

## 반사층을 이용한 FBAR (SMR)의 제조

이재빈 · 광상현 · 김형준 · 박희대\* · 김영식\*

서울대학교 공과대학 재료공학부  
\*한국 삼성전기 주식회사 기술연구소

### Fabrication of FBAR(SMR) using Reflector

Jae Bin Lee, Sanghyon Kwak, Hyeong Joon Kim, Hee Dae Park\* and Young Sik Kim\*

School of Materials Science and Engineering, Seoul National University

\*Research Center, Korea Sangshin Electric Co., LTD

(1999년 8월 13일 받음, 1999년 10월 9일 최종수정본 받음)

**초 록** 본 실험에서는 반사층(reflector)을 이용한 FBAR(Film Bulk Acoustic Resonator) 즉, SMR(Solidly Mounted Resonator) 제조에 필요한 재료들의 최적 증착 조건을 설정하여, 이를 바탕으로 제조한 SMR의 특성을 보여주었다. SMR은 상하부 전극층, 압전 박막층, 반사층, 기판으로 구성된다. 상하부 전극으로 알루미늄(Al) 금속 박막을 사용하였고 압전 박막층으로 산화아연(ZnO) 박막을 사용하였다. 실리콘(Si) 기판과 하부 전극 사이에 위치하는 반사층은 5층의 이산화규소(SiO<sub>2</sub>)와 텅스텐(W) 박막으로 구성되었다. 상하부 전극은 dc 스퍼터링 방법으로 증착하였으며 반사층과 압전 박막층은 rf 스퍼터링 방법으로 증착하였다. 최적 증착 조건에서 증착된 산화아연(ZnO) 박막은 rocking curve에서 표준편차가 2.17°의 우수한 c축 우선배향성, 비저항은 10<sup>4</sup> Ωcm 이상, 막 표면 거칠기(rms roughness)는 10.6 Å의 특성을 나타내었다. 최적 증착 조건에서 증착된 텅스텐(W)과 이산화규소(SiO<sub>2</sub>) 박막의 특성은 막막 거칠기(rms roughness)가 각각 16 Å, 33 Å을 나타내었다. 또한 증착된 알루미늄 금속 박막의 비저항은 5.1 × 10<sup>-6</sup> Ωcm이었다. 반도체 기본 공정을 이용하여 면적 250 × 250 μm<sup>2</sup>의 SMR 소자를 만들고, 네트워 분석기로 SMR 소자의 공진 특성을 분석하였다. 공진특성은 1.244 GHz에서 직렬공진, 1.251 GHz에서 병렬공진을 나타내었다. SMR 소자의 공진특성에서 공진기의 Q값은 1200이었다.

**Abstract** An FBAR(Solidly Mounted Resonator) was fabricated using reflector layers which prohibit the penetration of bulk acoustic wave into substrate. The SMR consisted of top and bottom electrodes(Al films), a piezoelectric layer(ZnO film), reflector layers(W/SiO<sub>2</sub> films) and Si substrate. The electrodes were deposited by dc sputtering. The piezoelectric layer and the reflector layers were deposited by rf magnetron sputtering. The control of crystallinity, microstructures and electric properties of each layer was essential for attaining the optimum FBAR characteristics. Under the best deposition conditions for FBAR devices, the ZnO films had highly c-axis preferred orientation( $\sigma=2.17^\circ$ ), resistivity of 10<sup>4</sup> Ωcm, and surface roughness of 10.6 Å. On the other hand, the surface roughness of W and SiO<sub>2</sub> films was 16 Å and 33 Å, respectively, and the resistivity of Al film was 5.1 × 10<sup>-6</sup> Ωcm. The SMR devices were fabricated by the conventional semiconductor processes. In the resonance conditions of the SMR, the series resonance frequency(fs) and the parallel resonance frequency(fp) were 1.244 GHz and 1.251 GHz, respectively and the quality factor(Q) was 1200.

Key Words : FBAR, SMR, ZnO, Sputter

### 1. 서 론

최근 세계적으로 자동차 및 개인용 휴대 전화기는 매년 급속한 증가 추세를 보임에 따라 이동 통신 기기의 발달이 급속도로 진전되고 있다. 이러한 추세에 따라 최근 통신 부품의 고품질화 및 소형, 경량화가 절실히 요구되고 있다. 특히 RF 무선 이동 통신 기기의 핵심 부품 중의 하나가 필터이다. 현재 이동 통신 단말기에 사용중인 필터로는 유전체 공진기를 이용한 필터, SAW(Surface Acoustic Wave) 필터 등이 있다. 그렇지만 차세대 이동 통신 단말기 부품으로서의 필터에 있어서 소형화, 특히 MMIC(Monolithic Microwave Integrated Circuit)화, 저삽입손실화가

중요하다. 이러한 의미에서 FBAR(Film Bulk Acoustic Resonator, 특히 SMR)을 이용한 고주파용 대역 통과 필터는 차세대 RF 수동 대역 통과 필터로서 전망이 밝다. FBAR 박막형 필터는 Si 반도체, 유리 등의 기판 위에 ZnO, AlN 등의 압전 박막을 증착하고 증착된 압전체의 압전 특성을 이용하여 공진을 유발하는 박막 형태의 소자(FBAR)를 필터로 구현한 것이다. 이는 박막 소자이므로 저가격, 초소형이며 고품질계수(high Q)의 특성이 가능하다. 사용 가능한 주파수 대역은 900 MHz~10 GHz 정도로 무선 통신 기기, 군용 레이더 등에 사용 가능하다.

