

## ALD와 RF 마그네트론 스퍼터링을 이용한 FBAR 소자의 ZnO 박막증착 및 특성

### Characteristics of ZnO Thin Films of FBAR using ALD and RF Magnetron Sputtering

신영화<sup>1,a</sup>, 권상직<sup>1</sup>, 윤영수<sup>2</sup>

(Young-Hwa Shin<sup>1,a</sup>, Sang-Jik Kwon<sup>1</sup>, and Young-Soo Yoon<sup>2</sup>)

#### Abstract

Piezoelectric ZnO thin films were for the first time formed on SiO<sub>2</sub>/Si(100) substrate using 2-step deposition, atomic layer deposition(ALD) and RF magnetron sputtering deposition, for film bulk acoustic resonator(FBAR) applications. The ZnO buffer layer by ALD was deposited using alternating diethyl zinc(DEZn)/H<sub>2</sub>O exposures and ultrahigh purity argon gas for purging. The ZnO films by 2-step deposition revealed stronger c-axis-preferred orientation and smoother surface than those by the conventional RF sputtering method. The solidly mounted resonator(SMR)-typed FBAR fabricated by using 2-step deposition method revealed higher quality factor of 580 and lower return loss of -17.35 dB. Therefore the 2-step deposition method in this study could be applied to the FBAR device fabrication.

**Key Words** : ZnO, 2-step deposition, Film bulk acoustic resonator(FBAR), Atomic layer deposition(ALD), RF magnetron sputtering

#### 1. 서론

최근 개인 이동통신 시스템에 대한 소비자의 수요가 폭발적으로 늘어나 휴대용 이동통신 시스템이 중요한 전자산업분야로 각광을 받고 있다. 시스템의 소형화와 대량 생산 및 성능 향상을 위하여 고주파 단일 집적회로(Monolithic Microwave Integrated Circuit, MMIC)화가 필수적이며 이를 위한 RF필터와 듀플렉스의 집적화를 위하여 가장 근접된 기술로 알려진 것이 반도체 박막기술을 이용한 박막형 체적 음향파 공진기(Film Bulk Acoustic

Resonator, FBAR)필터 기술이다. FBAR 필터 기술은 반도체 기판인 실리콘(Si)이나 갈륨비소(GaAs) 기판 위에 압전 유전체물질(ZnO, AlN, CdS 등)을 직접 증착해 압전 특성을 이용하여 공진을 유발 시키는 박막 형태의 소자를 필터로 구현한 것이다[1,2].

ZnO는 우수한 전기적, 광학적, 그리고 탄성파적인 성질 때문에 많은 응용 분야에 있어서 관심을 끌고 있으며, 본 연구에서는 ZnO를 압전 유전체 물질로 사용하였다. 이동 통신에 쓰이는 우수한 성능의 FBAR 소자 제조를 위해서는 압전 박막의 c-축 우선 배향성을 조절하는 것이 매우 중요하다[3-5]. 본 연구에서는 이러한 c-축 우선 배향성을 높이기 위하여 원자층 증착(Atomic Layer Deposition, ALD)법에 의한 ZnO 완충층(buffer layer)를 증착하고, RF 마그네트론 스퍼터링법에 의해 ZnO 압전층을 증착하는 2-step 증착 방법을 사용하였다. ALD법은 정확한 두께 조절, 균일성, 그리고

1. 경원대학교 전기전자공학부  
(경기도 성남시 수정구 목정동 신65)  
2. 건국대학교 신기술융합학과  
a. Corresponding Author : yhshin@kyungwon.ac.kr  
접수일자 : 2004. 12. 7  
1차 심사 : 2005. 1. 11  
심사완료 : 2005. 1. 14

우수한 물성을 지닌 박막을 얻을 수 있기 때문에 메모리나 반도체 산업에서 관심을 가지고 연구되고 있는 화학기상 증착(Cheical Vapor Deposition, CVD)의 일종으로 가장 최신 기술이라고 할 수 있다.

