

Cr₂O₃가 탄성 표면파 필터용 PSS-PZT계 압전 세라믹스에 미치는 영향

Effects of Cr₂O₃ Addition in PSS-PZT Piezoelectric Ceramics for Surface Acoustic Wave Filter

洪 在 一* · 孫 殷 暎** · 朴 昌 燁***
(Jae-Il Hong · Eun-Young Son · Chang-Yub Park)

Abstract - To improve temperature stability, 0.05 Pb(Sn_{1/2}Sb_{1/2})O₃ - 0.35PbTiO₃ - 0.60PbZrO₃ + 0.4[wt%]MnO₂ piezoelectric ceramics were manufactured with the addition of Cr₂O₃ by Hot Press method. And the SAW delay line was fabricated and effects of Cr₂O₃ to the propagation characteristics of SAW was investigated, and the SAW filter was fabricated on C4 specimen added by 0.2[wt%] Cr₂O₃ whose propagation characteristics of surface acoustic wave were the best and its frequency characteristics was investigated. Electromechanical coupling factor(k_s^2) was 3.11[%] and its temperature coefficient of the center frequency(C_{fo}) was -21.27[ppm/°C] in C4. The 31[MHz] SAW IF filter of C4 scarcely had diffraction phenomena and therefore it was proper.

Key Words : SAW Filter, PSS-PZT, Cr₂O₃

1. 서 론

PZT계 압전 세라믹스를 기관으로서 처음 사용

*正 會 員 : 大 宥 工 專 電 氣 科 專 任 講 師 · 工 博

**正 會 員 : 製 鐵 電 氣 콘 트 롤 (株) 技 術 開 發 部 主 任 研 究 員 · 工 博

***正 會 員 : 延 世 大 工 大 電 氣 工 學 科 教 授 · 工 博

接 受 日 字 : 1991年 11月 11日

1 次 修 正 : 1992年 3月 6日

한 탄성 표면파 소자는 1975년 개발된 FM 튜너용의 10.7[MHz]탄성 표면파 필터이며 이것은 필터의 군 지연 시간을 개선하고 스테레오 음성의 왜형률을 낮추었다. 또한 1978년에는 종래의 LC 필터를 대체한 TV용 VIF필터가 무 조정화, 소형화의 관점에서 개발되었다.

탄성 표면파 소자의 기관으로 이용되는 3성분계 압전 세라믹스에는 Pb(MnNb)O₃-Pb(ZrTi)O₃

계, $Pb(MnSb)O_3-Pb(ZrTi)O_3$ 계, $Pb(CoW)O_3-Pb(ZrTi)O_3$ 계 및 $Pb(SnSb)O_3-Pb(ZrTi)O_3$ 계 압전 세라믹스 등이 있다[1]. 이 중에서 $Pb(Sn_{1/2}Sb_{1/2})O_3-PbTiO_3-PbZrO_3$ 계는 soft제임에도 불구하고 압전 특성의 경시변화가 작고 소성 온도가 $1150[^\circ C] \sim 1250[^\circ C]$ 로 낮고 PbO 의 증발이 적으며 제조공정 상 재현성이 우수한 것 등의 장점이 있어서 세라믹 필터, 진동자, 음향 소자 등에 이용되어 왔다[2].

압전 세라믹스를 탄성 표면과 소자로서 사용할 경우에 요구되는 조건으로는 입경이 작아야 하고 ($<5\mu m$), 유전율이 $10 \sim 1000$, 기계적 품질 계수가 1500이상, 전기기계 결합계수(k_s^2)가 2.25[%] 이상이고 표면에 pore가 없어야 하고 주파수의 온도 안정성 및 탄성 표면과 특성의 온도 안정성이 우수해야 하는 등의 조건이 있다.

따라서 본 연구에서는 비교적 유전율이 작고 기계적 품질계수가 큰 $0.05Pb(Sn_{1/2}Sb_{1/2})O_3-0.35PbTiO_3-0.60PbZrO_3+0.4[wt\%]MnO_2$ 조성의 압전 세라믹스에 온도 안정성을 향상시키고자 Cr_2O_3 를 첨가하여 Hot press법으로 제조한 후 탄성 표면과 지연선을 제작하여 Cr_2O_3 가 전기기계 결합계수와 주파수 응답 특성에 미치는 영향을 조사하고 특성이 가장 우수한 시편을 기관으로 탄성 표면과 필터를 제작하여 그 응용 가능성을 검토하고자 한다.

