에 응력이 크게 작용하여 W 박막에 균열이 발생하는데, 본 실험에서는 증착압력이 높을 때는 RF power가 100 W 이상부터 박막에 균열이 발생하였다. 하지만 증착압력이 6 mTorr일 때에는 SEM으로 판별이 어려울 정도의 미세한 입자와 좋은 접착력을 보였으며, 또한 균열 또한 관찰되지 않았다. 반사층으로 사용될 W 박막의 최적의 형성 조건은 RF power가 230 W이고, 증착압력이 6 mTorr이다. 이때의 W의 증착율은 1.1 Å/sec이었다.

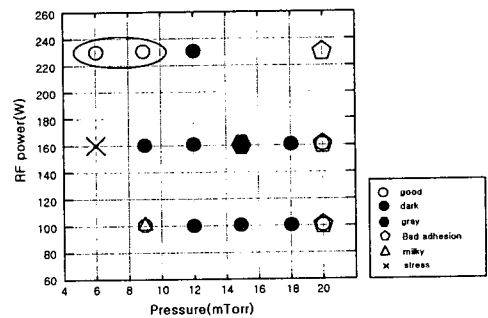


그림 10 증착압력과 RF power에 따른 W 박막의 특성 (광학현미경 관찰).

Fig. 10 Properties of W layer according to RF power and working pressure (by optical microscope).

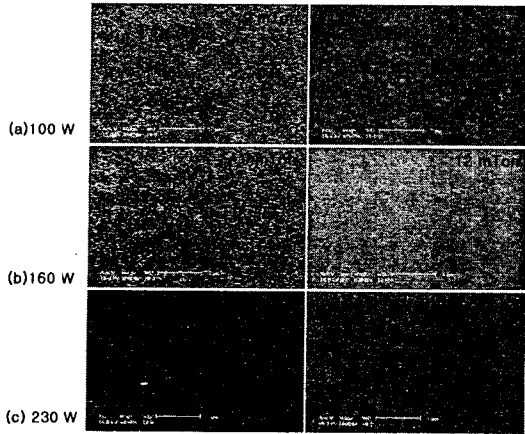


그림 11 증착압력과 RF power에 따른 W 박막의 SEM 측정결과.

Fig. 11 SEM view of W layer according to RF power and working pressure.

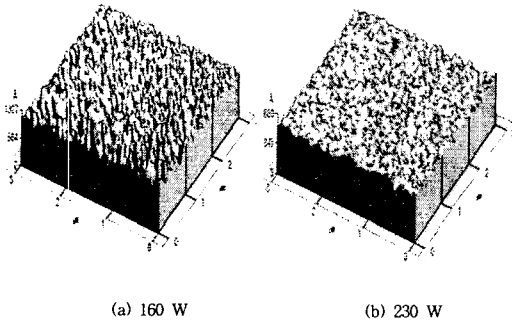


그림 12 SiO<sub>2</sub> 박막의 AFM 측정 결과.

Fig. 12 AFM measurement result of SiO<sub>2</sub> layer when RF power was (a) 160 W and (b) 230W.

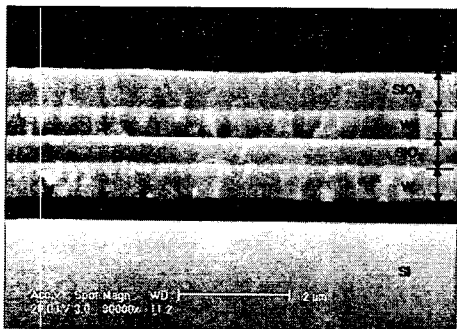


그림 13 증착된 반사층 단면의 SEM 측정 결과.

Fig. 13 SEM cross-sectional view of reflector.

반사층으로 사용될 SiO<sub>2</sub> 박막의 특성을 알아보기 위해 증착압력을 12 mTorr로 고정하고, RF power를 150~270 W로 변화시켜본 결과, RF power의 증가에 따라 증착율이 증가했으며, RF power가 160 W와 230 W일 때, AFM으로 박막의 거칠기를 측정해 본 결과, 각각 45.7Å과 28.8Å로 나타났다. 증착된 모든 SiO<sub>2</sub> 박막은 면이 평활하고 단면은 등근 입경의 치밀한 비정질 조직이었다. SiO<sub>2</sub> 증착의 최적조건

은 증착압력이 12 mTorr이고, RF power가 230 W일 때이었으며, 이때의 증착율은 0.6 Å/sec였다.

최종적으로 W과 SiO<sub>2</sub>를 각각의 최적의 조건으로 형성한 반사층의 단면을 SEM으로 측정한 결과를 그림 13에 나타내었다.