본 논문에서는 ZnO 박막의 c-축 배향성이 우수하고 표면이 평활한 박막을 얻기 위하여 ALD와 RF 마그네트론 스퍼터링법을 이용한 2-step 방법을 이용하였으며, 또한 FBAR 소자에 응용하여 공진 특성을 살펴보았다.

## 2. 실험 방법

본 연구에서는 고상 적층 공진기(Solidly Mounted Resonator, SMR)타입의 FBAR을 제작하여 2-step 증착방법에 의한 ZnO 박막의 압전물질에 대한 특성을 고찰하였다. SMR 타입의 FBAR의 구조는 그림 1과 같고 Al/SiO<sub>2</sub>/W/SiO<sub>2</sub>/W/SiO<sub>2</sub>/Si의 5층구조의 Braggs 반사기(Braggs reflector)를 제작하고 그 위에 하부전극으로 3 Wt% Cu Al전극을 증착하고 하부전극위에 ALD를 이용한 ZnO buffer layer를 증착하고 다시 ZnO압전층을 RF 마그네트론 스퍼터를 이용하여 증착을 하였다. ZnO Buffer layer를 증착하기 위해 diethyl zinc(DEZn)/H<sub>2</sub>O를 원료물질로 사용하였고, 정화개스(purge gas)로는 Ar가스를 사용하였다. 원료물질의 공급시간은 0.5~2초까지 0.5초 간격이며, Ar 가스를 이용한 purge time은 3~30초까지 변화시켜 가면서 실험을 하였다. 기판온도는 150~225 °C, 그리고 챔버(chamber) 내의 압력은 0.4~1.3 Torr로 변화시키면서 ZnO buffer layer를 증착하였다. ZnO 압전 박막은 RF 마그네트론 스퍼터링 방법으로 증착하였으며 이 때 Ar/O<sub>2</sub>의 조성비는 1:1, 증착압력은 15 mTorr, RF power는 265 W에서 증착하였다.

증착된 박막들의 c-축 우선 배향성 및 우선 배향성 정도를 분석하기 위해서 X-선 회절분석기(X-ray Diffractometer, XRD)를 사용하여 록킹 커브(rocking curve)를 분석하였고, 증착된 박막의 표면 형상을 분석하기 위해서 주사 전자 현미경(Scanning Electron Microscopy, SEM)을 사용하였다. 마지막으로 제작된 공진기의 주파수 특성을 알아보기 위하여 Agilent사의 E8364A Network analyzer와 Cascade사의 9000 analytical probe station을 이용하였으며 측정 포인트는 1600회 이었고, 측정 주파수는 1 GHz~2.5 GHz 이었다.

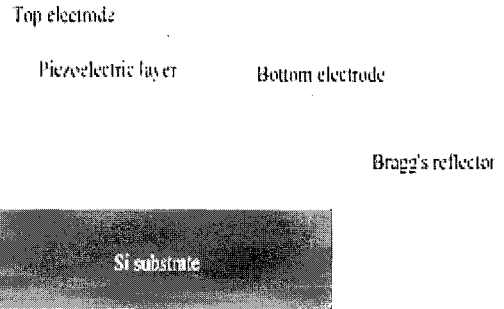


그림 1. SMR 타입의 FBAR 구조.

Fig. 1. Schematic diagram of a SMR-type FBAR resonator.

## 3. 실험 결과

### 3.1 ALD 박막 성장 조건

ALD는 원료 공급 주기 안에서 각 원료의 공급이 충분하면 기판 표면의 형상에 관계없이 매 원료 공급 주기마다 일정한 두께의 막이 형성된다. 막의 성장속도는 시간이 아니라 원료 공급 주기의 수만에 비례할 뿐 원료공급량, 유량 등의 공정 조건에 민감하지 않기 때문에 얇은 막의 두께를 정밀하게 제어할 수 있다.

