

# PZN-BT-PT세라믹스를 이용한 전왜 BUZZER의 음향 특성

## Acoustic Properties of Electrostrictive Buzzer Using PZN-BT-PT Ceramics

柳 周 鉉\* · 金 賢 在\*\* · 朴 昌 燁\*\*\*  
 (Ju-Hyun Yoo · Hyun-Je Kim · Chang-Yub Park)

**Abstract** - Piezoelectric Buzzer which has been generally used requires about 30 kV/cm poling process and has the aging effects. In this study, 0.85 PZN - 0.10 BT - 0.05 PT system ceramics with additives of 0 - 2 wt%  $Y_2O_3$  were fabricated and investigated on electromechanical coupling coefficient( $k_p$ ), electric field induced charge coefficient( $d_{31}$ ), and sound level. As the results, in the 0.4 wt%  $Y_2O_3$  added composition ceramics compared with the basic,  $k_p$  was increased from 0.355 to 0.39 and induced piezoelectric d constant increased from 204 to 220 x  $10^{-12}$  (C/N) and sound level of electrostrictive Buzzer has the highest value of 71.5 dB under 8kV/cm bias electric field.

**Key Words** aging effect (경시변화)  
 electromechanical coupling coefficient (전기기계결합계수)  
 electric field induced charge coefficient  $d_{31}$  (유기압전  $d_{31}$  정수)  
 sound level (음압)  
 piezoelectric (압전)  
 electrostrictive (전왜)

### 1. 서 론

압전 부저는 얇은 세라믹스 박판에 전극을 발라 두께 방향으로 분극시켜, 진동판에 부착시킨 복합 진동자로 구성된다. 이는 약 30Kv/cm의 분극처리가

가 필요하고, 분극에 따른 경시 변화의 문제점을 가지고 있으나, 현재 가스 누설 경보기, 도난방지 기, 확인음, 전화기등에 널리 사용되고 있다. 본 연구에서는 분극처리가 필요없이 경시변화의 우려가 없는 전왜부저에 대해 연구하고자한다. 전왜부저는 D.C 바이어스 전계하에서만 유기분극이 생겨 유기압전 특성을 나타내 음이 발생하나, D.C 바이어스 전계를 제거하면 압전성이 사라져 음이 나지 않게 된다. 이 부저는 압전부저가 사용될 수 없는

\*正 會 員 : 世明大 工大 電氣工學科 專任講師  
 \*\*正 會 員 : KIST 無機材料研究室 室長 · 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 7月 29日  
 1次修正 : 1991年 11月 17日

냉축한 조건이나 갑작스런 전압변동에 의한 과전압 보호용등 특수 목적의 센서로 활용이 가능하다. 전왜부저는 압전부저와 비슷하게 유기압전  $d_{31}$  정수, 전기기계결합계수, 기계적 품질계수가 음압에 상당한 영향을 미친다.

따라서 이 같은 제반 전왜특성을 증가 시키고자 PZN-BT-PT 계에  $Y_2O_3$ 를 첨가한 효과를 조사하고자 한다.

## 2. 실험방법

### 2.1 시편의 제조

표1과 같이  $0.85Pb(Zn_{1/3}Nb_{2/3})O_3-0.10BaTiO_3-0.05PbTiO_3$  계에  $Y_2O_3$ 를 0, 0.2, 0.4, 0.6, 1.0, 1.2, 1.6, 2.0wt%로 첨가한 후 산화물 혼합법으로 원료 분말을 준비하여  $900^\circ C$ 에서 4시간 하소한다. 다음  $0.8-1\text{ton}/m^2$ 의 압력으로 성형한 후 PbO의 증발을 막기위해 시료의 조성과 동일한 분위기 분말을 사용하여 2중 도가니 구조에서  $1050-1100^\circ C$ 에서 1시간 소성하였다. 제조된 시편은 제반 특성 측정용으로 가공하였다.

