

	(19) 대한민국특허청(KR) (12) 공개특허공보(A)	(11) 공개번호 10-2016-0044085 (43) 공개일자 2016년04월25일
(51) 국제특허분류(Int. Cl.) C04B 35/48 (2006.01) C04B 35/28 (2006.01) C04B 35/30 (2006.01) C04B 35/46 (2006.01)	(71) 출원인 고려대학교 산학협력단 서울특별시 성북구 안암로 145, 고려대학교 (안암동5가)	(72) 발명자 남산 서울특별시 강남구 삼성로 212 20-1003(대치동, 은마아파트) 허준 서울특별시 동대문구 무학로45길 32, 103호 (용두동) (뒷면에 계속)
(21) 출원번호 10-2014-0138139 (22) 출원일자 2014년10월14일 심사청구일자 2014년10월14일	(74) 대리인 특허법인충현	

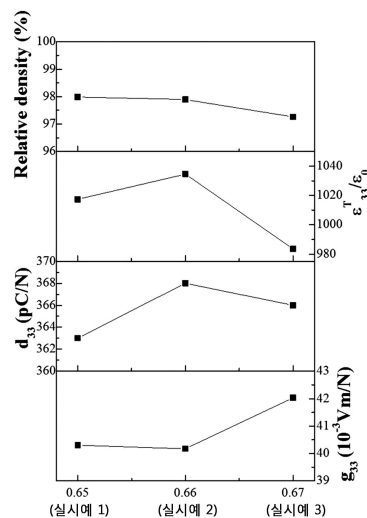
전체 청구항 수 : 총 9 항

(54) 발명의 명칭 **고출력 노킹센서용 압전 세라믹 조성물 및 이의 제조방법**

(57) 요약

본 발명은 고출력 노킹센서용 압전 세라믹 조성물 및 이의 제조방법에 관한 것으로 $x\text{Pb}(\text{Zr}_{1-y}\text{Ti}_y)\text{O}_3-(1-x)\text{Pb}(\text{Ni}_{0.4}\text{Zn}_{0.6})_{1/3}\text{Nb}_{2/3}\text{O}_3$ ($0.60 < x < 0.69$, $0.500 < y < 0.525$)의 조성식을 갖는 고출력 노킹센서용 압전 세라믹 조성물을 제조함으로써, 높은 압전 변형 상수를 가지는 동시에 낮은 유전율을 보이므로 높은 압전 전압상수를 가질 수 있다.

대표도 - 도2



(72) 발명자

김대현

충청남도 서천군 서천읍 서천로232번길 1

김중현

서울특별시 강동구 천중로 264, 1동 702호(길동,
신동아아파트)

이지현

서울 구로구 오류로 30, 110동 901호 (오류동, 천
왕연지타운1단지)

명세서

청구범위

청구항 1

$x\text{Pb}(\text{Zr}_{1-y}\text{Ti}_y)\text{O}_3-(1-x)\text{Pb}(\text{Ni}_{0.4}\text{Zn}_{0.6})_{1/3}\text{Nb}_{2/3}\text{O}_3$ ($0.60 < x < 0.69$, $0.500 < y < 0.525$)의 조성식을 갖는 것을 특징으로 하는 고출력 노킹센서용 압전 세라믹 조성물.

청구항 2

제1항에 있어서, 상기 x 는 0.65, 0.66 및 0.67로 이루어진 군에서 선택된 정수이며, y 는 0.51 또는 0.52인 정수인 것을 특징으로 하는 고출력 노킹센서용 압전 세라믹 조성물.

청구항 3

제1항에 있어서, 상기 x 는 0.67이며, y 는 0.52인 정수인 것을 특징으로 하는 고출력 노킹센서용 압전 세라믹 조성물.

청구항 4

제1항 내지 제3항 중 어느 한 항의 고출력 노킹센서용 압전 세라믹 조성물을 포함하는 고출력 노킹센서.

청구항 5

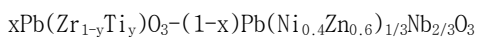
(A) PbO , ZrO_2 , TiO_2 , NiO , ZnO 및 Nb_2O_5 을 포함하는 원료분말을 하기 [화학식 1]에 따른 몰(mol)분율에 따라 1차 습식 혼합한 후 1차 분말화하고 1차 건조시켜 분말 혼합물을 형성하는 단계;

(B) 상기 분말 혼합물을 800 내지 1000 °C에서 하소하여 제1 분말을 형성하는 단계;

(C) 상기 제1 분말을 2차 습식 혼합한 후 2차 분말화하고 2차 건조시켜 제2 분말을 형성하는 단계; 및

(D) 상기 제2 분말을 1000 내지 1200 °C에서 소결하는 단계를 포함하는 것을 특징으로 하는 고출력 노킹센서용 압전 세라믹 조성물의 제조방법;

[화학식 1]



(상기 x 는 $0.60 < x < 0.69$ 이며, y 는 $0.500 < y < 0.525$ 인 정수임).

