

Pb(Sn_{1/2}Sb_{1/2})O₃-PbTiO₃-PbZrO₃ 계 소결체의 직경변화가
공진 및 필터특성에 미치는 영향

임진호·조상희*

동양화학(주) 중앙연구소

*경북대학교 재료공학과

(1987년 3월 5일 접수)

Effect of Size of Sintered Body on Resonant and Filter Characteristics
in Pb(Sn_{1/2}Sb_{1/2})O₃-PbTiO₃-PbZrO₃ Piezoelectric Ceramics

J. H. Lim and S. H. Cho*

Research Center, Oriental Chemical Industry

* Department of Materials Science and Engineering Kyungpook National University

(Received March 5, 1987)

요 약

Pb(Sn_{1/2}Sb_{1/2})O₃-PbTiO₃-PbZrO₃계의 공진 및 필터특성에 미치는 소결체의 직경의 영향을 연구하였다. 또한 Ring-dot type 과 Ladder type 필터의 감쇄특성을 비교 검토하였다.

소결체의 직경이 감소할수록 공진특성(Fr, Fa)과 중심주파수(Fo)는 증가하였다. 분극처리전계가 증가할수록 전기기계결합계수와 대역폭이 증가하였다.

Ring-dot type 과 Ladder type 필터의 가장 큰 차이점은 대역폭의 sharpness, 선택도 그리고 중심주파수의 변화이다.

ABSTRACT

In this study, the effect of the size of sintered body on resonant and filter characteristics in Pb(Sn_{1/2}Sb_{1/2})O₃-PbTiO₃-PbZrO₃ piezo-electric system were investigated. The attenuation characteristics of ring-dot type and ladder type filter were also investigated.

As the size of sinterd body was decreased, the resonant characteristic(Fr, Fa) and the center frequency(Fo) were increased. As the poling field was increased, the K_p and bandwidth were increased. The big difference between rign-dot type and ladder type was the sharpness of bandwidth, selectivity and the movement of center frequency.

1. 서 론

필터는 특정주파수 이상 혹은 이하의 주파수 에너지를 통과(차단) 또는 특정주파수 대역의 에너지를 통과(차단) 또는 특정주파수 대역이외의 주파수 에너지를 차단(통과)시키는 기능을 가진 전자소자로서 AM, FM 라디오, TV 및 통신기기등에 폭넓게 응용되고 있다.

세라믹필터는 압전세라믹스의 공진현상을 이용한 압전 소자로서 여파특성을 실현화한 것이다. 특히 최근에는 전자부품소자의 집적화가 진행됨과 더불어 소형화, 높은 선택도(Selectivity), 무조정화 및 집적필터화가 요구되고 있다. 압전세라믹필터는 세라믹재료의 개발과 제조기술의 진보로 이와같은 요구를 충족시킬수 있는 최적소자이며 진동자의 진동모드(Vibration Mode)를 변화시킴에 따라 수십 kHz~MHz 까지 응용이 가능하다.¹⁾ 특히 원판형모드로 제작할 경우 중심주파수가 80~700 KHz 사이로 AM-IF 필터용으로 적합하다.²⁾

본 연구실에서는 이미 하소온도의 변화에 따른 압전세라믹스의 공진특성에 미치는 영향과^{3,4)} 소결체 및 전극의 크기와 조성이 압전세라믹스의 공진특성에 미치는 영향⁴⁾ 및 압전세라믹스의 소결체의 직경크기가 Ladder type 필터특성에 미치는 영향⁵⁾에 대해 발표한바 있으며 따라서 본 연구에서는 Pb(Sn_{1/2}Sb_{1/2})O₃ - PbTiO₃ - PbZrO₃ 계의 압전세라믹필터를 원판형모드로 제조하여 소결체의 직경 변화에 따른 공진특성을 조사하였고, 3 단자망(Ring-dot type) 필터를 디자인(Design) 하여 분극처리전계의 변화에 따른 공진특성과 필터특성을 조사하였으며, 이미 발표된바 있는 Ladder type 필터와 서로 비교검토하였다.

