

## RF 마그네트론 스퍼터링에 의해 증착된 SMR 구조 FBAR 소자의 Bragg 반사층의 미세구조 특성에 관한 연구

박성현, 이순범, 이능현, 신영화  
경원대학교 전기전자공학과

### Micro structural characteristics of Bragg reflector of SMR type FBAR device deposited by RF magnetron sputtering

Sung-Hyun Park, Sun-Beom Lee, Neung-Heon Lee, Young-Hwa Shin  
Department of Electric and Electronics Engineering in Kyungwon University

**Abstract** - In this study, Bragg reflector was formed as tungsten(W) and SiO<sub>2</sub> deposited by RF magnetron sputtering according to variable conditions of RF power and working pressure to apply to the SMR type FBAR device, one of the next generation mobile communication devices. The micro-structural properties such as a crystal orientation, roughness and micro-structure were measured by XRD, AFM and SEM and the best condition of Bragg reflector was elicited with analyzing that results of the thin films about each conditions. Finally, FBAR device was fabricated with applying the Bragg reflector was formed on the best condition and measured the resonance properties and compared other research and considered it.

하였다. 각 반사층 박막의 증착압력은 10~15 mTorr, RF 인가전력은 200~300 W로 변화시켰다. 증착된 박막의 미세구조 및 두께를 측정하기 위해  $\alpha$ -step(Tencor), XRD(Rigaku, D-MAX2200), SEM(Hitachi, S-4700)과 AFM(PSIA, XE-150)을 이용하였다.

FBAR 소자의 제작은 RF 마그네트론 스퍼터링 법으로 SiO<sub>2</sub>(7000 Å)와 W(7000 Å)을 5층 구조로 증착하여 반사층을 형성하였고, Al(1850 Å)을 증착하여 상하부전극을 형성하였으며, ZnO(14000 Å)을 증착하여 압전박막을 형성하였다. 최종적으로 network analyzer(Agilent, E8364A)를 이용하여 소자의 공진특성을 측정하였다. 그림 1에 SMR 구조의 FBAR 소자 제작 공정도를 나타내었다.

### 1. 서 론

최근 IT산업의 발전과 함께 차세대 이동통신용 소자에 대한 관심이 높아지면서 800 MHz ~ 5 GHz 대역의 필터소자에 대해 소형화, 경량화, 고기능화, 고품질화, 저가격화가 요구되어지고 있고, 특히 단말시스템 부품의 MMIC화 기술개발이 필연적이다. 기존의 유전체필터나 SAW필터 보다 FBAR 필터 및 이를 이용한 듀플렉서는 크기가 수십 배 이상 작으며, 일반적인 반도체 IC기술을 이용하므로 대량생산이 가능하여 저가격화를 이룰 수 있다.

FBAR 소자 중 SMR 구조의 FBAR 소자의 경우 membrane이나 air-gap 형태의 소자에 비해 내충격성이 매우 뛰어나다. 그러나 우수한 공진특성을 가지는 소자 제작을 위해서는 반사층의 두께를 음향학적 파장의  $\lambda/4$ 로 정확히 맞추어야 한다. 반사층의 두께를 정확히 조절하지 못하면 유효 음향학적 임피던스는 증가하게 되며 유효 음향학적 임피던스의 최소점을 나타내는 공진 주파수도 변화하며, 공진기의 품질계수(Q)도 감소하게 된다. 또한 다층박막의 형성 시 박막내의 잔류응력이 문제가 되며 표면 거칠기에 의한 탄성파산란의 발생으로 공진특성의 저하를 가져오게 된다.<sup>[1],[2]</sup>

본 연구에서는 SMR 구조의 FBAR 소자에 적용하기 위해 RF 마그네트론 스퍼터링 법을 이용하여 RF 전력 및 증착 압력을 변화시키며 의 Bragg 반사층을 형성 각 조건별 박막의 구조적 특성을 분석하였다.

### 2. 실험방법

본 연구에서는 4인치 크기의 순도 99.99%의 W와 SiO<sub>2</sub> 타겟을 이용하여 RF 마그네트론 스퍼터링 법으로 Bragg 반사층을 형성하였다. 기판으로는 p-type Si(100)을 이용하였으며 챔버의 초기 압력은  $4 \times 10^{-6}$  Torr, 기판 온도는 상온, 타겟과 기판사이의 거리는 12.5 cm로 유지

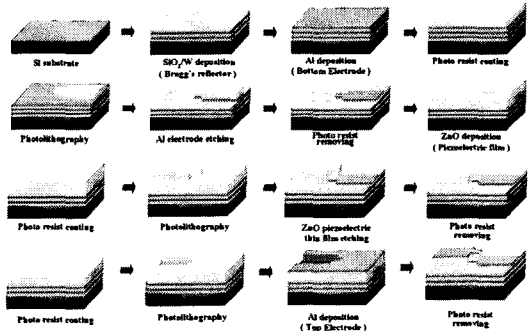


그림 1. SMR 구조의 FBAR 제작 공정도.