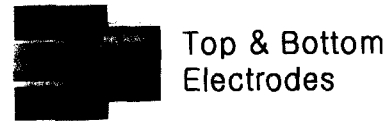
FBAR의 기본구조는 압전 박막층, 상하부 전극층, 그리고 공진 영역과 기판과의 격리층으로 구성된다. 여기에서

격리층의 역할이 매우 중요한데, FBAR 제조시 상하부 전극을 통해 전계가 인가될 때, 압전 박막층에서 생겨나는 음향파가 기판의 영향을 받지 않아야 고품질계수 (high Q) 를 가지는 공진기를 만들 수 있기 때문이다. 격리층의 관점에서, 초기에 주된 FBAR의 제조는 식각 공동 (etching cavity) 을 형성한 에어갭 (air gap) 형태의 공진기였는데, 이 방법은 공진 영역과 하부 전극 아래 부분에 있는 Si 반도체 기판 부분을 식각하여 공진 영역과 하부 전극을 기판으로부터 격리시킨다.<sup>1,2)</sup> 다른 방법으로는 희생층을 이용한 에어갭 형성 방법 등 여러 가지 방법들이 제시되었는데, 근본적으로 상하부 전극을 포함한 압전 박막의 공진 영역이 고체 물질 (기판) 과 격리되어 공기에 노출되게 하는 형태로 고품질계수 (high Q) 를 가진 공진기를 제조하려는 시도였다.<sup>3,4)</sup> 하지만 이러한 에어갭 형태의 공진기 제작 방법은 복잡하고 위험하며 낮은 내충격성으로 인한 소자 응용이 어렵고, 대량 생산시 수율이 낮다. 따라서 에어갭 역할을 대신하는 구조로서 반사층 (reflector) 을 도입하여 이전의 문제점들을 해결할 수 있다.<sup>5)</sup> 반사층 (reflector) 을 격리층으로 이용한 FBAR을 'SMR (Solidly Mounted Resonator)' 이라 한다. 본 실험에서는 반사층을 이용한 FBAR 즉, SMR을 제작하여 공진기 특성을 측정하고자 하였다.

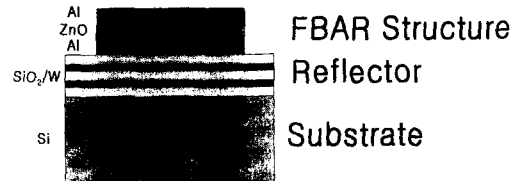
2. 실험 결과

SMR의 기본구조는 Fig. 1과 같다. 전극 재료로 Al 금속 박막, 압전 재료로 ZnO 박막, 반사층으로 SiO<sub>2</sub>와 W 박막, 기판으로 Si 웨이퍼를 사용하였다. 이러한 재료들을 증착하기 위해서 사용된 장비는 Fig. 2에 나타나있는 스퍼터링 장치이다. 스퍼터링 장치는 터보 펌프를 이용하여 10<sup>-6</sup> Torr까지 초기 진공을 낮출 수 있고, 아르곤 가스와 산소 가스를 사용할 수 있으며, 1개의 dc와 2개의 rf 전력공급기가 설치되어 3인치 타겟을 최대 3개까지 장착할 수 있다. 세부적인 실험 조건을 Table 1에 정리하였다. 압전 박막인 ZnO 박막과 반사층인 SiO<sub>2</sub>와 W 박막들은 rf 스퍼터링 증착 방법을 이용하여 증착하였으며, 전극인 Al 금속 박막은 dc 스퍼터링 방법을 이용하여 증착하였다. 모든 실험에서 기판은 회전시키지 않았으며, 타겟과 기판사이의 거리는 7.6 cm이었다. 고품질계수 (high Q) 의 공진기를 위해 각각의 박막층이 갖추어야할 박막의 특성들은 각각 다르다. ZnO 박막은 c축 우선배향성이 좋고 (rocking curve에서  $\sigma$

<6°), 표면이 평활하며, 비저항이 높은 박막을 얻는 것이다. 화학양론비를 맞추고 비저항을 높이기 위하여 ZnO 박막 증착시 스퍼터링 가스인 아르곤 가스에 산소 가스를 첨가하는 것이 필요하다. W와 SiO<sub>2</sub> 박막은 치밀하고 표면이 평활한 박막이어야 한다. 특히 W 박막은 응력이 생겨 박막이 파괴되기 쉬우므로 W 박막 증착시 낮은 응력을 가져야 한다. Al 금속 박막은 표면이 평활하고 낮은 비저항을 가지도록 하여야 한다. 이러한 조건들을 가진 막의 증착조건을 확립하기 위하여 dc와 rf 마그네트론 스퍼터링 장치를 이



(a)



(b)

Fig. 1. Schematic illustrations of SMR: (a) plane view and (b) cross-sectional view of SMR.

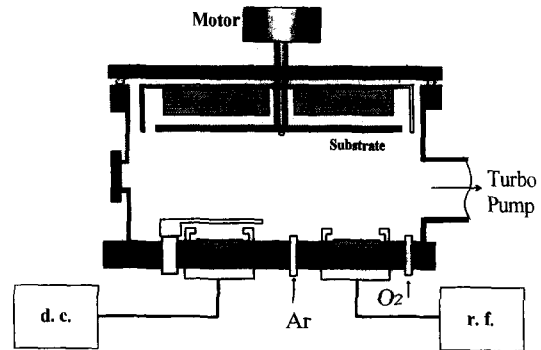


Fig. 2. Schematic illustration of the rf magnetron sputtering system.

Table 1. Deposition conditions for ZnO, W, SiO<sub>2</sub> and Al thin films.

