



(19) 대한민국특허청(KR)  
(12) 등록특허공보(B1)

(45) 공고일자 2010년06월29일  
(11) 등록번호 10-0966595  
(24) 등록일자 2010년06월21일

(51) Int. Cl.  
C04B 35/46 (2006.01) H01L 41/08 (2006.01)  
H01L 41/18 (2006.01)  
(21) 출원번호 10-2008-0033826  
(22) 출원일자 2008년04월11일  
심사청구일자 2008년04월11일  
(65) 공개번호 10-2009-0108423  
(43) 공개일자 2009년10월15일  
(56) 선행기술조사문헌  
JP56120180 A\*  
KR100673079 B1\*  
US20040058797 A1  
\*는 심사관에 의하여 인용된 문헌

(73) 특허권자  
한국세라믹기술원  
서울 금천구 가산동 233-5  
(72) 발명자  
조정호  
경기 수원시 장안구 조원동 865-2 영재주택 301  
최병열  
인천 중구 경동 121-1 7/3  
(74) 대리인  
특허법인화우

전체 청구항 수 : 총 3 항

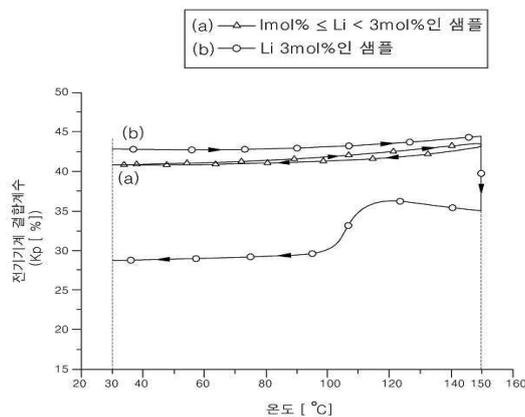
심사관 : 김용일

(54) 페로브스카이트 구조를 가지는 무연계 압전 세라믹스 및 그제조방법

(57) 요약

본 발명은 페로브스카이트(Perovskite) 결정 구조를 가지며,  $\{Li_x(K_{0.5}Na_{0.5})_{1-x}\}NbO_3$  ( $0.01 \leq x < 0.03$ )의 조성으로 이루어지는 무연계 압전 세라믹스를 얻기 위하여, 원료 분말을 칭량하여 준비하는 단계; 상기 원료 분말을 혼합, 분쇄한 다음 하소하여 1차 파우더를 제조하는 단계; 상기 1차 파우더에  $Fe_2O_3$ ,  $Bi_2O_3$ ,  $V_2O_5$ ,  $MnO_2$  또는  $ZnO$  중 어느 하나 이상을 0.2~1.0wt% 첨가하고 혼합 및 분쇄하여 2차 파우더를 제조하는 단계; 상기 2차 파우더에 결합제를 첨가하고 가압 성형하여 시편을 제조하는 단계; 및 상기 시편을 가열하여 결합제를 휘발시키고 소결하는 단계; 로 이루어지는 무연계 압전 세라믹스의 제조방법을 제공한다.

대표도 - 도2



(72) 발명자  
**김병익**  
경기 과천시 별양동 주공아파트 506-1405

**이용현**  
서울 금천구 독산3동 890-20 301호

---

**특허청구의 범위**

**청구항 1**

삭제

**청구항 2**

삭제

**청구항 3**

삭제

**청구항 4**

페로브스카이트(Perovskite) 결정 구조를 가지며,  $\{Li_x(K_{0.5}Na_{0.5})_{1-x}\}NbO_3$  ( $0.01 \leq x \leq 0.03$ )의 조성으로 이루어지는 무연계 압전 세라믹스를 얻기 위하여 원료 분말을 칭량하여 준비하는 제1단계;

상기 원료 분말을 혼합, 분쇄한 다음 하소하여 1차 파우더를 제조하는 제2단계;

상기 1차 파우더에  $Fe_2O_3$ ,  $Bi_2O_3$ ,  $V_2O_5$ ,  $MnO_2$  또는  $ZnO$  중 어느 하나 이상을 0.2~1.0wt% 첨가하고 혼합 및 분쇄하여 2차 파우더를 제조하는 제3단계;

상기 2차 파우더에 결합제를 첨가하고 가압 성형하여 시편을 제조하는 제4단계;

상기 시편을 가열하여 결합제를 휘발시키고 소결하는 제5단계; 및

상기 소결된 시편을 분극 처리한 후에,  $100^\circ C \sim 200^\circ C$ 에서 열처리하는 제6단계로 이루어지는 무연계 압전 세라믹스의 제조방법.

