

Nb₂O₅를 添加한 Disk Type PZT 壓電 세라믹素子の 音波送波特性

李圭喆·韓得永

電氣工學科

〈요 약〉

M. P. B. 부근의 조성비인 Pb(Zr 0.54 Ti 0.46) O₃에 Nb₂O₅를 첨가하여 원판형 압전세라믹 진동소자를 제작하고 공기 중에서 음파의 주파수 특성을 측정하였다.

소자 중, Nb₂O₅가 중량비로 2.0% 첨가된 P-5 소자가 11.48[KHz]에서 가장 강한 음파를 발생하였고 Q 값이 34.8이었다. 이 조성비의 압전세라믹 소자는 단일 주파수의 음파를 한 방향으로 송파시키는 장치 등에 광범위하게 응용이 될수 있을 것으로 믿어진다.

Acoustic Wave Transmission Characteristic of the Disk Type PZT Piezoelectric Ceramic Element Added Nb₂O₅

Lee, Kyu-Chul · Han, Deug-Young

Dept. of Electrical Engineering

〈Abstract〉

Disc type piezoelectric ceramic vibrators were fabricated with Pb(Zr 0.54 Ti 0.46) O₃ and with impurity Nb₂O₅ doped in 0.8, 1.0, 1.4 and 2.0 weight percentage respectively and their acoustic wave characteristics were studied in the air. The sample P-4, doped with Nb₂O₅ in 2.0 weight percentage and of the radius 0.935[cm], thickness 0.145[cm] and electromechanical coupling factor k₃₃=0.415, generated a strong acoustic wave at 11.48[KHz] and showed good frequency selectivity It's Q-value and other characteristics considered enough to enable the sample to be applied successfully in many transmitting devices.

I. 緒 論

BaTiO₃나 PbTiO₃등과 같은 强誘電體는 一般的으로 自發的인 分極을 갖는 結晶으로 되어 있으며, 誘電率이 크고, 溫度에 따라서 誘電率의 變化가 큰 것이 특징이다. 이러한 强誘電體에 外部에서 높은 直流電界를 加하면 自發分極의 方向을 一致시킬 수가 있으며, 그 電界를 除去하여도 分極狀態는 원래의 狀態로 돌아가지 않고 分極의 方向이 一致된 狀態를 大部分 유지하게 된다.

또 强誘電體와 유사한 物質로서 反强誘電體가 있으며, 이 物質은 一定 格子內의 自發分極이 그 크기

가 각각 같고 方向이 서로 反對로 되어 있어서 相互 相殺되어 常溫에서는 極性이 나타나지 않지만 外部에서 높은 直流電界를 加하면 이 物質도 自發分極의 方向을 一致시킬 수가 있다. 그러나 이 경우에는 外部에서 인가한 電界를 弱하게 하면 分極狀態는 원래의 狀態로 되들어가는 特性이 있다. 이러한 反强誘電體의 代表的인 것은 PbZrO₃이다.

이들 强 反强誘電體인 PbiTO₃와 PbZrO₃의 固溶體, 즉 PZT에서 우수한 壓電세라믹 材料가 많이 發見되고 있다. 특히 이 PZT에서는 Zr과 Ti의 조성비에 의하여 結晶구조가 變하며 그 境界인 MPB (morphotropic phase boundary) 부근의 組成比를 갖는 것이 壓電現狀이 우수하고 溫度安定性이 좋다

는 보크가 있으며, F.Kulcsar는 (Zr, Ti)⁴⁺의 일부 이온을 Nb⁵⁺나 Ta⁵⁺ 이온으로 donor-doping 시켜주면 電氣機械結合係數가 증가함을 보여 주었다.

本 論文에서는 MPB부근의 組成比인 Zr: Ti의 비를 54:46으로 하고 (Zr, Ti)⁴⁺의 일부를 Na⁺ 이온으로 donor-doping시켜서 원관형 壓電세라믹 振動素子를 製造하고, 그 素子에 交流信號를 인가하여 그 素子로부터 發生되는 音波의 送波特性을 조

사하였다.

II. 素子の 製造 및 定數의 測定

1. 素子の 製造

表 2-1에 보인 試藥들을 使用하여 純度를 補正하면서 天秤(Cyho Balance C₃-200MD)으로 表 2-2와 같은 組成比가 되도록 秤量하였다.

