

두께 진동모드를 이용한 고주파 세라믹 Resonator의 ANSYS Simulation

ANSYS Simulation of VHF Ceramic Resonator Using Thickness-longitudinal vibration mode

홍재일*, 윤현상**, 민석규***, 윤광희***, 류주현***, 김종선#, 박창엽***
(J.I.Hong, H.S.Yoon, S.K.Min*, K.H.Yoon, J.H.Yoo*, J.S.Kim, C.Y.Park)

Abstract

In this study, $3.1 \times 3.7 \times 0.365$ mm³ model of thickness-longitudinal vibration mode VHF ceramic resonator with (Pb,Ca)(Co,W,Ti)O₃ ceramics was simulated by ANSYS according to the electrode size. With the variations of electrode size of the model, fundamental and the third overtone dynamic ratio was investigated. At the ratio of electrode to model thickness(l/t) 2.5, third overtone dynamic ratio was largely increased. That model is suitable for 20 MHz resonator.

Key Words(중요용어) : ANSYS simulation(ANSYS 시뮬레이션), thickness-longitudinal vibration mode (두께-종진동모드), fundamental and third overtone(1차와 3차 고조파), dynamic ratio,

1. 서론

최근들어, PbTiO₃계 압전세라믹스가 높은 큐리온도, 저 유전율 및 두께 진동모드에서의 높은 전기기계 결합계수를 갖고있어 고주파 필터와 레조네이터로 폭넓게 응용되고 있다. 그러나, 순수한 PbTiO₃계 압전세라믹스는 높은 이방성으로 인하여 소결이 쉽지 않고, 비저항이 낮아(10^7 - 10^8 Ωcm) 분극이 어렵기 때문에 불순물을 도핑하여 제조하여 사용하고 있다[1].

일반적으로 두께 진동모드를 이용한 세라믹 레조네이터의 경우 소자의 두께에 반비례하여 공진주파수가 결정되므로 원하는 주파수에 따라서 가공할 수 있다[2]. 그러나 사용 주파수가 VHF대역으로 높을 경우 1차 진동모드를 이용하면 소자의 두께 감소로 세라믹의 가공이 용이치 않으나 고조파(high order harmonics)를 이용하여 해결할 수 있으며[3] Yamashita 등은 PbTiO₃계 압전세라믹스로 두께 진동모드를 이용하여 14~40 MHz용 VHF 대역 발진자와 필터에 대해 연구 발표하였다[4,5].

공진 시 임피던스와 반공진 시 임피던스의 비인 dynamic ratio가 크면 공진 시 임피던스의 감소로 저전압 구동이 가능해지며, 또한, 공진주파수에서 안정된 진동을 유지할 수 있으므로 50 dB 이상의 높은 dynamic ratio를 갖게 되면 실용적인 레조네이터로 응용이 가능하다.

따라서, 본 연구에서는 ANSYS 시뮬레이션을 통

* 동서울대학 전기과

(경기도 성남시 수정구 복정동 423,

Fax: 031-720-2060

E-mail : jihong@haksan.dsc.ac.kr)

** 경문대학 전기과

*** 세명대학교 전기공학과

삼성전기 종합연구소

하여 (Pb,Ca)(Co,W,Ti)O₃계 20 MHz용 레조네이터의 전극 크기에 따른 1차 진동모드와 3차 진동모드의 dynamic ratio에 대해 고찰하고자 한다.

2. ANSYS 시뮬레이션

그림 1은 시뮬레이션에 이용된 시편의 모양을 나타낸 것이다. 여기서 시편의 크기는 3.1×3.7×0.365 mm로 고정하였으며, t는 시편의 두께, l은 상부와 하부에 있는 정사각형 부분전극의 한변의 길이를 나타낸 것이다.

전극의 크기에 따라 시뮬레이션 한 모델의 종류는 표 1에 나타내었다.

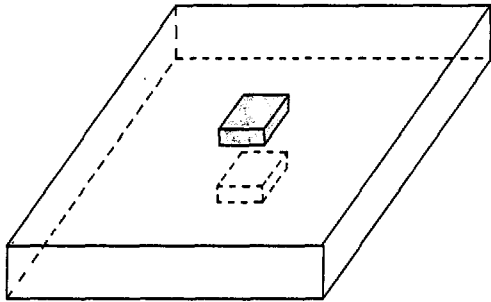


그림1. 고주파 세라믹 레조네이터 모델
Fig. 1 VHF ceramic resonator model

표 1. 고주파 세라믹 레조네이터 모델의 종류
Table 2. Classification of VHF ceramic resonator model

시편번호	시편크기[mm]	전극크기[l/t]
R1	3.1×3.7×0.365	1.0
R2	"	1.5
R3	"	2.0
R4	"	2.5
R5	"	3.0
R6	"	3.5
R7	"	4.0

본 시뮬레이션에서 이용한 (Pb,Ca)(Co,W,Ti)O₃계 세라믹스의 재료정수는 표 1과 같다. 이 조성은 변성된 PbTiO₃계 조성으로서 소결과 분극을 용이하게 하기 위해 Pb자리에 Ca를 Ti자리에 Co,W를 치환시킨 것이다.