그림 2는 SiO<sub>2</sub>/Si 기판 위에 200 주기 동안 ZnO 박막을 200 °C에서 증착하면서 DEZn 공급 시간(exposure time)에 따른 ZnO 박막의 성장속도를 나타낸 것이다. DEZn의 공급 시간이 1초 이상에서는 주기당 박막의 성장 속도가 ZnO (002) 면의 면간거리인 1.97 Å와 거의 유사한 2.02 Å로 일정하였다. 이는 자기 제한적 반응에 의해 한 주기당 한층의 (002) 면이 성장되었음을 의미한다.

그림 3은 purge time에 따른 ZnO 박막의 성장속도를 나타내었다. 일반적으로 알려진 것처럼 ALD 프로세스를 이용하였을 때 박막의 성장이 매우 느리기 때문에 100 Å 이상의 박막을 증착할 경우 많은 시간이 소요된다. 따라서 본 연구에서는 증착 시간을 줄이기 위하여 적은 시간에 최적의 purge time을 찾기 위해 원료물질의 공급시간을 1초로 고정시키고, 3~30초간 purge time을 변화시켜 가면서 실험을 하였다. 기존의 연구결과에서는 purge time은 보통 7~10초 사이였는데, 본 실험에 쓰인 장비는 결과에서 볼 수 있듯이 23초 이상이 되어야 ALD 반응이 일어났다.

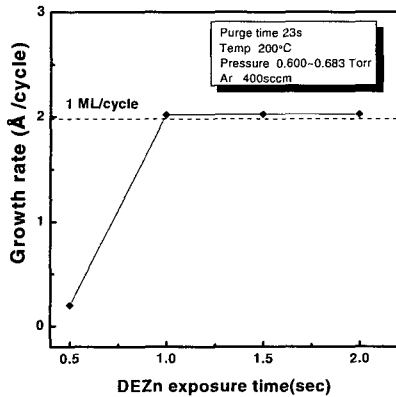


그림 2. DEZn exposure time의 변화에 의한 ZnO 박막 증착속도.

Fig. 2. Growth rates of ZnO thin films as a function of DEZn exposure time.

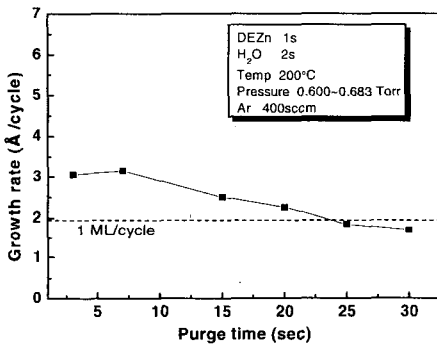


그림 3. Purge time의 변화에 의한 ZnO film 증착 속도.

Fig. 3. Growth rates of ZnO thin film as a function of purge time.

그림 4는 기판 온도 변화에 따른 증착속도를 나타낸 그래프이다. 원료의 exposure time을 1초로 하고 반응물질간의 purge time을 23초, 압력은 0.600~0.683 torr에서 실험하였다. ALD 반응온도는 보통 200~400 °C 이라고 하는데 증착온도가 너무 높으면 화학적 결합이 지속되지 못하거나 화학반응 영역의 밀도가 감소하여 박막 증착속도가 감소한다. 반면 증착속도가 너무 낮으면 화학적 흡착과 막 형성 반응이 열적으로 활성화되기 때문에 증착속도는 증가한다. 본 실험에서는 150~225 °C 까지의 범위에서 실험을 하였는데 그림에서 보는 것과 같이 200 °C까지는 증착속도가 감소하다가 200 °C~215 °C 구간에서 포화상태가 되었다.

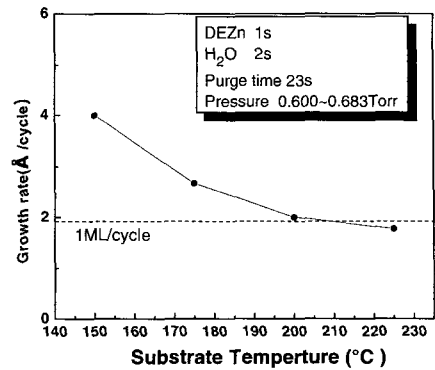


그림 4. Substrate 온도변화에 따른 ZnO film 증착속도.

