

## 2 단계 증착방법을 이용한 ZnO 압전박막 증착 및 특성 분석

정수봉\*, 김수길\*, 홍철광\*, 신영화\*

\*경원대학교 전자공학과

### 초 록

체적 음향파 공진기(Film bulk acoustic resonator, FBAR)는 2-10 Ghz 대역의 차세대 이동 통신용 구현에 필수적인 부품이기 때문에 국내외에서 활발한 연구가 진행되고 있다. 본 논문에서는 FBAR 소자 제조를 위한 연구에서 원자층 증착(Atomic layer deposition, ALD) 방법에 의한 ZnO buffer layer 위에 스퍼터링 방법을 이용한 2-step 방법을 사용하여 제조하였다. ALD를 이용한 ZnO buffer layer는 diethylzinc(DEZn)/H<sub>2</sub>O를 순차적으로 주입하여 증착하였다. 이 때 두 원료물질 사이에 고순도 Ar 가스를 purge gas로 사용하였다. 원료의 주입시간은 1 초, 원료간 purge 시간은 23 초로 하고 증착하였다. 2-step 방법을 이용할 경우, 스퍼터링 방법만을 이용하였을 때 보다 우수한 c-축 배향성 및 박막의 표면형상이 관찰되었다. 2-step 방법을 FBAR 소자 제작에 적용할 경우 보다 우수한 특성의 공진기를 제작할 수 있을 것으로 기대된다.

### 1. 서 론

집적형 RF 필터 기술로 가장 근접된 기술로 알려진 것이 반도체 박막기술을 이용한 FBAR (Film Bulk Acoustic Wave Resonator) 필터 기술이다. 이 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.

본 연구에서는 압전 유전체 물질로 ZnO 박막을 사용하였다. ZnO는 우수한 전기적, 광학적, 그리고 탄성파적인 성질 때문에 많은 응용 분야에 있어서 관심을 끌고 있다. 이동 통신에 쓰이는 우수한 성능의 FBAR 소자 제조를 위해서는 압전 박막의 c-축 우선 배향성을 조절하는 것이 매우 중요하다. 따라서 본 논문에서는 이러한 c-축 우선 배향성을 높이기 위하여 Atomic layer deposition(ALD) 법에 의한 ZnO buffer layer를 증착하고, RF 마그네트론 스퍼터링법에 의해 ZnO 압전층을 증착하는 2-step 증착 방법을 사용하였다. ALD법은 정확한 두께 조절, 균일성, 그리고 우수한 물성을 지닌 박막을 얻을 수 있기 때문에 메모리나 반도체 산업에서 관심을 가지고 연구되고 있는 CVD의 일종으로 가장 최신 기술이라고 할 수 있다. ALD의 가장 큰 특징으로는 단 원자층을 하나의 주기에 쌓을 수 있다는 것이다. 이 기술을 이용하여 ZnO 박막을 증착할 시에 사용되는 원료물질은 DEZn(Dielthlyzinc)와 H<sub>2</sub>O를 사용하였고, 두 원료 사이를 격리시키는 purge gas로 Ar을 사용하였다.

그리하여 본 논문에서는 FBAR 소자에 응용하기 위하여 ALD를 이용한 ZnO buffer layer의 특성과 향상된 c-축 배향성 및 표면이 평활한 박막을 얻기 위하여 ALD와 RF 마그네트론 스퍼터링법을

이용한 2-step 방법에 관한 연구를 수행하였다.

