

# 질소 주입된 산화아연 박막을 사용한 박막 음향 공진 소자 연구

이은주\* Ruirui Zhang\* · 윤기완\*

\*한국과학기술원

FBAR devices employing the ZnO:N films

Eunju Lee\* Ruirui Zhang\* · Giwan Yoon\*

\*Korea Advanced Institute of Science and Technology

E-mail : gwyoon@ee.kaist.ac.kr

## 요 약

박막 벌크 음향 공진 소자 (Film Bulk Acoustic Resonator, FBAR) 기술은 현 실리콘 공정 기술과 호환되며 차세대 초소형 RF소자 구현을 가능하게 하는 기술로 각광받아 오고 있다. FBAR 소자 제작 시 박막 증착에 RF 스퍼터링 (sputtering) 방식을 이용하는 경우 산소 (O<sub>2</sub>) 및 아르곤 (Ar)의 혼합가스 분위기에서 증착하는 것이 통상적이다. 본 논문에서는 아산화질소 (N<sub>2</sub>O) 및 아르곤 (Ar)의 혼합가스 분위기에서 RF 스퍼터링 방식으로 증착된 고품위의 산화아연 (Zinc Oxide, ZnO) 압전 (piezoelectric) 박막을 적용하여 FBAR 소자를 제작하는 새로운 방법을 제시한다. 이때 소자 제작 과정에 다양한 조건에서의 열처리 과정 (thermal annealing treatments)이 수반되었으며, 이러한 공정 조건이 제작된 FBAR 소자의 공진특성 (resonance characteristics)에 미치는 영향을 반사손실 (return loss)의 측면에서 조사하였다. 결과적으로, 공정 조건을 최적화함으로써 ~2.9 MHz 에서 매우 우수한 공진특성을 가지는 FBAR 소자를 제작할 수 있었다.

## ABSTRACT

We present a new method for the fabrication of film bulk acoustic wave resonator (FBAR) devices that exploits the thin piezoelectric ZnO films particularly sputter-deposited in a mixture of N<sub>2</sub>O and Ar gases as the reactive and sputtering gases, respectively. Some thermal annealing treatments were performed on the as-deposited ZnO films and also their effects on the resonance characteristics of the FBAR devices were investigated. It was found that with an optimized process, the resonance characteristics of the fabricated FBAR devices could be further improved.

## 키워드

N-incorporated ZnO films, ZnO:N films, FBAR devices, thermal annealing process

## 1. 서 론

최근 WiMAX 기술은 다양한 이동 장비에 적용되는 무선 인터넷 기술을 실현시키는 기술로서 많은 관심을 받아오고 있다. 특히, 2.3-3.6GHz의 주파수 대역은 모바일 브로드밴드 WiMAX 기술에 할당되어 있다 [1]. 한편 박막 벌크 음향 공진기 (Film Bulk Acoustic wave Resonator, FBAR) 기술은 마이크로파 소자의 관점에서 매우 유망한 기술로 부상하여 왔으며 이는 듀플렉스 구성 요

소로서 기능 할뿐만 아니라 차세대 라디오 주파수 필터를 제작할 수 있도록 한다. 이는 주로 FBAR 기술이 현재의 실리콘 공정 기술과 완벽히 호환되는 특성으로 인하여 결과적으로 MMIC (Microwave monolithic integrated circuits)를 구현할 수 있도록 하기 때문이다 [2]. 통상의 FBAR 소자의 구조는 상부 전극과 하부 전극 사이에 압전 박막 층이 삽입되어 있는 형태를 가지며 RF 신호가 두 상하부 전극사이에 인가되었을 때 공진이 발생하는 원리로 동작한다 [3]. FBAR 소자

의 일종인 SMR (solidly mounted resonator) [4] 소자의 경우 공진 부위로부터 기관으로의 에너지 손실을 방지하는 거울 역할을 하는 BR (Bragg reflector) 구조를 가진다. 고품위의 ZnO 박막을 구현하여 FBAR 소자의 공진 특성을 향상시키기 위한 상당한 노력들이 이루어져 오고 있다 [5-7].