### 2.2 전왜 특성 및 전왜 부저의 음압 특성 측정

그림 1과 같이 Transmission Measuring Circuit [1]를 사용하여 측정할 시편에 유기 분극이 생기도록 전압을 인가한 상태에서 Network Analyzer

표 1  $Y_2O_3$ 첨가량에 따른 시편의 분류

Table 1 Classification of the Specimens with  $Y_2O_3$  Addition Amount

wt%	0	0.2	0.4	0.6	1.0	1.2	1.6	2.0
시편번호	S <sub>1</sub>	S <sub>2</sub>	S <sub>3</sub>	S <sub>4</sub>	S <sub>5</sub>	S <sub>6</sub>	S <sub>7</sub>	S <sub>8</sub>

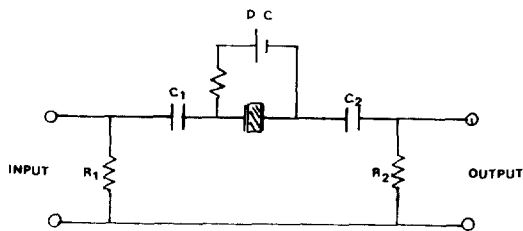


그림 1 전왜 진동자를 위한 전송 측정회로  
Fig. 1 Transmission Measuring Circuit for Electrostrictive Vibrators

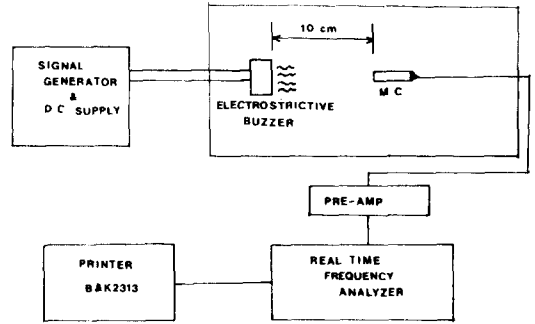


그림 2 출력 음압 측정 시스템  
Fig. 2 Sound Level Measuring System

(HP 3577)를 이용하여 공진 및 반공진 주파수를 측정하여 제반 전왜 특성을 관찰하였다. 먼저 시편을 원관형 및 구형관상 시편을 만들어 전계 E: 2, 4, 6, 8, 10kV/m에 따라, 전기 기계 결합 계수  $d_{31}$  정수,  $Q_m$  등을 IRE Standard[2], [3]에 따라 구하였다.

본 실험에서는 금속 세라믹 unimorph구조의 전왜 부저를 제작하였다. 사용된 금속은 Fe-Ni 합금을 이용 하였으며, 비전도성 아크릴계 접착제로 압력  $500\text{Kg}/\text{cm}^2$ 에서 30초 가열 경화 하여 접착하였으며, 부저의 지지는 주변지지로 Case에 정착하였다. 음압 측정을 위하여 사용된 시스템은 그림2와 같이 압력음 10.6dB의 무향실에서 10cm거리에 Microcophone 4165(1/2In)를 설치하여 Printer Graphics Recorder(type 2313, B&K)로 Printer하였다. 이때에 소자의 직류 바이어스 전압은 그림1의 측정회로를 이용하였으며 소자에 인가한 교류 신호는 Frequency Counter로 공진주파수를 읽어  $20V_{pp}$ 의 정현파를 Singnal Generator에서 발생시켜 공급 하였다.

## 3. 결과 및 고찰

표2는  $8\text{kV}/\text{cm}$  바이어스 전계에서의  $Y_2O_3$ 의 첨가량에 따른 전기기계 결합 계수 및 유기압전  $d$  정수의 변화이다. 전기기계 결합계수는 전기적에너지를 기계적에너지로 변화시켜주는 능력을 보여주며  $0.4\text{wt}\%Y_2O_3$ 일때  $d_{31}=220.95 \times 10^{-12}(\text{C}/\text{N})$ 으로 압전체에 비교하여 떨어지지 않음을 알수 있었으며 이는 진동자로서 응용 가능성을 제시하고 있다. 또한 유기압전정수  $d_{31}=k_{31}\sqrt{\epsilon_{33}^E s_{11}^E}$ 로 되므로  $d_{31}$ 은 전기기계결합계수, 유전율, 탄성컴플라이언스에 의존한다.