## 2. 실험 방법

ZnO 압전 박막은 SiO<sub>2</sub>/Si 기판 위에 ALD를 이용하여 buffer layer를 증착한 후 그 위에 RF 마그네트론 스퍼터링 방법을 이용하여 증착하였다. Buffer layer를 증착하기 위해 DEZn와 H<sub>2</sub>O를 원료물질로 사용하였고, purge gas로는 Ar을 사용하였다. 원료물질의 공급시간은 0.5~2 초까지 0.5 초 간격이며, Ar가스를 이용한 purge time은 3~30 초까지 변화시켜 가면서 실험을 하였다. 기판 온도는 150~225℃, 그리고 chamber 내의 압력은 0.4~1.3 Torr로 변화시키면서 ZnO buffer layer를 증착하였다. Buffer layer 증착 후 그 상부에 다시 ZnO 압전 박막을 rf-sputtering 방법으로 증착하였다. 이 때 상온에서 Ar-O<sub>2</sub>(1:1)의 압력비로 증착압력 15 mTorr, 그리고 rf power는 265 W에서 증착되었다. 증착된 박막들의 c-축 우선배향성 및 우선 배향성 정도를 분석하기 위해서 X-선 회절분석기(X-ray diffractometer)를 사용하여  $\theta / 2\theta$  scan과 rocking curve를 측정하였다.

## 3. 실험결과 및 고찰

### (1) ALD 박막 성장 조건

ALD는 원료 공급주기 안에서 각 원료의 공급이 충분하면 각 원료 공급 주기마다 일정한 두께의 막이 형성이 된다. 막의 성장 속도는 원료 공급 주기의 수 만에 비례할 뿐 원료 공급량, 유량, 원료 공급 시간 등의 공정 조건에 민감하지 않기 때문에 얇은 막의 두께를 정밀하게 제어할 수 있다. 또 ALD는 자기 제한적 반응(self-limiting reaction) 특성을 가지고 있기 때문에 한 주기 동안 단원자층을 증착할 수 있어 지금까지 불가능했던 정밀한 막 두께 제어 구현이 가능하다.

그림 1 (a)는 SiO<sub>2</sub>/Si 기판 위에 200 주기 동안 ZnO 박막을 200℃에서 증착하면서 원료 공급 시간에 따른 ZnO 박막의 성장속도를 나타낸 것이다. DEZn의 공급 시간이 1초 이상에서는 주기당 박막의 성장 속도가 ZnO (002) 면의 면간거리인 1.97 Å 와 거의 유사한 2.02 Å 로 일정하였다. 이는 자기 제한적 반응에 의해 한 주기당 한층의 (002) 면이 성장되었음을 의미한다.

그림 1 (b)는 purge time에 따른 ZnO 박막의 성장 속도를 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, 3~30 초간 purge time을 변화시켜 가면서 실험을 하였다. 기존의 연구결과에서는 purge time은 보통 7~10 초 사이였는데, 본 실험에 쓰인 장비는 결과에서 볼 수 있듯이 23초 이상이 되어야 ALD 반응이 일어났다.

일반적으로 ALD의 반응온도는 200~400℃이다. 증착온도가 너무 높으면 화학적 결합이 지속되지 못하거나 화학 반응영역의 밀도가 감소하여 막 성장속도가 감소하며, 기상반응이 발생되어 박막의 특성을 저해시킬 수 있다. 반면 증착온도가 낮으면 화학적 흡착과 막 형성반응이 열적으로 활성화되기 때문에 표면에서만 원료물질이 분해되고 반응하기 때문에 증착속도가 증가하게 된다. 그러나 위에서 언급했듯이 한 주기당 한 층 이상의 박막이 형성될 수는 없다.