Film	ZnO	W	SiO <sub>2</sub>	Al
Dep. System	rf magnetron sputter			dc sputter
Target Purity(%)	99.99			3% Cu
Gas	Ar+O <sub>2</sub>	Ar		
Power(W)	60~120	30~180	90~150	24~88
Pressure(m Torr)	5~20	5~40	10~50	5~30
O <sub>2</sub> Conc. (%)	0~75	0		
Substrate	SiO <sub>2</sub> /Si(100)		Si(100)	SiO <sub>2</sub> /Si(100)
Sub. Temperature(°C)	RT~200			
Distance between Sub. & Target(cm)	7.6			

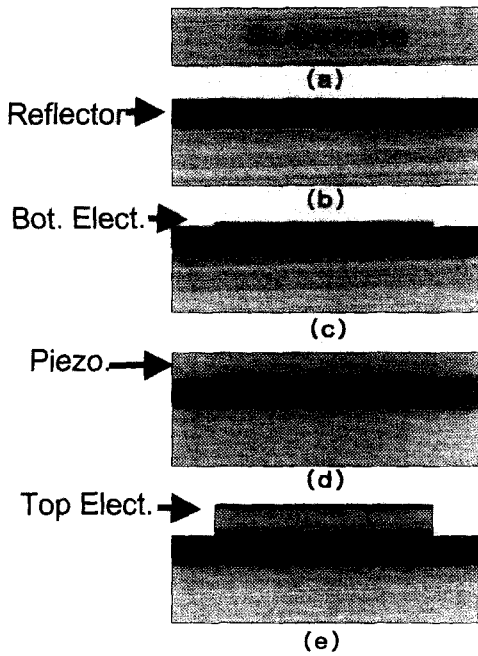


Fig. 3. Typical processing sequence of the SMR device.

용하여, 기판온도 상온~200 °C, 스퍼터링 가스 압력 5~40 mTorr, 산소분압 0~75 %, dc 전력 24~88 W, rf 전력 60~180 W에서 실험하였다.

증착된 박막들의 결정성, c축 우선배향성 및 우선배향성 정도를 분석하기 위해서 X-선 회절분석기 (X-ray diffractometer)를 사용하여  $\theta/2\theta$  scan과 rocking curve를 측정하였다. 분석에 사용된 기기는 일본 MacScience사의 M18XHF로 50 kV, 100 mA의 측정조건에서 파장 1.5418 Å의 Cu K $\alpha$ 선을 이용하였다. 주사 전자 현미경 (SEM)을 이용하여 증착된 박막의 표면과 단면 형상을 관찰하였고, AFM (Atomic Force Microscope)을 이용하여 증착된 박막 표면 거칠기 (rms roughness)를 구하고 표면의 형상을 관찰하였다. AFM 관찰 영역은 4×4  $\mu\text{m}^2$ 이었다. 증착된 박막의 두께는 stylus profiler type의 측정기구인 Tencor Instrument사의  $\alpha$ -step을 사용하였다. 증착된 박막의 면저항을 측정하기 위해서 4-point probe를 사용하였고, 측정된 면저항과 박막 두께로부터 증착된 박막의 비저항을 계산하였다.

본 실험을 통하여 설정된 최적화된 박막 증착 조건과 반도체 기본 공정을 이용하여 SMR 소자를 제조하였다. SMR 소자를 제조하는 흐름도는 Fig. 3에 나타나 있다. 우선 기판을 세정한 다음 반사층을 만든다. 반사층은 SiO<sub>2</sub> 박막층과 W 박막층을 교대로 전체가 5층이 되도록 증착하였으며 각 층의 증착 두께는 공진 기본 모드 파장의 1/4 $\lambda$ 에 해당한다. 반사층 증착시 스퍼터링 챔버내 각각의 타겟 홀더에 SiO<sub>2</sub>와 W 타겟을 장착하여, 진공이 유지된 상태에서 연속적으로 공정을 진행하였다. 반사층이 형성된 후 Al 금속 박막을 1500 Å 정도 증착하고 사진 식각 작업을 통하여 Al 금속 하부 전극을 형성하였다. 하부 전극이 형성된 기판을 사용하여 압전 재료인 ZnO 박막을 증착하였으며, 증착 두께는 공진 기본 모드 파장의 1/2 $\lambda$ 에 해당한다. 압전 박막층이 증착된 후 Al 금속 박막을 1500 Å 정도 증착한 후

사진 식각 공정을 통해 상부 전극을 형성하였다. 상부 전극인 Al 금속 식각시 ZnO 압전 박막층까지 식각시켰다. 이는 알루미늄 금속 식각 용액속에서 ZnO 박막의 식각 속도가 알루미늄 금속의 식각 속도보다 훨씬 빠르기 때문에 가능하였다. 완성된 SMR 소자를 네트워크 분석기를 이용하여 SMR 소자의 S11 (input reflection coefficient) 파라미터를 측정하였다.

### 3. 결과 및 토의

#### 3-1. 압전층 (ZnO 박막)의 증착

증착 변수의 변화에 따라 증착된 ZnO 박막의 증착 속도를 Fig. 4에 나타내었다. 일반적으로 고주파 마그네트론 스퍼터링 방법으로 박막을 증착하는 경우, 인가 전력의 증가에 따라 증착 속도는 직선적으로 증가했다. 인가 전력이 120 W인 경우 약 250 Å/min의 빠른 증착 속도를 보였다. 일반적으로 박막 증착시 증착 속도가 과도하게 증가하면 기관에 도달한 입자들이 평형 격자 위치로 이동하여 결정화되는데 필요한 시간을 갖지 못한 상태에 있게된다. 따라서 이후에 스퍼터링된 입자들이 증착되고 있는 박막의 표면에 도달하여 c축 우선배향성 및 결정성을 저하시키는 결과를 초래하며, 결정성과 c축 우선배향성의 향상을 위해서는 기관 온도 증가가 필요하다. 증착 압력이 높으면 증착 속도가 증가됨이 보였는데, 이는 일반적으로 보고되는 경향과는 상이하다. 증착 압력이 증가하면 타겟으로 입사하는 가스의 입자수가 증가한다. 이는 스퍼터링되는 타겟의 입자수를 증가시킨다. 반면에 평균 자유행로는 짧아져서 입자당 스퍼터링을 감소 및 스퍼터링된 입자의 산란이 증가한다. 일반적으로 증착 압력의 증가에 따라 증착 속도가 증가하다 감소한다. 또한 산소가스 함유량의 변화에 따른 증착속도의 변화가 Fig. 4에 나타나 있다. 산소가스 함유량이 25 %까지 증가시 증착 속도는 급속히 감소하다가 산소가스 함유량이 25 %이상 증가시 증착 속도는 완만히 감소한다. 결합 에너지를 고려하지 않으면 타겟에 충돌하는 입자와 스퍼터링되는 입자 사이의 에너지 전달은 두 입자의 질량이 비슷할 경우 최대가 되므로 산소가스가 없을 경우에 스퍼터링을