2. 실험

본 실험에서는 $0.05Pb(Sn_{1/2}Sb_{1/2})O_3-0.35PbTiO_3-0.60PbZrO_3+0.4[wt\%]MnO_2$ 조성의 압전 세라믹스에 Cr_2O_3 를 첨가하여 Hot press법으로 제조하였으며 시편의 분류는 표1과 같다.

표 1 Cr_2O_3 첨가량에 따른 시편의 분류

Table 1 Classification of the specimens with added Cr_2O_3 weight

symbol	Cr_2O_3 [wt%]	소성온도[$^\circ C$]	소성시간[min]	Hot Pressing압력[psi]
C1	0	1150	60	4000
C2	0.05	1150	60	4000
C3	0.1	1150	60	4000
C4	0.2	1150	60	4000
C5	0.4	1150	60	4000
C6	0.8	1150	60	4000
C7	1.2	1150	60	4000

측정용 시편을 만들기 위해 Hot press법으로 제조된 원통형 시편을 Diamond cutter로 절단하여 각판형($15 \times 18 \times 1mm$)으로 가공한 후 전극을 부착하여 $25[kV/cm]$ 의 전계로 $100[^\circ C]$ 의 실리콘 유속에서 30분간 분극하였다. 분극된 시편의 전극을 제거한 뒤 한쪽 면을 #2000의 SiC분말로 유리판 위에서 흠없이 연마한 후 연마기의 연마포 위에서 $0.3, 0.05[\mu m]$ 의 Al_2O_3 분말을 차례로 사용하여 30분 이상 거울 연마하였다. 연마된 시편을 cleaning한 후 진공 증착기로 Al을 입히고 사진식각법으로 그림1과 같은 IDT 패턴을 형성하였다.

탄성 표면과의 속도 측정은 그림2의 회로를 구성하여 그림1에서 1번 IDT와 3번 IDT 사이의 지연 시간 τ 와 4번 IDT와 5번 IDT 사이의 지연 시간 τ' 를 이용하여 자유 표면에서의 속도 V_∞ 와 금속표면에서의 속도 V_m 를 다음 식에 의해 구하였다[3].

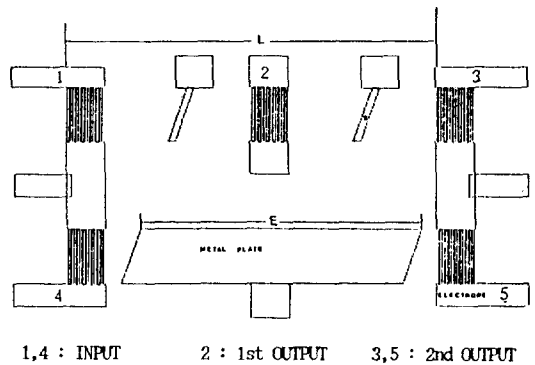


그림 1 탄성 표면과 지연선의 구조
Fig. 1 Structure of SAW delay line

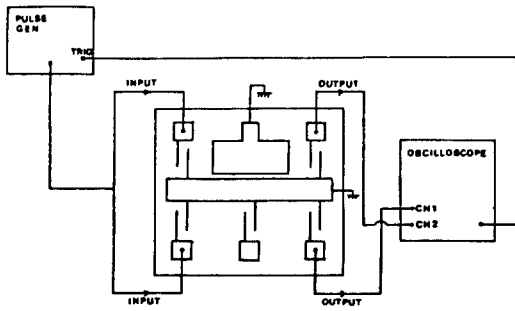


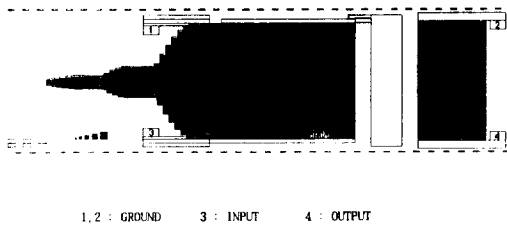
그림 2 탄성 표면파 속도 측정 회로
Fig. 2 Measurement circuit for SAW velocity