**청구항 5**

제4항에 있어서,

상기 제2단계는

상기 원료 분말을 혼합, 분쇄한 다음  $750^\circ C$  내지  $950^\circ C$ 의 온도범위에서 4시간 내지 6시간동안 하소하여 1차 파우더를 제조하는 단계;

를 특징으로 하는 무연계 압전 세라믹스의 제조방법.

**청구항 6**

제4항 또는 제5항에 있어서,

상기 제5단계는

상기 시편을 가열하여 결합제를 휘발시키고  $900^\circ C$  내지  $1100^\circ C$ 의 온도범위에서 소결하는 단계;

를 특징으로 하는 무연계 압전 세라믹스의 제조방법.

명세서

발명의 상세한 설명

기술분야

[0001] 본 발명은 페로브스카이트 구조를 가지는 무연계 압전 세라믹스 및 그 제조방법에 관한 것으로서, 보다 구체적으로 페로브스카이트 구조를 가지는  $\{Li_x(K_{0.5}Na_{0.5})_{1-x}\}NbO_3$ 에 산화물 첨가제(Oxide additives)를 첨가하여 산화물 혼합법으로 제조함으로써 온도 안정성을 포함하는 물성이 개선된 무연계 압전 세라믹스를 얻는 무연계 압전 세라믹스 및 그 제조 방법에 관한 것이다.

배경기술

[0002] 일반적으로 압전 세라믹스는 우수한 압전 및 유전특성으로 통신기기 분야에서 필터, 압전 트랜스포머 등에 사용되는 것을 비롯하여 의료기기 분야, 센서기기 분야, 가정용 전자기기 분야, 정밀계측기기 분야 등에서 유용하게 사용되고 있다.

[0003] 현재 주로 이용되고 있는 압전 세라믹스는 일반적으로  $Pb(Zr,Ti)O_3$ (이하, "PZT"라 한다)계 조성으로 이루어진 PZT계 분말을 사용하여 제조한다. 상기 PZT계 분말은 주 구성 원소인  $PbO$ ,  $ZrO_2$  및  $TiO_2$ 와 불순물인  $MgO$ ,  $Nb_2O_5$  등의 원료를 혼합시킨 후 고온에서 소성시켜 얻는 고상합성법을 이용하여 합성한다.

[0004] 그러나 상기 PZT계 분말은 그 조성에 따라 압전특성이 크게 변화하므로 불순물로 첨가하는  $MgO$ ,  $Nb_2O_5$  등의 용량 제어를 위해서는 매우 정밀한 제어작업이 요구된다.

[0005] 그리고 PZT계 분말은  $1200^{\circ}C$ 에서  $1350^{\circ}C$ 사이의 비교적 높은 온도에서 소결해야 하는데, 소결과정에서 다량의  $PbO$ 가 휘발되어 미세구조 및 물성의 제어가 어렵게 되고, 대기 중으로 방출되는  $PbO$ 는 산성비 및 기타 공해의 원인으로 작용하게 된다.

[0006] 또한 PZT계 압전 세라믹스를 이용하여 적층형 압전소자를 제조할 경우, 높은 소결 온도로 인하여 백금(Pt) 또는 납(Pd)과 같은 고용점의 금속을 내부전극으로 사용하여야 하는 문제가 있으며,

[0007] PZT계 압전 세라믹스를 이용하여 압전세라믹스/금속복합체를 제조할 경우에는 금속이 산화되는 것을 방지하기 위하여 압전세라믹스를 먼저 소결한 후 압전세라믹스/금속복합체를 제조하게 되므로, 제조 공정이 복잡하고 압전세라믹스/금속 결합강도 등의 계면 특성이 저하되는 문제점이 있다.

[0008] 이러한 문제점을 해결하기 위해 무연계 압전 세라믹스가 제시되었으나, 통상 이용되는 온도범위에서 Orthorhombic phase에서 Tetragonal phase로의 상전이 (이하,  $T_{o-t}$  상전이라 함)가 나타나, 공진주파수와 반공진 주파수의 변동으로 인한 전기기계 결합계수 감소 및 열 충격 내구성 감소와 같이 압전특성 및 온도안정성이 저하되고 이로 인하여 실용성이 떨어지는 문제가 여전히 해결과제로 남게 된다. 특히 자동차의 전장용 부품으로 사용되는 경우 일반적인 가전제품에 비하여 높은 온도 범위 ( $-40^{\circ}C \sim 150^{\circ}C$ )에서 안정적인 특성을 유지하는 것이 요구되나, 무연계 압전 세라믹스는 이러한 요구에 미치지 못하는 특성이 나타나고 있었다. 또한 기존의  $\{K_{0.5}Na_{0.5}\}_1\}NbO_3$  계 세라믹스는 비정상 입자성장과 난소결성에 의하여 밀도가 낮고 누설전류가 큰 단점이 있어서, 실용화에 필요한 특성을 얻는데 있어서 큰 문제점으로 지적되고 있었다.

