

---

# Thermal Annealing 효과에 의한 다층 박막 FBAR 소자의 공진 특성 개선

김동현, 임문혁, Mai Linh, 윤기완  
한국정보통신대학원대학교

## Improvement of Resonant Characteristics due to the Thermal Annealing Effect in Multi-layer Thin-film SMR Devices

Dong-Hyun Kim, Munhyuk Yim, Mai Linh, and Giwan Yoon  
Information and Communications University  
E-mail : gwyoona@icu.ac.kr

---

이 논문은 디지털 미디어 연구소(Digital Media Lab)의 지원에 의하여 연구되었음

---

### 요 약

본 논문에서는 ZnO를 사용한 다층 박막 SMR 소자의 공진 특성을 개선하기 위해서 실리콘 기판 상부에 형성된 W/SiO<sub>2</sub>의 Bragg reflector를 thermal annealing한다. SMR 소자의 공진 특성은 Bragg reflector에 적용된 annealing 조건에 의존함을 관찰할 수 있었다. annealing을 하지 않은 Bragg reflector를 갖는 SMR 소자와 비교했을 경우, 400°C/30min의 조건으로 annealing된 Bragg reflector를 갖는 SMR 소자가 가장 훌륭한 공진특성을 나타내었다. 새롭게 제안된 annealing 공정은 W/SiO<sub>2</sub> 다층 박막 Bragg reflector를 갖는 SMR 소자의 공진 특성을 효과적으로 개선시키는데 있어 매우 유용할 것으로 보인다.

### ABSTRACT

In this work, we, for the first time, present the effects of the thermal annealing of the W/SiO<sub>2</sub> multi-layer quarter wavelength reflectors on the resonant properties of the ZnO-based SMR devices. In order to improve the resonant properties of the SMR devices, we annealed thermally the reflectors formed on a silicon substrate using a RF magnetron sputtering technique. As a result, the resonant properties of the SMR devices were observed to strongly depend on the annealing conditions applied to the reflectors. The SMR devices with the reflectors annealed at 400°C/30min showed excellent resonance properties as compared to those with the reflectors non-annealed (as-deposited). The newly proposed simple thermal annealing process will be very useful to more effectively improve the resonant properties of the future SMR devices with W/SiO<sub>2</sub> multi-layer quarter wavelength reflectors.

### 키워드

FBAR, Bragg reflector, Thermal annealing, ZnO, piezoelectric

### 1. 서 론

최근의, 무선 통신 기술의 급격한 발전은 RF와 마이크로웨이브 소자 분야에서 폭발적인 관심을

일으키고 있다. 특히, spectrum crowding이 증가함에 따라 high-performance filter 및 duplexer에 대한 요구는 계속 증가할 전망이다[1]. 현재까지는 세라믹 듀플렉서가 front end filtering에 대한 엄격

한 요구를 만족시킬 수 있는 유일한 실용 기술이었다. 그러나 세라믹 듀플렉서는 physical size면에 있어 문제가 있고, SAW device는 상업적인 듀플렉서에 사용될 수 있을 만큼 충분한 Figure of Merit이 없다[2]. Film Bulk Acoustic Resonator (FBAR) 소자는 작은 크기와 고성능, MMIC 구현에 있어서의 강한 잠재력으로 인해 가장 주목받는 소자의 하나로 인식되고 있을 뿐 아니라, miniaturized filter, CDMA PCS용 duplexer 응용을 위해 전 세계적으로 폭 넓게 연구되고 있다[3-4]. 박막으로 구성되는 FBAR 소자는 제작 방식에 따라 Membrane type, Air gap type, quarter wavelength reflector를 갖는 SMR type으로 분류된다. 이 중에서 Solidly Mounted Resonator (SMR) type FBAR는 acoustic 임피던스가 다른 물질들 격층으로 증착하여 반사 손실을 최소화하는 reflector를 가지므로 기판과 압전층 간을 acoustically isolation 시킬 수 있다[5]. SMR이 좋은 공진 특성을 갖기 위해서는 Bragg reflector가 잘 구성되어야 한다. 다층구조의 Bragg reflector를 이용하는 SMR의 제작방식은 대부분 RF sputtering 방법을 사용하여 공진 주파수의  $\lambda/4$  두께를 갖도록 acoustic 임피던스가 다른 물질들을 증착한다.

