

**FBAR 소자의 압전층으로 사용되는 ZnO 박막의 증착시 ALD를 이용한 2-step 법 적용에 관한 연구**

이순범, 박성현, 이능현, 신영화  
경원대학교 전기전자공학과

**ZnO thin films used in the piezoelectric layer of FBAR devices were deposited by 2-step method using ALD equipment**

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

**Abstract** - In this study, the 2-step method by ALD equipment was used to improve the characteristics of ZnO thin films used in a piezoelectric layer when the FBAR devices of a SMR type are fabricated. The Height of formed buffer layer was 400Å and ZnO thin film of 13600Å was deposited by RF sputter on the buffer layer. When ZnO thin films are deposited, deposition conditions such as pressure, injection time of source and purge time were changed variously. The characteristics of piezoelectric layer such as a crystal orientation and micro-structure of deposited ZnO thin films were studied by SEM, AFM and XRD.

을 나타낸다. 그리고 (b)는 H<sub>2</sub>O exposure time이 2초를 초과하면서 증착률의 증가가 둔화되어 간다는 것을 보여준다. 이것은 ALD의 두 반응물간의 자기 제어적 표면반응 특성을 나타내는 것으로 각 반응물을 충분히 주입하면 성장 속도가 포화된다는 사실을 알 수 있다. 막의 성장 속도는 각 원료가 공급되는 전체 cycle의 수에만 의존하고 원료 공급량, 유량 등의 공정조건에는 민감하지 않기 때문에 두께를 정밀하게 제어할 수 있다는 장점을 이번 연구를 통해서도 확인할 수 있었다.

**1. 서 론**

최근 IT산업의 급속한 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 저비용을 실현하게 된다.<sup>[1,2]</sup>

FBAR 소자 중 SMR 구조의 FBAR 소자의 경우 membrane이나 air-gap 형태의 소자에 비해 내충격성이 매우 뛰어나다. 그러나 우수한 공진특성을 가지는 소자제작을 위해서는 반사층의 두께를 음향학적 파장의 1/4로 정확히 맞추어야 한다. 이러한 반사층 위에 압전층을 증착하게 되는데 가장 중요한 공정중의 하나이다. 우수한 공진특성을 갖는 FBAR 소자를 제조하기 위해서는 압전성이 가장 큰 c-축 우선 배향성을 갖는 ZnO 박막을 증착하는 것이 필수적이다.<sup>[3-7]</sup>

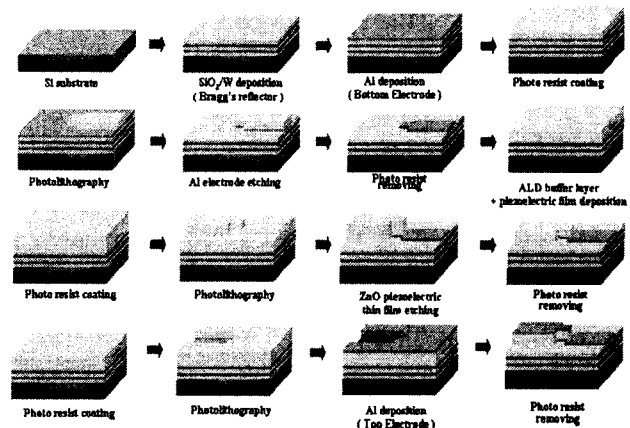
본 연구에서는 SMR 구조의 FBAR 소자에 있어서 압전층의 c-축 우선 배향성을 향상시키기 위하여 ALD(Atomic layer deposition)를 적용하였다. ALD로 buffer layer를 증착하고 RF 마그네트론 스퍼터링법에 의한 ZnO 압전층을 증착하는 2-step 증착방법을 사용하였다.

**2. 본 론**

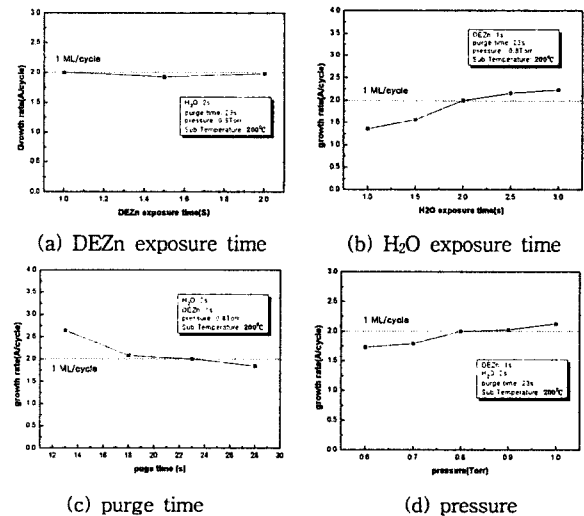
**2.1 실험방법**

본 연구에서는 ZnO buffer layer를 증착하기 위해 DEZn 과 H<sub>2</sub>O 를 precursor로 사용하였고, purge gas로는 Ar을 사용하였다. precursor의 exposure time은 DEZn은 1-2초, H<sub>2</sub>O는 1-3초 까지 0.5 초 간격으로 변화시켰고, purge time은 13-28초 까지 5초 간격으로, pressure는 0.6-1 Torr까지 0.1 Torr 간격으로 변화시켰고, 온도는 200℃를 유지하며 증착하였다. 증착된 박막의 미세구조 및 두께를 측정하기 위해 4-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, ALD로 buffer layer(400 Å)를 증착하고, ZnO(13600 Å)을 증착하여 압전층을 형성하였다. 최종적으로 network analyzer(Agilent, E8364A)를 이용하여 소자의 공진특성을 측정하였다. 그림 1에 SMR 구조의 FBAR 소자 제작 공정도를 나타내었다.