RF 스퍼터링 시스템을 이용하여 FBAR 소자의 ZnO 압전 층을 증착 형성하는 경우 O<sub>2</sub> 가스를 반응가스로 선택하는 것이 통상적이며, 더불어 공진 특성을 보다 향상시키기 위해 열처리 과정이 수반되는 것이 일반적이다. 우리가 아는 한 약 2.9 GHz에서 동작하는 FBAR 소자 및 N<sub>2</sub>O 가스 분위기에서 증착된 ZnO 박막의 특성 연구는 아직까지 보고된 바가 드문 바, 본 논문에서는 질소 원자가 주입된 ZnO (ZnO:N) 박막의 형성을 위해 스퍼터링 공정 과정에서 N<sub>2</sub>O 가스를 반응가스로 채택하여 새로운 물성의 ZnO 압전 박막을 증착하였으며, 또한 이를 FBAR 소자 제작에 적용하였다. 뿐만 아니라 질소 원자가 주입된 ZnO 박막의 열처리 과정이 FBAR 소자의 공진 특성에 미치는 영향에 대해 함께 조사하였다.

## II. 실험

그림 1은 FBAR 소자의 구조(a) 및 두 종류의 상부 전극의 레이아웃 형상(b)을 각각 도시하고 있다.

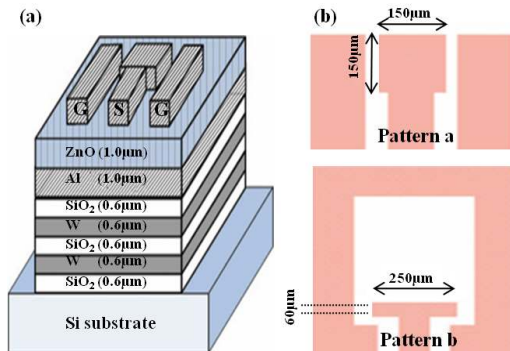


그림 1. (a) FBAR 소자의 구조, (b) 상부 전극의 레이아웃 형상

이 때, FBAR 소자는 다음과 같은 과정으로 제작된다. 우선, Si 기관 위에 각각 0.6 μm 두께의 SiO<sub>2</sub> 및 W의 박막 층을 교대로 증착하여 다층 구조의 BR 구조를 형성한다. 그 다음으로 1.0 μm 두께의 Al 하부 전극을 BR 구조 위에 형성한 후, 뒤이어 N<sub>2</sub>O 및 Ar의 혼합가스 분위기에서 ZnO 박막 층을 1.0 μm의 두께로 형성한다. ZnO 증착 조건에 대한 상세한 사항은 표 1에서 요약하였다.

표 1. ZnO:N 박막의 증착 조건

Target	ZnO, purity: 99.999%
Substrate	4-inch, Si wafer
Substrate temperature	23°C
Substrate to target distance	10 cm
Base chamber pressure	2×10 <sup>-6</sup> Torr
Gas composition	60% Ar + 40% N <sub>2</sub> O
Sputtering pressure	20 mTorr
RF power	300 W

증착된 ZnO:N 박막의 미세 결정 구조 및 성분 조성 (composition depth profiling)은 각각 SEM (scanning electron microscope)과 AES (Auger electron spectroscopy) 기술에 의해 분석되었다.

ZnO:N 박막은 상당히 우수한 c-축 우선 배향 성장 특성을 가짐을 알 수 있으며 (그림 2a), AES 분석을 통해 적은 양의 질소 원자들 (약 1 atomic%)이 ZnO:N 박막으로 주입될 수 있음을 확인하였다 (그림 2b). 향후 ZnO:N 박막에 주입된 질소 원자들의 역할에 대한 보다 심층적인 분석 연구가 이루어질 필요가 있다.