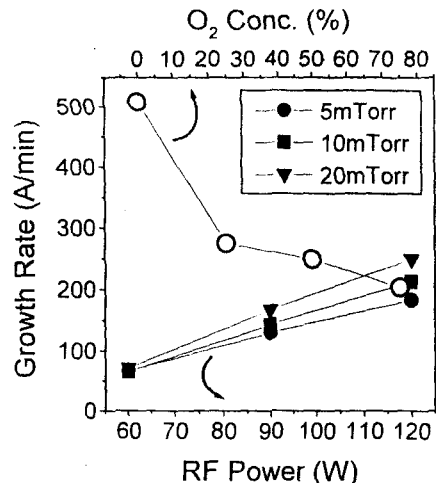


Fig. 4. Variation of growth rates of the ZnO films deposited under various deposition conditions.

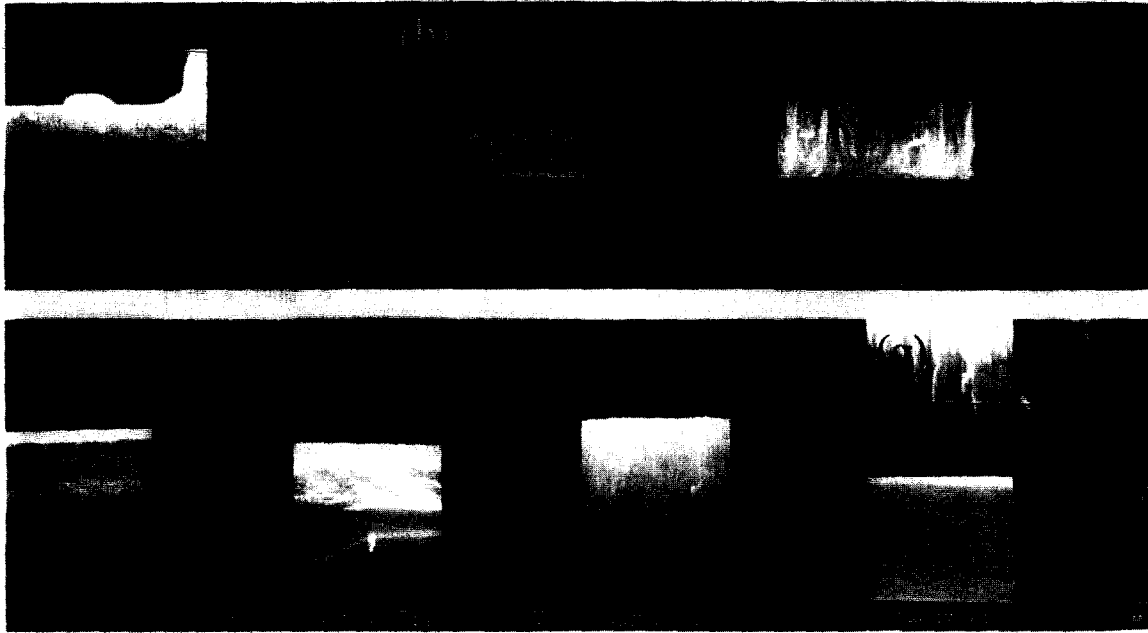


Fig. 5. SEM micrographs of the ZnO films, deposited under constant rf power of 120 W, constant O<sub>2</sub> ratio of 50 % with various pressures of (a) 5 mTorr, (b) 10 mTorr, and (c) 20 mTorr and deposited under constant pressure of 10 mTorr with various O<sub>2</sub> ratios of (d) 0 %, (e) 25 %, (f) 50 % and (g) 75 %.

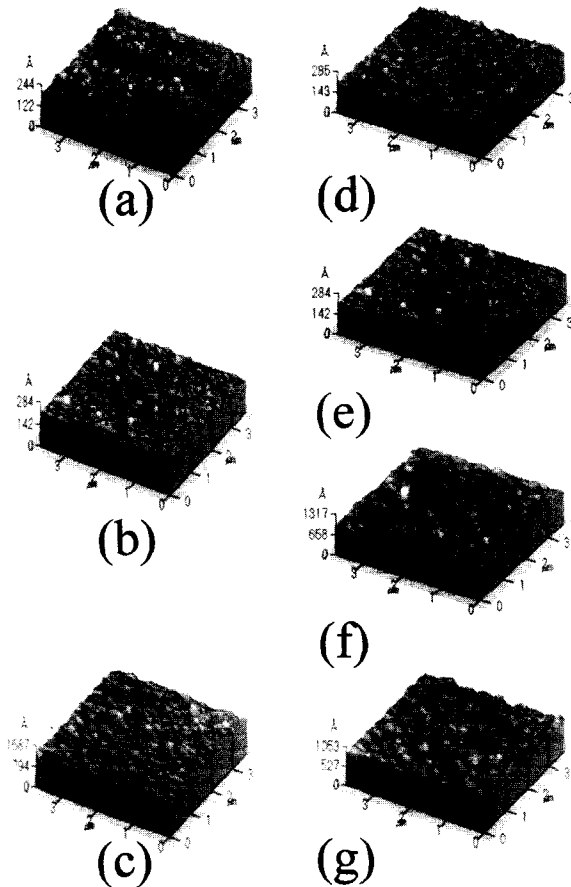


Fig. 6. AFM images of the ZnO films, deposited under constant rf power of 120 W, constant Ar/O<sub>2</sub> ratio of 50 % with various pressures of (a) 5 mTorr, (b) 10 mTorr, and (c) 20 mTorr and deposited under constant pressure of 10 mTorr with various O<sub>2</sub> ratios of (d) 0 %, (e) 25 %, (f) 50 % and (g) 75 %.