〈그림 1〉 SMR 구조 FBAR 제작 공정도



〈그림 2〉 증착 조건에 변화에 따른 증착률

**2.2 결과 및 고찰**

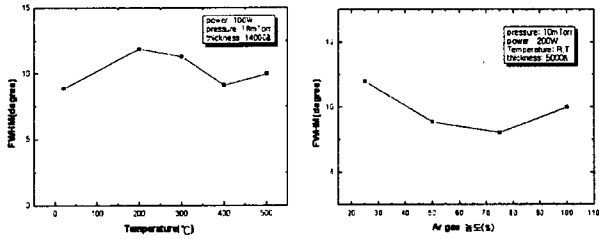
**2.2.1 ZnO buffer layer 박막 특성**

본 실험에서는 ZnO 박막의 c-축 우선 배향성을 높이기 위하여 ALD를 이용한 ZnO buffer layer 증착에서 여러 공정 변수를 변화시켜 가면서 실험을 하였고, 실제 소자를 제작하는 것처럼 모든 buffer layer 증착은 Al/SiO<sub>2</sub>/Si 위에 형성되었다. 그림 2는 ALD의 각종 증착 조건 변화에 따른 증착률의 변화를 보여준다. 먼저 (a)는 DEZn exposure time이 1초 이상에서는 증착률이 포화된다는 사실

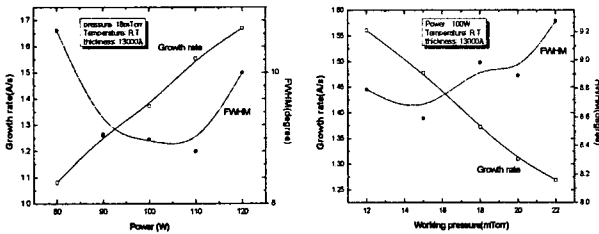
**2.2.2 sputter를 이용한 ZnO 압전 박막의 특성**

본 실험에서는 ALD에 의해 형성된 ZnO buffer layer 위에 c-축 배향성이 우수한 압전층을 증착하기 위한 RF 마그네트론 스퍼터의 ZnO 증착 조건을 알아보았다. 그림 3은 증착조건 변화에 따른 증착률과 XRD rocking curve의 FWHM 값을 나타내었다. 온도는 ZnO 박막의 c-축 배향성 향상에 크게 기여하지 않았으나 상온이 가장 양호하였다. O<sub>2</sub>에 대한 Ar 농도에 따른 ZnO 박막의 c-축 배향성은 Ar 농도가 75%일 때 가장 좋은 값을 보였으며 이는 ZnO 산화물 타겟을 이용하였기 때문에 높은 산소 농도를 필요로 하지 않는 것

으로 보인다. RF power에 따른 ZnO 박막의 c-축 배향성은 110W 근처에서 가장 양호하였으며 증착 가스 압력에 따른 결과는 약 15mTorr일 때 가장 좋은 값을 나타내었다. 일정한 RF power와 가스압력상태에서 스퍼터링된 입자들이 적정 운동에너지를 가지고 표면이동도를 충분히 증가시켜 우수한 박막을 형성하게 된다.



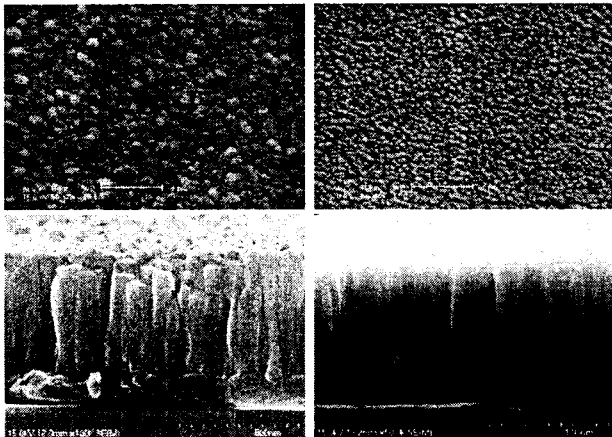
(a) 온도와 Ar 농도에 따른 FWHM



(b) power와 working pressure에 따른 Growth rate와 FWHM  
 <그림 3> 증착 조건 변화에 따른 FWHM

**2.2.3 2-step으로 증착된 압전층 특성**

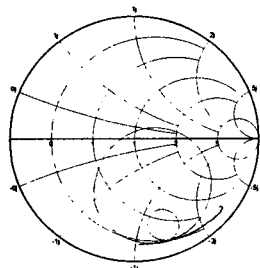
그림 4는 위와 같이 실험한 최적의 조건으로 스퍼터링 방법만을 이용한 1-step 증착과 ALD와 스퍼터링 방법을 이용하여 2-step 증착방법을 사용한 ZnO 박막의 표면과 단면 형상을 나타내었다. 그림에서 볼 수 있듯이 2-step 방법을 사용하였을 때 결정이 더 조밀하게 배향된 것을 관찰할 수 있었다.