$$k_s^2 \cong \frac{2|\Delta V|}{V_\infty} \quad (2.3)$$

여기서, $\Delta V = V_\infty - V_m$

탄성 표면파 지연선의 주파수 응답 특성은 Network Analyzer (HP 337A)로 측정하였으며 탄성 표면파 특성의 온도 안정성을 관찰하기 위하여 시편이 부착된 치구를 항온 항습조 속에 넣고 $-20[^\circ\text{C}] \sim 80[^\circ\text{C}]$ 범위에서 $10[^\circ\text{C}]$ 간격으로 중심 주파수의 변화를 측정하였다.

또한 LiTaO_3 기판에 대해 중심 주파수 $44[\text{MHz}]$ 로 설계된 탄성 표면파 IF 필터 마스크(그림3)를 이용하여 필터를 제작하고 그 주파수 특성을 관찰하였다.



1, 2 : GROUND 3 : INPUT 4 : OUTPUT

그림 3 탄성 표면파 IF필터의 구조
Fig. 3 Structure of SAW IF filter

$$V_m = \frac{64800000}{8300\tau - 1500\tau} \quad (2.1)$$

$$V_\infty = \frac{64800000}{8050\tau - 1300\tau} \quad (2.2)$$

전기기계 결합계수 k_s^2 는 다음 식으로 구하였다.

3. 결과 및 고찰

3.1 탄성 표면파의 전기기계 결합계수

표2에는 압전 특성을 참고로 나타내었으며 그림 4에는 전기기계 결합계수를 나타내었다. Cr_2O_3 첨가량에 따른 탄성 표면파에 전기기계 결합계수의 변화는 압전 특성의 변화와 유사한 경향을 보였다. 그림4에서 전기 기계 결합 계수가 가장 크게 나타난 시편은 Cr_2O_3 를 $0.2[\text{wt}\%]$ 첨가하고 $1150[^\circ\text{C}]$ 에서 60분간 hot press압력을 $4000[\text{psi}]$ 로 하여 제작한 C4 시편으로 그 값은 $3.11[\%]$ 이었다. 따라서 재료적인 특성이 우수한 즉, 기계적 품질계수가 크고 유전율이 작은 시편이 전기기계 결합계수도 우수함을 알 수 있었다.

표 2 Cr_2O_3 첨가량에 따른 압전 및 유전 특성

Table 2 Piezoelectric and dielectric characteristics of specimens with added Cr_2O_3 weight

Sample No.	Density [g/cm ³]	분극전 $\epsilon_{33}^T/\epsilon_0$	분극 후		입자크기 [μm]	k_p [%]	Q_{mp}
			$\epsilon_{33}^T/\epsilon_0$	$\tan\delta$ [%]			
C1	8.036	421	398	0.17	2.28	35.1	2092
C2	8.032	478	406	0.18	2.16	35.6	1206
C3	8.039	462	397	0.20	1.75	38.9	1548
C4	8.042	434	380	0.21	1.52	36.9	2307
C5	8.024	482	422	0.42	1.30	35.1	2179
C6	8.000	507	458	0.71	1.42	34.5	1815
C7	7.905	384	347	0.80	2.50	31.3	1920

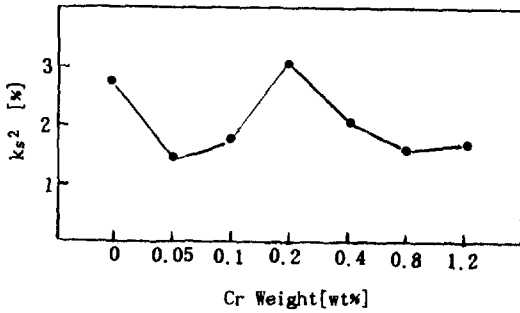


그림 4 Cr₂O₃ 첨가량에 따른 전기기계 결합계수
 Fig. 4 Electromechanical coupling coefficient with added Cr₂O₃ weight

