

표면 마이크로머시닝을 이용한 압전 박막 공진기 제작

Film Bulk Acoustic Wave Resonator using surface micromachining

김인태^{*,**}, 박운권^{*}, 이시형^{*}, 이수현^{*}, 이윤희^{*}, 이진국^{*}, 김남수^{*}, 주병권^{*}
(In-tae Kim^{*,**}, Yun-Kwon Park^{*}, Si-Hyung Lee^{*}, Soo-Hyun Lee^{*}, Yun-Hi Lee^{*}, Jeon-Kook Lee^{*},
Nam-Soo Kim^{**}, Byeong-Kwon Ju^{*})

Abstract

Film Bulk Acoustic wave Resonator (FBAR) using thin piezoelectric films can be fabricated as monolithic integrated devices with compatibility to semiconductor process, leading to small size, low cost and high Q RF circuit elements with wide applications in communications area. This paper presents a MMIC compatible suspended FBAR using surface micromachining. It is possible to make $\text{Si}_3\text{N}_4/\text{SiO}_2/\text{Si}_3\text{N}_4$ membrane by using surface micromachining and its good effect is to remove the substrate silicon loss. FBAR was made on $2\mu\text{m}$ multi-layered membrane using CVD process. According to our result, Fabricated film bulk acoustic wave resonator has two advantages. First, in the respect of device process, our process of the resonator using surface micromachining is very simple better than that of resonator using bulk micromachining. Second, because of using the multiple layer, thermal expansion coefficient is compensated, so, the stress of thin film is reduced.

Key Words : FBAR, piezoelectric, surface micromachining

1. 서론

압전박막 공진기는 압전 물질의 압전 효과에 의해 발생된 탄성파를 이용한 공진기이다. 이 때 압전 물질과 외부와의 탄성 임피던스 차가 유지된다면 탄성파는 모두 전반사 되어 압전체 내부에 갇히게 된다. 이 탄성파는 특정 주파수 대역에서 정형파를 형성하여 공진기가 구현된다[1]. 압전 물질과 외부와의 탄성 임피던스 차를 형성하기 위한 방법으로는 하부전극 아래에 브래그 반사층이나 공기층을 형성하는 방법이 있다.

1)브래그 반사 층의 경우, 탄성 임피던스 차가 큰 물질을 번갈아 가며 증착 하여야 한다는 공정의

복잡성과 각 박막의 정확한 두께 조절을 하여야 한다는 어려움을 갖고 있다[2]. 현재 많은 연구가 진행되고 있는 실리콘 뒷면 식각을 통해 공기 층을 만드는 방법은 실리콘의 결정성에 의해 식각면이 경사를 갖기 때문에 전체 소자가 차지하는 면적이 증가 하는 점과, 식각 시 소자를 보호해야 하는 어려움이 있다[3].

본 논문에서는 위에서 제시한 문제점들을 해결하고 보다 간단한 공정을 이루기 위해 표면 마이크로머시닝 공정을 이용하여 하부전극 아래에 공기층을 형성하는 방법을 제시하였다. 멤브레인은 실리콘 질화막과 산화막의 다층 구조로 구성함으로써 박막의 스트레스를 보상하였다. 멤브레인 아래에 공기층을 $50\mu\text{m}$ 이상 형성함으로써 실리콘 기판으로의 손실을 줄일 수 있었다. 제작된 소자의 Quality factor는 최대 150까지 나타났으며 K_{eff}^2 은 3.96%를 나타내었다.

* 한국과학기술연구원(KIST) 마이크로시스템센터
(서울특별시 성북구 하월곡동 39-1)
Fax:02-958-5692, E-mail:kimit@kist.re.kr

** 충북대학교 반도체공학과

2. 실험

2.1 제작

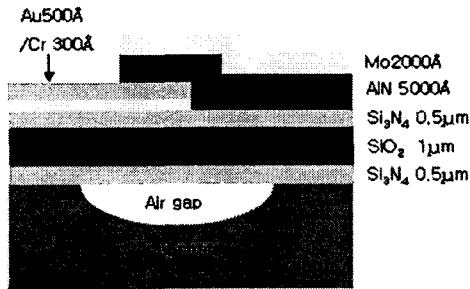


그림 1. Structure of FBAR proposed in this study

그림 1은 FBAR 제작을 위한 구조의 단면도를 보여주고 있다. 다층의 질화막과 산화막이 증착된 실리콘 웨이퍼에 식각창을 형성한 후 기판실리콘을 제거 함으로서 두께가 $2\mu\text{m}$ 인 멤브레인을 형성하였다. 하부 전극으로는 전기적 전도성이 우수하고 AlN의 c-축 배향성이 잘 이루어지는 Au를 사용하였다. 압전 물질로는 압전 상수 값이 큰 AlN를 이용하였고 상부전극으로는 Mo를 사용하였다.

