

Pb(Mn_{1/3}Nb_{2/3})O₃ - PbTiO₃ - PbZrO₃계 압전 세라믹의 필터로서의 응용

류영대* · 조상희
경북대학교 재료공학과
*금성전기주식회사
(1986년 1월30일 접수)

Piezoelectric Ceramics of Pb(Mn_{1/3}Nb_{2/3})O₃ - PbTiO₃ - PbZrO₃ for Band Pass Filter

Young-Dae Ryoo* and Sang-Hee Cho

Dept. of Materials Science and Engineering, Kyungpook National University.

*Goldstar Electric Co. Ltd.

(Received January 30, 1986)

ABSTRACT

In this study, the system of Pb(Mn_{1/3}Nb_{2/3})O₃-PbTiO₃-PbZrO₃ piezoelectric ceramics was made in the radial mode disk, and attenuation characteristic of the designed ladder type filter was investigated. What is more, temperature dependance of resonant frequency and variation of resonant frequency was examined by changing the electrode diameter of piezoelectric resonator. (A Group : D_e = 11mm, B Group : D_e = 7.5mm and C Group : D_e = 5.5 mm)

Upon investigation it was the following. The center frequency of A, B and C filter showed up in the 200KHz, 270KHz and 380KHz respectively. As the electrode diameter decreased, center frequency increased abruptly. As the Co2/Co1 increased, attenuation characteristics and selectivity was improved. As the x = 50, resonant frequency invaried with variation of temperature.

1. 서 론

필터는 특정 주파수 이상 혹은 이하의 주파수 에너지를 통과(차단) 또는 특정 주파수 대역의 에너지를 통과(차단) 또는 특정 주파수 대역 이외의 주파수 에너지를 차단(통과)시키는 기능을 가진 전자 소자로서 AM FM 라디오, TV 및 통신기기 등에 폭넓게 응용된다.

세라믹 필터는 압전세라믹의 공진현상을 이용한 압전소자인데 여파특성(濾波特性)을 실현화한 것이다. 특히 최근에는 전자부품 소자의 집적화가 진행되어 소형화, 높은 선택도(Selectivity), 무조정화 및 집적필터화가 요구되고 있다. 압전세라믹 필터는 세라믹 재료의 개발과 제조기술의 진보로 이와 같은 요구를 충족시킬

수 있는 최적소자이며 진동모드를 변화시킴에 따라 수십 KHz ~ 수십 MHz까지 응용이 가능하다.¹⁾ 특히 원판형 모드로 제작할 경우 중심주파수가 80 ~ 700KHz 사이로 AM-IF 필터용으로 적합하다.²⁾ 이때 두께와 직경의 비는 0.1 이상이 되어야 한다.²⁾

본 연구에서는 원판형으로 제조된 압전세라믹의 크기를 변화시켜서 공진주파수의 이동을 검토하였으며 Ladder type 3 단자망 세라믹 필터를 설계, 제작하여 감쇄특성과 온도특성을 조사하였다.

2. Ladder type 세라믹 필터의 이론

압전세라믹의 등가회로는 진동자의 형태와 분극방향에 의해 결정된다.³⁾ 원판형 압전세라믹 진동자는 그림

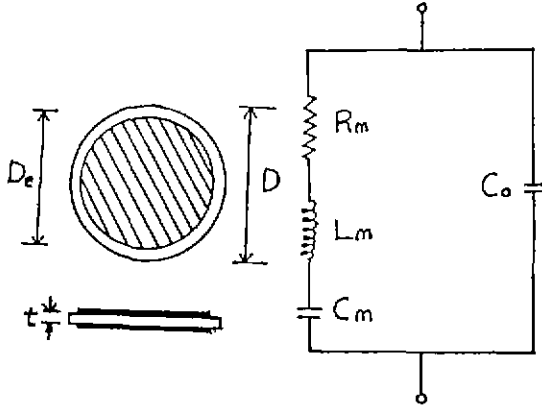


Fig. 1. Radial vibration mode disk resonator and equivalent circuit

1 과 같이 R_m, L_m, C_m 및 C_o 등 4의 등가정수치들의 직렬형 형태로서 등가회로가 구성된다. 이러한 등가정수치들은 주파수에 대하여 상호 복합적으로 작용, 압전세라믹으로 하여금 공진현상을 일으키게 한다. 아울러 전기적에너지 및 기계적에너지를 상호변환시키는 역할을 하게한다.