表 2-1 素子の 基本試藥

원 고 명	제 조 원	등 급	순 도	함 유 불 순 물
PbO	和光純藥(日本)	일 급	99% 이상	Cl, Cu, Fe, Al
TiO ₂	和光純藥(日本)	일 급	98.5%	SO ₄ , Pb, Fe, Al
ZrO ₂	林 純 藥(日本)	일 급	98.5%	Sr, Ti, Na, Fe
Nb ₂ O ₅	高純度化學(日本)	특 급	99.99%	
SrO	三 津 和(日本)	일 급	99%	

表 2-2 各素子の 造成比

Sample	Composition Ratio	PbO	ZrO ₂	TiO ₂	Nb ₂ O ₅
P-1	Pb(Zr 0.54 Ti 0.46)O ₃ +0.8wt. % Nb ₂ O ₅	15.30612	4.65587	2.55870	0.18018
P-2	Pb(Zr 0.54 Ti 0.46)O ₃ +1.0wt% Nb ₂ O ₅	15.30612	4.65587	2.55870	0.22523
P-3	Pb(Zr 0.54 Ti 0.46)O ₃ +1.4wt% Nb ₂ O ₅	15.30612	4.65587	2.55870	0.31532
P-4	Pb(Zr 0.54 Ti 0.46)O ₃ +2.0wt% Nb ₂ O ₅	15.30612	4.65587	2.55870	0.45046

秤量이 끝난 試藥들을 乳鉢에 넣고 아세톤을 加하여 약 2時間동안 混合粉碎하였다. 이 混合粉碎된 試藥을 空氣中에서 充分히 건조시킨 후 알루미늄 도가니에 넣고 電氣爐에서 850[°C]로 2시간동안 一次熱處理를 하였다.

一次熱處理가 끝난 混合試料를 아세톤과함께 다시 乳鉢에 넣고 2시간 동안 混合粉碎한 후에 結合劑로서 PVA용액을 소량 添加하여 900[kg/cm]으로 壓搾하여 圓板형으로 成形하였다.

成形된 試片을 닉켈도가니에 넣고 1,300[°C]로 45분간 二次熱處理를 하였다.

二次熱處理된 試片들을 電氣爐 속에서 自然冷却시킨 後 꺼내어서 그 양면을 고르게 연마하고 무게를 測定한 후 silver paste를 발랐다. 이 silver paste가 充分히 건조된 後 空氣中에서 400[°C]로 25分間 유지시켰다가 700[°C]로 10分間 加熱하여 電極을 부착시켰다.

이 試片들의 自發分極方向을 一致시키기 위하여 空氣中에서 13[kv/cm]의 直流電界를 2時間 加하여

素子를 完成시켰다.

2. 定數의 測定

그림 2-1의 回路를 使用하여 素子の 共振·反共振周波數를 測定하였다.(發振器: TRAD ELECTRONICS CO.의 SG-85 IURM-25D, 周波數 counter: 岩機通信機(株)의 FC-5131, oscilloscope: HEWLETT-PAKCARD AN/USM-281 A).

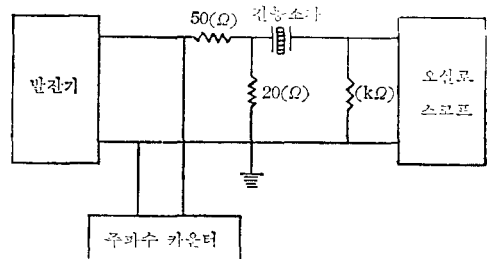


그림 2-1

表 2-3 素子の 共振・反共振周波數 및 諸元

Sample	Radius a [cm]	Thickness t [cm]	Density ρ [g/cm ³]	Fesonant Frequency f [kHz]	Anitresonant Frequency f_a [kHz]	Capactiance [pF at 1 kHz]
P-1	0.98	0.199	7.04	93.5	103.9	1,190
P-2	0.885	0.21	7.35	110.97	126.6	1,370
P-3	0.88	0.18	7.42	114.4	128.7	1,500
P-4	0.935	0.145	6.4	97.3	105.2	1,760

또 各 素子들의 靜電容量도 測定하였다. (HIOKI CO.의 HI CAPACITANCE TESTER 3501).

