

## 0.05Pb( $Al_{2/3}W_{1/3}$ )O<sub>3</sub>-0.95Pb( $Zr_{0.52}Ti_{0.48}$ )O<sub>3</sub>계를 이용한 세라믹 필터 특성

김남진\*, 윤석진, 유광수, 김현재, 정형진  
한국과학기술연구원 재료연구단, 서울, 136-791  
\*고려대학교 재료공학과, 서울, 136-701

## Characteristics of the Ceramic Filter Using 0.05Pb( $Al_{2/3}W_{1/3}$ )O<sub>3</sub>- 0.95Pb( $Zr_{0.52}Ti_{0.48}$ )O<sub>3</sub> Ceramic System

Nam-Jin Kim\*, Seok-Jin Yoon, Kwang-Soo Yoo, Hyun-Jai Kim and Hyung-Jin Jung  
Division of ceramics, Korea Institute of Science and Technology, Seoul, 136-791, KOREA  
\*Department of Materials Engineering, Korea University, Seoul, 136-701, KOREA

### 요 약

0.05Pb( $Al_{2/3}W_{1/3}$ )O<sub>3</sub>-0.95Pb( $Zr_{0.52}Ti_{0.48}$ )O<sub>3</sub>를 기본 조성으로 MnO<sub>2</sub>, Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>를 첨가제로 하여 사진식각법(Photolithography)을 이용 세라믹 필터를 제작하였다.

MnO<sub>2</sub>의 첨가량이 증가함에 따라 전기 기계 결합 계수(Kp)가 낮아지며, Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>의 경우 Kp값은 57% 정도로 우수하나 기계적 품질 계수(Qm)는 MnO<sub>2</sub> 첨가의 경우에 비해 상대적으로 낮은 값을 보여주고 있다.

MnO<sub>2</sub> 0.3wt% 첨가의 경우 3dB 대역폭은 155kHz, Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> 0.1wt%인 경우 260kHz로써 Qm값의 크기에 반비례하였으며, 군지연시간 특성은 MnO<sub>2</sub>의 경우 Gaussian 특성을, Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>의 경우 Butterworth 특성을 나타내었다.

### ABSTRACTS

Piezoceramic filters were fabricated by adding MnO<sub>2</sub> and Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> to the 0.05Pb( $Al_{2/3}W_{1/3}$ )O<sub>3</sub>-0.95Pb( $Zr_{0.52}Ti_{0.48}$ )O<sub>3</sub> system using photolithography method.

As the amounts of MnO<sub>2</sub> increased, the electro-mechanical coupling factor(Kp) decreased. On the other hand, for Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> added samples, Kp was 57%, but mechanical quality factor(Qm) showed relatively low value. The passband widths were 155 kHz for 0.3wt% MnO<sub>2</sub> addition and 260kHz for 0.1wt% Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> addition, and were inversely propotional to Qm values. Group delay time characteristics showed Gaussian for MnO<sub>2</sub> additions and Butterworth for Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> additions.

## 1. 서 론

1955년 B. Jaffe 등[1]에 의해서 PZT 상전이점 부근의 조성이 우수한 압전 특성을 갖는다고 발표되었다. PZT는 BaTiO<sub>3</sub>에 비해 공진 주파수의 온도 특성 및 전기기계 결합 계수가 우수하여 압전 세라믹스의 응용이 가능하게 되었다.

1965년 W. Schockley 이론[2]을 응용한 에너지 트랩형 다중모드 필터가 尾上[3]에 의해서 발표됨으로써, 이 이론을 압전 세라믹스에 응용하게 되었고, 1966년에는 FM라디오의 IF용 10.7MHz 세라믹 필터가 개발되었으며[4], 이후 TV의 음성 IF용이나 통신기용 Ladder형 세라믹 필터 등 여러가지 용도에 이용할 수 있는 구조가 개발되어 급속히 실용화가 진행되었다.

압전 세라믹스는 전기신호-기계적 진동의 변환 소자로서 교류 전압을 인가하면 그 인가 전압과 같은 진동이 생기게 되어, 세라믹 기판의 물리적 공진 주파수와 인가 전압의 주파수가 일치되면 공진(resonating)을 일으키게 되어 큰 기계적 진동이 얻어진다. 이것을 다시 전기신호로 바꿈으로써 일정 주파수가 선택될 수 있는데 이것이 세라믹 필터의 원리이다[5].