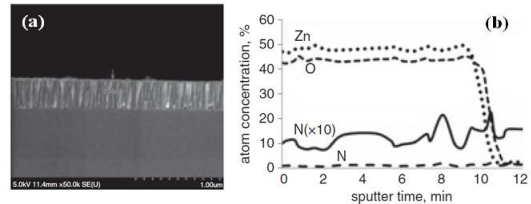


그림 2. (a) ZnO:N 박막의 SEM 단면 이미지, (b) ZnO:N 박막의 AES depth profile

한편, ZnO 박막 증착 후 즉각적으로 Si 기관은 5개의 시편 (S1-S5)으로 분리되어 다양한 조건에서 열처리 과정을 수행한다. 두 개의 시편 (S2, S3)은 각각 Ar가스 또는 O<sub>2</sub>가스 분위기에서 40 0°C/30min의 조건으로 열처리 되었으며 다른 두 개의 시편 (S4, S5)은 각각 Ar가스 또는 O<sub>2</sub>가스 분위기에서 400°C/90min의 조건으로 열처리 되었다. S1 시편의 경우 표준시편으로서 열처리 공정을 거치지 않으며, 표 2에서 각 시편의 열처리 조건을 요약하였다. 마지막으로 표준 시편을 포함하여 열처리 된 나머지 시편들 모두에 대해 0.2 μm 두께의 Al 상부 전극을 형성함으로써 FBAR 소자의 제작을 마무리한다. 이때 두 가지 다른 종류의 상부 전극 패턴 (그림 1b)이 설계되어 FBAR 소자 제작에 적용되었다.

표 2. 시편의 열처리 조건 및 제작된 FBAR 소자의 Peak return loss, S<sub>11</sub> (dB)

Samples	Peak return loss, S <sub>11</sub> (dB)	
	Pattern a	Pattern b
S1(non-annealed)	-21.36	-19.54
S2(400°C/30 min in Ar)	-24.54	-21.86
S3(400°C/30 min in O <sub>2</sub> )	-40.45	-32.44
S4(400°C/90 min in Ar)	-25.03	-20.39
S5(400°C/90 min in O <sub>2</sub> )	-30.25	-27.08

FBAR 소자의 공진 특성은 E8361 PNA 네트워크 어날라이저 및 프루브 스테이션을 사용하여 반사손실계수 (return loss,  $S_{11}$ ) 값으로 추출 분석되었다.

### III. 결과 및 토의

그림 1b는 각 시편 (S1-S5)으로부터 추출된 주파수에 대한 반사 손실 계수 특성 ( $S_{11}$ )을 도시하고 있다. 추출된  $S_{11}$  파라미터들은 그림 3에 함께 도시되어 있으며, 표 2에 요약되어 있다.