본 연구에서는 RF magnetron sputtering 방식으로 증착된 Bragg reflector층을 annealing 처리하여 Bragg reflector의 quality를 향상시켜 보다 나은 공진 특성을 갖는 FBAR의 제작 공정을 확립하였다. 박막에 Thermal annealing 처리를 하는 공정은 잘 확립되어 알려져 있지만 아직까지 Bragg reflector의 형성에 적용하여 FBAR의 제작에 사용된 경우는 보고된 바 없다. 본 연구에서는 같은 증착 조건으로 형성된 Bragg reflector를 각각 다른 온도에서 annealing하여 FBAR 소자를 제작한 후 S-parameter를 추출하고 annealing되지 않은 소자와의 비교를 통해 공진 특성의 변화를 고찰하였다. 가장 좋은 공진 특성을 보이는 것은 400°C/30min의 조건에서 annealing된 FBAR 소자였다. 따라서 열 어닐링 공정이 다층구조의 Bragg reflector를 갖는 SMR의 제작에 매우 효과적인 공정 단계가 될 수 있을 것으로 생각된다.

## II. 실험

본 연구에서는 한 장의 3인치 실리콘 웨이퍼 상에서 동일한 조건을 이용하여 다수의 FBAR를 제작하고 테스트하였다. 일반적으로 많이 연구되고 있는 SMR 형태의 FBAR는 그림 1의 (d)에서 알 수 있듯이, 실리콘 기판 상에 다층구조의 Bragg reflector가 있고, 그 위에 ZnO(혹은 AlN) 압전 박막이 2개의 전극사이에 샌드위치 형태로 끼여있는 구조로 제작된다. 먼저, RF Magnetron Sputtering systems을 이용하여 3인치 실리콘 웨이퍼 상에 SiO<sub>2</sub>/W를 0.6 $\mu$ m/0.55 $\mu$ m 두께로 격층 증착하여 acoustic Bragg reflector를 제작한다. 각각의 층은

acoustic wave가 실리콘 기판 쪽으로 투과되는 것을 방지하기 위해 공진 주파수의  $\lambda/4$  두께를 갖는다. Bragg Reflector 형성이 끝난 웨이퍼는 4등분되어 Thermal annealing 공정에 사용된다. Thermal annealing은 Gas를 주입하지 않은 상태에서 3가지 온도조건에서 수행되었다. Thermal annealing 온도 조건은 200°C/30min, 400°C/30min, 600°C/30min이다. Thermal annealing 공정 처리된 샘플들은 소자의 제작이 끝난 후 Thermal annealing 되지 않은 하나의 샘플과 비교된다. Thermal annealing 공정이 끝난 후에, Al 하부 전극을 0.13 $\mu$ m 두께로 증착한다. ZnO 박막은 상온에서 실리콘 기판 상에서 1.5 $\mu$ m 두께로 증착된다. 상부 전극 패턴을 위한 포토리소그래피 공정을 수행한 뒤, 다시 Al을 0.13 $\mu$ m 두께로 증착하여 lift-off 공정을 수행하면 상부 전극의 패턴이 완성되어 최종적으로 소자의 제작공정이 마무리된다. 제작된 one-port FBAR 소자의 상부전극 패턴들과 schematic diagram이 그림 1에 보여진다.