따라서 본 연구는 0.05Pb(Al<sub>2/3</sub>W<sub>1/3</sub>)O<sub>3</sub>·0.95Pb(Zr<sub>0.52</sub>Ti<sub>0.48</sub>)O<sub>3</sub>계에 기계적 품질 계수를 향상시키거나, 압전 특성을 향상시키기 위해 MnO<sub>2</sub> 또는 Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>[6]를 첨가한 결과를 토대로 에너지 트랩형 다중 모드 압전 세라믹 필터를 제작하여 압전 특성이 필터 특성에 미치는 영향을 고찰하고자 한다.

## 2. 실험방법

### 2.1. 시편제조

본 실험에서 사용된 압전 세라믹 필터의 기판은 일반적으로 많이 이용되는 산화물 혼합법[7]으로 제작하였으며, 사용된 시약은 99.9%

이상의 것이다.

시편은 Photolithography 방법으로 전극 디자인을 형성시켜, 에너지 트랩 모드를 이용한 필터 제작을 위해 2개의 필터를 1개의 세라믹 기판 위에 구성함으로써 유니-웨이퍼형 필터를 만들었다. 유니-웨이퍼형 필터는 첫번째 필터에 의해 여과된 신호가 두번째 필터에 의해 다시 여과됨으로써 선택도와 대역폭이 증가하게 되며, 이때 이중모드 필터의 대역폭 주파수가 정확히 일치되지 않으면 손실이 증가하므로 시편의 두께와 전극의 두께가 동일하도록 하여야 한다[5, 6, 8].

Photolithography를 이용한 필터 제조 공정도는 Fig. 1과 같다.

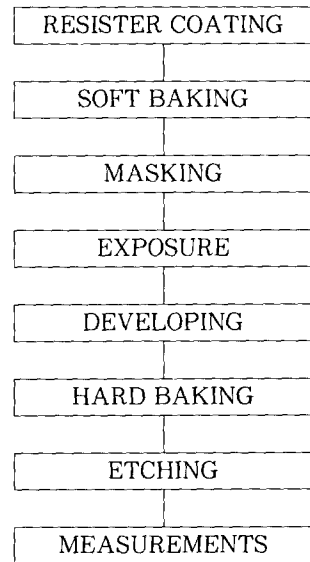


Fig. 1. Fabrication process of the ceramic filter by photolithography method.

### 2.2. 특성측정

압전 필터의 특성은 Fig. 2와 같은 회로를 이용하여 Network Analyzer(HP3977A)로 측정하였는데, 이때 입력단의 저항은 Impedance Matching을 위하여 발전기의 내부 저항 R<sub>g</sub>와

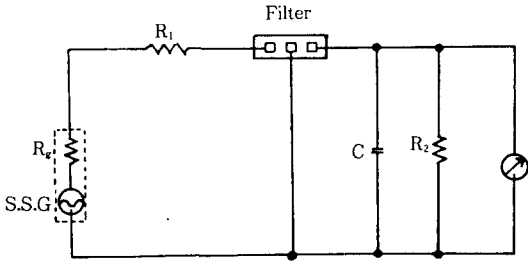


Fig. 2. Measuring circuit of filter characteristics.

R<sub>1</sub>과의 합이 R<sub>2</sub>의 크기와 같게 하였으며, 입력/출력 임피던스는 330Ω으로 하였다.

### 3. 결과 및 고찰

#### 3.1. 압전 특성

Table 1은 각 첨가물의 첨가량에 따른 압전 특성의 변화값을 보여주고 있는데, MnO<sub>2</sub>, Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> 첨가의 경우 0.1wt%에서 K<sub>p</sub> 특성이 가장 높은 것으로 나타났으며, Q<sub>m</sub>은 MnO<sub>2</sub>의 첨가한 경우 Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>에 비해 매우 증대되었음을 보여주고 있다. 또한 전체적으로 첨가량의 증가가 압전 특성이 저하되는 양상으로 나타나고 있다.

MnO<sub>2</sub>를 첨가했을 경우 K<sub>p</sub>값은 낮은 경향을

보여주고 있으며, Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>의 경우 K<sub>p</sub>값은 최고 57% 정도이나 Q<sub>m</sub>은 상대적으로 낮다. 또한 전체적으로 첨가량의 증가가 압전 특성의 저하를 초래하고 있는데, 이는 과도한 첨가량이 미세구조 및 결정구조의 변화를 초래하므로써 압전 필터 제작시 특성 저하 및 비저항과 밀도에 상당히 나쁜 영향을 미치는 것으로 판단되었다.