[0009] 이를 해결하기 위하여 반응성 템플릿 결정립 성장법 (RTGG : Reactive Template Grain Growth), 열간 압축 성형법 (Hot pressing), 고온고압 소결 성형법 (HF ; Hot forging), 스파크 플라즈마 소결 (SPS : Spark plasma sintering) 등과 같은 방법들이 시도되고 있으나, 이들 방법 또한 제조공정이 난해하고 재현성이 양호하지 않다.

**발명의 내용**

**해결 하고자하는 과제**

[0010] 본 발명은 상술한 문제점을 해결하기 위하여 창안된 것으로, 페로브스카이트(Perovskite) 결정구조를 가지며, 조성식  $\{Li_x(K_{0.5}Na_{0.5})_{1-x}\}NbO_3$ 로 Li, K, Na, Nb 및 O의 원소가 주성분이 되고, 여기에 산화물 첨가제(Oxide additives)를 첨가하고 열처리하여 상전이 온도를 변화시켜 온도 안정성 및 압전 특성이 개선된 무연계 압전 세라믹스 및 그 제조방법을 제공하는 것이다.

**과제 해결수단**

[0011] 상기와 같은 목적을 달성하기 위한 본 발명은 페로브스카이트(Perovskite) 결정 구조를 가지며,  $\{Li_x(K_{0.5}Na_{0.5})_{1-x}\}NbO_3$ 의 조성으로 이루어지는 무연계 압전 세라믹스에  $Fe_2O_3$ ,  $Bi_2O_3$ ,  $V_2O_5$ ,  $MnO_2$  또는  $ZnO$  중 어느 하나 이상이 첨가되는 것을 특징으로 하는 무연계 압전 세라믹스를 제공한다.

[0012] 여기서 상기  $\{Li_x(K_{0.5}Na_{0.5})_{1-x}\}NbO_3$ 는  $(0.01 \leq x < 0.03)$ 의 조성 범위를 가지는 무연계 압전 세라믹스이며, 상기  $Fe_2O_3$ ,  $Bi_2O_3$ ,  $V_2O_5$ ,  $MnO_2$  또는  $ZnO$  중 어느 하나 이상이 0.2~1.0wt% 첨가되는 것을 특징으로 하는 무연계 압전 세라믹스를 제공함을 특징으로 한다.

[0013] 또한 본 발명의 또 다른 목적은 페로브스카이트(Perovskite) 결정 구조를 가지며,  $\{Li_x(K_{0.5}Na_{0.5})_{1-x}\}NbO_3$  ( $0.01 \leq x < 0.03$ )의 조성으로 이루어지는 무연계 압전 세라믹스를 얻기 위하여 원료 분말을 칭량(秤量)하여 준비하는 단계와; 상기 원료 분말을 혼합, 분쇄한 다음 750℃ 내지 950℃의 온도범위에서 4~6시간 동안 하소(?燒, calcine)하여 1차 파우더를 제조하는 단계와; 상기 1차 파우더에  $Fe_2O_3$ ,  $Bi_2O_3$ ,  $V_2O_5$ ,  $MnO_2$  또는  $ZnO$ 를 0.2~1.0wt% 첨가하고 혼합 및 분쇄하여 2차 파우더를 제조하는 단계와; 상기 2차 파우더에 결합제를 첨가하고 가압 성형하여 시편을 제조하는 단계와; 상기 시편을 가열하여 결합제를 휘발시키고 900℃ 내지 1100℃에서 소결(燒結)하는 단계와; 소결된 시편을 분극처리한 후에, 100℃~200℃에서 열처리하는 단계로 이루어지는 무연계 압전 세라믹스의 제조방법을 제공함으로써 달성된다.

**효과**

[0014] 본 발명은 무연계 압전 세라믹스 및 그 제조방법을 제공함으로써 다음과 같은 효과가 발생한다.