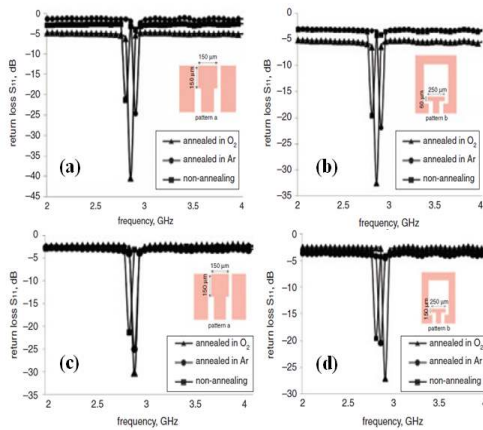


그림 3. 다양한 열처리 조건에서의 FBAR 소자의 return loss ( $S_{11}$ ) 특성

열처리 되지 않은 FBAR 소자 시편 (S1)의 경우 각 패턴 형상 (a 및 b)에 대해 각각 -21.36 dB 및 -19.54 dB의  $S_{11}$ 값을 보이며 비교적 우수한 공진 특성을 나타낸다. 표준 시편 S1과 비교할 때, 열처리된 FBAR 소자 시편들 (S2-S5)은 보다 우수한 공진 특성을 가짐을 알 수 있다. 이로부터 각 시편들을 특정 조건으로 열처리함으로써 공진 특성을 상당히 향상시킬 수 있음을 알 수 있다. 특히, 약 2.9 GHz에서 S3 시편의 FBAR 소자들의 경우 가장 비약적인 성능 향상 (-21.36 dB에서 -40.45 dB)이 관찰되었다. 측정된  $S_{11}$  값들의 변화 추이로 미루어 보아, ZnO 박막 내의 잔존된 결함들이 열처리 과정동안 제거 또는 감소되어 고품위의 ZnO 박막의 형성이 이루어진 것으로 보이며, 결과적으로 FBAR 소자의 공진 특성의 향상을 가져온 것으로 추정된다.

뿐만 아니라 반사계수 값의 측정 결과로부터 O<sub>2</sub> 가스 분위기에서 열처리된 ZnO 박막이 적용된 FBAR 소자는 Ar 가스 분위기에서 열처리된 소자들에 비해 보다 우수한 공진 성능을 나타낼 수 있다. 흥미롭게도  $S_{11}$ 의 절대치 값들은 시편들의 400°C에서의 열처리 시간을 30분에서 90분으로 증가시켰을 때 더 감소하는 경향을 보였다. 본 실험을 통해 질소 원자가 주입된 ZnO

박막이 적용된 FBAR 소자의 경우 400°C/30min 및 O<sub>2</sub> 가스 분위기의 조건에서 열처리하는 것이 반사 손실 계수의 측면에서 가장 우수한 공진 특성을 얻을 수 있음을 알 수 있다.

### IV. 결론

본 논문에서는 질소원자가 주입된 (N<sub>2</sub>O 가스 분위기에서 증착된) 고품위의 ZnO 박막 및 이를 적용한 FBAR 소자의 공진 특성에 대해 조사하였다. 특히, 질소 원자가 주입된 ZnO 박막에 대한 다양한 열처리 조건이 FBAR 소자의 성능향상에 미치는 영향이 조사되었다. 400°C/30min 및 O<sub>2</sub> 가스 분위기에서 열처리된 ZnO:N 박막이 적용된 FBAR 소자의 경우 가장 우수한 공진 특성을 나타내었다. 제안된 기술은 차세대 FBAR 소자 및 그 응용에 있어 매우 유용하게 활용될 것으로 기대된다.

### 감사의 글

본 연구는 정부(교육과학기술부)의 재원으로 한국연구재단의 지원을 받아 수행된 연구 (No. 20090063076)로서, 관계부처에 감사드립니다.

### 참고문헌

- [1] Andrews, J.G., Ghosh, A., and Muhamed, R. "Fundamentals of WiMAX-understanding broadband wireless networking" (Prentice Hall, New Jersey, 2007)
- [2] Ruby, R. and Merchant, P. "Micromachined thin film bulk acoustic resonators," IEEE Int. Frequency Control Symp., San Francisco, CA, USA, pp. 135-138, 1994.
- [3] Krishnaswamy, S.V., Rosenbaum, J.F., Horwitz, S.S., and Moore, R.A. "Film bulk acoustic wave resonator and filter technology," IEEE MTT-S Dig., Albuquerque, NM, USA, pp. 153-155, 1992.
- [4] Lakin, K.M. "A review of thin-film resonator technology," IEEE Microw. Mag., pp. 61-7, 2003.
- [5] Yoon, G., and Park, J. "Fabrication of ZnO-based film bulk acoustic resonator devices using W/SiO<sub>2</sub> multilayer reflector," tron. Lett., 36, (16), pp. 1435-1437, 2000.
- [6] Mai, L., Song, H., Tuan, L., Su, P., and Yoon, G. "comprehensive investigation of thermal treatment effects on resonance characteristics in FBAR devices," Microw. Opt. Technol. Lett., 47, (5), pp. 459-462, 2005.
- [7] Mai, L., Pham, V., and Yoon, G. "High-quality 2.5 GHz ZnO-based FBAR devices for broadband WiMAX applications," Electron. Lett., 44, (5), pp. 387-388, 2008.