원판형 압전세라믹 진동자의 공진주파수(f_r)는 다음과 같이 나타낼수 있다.^{4,5)}

$$f_r = \frac{1}{2\pi\sqrt{L_m C_m}} = \frac{\eta_m}{\pi D} \sqrt{\frac{Y_{11}^E}{\rho(1-\sigma^2)}} \dots\dots (1)$$

여기서 η_m ; Poission 비(σ)를 포함하는 벡셀계수의 근, σ ; poission ratio, ρ : 밀도, D : 세라믹의 직경이다. 식(1)에 재료의 정수값을 대입하면 응용목적에 적합한 주파수를 갖는 공진자의 치수 D 가 산출되어진다.

Ladder type 세라믹 필터는 그림 2와 같이 압전세라믹 공진자를 직렬 및 병렬로 조합한 형태이며 각 공진자의 공진현상이 합성, Band pass 필터로서 작용하는 소자이다.

직렬공진자 S_1 과 병렬공진자 S_2 로 구성된 Ladder type 세라믹 필터의 대역폭은 공진자의 $\Delta f (f_a - f_r)$ 이고, 감쇄량은 직렬 및 병렬공진자의 용량비와 결합된 공진자의 수에 의존한다.⁶⁾ 그림 3은 직렬 및 병렬공진자의 주파수대 임피던스 특성곡선과 Ladder type 세라믹 필터를 제작했을때 감쇄특성을 나타낸 그림이다.

직렬 공진자의 f_r 과 병렬공진자의 f_a 는 filter의 중심주파수 f_0 에 일치시켜야 한다.

또한 감쇄극 f_{-2}, f_{-1} , 통과대역의 하한 및 상한주파수 f_1, f_2 가 그림 3과 같이 정의될때 그림 2의 등가

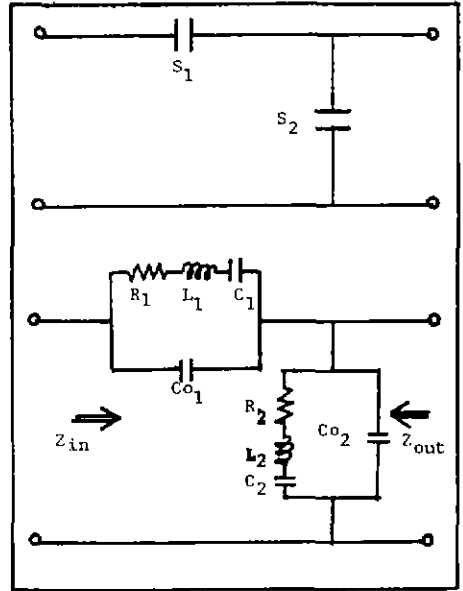


Fig. 2. Ladder type ceramic filter and equivalent circuit

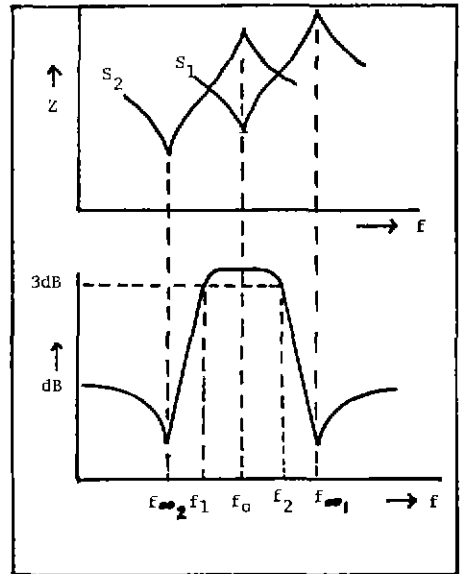


Fig. 3. Frequency arrangement of resonator and filter characteristics

정수치 및 임피던스 등의 상호관계^{4,5,6)}를 이용, 목적에 알맞는 Ladder type 세라믹 필터를 설계할 수 있다.