2. 3 단자망(Ring-dot type) 세라믹 필터의 이론

압전세라믹진동자의 등가회로(Equivalent circuit)는 진동자의 형태와 전극의 모양에 따라서 결정된다.⁶⁾ 원판의 경방향진동을 이용하는 Ring-dot type의 분할전극필터는 원판의 경방향진동의 제 1 고조파를 이용하고 있으며 이의 등가회로를 그림 1에 나타내었다. 이 등가회로의 R_m, L_m 및 C_m은 공진자와 같은 형식을 취하는 제정수이며, C₀₁은 입력측 dot의 용량(Capacitance)이며, C₀₂는 출력측 ring의 용량이고 C₀₁₂는 입·출력 전극판용량이다 C₀₁₂이 C₀₁과 C₀₂에 비하여 아주 적은 경우에

$$n^2 = C_{02}/C_{01}$$

이 되고 n은 전자부품의 변압기(transformer)의 변성비에 해당되는 값이다.

3 단자망필터의 동작원리는 입력측으로 인가된 시그널(Signal)에 의해서 C_m, L_m, C_m 및 C₀₁이 상호 복합적으로 작용하여 공진특성을 일으키게 되며 이 공진특성이 변성비(n)에 의하여 전기적에너지 → 기계적에너지 → 전기적에너지로 변환되어 출력측에 나타난다. C₀₁과 C₀₂ 값이 같은 경우에는 입·출력 임피던스(Impedance)가 대칭인 필터가 되며 C₀₁과 C₀₂ 값이 다를 경우에는 입·출력 임피던스가 비대칭인 필터가 된다. 여기서 용량은 전극면적에 따라 바뀌므로 필터를 설계할 때는 C₀₁과 C₀₂의 전극면적이 매우 중요하다. 그리고 감쇄특성을 살펴보면 ring과 dot의 분극방향이 같은 경우 주파수가 낮은 부분은 잘 감쇄되지 않는다. 반면 ring과 dot의 분극방향이 다를 경우에는 주파수가 낮은 부분은 잘 감쇄되지 않고 주파수가 높은 부분은 잘 감쇄된다.⁶⁾ 그러므로 응용목적에 따라 분극방향을 조절할 수가 있다.

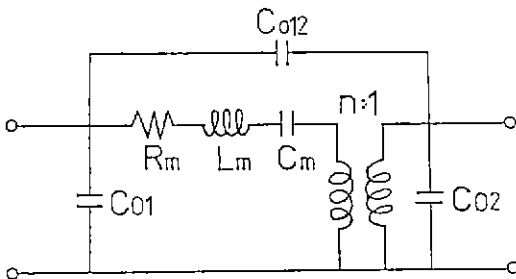


Fig.1. Equivalent circuit of Ring-dot type resonator.

Table 1. Raw Materials.

material	crystal class	purity(%)
PbO(massicot)	orthorhombic	99.86
TiO ₂ (rutile)	tetragonal	99.92
ZrO ₂ (deleyiye)	monoclinic	99.52
MnO ₂	orthorhombic	98.23
SnO ₂	—	98.00
Sb ₂ O ₃	—	98.00

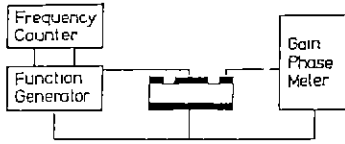


Fig. 2. Measurement equipment.

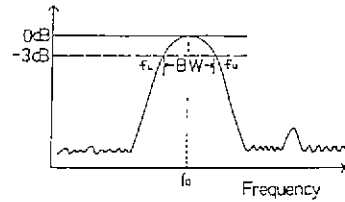


Fig. 3. Definition.

