

PMS-PZT 세라믹스의 탄성표면파 특성에 관한 연구

A Study on Surface Acoustic Wave Characteristics
of PMS-PZT Piezoelectric Ceramics

김준한*, 양원봉, 최형욱, 윤현상, 윤석진, 박창엽
연세대학교 전기공학과

J. H. Kim*, W. B. Yang, H. W. Choi, H. S. Yoon, S. J. Yoon, C. Y. Park
Dept. of Electrical Eng. in Yonsei University

ABSTRACT

In this study, piezoelectric ceramics of composition $0.08\text{Pb}(\text{Mn}_{1/3}\text{Sb}_{2/3})\text{O}_3 - 0.55\text{PbTiO}_3 - 0.37\text{PbZrO}_3 + X[\text{wt}\%]\text{Cr}_2\text{O}_3$ were manufactured by the Hot-press method and structural, piezoelectrical properties and temperature stability were investigated with addition of 0, 0.2, 0.4, 0.6, 0.8, 1.0 [wt%] Cr_2O_3 . Also the SAW delayline was fabricated and the propagation characteristics of SAW were considered with SAW theories.

1. 서론

전기적 에너지와 기계적 에너지의 상호 변환 소자로 응용되는 압전 세라믹스는 1948년 H. Jaffe에 의해 BaTiO_3 강유전체 세라믹스에서 압전 현상이 발견된 이후 $\text{Pb}(\text{ZrTi})\text{O}_3$ 의 개발로 응용 분야가 넓어져 초음파 진동자, 고전압 발생소자와 통신기기용 필터의 주된 재료로 사용되고 있다. 이러한 2성분계의 $\text{Pb}(\text{ZrTi})\text{O}_3$ 에 복합페로브스카이트 화합물을 고용시킨 3성분계가 개발되어 PZT계에서 보다 세라믹의 특성을 재료의 이용 목적에 따라 다양하게 변화시킬 수 있는 장점으로 해서 탄성표면

파(Surface Acoustic Wave: SAW) 소자용 기판을 비롯한 여러 분야에서 널리 응용할 수 있게 되었다.

고체의 표면을 전파하는 탄성 표면파는 1885년 영국의 Rayleigh에 의해 알려지게 되었고 1967년 미국의 Coquin에 의해 Quartz 위에 interdigital 형태의 전극을 설치하여 전기적인 신호로써 기계적인 변위를 발생시켜 탄성 표면파를 여기시키고, 또 이 탄성표면파를 전기적인 신호로 검출할 수 있음이 밝혀진 이래 전기 및 전자 분야로의 응용에 관한 연구가 활발히 진행되어 현재에는 TV용 VIF 필터, 지연선, 변조기, 복조기, 발진기 등으로 응용이 되고 있다.

이러한 탄성표면파 소자의 압전 기판으로는 주로 단결정인 LiNbO_3 , LiTaO_3 등을 사용하여 왔으나, 제조가격이 비싸고 중심 주파수의 온도 계수가 크다는 단점이 있다. 따라서 최근에는 이와 같은 단점을 보완할 수 있는 ZnO 박막이나 압전 세라믹스에 관한 연구가 진행되고 있다. 압전 세라믹스를 탄성 표면파 소자로 이용할 경우 우선 표면에 IDT를 부착하기 위해서 표면의 미세가공이 가능해야 하며, 입경이 작아야 하고 ($< 5\mu\text{m}$), 유전율이 작아야 하며(10~1000), 기계적 품질 계수가 1500이상, 전기 기계 결합 계수(k_s^2)가 2.25[%]이상이고 주파수의 온도 안정성 및 탄성 표면파 특성의 온도 안정성이 우수

해야 하는 등의 조건이 요구된다.

2. 실험

본 실험에서는 $0.08\text{Pb}(\text{Mn}_{1/3}\text{Sb}_{2/3})\text{O}_3-0.55\text{PbTiO}_3-0.37\text{PbZrO}_3$ 계 압전 세라믹스에 Cr_2O_3 를 0, 0.2, 0.4, 0.6, 0.8, 1.0[wt%] 첨가하여 Hot press 법으로 제조하였고, 제조된 시편의 구조적, 전기적 특성을 측정하고 후 탄성 표면과 지연선 IDT를 입혀 탄성 표면과의 전파 특성을 조사함으로써 PMS-PZT 세라믹이 탄성표면파소자용 기판으로서 적합한지를 검토하였다.