표 2 8kV/cm 바이어스 전계하에서  $k_p$ ,  $d_{31}$ 의 변화

Table 2 Variation of  $k_p$ ,  $d_{31}$  under 8kV/cm Bias Electric Field

Specimen No.	$\epsilon_{33}^T/\epsilon_0$	$k_{31}$	$s_{11}^E \times 10^{-12} [\text{m}^2/\text{N}]$	$d_{31} \times 10^{-12} [\text{C}/\text{N}]$
S <sub>1</sub>	5120	0.241	15.82	204.09
S <sub>2</sub>	5524	0.245	12.18	189.09
S <sub>3</sub>	4833	0.264	16.37	220.95
S <sub>4</sub>	5533	0.251	12.47	196.18
S <sub>5</sub>	4991	0.253	11.60	181.14
S <sub>6</sub>	4807	0.244	10.76	165.12
S <sub>7</sub>	4003	0.232	10.44	141.10
S <sub>8</sub>	3601	0.188	10.92	110.93

표 3 8kV/cm 바이어스 전계에서의  $\Delta f$ ,  $\Delta Y$  및  $k_p$ 의 변화

Table 3 Variation of  $\Delta f$ ,  $\Delta Y$  and  $k_p$  under 8kV/cm Bias Electric Field

Specimen No	$f_r$ [kHz]	$f_a$ [kHz]	$\Delta f (= f_r - f_a)$ [kHz]	$\Delta Y (= Y_r - Y_a)$ [dB]	$k_p$
S <sub>1</sub>	110.7	115.95	5.25	17.96	0.355
S <sub>2</sub>	103.125	107.5	4.375	12.79	0.318
S <sub>3</sub>	122.5	130.625	8.125	20.77	0.391
S <sub>4</sub>	121.875	128.125	6.25	19.29	0.347
S <sub>5</sub>	127.5	131.875	4.37	16.21	0.287
S <sub>6</sub>	130	134.5	4.5	14.94	0.288
S <sub>7</sub>	130.95	133.5	2.55	10.24	0.219
S <sub>8</sub>	134.1	135.9	1.8	7.07	0.183

0.4wt%일때  $d_{31}$ 이 가장 높은 것은 결정립 내부에  $\text{Y}^{3+}$ 가  $\text{ABO}_3$  perovskite 구조에서 A자리에 치환됨에 따라 (-)로 대전된 A-site공백이 발생하고 이 전하와 주위의 (+)이온과의 사이에 쿨롱 인력이 작용하여 쌍극자 모멘트가 증가, 유기분극이 증가하기 때문에, 또한  $\text{Y}_2\text{O}_3$ 가 균일하게 고용되어 밀도가 증가되어 전기기계결합계수 증가 및 탄성컴플라이언스의 증가에 기인된다. 0.4wt%  $\text{Y}_2\text{O}_3$ 이상에서는 second phase 및 pyrochlore상이 나타나 유전율 및 전기기계결합계수등이 낮아지기 때문이라 사료된다.