3. 실험방법

3.1 시료제조 및 측정

본 실험에서 사용한 시약의 종류와 결정구조를 표 1에 나타내었다. 순도는 98~99.92% 정도의 특급시약을 사용하였다. 원료의 조성은 $x\text{Pb}(\text{Sn}_{1/2}\text{Sb}_{1/2})\text{O}_3 - y\text{PbTiO}_3 - z\text{PbZrO}_3$ 계에서 $x=5, y=60$ 그리고 $z=35$ mole% 로 고정하였으며, 압전특성을 향상시키기 위하여 첨가물로서 MnO₂ 를 0.4 wt% 첨가하였다.⁸⁾ 소결시 PbO 가 휘발하기 쉬우므로 이 휘발량을 보상함과 동시에 소결특성을 높이기 위하여 기본조성에 0.03 mole% 만큼의 PbO 를 과잉첨가시켰다.⁹⁾ 원료를 정해진 중량비에 따라서 평량하여 원료, 불 및 증류수를 1:1:1의 중량비로하여 습식볼밀방법으로 10 시간 혼합하였다. 혼합된 원료를 충분히 건조시킨 다음 알루미늄 도가니에 넣고 900°C 에서 2 시간동안 하소하였다. 하소된 분말을 혼합시와 같은 방법으로 8 시간 재분쇄하여 충분히 다시 건조시켰다. 결합제로서 5 wt% P.V.A. 수용액을 사용하여 1000 kg/cm²의 압력으로 성형하였으며 성형체는 직경이 7~15 mm 이고 두께가 1 mm 인 원판형이었다. 소결은 1200°C 에서 2 시간동안 행하였다. 소결된 시편의 밀도는 7.7 g/cm³ 정도 이었다. 소결된 시편은 SiC 연마지(# 800, # 1000, # 1200)를 사용하여 직경이 각각 5.5, 6.5, 9, 11 그리고 12.5 mm 및 두께가 모두 0.6 mm 가 되게 차례로 연마하고 최종적으로 Diamond Compound(2 μm)로 연마한 후 시편의 표면을 Alcohol 로 세척하고 은전극(Dupont 7095)을 스크린 인쇄법으로 바른 후 600°C, 10 분간 유지하여 전극을 부착하였다.

분극처리는 100°C 의 silicone oil 속에서 직류전계를 인가하여 30 분동안 분극시켜서 필터를 구성하였다. 이때 전계는 2.5 kV~4 kV 까지 변화시켰다. 이렇게 분극처리한 시편을 24 시간 공기중에 방치한 후 Automatic Capacitance Bridge(HP 4270), Vector Impedance Meter(HP 4800) 및 Frequency Counter(HP 5300 A)를 그림 2 와 같이 배치하여 공진주파수, 비공진주파수 및 세

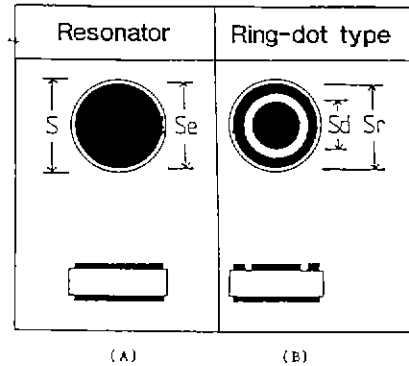


Fig. 4. Electrode patterns of specimens.

정수를 측정하였다. 일반적으로 필터의 특성을 조사하기 위해서는 감쇄특성곡선을 나타내 보아야 하는데 감쇄량의 단위는 dB(decibel)로서 아래와 같이 정의된다.

$$\begin{aligned} \text{dB} &= -20 \log \frac{V_o}{V_i} \\ &= -20 \log \frac{I_o}{I_i} \\ &= -10 \log \frac{P_o}{P_i} \end{aligned}$$

여기서 V_o : 출력전압, V_i : 인가전압

I_o : 출력전류, I_i : 인가전류

P_o : 출력전력, P_i : 입력전력

그림 3 에서 필터특성곡선과 출력이 입력의 70% 에 해당되는 -3 dB 감쇄직선과 만나는 주파수중 높은 쪽 주파수를 f_u (upper cut off frequency) 낮은쪽 주파수를 f_L (lower cut off frequency)이라고 두면 중심주파수(f_0)와 대역폭은 아래와 같이 정의된다.¹⁰⁾

$$\text{중심주파수 } f_0 = f_L \cdot f_u$$

$$\text{대역폭 } B. W. = f_u - f_L$$

3.2 전극 Design

그림 4 와 같이 공진자의 공진특성을 측정하기 위하여

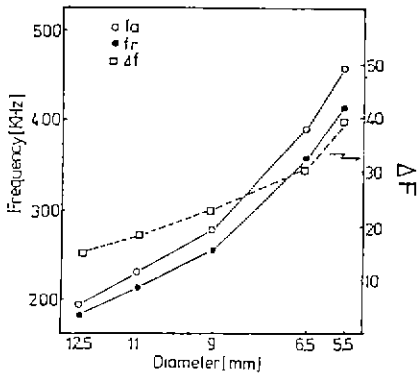


Fig. 5. Fr, Fa and ΔF vs. diameter of specimens.