[0015] 먼저 페로브스카이트 결정구조를 가지는  $\{Li_x(K_{0.5}Na_{0.5})_{1-x}\}NbO_3$  에  $Fe_2O_3$ ,  $Bi_2O_3$ ,  $V_2O_5$ ,  $MnO_2$  또는  $ZnO$ 와 같은 산화물 첨가제를 첨가함으로써 전기 기계 결합계수, 유전율, 압전상수 등의 물성값이 우수하며, 특히 자동차 전장용 부품의 상용 온도범위 내(-40℃~150℃)에서 요구되는 압전 특성을 일정하게 유지시킬 수 있어 온도 안정성이 뛰어난 무연계 압전 세라믹스를 제조할 수 있다.

[0016] 또한 종래의 PZT계 압전 세라믹스에 비하여 납(Pb)계열 화합물을 사용하지 않아 PbO의 휘발에 의하여 발생하는 물성 제어의 어려움이나 환경 문제를 근본적으로 해결한다. 즉 납 또는 납화합물을 사용하지 않으므로 유해물질 사용제한 (RoHS ; Restriction of Hazardous Substances) 지침, 전자전기폐기물 (WEEE ; Waste Electrical

and Electronic Equipment) 지침 등의 환경규제에 대응할 수 있다.

[0017] 마지막으로 종래의 반응성 템플릿 결정립 성장법 (RTGG : Reactive Template Grain Growth), 열간 압축 성형법 (Hot pressing), 고온고압 소결 성형법 (HF ; Hot forging), 스파크 플라즈마 소결 (SPS : Spark plasma sintering) 등에 비하여 간단한 산화물 혼합법으로 공정을 진행하므로 재현성이 양호하며, 제조비용이 절감되는 장점이 있다.

**발명의 실시를 위한 구체적인 내용**

[0018] 먼저 본 발명에 의한 압전 세라믹스의 제조방법을 구체적인 실시예를 통하여 설명한다.

[0019]  $ABO_3$ 의 구조를 갖는 페로브스카이트(Perovskite)의  $\{Li_x(K_{0.5}Na_{0.5})_{1-x}\}NbO_3$  계 압전 세라믹스를 제조하기 위하여 성분 원소 Li, K, Na, Nb 및 O를 몰비에 따라 칭량(秤量) 한 후 혼합하여 원료 분말을 준비한다.

[0020] 이 때 상기 원소들의 몰(mole)비는  $\{Li_x(K_{0.5}Na_{0.5})_{1-x}\}NbO_3$ 의 조성식에 따르며, 조성 범위는  $(0.01 \leq x < 0.03)$ 로 한다. 상기 조성 범위는 압전 세라믹스의 온도 안정성 및 압전 특성이 크게 향상되는 범위에 해당하고, 상기  $(0.01 \leq x < 0.03)$ 의 범위를 벗어나는 경우 소결(燒結) 특성의 저하로 인하여 전반적인 압전 특성이 나빠지고, 온도 안정성에 문제가 발생한다.

[0021] 상기 원료 분말에 분산용매를 첨가하여 1차 볼밀링을 하여 분쇄한 후,  $750^\circ\text{C} \sim 950^\circ\text{C}$ 에서 4 ~ 6 시간동안 하소(calcinations)하여 1차 파우더를 제조한다.

[0022] 상기 1차 파우더에 산화물 첨가제(Oxide additives)로  $Fe_2O_3$ ,  $Bi_2O_3$ ,  $V_2O_5$ ,  $MnO_2$  또는  $ZnO$  중 어느 하나 이상을 0.2 내지 1.0wt% 첨가하여 2차 볼밀링을 하여 건조한 후 분쇄 및 체거름하여 2차 파우더를 제조한다.

[0023] 제조된 2차 파우더에 결합제를 소량 첨가하여  $10\mu\text{m}$ 이하로 입경을 균일화한 다음 상기 2차 파우더에  $1\text{ton}/\text{cm}^2$ 의 성형압을 가하여 직경 1cm의 디스크(disk)타입의 시편을 제조한다. 이 때 결합제는 PVA(polyvinylalcohol)를 사용하는 것이 바람직하다.

[0024] 상기 시편을 2시간 동안  $1^\circ\text{C}/\text{분}$ 의 속도로 승온하면서  $250^\circ\text{C}$ 에서 흡착수와 부착수와 같은 결합제를,  $600^\circ\text{C}$ 에서 결합수와 바인더와 같은 결합제를 휘발시킨다.

