

FBAR(Film Bulk Acoustic Resonator)의 주파수 특성에 관한 연구

윤창진, 정영학, 김응권, 송준태*
성균관대학교*

Frequency property of FBAR RF filter using PZT

Chang-Jin Yun, Yung-hak Jung, Eung-Kwon Kim, Jun-Tae Song*,
SungKyunKwan Uni.

Abstract(가운데 정렬, 글씨 크기: 9, 글간격: 200%)

This paper describes the modeling and simulation results for film bulk acoustic resonators(FBAR). We present the frequency tuning mechanisms, analytical solutions of the wave equation and the influence of the thickness of the electrodes. The impedance for PZT based FBAR is derived utilizing proper boundary conditions and their material parameters. Ferroelectrics-based RF filter composed of FBARs are desinged

Key Words : FBAR, RF filter, PZT, resonators

1. 서 론

다가오는 21세기 정보시대의 총아라 할 수 있는 무선이동통신은 오늘날 하루가 다르게 변모하고 있다. 특히 RF 무선이동통신 부품 중 필터 부문이야말로 핵심 수동부품 가운데 하나다. 이는 무수히 많은 공중파중에 이용자가 필요로 하는 신호를 선택하거나 전송하고자 하는 신호를 걸러주는 기능을 한다. 따라서 고품위 무선이동통신을 위해서는 이 필터 개발 기술이 우선돼야 한다. 특히 무선이동통신의 휴대성을 고려한 단말기의 경박단소 및 저전력화 추세에도 기여되는 필터 기술을 필요로 하고 있다. FBAR(Film Bulk Acoustic Resonator) 박막형 필터는 반도체 기판인 실리콘(Si)이나 갈륨비소(GaAs)에 압전유전체 물질을 RF 스퍼터링 방법으로 직접 증착해 압전 특성으로 인한 공진을 유발하는 박막 형태의 소자를 필터로 구현한 것이다. RF 능동소자들의 자유로운 결합이 가능하고 초경량 및 초경박이

며 반도체 공정을 이용한 대량생산으로 단가가 저렴하다.

본 논문에서는 이러한 FBAR(Film Bulk ACoustic Resonator)의 이론적인 해석을 통해 전극의 두께의 변화에 따른 공진주파수의 이동을 시뮬레이션으로 확인할 수 있었다.

2. 이 론

2.1 관련 이론

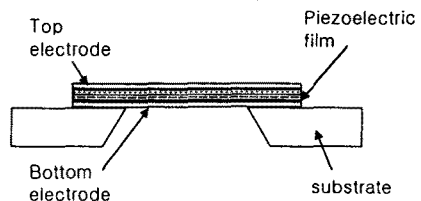


그림 1. FBAR 공진기의 구조

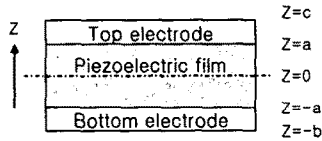
마이크로머시닝의 기술발달과 더불어 RF공진기의 에칭을 가능하게 하였다. 이러한 에칭기술을 바탕으로 FBAR의 구조가 그림1과 같이 나타낼 수 있다. 압전체의 두께는 그것의 폭과 길이에 비해 매우 얇다. 그래서 이경우에 1차원적인 이론적인 분석이 가능하다. 이러한 전극-압전체-전극의 샌드위치 구조로 된 이론치를 압전방정식과 적절한 경계조건을 이용하여 두께방향으로 해석하였다. 일차원적 파동방정식은 다음과 같다.

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

c_{33}^2 = thickness elastic coefficient

u_3 = displacement of z axis

ρ = 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, 3m = electrode of z axis

3p = piezoelectric film of z axis

그림.2 FBAR구조와 경계조건

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

β_{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.

$$\begin{aligned} u_{3p}(z) &= \left[A_p \sin\left(\frac{\omega z}{v_p}\right) + B_p \cos\left(\frac{\omega z}{v_p}\right) \right] e^{-i\omega t} \\ u_{3t}(z) &= \left[B_t \cos\left(\frac{\omega(z-c)}{v_m}\right) \right] e^{-i\omega t} \\ u_{3b}(z) &= \left[B_b \cos\left(\frac{\omega(z+b)}{v_m}\right) \right] e^{-i\omega t} \end{aligned} \quad (4)$$

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

압전방정식과 경계조건을 이용하여 식(4)의 계수(A_p , B_p , B_t , B_b)의 값을 $D_3(z)$ 와 재료변수의 함수로 나타낼 수 있다. 이것을 이용하여 FBAR의 임피던스는 식(6)과 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

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

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

A=N/M

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

M=

$$2 c_{33}^2 \left(\frac{\omega}{v_p}\right)^2 \cos\left(\frac{\omega a}{v_p}\right) \sin\left(\frac{\omega a}{v_p}\right) \cos\left(\frac{\omega(a-c)}{v_m}\right) \cos\left(\frac{\omega(a-b)}{v_m}\right)$$

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

PZT와 Pt재료 변수는 표1과 같다.