## III. 결과 및 논의

제작된 FBAR은 Thermal annealing 하지 않은 것(A-type), 200°C/30min에서 한 것(B-type), 400°C/30min에서 한 것(C-type), 600°C/30min에서 한 것(D-type)과 같이 모두 4가지로 구분된다. 4가지 type 각각의 FBAR에 대해서 reflection coefficient(S<sub>11</sub>)를 측정하였다. 14개의 서로 다른 상부 전극패턴을 이용하여 FBAR 소자의 라이브러리를 구성하고 그 중에서 가장 특성이 좋게 나온 3개의 상부 전극 패턴을 기반으로 하여 Bragg reflector의 Thermal annealing 효과로 인한 FBAR의 reflection coefficient에 대한 경향성을 고찰하였다. 그림 1에서 알 수 있는 바와 같이, S-parameter 측정을 위해서 RF signal이 하나의 signal contact과 두 개의 ground contact을 갖는 상부전극에 인가되었다. 그림 2에 세 가지 전극 패턴을 가지는 FBAR에 대한 return loss 측정결과를 나타내었다. 그림에서 (a)는 pattern 1의 상부전극을 갖는 FBAR의 반사계수 특성이고 (b)는 pattern 2의, (c)는 pattern 3의 반사계수 특성을 나타낸다. 전극 패턴의 structure 및 공진 면적의 차이로 인해 각 소자의 반사계수 특성은 약간씩의 차이를 보이지만 개별 소자에서 annealing 온도에 따른 반사계수 특성이 상대적으로 향상됨은 충분히 확인 할 수 있다. 세 가지 그림에서 보듯이 400°C/30min의 조건에서 Thermal annealing된 one-port FBAR 소자가 상대적으로 보다 향상된 반사계수 특성을 가짐을 알 수 있다. SMR 타입의 FBAR에서는 반사 손실을 막기 위한 최적의 두께를 갖는 Bragg reflector를 제작하는 것이 중요한 점인데, Bragg reflector는 RF magnetron sputtering에 의해 제작된 실리콘 옥사이드 및 텅스텐 박막에 의한 다층 구조이므로 막의 품질이 좋지 않을 것으로 생각된다. 그러나 그림에서

보여 지듯이 어닐링 효과를 도입하면 FBAR의 반사계수 특성의 향상에 좋은 영향을 줄 수 있음을 알 수 있다.

그림3에 입력 임피던스 위상의 기울기가 주파수의 함수로서 나타나 있다. 각 전극 패턴 별로 annealing된 온도에 따라 공진 주파수가 달라지는 것을 알 수 있다. 이와 같은 공진 주파수의 변화는 결과적으로 FBAR의 Q-factor에 영향을 준다. 그림 3을 이용하여 계산된 직렬 및 병렬 공진에 대한 Q-factor 값을 표1에 나타내었다. annealing된 FBAR가 annealing 처리되지 않은 것에 비해 상대적으로 Q-factor가 크게 향상된 것을 알 수 있다. 특히, 400°C/30min의 조건에서 annealing된 FBAR의 경우에는는 다른 것들에 비해 상대적으로 큰 Q-factor를 가짐을 알 수 있다.

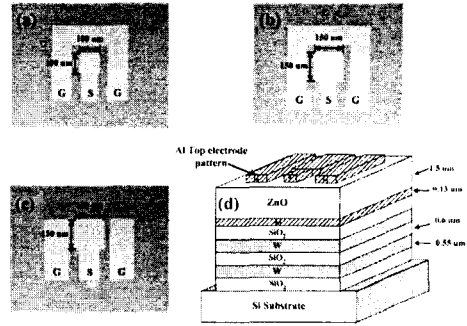


그림 1. 3 가지의 상부전극 패턴 및 제작된 FBAR 소자의 3차원 도식적 그림 : (a) pattern 1, (b) pattern 2, (c) pattern 3, and (d) 각각의 상부 전극 패턴이 적용되는 FBAR 소자의 3차원 도식적 그림

#### IV. Conclusion

같은 증착 조건으로 형성된 Bragg reflector를 갖는 FBAR 소자를 서로 다른 온도에서 annealing하여 S-parameter를 추출하고 annealing되지 않은 소자와의 비교를 통해 공진 특성의 변화를 고찰하였다. 400°C/30min의 조건에서 annealing된 FBAR 소자가 가장 좋은 공진 특성을 보였다. Thermal annealing 공정이 다층구조의 Bragg reflector를 갖는 SMR의 제작에는 매우 효과적인 단계가 될 수 있을 거라고 생각된다.