Fig. 4. Growth rates of ZnO thin films as a function of substrate temperature.

### 3.2 2-step 증착 및 FBAR 특성

그림 5는 RF 마그네트론 스퍼터링 방법만을 이용한 1-step 증착과 ALD와 스퍼터링 방법을 이용한 2-step 증착방법을 사용했을 때의 ZnO 박막의 결정학적 배향성을 나타내었다. XRD를 이용한 반가폭(Full Width at the Half Maximum, FWHM)을 측정된 결과 1-step 방법을 이용하였을 때 FWHM이 9.92°이고, 2-step 방법을 이용하였을 때 6.43°로 약 35 %정도 감소하였으며, 이는 c-축 우선 배향성이 향상되었음을 나타낸다.

그림 6에서는 각각의 방법을 사용하여 성장시킨 ZnO 박막의 표면형상을 나타내었다. 그림에서 볼 수 있듯이 2-step 방법을 사용하였을 때 표면 결정이 더 조밀한 것을 관찰할 수 있다.

이에 대한 분석으로 ALD 증착에 의한 ZnO buffer layer를 XRD와 SEM을 이용하여 c-축 배향성과 박막의 표면을 살펴보았으며 아주 조밀한 ZnO 박막의 표면과 (002)방향에서 우수한 박막성장을 확인할 수 있었다. 이렇게 우수한 buffer layer위에 RF 스퍼터링에 의한 ZnO 박막성장은 1-step보다 향상된 ZnO 박막이 형성될 수 있다.

FBAR소자의 평면구조는 그림 7과 같으며 공진기의 성능에 영향을 주는 요소인 공진면적에 대한 결과를 알기 위해 50 μm×50 μm~300 μm×300 μm 까지 다양한 크기의 공진면적을 가지는 공진기를 제작하여 각각에 대한 S-parameter 들을 측정하였다. 그림 8은 2-step 증착 방법에 의한 FBAR(50 μm×50 μm)의 S파라미터를 나타낸 것이다. 2-step 증착방법에 의한 SMR형태의 FBAR은 공진주파수

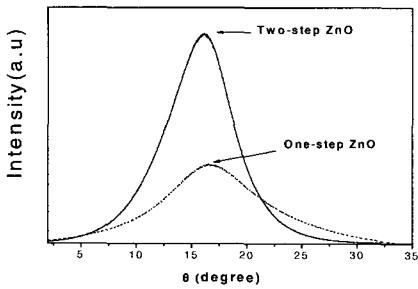


그림 5. ZnO 박막의 X-선 rocking curves.  
Fig. 5. X-ray rocking curves of ZnO films.

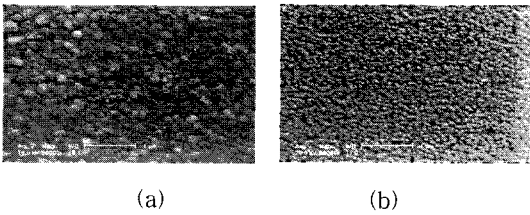


그림 6. ZnO 박막의 SEM 사진.  
(a) sputter deposition and (b) sputter/ALD deposition.  
Fig. 6. SEM photographs of ZnO thin films.  
(a) sputter deposition and (b) sputter/ALD deposition.

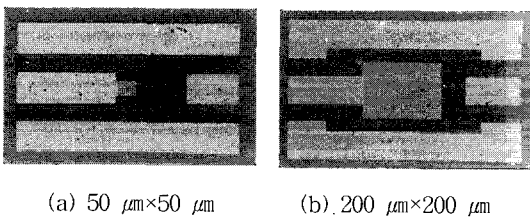


그림 7. FBAR의 평면 광학 현미경 사진.  
Fig. 7. Plain optical microscope photographs of FBAR.