### 3.3 Al-Cu 전극의 특성

RF magnetron sputtering으로 증착된 Al-Cu 박막의 특성을 알아본 결과, 30 nm 정도의 입자가 매우 치밀하게 구성되어 있으며, 전기 비저항은 약  $1.86 \times 10^{-6} \Omega \text{cm}$  정도의 값을 나타내었다. 본 실험에서는 약 1500 Å 두께의 Al-Cu 박막을 상하부 전극으로 사용하였다.

### 3.4 FBAR 소자의 특성

그림 14에 제작된 FBAR 소자의 광학현미경 사진을 나타내었다. 공진기의 성능에 영향을 주는 요소로 공진면적에 대한 결과를 알기 위해  $50 \times 50 \sim 300 \times 300 \mu\text{m}^2$ 까지 다양한 크기의 공진 면적을 가지는 공진기를 제작하였다. 공진영역이 클수록 capacitance 특성이 우수하게 나타나고, 누설전류가 발생되어 공진 특성이 저하된다.

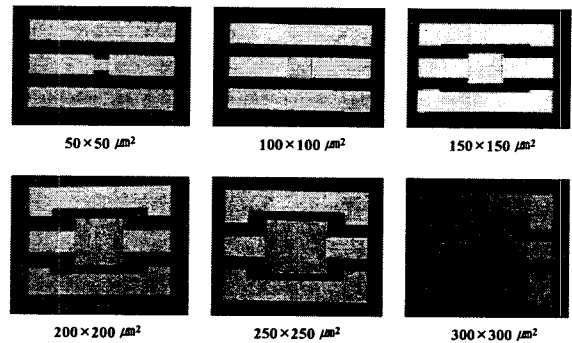


그림 14 공진면적에 따른 FBAR 소자의 광학현미경 사진.

Fig. 14 Optical microscope view of FBAR device according to resonance area.

그림 15, 16, 17과 같이 가장 우수한 특성을 나타낸, 공진면적이  $50 \times 50 \mu\text{m}^2$  크기일 때의 FBAR 소자의 공진특성을 보면, 중심 공진주파수 1.93 GHz에서 return loss( $S_{11}$ )가 -17.35 dB, 이때의 유효 전기기계 결합상수( $K^2_{eff}$ )는 2.38 %, 품질계수(Q)는 580 정도로 나타났다. 또한, 직렬공진과 병렬공진은 각각 1.925 GHz, 1.945 GHz에서 일어났으며, 이때 임피던스( $Z_{in}$ )는 각각 33 Ω과 45.7 Ω으로 측정되었다. two-step 구조로서 이전의 단일막 증착 방법을 이용하였을 때의 Q값이 280,  $S_{11}$ 이 -8 dB일 때 보다 더 우수한 특성을 나타내었다. 이는 SMR 구조의 소자 제작에 있어서 반사층과 압전층의 두께 조절이 다른 구조의 FBAR 소자에 비해 어렵다는 점을 감안하면 비교적 우수한 값을 나타내었으며, 향후 제작 공정 시 명확한 두께 조절을 통하여 개선될 것으로 판단된다.

4. 결 론

본 논문에서는 우수한 공진 특성을 지닌 FBAR 소자를 제작하기 위해서 RF sputtering에 의한 two-step 공정법을 이용함으로써 ZnO 압전 박막의 c축 우선배향성을 크게 증가시킬 수 있었다. 또한, FBAR 소자의 동작 주파수에 큰 영향을 미치는 음향 반사층과 전극의 두께 및 표면 거칠기를 고려함으로써 최적의 조건으로 ZnO 박막을 형성하였다.

압전 박막의 two-step 증착법을 채용함으로써 단일막 증착법보다 우수한 c-축 우선 배향성 및 표면 형상을 갖는 ZnO 박막을 증착할 수 있었다. 우수한 공진특성을 갖는 FBAR 소자를 제조하기 위해서는 반사층의 박막 두께를 오차범위 4% 이하로 정확하게 조절하는 것이 중요하며, 하부 전극에 가까운 반사층 일수록 그 두께 조절이 더욱 중요하다.

본 연구에서 최적의 조건으로 제작된 FBAR 소자의 공진 특성은 공진면적  $50 \times 50 \mu\text{m}^2$ 일 때, 중심 공진주파수 1.93 GHz에서 약 -17.35 dB의 return loss와 2.38%의  $k^2_{\text{eff}}$ , 580 정도의 Q값을 나타내었다.

각 공정마다 RF probe를 이용하여 플라즈마 공정 중 일어나는 모든 전기적 변수들을 실시간으로 관찰함으로써 정확한 실험변수를 각 시편마다 동일하게 적용하여 재현성 있게 공정을 진행 할 수 있었다.