[0025] 다음으로 백금(Pt) plate를 사용하여  $900^\circ\text{C} \sim 1100^\circ\text{C}$ 에서 2시간 동안 열처리하여 시편을 소결한 다음 상기 소결된 시편을 연마, 세척한 후에 양면에 실버 페이스트를 스크린 인쇄한 후  $700^\circ\text{C}$ 에서 10분간 예열하여 은(Ag) 전극을 입히고, 실리콘 오일 속에서  $3 \sim 5\text{kV}/\text{mm}$ 의 전압을 30분간 인가하여 분극(poling)처리한다.

[0026] 마지막으로 분극처리된 시편을 열처리 한다. 이 때 결정계가 안정상태인 온도 또는 그 이상의 온도로 열처리하기 위하여 압전 세라믹스를 가열하는 온도는  $100^\circ\text{C}$ 에서  $200^\circ\text{C}$ 의 범위 내인 것이 바람직하다. 상기 열처리 과정은 압전특성을 안정화하기 위한 열노화(heat aging)과정에 해당한다.

[0027] 도 1은  $\{Li_x(K_{0.5}Na_{0.5})_{1-x}\}NbO_3$  (단,  $0.01 \leq x < 0.03$ )의 조성식에 해당하는 압전 세라믹스에 산화물 첨가제를 넣은 경우 X-ray 회절(XRD ; X-ray Diffraction) 실험 결과를 나타낸 그래프이다. 이 실험은 분석하려는 압전 세라믹

스 표면에 각도를 변화시키면서 특정 X-ray 빔을 입사시키고 결정면의 특성에 따라 X-ray 빔이 회절되어 나오는 각도를 읽어 결정구조를 파악하는 것이다.

[0028] (a)는 압전 세라믹스에 산화물 첨가제(Oxide additives)를 첨가하지 않은 경우의 프로파일이고, (b)는 MnO<sub>2</sub>를 (c)는 V<sub>2</sub>O<sub>5</sub>, (d)는 Bi<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, (e)는 Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>에 해당하는 산화물 첨가제를 각각 넣은 경우의 프로파일이다. 분석한 결과 동일한 회절각도에서 피크파형이 관찰되므로 (a)~(e)는 모두 동일한 계열의 상구조를 나타내고 있는 것을 확인할 수 있다. 결국 산화물 첨가제의 유무가 압전 세라믹스의 상구조에는 영향을 미치지 않음을 알 수 있다.

[0029] 도 2는 본 발명에 의한 압전 세라믹스의 열충격 실험결과를 나타낸 그래프이다.

[0030] 이 실험은 리튬(Li)의 함량에 따른 압전 세라믹스 {Li<sub>x</sub>(K<sub>0.5</sub>Na<sub>0.5</sub>)<sub>1-x</sub>}NbO<sub>3</sub>의 온도 안정성을 확인하기 위한 것이다.

[0031] {Li<sub>x</sub>(K<sub>0.5</sub>Na<sub>0.5</sub>)<sub>1-x</sub>}NbO<sub>3</sub> 조성식으로 이루어진 압전 세라믹스의 리튬(Li) 함량을 1mol%이상 3mol%미만 (0.01 ≤ x < 0.03)으로 조절한 (a)샘플과 리튬(Li) 함량을 3mol% (x=0.03)로 조절한 (b)샘플로 나누어 실험하였다. 실험은 상기 두가지 샘플의 온도를 30℃에서 150℃까지 상승하였다가, 다시 150℃에서 30℃로 하강하면서 전기기계 결합계수(Electromechanical coupling coefficient, Kp)값을 측정하는 과정으로 이루어진다.

[0032] 도시한 바와 같이 리튬(Li) 함량이 3mol%인 (b)샘플의 경우 150℃에서 30℃로 온도를 하강할 때 큰 폭의 전기기계 결합계수의 저하를 보이지만, 리튬(Li) 함량이 이보다 적은 (a)샘플의 경우는 30℃에서 150℃ 사이에서 상승, 하강의 온도변화를 겪는 동안 전기기계 결합계수의 변화가 8.1%에 불과한 것을 확인할 수 있다.

[0033] 결과적으로 리튬(Li)의 함량이 1mol%이상 3mol%미만인 (a)샘플의 경우 열충격에 의하여 결정구조가 변화되는 T<sub>0-t</sub> 상전이 온도가 150℃ 이상이 되므로, 상기 실험구간(30℃ ≤ T ≤ 150℃)에서 전기기계 결합계수가 거의 일정하게 유지되는 결과를 보인다.