분극은 고온 분극법을 이용하여 $100[^\circ\text{C}]$ 의 절연유 속에서 $30[\text{kV}/\text{cm}]$ 의 전계로 30분간 분극하였다. 탄성 표면과 특성을 측정하기 위한 각판형 시편의 표면 상태는 특성에 중요한 요소가 되므로 각판형 시편의 한쪽 면을 #2000의 SiC 분말로 유리판 위에서 흠(scratch)없이 연마한 후 연마기(polishing machine)의 연마포(Buehler사의 microcloth 40-7238)위에서 $0.3, 0.05[\mu\text{m}]$ 의 Al_2O_3 분말을 차례로 사용하여 30분 이상 거울 연마하고 광학 현미경으로 표면 상태를 확인하였다. 이렇게 거울 연마한 각판형 시편도 원판형과 동일한 방법으로 은 전극을 도포한 후 분극하였다. 시편의 소결 상태를 조사하기 위해 비중이 큰 액체 수은을 사용하여 시편의 부력을 이용한 측정 방법으로 측정하였다.

입전 세라믹스에서 탄성 표면과의 속도를 측정하고 전기 기계 결합 계수를 측정하는데 본 실험의 목적이 있으므로 탄성 표면과 지연선의 설계는 가장 간단한 형태로 하였다. 먼저 사진 식각용 마스크(photolithography mask)를 제작하기 위하여 설계된 제원은 CIF(caltec intermediate form) 프로그램의 데이터로 입력하여 마스크로 제작하였다.

그림 1은 CAD를 이용하여 그린 탄성 표면과 지연선의 구조이다. 이와같이 제작된 마스크를 사용하여 사진 식각 법(photolithography)으로 거울 연마된 압전 세라믹스 기판 위에 지연선 IDT를 설치하였다. 본 실험에서는 화학적 부식 법을 이용하였으며 대략적인 흐름도를 그림 2에 나타내었다.

탄성 표면과 속도는 입력 신호가 입력 IDT에서 탄성 표면파로 변환되어 압전 세라믹스 기판 위를 전파하여 출력 IDT에서 출력 신호로서 검출될 때까지의 시간으로

전파 거리를 나누어 구할 수 있다. 본 실험에서는 그림 1의 1번과 4번 IDT에 동시에 펄스를 인가하여 자유 표면을 전파하여 3번 IDT에서 출력될 때까지의 시간 τ 과 Al 증착된 부분을 전파하여 5번 IDT에서 출력될 때까지의 시간 τ' 을 각각 측정한 후 전파 거리를 이 지연 시간으로 나누어 자유 표면에서의 속도 V_∞ 와 금속 표면에서의 속도 V_m 을 구하였고, 또한 이 때 속도의 차에서 탄성표면파의 전기기계 결합계수를 식(1)에 의해 산출하였다.

$$k_s^2 \approx \frac{2 |\Delta V|}{V_\infty} \quad (1)$$

여기서, $\Delta V = V_\infty - V_m$

측정 회로는 그림 3과 같으며 측정 장비로는 Tektronix사의 Oscilloscope 486A와 Pulse Generator 8012B를 사용하였다. 측정용 기판을 설치할 치구(mount)는 잡음 방지를 위해 알루미늄으로 제작하였다. 탄성 표면과 지연선의 주파수 응답 특성은 Network Analyzer(HP 337A)로 측정하였으며 탄성 표면과 특성의 온도 안정성을 관찰하기 위하여 시편이 부착된 치구를 항온항습조 속에 넣고 $-20[^\circ\text{C}] \sim 80[^\circ\text{C}]$ 범위에서 $10[^\circ\text{C}]$ 간격으로 중심 주파수의 변화를 측정하였다. 열 에이징 시험은 공진 주파수에서와 같은 방법을 이용하였다.

3. 실험 결과 및 고찰

a) 불순물 첨가 특성

Cr 첨가에 따른 X선 회절 분석도를 살펴보면 Cr의 첨가량이 증가함에 따라 PbTiO_3 의 첨두치((200)면)가 조금씩 감소함을 확인할 수 있는데 이는 Cr이온이 B위치의Ti이온과 치환됨을 보여주는 것이다. 또한 판별 가능한 모든 첨두치로부터 격자상수 a와 c, 정방성(c/a)을 구하였다. Cr의 첨가량이 증가함에 따라 격자상수 c가 감소하므로 정방성이 감소함을 알 수 있다. 이는 N.Uchida와 T.Ikeda가 $\text{Pb}(\text{ZrTi})\text{O}_3$ 계 세라믹스에 첨가제로 Cr_2O_3 를 사용한 실험 결과와 일치하는 것이다. Cr_2O_3 의 첨가에 따른 여러 특성의 변화를 표 1에 나타내었다. Cr_2O_3 첨가량이 증가할 수록 유전 상수가 조금씩 증가하다가 0.6[wt%]에서 최대를 보이고 있다. Cr_2O_3 첨가량에 따른 전기기계 결합계수 k_p 의 변화와 기계적 품질계수 Q_{mp} 의 변화를 살펴보면 0.4[wt%]에서 k_p 가 감소하고 Q_{mp} 가 최