이 최대가 되어 증착 속도가 가장 높다. 그러나 산소가스의 함유량이 증가하면 타겟에서 스퍼터링되는 입자들의 양이 줄어 증착 속도는 감소한다. 이러한 현상은 많은 연구자들에 의해서 정성적으로 보고되었다. 특히 Barends<sup>6)</sup>는 ZnO 타겟을 이용한 스퍼터링에서 O<sub>2</sub>/Ar의 분압비가 초기 10 % O<sub>2</sub>까지는 개별적으로 스퍼터링되는 Zn, O의 양이 우세하다가 10 % 이상의 O<sub>2</sub>가 챔버 내로 주입될 경우 Zn, O 이외에 Zn-O 등의 응집체들이 함께 스퍼터링되어 산소가스 유입량이 증가할수록 증착 속도는 감소한다고 보고하였다.

Fig. 5와 Fig. 6에 SEM과 AFM을 이용하여 관찰한 증착 변수의 변화에 따라 증착된 ZnO 박막 시편의 표면과 단면 형상, 표면 거칠기를 나타내었다. 이 그림에서 증착 압력이 20 mTorr 이상이 되거나 산소가스 함유량이 25 % 이하에서 증착된 경우, 박막의 표면이 거칠어져 표면 거칠기 (rms roughness)가 50 Å 이상이었다. 이미 증착 속도를 통하여 예견되었듯이 산소가스 함유량이 적으면 증착 속도가 높아져 증착된 박막의 입경이 크며 주상구조 입체사이에 void가 많아 거친 표면을 갖는 구조를 갖게 된다. 이러한 구조의 박막은 표면 거칠기가 크므로 SMR의 압전 박막으로 사용하기 어렵다. rf 인가 전력 변화에 따라 증착된 ZnO 박막의 형상 변화는 큰 차이가 없었다. 증착속도까지 고려하여 본 실험에서 ZnO 박막의 최적 증착 조건을 rf 인가 전력 120 W, 증착 압력 10 mTorr, 산소가스 함유량 50 %으로 설정하였다. 특히 산소가스 함유량이 75 % 이상이면 등근 ZnO 입자가 생겼다. Fig. 7에 증착 변수의 변화에 따라 증착한 ZnO 박막의 XRD 결과를 나타내었다. ZnO (00\*2) 피크의 위치가 벌크 값에 비해 0.65° 정도 이동하였는데 이는 박막의 응력 때문이다. 환산된 응력의 크기는 대략 4GPa에 이른다. 증착 압력이 5 mTorr일 때 증착된 ZnO 박막은 결정성이 떨어지고, 증착 압력이 10 mTorr 이상이 되면 결정성 및 c축 우선배향성이 좋아졌다.

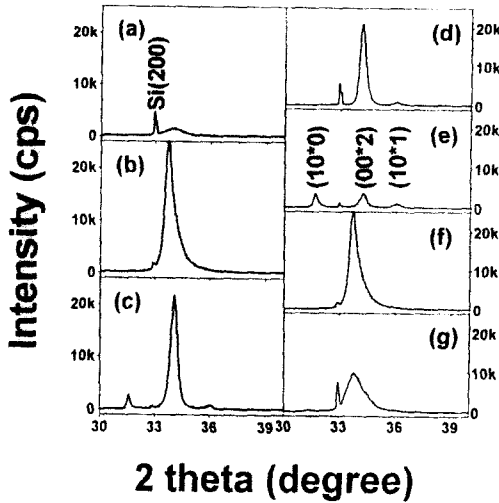


Fig. 7. Variation of XRD pattern of the ZnO films, deposited under constant rf power of 120 W, constant O<sub>2</sub> ratio of 50 % with various pressures of (a) 5 mTorr, (b) 10 mTorr, and (c) 20 mTorr and deposited under constant pressure of 10 mTorr with various O<sub>2</sub> ratios of (d) 0 %, (e) 25 %, (f) 50 % and (g) 75 %.

또한 rf 인가 전력에 따라서 c축 우선배향성은 바뀌지 않았다. 산소가스 함유량이 25 %일 경우 증착된 박막의 c축 우선배향성이 저하되었고 산소가스 함유량이 50 %일 경우에는 c축 우선배향성이 향상되었다. 최적 조건에서 증착된 박막의 경우, rocking curve의  $\sigma$ 값을 2.17°까지 얻을 수 있었다. 산소가스 함유량이 75 %로 높아지면 결정성이 저하됨이 관찰되었다. rf 인가 전력에 따른 결정성이나 c축 배향성의 변화는 주로 인가 전력에 의한 증착 속도 변화 즉, 속도론적 관점이나 스퍼터링되는 입자들의 종류 변화 즉, 박막의 조성 변화나 성장 단위에 의한 관점으로 설명한다. 전자의 경우는 일반적으로 다음과 같이 설명한다. 낮은 인가 전력의 경우 스퍼터링되어 기판에 도달하는 입자들의 운동 에너지(kinetic energy)가 낮아서 기판에 도달하는 입자들의 표면 이동도가 보장되지 않아 비정질 혹은 결정성이 좋지 않은 박막이 형성된다. 인가 전력을 증가시킬 경우 원자들의 표면 이동도를 충분히 증가시켜 우수한 결정질 박막을 증착할 수 있다. 또한 이 이상의 인가 전력의 증가는 증착 속도의 과도한 증가로 인하여 표면 원자들이 충분히 격자 평형 위치로 이동하지 못한 상태에서 이후에 스퍼터링되는 입자들이 기판에 도달하여 결정성을 저하시키게 된다. 이러한 관점을 고려할 경우 c축 우선배향성을 가지는 ZnO 박막의 증착에는 rf 인가 전력의 최적치가 존재한다. 최적 조건은 스퍼터링 재료, 챔버의 형태, 마그네트론의 자장 분포 및 크기 등 많은 인자들에 의해서 영향을 받을 수 있다. 증착된 ZnO 박막의 비저항을 측정했을 때, 산소함유량의 증가에 따라 ZnO 박막의 비저항 값이 직선적으로 증가하였다. 산소가스 함유량이 50 % 이상에서 4 point probe로 측정 상한 근처의 면저항을 가졌으며, 환산된 ZnO 박막의 비저항값은 10<sup>4</sup> Ωcm 이상이었다. 따라서 위의 결과들로부터, 본 실험에서 ZnO 박막의 증착 최적 조건은 rf 인가 전력 120 W, 증착 압력 10 mTorr, 산소가스 함유량 50 %이다. 이러한 증착 조건에서 ZnO 박막의 증착 속도는 213

Å/min이며, c축 우선배향성은 rocking curve에서  $\sigma$ 값은 2.17°로 양호하고, 표면 거칠기(rms roughness)는 10.6 Å, 박막의 비저항은 10<sup>4</sup> Ωcm 이상이었다.