표3은 8kV/cm 바이어스 전계에서의  $f_r$ ,  $f_a$ ,  $\Delta f$ ,  $\Delta Y$  및  $k_p$ 를 조성에 따라 나타낸 것이며, 그림3은  $\text{Y}_2\text{O}_3$  0wt% 및 0.4wt%에서 전계가 2(kV/cm), 4,

6, 8로 증가함에 따라  $\Delta f(f_r - f_a)$  및  $\Delta Y$ 를 나타낸 것이다. 이는 전계가 인가됨에 따라 전계에 의해 유기된 유기분극이 증가하여 진동시에 도메인 벽의 마찰이 감소되어 공진저항이 감소하기 때문이며 결국 전기기계 결합계수의 증대를 수반하게 된다.  $\text{Y}_2\text{O}_3$ 가 0.4wt%에서  $\Delta f$  및  $\Delta Y$ ,  $k_p$ 가 다른 조성에 비해 크게 나타났다.

전왜 Buzzer는 전계를 바이어스 한 상태에서 구동함으로써 바이어스시에 유기분극이 커 유기압전정수  $d_{31}$ 이 높아야 하고 공진주파수에 음압만을 높게 필요로 하는 Buzzer에서는 기계적품질계수  $Q_m$ 이 커야 Q배로 음압을 낼 수 있다. [4] 본 실험에서는  $\text{Y}_2\text{O}_3$ 첨가량에 따른 음압특성을 조사했다. 그 결과를 표4에 나타낸 것처럼  $\text{Y}_2\text{O}_3$ 가 0.4wt%일때

표 4 전왜 Buzzer의 전기적, 음향적 특성

Table 4 Electrical and Sound Level Properties of electrostrictive Buzzer

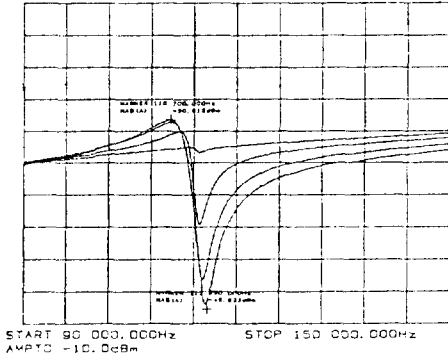
Specimen No	Electric field (kV/cm)	Resonant frequency ( $f_r$ ) [kHz]	Antiresonant frequency ( $f_a$ ) [kHz]	$C_o$ (nF)	Resonant resistance ( $R_1$ )	$\tan\delta$ (%)	$Q_m$	Maximam sound level (dB)
S <sub>2</sub>	6	6.71	6.815	29.2	209	6.57	126	61
	8	6.6925	6.815	25.93	174	5.2	147	62.6
	10	6.6925	6.815	23.13	162	4.41	177	61.4
S <sub>3</sub>	6	7.27	7.3925	35.3	410	7.55	45	71.1
	8	7.27	7.3925	32.7	440	6.62	46	71.5
	10	7.2875	7.3925	29.76	497	5.69	52	71.2
S <sub>4</sub>	6	6.6925	6.8325	37.8	159	7.2	97	54.4
	8	6.6925	6.8325	34.76	158	6.57	106	55.2
	10	6.6925	6.8325	31.4	150	5.77	123	55.6
S <sub>5</sub>	6	7.0425	7.1825	33.7	225	7.80	76	59.3
	8	7.0425	7.1825	32.8	287	7.70	58	61.9
	10	7.0425	7.1825	31.12	317	7.41	59	64.6
S <sub>6</sub>	6	6.71	6.85	36.6	307	7.94	52	68.3
	8	6.6925	6.85	35.15	299	7.57	50	71.2
	10	6.6925	6.85	33.14	297	7.18	53	72.7
S <sub>7</sub>	6	7.27	7.3925	26.05	142	8.0	166	52.7
	8	7.2525	7.3925	25.6	127	7.95	179	55.7
	10	7.2525	7.3925	24.73	111	7.73	229	57.1
S <sub>8</sub>	6	7.83	7.9175	22.5	128	7.57	210	48.6
	8	7.8125	7.9175	22.08	146	7.41	238	51.8
	10	7.7775	7.9175	21.58	133	7.30	308	54.5

공진저항이 가장 높고  $Q_m$ 이 가장 낮게 나타났다. 대체적으로  $Q_m$ 값이 낮으면 음주파수가 광대역으로 된다.