*반공진 주파수

3. 실험

3-1) 진동자의 제조 및 측정

원료의 조성은 5Pb(Mn_{1/3}Nb_{2/3})O₃-XPbTiO₃-(95-X)PbZrO₃ 여기서 X=40, 45, 및 50 (mol%)로 하였다. 소결시 PbO가 휘발하기 쉬우므로 이 휘발량을 보상함과 아울러 소결특성을 높이기 위하여 기본 조성의 0.03mol%만큼 PbO를 과잉 첨가하였다.^{7,8)} 원료를 정해진 증량비에 따라서 ±10⁻⁴g의 정확도로 평량한 후 습식분말 방법으로 10시간 혼합하였다. 혼합한 원료를 약 100°C에서 충분히 건조시킨 다음 알루미늄 도가니에 넣고 밀폐시킨 후 900°C에서 2시간 하소하였다. 하소 분말을 혼합시와 같은 조건으로 8시간 동안 재분쇄하였다. PVA 수용액을 결합제로 사용하여 1000 kg/cm²의 압력으로 성형하였다. 성형체는 직경이 7~15 (mm)이고 두께가 약 1mm인 원형판이다. 성형된 시편을 450°C에서 1시간 동안 유지시켜서 PVA를 태운 후 MgO 도가니에 넣고 완전히 밀폐시켰다. 1,200°C에서 3시간 동안 유지시켜 소결을 하였다. 소결체는 직경이 5.5, 7.5, 및 11 (mm)이고 두께는 연마하여 0.6 mm가 되게 하였다. 시편의 표면을 알코올로 깨끗이 세척하고 은전극을 스크린 인쇄법으로 부착시켰다. 전극을 부착시킨 시편을 80°C 실리콘 기름 속에 넣고 4kv/mm의 직류전계를 인가하

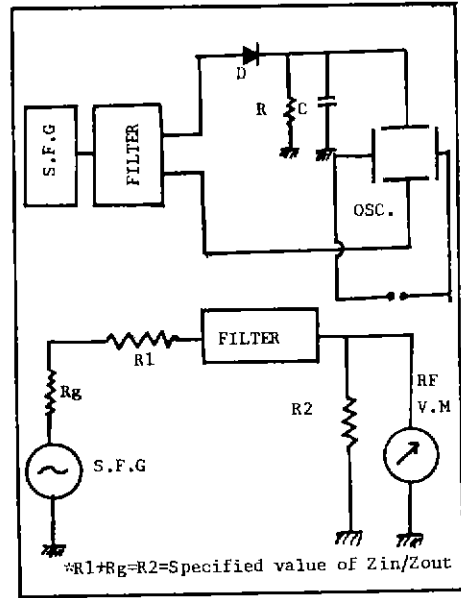


Fig. 4. Measurement circuit of output voltage and filter characteristics

여 30분 동안 강제분극시켜 압전진동자를 구성하였다. 제정수는 시편을 24시간 동안 공기중에 방치한후 Automatic Capacitance Bridge(HP 4270), Vector Impedance Meter (HP 4800) 및 Frequency Counter(HP