고치를 보이는 것은 Cr이온이 +3가로서 ABO_3 페로브스카이트 구조의 B자리로 치환되어 acceptor로서 작용함을 나타낸다. Cr이온이 B자리에 치환되면 산소 공격자가 유발되고 이 산소 공격자는 Cr이온이과 정전기적 인력에 의해 associates를 형성하며 열역학적으로 가장 안전한 자발 분극의 방향으로 배열되어 분역벽(Domain wall)의 이동을 안정화시키고 그에 따라 기계적 품질계수가 증가한다. 그리고 0.6[wt%] 이후에 k_p 와 Q_{mp} 가 급격히 감소하는 것을 볼 수 있겠다.

b) 탄성 표면파의 전파 특성

탄성 표면파 속도는 SAW 필터의 설계에 있어서 가장 기본이 되는 요소로서 지연선을 제작하여 입출력 단자간 거리와 지연 시간으로부터 구하였다.

탄성 표면파 지연선의 출력 IDT에서 관찰된 주파수 응답은 속도 측정시 관찰된 임펄스 응답의 Fourier 변환에 해당되며 그림 4에는 C3 시편에 대한 주파수 응답을 나타내었다. 이 그림은 지연선 IDT의 1번 IDT에서 입력 pulse를 가하였을 때 3번 IDT로 부터의 출력을 Network Analyzer(HP 377A)를 이용하여 주파수 대역에서 관찰한 것이다.

4. 결론

1. 격자상수 c 는 Cr_2O_3 첨가량이 증가함에 따라 점차 감소하고, 그에 따라 정방성도 감소하였다.
2. Cr_2O_3 를 첨가하여 공진 주파수의 온도 안정성이 개선되었으며, 특히 열 에이징 이후 온도 안정성은 더욱 향상되었다.
3. Cr_2O_3 첨가량이 증가함에 따라 0.4[wt%]에서 전기기계 결합계수 k_p 는 감소하고 기계적 품질계수 Q_{mp} 는 최고치를 보였으며, 0.6[wt%] 이후에는 k_p 와 Q_{mp} 가 급격히 감소하였다.
4. 측정된 속도는 2300~2450[m/s] 정도였고, Cr_2O_3 를 0.4[wt%] 첨가한 시편의 경우 속도는 2455[m/s], 탄성 표면파 전기기계 결합계수 K_s^2 은 3.7[%]로 가장 우수한 특성을 보였다.
5. Cr_2O_3 를 0.4[wt%] 첨가한 C3 시편의 경우 삽입 손실이 26.08[dB], 전파 손실은 3.87[dB/cm] (동기 주파수 24[MHz]에서)로 지연선의 주파수 특성이 가장 우수하였다.

위와 같은 결과들에 의해 $0.08Pb(Mn_{1/3}Sb_{2/3})O_3 - 0.55PbTiO_3 - 0.37PbZrO_3 + X[wt\%] Cr_2O_3$ 조성의 압전 세라믹스에서 $X=0.4\sim 0.6$ 사이에 Cr_2O_3 의 고용한계가 이루어지는 것으로 생각되며 $X=0.4$ 인 C3 시편의 탄성 표면파 특성과 온도 안정성은 대단히 우수하기 때문에 탄성 표면파 소자용 기판으로서의 활용이 기대된다.

5. 참고문헌

- [1] B. Jaffe, W. R. Cook, Jr. and H. Jaffe: Piezoelectric ceramics, Academic press, p.135, 1971
- [2] K. Okasaki, Ferroelectrics, Vol.41, pp.77-96, 1982.
- [3] G. A. Coquin, H. F. Tiersten, "Analysis of the excitation and detection of piezoelectric surface waves in quartz by means of surface electrodes", J. Acous. Soc. Am., Vol.41, No.4, pt.2, pp.921-939, 1967
- [4] 一ノ瀬 昇: 表面波デバイスとその材料に関する調査報告書, p.25, 電子材料 工業會, 東京, 1977
- [5] 内野研二, "壓電/電歪アクチュエータ", 森北出版株式會社, pp.45-46, 1986
- [6] 岡崎 清: セラミック誘電體工學, 學獻社, pp.338-340, 1982
- [7] 田中 哲郎, 岡崎 清: 壓電セラミック材料, 學獻社, pp.126-128, 1973
- [8] 小川敏夫, 日本特許公報. 昭 57-20716
- [9] S. Takahashi, "Effect of impurity doping in lead zirconate-titanate ceramics", Ferroelectrics, Vol.41, pp.143-156, 1982[10]
- [10] S. Takahashi, "Internal bias field effects in PZT ceramics doped with multiple impurities", Jpn. J. Appl. Phys., Vol.20, No.1, pp.95-101, 1981