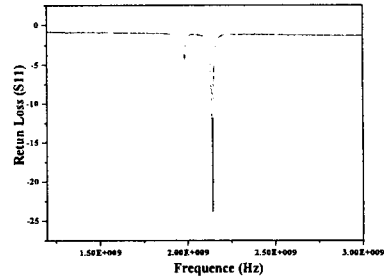
(a) sputter (b) sputter/ALD.  
 <그림 4> ZnO 박막의 SEM 이미지

**2.2.4 sputter를 이용한 ZnO 압전 박막의 특성**

2-step 방법에 의해 형성된 압전층을 적용한 50x50µm 크기의 공진 면적을 가지는 SMR 구조 FBAR 소자의 공진특성을 network analyzer로 측정하여 그림 5에 smith chart로 나타내었다. 또한 그림 6에는 return loss(S<sub>11</sub>) 특성을 나타내었다. 중심 공진주파수 2.14 GHz에서 return loss(S<sub>11</sub>)가 -23.82dB, 전기기계결합계수(K<sup>2</sup><sub>eff</sub>)가 1.82%, 품질계수(Q)값이 935의 우수한 공진 특성이 나타나는 것을 알 수 있었다.



<그림 5> 50x50µm 크기의 FBAR 소자의 공진특성



<그림 6> 50x50µm 크기의 FBAR 소자의 return loss(S<sub>11</sub>)

**3. 결 론**

본 연구에서는 SMR 구조의 FBAR 소자제작을 위해 ALD와 RF 마그네트론 스퍼터로 구성된 2-step 증착방법을 사용하여 ZnO 압전박막의 c-축 우선배향성을 향상시켰다. 세부적으로 ALD를 이용한 buffer layer 증착에서는 DEZn exposure time 1초, H<sub>2</sub>O exposure time 2초, purge time 23초, pressure 0.8Torr에서 가장 안정된 특성을 나타내었다. RF 마그네트론 스퍼터를 이용한 ZnO 압전층 형성시 RF power 110W, working pressure 15mTorr, Ar gas 농도(Ar/O<sub>2</sub>) 75/25%, 증착온도 상온일 때 우수한 박막을 얻을 수 있었다. 최종적으로 2-step 증착방법을 SMR 형태의 FBAR에 적용하여 공진특성을 network analyzer로 측정된 결과 공진주파수 2.14GHz에서 return loss(S<sub>11</sub>) -23.82dB, 전기기계결합계수(K<sup>2</sup><sub>eff</sub>) 1.82%, 품질계수(Q) 935로 우수하게 나타났다. 향후 보다 정확한 공정 제어를 통해 SMR 구조가 적용된 FBAR 공진기를 제조하고, 더불어 ALD를 이용한 2-step 증착법을 기반의 후면식각을 이용하는 bulk M/M 구조와 MEMS를 활용하여 기판의 전면에 air-gap을 형성한 surface M/M 구조의 소자에 적용한다면 보다 우수한 특성의 소자를 구현할 수 있을 것이다.

**[참 고 문 헌]**

- [1] Frans C. M. Van De Pol, Ceramic Bulletin, Vol. 69, No.12, p. 1959, 1990.
- [2] N. D. Hoivik, Sensor and Actuators, Vol. A 103, 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, Vol. 58, pp. 132-138, 1999.
- [4] C. R. Aita, A. J. Purdes, R. J. Lad, and P. D. Funkenbusch, J. Appl. Phys, Vol. 55, No. 10, p. 5533, 1980.
- [5] Y. E. Lee, S. G. Kim, Y. J. Kim, and H. J. Kim, J. Vac. Sci. Technol, Vol. A 15, No. 3, p. 1194, 1997.
- [6] J. S. Wang and K. M. Lakin, Appl. Phys. Lett, Vol. 42, No.4, p. 353, 1983.
- [7] J. G. E. Gardeniers, Z. M. Rittersma, and G. J. Burger, J. Appl. Phys, Vol. 83, p. 7844, 1998.
- [8] 이재민, "압전박막을 이용한 박막형 공진기소자의 제조", 서울대학교 박사학위논문, 2001.
- [9] 신영화, 권상직, 윤영수, "ALD와 RF 마그네트론 스퍼터링을 이용한 FBAR 소자의 ZnO 박막증착 및 특성", 전기전자재료학회 논문지, Vol. 18, No. 2, p164, 2005.