표 1. (Pb,Ca)(Co,W,Ti)O₃계 세라믹스의 재료정수
Table 1. Material properties of (Pb,Ca)(Co,W,Ti)O₃ ceramics

항 목	정수
ρ (kg/m ³)	7000
ϵ_{33}^T (10 ⁻⁹ F/m)	1.77
ϵ_{11}^T (10 ⁻⁹ F/m)	1.97
c_{11}^E (10 ¹⁰ N/m ²)	5.7
c_{12}^E (10 ¹⁰ N/m ²)	1.28
c_{13}^E (10 ¹⁰ N/m ²)	1.37
c_{33}^E (10 ¹⁰ N/m ²)	12.0
c_{44}^E (10 ¹⁰ N/m ²)	5.785
c_{66}^E (10 ¹⁰ N/m ²)	4.3
e_{31} (C/m ²)	-0.85
e_{33} (C/m ²)	7.54
e_{15} (C/m ²)	3.64

레조네이터의 dynamic ratio는 ANSYS 시뮬레이션 결과 데이터를 이용하여 (1)식으로 계산하였으며 두께방향 전기기계 결합계수 k_t 는 (2)식으로 계산하였다.

$$\text{dynamic ratio} = 20 \log_{10} \frac{|Z|_{\max}}{|Z|_{\min}} \text{ [dB]} \quad (1)$$

$$k_t = \frac{\pi}{2} \cdot \frac{f_r}{f_a} \tan\left(\frac{\pi}{2} \cdot \frac{f_a - f_r}{f_a}\right) \quad (2)$$

3. 결과 및 고찰

그림 2에는 시뮬레이션 결과로 얻어진 1차와 3차 진동모드 임피던스 곡선을 나타내었으며 이 곡선에서 얻어진 데이터로 (1)식에서 k_t 를 계산하여 그 결과를 그림 3에 나타낸 것이다.

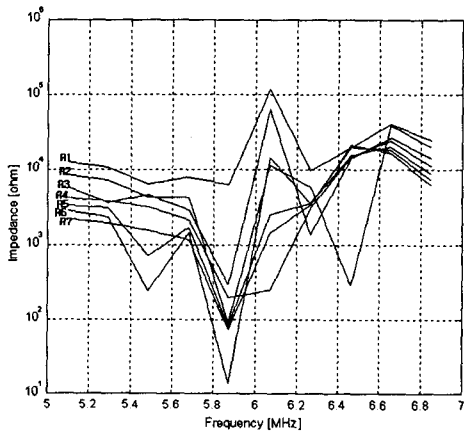
그림 2에서 1차 공진주파수는 전극의 크기에 무관하게 5.875 MHz이었으며 3차 공진주파수는 전극의 크기에 따라서 20.305 MHz ~ 20.695 MHz이었다. 전체적으로 전극의 크기가 커짐에 따라서 임피던스 값은 감소하였다.

그림 3에서 1차 진동모드에서 전극크기에 따른 k_t 는 1/t이 1과 2일 때 감소하고 나머지는 거의 일정하였으며, 3차 진동모드에서 전극크기에 따른 k_t 는 전체적으로 값이 작고 1/t이 2일 때 감소하였다가 2.5에서 다시 증가하여 그 이후로는 거의 일정하였다.

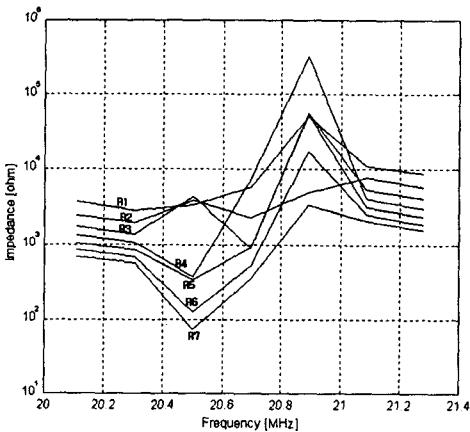
두께방향 전기기계 결합계수인 k_t 가 높으면 두께 방향으로 전기변환 효율이 우수하므로 두께 증진동

이 잘 생길 것이다.