표 1. PZT와 Pt전극의 재료 변수

$\rho_p(\text{kg/m}^3)$	7750	$\rho_m(\text{kg/m}^3)$	2.145e+4
$c_{33}^D(\text{N/m}^2)$	1.4371e+11	$c_m^D(\text{N/m}^2)$	1.71e+11
$\beta_{33}^S(\text{m/F})$	8.6153e+7	$h_{33}(\text{V/m})$	2.0811e+9

3. 결과 및 고찰

FBAR의 시뮬레이션은 MATLAB 6.0을 이용하였다. FBAR에서 전극의 두께는 공진주파수의 크기에 영향을 준다. 그림3은 전극이 있는 경우와 전극이 없는 경우에 FBAR의 임피던스(Z)를 비교한 것이다.

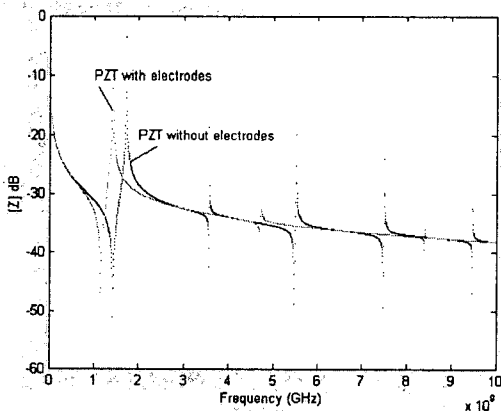


그림 3 PZT 1.0 μm , 하부전극 0.1 μm 상부전극 0.1 μm 와 상부전극이 없는 FBAR의 임피던스

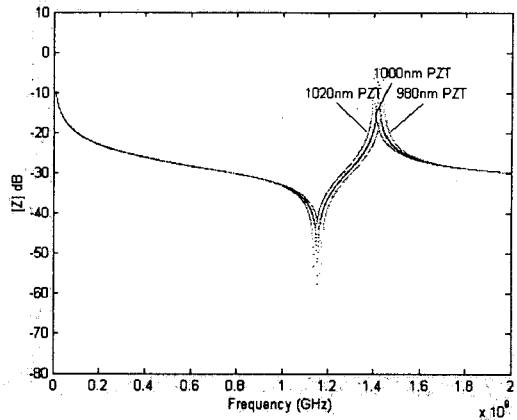


그림 4 PZT 두께에 따른 임피던스 (하부전극 0.1 μm 상부전극 0.1 μm)

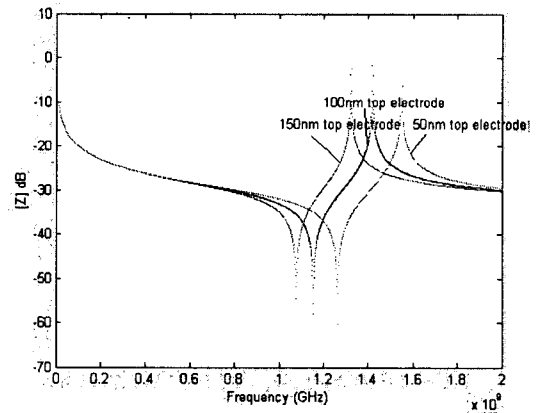


그림 5 PZT 상부전극에 따른 임피던스 (하부전극 0.1 μm PZT 1.0 μm)

그림3에서는 전극이 없는 PZT보다 전극이 있는 PZT의 경우 150MHz정도 차이가 난다. 그림4와 그림5에서는 전극의 두께와 PZT의 두께에 따라 FBAR의 공진주파수가 차이가 남을 알 수가 있다. 즉 FBAR의 공진주파수를 PZT와 전극이 두께로 조절이 가능하지만 실제적인 제조공정상 전극의 두께로 FBAR의 공진주파수를 조절하는 것이 PZT보다 제조원가면에서 유리하다고 할 수 있다.

4. 결 론

압전방정식과 파동방정식 그리고 적절한 경계조건을 이용하여 FBAR의 임피던스를 해석이 시뮬레이션을 통하여 확인할 수 있었다. 이러한 해석은 RF 필터로 사용되는 Pt와 PZT의 디자인에 잘 사용되어질 수 있다. 정확한 시뮬레이션의 결과가 주어진다 면 이 방법은 다른 압전 디바이스에 응용되어질 수 있을 것이다. 앞으로 이 시뮬레이션을 근거로 실험을 해 볼 예정이다.

참고 문헌

- [1] N. Hanajima, S. Tsurumi, T. Yonezawa, K. Hashimoto, R. Nanjo, and M. Yamaguchi, Jpn. J. Appl. Phys., 36, 6069(1997)
- [2] K. M. Lakin, G. R. Klin, K. T. McCarron, IEEE Trans. Microwave Theory and Technique, 41, 2139 (1993)
- [3] R. S. Naik, J. J. Lustsky, and R. Raif, IEEE Trans. Ultrason, Ferroelect., Freq. Contr., 47,292 (2000)
- [4] Q. X. Su, P. Kirby, E. Komuro, M. Imura, Q. Zhan, and R. Whatmore, IEEE Trans. Microwave Theory and Technique, 49, 769 (2001)
- [5] T. L. Ren and Y. X. Liu, "PZT based Bulk Acoustic Wave RF Filters", IEEE Trans. (2001)