

# 고분자 압전필름을 이용한 Bulk Acoustic Wave Resonator의 주파수 특성에 관한 연구

정영학, 김응권, 윤창진, 이규일, 이종덕\*, 송준태  
성균관대학교, 서남대학교\*

## A Study on Frequency Property of Bulk Acoustic Wave Resonator Using PVDF

Young Hak Jeong, Eun Kwon Kim, Chang Jin Yun, Kyu Ill Lee, Jong Duk Lee\*, and Joon Tae Song  
Sungkyunkwan Univ., Sonam Univ.\*

### Abstract

This paper describes the modeling and experimental results for Bulk Acoustic Wave(BAW) Resonator using PolyVinylidene Fluoride(PVDF). We measured the input reflection coefficient ( $S_{11}$ ) of resonators using vector network analyzer and experimental results were measured fundamental resonance at 2.3 GHz with a return loss of -29 dB. Because of fabricated resonator without etching process, we can confirm a possibility of resonator application as using a PVDF.

**Key Words** : BAW resonator, PVDF, Input reflection coefficient, Return loss

### 1. 서 론

최근 이동 통신 시장의 급격한 성장에 힘입어 이동 통신 부품소자는 급속한 발전을 하고 있다. 특히 800 MHz ~ 3 GHz의 통신 주파수를 사용하는 개인 휴대 통신 시스템, 무선가입자망, blue tooth 그리고 위성 통신 등의 시스템에 대한 수요가 증가하고 있다. 이러한 통신 단말 시스템은 필연적으로 무선화, 소형화, 경량화, 고기능화, 고품질화, 저가격화, 고주파수화를 요구하게 된다. rf 이동 통신 부품 중 필터 부분은 핵심 부품 가운데 하나로 이는 무수히 많은 공중파 중에 이용자가 필요로 주파수대를 여과시켜 주는 기능을 한다. 따라서 고품질의 이동 통신을 위해서는 이 필터 기술이 발전이 수반되어야 하며 이러한 필터 기술이 발전하기 위해서는 우선적으로 resonator 특성 개선이 선행되어야 한다. Resonator의 특성 개선을 위해서 재료 및 구조에 대한 연구 및 고찰이 수반되어야 할 것이다.

본 논문에서는 구조가 간단하고, 압전 특성이 우수한 PolyVinylidene Fluoride (PVDF)라는 고분자 압전 필름을 이용하여 모델링을 통해 Bulk

Acoustic Wave (BAW) Resonator를 해석한 후, 제작된 resonator를 Vector Network Analyzer를 이용하여 주파수 응답에 대한 특성을 측정, 분석하였다.

### 2. 실험

#### 2.1 관련이론

압전체의 두께는 폭과 길이에 비해 상대적으로 얇기 때문에 1차원적 이론 분석이 가능하다. 압전체의 구조는 그림 1에 나타내었으며 이러한 전극-압전체-전극의 샌드위치 구조로 된 이론값을 압전 방정식과 경계조건을 이용하여 두께방향으로 해석하였다.

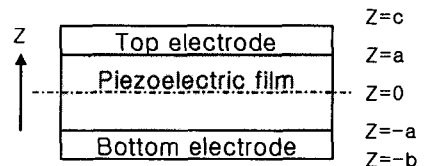


그림 1. Piezoelectric의 구조.

Fig. 1. The piezoelectric of the sandwich structure.

일차원적 파동방정식은 다음과 같이 나타낼 수 있다.

$$\frac{\partial u_3}{\partial t^2} = \frac{c_{33}^2}{\rho} \frac{\partial^2 u_3}{\partial z^2} \quad (1)$$

$c_{33}^2$  = thickness elastic coefficient

$u_3$  = displacement of z axis

$\rho$  = density of the material

경계조건

$$T_{3m}(c)=T_{3m}(-b)=0$$

$$T_{3p}(a-)=T_{3m}(a+)$$

$$T_{3p}(-a+)=T_{3m}(-a-)$$

$$u_{3p}(a-)=u_{3m}(a+)$$

$$u_{3p}(-a+)=u_{3m}(-a-)$$

T= stress,  $3_m$  = electrode of z axis

$3_p$  = piezoelectric film of z axis

압전물질은 다음의 압전방정식 (2)식을 만족해야 한다.