청구항 6

제5항에 있어서, 상기 x 는 0.65, 0.66 및 0.67로 이루어진 군에서 선택되며, y 는 0.51 또는 0.52인 것을 특징으로 하는 고출력 노킹센서용 압전 세라믹 조성물의 제조방법.

청구항 7

제5항에 있어서, 상기 x 는 0.67이며, y 는 0.52인 것을 특징으로 하는 고출력 노킹센서용 압전 세라믹 조성물의 제조방법.

청구항 8

제5항에 있어서, 상기 (D) 단계에서 소결된 압전체를 연마하고 전극물질을 도포한 후 120 내지 150 °C의 실리콘 오일 조 내부에서 DC 3 내지 5 kV/mm로 DC 바이어스가 인가되는 단계를 더 포함하는 것을 특징으로 하는 고출력 노킹센서용 압전 세라믹 조성물의 제조방법.

청구항 9

제8항에 있어서, 상기 전극물질은 은(Ag), 구리(Cu), 팔라듐(Pd) 및 니켈(Ni)로 이루어진 군에서 선택된 1종 또

는 복합 2종인 것을 특징으로 하는 고출력 노킹센서용 압전 세라믹 조성물의 제조방법.

발명의 설명

기술 분야

[0001] 본 발명은 종래의 노킹센서에 비하여 출력이 향상된 노킹센서를 제공할 수 있는 고출력 노킹센서용 압전 세라믹 조성물 및 이의 제조방법에 관한 것이다.

배경 기술

[0002] 자동차 엔진에 사용되는 노킹센서는 이상 연소에 의해 엔진에서 발생하는 소리, 즉 노킹을 검출하고 점화시기를 설정하여 이를 방지하는 부품이다. 노킹이 발생하면 출력이 저하되고 엔진이 급격히 소모되므로 노킹센서는 엔진효율을 극대화하고, 나아가 미연소시에 발생하는 유해물질의 배출을 최소화하는 필수 부품으로 중요성이 날로 높아지고 있다.

[0003] 특히, 에너지 효율을 증대시키기 위해서는 좀 더 정밀한 점화시기 조절이 필요하므로 미국과 유럽의 자동차 회사들은 노킹센서의 출력을 더 높이는 방안에 대하여 연구하고 있다. GM사의 경우에는 고출력 노킹센서의 사양을 확정하고 국내 자동차 부품 회사에 공급가능 여부를 타진하고 있는 실정이다.

[0004] 종래에 이용되고 있는 자동차용 노킹센서는 중심 값이 26 mV/g인 출력특성을 나타내는 제품을 사용하고 있으나, 미래의 고출력 노킹센서는 38 mV/g 정도의 고출력을 요구하고 있다.

[0005] 일반적으로 노킹센서의 출력은 소자의 두께에 증가하면 같이 증가하므로 기존 노킹센서의 두께를 증가시키면 요구하는 출력을 달성할 수는 있지만 부품의 무게와 크기가 증가되는 방향은 현대 산업의 추세인 부품의 소형화에 역행하는 방향이므로 자동차 회사들이 기피하고 있다.

[0006] 그러므로 두께가 두껍지 않으면서 고출력 특성을 갖는 노킹센서에 적합한 우수한 성능을 가지는 새로운 재료개발이 요구된다.

[0007] 일반적으로 노킹센서의 출력특성은 압전 전압 상수(g_{33})에 비례한다. 그러므로 노킹센서의 출력 특성을 50% 향상시키기 위해서는 종래의 노킹센서에 사용되는 재료의 압전 전압 상수(g_{33})보다 2.0배 정도 큰 압전 세라믹 조성물의 개발이 요구된다. 종래의 노킹센서에 사용된 압전 재료의 압전 전압 상수(g_{33}) 값은 Murata 사의 경우 $19 \times 10^{-3} \text{ Vm/N}$ 정도인데, 이 정도의 압전 전압 상수(g_{33})로는 요구되는 고출력을 갖는 노킹센서를 제공할 수 없다.

[0008] 그러므로 노킹센서의 출력을 높이기 위해서는 $40 \times 10^{-3} \text{ Vm/N}$ 정도의 압전 전압 상수(g_{33}) 값을 가진 새로운 재료의 개발이 요구되고 있다.

[0009] 한편, 상기 압전 전압 상수(g_{33})는 압전 변형 상수(d_{33})에 비례하고 유전율에 반비례한다. 높은 압전 전압 상수(g_{33})를 가진 재료를 개발하기 위해서는 압전 변형 상수(d_{33}) 값이 크지만 유전율이 작은 압전 재료의 개발이 요구된다.