#### 3.2. 압전 필터 특성

Table 2와 Fig. 3은 압전 특성을 고려하여 첨가물이 없는 것과 MnO<sub>2</sub>와 Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>를 각각 0.1wt%, 0.3wt% 첨가한 것을 선택하여, Photolithography Method를 이용하여 다중모드 필터를 구성하여 측정된 결과를 나타낸 것으로써, Q<sub>m</sub>값이 적을수록 3dB대역폭이 넓게 나타나 있으며, 따라서 기계적 품질 계수와 대역폭이 밀접한 관계가 있음을 알 수 있다. 이 결과를 통하여 특정 전극 패턴을 사용할 경우 Q<sub>m</sub>값의 크기에 따른 패턴의 주파수 대역폭을 예상할 수 있으며, 전체적으로 3dB 대역폭(Pass Band Width)과 20dB 대역폭(Attenuation Band Width)와의 비를 나타내는 Shape Factor 특성은 좋은 것으로 나타내고 있다.

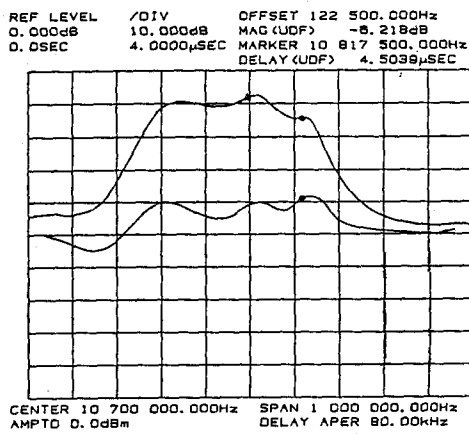
전기기계결합계수는 낮으나 기계적품질계수

Table 1. Various constants according to the species and the amounts of additives

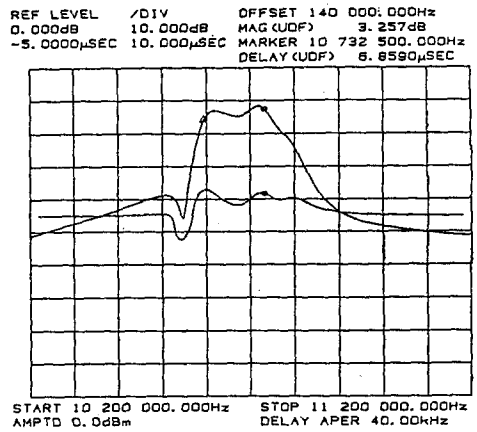
Properties	Additive								
	NONE	MnO <sub>2</sub>				Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>			
		0.1	0.3	0.5	1.0	0.1	0.3	0.5	1.0
K <sub>33</sub> <sup>T</sup>	1,306	976	677	449	405	1,038	1,057	942	527
tanδ (%)	1.6	0.2	0.2	0.2	0.2	1.5	1.4	1.6	1.8
d <sub>33</sub> (10 <sup>-12</sup> m/V)	373	294	263	260	168	348	372	337	276
N (Hz-m)	1,992	2,077	2,009	1,986	1,752	2,007	1,971	1,917	1,735
ρ (g/cm <sup>3</sup> )	7.61	7.49	7.19	6.83	6.03	7.52	7.21	7.15	6.83
Q <sub>m</sub>	72	230	983	908	351	65	69	345	80
K <sub>p</sub> (%)	56.8	47.2	45.1	44.6	31.9	57.0	55.0	39.1	15.2
R <sub>r</sub> (Ω)	21.1	5.7	6.1	9.1	52.7	23.5	23.5	41.7	260
T <sub>c</sub> (°C)	318	321	314	288	275	323	331	339	326

Table 2. Filter characteristics according to the amounts of additives

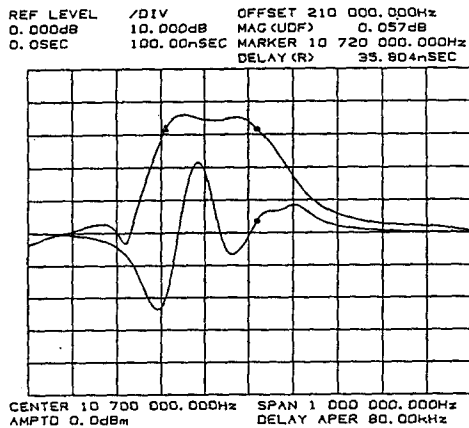
Component		3dB Band Width (KHz)	20dB Band Width (KHz)max.	Shape Factor	Spurious (9-12MHz) (dB)min	G.D.T. Band Width (KHz)min.
None		255	467	1.83	35	0.50μsec fo ± 120
MnO <sub>2</sub>	0.1	210	350	1.67	30	0.15μsec fo ± 20
	0.3	155	270	1.74	27	0.10μsec fo ± 30
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	0.1	260	465	1.79	33	0.50μsec fo ± 50
	0.3	295	485	1.64	40	0.50μsec fo ± 80