$$\begin{aligned} T_3(z) &= c_{33}^D S_3(z) - h_{33} D_3(z) \\ E_3(z) &= -h_{33} S_3(z) + \beta_{33}^S D_3(z) \end{aligned} \quad (2)$$

$c_{33}^D$  = thickness elastic coefficient

$h_{33}$  = thickness piezoelectric constant

$\beta_{33}^S$  = dielectric impermeability

$$S_3(z) = \frac{\partial u_3}{\partial z} \quad (3)$$

(1)식과 경계조건을 이용하여 (4)식과 같이 나타낼 수 있다.

$$u_{3p}(z) = \left[ A_p \sin\left(\frac{wz}{v_p}\right) + B_p \cos\left(\frac{wz}{v_p}\right) \right] e^{-iwt}$$

$$u_{3m}(z) = \left[ B_m \cos\left(\frac{w(z-c)}{v_m}\right) \right] e^{-iwt} \quad (4)$$

$$u_{3b}(z) = \left[ B_b \cos\left(\frac{w(z+b)}{v_m}\right) \right] e^{-iwt}$$

$$v^2 = \frac{c_{33}^D}{\rho} \quad (5)$$

압전방정식과 경계조건을 이용하여 임피던스는 식 (6)와 같이 나타낼 수 있다.

$$Z_3 = \frac{V_3}{I_3} = \frac{-\int_{-a}^a E_3 dz}{A \frac{\partial D_3}{\partial t}} \quad (6)$$

A=Area of piezoelectric film

압전방정식 (2)을 (6)식에 대입하여 임피던스에 관한 정리를 식 (7)과 같이 나타낼 수 있다.

$$Z = \frac{V_3}{I_3} = \frac{2 h_{33} \sin\left(\frac{wa}{v_p}\right) S - 2a \beta_{33}}{-i\omega A} \quad (7)$$

S=N/M

$$\begin{aligned} N &= 2 h_{33} c_{33} \frac{w}{v_p} \sin\left(\frac{wa}{v_p}\right) \cos\left(\frac{w(a-c)}{v_m}\right) \cos\left(\frac{w(a-b)}{v_m}\right) \\ &\quad - h_{33} c_{3m} \frac{w}{v_m} \cos\left(\frac{wa}{v_p}\right) \cos\left(\frac{w(a-c)}{v_m}\right) \sin\left(\frac{w(a-b)}{v_m}\right) \\ &\quad - h_{33} c_{3m} \frac{w}{v_m} \cos\left(\frac{wa}{v_p}\right) \sin\left(\frac{w(a-c)}{v_m}\right) \cos\left(\frac{w(a-b)}{v_m}\right) \end{aligned}$$

M=

$$\begin{aligned} &2 c_{33}^2 \left(\frac{w}{v_p}\right)^2 \cos\left(\frac{wa}{v_p}\right) \sin\left(\frac{wa}{v_p}\right) \cos\left(\frac{w(a-c)}{v_m}\right) \cos\left(\frac{w(a-b)}{v_m}\right) \\ &\quad - c_{33} c_{3m} \frac{w}{v_p} \frac{w}{v_m} \cos^2\left(\frac{wa}{v_p}\right) \cos\left(\frac{w(a-c)}{v_m}\right) \sin\left(\frac{w(a-b)}{v_m}\right) \\ &\quad - c_{33} c_{3m} \frac{w}{v_p} \frac{w}{v_m} \cos^2\left(\frac{wa}{v_p}\right) \sin\left(\frac{w(a-c)}{v_m}\right) \cos\left(\frac{w(a-b)}{v_m}\right) \\ &\quad + c_{33} c_{3m} \frac{w}{v_p} \frac{w}{v_m} \sin^2\left(\frac{wa}{v_p}\right) \sin\left(\frac{w(a-c)}{v_m}\right) \cos\left(\frac{w(a-b)}{v_m}\right) \\ &\quad - 2 c_{3m}^2 \left(\frac{w}{v_m}\right)^2 \cos\left(\frac{wa}{v_p}\right) \sin\left(\frac{wa}{v_p}\right) \sin\left(\frac{w(a-c)}{v_m}\right) \sin\left(\frac{w(a-b)}{v_m}\right) \\ &\quad + c_{33} c_{3m} \frac{w}{v_p} \frac{w}{v_m} \sin^2\left(\frac{wa}{v_p}\right) \cos\left(\frac{w(a-c)}{v_m}\right) \sin\left(\frac{w(a-b)}{v_m}\right) \end{aligned}$$