### 3. 결과 및 고찰

#### 3.1 SiO<sub>2</sub>의 특성

본 실험에서는 RF 마그네트론 스퍼터링법으로 RF 인가전력과 증착 가스 압력에 따른 SiO<sub>2</sub> 박막의 구조적 특성을 알아보기 위해 p-Si(100) 기판 위에 증착하였다. 그림 2에는 증착압력을 12 mTorr로 고정하였을 때, RF 인가전력에 따른 SiO<sub>2</sub> 박막의 증착율과 표면 거칠기를 그 그래프로 나타내었고, 그림 3에는 표면 AFM 사진을 나타내었으며, 그림 4에는 표면 SEM 사진을 나타내었다. RF 인가전력이 증가함에 따라 증착율도 비례적으로 증가하였고, 거칠기는 230 W에서 가장 좋은 결과를 나타냈다. 일반적으로 RF 전력이 증가하면 스퍼터링되는 입자의 수와 크기가 증가하기 때문에 증착율은 증가하는 반면 거칠기는 입자크기의 불안정으로 높아지는 경향을 나타낸다. RF 인가전력이 300 W일 때 거칠기가 낮아지는 것은 기판 영역에서 과도한 운동에너지가 가진 플라즈마 입자에 의해 역 스퍼터링 현상이 발생한 것으로 생각된다. 그림 5에는 RF 인가전력을 250 W일 때, 증착압력에 따른 SiO<sub>2</sub> 박막의 증착율과 표면 거칠기를 그래프

로 나타내었고, 그림 6에는 표면 AFM 사진을 나타내었으며, 그림 7에는 표면 SEM 사진을 나타내었다. 증착압력이 증가함에 따라 증착율은 감소하였으나, 박막의 표면 거칠기는 좋아졌으며, 고른 입자분포를 나타내었다. 일반적으로 증착 가스 압력이 증가하면 플라즈마 내의 입자간의 충돌 확률이 증가하여 입자의 수가 증가하고 크기는 감소하게 된다. 또한 입자의 운동에너지가 감소하여 증착율과 거칠기가 작아지는 경향을 보인다. 본 실험에서도 같은 결과를 보였다.

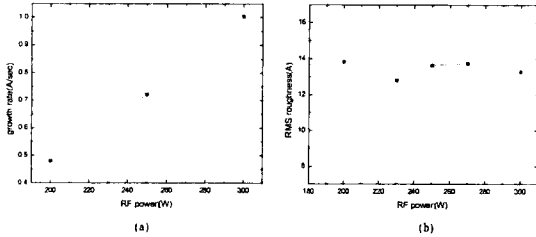


그림 2. RF 인가전력에 따른 SiO<sub>2</sub> 박막의 증착율과 거칠기.

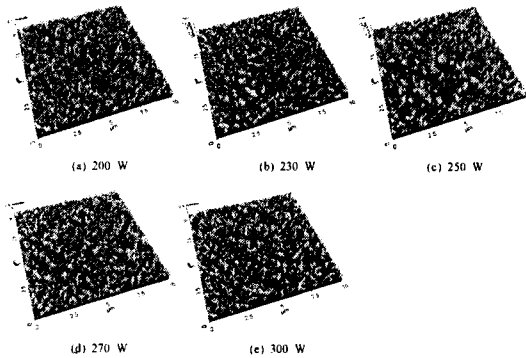


그림 3. RF power에 따른 SiO<sub>2</sub> 박막의 AFM 사진.

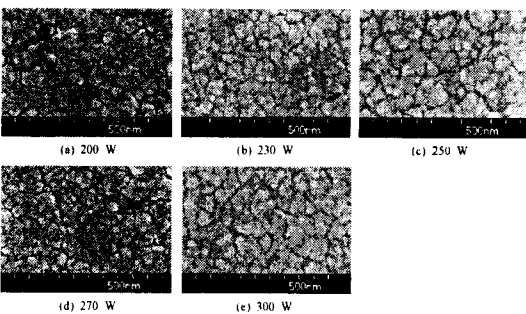


그림 4. RF power에 따른 SiO<sub>2</sub> 박막의 SEM 사진.