[0034] 다만 리튬(Li)의 함량이 적은 경우 소결 특성이 저하되어 압전특성이 나빠지는 문제가 있으나 이와 같은 문제는 산화물 첨가제 (Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, Bi<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, V<sub>2</sub>O<sub>5</sub>, MnO<sub>2</sub> 또는 ZnO)를 첨가하여 보완할 수 있다. 따라서 본 발명의 일실시예에 해당하는 {Li<sub>x</sub>(K<sub>0.5</sub>Na<sub>0.5</sub>)<sub>1-x</sub>}NbO<sub>3</sub> (0.01 ≤ x < 0.03)에 Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, Bi<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, V<sub>2</sub>O<sub>5</sub>, MnO<sub>2</sub> 또는 ZnO와 같은 산화물 첨가제를 첨가한 압전 세라믹스는 온도 안정성 및 압전 특성을 모두 유지한다.

[0035] 도 3은 산화물 첨가제에 의한 압전 세라믹스의, T<sub>0-t</sub> 상전이 온도변화를 나타낸 그래프이다.

[0036] 이 실험은 Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, MnO<sub>2</sub>, V<sub>2</sub>O<sub>5</sub> 또는 ZnO를 압전 세라믹스에 첨가하여 온도에 따른 유전상수의 값을 각각 측정하는 것이다.

[0037] 도시한 바와 같이 산화물 첨가제의 일종인 Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, MnO<sub>2</sub>, V<sub>2</sub>O<sub>5</sub> 또는 ZnO를 첨가한 경우 Orthorhombic phase에서 Tetragonal phase로의 상전이가 되는 온도가 150℃보다 높은 온도에서 나타남을 알 수 있다. 이로부터 본 발명에 의하여 제조된 무연계 압전 세라믹스는 우리가 통상 사용하는 온도 범위 (-40℃~150℃)에서 T<sub>0-t</sub> 상전이가 일어나지 않는 온도안정성이 우수한 세라믹스임을 확인할 수 있다.

[0038] 도 4는 본 발명에 따른 압전 세라믹스 진동자의 일례를 나타내는 사시도와 단면도이다.

[0039] 도시된 압전 세라믹스 진동자는 상술한 본 발명에 따른 압전 조성물로 이루어지고, 상하부에 무연계 은 전극이 도포되어 있으며, 화살표로 나타내는 바와 같이 두께 방향으로 분극되어 있다.

[0040] 아래 [표 1]은 압전 세라믹스로 제조된 원판 형상의 진동자의 평면 진동 모드 (Planar mode)를 기준으로 각 산

화물 첨가제에 따른 압전 세라믹스 소자의 압전 특성을 나타낸 것이다. 상기 압전 특성은 소성 온도, 분극 온도, 분극 전압 등의 공정 조건을 조절하면서 최적의 값을 채택한 것이다.

[0041] [표 1]

압전 특성 (piezoelectric properties)	첨가제 미포함	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Bi <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	V <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	MnO <sub>2</sub>	ZnO
전기기계 결합계수 (Electromechanical coupling factor, Kp(%))	26	27	42	21	31	39
압전전하계수 (piezoelectric charge sensor constant, d <sub>33</sub> (pC/N))	141	91	139	125	109	127
압전전압계수 (piezoelectric voltage constant, g <sub>33</sub> )	20.61	23	35	25	37	43
유전상수(dielectric constant)	315	447	440	555	335	335
기계적 품질계수 (mechanical quality factor, Qm)	59.25	96	103	73	123	200

[0043] 먼저 전기기계 결합계수(piezoelectric coupling factor, Kp(%))란 전기적 에너지와 기계적 에너지간의 변화율을 나타내는 계수로 재료의 압전 특성을 평가하는 기준이 되며 높은 전기기계 결합계수를 가질수록 재료는 압전 활성이 크다고 평가한다. 표에서 확인할 수 있듯이 산화물 첨가제를 첨가한 경우 미첨가시 보다 전기기계 결합계수가 대체로 큰 값을 나타내는 것을 확인할 수 있다.

[0044] 다음으로 전기적 신호와 기계적 응답과의 관계를 나타내는 파라미터의 일종인 전기기계 압전상수의 일종인 압전 전하계수와 압전전압계수 대하여 실험한 결과를 확인한다. 압전전하계수 (piezoelectric charge sensor constant, d<sub>33</sub>(pC/N))는 일정한 응력을 가했을 때 발생하는 전하량의 크기 또는 일정한 전계를 가했을 때 발생하는 변형률의 척도를 의미하며 산화물 첨가제를 넣은 경우 낮은 값을 보인다.