3-2. 반사층(SiO<sub>2</sub>, W 박막) 증착

Fig. 8과 Fig. 9에 각각 SiO<sub>2</sub>와 W 박막에 대한 증착 압력과 rf 인가 전력의 변화에 따른 증착 속도를 나타내었다. 두 경우 모두 rf 전력 증가에 따라 증착 속도가 선형적으로 증가하였다. SiO<sub>2</sub> 박막 증착의 경우 증착 압력이 10 mTorr에서 50 mTorr로 증가함에 따라 증착 속도가 선형적으로 감소하고 있으며, W 박막의 경우 증착 압력에 따른 증착 속도의 변화는 미미하였다. XRD를 이용한 결정성 분석에서는 SiO<sub>2</sub> 박막의 경우 비정질이었으며, W 박막은 결정성을 지니고 있었다. 본 실험에서 W 박막 증착시 높은 응력으로 인하여 증착된 W 박막의 파괴가 일어났다. 응력은 증착 압력과 rf 전력의 변화에 따라 민감하게 변화하였다. 이를 Fig. 10에 간략히 나타내었다. 여기에서 정상각형은 W 박막에 발생한 높은 응력으로 인해, 일부 시편에서 박막이 떨어져나간 것을 의미한다. 원은 증착된 W 박막과 기관과의 접착력이 저하되어, 테입 테스트시 일부 시편에서 W 박막이 떨어져 나간 것을 의미한다. 전반적으로 rf 인가 전

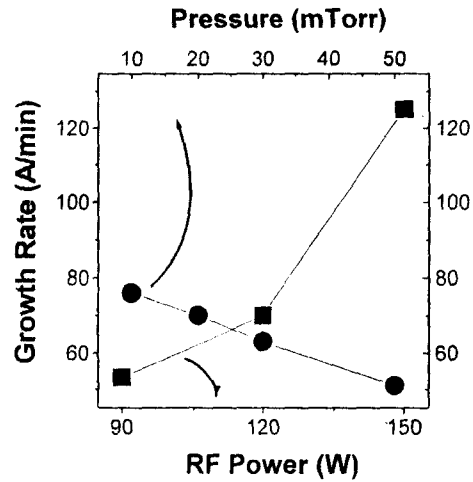


Fig. 8. Variation of growth rates of the SiO<sub>2</sub> films deposited under various deposition conditions.

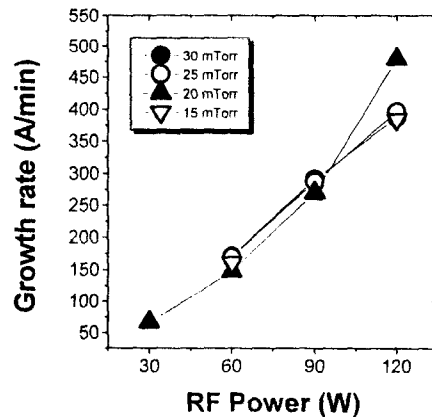


Fig. 9. Variation of growth rates of the W films deposited under various deposition conditions.

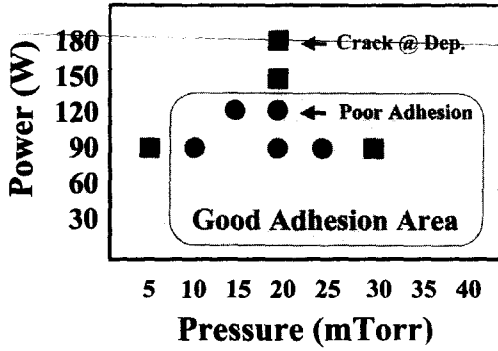


Fig. 10. Adhesion map of the W films deposited under various deposition conditions.

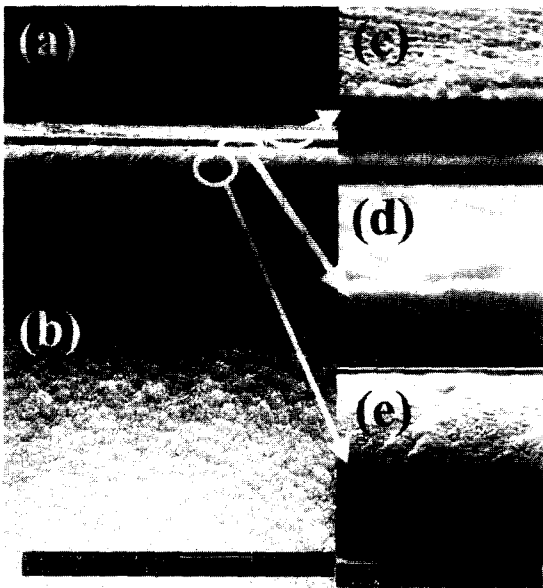


Fig. 11. SEM micrographs of the reflector structure which consists of W and SiO<sub>2</sub> films layers (a) cross sectional view, (b) plan view, (c) SiO<sub>2</sub> layer, (d) W layer and (e) SiO<sub>2</sub>/W interface.