8kV/cm바이어스 때의 Y<sub>2</sub>O<sub>3</sub>첨가량에 따른 음압과 음주파수 영역을 살펴보면 10dB이상의 음주파수 영역은 소자 S<sub>2</sub>, S<sub>3</sub>, S<sub>4</sub>, S<sub>5</sub>, S<sub>6</sub>, S<sub>7</sub>, S<sub>8</sub>에서 각각 6.22-7.18(KHz), 6.4-8.54, 6.04-6.71, 6.59-7.61, 6.78-7.61, 7.39-8.06으로 S<sub>3</sub>와 S<sub>6</sub>에서 가장 넓으며 이것은  $Q_m$ 값이 낮은 것과 일치하고 있다. 본 실험에서는 Unimorph를 Case에 장착한 주변기기의 부저인 전화기의 ringer용으로 설계한 까닭에 소자에 전기적 정수  $K_p$ ,  $d_{31}$ 값이 크면 음압이 점차 증가 하였는데 이는 전계를 인가함에 따라 유기 분극이 증가하여  $d_{31}$ 이 증가 하기때문이다. S<sub>2</sub>, S<sub>3</sub>에서는 8kV/cm전계까지는 전계에 따라 증가하고 다시 감소하는 이유는 유기 분극 증가가

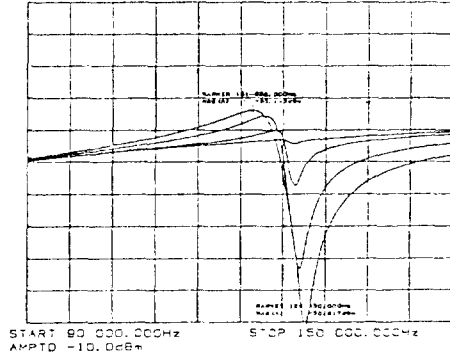
8kV/cm이상에서는 선형적으로 증가 하지 않기 때문에 상대적으로  $d_{31}$ 이 저하하기 때문이다. S<sub>5</sub>가 이 이상에는 분극을 포화 시키기에 비교적 전계가 높아야 하므로 전계증가에 따라 음압이 증가하고 있다. 대체적으로 압전 세라믹인 경우는 30kV/cm 이상으로 분극처리를 하여 도메인을 일렬로 배열시켜 사용하나 전왜와 압전이 공존하는 세라믹인 경우는 바이어스 전계로 분극을 유기함에 따라 사용함으로 전계가 낮을 때에는 도메인을 완전히 배열시키지 못하게 된다. 따라서 도메인벽의 마찰에 의한 손실이 증대 되므로 공진 저항이 높아지고  $Q_m$ 값이 낮아지게 된다. 그림4는 8kV/cm바이어스 전계에서의 음압, 공진저항을 나타내고 있으며 만약 순수한 전왜 성분만 존재하는 세라믹스의 경우는 도메인벽이 없어 전계인가시에 분극이 나타나고 전계를 제거하면 완전히 제거되므로 손실이 거

REF LEVEL /DIV  
-20.000e8m 3.000e9



(a) S<sub>1</sub>-Y<sub>3</sub> 시편

REF LEVEL /DIV  
-20.000e8m 3.000e9



(b) S<sub>3</sub>-Y<sub>3</sub> 시편

그림 3 0wt%, 0.4wt% Y<sub>2</sub>O<sub>3</sub>첨가시편에서의 전계에 따른 공진 주파수와 반공진 주파수의 이동

Fig. 3 Resonance and Antiresonance Frequency Shift with Electric field in 0, 0.4wt% Y<sub>2</sub>O<sub>3</sub> Addition Specimens

