

SOI 마이크로머시닝 공정을 이용한 Suspended-type 박막공진기의 제작 및 특성평가

論 文
50C-6-8

Fabrication and Characterization of Suspended-type Thin Film Resonator Using SOI-Micromachining Process

朱炳權* · 金賢浩** · 李始炯*** · 李銓國[§] · 金壽遠^{§§}
 (Byeong-Kwon Ju · Hyun-Ho Kim · Si-Hyung Lee · Jeon-Kook Lee · Soo-Won Kim)

Abstract - STFR were fabricated on the floating membrane which was formed by SOI-micromachining process. The floating membranes having a thickness range of 3~15 μ m could be simply formed by micromachining the directly-bonded and thinned SOI substrate. The STFR device fabricated on the 15 μ m-thick membrane showed resonance frequency of fr = 1.65 GHz, coupling coefficient of Keff2 = 2.4 %, and series and parallel quality factors of Qs = 91.7 and Qp = 87.7, respectively.

Key Words : thin film resonator, SOI, micromachining, suspended-type, floating

1. 서 론

Cellular phone, navigation, pager, satellite communication 등으로 대표되는 무선 통신 기기의 수요 증가와 더불어 이에 응용되는 공진기 관련 연구들이 매우 활발하게 진행되고 있다[1-3]. 공진기에는 집중 요소 공진기, 유전체 공진기, 그리고 SAW 필터(surface acoustic wave filter) 등이 있으나 최근 응용 기기의 고성능화-초소형화가 급속히 요구되면서 삽입 손실, 소비 전력, 그리고 크기 면에서 한계에 이르고 있는 실정이다. 따라서, 압전 박막 공진기(FBAR : film bulk acoustic resonator, 혹은 TFR : thin film resonator)에 대한 연구가 활발한데, 이를 통하여 주파수 특성과 삽입 손실의 개선, 그리고 집적화 및 초소형화를 강하게 추구하고 있다[1-3]

TFR의 기본 구조 및 원리는 그림 1을 통하여 간단히 설명될 수 있다. 즉, 압전체의 양단에 상부 및 하부 전극이 위치한 구조로 되어 있고, 두 전극 간에 교류 전압을 가하면 압전체 내부에서 탄성파가 발생하게 되며, 이러한 탄성파는 상 하부 전극에서 반사하여 정재파를 형성한다[4-6].

본 연구에서는 그림 1에 보인 기본 구조를 floating membrane에 형성한 suspended-type TFR (S-TFR)을 제조한 뒤 이의 특성을 평가하여 보았다. Floating membrane을 형성하기 위해 SDB(silicon-wafer direct bonding) 공정에

의해 제조된 SOI기판을 이용하였다. SOI-micromachining을 이용함으로써 bulk micromachining의 경우에 비하여 chip의 크기를 줄일 수 있으며, 반도체 공정과의 호환성을 향상시킬 수 있다. 아울러, 기판으로의 손실을 최소화함으로써 우수한 공진 특성과 낮은 삽입 손실을 얻을 수 있다.

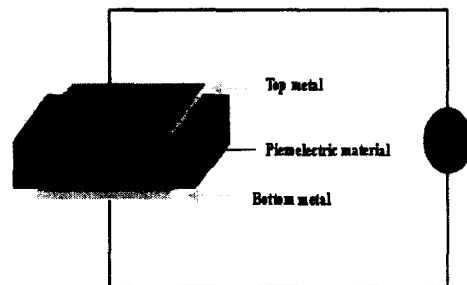


그림 1. TFR의 기본 구조
 Fig. 1. Basic structure of TFR

2. 제조 공정

S-TFR의 제조 공정은 그림 2를 통하여 설명될 수 있다. 본 실험에서는 MEMS 용 SOI 기판을 사용하였는데, Si 기판 위에 1 μ m 두께의 열 산화막이 있으며 이 위에 두께 15 μ m, 혹은 두께 3 μ m의 단결정 실리콘 층이 형성되어 있다. 이러한 SOI 기판은 B&P Science에서 제조한 것으로 열 산화와 SDB 그리고 CMP (chemical-mechanical polishing) 공정을 통하여 제조되었다[4]. 다음으로 상부 Si 층 상에 Cr 식각 마스크를 증착하고 패터닝한 뒤, 90 $^{\circ}$ C-25 wt%의 TMAH (tetramethyl ammonium hydroxide)를 사용하여 Si를 식각하고 이를 통하여 HF 용액으로 Si 층 하부의 열 산화막을 제거하여 floating membrane 구조를 완성하였다. 완성된 membrane의 평면 및 단면 모양을 그림 3에 나타내었으며,