## 2.2 BAW Resonator 제작

BAW resonator에 신호를 인가하면 입력반사계수 ( $S_{11}$ )의 변화를 관찰하고자 하였다. 우선 실리콘 기판에 shadow mask를 사용하여, Chemical Vapor Deposition (CVD)방식으로 SiNx 지지층을 증착하여 직경 1.2 cm, 두께 5000 Å인 air-gap을 형성하였다. 고분자 압전필름은 Measurement

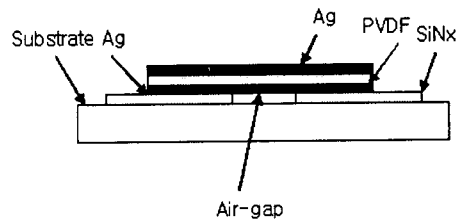


그림 2. BAW resonator의 구조.

Fig. 2. Structure of a BAW resonator.

Specialities사의 P31752 제품으로 상하부 전극이 도포되어 있는 압전 필름을 사용하였고 이것을 지지층에 부착시켰다. 제작한 BAW resonator를 그림 2에 나타내었다.

### 3. 결과 및 고찰

#### 3.1 제작한 BAW resonator의 $S_{11}$ 측정

제작된 BAW resonator의 주파수 응답특성을 알아보기 위해서 HP 8722D Vector Network Analyzer를 이용하였다. 공진기의 하부 전극을 접지시켜 1-port 시스템으로 입력반사계수 ( $S_{11}$ )을 측정하였다. 측정 결과를 그림 3에 나타내었다. 1 GHz~3 GHz 대역에서 2.3 GHz의 공진주파수가 측정되었고 반사 손실은 -29 dB로 분석되었다. 3 GHz~6 GHz 대역에서는 5.9 GHz, -29.7 dB로 측정되었다. 또한 6 GHz~9 GHz대역에서는

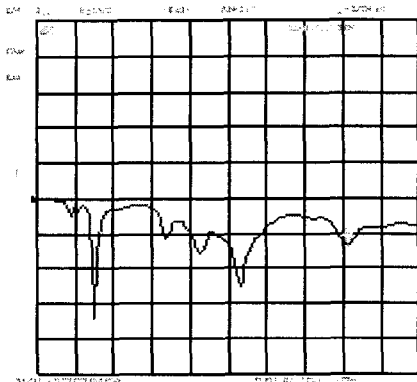


그림 3. BAR resonator의 주파수 응답 특성.  
Fig. 3. Frequency response property of a fabricated BAW resonator.

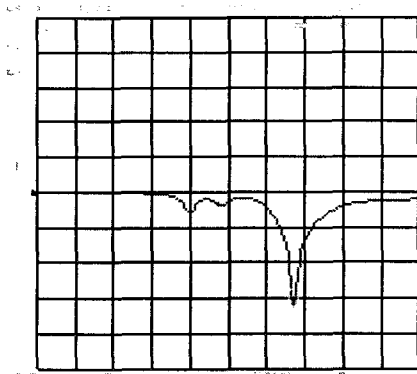


그림 4. 1 GHz ~ 3 GHz의  $S_{11}$  측정.  
Fig. 4.  $S_{11}$  Measurement between 1 GHz~3 GHz.

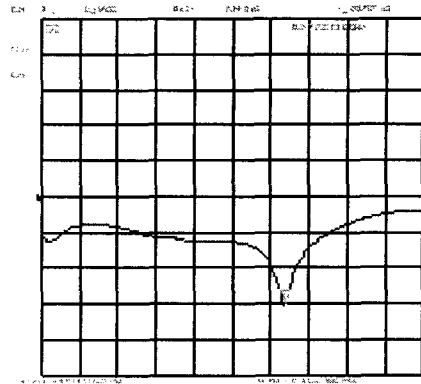


그림 5. 3 GHz ~ 6 GHz의  $S_{11}$  측정.  
Fig. 5.  $S_{11}$  Measurement between 3 GHz ~ 6 GHz.