Table 1. Constants of Resonator

Group	No	D (mm)	t (mm)	Rm (Ω)	Lm (mH)	Cm (pF)	Co (pF)	Qm	Kp (%)	εr	fr (KH)	fa (KH)	CO ₂ Col	
A	A1	S ₁	11	0.6	31	38	16	161	1600	34	424	204	214	3.8
		S ₂	11	0.6	15	4.4	165	604	400	52	548	185	209	
	A2	S ₁	11	0.6	15	8.8	72	431	740	43	360	200	216	3
		S ₂	11	0.6	7.2	2.3	317	1380	380	49	1200	185	205	
	A3	S ₁	11	0.6	7.8	7.8	81	660	1250	37	790	201	213	0.6
		S ₂	11	0.6	9.5	6.9	102	425	870	49	562	189	211	
B	B1	S ₁	7.5	0.6	13.5	7.2	44	237	950	45	430	285	310	3
		S ₂	7.5	0.6	2.8	1.97	192	733	360	51	1090	259	293	
	B2	S ₁	7.5	0.6	13.5	7.2	44	237	950	45	430	285	310	1.5
		S ₂	7.5	0.6	6.9	3.5	112	354	807	55	715	255	293	
	B3	S ₁	7.5	0.6	5.8	4.8	70	583	950	45	430	285	310	0.6
		S ₂	7.5	0.6	6.9	3.5	112	354	650	56	747	257	310	
C	C1	S ₁	7.5	0.6	24	8.3	20.3	120	870	43	400	388	420	1.6
		S ₂	7.5	0.6	18	3.42	59	192	400	37	716	355	405	
	C2	S ₁	7.5	0.6	25	8.5	20	162	820	37	500	388	410	1.3
		S ₂	7.5	0.6	18	3.42	59	192	400	37	716	355	405	
	C3	S ₁	7.5	0.6	10.7	5.4	32	296	1200	35	940	383	402	0.65
		S ₂	7.5	0.6	18	3.42	59	192	400	37	716	355	405	

5300 A) 등으로 측정하였으며 표 1 과 같다.

3-2) Ladder type 세라믹 필터의 설계, 제작 및 측정.

그림 2 와 같은 Ladder type 세라믹 Band pass 필터를 설계, 제작하였다. 설계된 필터는 진동자의 치수에 따라 표 1 과 같이 A(D=11mm), B(D=7.5mm) 및 C(D=5.5mm) 그룹으로 구분하였다. 필터의 출력전압 특성 및 감쇄특성을 측정한 회로도된 그림 4 에 표시하였다. 이때 사용한 측정기기는 Sweep Frequency Generator, HP 7633 Oscilloscope 및 Digital Volt Meter 이다.

4. 실험결과 및 고찰

4-1) 시편의 크기와 f_r , Δf 의 관계

공진주파수 및 Δf 와 시편의 크기의 관계를 그림 5 에 나타내었다. 시편의 직경이 감소할수록 공진주파수는 급격히 증가하였다. 그러나 조성이 변함에 따라 증가하는 정도는 차이가 있었다. 이는 필터로 응용할때 최적조성이 선택되면 식 1 에 의거 필터의 중심주파수 f_0 는 세라믹 시편의 직경에 의해 조정됨을 의미한다. 한편 Δf 역시 시편의 직경이 감소할수록 증가하였으며 삼방정(X=40mol%) 및 정방정(X=50mol%) 쪽 조성보다는 상경계(X=45mol%) 조성부근에서 Δf 는 큰 값을 나타내었다.

가장 이상적인 Ladder type 필터는 그림 3 과 같이 직렬공진자의 공진주파수와 병렬공진자의 반공진주파수가 일치하여 중심주파수 f_0 가 되는 경우이다. 그러나 실제로 공진자의 직경을 변화시키면 그림 5 에서와 같이 f_r 과 Δf 가 변하기 때문에 직렬공진자의 공진주파수와 병렬공진자의 반공진주파수가 일치하지 않는다. 또한 공진자의 직경을 일정하게 하고 조성을 달라하여 직렬공진자를 구성할 경우에는 공진진폭의 차이가 있기 때문에²⁾ 역시 이상적인 Ladder type 필터가 되지 못한다. 까닭에 공진자의 직경을 변화시키는 것과 직렬 및 병렬공진자의 조성을 다르게 구성하는 방법을 적절히 조합함으로써 이상적인 Ladder type 필터에 접근할 수 있을 것으로 추측된다.