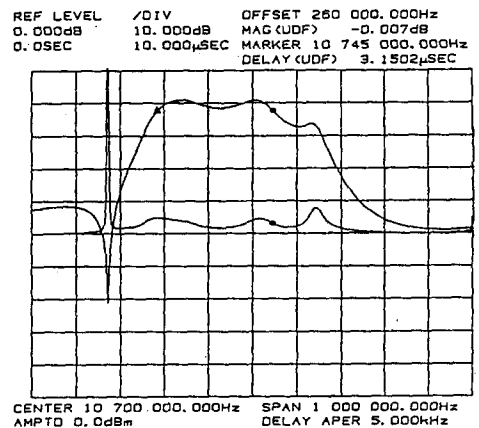
(a) None



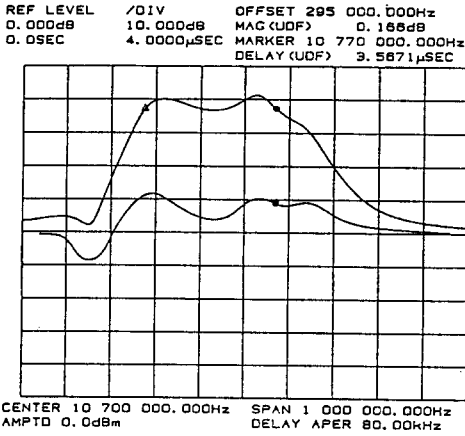
(c) MnO<sub>2</sub> 0.3wt%



(b) MnO<sub>2</sub> 0.1wt%



(d) Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> 0.1wt%



(e) Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> 0.3wt%

Fig. 3. Filter characteristic curves of the specimen according to the amounts of additives.

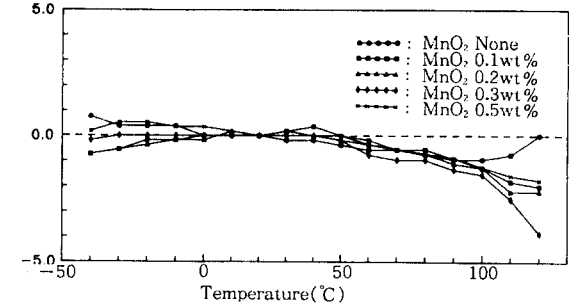
가 큰 MnO<sub>2</sub>의 경우 첨가량의 증가에 따라 Qm 값이 증가로 인하여 대역폭은 좁게 되지만, Kp 값의 저하로 인하여 Shape Factor 특성이 약간 떨어지는 경향을 보이고 있다. 첨가하지 않는 경우와 Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> 첨가의 경우는 대역폭이 넓고, Shape Factor가 큰 값을 나타내고 있다.

왜형이 주파수와 관련하여 신호에 대해 전이가 발생시키기 때문에 군지연시간(Group Delay Time, G.D.T.) 특성은 중요하다. G.D.T. 특성과 진폭과의 사이에 대한 관계를 살펴보면, Gaussian과 Butterworth 특성으로 구분할 수 있다. Gaussian은 Pass Band가 Sine Wave 형태로 나타나며, G.D.T는 곡면을 그리는 형태로 되어 있다. 이것은 신호가 차단되는 것에 의해 선택도가 떨어지지만, 바람직한 왜형 팩터를 갖고 있는 것으로서, 대역폭은 낮은 입력 레벨에서 좁아지게 된다. Butterworth 특성은 Pass Band가 편평하고, G.D.T.Curve가 상당한 굴곡을 갖는 형태를 보이며, 대역폭이 입력 레벨에서도 변하지 않기 때문에 고선택도를 가지고 있다[9]. 측정 결과를 통해 G.D.T. Band

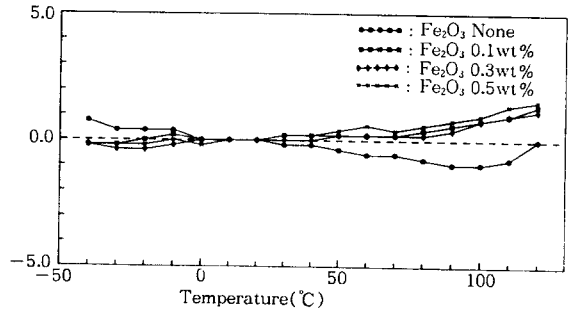
Width를 살펴보면 MnO<sub>2</sub>는 Gaussian 특성을 보이며, Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>의 경우는 Butterworth에 해당한다고 볼 수 있다.