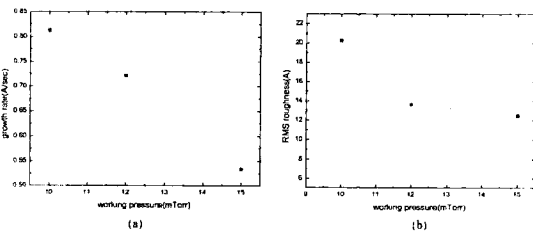


그림 5. 증착압력에 따른 SiO<sub>2</sub> 박막의 증착율과 거칠기.

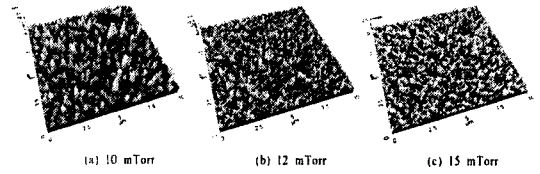


그림 6. 증착압력에 따른 SiO<sub>2</sub> 박막의 AFM 사진.

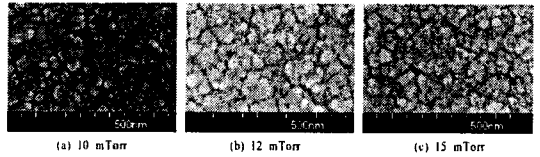


그림 7. 증착압력에 따른 SiO<sub>2</sub> 박막의 SEM 사진.

### 3.2 W의 특성

본 실험에서는 RF 마그네트론 스퍼터링 법으로 RF 인가전력과 증착 가스 압력에 따른 W 박막의 구조적 특성을 알아보기 위해 SiO<sub>2</sub>(3000 Å)/p-Si(100)에 증착하였다. 가스 증착 압력을 20 mTorr로 고정하였을 때 RF 인가전력에 따른 W 박막 특성을 알아본 결과 RF 인가전력이 100 W 이상에서 박막에 균열이 발생하였다. 이는 기판으로 쓰인 SiO<sub>2</sub> 박막과 증착된 W 박막의 내부 응력의 차이에 의해 발생한 것으로 생각된다. 하지만 RF 인가전력을 230 W로 고정하였을 때 증착압력을 6~12 mTorr로 변화시키며 증착한 결과, 증착압력이 6 mTorr 일 때 박막의 균열이 발생하지 않았으며, 박막의 거칠기가 약 5.79 Å를 나타냈다. 그림 8에 증착조건에 따른 W 박막의 SEM 사진과 그림 9에 AFM 측정결과를 나타내었다.

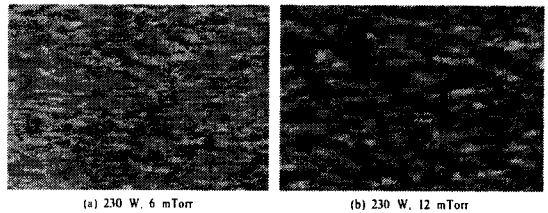


그림 8. 증착조건에 따른 W 박막의 SEM 사진.

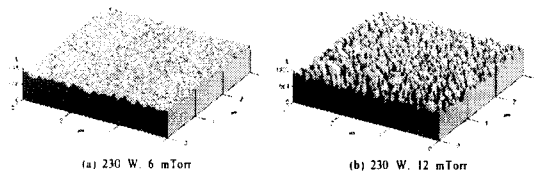


그림 9. 증착조건에 따른 W 박막의 AFM 사진.

### 3.3 FBAR 소자의 특성

본 실험에서는 RF 마그네트론 스퍼터링 법으로 SiO<sub>2</sub>(230 W, 12 mTorr)와 W(230 W, 6 mTorr)을 5층 구조의 형태로 번갈아 증착하여 Bragg 반사층을 형성한 후, 상·하부전극(AI)과 압전층(ZnO)을 증착한 뒤, 그림 1의 공정도와 같이 lift-off 법으로 FBAR 소자를 제작하였다. 최종적으로 소자의 공진특성을 network analyzer로 측정하였다. 그림 10에 형성된 Bagg 반사층의 단면을 SEM으로 측정하여 나타내었다. 일반적으로 챔버 내의 진공을 깨지 않고 연속적으로 각기 다른 물질을 증착하여 다층의 박막을 형성하는 in-situ 공정을 진행할 경우 반사층 내 각 층의 두께가 AI 하부전극에 가까워질수록