4-2) 필터의 특성

공진자의 직경이 11mm, 7.5mm 및 5.5mm 인 경우에 대한 Ladder type band pass 필터를 구성했을 때 주파수특성을 그림 6.7 및 8 에 나타내었다. 직렬공진자의 직경이 11mm, 7.5mm 및 5.5mm 인 경우 필터의 중심주파수는 각각 200KHz, 270KHz 및 380KHz 였다. 만약 455KHz 대 중간주파수 필터로 응용하고자 할때는 조성에 따라 정도의 차이는 있었지만 X=50mol% 인 조성에서는 공진자의 직경이 약 5mm, 두께가 0.6mm 정도일 것으로 추측되어진다. 표 1 에 A, B 및 C 필터의 CO_2 / CO_1 을 나타내었다. A 그룹의 경우 CO_2 / CO_1 이 3.8 인 A_1 필터는 CO_2 / CO_1 이 3 및 0.6

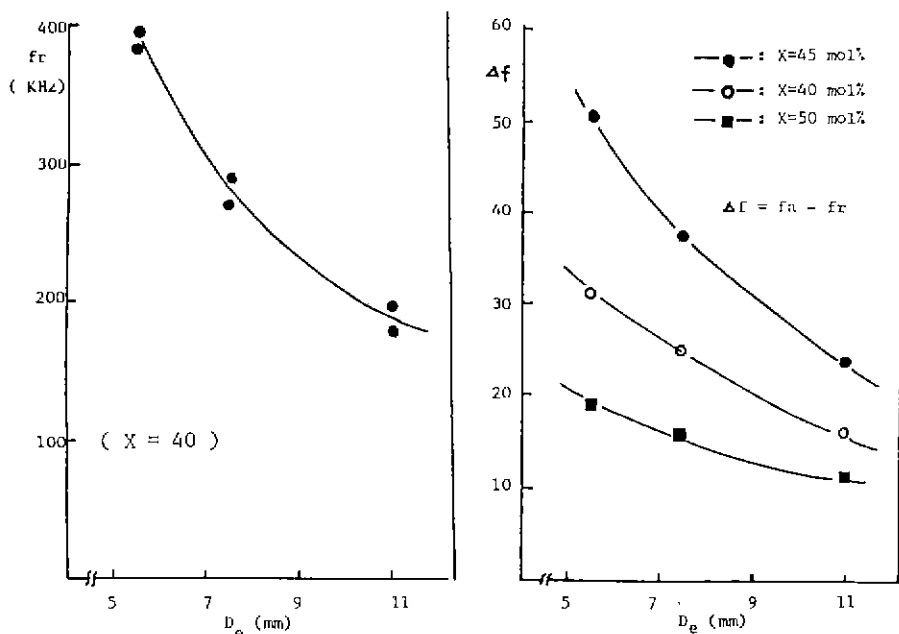


Fig. 5. f_r and Δf vs. diameter of electrode

인 A₂ 및 A₃ 필터보다 훨씬 개선된 주파수특성을 보여주고 있다. 이는 B 및 C 필터인 경우도 같은 경향으로 B₁ 및 C₁ 필터의 주파수특성이 가장 우수하였다. 통과대역폭 및 선택도(selectivity)는 적렬 및 명렬공진자의 용량비가 클수록 개선됨을 알 수 있다. 주파수특성 곡선상에 발진현상이 나타나는 것은 측정회로에 있어서 커패시턴스값의 mismatching 때문으로 사료된다. 제작된 Ladder type band pass 필터의 선택도와 통과대역폭은 각각 9.5 ~ 14 dB 및 15 ~ 20 KHz의 범위를 나타내었다.