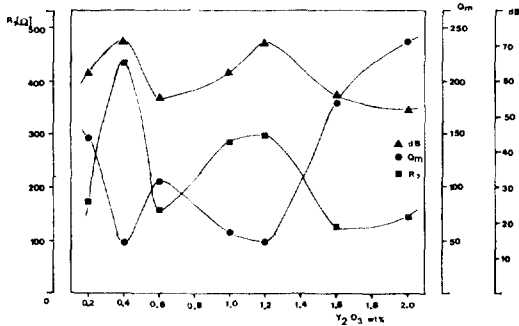


그림 4 8kV/cm바이어스 전계하에서 Y<sub>2</sub>O<sub>3</sub>첨가량에 따른 음압과 Q<sub>m</sub> 및 공진저항

Fig. 4 Sound Level, Q<sub>m</sub>, and Resonant Resistance with Y<sub>2</sub>O<sub>3</sub> Addition under 8kV/cm Bias Electric Field

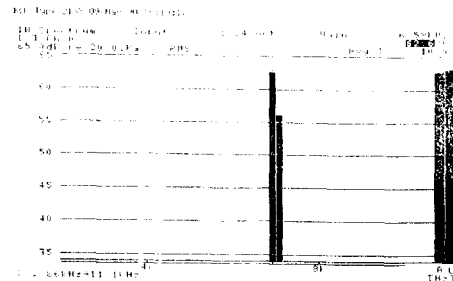
의 없어 공진 저항이 낮아져서 값이 증대된다. Uchino등은 PMN전체 세라믹에서 Q<sub>m</sub>이 8000정도의 값을 나타낸 바 있다. [1] 그림5는 각각 0.2, 0.4wt% Y<sub>2</sub>O<sub>3</sub> 8kV/cm하에서 음압과 음주파수 영역을 나타 냈다.

#### 4. 결 론

본 연구에서는 0.85PZN-0.10BT-0.05PT 기본

조성에 Y<sub>2</sub>O<sub>3</sub>를 0, 0.2, 0.4, 0.6, 1, 1.2, 1.6, 2.0 wt%로 변화 시키면서 시편을 제조 하였고, 이에 따른 전기기계결합계수 유효압전 d정수, 음압특성을 조사한 결과 다음과 같은 결론을 얻었다.

1) 모든 조성에서 전계를 증가함에 따라 공진과



50 Type 2102 09-Pan/60 100mV/div

IN Spectrum	Inout	1.21 (dB)	Gain	X	0.550 Hz
55 0dB	70 0uPa		Rev 1		10 Hz
Fr	48	Ch	dB		
20	76	1	5.9		
30	87	1	15.2		
40	94	1	19.2		
50	97	1	20.8		
60	101	1	22.4		
70	104	1	23.6		
80	106	1	24.4		
90	107	1	24.8		
100	108	1	25.0		
110	108	1	25.0		
120	107	1	24.8		
130	106	1	24.4		
140	104	1	23.6		
150	101	1	22.4		
160	97	1	20.8		
170	94	1	19.2		
180	90	1	17.2		
190	87	1	15.2		
200	84	1	13.2		
210	81	1	11.2		
220	78	1	9.2		
230	76	1	8.4		
240	74	1	7.6		
250	72	1	6.8		
260	70	1	6.0		
270	68	1	5.2		
280	66	1	4.4		
290	64	1	3.6		
300	62	1	2.8		
310	60	1	2.0		
320	58	1	1.2		
330	56	1	0.4		
340	54	1	-0.4		
350	52	1	-1.2		
360	50	1	-2.0		
370	48	1	-2.8		
380	46	1	-3.6		
390	44	1	-4.4		
400	42	1	-5.2		
410	40	1	-6.0		
420	38	1	-6.8		
430	36	1	-7.6		
440	34	1	-8.4		
450	32	1	-9.2		
460	30	1	-10.0		
470	28	1	-10.8		
480	26	1	-11.6		
490	24	1	-12.4		
500	22	1	-13.2		