이들의 測定結果와 諸元은 表 2-3과 같다.

表 2-3의 測定値와 다음의 式들을 利用하여 各 素子들의 壓電的, 彈性的 定數들과 電氣機械結合係數들을 求하였다.

彈性定數

$$Y_{33}^D = \frac{1}{S_{33}^D} = 4\rho f_a^2 t^2 \text{ [N/m}^2\text{]}$$

$$Y_{33}^E = \frac{1}{S_{33}^E} = Y_{33}^D (1 - K_{33}^2) \text{ [N/m}^2\text{]}$$

但, ρ : 密度 [kg/m³]

f_a : 反共振周波數 [Hz]

t : 두께 [m]

K_{33} : 電氣機械結合係數

壓電定數

$$d_{33} = K_{33} \sqrt{\epsilon_{33}^T \cdot S_{33}^E} \text{ [m/V]}$$

$$g_{33} = \frac{d_{33}}{\epsilon_{33}^T} \text{ [V-m/N]}$$

電氣機械結合係數

$$\frac{1}{K_{33}^2} = a \frac{f_r}{\Delta f} + b$$

단, f_r : 共振周波數 [Hz]

$\Delta f = f_a - f_r$, [Hz]

$a = 0.405$

$b = 0.810$

誘電率

$$\epsilon_{33}^T = \frac{C \cdot t}{S}$$

단, C : 1[kHz]에서의 靜電容量 [F]

S : 電極의 面積 [m²]

그 結果는 表 2-4와 같다.

表 2-4 各 素子の 特性

Sample	Relative Permittivity $\epsilon_{33}^T/\epsilon_0$	Electromechanical Coupling k_{33} [%]	Elastic Constants		Piezoelectric Constants	
			Y_{33}^D [N/m ²]	Y_{33}^E [N/m ²]	d_{33} [m/V]	g_{33} [V-m/N]
P-1	887	47.4	0.1204×10^{10}	0.0933×10^{10}	13.75×10^{-10}	0.1757
P-2	1.320	52.1	0.2078×10^{10}	0.1514×10^{10}	14.48×10^{-10}	0.1239
P-3	1.254	49.7	0.1593×10^{10}	0.12×10^{10}	15.12×10^{-10}	0.1362
P-4	1.050	41.5	0.0596×10^{10}	0.0493×10^{10}	18.02×10^{-10}	0.1938

III. 送波特性 및 結果考察

各 素子들의 送波特性을 測定하기 위하여 우선 마이크로폰(Jin Sung Co., Condenser Microphone ECM 100A)의 周波數에 對한 特性을 測定하였다. 이 測定에서는 Brüel & Kjaer Co.의 Level Recorder 2305, Beat Frequency Oscillator 1022, Audio Frequency Spectrometer 2113, Standard Conde-

nser Micro-phone 4113을 사용하여 방음실에서 同一音源에 對해 측정마이크로폰과 標準마이크로폰의 周波數에 對한 應答을 비교측정하였다. 그 結果는 그림 3-1과 같다.

이 마이크로폰과 素子를 그림 3-2와 같은 回路에 연결하여 素子에서 發生되는 音波의 送波特性을 測定하였다. 이때 素子の 電極面과 마이크로폰의 간격을 20[cm]로 하였으며, 電極面과 마이크로폰이 垂直이 되도록 素子の 양쪽 電極面의 中心을 彈性이