4-3) 온도특성

X = 45 및 50 mol% 조성에 대하여 f_r, k_p** 및 C의 온도의존성을 그림 9 및 10에 나타내었다. 일반적으로 압전세라믹이 진동자로서 부저 및 스피커등으로

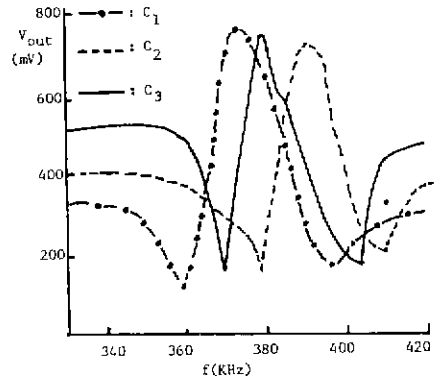


Fig. 8. Frequency characteristic of C filter

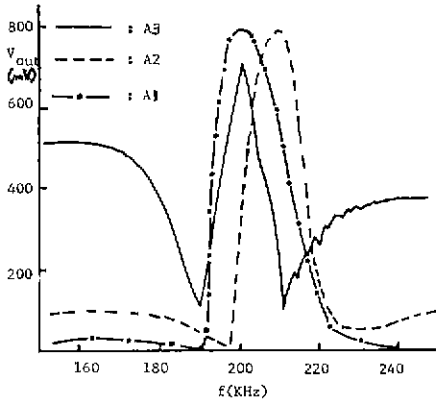


Fig. 6. Frequency characteristics of A filter

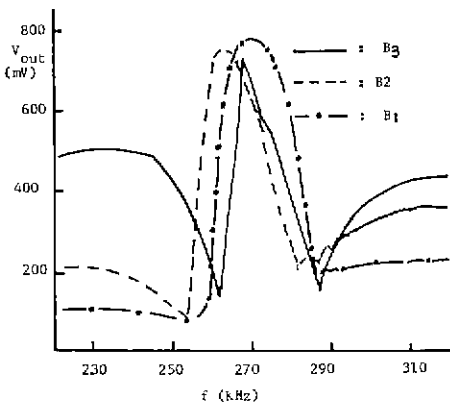


Fig. 7. Frequency characteristic of B filter

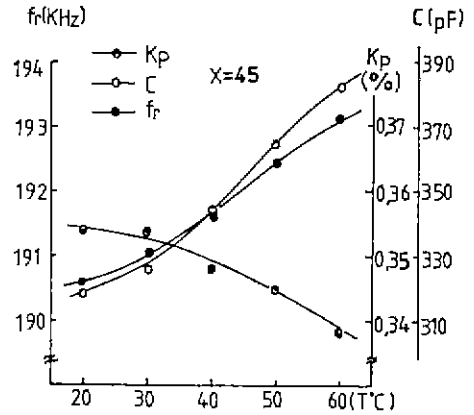


Fig. 9. Temperature characteristic at the composition of X=45 mol%

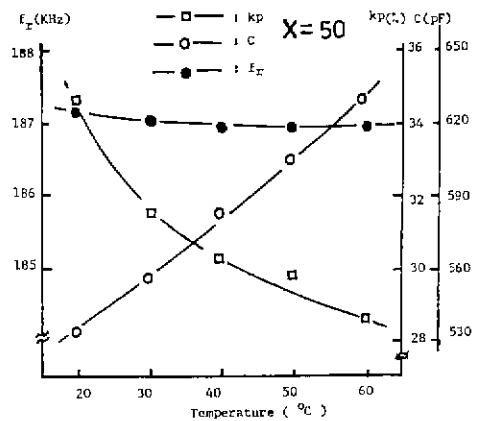


Fig. 10. Temperature characteristic at the composition of X=50 mol%

** 전기기계결합계수

응용될 경우에는 kp 값의 크기를 중요시하는 반면 공진자로서 필터나 발진자로 응용할 경우에는 kp 보다는 fr , fa 등에 많은 의미를 둔다.¹⁾ 까닭에 fr 의 온도의존성은 압전세라믹의 필터로서 응용시 중요한 의미를 내포하고 있다. $X = 45\text{mol}\%$ 조성인 경우 온도가 증가함에 따라 fr 은 증가하므로 필터로서 응용할때 적합한 조성이 아님을 알수 있다. 반면에 $X = 50\text{mol}\%$ 조성인 경우에는 온도가 변화해도 fr 은 거의 변하지 않고 일정하므로 필터로 응용할때 중심주파수의 변동이 없을 것으로 사료된다.

5. 결 론

$\text{Pb}(\text{Mn}_{1/3}\text{Nb}_{2/3})\text{O}_3 - \text{PbTiO}_3 - \text{PbZrO}_3$ 계 압전세라믹을 제조하여 시편의 크기와 fr 및 Δf 의 관계 및 온도특성, 그리고 Ladder type 필터를 제작하여 필터의 특성을 조사, 다음과 같은 결론을 얻었다.

1. 시편의 직경이 감소할수록 fr 및 Δf 는 증가하였으며, Ladder type 필터로 응용시 이상적인 경우에 접근함에 있어서 fr 및 Δf 와 시편의 크기의 관계는 중요한 의미가 되었다.

2. 제작된 Band pass filter는 공진자의 직경이 11mm 7.5mm 및 5.5mm일때 중심주파수가 각각 200KHz, 270KHz, 및 380KHz 였으며 통과대역폭이 15~20KHz, 선택도(selectivity)가 9.5~14 dB을 나타내었다.