록 두께가 증가하는 현상을 보인다. 하지만 본 실험에서는 증착 시간상의 조절을 통하여 각 층의 두께를 7000 Å에 근접시켰다. 그림 11에는 network analyzer로 측정된 FBAR 소자의 공진 특성을 smith chart로 나타내었다. 그림 12에는 FBAR 소자의 주파수에 대한 임피던스 특성을 나타내었다. 그림 13에는 FBAR 소자의 주파수에 대한 반사손실( $S_{11}$ ) 특성을 나타내었다. FBAR 소자의 공진면적은  $50 \times 50 \text{ } \mu\text{m}^2$  크기일 때, 중심 공진주파수 1.93 GHz에서 반사손실( $S_{11}$ )가 -17.35 dB, 이때의 유효 전기기계 결합계수( $k_{\text{eff}}^2$ )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. 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 상 반사층 형성 시에 더욱 명확한 두께 조절과 정확한 박막의 미세구조 특성 분석을 통하여 향상될 것으로 판단된다.

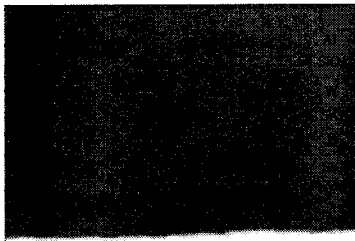


그림 10. 증착된 반사층의 단면 SEM 사진.

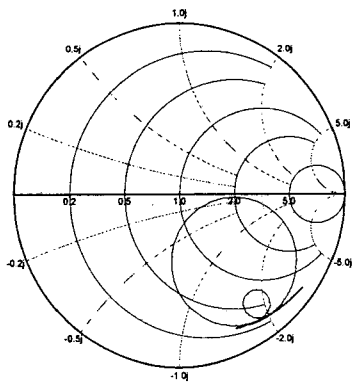


그림 11. FBAR 소자의 smith chart로 본 공진특성.

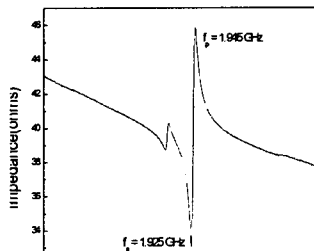


그림 12. FBAR 소자의 주파수에 대한 임피던스 특성.

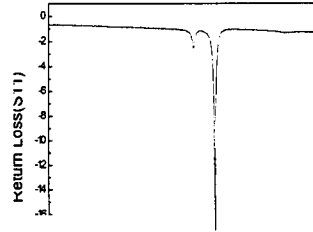


그림 13. FBAR 소자의 주파수에 대한 반사손실( $S_{11}$ ).

#### 4. 결 론

본 연구에서는 SMR 구조 FBAR 소자의 특성에 큰 영향을 미치는 Bragg 반사층, 즉  $\text{SiO}_2$ 와 W 박막의 구조적 특성을 분석하여 보다 정확한 두께와 우수한 특성을 가진 반사층을 RF 마그네트론 스퍼터링 법으로 형성하였다.  $\text{SiO}_2$ 의 경우 RF 인가전력의 증가에 따라 박막의 특성이 크게 변화하지 않았으나, 증착 가스 압력이 증가함에 따라 박막은 표면 거칠기가 낮아졌다. W의 경우 증착 가스 압력이 높을 경우, RF 인가 전력에 상관없이 균열과 벗겨짐 현상이 나타났다. 하지만 증착 가스 압력이 6 mTorr일 때, 균열과 벗겨짐 현상이 일어나지 않고 약 5.79 Å 정도의 우수한 표면 거칠기를 보였다. 최종적으로 lift-off 공정을 이용하여 제작한 FBAR 소자의 공진특성을 측정된 결과, 중심 공진 주파수 1.93 GHz에서 반사손실( $S_{11}$ )이 -17.35 dB, 이때의 유효 전기기계 결합계수( $k_{\text{eff}}^2$ )는 2.38%, 품질계수(Q)는 약 580 정도로 나타났다. 이는 다른 구조의 FBAR 소자에 비해 제작 공정이 매우 까다로운 점을 감안하면 우수한 특성을 나타낸 것으로 보인다.

#### [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] 이재민, "압전박막을 이용한 박막형 공진기소자의 제조", 서울대학교 박사학위논문, 2001.
- [8] 최병운, "압전 박막 공진기의 제작 및 특성연구", 한국과학기술원 석사학위논문, 1995.