가 1.93 GHz, 반사 감쇠량(return loss)이 -17.35 dB, 품질계수는 580정도로서 1-step 증착방법에 의한 return loss 값(-8 dB)이나 품질계수 값(280)보다 우수한 성능을 나타내었다. 이는 2-step 증착방법에 의하여 c 축 우선 배향성과 표면 거칠기가 향상되어 음향파 공진기 소자 성능을 개선한다고 사료된다.

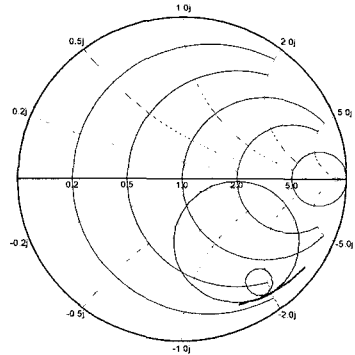


그림 8. FBAR 소자의 S 파라미터 (50  $\mu\text{m} \times 50 \mu\text{m}$ ).  
Fig. 8. S-parameters of FBAR (50  $\mu\text{m} \times 50 \mu\text{m}$ ).

#### 4. 결론

본 연구에서는 FBAR 제조를 위해 처음으로 ALD 와 RF 마그네트론 sputtering으로 구성된 2-step 증착 방법을 사용하여 ZnO 압전 박막을 증착하였고 그 결과를 요약하면 다음과 같다.

1. ALD를 이용한 ZnO buffer layer 증착에서는 원료 물질 공급시간 1초, 각 원료를 격리시키는 purge time 23초, 챔버 압력 0.600~0.683 torr, 그리고 증착온도 200  $^{\circ}\text{C}$ 일 경우 가장 특성이 우수한 박막을 증착할 수 있었다
2. 본 연구에서 처음으로 제안한 2-step 증착 방법을 사용하였을 경우 RF 마그네트론 스퍼터링만을 사용한 1-step 증착 방법보다 c-축 우선 배향성 및 표면 형상이 우수한 ZnO 박막을 증착할 수 있었다.
3. 제작된 SMR 형태의 FBAR(50  $\mu\text{m} \times 50 \mu\text{m}$ )의 공진주파수는 1.93 GHz, return loss는 -17.35 dB, 품질계수 값은 580정도를 나타내었다. 이는 기존의 1-step 증착방법에 의한 FBAR보다 우수한 품질계수와 return loss 값을 나타낸 것으로 향후 우수한 제품의 FBAR 소자로의 응용을 기대할 수 있다.

#### 감사의 글

본 연구는 경기도 지역협력연구센터(KRRC)의 경원대학교 신소재 및 응용기술연구센터의 지원을 받아 이루어졌다.

### 참고 문헌

- [1] Frans C. M. and Van De Pol, "Thin-film ZnO-properties and applications", Ceramic Bulletin, Vol. 69, No. 12, p. 1959, 1990.
- [2] N. D. Hoivik, "Atomic layer deposited protective coatings for micro-electromechanical systems", Sensor and Actuators, Vol. A103, No. 1-2, p. 100, 2003.
- [3] A. W. Ott and R. P. H. Chang, "Atomic layer-controlled growth of transparent conducting ZnO on plastic substrates", Materials Chemistry and Physics, Vol. 58, No. 2, p. 132, 1999.
- [4] C. R. Aita, A. J. Purdes, R. J. Lad, and P. D. Funkenbusch, "The effect of O<sub>2</sub> on reactively sputtered zinc oxide", J. Appl. Phys, Vol. 51, No. 10, p. 5533, 1980.
- [5] Y. E. Lee, S. G. Kim, Y. J. Kim, and H. J. Kim, "Effects of oblique sputtering on microstructural modification of ZnO thin films", J. Vac. Sci. Technol, Vol. A15, No. 3, p. 1194, 1997.