* 正 會 員 : KIST 情報材料 · 素子研究센터 選任研究員
 ** 正 會 員 : KIST 정보재료 · 素子研究센터 學生研究員
 *** 正 會 員 : KIST 薄膜技術研究센터 學生研究員
 § 正 會 員 : KIST 薄膜技術研究센터 選任研究員
 §§ 正 會 員 : 高麗大 電子工學科 教授
 接受日字 : 2001年 2月 1日
 最終完了 : 2001年 4月 2日

응력 등으로 인한 불완전성이 없이 잘 정의된 구조를 보여 주고 있다. Membrane 구조 위에 300 nm 두께의 Cr 하부 전극을 증착하였고, 순차적으로 2 μ m 두께의 AlN 압전 박막과 그리고 Cr 상부 전극을 sputtering에 의하여 증착한 뒤 패터닝 하였다. AlN 박막의 경우 표 1에 보인 바와 같은 RF magnetron sputtering 조건을 적용하였으며, 그림 4에 나타난 증착된 막의 평면 및 단면 모양을 통하여 입계 모양과 columnar 구조를 확인할 수 있다. AlN의 식각은 0.6 wt% -상은 TMAH를 이용하였으며 이때 식각률은 200 nm/min으로 측정되었다. 최종적으로 완성된 S-TFR의 모양을 그림 5에 나타내었다.

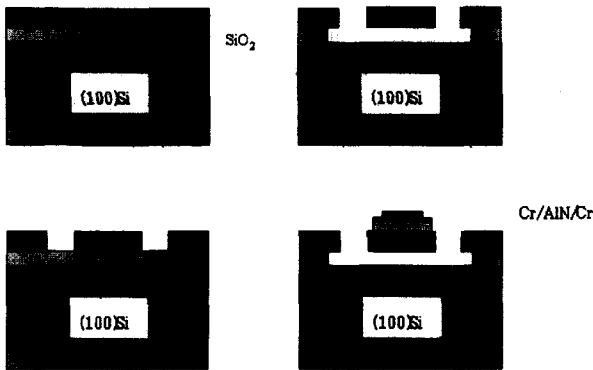


그림 2. S-TFR의 제조 공정
Fig. 2. Fabrication process of S-TFR

표 1. AlN의 RF magnetron sputtering 증착 조건
Table 1. AlN deposition condition for RF magnetron sputtering

Base pressur(Torr)	< 2 \times 10 ⁻⁷
Sputtering pressure(mTorr)	5
RF power(W)	200
Ar : N2 flow rate(sccm)	16 : 4
substrate temperature	Room temperature
Deposition rate(nm/min)	130

3. 특성 평가

제조된 S-TFR 소자의 특성을 평가하기 위하여 HP8510C network analyzer와 microwave probe station을 사용하였으며, 측정 영역은 0.5~4 GHz를 대상으로 하였다. 정확도를 위하여 RF probing system은 1회 사용 후 매 번 교정하였다. 아울러 측정 대상은 membrane 두께가 15 μ m이고, AlN의 면적이 160 μ m x 160 μ m인 소자에 대해 행하였다.

3-1. 입력 반사 계수, S₁₁

그림 6은 S-TFR 소자의 입력 반사 계수 S₁₁에 대해 wide band 및 narrow band spectrum을 보인 것이다. 약 220 MHz를 주기로 하여 공진이 일어남을 알 수 있고, S₁₁

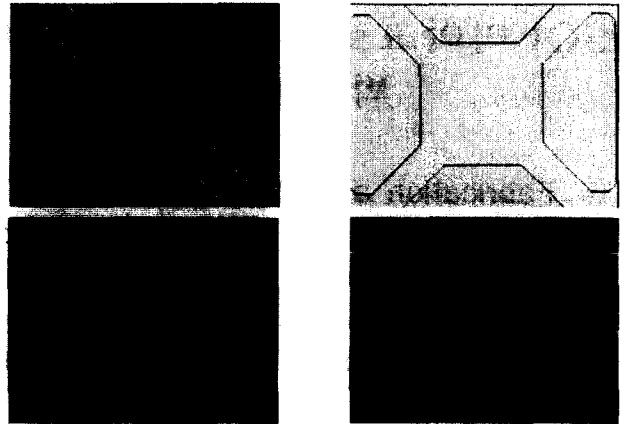


그림 3. SOI-micromachining 공정에 의해 제조된 두께 15 μ m (a) 및 3 μ m (b)의 floating membrane 구조
Fig. 3. 15 μ m-thick (a) and 3 μ m-thick (b) floating membrane structures fabricated by SOI-micromachining process