FBAR의 제작 공정은 그림 2와 같다. 멤브레인 형성은 다층의 질화막과 산화막에 식각창을 형성한 후 기판 실리콘을 제거 함으로서 만들 수 있다. 질화막과 산화막에 식각창 형성하기 위해 식각 마스크로 크롬(Cr)을 2000\AA 증착 및 패턴 하였다. 질화막과 산화막은 RIE(Reactive Ion Etching)를 사용하였으며 기판 실리콘은 등방성 식각액인 HNA(불산, 질산, 초산)용액을 이용하였다.

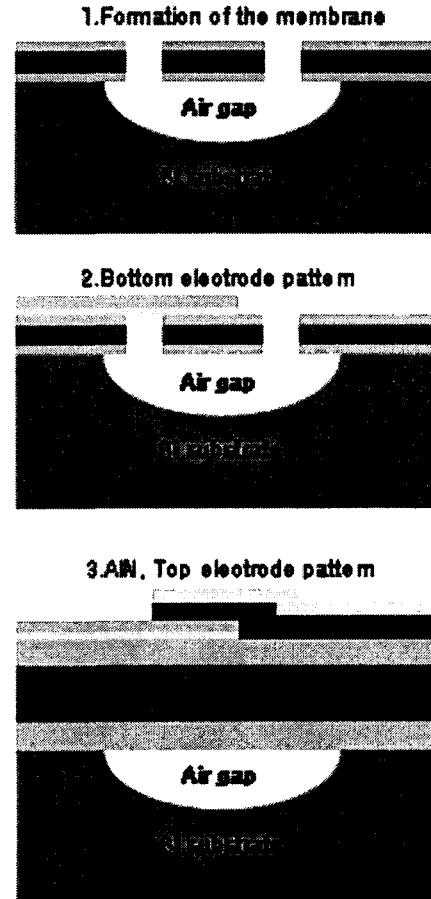


그림 2. Process flow of the FBAR

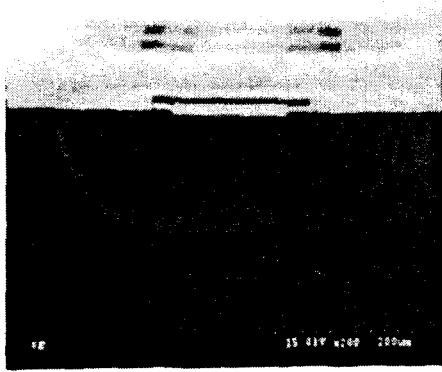


그림 3. Cross sectional view of view of fabricated membrane

그림 3은 제작된 멤브레인 단면의 SEM 사진이다. SEM 사진에서 볼 수 있듯이 멤브레인 아래로 50 μ m 이상의 air gap이 형성 되었음을 알 수 있다. 제작된 멤브레인 위에 adhesion layer로 Cr(300 \AA)과 하부 전극 Au(500 \AA) 을 형성하였다. AlN은 load lock 장치가 있는 스퍼터를 이용하여 base pressure를 2×10^{-7} torr 에서 Al target을 이용하여 증착 하였다. 이 때 가스는 N₂와 Ar을 사용하였다. 증착된 AlN의 압전 특성을 확인하기 위해 XRD 측정을 한 결과

36°에서 AlN의 (002) 피크가 나온 것으로 보아 AlN의 C축 성장이 잘 되었음을 알 수 있었다.

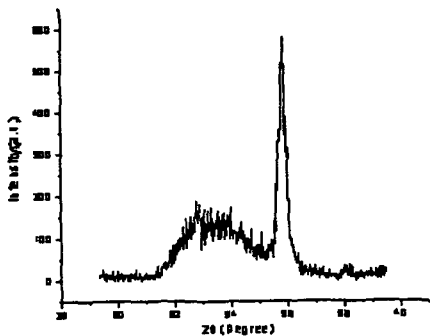


그림 4. XRD analysis of AlN layer deposited on Au electrode

그림 4은 AlN의 XRD 측정 자료이다. 다음으로 상부전극으로 Mo(2000 \AA)을 증착 하였다. 마지막으로 상부전극과 AlN을 식각 함으로서 FBAR를 제작하였다. AlN의 식각 액으로는 1.8wt%의 TMAH용액을 사용하였다.

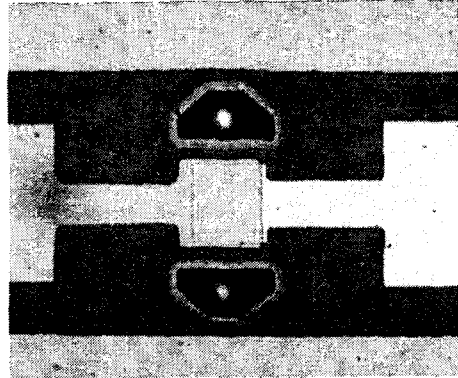


그림 5. The whole view of completed FBAR

그림 5는 제작된 FBAR의 사진이다.

2.2 측정

HP8510C network analyzer를 사용하여 30KHz-6GHz까지 과 S₂₁ 을 측정 하였다.