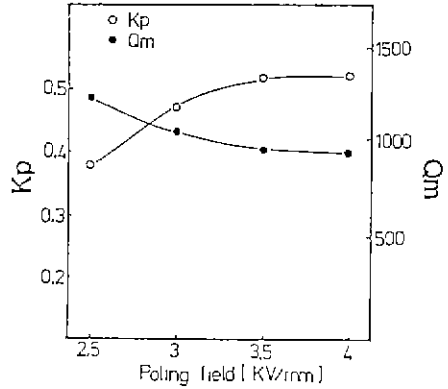


Fig. 7. K_p and Q_m vs. poling field.

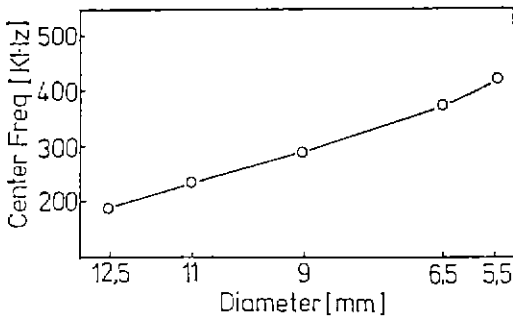


Fig 6. Center frequency vs. diameter of specimens.

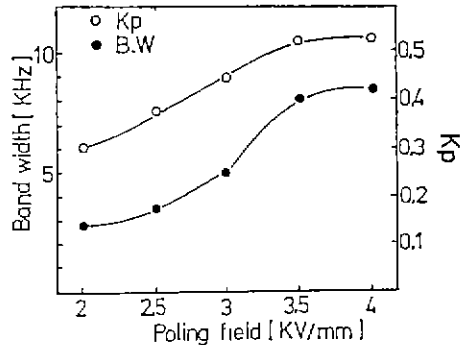


Fig. 8. K_p and B. W. vs. poling field.

(A)와 같은 형태의 전극을 부착하였으며, 여기서 S는 소결체의 직경이고 Se는 전극의 직경이다.

필터특성을 조사하기 위하여 (B)와 같은 Ring-dot type으로 전극을 디자인하였다. Sd는 입력측 det의 전극 직경이며, Sr은 출력측 ring의 전극직경이다. 그리고 밑면은 접지(ground)로 하였다.

4. 결과 및 고찰

4.1 시편의 직경변화와 공진특성

공진주파수(f_r), 반공진주파수(f_a) 및 $\Delta f(=f_a-f_r)$ 와 시편의 직경변화와의 관계를 그림 5에 나타내었다. 시편의 직경이 감소할수록 f_r 및 f_a 가 급격하게 증가하였으며 또한 Δf 도 점차 증가하였다. 이 결과 시편의 직경이 공진동가치에 영향을 미침을 알 수 있었다.

그림 6은 시편의 직경에 따른 필터로서 응용시 중요한 인자인 중심주파수(f_0)의 변화를 나타낸 것이다. 시편의

직경이 감소함에 따라 f_0 가 증가하였는데 이러한 중심주파수의 이동은 공진주파수 및 반공진주파수의 변화에 큰 영향을 받는다는 것을 알 수 있다. 이는 필터로 응용시 시편의 직경을 변화시키기에 따라시 응용목적에 적합한 특정주파수를 선택할 수 있음을 알 수 있다.

4.2 분극처리전계의 영향

그림 7은 분극처리전계의 변화에 따른 전기기계결합계수(K_p)와 기계적품질계수(Q_m)의 변화를 나타낸 것이다. 분극처리전계가 3.5 kV까지는 K_p 는 증가하고 Q_m 은 감소하였으나 3.5 kV 이상에서는 K_p 와 Q_m 은 거의 변화가 없이 포화(Saturation) 되었다.