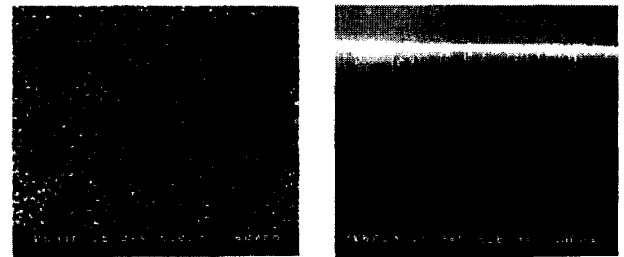


그림 4. 증착된 AlN 막의 입계 (a) 및 columnar 모양 (b)
Fig. 4. Grain boundary (a) and columnar structure (b) of the deposited AlN film



그림 5. Membrane 두께가 15 μ m (a) 및 3 μ m (b)인 S-TFR 소자의 모양
Fig. 5. S-TFR devices having a membrane thickness of 15 μ m (a) and 3 μ m (b)

이 최소인 점, 즉 공진 주파수 fr은 1.653 GHz에서 나타나며, 이 때 -19.1 dB의 값을 가짐을 알 수 있다.

3-2. 입력 임피던스, Z_{in}

그림 7은 S-TFR 소자의 입력 임피던스 Z_{in}에 대해 magnitude에 있어서 wide band 및 narrow band spectrum

을 보인 것이다. Narrow band spectrum을 살펴 볼 때, Z_{in} 이 최소치가 되는 지점에서의 주파수에 해당하는 직렬 공진 주파수 f_s (1.646 GHz)와 최대치가 되는 지점에 해당하는 병렬 공진 주파수 f_p (1.662 GHz)간의 차이는 약 16 MHz로 나타났다. 여기서 band width를 결정하는 요소인 effective electromechanical coupling coefficient, K_{eff2} 을 구할 수 있다. 즉, $K_{eff2} = \{(\pi/2)(f_s/f_p)\}/\{\tan(\pi/2 \cdot f_s/f_p)\} = 2.4\%$ 이며, band width는 16 MHz이다.

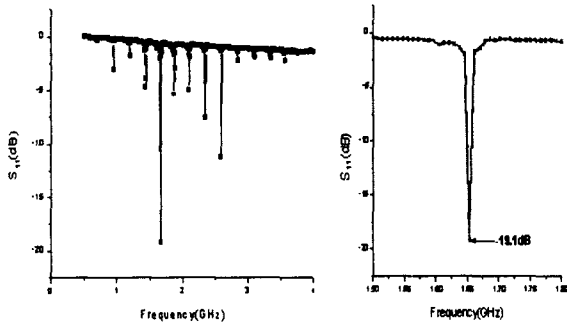


그림 6. 제조된 S-TFR 소자에 있어서 wide band 및 narrow band 입력 반사 계수 (S_{11})
 Fig. 6. Wide band and narrow band response of the reflection coefficient for the fabricated S-TFR device

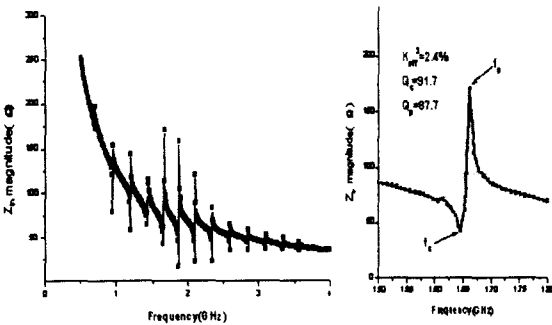
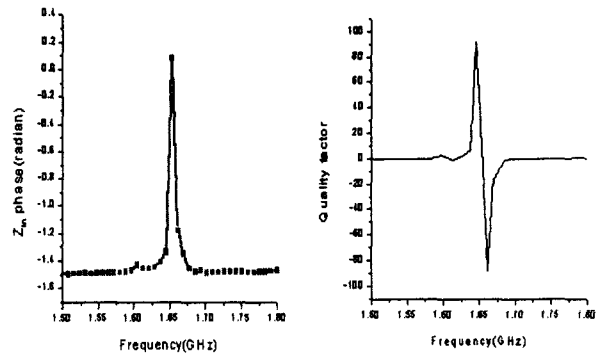


그림 7. 제조된 S-TFR 소자에 있어서 wide band 및 narrow band 입력 임피던스 (Z_{in})
 Fig. 7. Magnitude response of the input impedance for the fabricated S-TFR device