#### 참고 문헌

- [1] K. M. Lakin, G. R. Kline, and K. T. McCarron, "Development of miniature filters for wireless applications", IEEE Trans. Microwave Theory & Tech., Vol 43, pp 2933-2939, 1995.
- [2] R. C. Ruby, P. Bradley, Y. Oshmyansky, and A. Chien, "Thin film bulk wave acoustic resonators (FBAR) for wireless applications", IEEE Ultrasonics Symp., pp 813-821, 2001.
- [3] S. H. Park, B. C. Seo, H. D. Park, and G. Yoon, "Film bulk acoustic resonator fabrication for radio frequency filter applications", Jpn. J. Appl. Phys., Vol 39, pp 4115-4119, 2000.
- [4] R. Ruby, P. Bradley, J. D. Larson III, and Y. Oshmyansky, "PCS 1900MHz duplexer using thin film bulk acoustic resonators", IEE Electron. Lett., Vol 35, pp 794-795, 1999.
- [5] K. M. Lakin, K. T. McCarron, and R. E. Rose, "Solidly mounted resonators and filters", IEEE Ultrasonics Symp., pp 905-908, 1995.

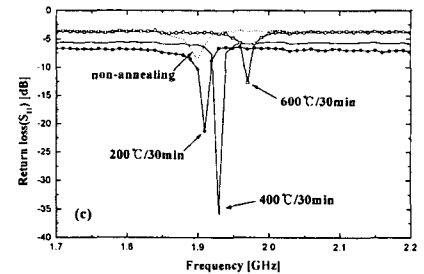
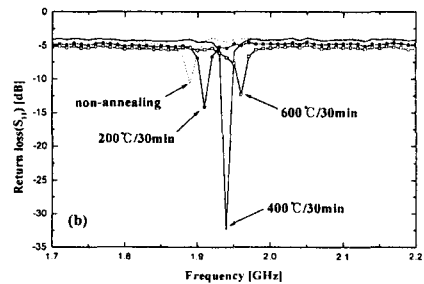
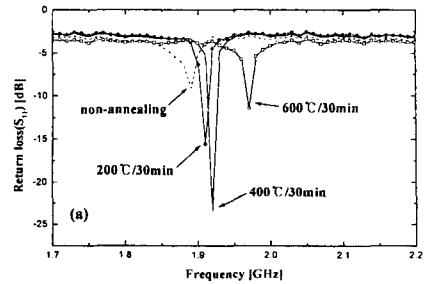


그림 2. 주파수의 함수로 나타난 다양한 어닐링 조건에 따른 Return loss 특성: (a) pattern 1, (b) pattern 2, (c) pattern 3

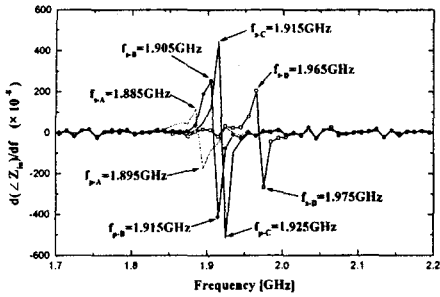


그림 3. 상부전극 pattern 1을 갖는 FBAR에 대한 주파수의 함수로 나타난 입력 임피던스 위상( $\angle Z_{in}$ )의 기울기: 직렬 및 병렬 공진주파수는 각각  $f_s$ ,  $f_p$ 로 표시되었고 첨자 A, B, C, and D는 각각 non-annealing, 200°C/30min annealing, 400°C/30min annealing, 그리고 600°C/30min의 annealing 조건을 가리킨다.

표 1. 다양한 annealing 조건에 따른 3 가지 공진기 pattern에 대한 직렬 Q-factors ( $Q_s$ ) 및 병렬 Q-factors ( $Q_p$ )

	Pattern 1		Pattern 2		Pattern 3	
	$Q_s$	$Q_p$	$Q_s$	$Q_p$	$Q_s$	$Q_p$
Non-annealing	1082	1660	1100	2145	934	1418
200°C/30min	2406	3951	1775	3119	1833	2297
400°C/30min	4264	4961	2850	4966	2300	4264
600°C/30min	2000	2639	1470	2175	2326	2983