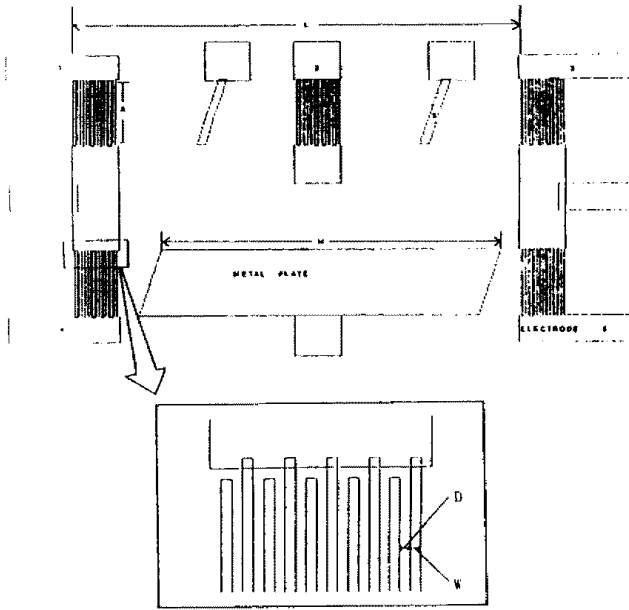


그림 1 속도측정용 지연선 IDT 설계도

진공증착	10 ⁻⁵ torr, 80°C Heating Al(99.999%)
감광제도포	AZ 1350 photoresister 회전원판 4000rpm, 60sec
건조	100°C Oven
노출	자외선 90 seconds
현상	AZ 351 Developer
에칭	19% H ₃ PO ₄ + 3.5% HNO ₃ + 4% CH ₃ COOH + 73.5% H ₂ O
세척	Aceton

그림 2 사진 식각 과정의 흐름도

표 1 Cr₂O₃ 첨가량에 따른 제 특성의 변화

시편 분류	밀도 [g/cm ³]	유전율 $\epsilon_{33}^T/\epsilon_0$	N _p [Hz · m]	K _p [%]	Q _{mp}
C1	8.06	684.40	2680	32.87	1967.5
C2	8.09	704.26	2699	33.87	2246.4
C3	8.11	711.80	2737	33.14	2545.7
C4	8.10	741.00	2699	33.86	2415.5
C5	8.08	739.20	2724	30.44	1897.8
C6	8.08	737.30	2722	32.52	1527.3

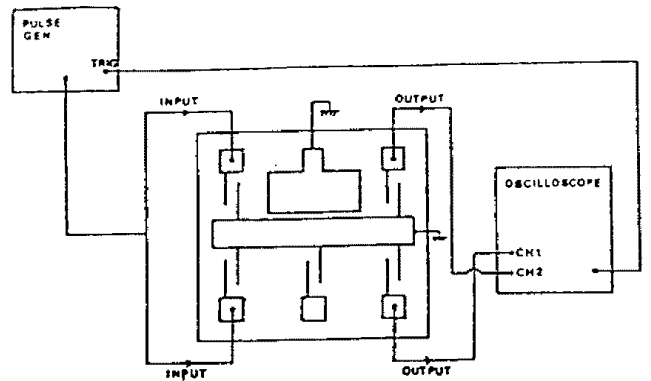


그림 3 탄성표면파 속도측정회로

REF LEVEL /DIV MARKER 24 000 000.000Hz
 -15.000dBm 5.000dB MAC (A) -26.080dBm

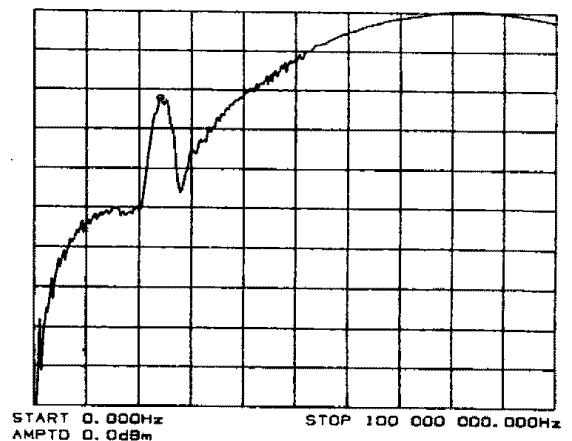


그림 4 C3 시편에 대한 주파수 응답