3.2 탄성 표면과 지연선의 주파수 응답 특성

탄성 표면과 지연선의 출력 IDT에서 Network Analyzer(HP 377A)로 관찰된 주파수 응답은 속도 측정 시 오실로스코프에서 관찰된 임펄스 시간 응답의 Fourier변화에 해당되며 그림5에는 Cr₂O₃를 0.2[wt%]첨가한 C4 시편의 주파수 응답을 나타내었다. 또한 주파수 응답중에서 중심 주파수, 삽입 손실, 전달 손실을 표3에 나타내었다. 여기서 전달 손실은 그림1에서 2번 IDT출력의 삽입 손실과 3번 IDT출력의 삽입 손실 차이를 그 사이의 거리로 나누어 구하였다[4].

압전 세라믹스에서 탄성 표면과의 전달 손실은 크게 두 가지로 하나는 입자에 의해 생긴 Rayleigh산란 손실이며 다른 하나는 내부 마찰에 의해서 생긴 분산 손실이다. 내부 마찰에 의한 손실은 주파수의 증가에 따라 증가하며 유전 손실

표 3 탄성 표면과 지연선의 주파수 응답 특성
 Table 3 Characteristics of frequency response in SAW delay line

Sample	f ₀ [MHz]	삽입손실[dB]	전달손실[dB/cm]
C1	23.50	-29.393	3.96
C2	23.75	-38.525	5.12
C3	23.25	-37.229	4.98
C4	23.50	-27.474	3.82
C5	23.75	-32.267	4.21
C6	23.50	-33.676	4.45
C7	23.25	-31.589	4.30

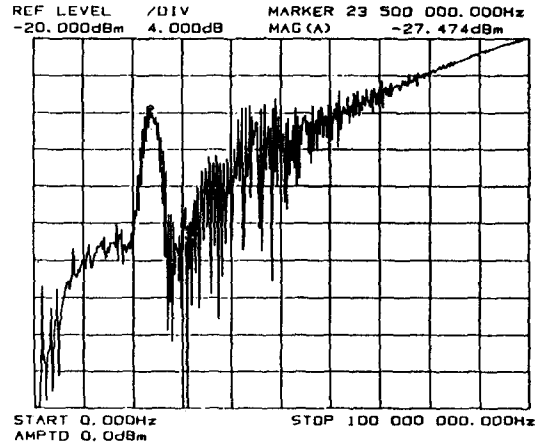


그림 5 탄성 표면과 지연선의 주파수 응답
 Fig. 5 Frequency response of SAW delay line

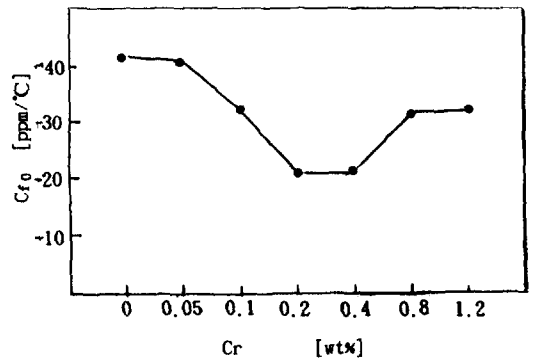


그림 6 Cr₂O₃ 첨가량에 따른 중심 주파수의 온도 계수
 Fig. 6 Temperature coefficient of center frequency with added Cr₂O₃ weight

tanδ와 밀접한 관계가 있다. 산란 손실은 입자가 증가함에 따라 증가한다. 따라서 전달 손실을 감소시키기 위해서는 입자의 크기를 작게하고 유전 손실도 줄여야 한다[5]. 이를 위해서는 Mn이나 Cr과 같은 금속 산화물을 소량 첨가하는 연구가 많이 이루어지고 있다[6]. 본 연구에서는 PSS-PZT계 세라믹스에 Mn과 Cr을 첨가하여 기계적 품질 계수가 증가되고 입자의 크기가 크게 감소되었음을 표2를 통하여 알 수 있으며 이에 따라 전달 손실도 많이 감소되었다고 사료된다.