력이 90 W 이하, 증착 압력이 10 mTorr 이상의 영역에서 접착력이 좋은 W 박막을 증착할 수 있었다. 그러나 rf 인가 전력이 150 W 이상이 되거나 증착 압력이 5 mTorr 이하가 되면 증착된 W 박막은 높은 응력이 발생하였다. rf 인가 전력 90 W, 증착 압력 20 mTorr 근처의 증착 조건에서 접착력이 좋지 않은 것들이 몇차례 발견되었는데 (원으로 표시), 이는 기판의 오염때문이었다. SiO<sub>2</sub>와 W 박막 증착시 여러 증착 변수들의 변화에 따른 결정성, 표면거칠기의 변화는 경미하였고 단지 증착 속도에 직선적인 변화가 나타났다. 또한 W 박막의 경우 응력에 큰 변화를 주었다. SiO<sub>2</sub> 박막의 최적 조건은 rf 인가 전력이 120 W, 증착 압력이 20 mTorr였으며, W 박막의 최적 증착 조건은 rf 인가 전력이 90 W, 증착 압력이 20 mTorr였다. 이러한 증착 조건에서 SiO<sub>2</sub>와 W 박막의 증착 속도는 각각 70 Å/min과 269 Å/min이고 표면거칠기(rms roughness)는 33 Å과 16 Å이었다. 위에서 선정된 최적 증착 조건에서 SiO<sub>2</sub>/Si(100) 기판위에 임의의 두께로 증착한 W과 SiO<sub>2</sub> 박막의 다층 구조의 표면과 단면 형상을 Fig. 11에 나타내

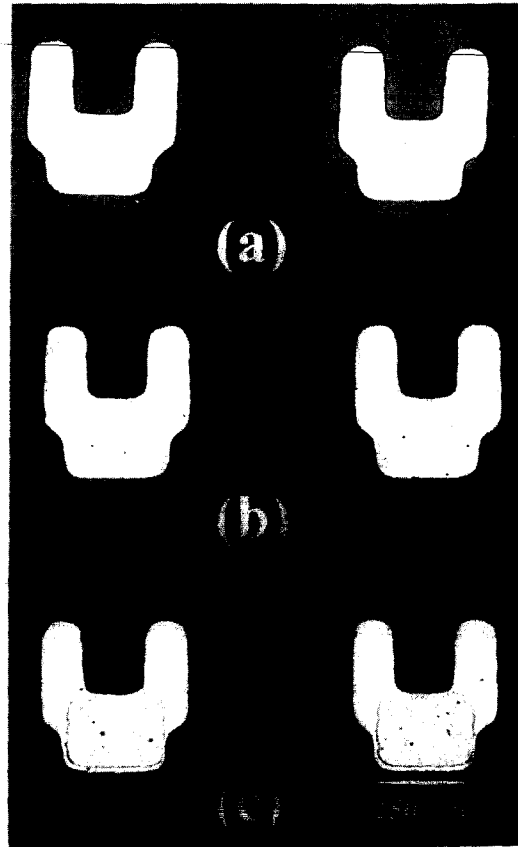


Fig. 12. Micrographs for processing sequence of SMR devices. (a) bottom electrodes, (b) piezoelectric layer and (c) top electrodes.

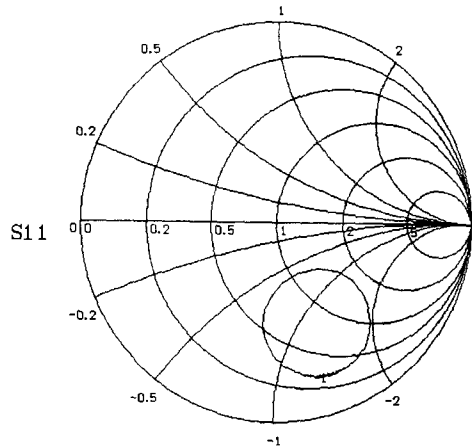


Fig. 13. The variation of S11 parameter of SMR device under frequency variation(from 1.2 GHz to 1.4 GHz).

었다. Fig. 11의 (a)와 (b)는 반사층의 단면과 표면의 형상을 각각 보여주고 있다. 단면 형상에서 두 물질간의 경계가 명확히 구분되고 표면 형상에서는 입경이 작고 고르게 되어있어 반사층에 적합한 형상이다. 특히 SiO<sub>2</sub> 박막은 둥글고 치밀하며 W 박막은 치밀한 주상구조로 반사층 구현에 적합한 미세구조이다.

3-3. 전극층 (Al 박막) 증착

Al 금속 박막의 증착은 dc 스퍼터링 방법을 이용하였다. 기판 온도는 상온~200 °C, 증착 압력은 5~30 mTorr.

인가 전압은 240~350 V (인가 전류는 0.05~0.25 A) 에서 증착하였다. 증착된 알루미늄 금속 박막의 비저항이 가장 낮은 값을 보이는 증착 조건은 기판 온도 200 °C, 인가 전압 312 V (전류 0.20 A), 증착 압력 10 mTorr, 타겟과 기판과의 거리 7.6 cm, 기판 회전 속도 15 rpm이었다. 이때 증착된 알루미늄 금속 박막의 증착 속도는 57.5 Å/min 이며, 비저항은  $5.1 \times 10^{-6} \Omega \cdot \text{cm}$ 이었다.