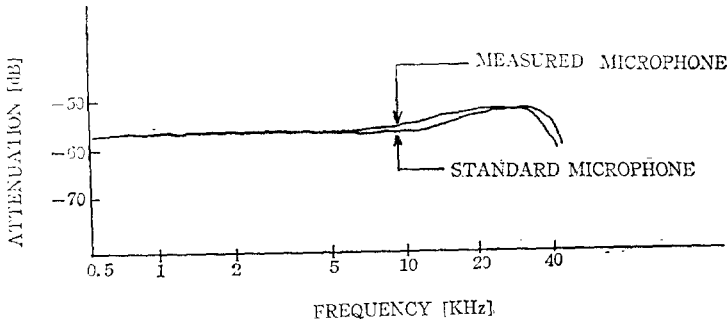


그림 3-1 마이크론의 특성

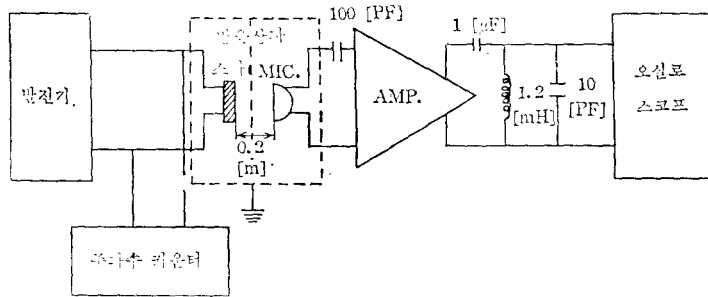


그림 3-2 素子の 送波特性 測定回路

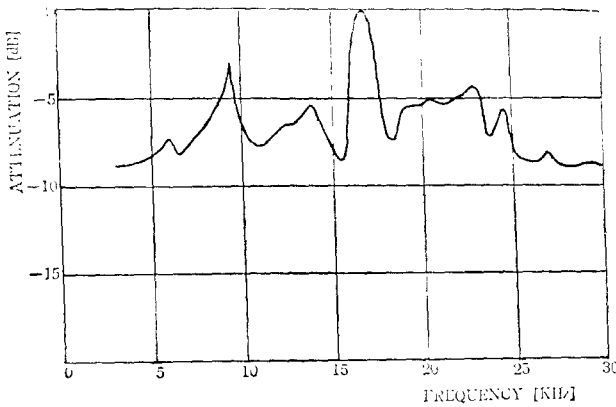


그림 3-3a. P-1 素子の 送波特性

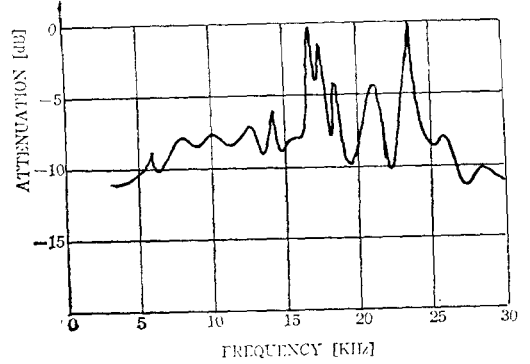


그림 3-3b. P-2 素子の 送波特性

弱한 편으로 支持하였다.

이 實驗에서 그림 3-3a, 3-3b, 3-3c 및 3-3d 와 같은 結果를 얻었다.

이때 그림 3-1에서 볼 수 있듯이 측정범위 30 [kHz] 以下の 周波數에서는 마이크론의 특성이 큰 差異가 없으므로 마이크론 自體의 영향을 무시

하였다.

以上の 實驗結果, P-1, P-2, P-3 및 P-4 素子は 測定범위(3kHz-30kHz) 내에서 各各 16.30[kHz], 23.32[kHz], 15.28[kHz] 및 11.48[kHz]에서 가장 강한 音波를 發生시켰으며, 특히 P-4 素子は 다른 素子에 比하여 音波送波特性이 우수하였다.

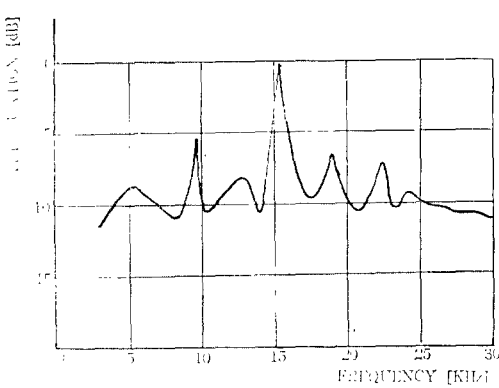


그림 3-3c. P-3 素子の 送波特性

또 각 素子の 送波特性은 壓電定數 d_{33} 의 값이 클수록 우수함을 보여 주었으며, 이것은 壓電方程式

$$S_3 = S_{33}^E T_3 + d_{33} E_3$$

에서 素子を 支持하는 筋의 접촉면적이 좁고 또 彈性이 약하므로 應力 T_3 는 거의 0이며 또 電界 E_3 도 각 素子에 對하여 一定하게 하였으므로 d_{33} 의 값이 클수록 strain S_3 이 크게 되는 것과 一致하였다.