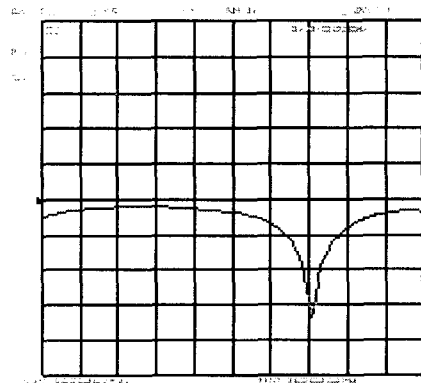


그림 6. 6 GHz ~ 9 GHz의  $S_{11}$  측정.  
Fig. 6.  $S_{11}$  Measurement between 6 GHz ~ 9 GHz.

8.3 GHz, -32 dB로 측정되었다. 측정된 결과를 그림 4, 5, 6에 나타내었다.

### 4. 결론

본 논문은 PVDF를 이용하여 실리콘 기판을 식각하지 않고 기판 표면에 Air-gap을 가지면서 공진주파수가 GHz대인 두께 진동모드 BAW resonator를 제작, 그 주파수 응답 특성을 조사하였다. 제작된 BAW resonators는 입력 반사 계수 측정에서 2.3 GHz 대역에서 공진이 발생하였고 반사 손실은 -29 dB로 비교적 낮은 값으로 측정되었다.

본 논문을 통하여 복잡한 마이크로머시닝 기술을 이용하지 않고 간단한 공정으로써 resonator를

제작이 가능하다는 것을 확인하였다. 향후 임피던스 matching과 전극 접촉면간의 저항값을 개선한다면 우수한 주파수 특성을 얻을 수 있을 것으로 기대되며 보다 정확한 이론적 해석이 주어진다면 rf 필터 및 듀플렉스 제작에도 널리 사용될 수 있을 것이다.

property of FBAR RF Filter using PZT", Spring Conference of KIEEME, p. 57, 2003.

### 참고 문헌

- [1] N. HanaJima, S. Tsursumi, T. Yonezawa, K. Hashimoto, R. Nanjo, and M. Yamaguchi, "Ultrasonic Properties of Lead Zirconte Titanate Thin Films in UHF-SHF Range" Jpn. J. Appl. Phys., vol. 36, p. 6069, 1997.
- [2] K. M. Lakin, G. R. Klin, K. T. McCarron, "High-Q microwave acoustic resonators and filters" IEEE Trans. Microwave Theory and Technique, vol. 41, p. 2139, 1993.
- [3] R. S. Naik, J. J. Lustsky, and R. Raif, "Measurements of the bulk, C-axis electromechanical coupling constant as a function of AlN film quality", IEEE Trans. Ultrason, Ferroelect., Freq. Contr., vol. 47, p. 292, 2000.
- [4] Q. X. Su, P. Kirby, E. Komuro, M. Imura, Q. Zhan, and R. Whatmore, "Thin-film bulk acoustic resonators and filters using ZnO and lead-zirconium-titanate thin films", IEEE Trans. Microwave Theory and Technique, vol. 49, p. 769, 2001.
- [5] K. M. Lakin, K. T. McCarron, J. Belsick, and J. F. McDonald, "Thin Film Bulk Acoustic Wave Resonator and Filter Technology" Radio and Wireless Conference, IEEE, p. 89, 2001.
- [6] T. L. Ren and Y. X. Liu, "PZT based Bulk Acoustic Wave RF Filters", IEEE Trans, vol. 1, p. 726, 2001.
- [7] K. M. Lakin, J. R. Belsick, J. P. McDonald, K. T. McCarron, and C.W. Andrus, "Bulk Acoustic Wave Resonators and Filters For Applications Above 2 GHz" Microwave Symposium Digest, IEEE, vol. 3, p. 147, 2002.
- [8] Chang Jin Yun, Young Hak Jeong, Eung Kwon Kim, Joon Tae Song, "Frequency