Filter용 재료로서 중요하게 요구되는 특성은 공진, 반공진 주파수의 온도 변화에 대한 것으로서, 다른 응용 재료에 비해서 한단계 이상의 안정성이 요구된다[10]. 온도에 대한 안정도는 공진 주파수의 변화나 정손실 변동을 통해서 알 수 있는데[11], 본 실험에서는 -40°C에서 120°C까지 공진 주파수의 온도 의존성을 측정하였다. 공진 주파수의 온도 계수(Temperature Coefficient of the Resonant Frequency, TcFr(%))는 다음 식에 의해[12] 구하였으며 그 결과를 Fig 4.에 나타내었다.

$$TcFr(\%) = \frac{fr(t^{\circ}C) - fr(20^{\circ}C)}{fr(20^{\circ}C)} \times 100$$



(a) MnO<sub>2</sub>



(b) Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>

Fig. 4. Temperature dependence of resonant frequencies according to the amounts of additives.

MnO<sub>2</sub>나 Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> 첨가의 경우 TcFr의 변화는 같은 경향을 가지고 있으며, 100°C 이상에서는 온도 안정성이 저하됨을 알 수 있었다. Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> 첨가의 경우 ±1% 정도로, MnO<sub>2</sub> ±2%에 비해 안정되어 있음을 보여 주었다.

#### 4. 결 론

압전 세라믹을 이용하여 제작된 에너지 트랩형 다중 모드 필터의 특성 결과는 다음과 같다.

첫째, MnO<sub>2</sub>와 Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> 첨가의 경우 0.1wt%일 때 Kp값이 최대를 나타내고 있으며, Qm값은 MnO<sub>2</sub> 첨가의 경우 Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> 보다 상대적으로 높은 값을 나타내고 있다.

둘째, 제작된 세라믹 필터의 3dB 대역폭은 MnO<sub>2</sub> 0.3wt%인 경우 155KHz이며, Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> 0.1wt%에서 260KHz이다.

셋째, MnO<sub>2</sub> 0.1wt%와 Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> 0.3wt%에서 각각 1.67 및 1.64로 가장 좋은 특성을 보이고 있으며, G.D.T. 특성은 MnO<sub>2</sub>의 경우 Gaussian 특성을, Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>의 경우 Butterworth 특성을 나타내고 있다.

넷째, 온도 변화에 따른 주파수 변화 특성은 ±2% 이내로 안정되어 있음을 보여주고 있다.

#### 참 고 문 헌

- [ 1 ] B. Jaffe et. al., J. Res. N. B. S., 55(1955), 239
- [ 2 ] W. Schockley et. al., Proc. 17th Ann. Symp. on Freq. Cont., (1963), 88
- [ 3 ] 尾上, 十文字, 電氣通信學會誌, 48(1965), 1574
- [ 4 ] 藤島, 野版, 音響學會講演論文集, (1966), 3
- [ 5 ] 一ノ瀬昇, 振動子・共振器・フィルタ最新技術, 86年版, 総合技術出版, (1985), 138
- [ 6 ] 윤석진, 김현재, 정형진, 전기학회논문지, 41(1992)
- [ 7 ] G. Y. Onoda and L. L. Hench, Ceramic Processing Before Firing, John-Wiley, (1978)
- [ 8 ] 鹽崎 忠, 壓電材料の製造と應用, CMC, (1984), 184
- [ 9 ] Ceramic Filter Application Manual(FM ed.), MURATA, (1990), 6
- [ 10 ] 田中哲郎, 壓電セラミシク材料, 學壓社, (1973), 181
- [ 11 ] 尾上守夫, エレクトロメカニカル機能部品, 電氣學會, (1972), 187
- [ 12 ] T. Kudo, T. Yazaki, F. Naito and S. Sugaya, J. Ame. Ceram. Soc., 53(1970), 326