기계적 품질계수가 높으면 공진시의 임피던스가 낮게되며, 이는 낮은 전압으로 공진구동이 가능해지는 잇점을 갖고 있다. 또한, 3차 진동모드를 이용할 때에 이 주파수에서의 Q_m 이 높으면 반공진 임피던스가 높아지며, 이는 공진과 반공진 임피던스의 비가 더욱 증가하여 진동을 더욱 안정하게 할 수 있으므로 이 비가 높으면 높을수록 우수한 레조네이터가 될 수 있다.[6]



(a) 1차 진동모드의 임피던스 곡선



(b) 3차 진동모드의 임피던스 곡선

그림 2. 1차와 3차 진동모드의 임피던스 곡선
Fig. 2 Impedance plot of fundamental and the third vibration mode

그림 4에는 1차 진동모드와 3차 진동모드에서의 임피던스의 비율인 dynamic ratio를 나타내었다. 레조네이터의 두께와 전극 크기의 비인 l/t 이 2.5일 때

1차 진동모드의 dynamic ratio는 감소하고 3차 진동모드의 dynamic ratio는 증가하여 이 때가 기본 진동모드가 억제되고 3차 진동모드가 가장 활성화되는 포인트라고 생각된다.

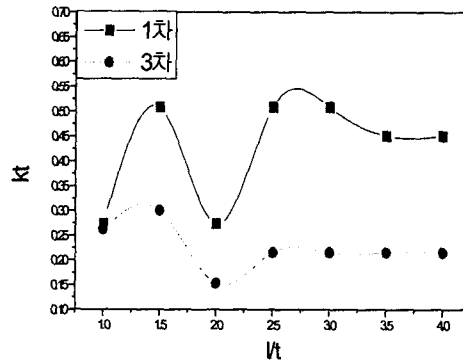


그림 3. 1차와 3차 진동모드의 kt 곡선
Fig. 3 kt plot of fundamental and the third vibratio mode

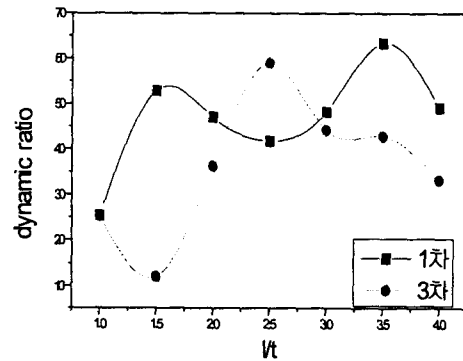


그림 4. l/t 에 따른 dynamic ratio
Fig. 4 Dynamic ratio with l/t

4. 결론

본 연구에서는 $PbTiO_3$ 계 세라믹을 이용하여 20 MHz용 고주파 세라믹 레조네이터를 설계하고자 전극의 크기를 변화하여 ANSYS 시뮬레이션을 한 결과, 레조네이터의 두께와 전극 크기의 비인 l/t 이 2.5일 때 1차 진동모드의 dynamic ratio는 감소하고 3차 진동모드의 dynamic ratio는 증가하여 이 때가

기본 진동모드가 억제되고 3차 진동모드가 가장 활성화되었다.

본 시뮬레이션에서는 전극의 질량부하효과를 고려하지 않았으나 추후에 이를 보완하고자 한다

참고 문헌

- [1]. T. Suwannasiri and A. Safari "Effect of rare-earth additives on electromechanical properties of modified lead titanate ceramics", J.Am.Ceram.Soc. Vol. 76, No. 12, pp. 3155-58, 1993
- [2]. T. Ikeda, Fundamentals of Piezoelectricity, p.116, Oxford Univ. Press, New York, 1990
- [3]. S. Fujishima, J. Merlina and J. Miyazaki, "Piezoelectric Ceramic Resonators and Filters", pp.184-189, 38th Annual Frequency Control Symposium, 1994
- [4]. Y. Yamashita, S. Sakano and I. Toda, "TE Harmornic Overtone Mode Energy-Trapped Ceramic Filter with Narrow Frequency Tolerance", Jpn. J. Appl. Phys., Vol. 36, pp. 6096-6102, 1997
- [5]. Y. Yamashita,, Y. Oikawa and M. Sugimoto, "Inharmonic Overtone Spurious Mode Surppression by Partial Mass Loading onto the Electrode Energy-Trapped-Type Thickness-Extensional-Mode Piezoelectric Ceramic Resonators", Jpn. J. Appl. Phys., Vol. 37, pp. 5318-5321, 1998
- [6].松下電器, "壓電磁器 組成物及 びその製造方法" 特開平 7-206517, 1995