그림 8에서는 k_p 와 대역폭(Band Width)의 변화를 나타낸 것이다. 대역폭이 K_p 에 직접적으로 비례하여 증가하였으며 또한 분극처리전계가 3.5 kV일때 감쇄특성이 가장 좋게 나타났다. 결과적으로 분극처리전계의 증가로

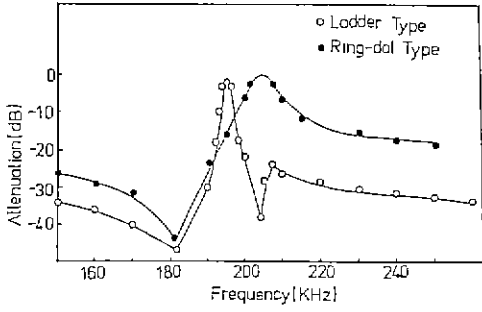


Fig. 9. Attenuation characteristic(12.5 mm)

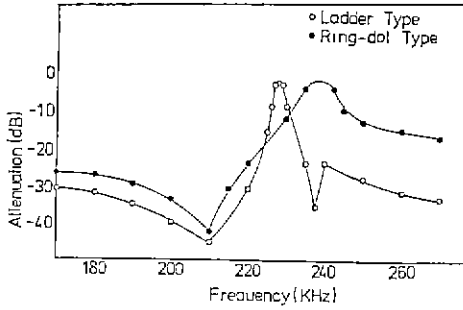


Fig. 10. Attenuation characteristic(11 mm).

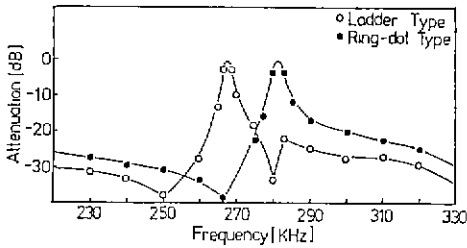


Fig. 11. Attenuation characteristic(9 mm).

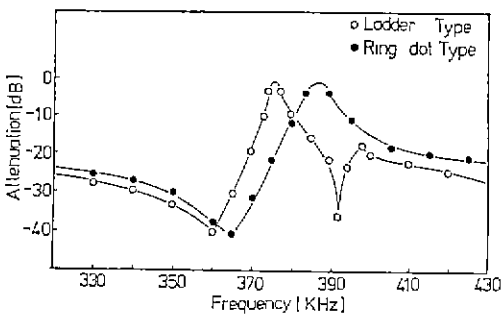


Fig. 12. Attenuation characteristic(6.5 mm).

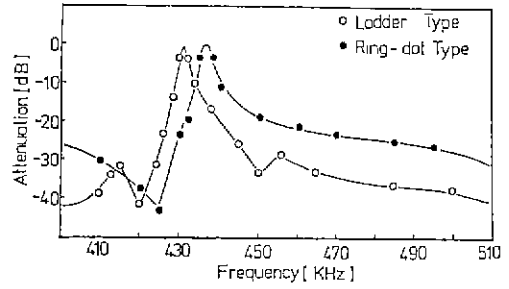


Fig. 13. Attenuation characteristic(5.5 mm).

K_p 가 증가하였으며 대역폭도 증가함을 알 수 있고, Q_m 이 감소함으로써 특성곡선의 Sharpness가 감소함을 알 수 있다. 즉 분극처리전계를 변화시킴으로서 필터로서 중요한 대역폭을 조절할 수가 있다.

4.3 시편의 직경변화에 따른 Ladder type 과 Ring-dot type 필터의 특성비교

분극처리전계를 3.5 kV 로 고정하였을때 공진자의 직경을 12.5, 11, 9, 6.5 그리고 5.5 mm 로 변화시킨 경우의 Ladder type 과 Ring-dot type 필터를 구성하여 측정된 감쇄특성을 그림 9, 10, 11, 12 및 13 에 나타내었다.