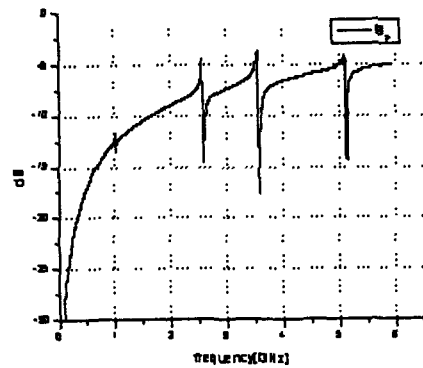


그림 6. Transmission coefficient of the FBAR(30KHz-6GHz)

그림 6은 측정된 S₂₁ 곡선을 나타내고 있다. 측정 결과 3.5GHz대역에서 최대 공진이 일어났고 공진 간격은 약 1GHz정도로 측정 되었다. 필터로 구현 될 경우 최대 공진이 일어나는 주파수 대역을 이용하기 때문에 최대 공진이 일어나는 부분을 자세히 측정 하였다.

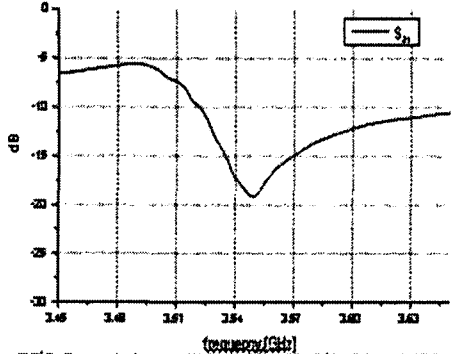


그림 7. Transmission coefficient of the FBAR(3.45GHz-3.65GHz)

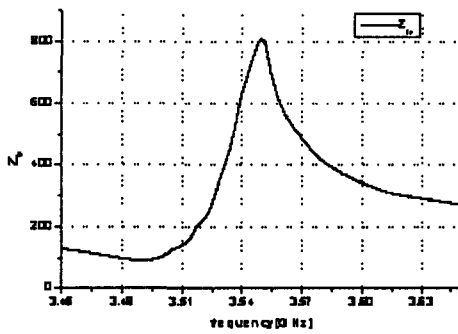


그림 8. Input impedance of the FBAR(3.45GHz-3.65GHz)

그림 7은 3.45-3.65GHz대역에서 측정된 S_{21} 자료이고 그림 8은 이때의 임피던스 곡선이다. 삽입 손실은 약 5.6dB, 시리즈 공진 주파수(fs)는 3.491GHz, 패러럴 공진 주파수(fp)는 3.549GHz, 공진 주파수 간격(Δf)은 58.6MHz로 측정되었다. 공진 주파수를 식 1에 대입하여 K_{eff}^2 값을 계산한 결과 약 3.96%로 나타났다[4].

$$K_{eff}^2 = \frac{\frac{\pi}{2} \frac{f_s}{f_p}}{\tan\left(\frac{\pi}{2} \frac{f_s}{f_p}\right)} \dots\dots\dots(1)$$

Q 값은 측정된 임피던스를 식2에 대입하여 구하였으며 시리즈 공진일때는 100, 패러럴 공진시는 150으로 계산되었다[4].

$$Q = \frac{f}{2} \frac{\partial Z}{\partial f} \dots\dots\dots(2)$$

3. 결론

멤브레인 형태의 FBAR를 제작하기 위해 기존의 벌크 마이크로머시닝 기술을 이용하지 않고 표면 마이크로 머시닝 기술을 이용함으로써 소자제작에 필요한 면적을 줄일 수 있었고 공정 시간 또한 단축시킬 수 있었다. 멤브레인 박막의 스트레스를 줄이기 위해 열팽창 계수가 다른 물질을 교대로 증착함으로써 안정적인 멤브레인을 얻을 수 있었다. 또한 현재 사용되는 반도체 공정을 이용하였기 때문에 MMIC화의 가능성을 보여 주었다.

감사의 글

이 연구는 산업자원부가 주관하는 차세대신기술사업인 무선통신용 트랜시버 시스템 개발의 연구비 지원에 의한 것이며 이에 감사드립니다.

참고 문헌

- [1] Joel F. Rosenbaum, Bulk acoustic wave theory and devices, Artech house, Inc, 1988
- [2] Giwan Yoon, Jae-Don Park Fabrication of ZnO-based film bulk acoustic resonator devices using W/SiO/sub 2/ multilayer reflector, Electronics Letters, Volume: 36 Issue:16, pp. 1435 -1437, 3 Aug. 2000
- [3] Ruby, R., Merchant, P. Micromachined thin film bulk acoustic resonators, Frequency Control Symposium, 1994. 48th
- [4] R.S. Naik, Bragg Reflector Thin-Film Resonators For Miniature PCS Bandpass Filters, Ph.D.Thesis, Dept. of Material Science and Engineering, Massachusetts Institute of Technology, Cambridge MA, 1998.