[0045] 압전전압계수 (piezoelectric voltage constant, g<sub>33</sub>)는 압전체에 응력을 가했을 경우 전계가 얼마나 발생하는지를 나타내는 척도이다. 일반적으로 압전전압계수 값이 큰 경우 동일한 응력에서 높은 전압이 발생하므로 압전 특성이 좋다. 상기 표에서 확인할 수 있듯이 산화물 첨가제를 넣은 경우, 압전전압계수의 값이 산화물 첨가제를 넣지 않은 경우보다 월등하게 높은 것을 확인할 수 있다.

[0046] 또한 유전상수 (dielectric constant)의 경우 산화물 첨가제를 넣었을 경우 미첨가시 보다 높은 유전율을 보임을 관찰할 수 있고,

[0047] 기계적 품질계수 (mechanical quality factor, Qm)는 전기적 에너지와 기계적 에너지의 교환시 축적되는 에너지의 비율을 의미하며, 낮은 값을 가질 경우 열화(degradation)가 빨리 발생한다. 여기서 열화는 재료의 변질과 품질 저하로 연결될 수 있다, 실험결과 산화물 첨가제를 넣은 경우 기계적 품질계수는 첨가제를 넣지 않은 경우보다 상대적으로 큰 값이 보이는 바, 산화물 첨가제로 인하여 압전 특성이 크게 향상된 것을 확인할 수 있다.

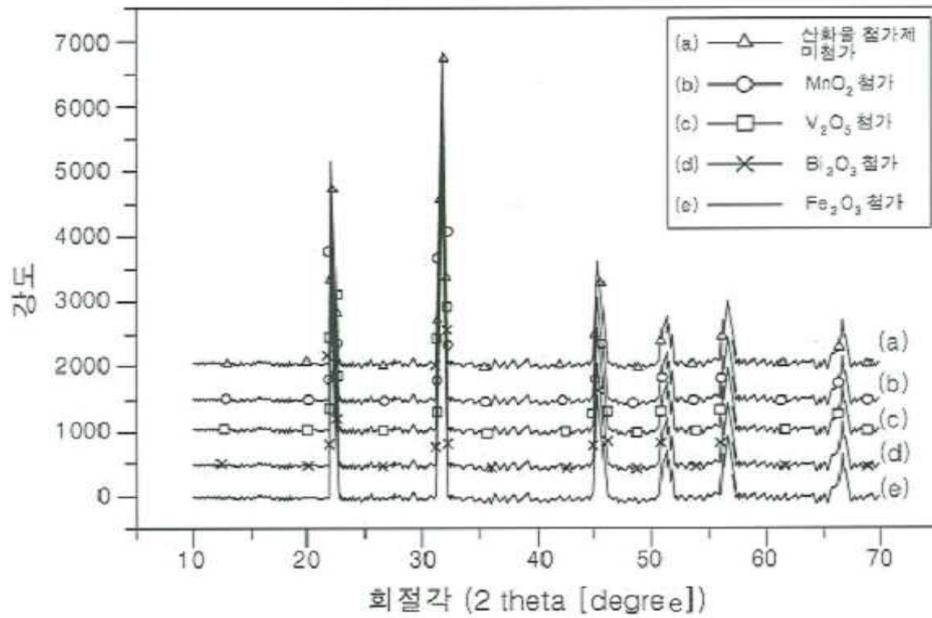
[0048] 상기 압전 특성은 원판 형상의 압전 세라믹스 진동자의 평면 진동 모드(Planar mode)에 한정되지 않고, 두께 중 진동, 두께 미끄럼 진동 및 발진자 등에 이용되는 다른 진동 모드에 있어서도 상기 평면 진동 모드의 경우와 동일하게 산화물 첨가제에 의하여 우수한 압전 특성을 갖는 것이다.