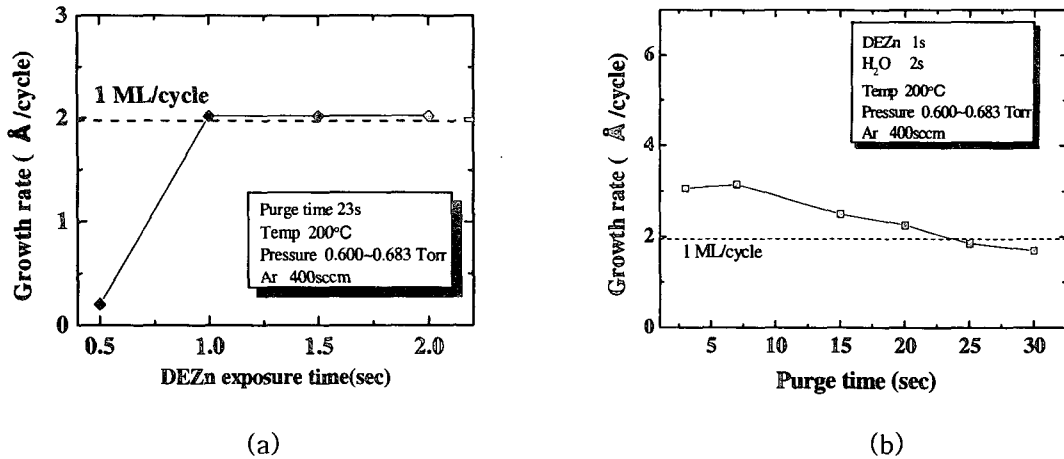


그림 1. Growth rates of ZnO thin films by ALD as a function of (a) DEZn exposure time and (b) purge time.

그림 2에서는 SiO<sub>2</sub>/Si 기판 위에 150~225°C로 기판 온도를 변화시키며 증착시킨 ZnO 박막의 성장 속도를 나타내었다. 그림 3은 ALD를 이용한 ZnO buffer layer의 SEM 이미지와 XRD를 이용하여 측정된 c-축 우선배향성을 나타내었다.

(2) 2-step 증착

그림 4는 스퍼터링 방법만을 이용한 1-step 증착과 ALD 와 스퍼터링 방법을 이용하여 2-

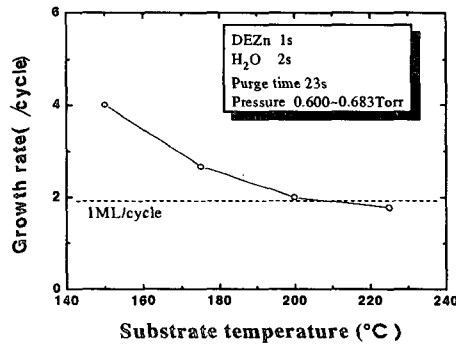


그림 2. Growth rates of ZnO thin films by ALD as a function of substrate temperature.

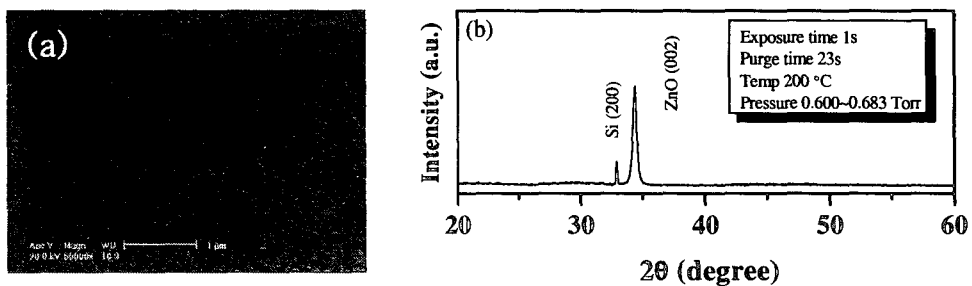


그림 3. (a) SEM micrographs and (b) XRD pattern of ZnO thin films by ALD.

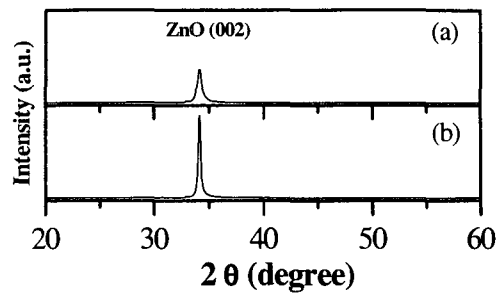


그림 4. XRD peak patterns of ZnO films prepared by (a) sputter deposition and (b) sputter/ALD deposition.

step 증착 방법으로 증착한 ZnO 박막의 결정학적 배향성을 나타내었다. XRD 측정결과 ALD와 스퍼터링을 이용한 2-step 방법을 사용하였을 때 c-축 우선배향성이 2배 이상 증가된 것을 볼 수 있었다.