Cr₂O₃첨가량에 따른 삽입 손실과 전달 손실의 변화는 기계적 품질 계수의 변화에 밀접한 관련이 있어서[7] Cr₂O₃를 0.2[wt%] 첨가한 C4 시편의

경우 기계적 품질 계수가 2307로 가장 컸으며 삽입 손실은 $-27.474[\text{dB}]$ 이고 전달 손실은 $3.82[\text{dB/cm}]$ 로 가장 작은 값을 나타내었다.

그림6은 탄성 표면파의 주파수 응답중에서 $-20[^\circ\text{C}]\sim 80[^\circ\text{C}]$ 사이에서의 중심 주파수의 온도의존성을 나타낸 것이다. Cr_2O_3 첨가에 따른 중심 주파수의 온도 계수는 Cr_2O_3 를 $0.1[\text{wt}\%]$ 첨가한 C3 시편부터 크게 감소하기 시작하였으며 $0.8[\text{wt}\%]$ 첨가한 C6시편부터는 다시 크게 증가함을 보였다. 이는 전기기계 결합계수 k_s^2 의 변화와 마찬가지로 재료적인 특성이 우수한 시편일수록 온도 안정성이 우수함을 나타내는 것이다. 또한 단결정인 LiNbO_3 에서 중심 주파수의 온도 계수 $-70[\text{ppm}/^\circ\text{C}][8]$ 와 비교하면 본 연구에서 사용한 압전 세라믹스의 온도 안정성은 상당히 우수한 것임을 알 수 있었다.

3.3 탄성 표면파 필터 특성

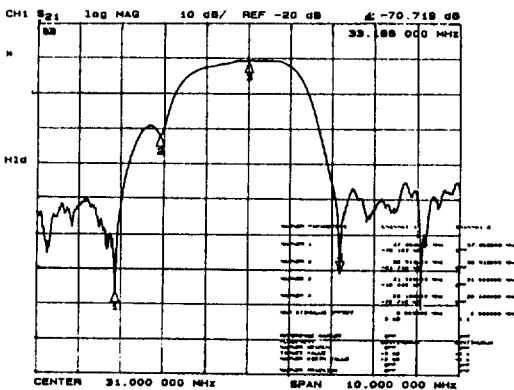
표4는 탄성 표면파 필터용 기관으로 많이 사용되고 있는 단결정 LiNbO_3 와 LiTaO_3 그리고 본

연구에서 제작한 C4 시편의 특성을 비교하였다. 탄성 표면파의 전기기계 결합계수(k_s^2)는 LiNbO_3 가 가장 우수하며 온도 계수는 C4시편이 가장 우수한 것을 알 수 있다.

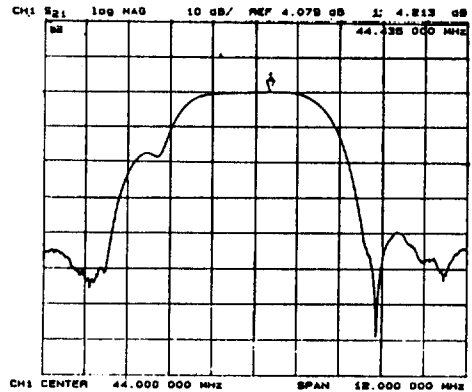
그림7(a)와 그림7(b)는 각각 C4 시편과 LiTaO_3 를 기관으로 그림3의 탄성 표면파 IF 필터를 제작하여 얻은 탄성 표면파 필터의 주파수 특성이다. C4시편으로 만든 필터의 특성이 단결정으로 만든 필터 특성에 비해 side lobe에 잡음이 조금 생긴 것 외에는 회절 현상이 거의 없이 전반적으로 양호하였다. 그림7(c)는 통과 대역 내에서의 위상의 변화를 나타낸 군 지연 특성으로서 $1.4673 \pm 40[\text{ns}]$ 로 양호하였다.