(a) 0.2wt%

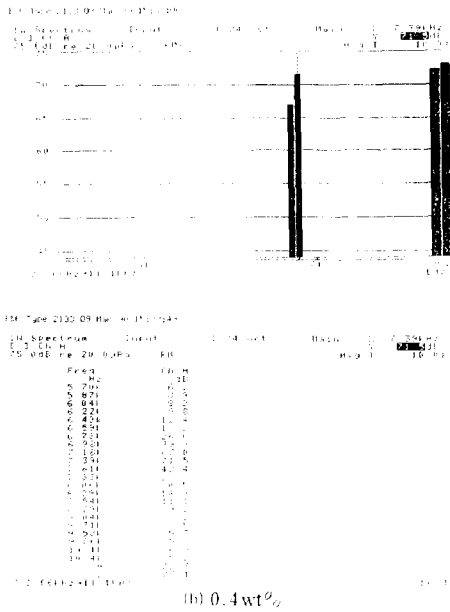


그림 5 0.2, 0.4wt% Y<sub>2</sub>O<sub>3</sub>전체 부저에 대한 음압과 음의 주파수 영역(8kV/cm바이어스 전계)

Fig. 5 Sound level and Sound Frequency Region with 0.2, 0.4wt% Y<sub>2</sub>O<sub>3</sub> addition (under 8kV/cm Bias Electric Field)

반공진 주파수차  $f$  및 어드미턴스 차  $Y$ 가 증가하여 전기 기계 결합 계수가 증가하였으며 8kV/cm 바이어스 전계를 기준으로 할 경우 0.4wt% Y<sub>2</sub>O<sub>3</sub> 시편에서 가장 큰 값을 나타냈다.

2) 유기 압전  $d_{31}$ 정수는 0.4wt% Y<sub>2</sub>O<sub>3</sub>시편에서  $220.95 \times 10^{-12}$ [C/N]으로 가장 컸으며 이는 진동자로서의 응용 가능성을 제시하고 있다.

3) 전채 Buzzer의 음압은 DC바이어스 전계를 증가함에 따라 유기 분극, 유기 압전  $d_{31}$ 정수가 증가하여 증가하였으며 8kV/cm바이어스 전계를 기준으로 할 경우  $Q_m$ 이 46인 0.4wt% Y<sub>2</sub>O<sub>3</sub>일때 71.5 dB로 가장 컸다.

참 고 문 헌

[1] Y. Tsuchiya, K. Uchino "Approximate fomulas for a low-Q electromechanical resonator and their applications to electrostrictive PMN-based ceramics", Japan, J. Appl. phys., Vol. 20, No. 10, pp. 1814~1847(1981)

[2] IEEE Std 176-1978, IEEE Standard on Piezoelectricity, pp. 40~53(1978)

[3] 電中哲郎, 岡崎情, 壓電セラミツク材料, 學獻社, pp. 166(1978)

[4] 壓電ブザ"發音體最新技術"宗合技術出版, 85年版

저 자 소 개



**유주현(柳周鉉)**  
1957년 8월 4일생. 1984년 연세대 공대 전기공학과 졸업. 1987년 동 대학원 전기공학과 졸업(석사). 1990년 동 대학원 전기공학과 졸업(공박). 현재 세명대 공대 전기공학과 전임강사.

김현재(金賢在)

1952년 3월 31일생. 1975년 연세대 공대 전기공학과 졸업. 1977년 동 대학원 전기공학과 졸업(석사). 1985년 동 대학원 전기공학과 졸업(공박). 현재과학기술연구원 무기재료 연구실 실장 및 책임연구원.



**박창엽(朴昌燁)**  
1935년 2월 13일생. 1958년 연세대 공대 전기공학과 졸업. 1960년 동 대학원 전기공학과 졸업(석사). 1973년 동 대학원 전기공학과 졸업(공박). 현재 연세대 공대 전기공학과 교수. 당학회 부회장.