그림 5에서는 각각의 방법을 사용하여 성장시킨 ZnO 박막의 표면형상을 나타내었다. 그림에서 볼 수 있듯이 2-step 방법을 사용하였을 때 표면 결정이 더 조밀한 것을 관찰할 수 있었다.

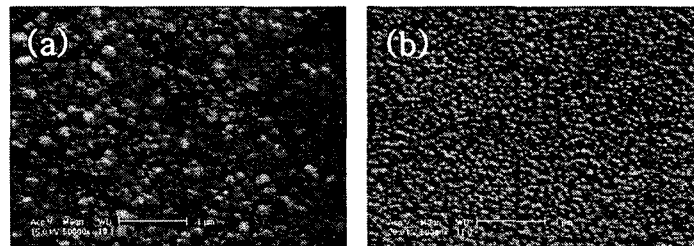


그림 5. SEM micrographs of ZnO thin films prepared by (a) sputter deposition and (b) sputter/ALD deposition.

#### 4. 결론

본 연구에서는 FBAR 제조를 위해 처음으로 ALD 와 sputtering으로 구성된 2-step 증착 방법을 사용하여 ZnO 압전 박막을 증착하였다. ALD를 이용한 ZnO buffer layer 증착에서는 원료물질 공급시간 1 초, 각 원료를 격리시키는 purge time 23 초, 챔버 압력 0.600~0.683 torr, 그리고 증착온도 200°C일 경우 가장 특성이 우수한 박막을 증착할 수 있었다. 2-step 증착 방법을 사용하였을 경우 rf 스퍼터링만을 사용한 1-step 증착 방법보다 c-축 우선 배향성 및 표면 형상이 개선된 ZnO 박막을 증착할 수 있었다. 따라서 이 연구 결과를 통해 공진 특성이 우수한 FBAR 소자를 제작할 수 있을 것으로 기대된다.

#### 참고문헌

- [1] Frans C. M. Van De Pol, Ceramic Bulletin, 제69권, 제12호, p. 1959, 1990.
- [2] N. D. Hoivik, Sensor and Actuators, 제 A 103 권, p. 100, 2003.
- [3] A. W. Ott, R.P.H. Chang, " Atomic layer-controlled growth of transparent conducting ZnO on

- plastic substrates," *Materials Chemistry and Physics*, 제58권, pp. 132-138, 1999.
- [4] C. R. Aita, A. J. Purdes, R. J. Lad, and P. D. Funkenbusch, *J. Appl. Phys.*, 제55권, 제10호, p. 5533, 1980.
- [5] Y. E. Lee, S. G. Kim, Y. J. Kim, and H. J. Kim, *J. Vac. Sci. Technol.*, 제A 15권, 제3호, p. 1194, 1997.
- [6] J. S. Wang and K. M. Lakin, *Appl. Phys. Lett.*, 제42권, 제4호, p. 353, 1983.
- [7] J. G. E. Gardeniers, Z. M. Rittersma, and G. J. Burger, *J. Appl. Phys.*, 제83권, p. 7844, 1998.
- [8] A. Yamada, "Atomic layer deposition of ZnO transparent conducting oxides," *Applied Surface Science*, 제112권, pp. 216-222, 1997.
- [9] R. Matero, "Effect of water dose on the atomic layer deposition rate of oxide thin films," *Thin Solid Films*, 제368권, pp. 1-7, 2000.
- [10] Y. Yamamoto, "Preparation of boron-doped ZnO thin films by photo-atomic layer deposition," *Solar Energy Materials & Solar Cells*, 제65권, p. 125, 2001.