4. 결 론

본 연구에서는 비교적 유전율이 작고 기계적 품질 계수가 큰 $0.05\text{Pb}(\text{Sn}_{1/2}\text{Sb}_{1/2})\text{O}_3-0.35\text{PbTiO}_3-0.60\text{PbZrO}_3+0.4[\text{wt}\%]\text{MnO}_2$ 조성의 압전 세라믹스에 $0.0, 0.05, 0.1, 0.2, 0.4, 0.8, 1.2[\text{wt}\%]$ Cr_2



(a) C4 시편



(b) LiTaO_3 단결정

그림 7 탄성 표면파 IF필터의 주파수 응답

Fig. 7 Frequency response of SAW IF filter

표 3 탄성 표면파 필터용 재료의 특성

Table 3 Properties of materials for SAW filter

재 료	전달면과 전달방향	표면파속도[m/s]	k_s^2 [%]	온도계수[ppm/ $^\circ\text{C}$]
LiNbO_3	Y, Z	3488	4.9	94
LiTaO_3	Y, Z	3230	0.74	35
C4	없 음	2381	3.11	-21.27

O를 첨가하여 Hot Press법으로 제조하였고 또한 탄성 표면과 지연선을 제작하여 Cr₂O₃가 전파 특성에 미치는 영향을 조사하고 이를 기초로 탄성 표면과 필터를 제작하여 그 응용 가능성을 검토한 결과 다음과 같은 결론을 얻었다.

- 1) 탄성 표면과의 전파 특성이 가장 우수한 시편은 Cr₂O₃를 0.2[wt%] 첨가한 C4시편으로 전기기계 결합계수(k_s^2)가 3.11[%], 중심 주파수의 온도 계수(C_{f0})가 -21.27[ppm/°C]이었으며 무 조정시 동기 주파수 23.5[MHz]에서 삽입 손실은 -27.474[dB], 전달 손실은 3.82[dB/cm]이었다.
- 2) C4시편으로 제작한 31[MHz] 탄성 표면과 IF필터의 특성은 회절 현상이 거의 없었으며 통과 대역 내에서 군 지연 시간이 1.4673 ± 40 [ns]이고 무조정 시 삽입 손실은 -24.419[dB]이었다.

참 고 문 헌

[1] 一ノ瀬昇：表面波デバイスとその材料に關す

る調査報告書, p. 25, 電子材料工業會, 東京, 1977

- [2] 小川敏夫, 日本特許公報, 昭 54-32720
- [3] 위규진, "PbTiO₃계 세라믹스의 탄성표면파 특성에 관한 연구," 박사학위논문, 연세대학교 대학원, 1988
- [4] 小川敏夫, 日本特許公報, 昭 57-20716
- [5] S. Jyomura, K. Nagatsma and H. Takeuch, "SAW propagation loss mechanism in piezoelectric ceramics," J. Appl. Phys., 52(7), pp. 4472~4478, 1981
- [6] H. Ouchi, M. Nishida and S. Hayakawa, "Piezoelectric properties of Pb(Mg_{1/3}Nb_{1/3})O₃-PbTiO₃-PbZrO₃ ceramics modified with certain additives," J. Am. Ceram. Soc, Vol. 49, No. 11, pp. 577~582, 1966
- [7] 稱村, 小高, 吉川, "彈性表面波素子用低損失壓電磁氣," 電子通信學會論文誌, Vol. J59-A, No. 12, p. 1080, 1976
- [8] 小川敏夫, 日本特許公報, 昭 57-4111

저 자 소 개



홍재일(洪在一)

1958년 9월 26일생. 1982년 연세대 공대 전기공학과 졸업. 1987년 동 대학원 전기공학과 졸업(석사). 1991년 동 대학원 전기공학과 졸업(공학). 현재 대우공전 전기과 전임강사.



손은영(孫殷暎)

1957년 2월 23일생. 1980년 아주대 공대 전기공학과 졸업. 1987년 연세대 대학원 전기공학과 졸업(석사). 1990년 동 대학원 전기공학과 졸업(공학). 현재 제철전기콘트롤(주) 기술개발부 주임연구원.



박창엽(朴昌燁)

1935년 2월 13일생. 1958년 연세대 공대 전기공학과 졸업. 1960년 동 대학원 전기공학과 졸업(석사). 1973년 동 대학원 전기공학과 졸업(공학). 현재 연세대 공대 전기공학과 교수. 당학회 부회장.