3. 선택도와 통과대역폭은 직렬 및 병렬공진자의용량비가 증가할수록 개선되었다.

4. $X = 50\text{mol}\%$ 조성에서 공진주파수는 온도가 변해도 일정함을 나타내었다. 따라서 필터로서 응용시 중심주파수의 변동이 없으므로 적당한 필터 조성임을 알 수 있었다.

감사의 말씀

이 논문은 한국 학술진흥재단의 1985년도 연구비 지원에 의하여 연구되었음을 밝힙니다.

REFERENCE

- 1) Sauerland, F. and Blum, W. "Ceramic IF Filter for Consumer Product", IEEE Spec., pp. 112-126, 1968.
- 2) I R E standards on piezoelectric crystal, The Piezoelectric Vibrator, Definition and Method of Measurement, 1957.
- 3) Kiyoshi Okazaki, "Ceramic Engineering for Dielectrics", The Third Edition, pp. 323 - 330, 1978.
- 4) 電子材料工業會; 壓電세라믹스의 응용, pp. 223 ~ 310, 電波新聞社, 東京, 1974.
- 5) 堀崎忠; 壓電材料의 製造와 應用, pp. 177 ~ 188, 東京, 1984.
- 6) D. R. Curran and W. J. Gerber : Proc. IEEE Electronic Comp. Conf. 160, 1959.
- 7) Webster, A. H., Wrston, T. B., and Bright, N. F. H. "Effect of PbO Deficiency on the Piezoelectric Properties of Lead-Zirconate-Titanate Ceramics", J. Amer. Ceram. Soc., 50 : 491, 1967.
- 8) Kingon, A. I., and Clark, J. B. "Sintering of PZ-T Ceramics; I, Atmosphere Control", J. Amer. Ceram. Soc., 66 : 253 - 256, 1983.
- 9) 류영대, 조상희; 소결체 및 전극의 크기와 조성이 $\text{Pb}(\text{Mn}_{1/3}\text{Nb}_{2/3})\text{O}_3 - \text{PbTiO}_3 - \text{PbZrO}_3$ 계 압전세라믹스의 공진특성에 미치는 영향", 요업학회지, 23 (1), 60 ~ 66 (1986).