#### 3-4. SMR의 제조 및 특성

공정 중의 소자를 Fig. 12에 나타내었다. 반사층의 첫번째 산화막을 습식 산화하면 접착력이 향상되고 표면거칠기가 낮아 유리하였다. rf 마그네트론 스퍼터링 방법을 이용하여 SiO<sub>2</sub>와 W 박막 5층의 반사층을 형성하였다. 반사층 위에 알루미늄 금속 박막을 증착하였다. 알루미늄 금속 전극의 두께에 따라 공진 특성이 변할 수 있으므로 알루미늄 금속 전극의 두께를 1500 Å 이하로 조절하였다. 알루미늄 금속 박막이 증착되면 반도체 공정을 이용하여 하부 전극을 형성하였다. 하부 전극이 형성된 후 소자의 모습을 Fig. 12 (a)에 나타내었다. 하부 전극위에 압전 ZnO 박막을 증착하였다. 본 실험에서는 압전 ZnO 박막의 증착 후 계속 진공상태에서 연속공정으로 상부 전극용 알루미늄 금속 박막을 증착하였다. 압전 ZnO 박막까지 증착된 것을 Fig. 12의 (b)에 나타내었다. 상부 전극용 알루미늄 금속 박막을 증착한 후 반도체 공정을 이용하여 상부전극을 만들었다. 알루미늄 금속 박막을 습식 식각시 상부 전극이 형성되고 난 후에도 과잉 식각하여 하부 전극이 보이기 시작하면 식각을 중단하였다. 이러한 방법으로 제조된 SMR 소자를 Fig. 12 (c)에 나타내었다. 제조된 SMR소자의 S11 (input reflection coefficient) 특성이 Fig. 13에 나타나있다. 공진면적 250×250 μm<sup>2</sup>인 SMR 소자의 S11 파라미터 특성을 네트워크 분석기로 측정하였다. 측정 주파수 범위는 1.2 GHz에서 1.4 GHz이었다. 1.244 GHz에서 직렬공진, 1.251 GHz에서 병렬공진이 나타났고 공진기의 Q값은 1200이었다. 공진 주파수로부터 계산된 압전 ZnO 박막의 두께는 대략 2.44 μm이었다. 공진기의 품질계수(Q)를 더욱 높이기 위해서는 정확한 두께 조절, 그리고 다층 증착시 낮은 표면 거칠기, 하부 전극위에서 높은 c축 우선배향성을 지닌 ZnO 박막에 대한 연구가 필요하다.

#### 4. 결 론

SMR에 응용되는 압전 ZnO 박막은 rf 마그네트론 스퍼터링 방법으로 증착하였다. 최적 증착 조건은 기판온도 RT (상온), 타겟과 기판거리 7.6 cm, rf 인가 전력 120 W, 증착 압력 10 mTorr, 산소가스 함유량 50 %의 조건이었다. 이때 증착된 박막의 증착 속도는 213.3 Å/min, 표면거칠기(rms roughness)는 10.6 Å, rocking curve의 표준편차는 2.17°, 비저항은 10<sup>4</sup> Ω·cm 이상이었다.

반사층에 사용되는 SiO<sub>2</sub> 산화막은 rf 마그네트론 스퍼터링 방법으로 증착하였다. 최적 증착 조건은 기판 온도 200 °C, 타겟과 기판과의 거리 7.6 cm, 증착 압력 20 mTorr, rf 인가 전력 120 W 이었다. 이때 증착된 박막의 증착 속도

는 70 Å/min, 표면거칠기(rms roughness)는 33 Å 이었다. 단면 형상은 둥글고 치밀하며 비정질이었다.

반사층에 사용되는 W 박막은 rf 마그네트론 스퍼터링 방법으로 증착하였다. 용력이 적고 기판과의 우수한 접착력을 갖기 위해서는 rf 인가전력이 90 W 이하, 증착 압력이 10 mTorr 이상의 증착 조건이 요구되었다. 최적 증착 조건은 기판 온도 200 °C, 타겟과 기판과의 거리 7.6 cm, 증착 압력 20 mTorr, rf 인가 전력 90 W 이었다. 이때 증착된 박막의 증착 속도는 269 Å/min, 표면거칠기(rms roughness)는 16 Å 이었다. 증착된 박막은 치밀한 주상구조였고 결정질이었다.

상하부 전극 용도로 사용되는 Al 금속 박막의 증착은 dc 스퍼터링 방법을 이용하였다. 최적 증착 조건은 기판 온도 200 °C, 인가 전압 312 V (전류 0.20 A), 증착 압력 10 mTorr, 타겟과 기판과의 거리 7.6 cm, 기판 회전 15 rpm 이었다. 이때 증착된 알루미늄 금속 박막의 증착 속도는 57.5 Å/min이며, 비저항은  $5.1 \times 10^{-6} \Omega \cdot \text{cm}$ 이었다.

SMR은 상하부 전극, 압전층, 반사층, 기판으로 구성되었다. SMR의 제조는 반도체 기본 공정들을 이용하였다. 상부 알루미늄 전극을 이용하여 하부 전극이 나타나도록 압전 ZnO 박막층을 식각하였다. 공진면적 250×250 μm<sup>2</sup>의 SMR 소자를 제조하여, 네트워크 분석기로 S11 파라미터를 측정하였다. 1.244 GHz에서 직렬공진, 1.251 GHz에서 병렬공진을 나타냈으며 공진기의 Q값은 1200이었다.

#### 5. 감사의 글

이 논문은 공업기반기술개발사업의 지원을 받아 수행되었기에 이에 감사드립니다.

#### 참 고 문 헌

1. J. S. Wang, A. R. Landin and M. M. Lakin, "Low temperature coefficient shear wave thin films for composite resonators and filters," 1983 Ultrasonics Symposium, 491-494, 1983.
2. M. M. Driscoll, R. A. Moore, J. E. Rosebaum, "Recent advances in monolithic film resonator technology," 1986 Ultrasonics Symposium, 365-369, 1986.
3. G. R. Kline and K. M. Lakin, "Composite thin film UHF bulk acoustic wave resonators on GaAs," 1983 Ultrasonics Symposium, 495-497, 1983.
4. H. Satoh, H. Suzuki, C. Takahashi, C. Narahara and Y. Ebata, "A 400MHz one-chip oscillator using an air-gap type thin film resonator," 1987 Ultrasonics Symposium, 363-368, 1987
5. C. W. Seabury, P. H. Kobrin, R. Addison and D. P. Havens, "Thin film ZnO based bulk acoustic mode filters," IEEE MTT-S Digest, 181-184, 1997.
6. J. O. Barends, D. J. Leary, and A. G. Jordan, J. Electrochem. Soc., Vol. 127, 1636, 1980.