**도면의 간단한 설명**

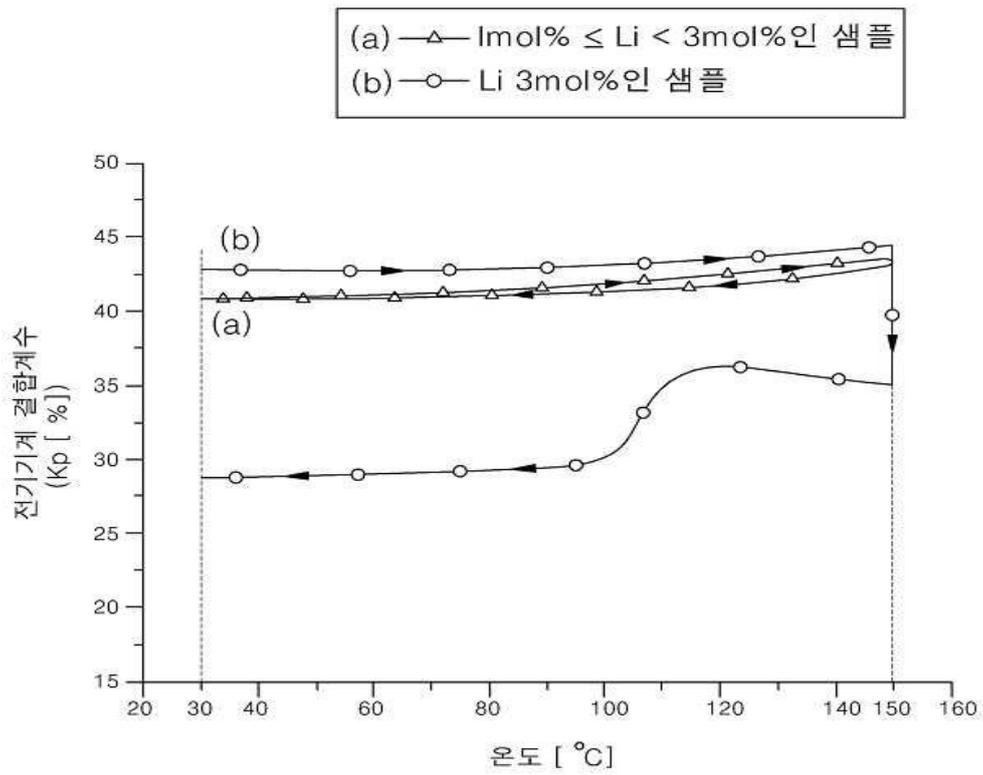
- [0049] 도 1은 본 발명의 무연 압전 세라믹스의 산화물 첨가제에 따른 X-ray 회절 실험 결과를 나타내는 그래프이다.
- [0050] 도 2는 본 발명의 무연 압전 세라믹스의 열충격 실험결과를 나타낸 그래프이다.
- [0051] 도 3은 본 발명의 한 실시예에 따른 무연 압전 세라믹스에 대하여 산화물 첨가제의 종류별  $T_{0-1}$  상전이 온도변화를 나타내는 그래프이다.
- [0052] 도 4는 본 발명으로 제조된 압전 세라믹스 진동자의 사시도 및 단면도이다.

**도면**

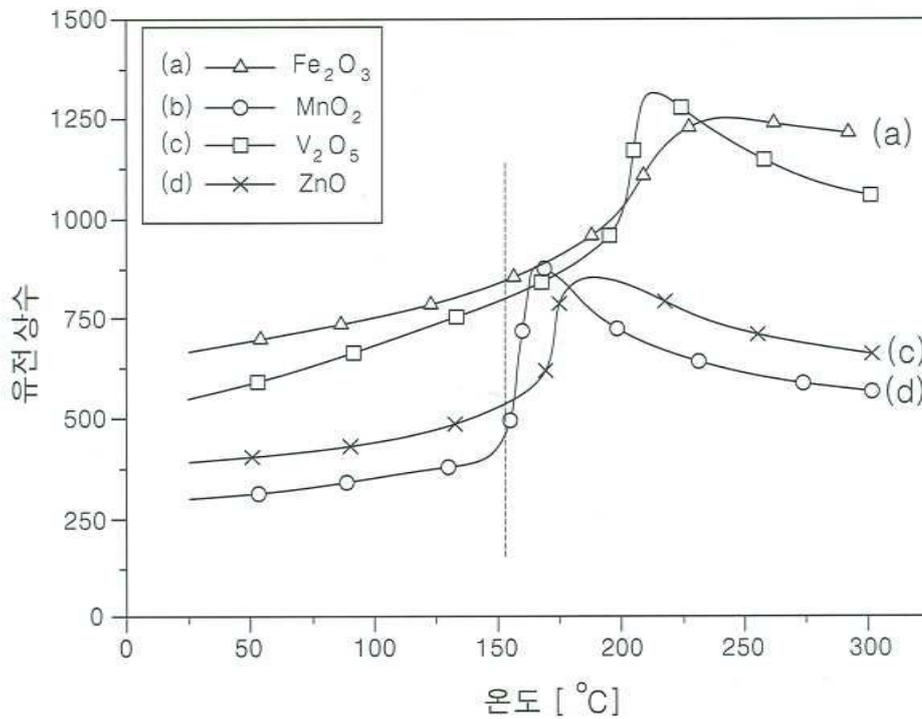
**도면1**



도면2



도면3



도면4