3-3. 선택도, Q

그림 8(a)는 S-TFR 소자의 입력 임피던스 Z_{in} 에 대해 주파수에 따른 phase spectrum을 보인 것이다. 선택도 (quality factor) Q 는 이를 통하여 다음과 같이 계산될 수 있다. 즉, Q_s or $p = (fx/2) (dZ_{in}/df)$, $fx = f_s$ or p 로서, Z_{in} 은 phase response (rad.), fx 는 f_s 혹은 f_p 를 나타낸다. 이로부터 Q 는 그림 8(b)와 같이 얻어지며, 이 때 직렬 선택도 Q_s (series quality factor)와 병렬 선택도 Q_p (parallel



quality
 그림 8. 제조된 S-TFR 소자에 있어서 입력 임피던스의 phase 응답 특성 (Z_{in}) (a) 및 선택도 (Q)
 Fig. 8. Phase response of the input impedance (a) and quality factor (b) for the fabricated S-TFR device

factor)는 각각 91.7과 87.7로 도출되었다

4. 결 론

박막공진기에서 floating 구조를 가진 것은 많이 있지만, SOI-micromachining 공정을 이용하여 floating membrane을 형성한 것은 처음 적용이 되었다. 또한 이 구조 위에 AlN 압전막을 증착하는 방식으로 S-TFR(suspended-type thin film resonator)을 제조하고 그 동작 특성을 평가하여 보았다. 이를 통하여 다음과 같은 결과들을 얻을 수 있었다.

- 1) SOI-micromachining을 적용하여 floating membrane을 제작하는 과정을 통하여, 표준 반도체 공정과 친화성이 있어 집적화가 용이하고 기하학적 구조(두께 및 면적)의 조절 특성이 우수할 뿐 아니라 chip의 크기 감소 등의 효과가 있음을 확인할 수 있다.
- 2) Suspended-type TFR의 경우, 기판으로의 손실이 감소함으로써 주파수 특성 및 선택도, 응답 속도 등 공진기로서의 동작 특성들을 향상시킬 수 있다.
- 3) 제반 사항들을 토대로 하여 S-TFR을 제작하고 동작 특성을 평가한 결과, 1.65 GHz의 공진 주파수(f_r), 2.4%의 커플링 계수(K_{eff2}), 91.7과 87.7의 직렬(Q_s) 및 병렬 선택도(Q_p)를 얻을 수 있었다.

참 고 문 헌

[1] C.T.-C. Nguyen, L.P.B.Katehi and G.M.Rebeiz, "Micromachined devices for wireless communications," Proceeding of The IEEE, vol.86, no.8, pp.1756-1768 (1998.8.)
 [2] 백경갑, 주병권, 김희중, 오명환, 정보통신분야의 초소형 정밀기계, 월간 전자부품, pp.154-163 (1998.12.)
 [3] 백경갑, 주병권, 앞서 배우는 마이크로 시스템, 인터뷰전, pp.15-29 (2000.2.)

- [4] "Compact FBAR Filters Offer Low Loss Performance," Microwave & RF, pp. 127-136, September 1991.
- [5] Kenneth M. Lakin, Gerald R. Kline, and Kevin T. McCarron, "High-Q Microwave Acoustic Resonators and Filters," IEEE Transactions on Microwave Theory and Techniques, Vol. 41, No. 12, December 1993.
- [6] L. Mang, R. Hickernell, R. Pennell and T. Hickernell, "Thin-film Resonator Ladder Filter," IEEE MTT-S Digest, 1995.

저 자 소 개



주 병 권 (朱炳權)

1962년 12월 2일 생. 1986년 서울시립대 전자공학과 졸업. 동대학원 전자공학과 졸업(석사). 1995년 고려대학교 전자공학과 졸업(공학). 1995년 3월 현재 KIST 정보재료소 자연구부 선임연구원. 관심분야 : FPD, MEMS,

Packaging

Tel : 02-958-5775

E-mail : jbk@kist.re.kr



이 전 국 (李鎭國)

1991년 KIST 재료공학과 졸업(공학). 현재 KAIST 박막기술연구센터 책임연구원



김 현 호 (金賢浩)

1997년 경북대 전자공학과 졸업. 1999년 동 대학원 졸업(석사). 현재 KIST 정보재료소자연구센터 학생연구원
H.P : 016-524-7312



김 수 원 (金壽遠)

1974년 고려대 전자공학과 졸업. 1983년 텍사스 주립대 전기공학과 졸업(석사). 1987년 동 대학원 졸업(공학). 1997년 호주 Monash대 교환교수. 현재 고려대 전기·전자전파공학부 교수.

이 시 형 (李始炯)

1999년 연세대 세라믹공학과 졸업(석사). 현재 KIST 박막기술연구센터 학생연구원