각 素子에서 發生되는 音波의 周波數 選擇特性은 그림 3-3a, 3-3b, 3-3c 및 3-3d에서 振動共振 周波數를 f_V [kHz]라 하고, 이 周波數 兩側의 -3 [dB]인 周波數를 f_1 [kHz], f_2 [kHz]라 할 때,

$$Q = \frac{f_V}{f_2 - f_1}$$

로부터 Q 값을 求하여 조사하였다.

그 結果는 表 3-1과 같다.

表 3-1 各 素子の Q 값

Sample	f_1 [kHz]	f_V [kHz]	f_2 [kHz]	Q Value
P-2	16.11	16.39	17.02	18.0
P-2	23.19	23.32	23.46	86.4
P-3	15.18	15.23	15.41	59.2
P-4	11.29	11.43	11.62	34.8

이 表에서 볼 수 있듯이 P-2素子が 16.39[kHz]에서 Q 값이 86.4로서 가장 높은 값을 보여 주었다.

Ⅶ. 結 論

1) Pb(Zr 0.54, Ti 0.46) O₃에 Nb₂O₅를 重量比로 各各 0.8%, 1.0%, 1.4% 및 2.0% 添加시킨 P-1, P-2, P-3 및 P-4素子에 있어서 測定範圍內에서

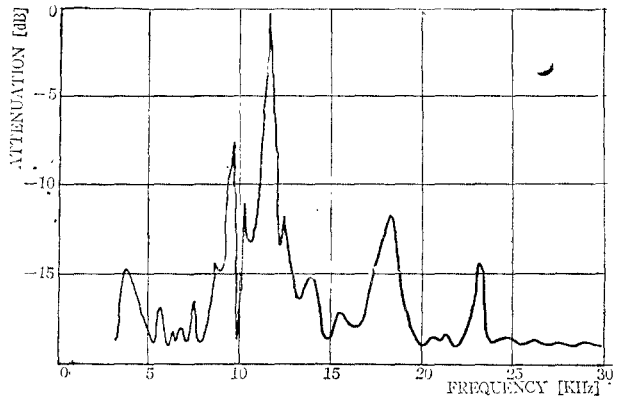


그림 3-3d. P-4 素子の 送波特性

音을 16.39[kHz], 23.46[kHz], 15.41[kHz] 및 11.43 kHz에서 가장 強한 音波를 發生시켰다.

2) 특히 P-4素子は 다른 素子에 比하여 音波의 送波特性이 우수하였으므로 周波數選擇特性도 11.48 [kHz]에서 34.8로서 비교적 우수하였다.

3) 各 素子들에 있어서 d_{33} 의 값이 클수록 音波의 送波特性이 우수함을 확인할 수 있었다.

4) 分極의 方向을 一致시키기 위하여 加해하는 直流電界를 더 높일 수 있으면 보다 特性이 우수한 素子를 開發할 수 있을 것이다 더 높은 直流電界를 加할 수 있는 장치와 方法은 속으로 남긴다.

참 고 문 헌

1. "IRE standards on piezoelectric crystals, 1949", Proc. IRE. 37, 1378-95(1949)
2. "IRE standards on piezoelectric crystals, 1961", Proc. IRE. 46, 1161-69(1961)
3. F. Kulcsar; J. Am. Ceramic Soc. 42(1), 42-51(1959)
4. F. Kulcsar; J. Am. Ceramic Soc. 42(7), 343-349(1959)
5. 朴晶燁 外 1名, 電氣學會誌, 27(3) (1978)
6. B. Jaffe et al; Piezoelectric ceramics, London, Academic Press, (1971)
7. W.P. Mason; Physical Acoustics Vol. I-A, N.Y., Academic press, (1964)
8. 電子材料工業會, 壓電セラミックスその應用, 東京, 電波新聞社, (1974)
9. 島川正憲, 超音波工學, 東京, 工業調査會, (1975)