참 고 문 헌

- [1] S. Horowitz and C. Milton, "Application of film bulk acoustic resonator", IEEE MTT-S digest paper, p. 165, 1992.
- [2] D. P. Morgan, "Surface-wave devices for signal processing", Elsevier, 1991.
- [3] J. F. Rosenbaum, "Bulk acoustic wave theory and device", Artech House, 1988.
- [4] B. A. Auld, "Acoustic fields and waves in solids", J. W. & Sons, 1973.
- [5] T. R. Sliker and D. A. Roberts, "A thin-film CdS-quartz composite resonator", J. Appl. Phys., Vol. 38, p. 3850, 1967.
- [6] K. M. Lakin and J. S. Wang, "UHF composite bulk wave resonator", IEEE Ultrason. Symp., 1980
- [7] 이재빈, "압전박막을 이용한 박막형 공진기소자의 제조", 서울대학교 박사학위논문, 2001.
- [8] 최병운, "압전 박막 공진기의 제작 및 특성연구", 한국과학기술원 석사학위논문, 1995.

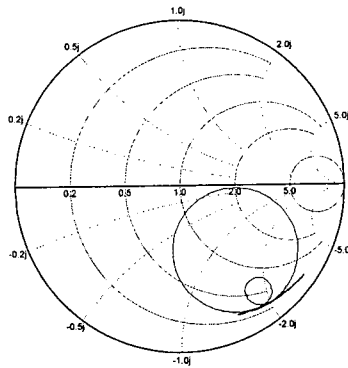


그림 15 제작된 FBAR 소자의 smith chart로 본 공진특성.  
Fig. 15 Resonance property of FBAR device on smith chart.

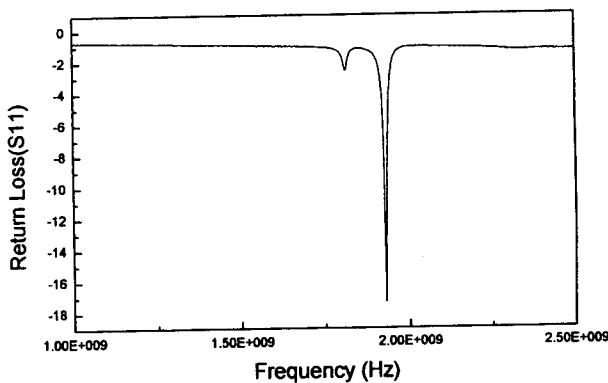


그림 16 제작된 FBAR 소자의 주파수에 대한 return loss 특성.  
Fig. 16 Return loss property of FBAR device according to frequency.

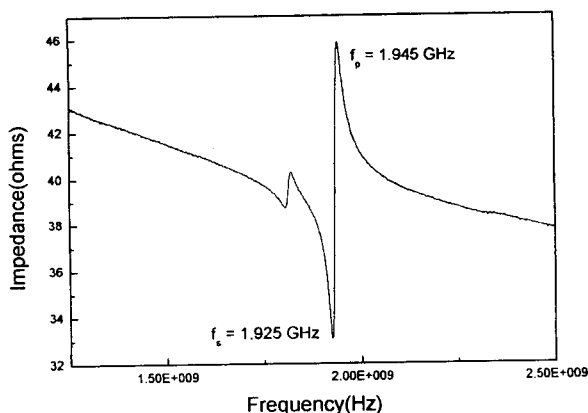


그림 17 제작된 FBAR 소자의 주파수에 대한 impedance 특성.  
Fig. 17 Impedance property of FBAR device according to frequency.

저 자 소 개



**박 성 현 (朴 成 賢)**

1975년 12월 5일생. 2001년 경원대 전자공학과 졸업. 2001~2002년 동 대학원 전기전자공학과 졸업(공석). 2003년~현재 동 대학원 전기전자공학과 박사과정.

Tel : 031-750-5475

Fax : 031-750-5318

E-mail : ttudolii@chol.com



**이 능 헌 (李 能 憲)**

1950년 5월 15일생. 1975년 서울대 물리교육학과 졸업. 1987년 인하대 대학원 전기전자공학과 졸업(공박). 1988년~현재 경원대 전기전자공학부 교수.

Tel : 031-750-5318

Fax : 031-750-5318

E-mail : nhlee@kyungwon.ac.kr



**추 순 남 (秋 順 男)**

1953년 1월 10일생. 1980년 명지대 전기공학과 졸업. 2002년 경원대 대학원 전기전자공학과 졸업(공박). 1993년~현재 경원전문대 전기제어시스템과 부교수.

Tel : 031-750-8614

Fax : 031-750-8614

E-mail : snchu@kwc.ac.kr