각각의 경우 Ring-dot type 의 중심주파수가 Ladder type 보다 증가하였으며 또한 직경이 감소함에 따라 전자의 중심주파수가 후자보다 증가하였다. 그리고 Ladder type 과 Ring-dot type 필터의 특성을 비교해보면 Ring-dot type 의 대역폭이 훨씬 증가하였으며 Ladder type 은 세라믹공진자를 직·병렬로 꾸렸을 경우 직렬공진자의 f_1 과 병렬공진자의 f_2 를 정확하게 맞추기는 어렵지만 특성면에서는 Sharpness가 증가하고 감쇄특성이 훨씬 증가함을 알 수 있었다. 이와같이 이 두 종류의 필터는 응용목적에 적합하게 선택하여 사용될 수가 있다. 그리고 AM Band 용으로 사용되는 455 KHz 용 세라믹필터는 Ring-dot type 의 직경이 5.5 mm 인 경우에 적합하다고 사료된다.

5. 결 론

본 연구에서는 Pb(Sn_{1/2}Sb_{1/2})O₃-PbTiO₃-PbZrO₃ 계의 압전세라믹터를 원판형태로 제조하여 시편의 직경변화에 따른 공진특성의 변화, 분극처리전계의 영향 및 필터 특성을 조사해본 결과 다음의 결론을 얻었다.

1. 시편의 직경이 감소할수록 공진 및 반공진주파수가 급격하게 증가하였는데 이는 필터로 사용시 시편의 직경

을 변화시킴으로서 특정한 주파수대를 얻을 수 있음을 시사해준다.

2. 분극치리전계가 증가할수록 K_p 및 대역폭이 증가하였으며 감쇄특성곡선의 Sharpness는 감소하였다.

3. 필터의 직경이 12.5, 11, 9, 6.5 및 5.5 mm로 감소할수록 중심주파수는 각각 200, 230, 280, 380 및 440 KHz로 증가하였다.

4. Ring-dot type 이 Ladder type 의 중심주파수보다 증가하였으며, 대역폭(B. W.)은 Ladder type 이 3 KHz ~ 6 KHz, Ring-dot type 이 7 KHz ~ 12 KHz 정도로서 Ring-dot type 의 대역폭이 넓어졌다. 즉 Ladder type 의 대역폭이 Ring-dot type 보다 더욱 Sharpness 해지며 감쇄특성이 좋아졌다. 또한 Ladder type 의 대역폭이 Sharpness 해짐에 따라 선택도(Selectivity)가 향상되었다.

감사의 글

이 논문은 1986년도 문교부 자유 과제 학술연구비에 의해 연구되었음.

REFERENCE

1. F. Sauerland and W. Blum, "Cermic IF Filter for Consumer Product", IEEE Spec., 112-126 (1968).
2. 정수태, 이우일, 조상희, "하소온도가 PZT 의 K_p 와 공진특성에 미치는 영향", 요업학회지 22(1) 47-52(1985).
3. 정수태, 조상희, "하소온도가 BaTiO₃ 세라믹의 K_p 와 공진특성에 미치는 영향", 요업학회지 23(6) 66-70(1986).
4. 류영대, 조상희, "소결체 및 진극의 크기와 조성이 Pb(Mn_{1/3}Nb_{2/3})O₃-PbTiO₃-PbZrO₃ 계 압전세라믹스의 공진특성에 미치는 영향", 요업학회지 23(1) 60-66(1986).
5. 류영대, 조상희, "Pb(Mn_{1/3}Nb_{2/3})O₃-PbTiO₃-PbZrO₃ 계 압전세라믹의 필터로서의 응용", 요업학회지 23(3) 1-6(1986).
6. Kiyoshi Okazaki, "Ceramic Engineering for Dielectrics", the Third Edition 323-330(1978).
7. D. R. Curran and W. J. Gerber Proc. IEEE Electronic Comp. Conf. 160(1959).
8. Masao Takahashi, "Space Charge Effect in Lead-Zirconate Titanate Ceramics Caused by the Addition of Impurities", J. J. Appl. Phys., 9(10) 1236-1246(1970).
9. A. H. Webster, T. B. Weston and N. F. H. Bright, "Effect of PbO Deficiency on the Piezoelectric Properties of Lead-Zirconate Titanate Ceramics", J. Am. Ceram. Soc., 50 491(1967).
10. Dafid, E. Johnson and V. Jayakumer, "Operational Amplifier Ciccuits Design and Appication", Prentice-Hall 132-136(1982).