[0010] 하지만, 일반적으로 압전 변형 상수(d_{33}) 값이 크면 유전율도 같이 증가하므로 압전 변형 상수(d_{33}) 값은 크지만 유전율이 작은 압전 재료를 개발하는데 어려움이 있다.

[0011] 따라서, 압전 변형 상수(d_{33}) 값은 크지만 유전율이 작음으로써 압전 전압 상수(g_{33}) 값이 $40 \times 10^{-3} \text{ Vm/N}$ 이상을 갖는 압전 재료가 요구되고 있다.

선행기술문헌

특허문헌

[0012] (특허문헌 0001) 한국 등록특허 제1409662호

(특허문헌 0002) 일본 공개특허 제2003-342069호

발명의 내용

해결하려는 과제

- [0013] 본 발명의 목적은 높은 압전 변형 상수를 가지는 동시에 낮은 유전율을 보이므로 높은 압전 전압상수를 가질 수 있는 고효율 노킹센서용 압전 세라믹 조성물을 제공하는데 있다.
- [0014] 또한, 본 발명의 다른 목적은 상기 압전 세라믹 조성물을 적용한 고효율 노킹센서를 제공하는데 있다.
- [0015] 또한, 본 발명의 또 다른 목적은 상기 압전 세라믹 조성물의 제조방법을 제공하는데 있다.

과제의 해결 수단

- [0016] 상기한 목적을 달성하기 위한 본 발명의 고효율 노킹센서용 압전 세라믹 조성물은 $x\text{Pb}(\text{Zr}_{1-y}\text{Ti}_y)\text{O}_3-(1-x)\text{Pb}(\text{Ni}_{0.4}\text{Zn}_{0.6})_{1/3}\text{Nb}_{2/3}\text{O}_3$ (x 는 $0.60 < x < 0.69$ 이며, y 는 $0.500 < y < 0.525$ 인 정수)의 조성식을 가질 수 있다. 바람직하게, 상기 x 는 0.65, 0.66 및 0.67로 이루어진 군에서 선택된 정수이며, y 는 0.51 또는 0.52인 정수일 수 있으며; 더욱 바람직하게 상기 x 는 0.67이며, y 는 0.52인 정수일 수 있다.
- [0017] 또한, 상기한 다른 목적을 달성하기 위한 본 발명의 고효율 노킹센서는 상기 압전 세라믹 조성물을 포함할 수 있다.
- [0018] 또한, 상기한 또 다른 목적을 달성하기 위한 본 발명의 고효율 노킹센서용 압전 세라믹 조성물의 제조방법은 (A) PbO , ZrO_2 , TiO_2 , NiO , ZnO 및 Nb_2O_5 를 포함하는 원료분말을 하기 [화학식 1]에 따른 몰(mol)분율에 따라 1차 습식 혼합한 후 1차 분말화하고 1차 건조시켜 분말 혼합물을 형성하는 단계; (B) 상기 분말 혼합물을 800 내지 1000 °C에서 하소하여 제1 분말을 형성하는 단계; (C) 상기 제1 분말을 2차 습식 혼합한 후 2차 분말화하고 2차 건조시켜 제2 분말을 형성하는 단계; 및 (D) 상기 제2 분말을 1000 내지 1200 °C에서 소결하는 단계를 포함할 수 있다;
- [0019] [화학식 1]
- [0020] $x\text{Pb}(\text{Zr}_{1-y}\text{Ti}_y)\text{O}_3-(1-x)\text{Pb}(\text{Ni}_{0.4}\text{Zn}_{0.6})_{1/3}\text{Nb}_{2/3}\text{O}_3$
- [0021] (상기 x 는 $0.60 < x < 0.69$ 이며, y 는 $0.500 < y < 0.525$ 인 정수임).
- [0022] 상기 (D) 단계에서 소결된 압전체를 연마하고 전극물질을 도포한 후 120 내지 150 °C의 실리콘 오일 조 내부에서 DC 3 내지 5 kV/mm로 DC 바이어스가 인가되는 단계를 더 포함할 수 있다.
- [0023] 상기 전극물질은 은(Ag), 구리(Cu), 팔라듐(Pd) 및 니켈(Ni)로 이루어진 군에서 선택된 1종 또는 복합 2종일 수 있다.

발명의 효과

- [0024] 본 발명의 압전 세라믹 조성물은 높은 압전 변형 상수를 가지는 동시에 낮은 유전율을 가지므로 높은 압전 전압상수를 보임으로써, 이를 노킹센서에 적용시키면 출력이 향상된 노킹센서를 제공할 수 있다.
- [0025] 또한, 본 발명의 압전 세라믹 조성물을 이용하면 부품의 무게와 크기를 증가시키지 않으면서 출력이 향상된 노킹센서를 제공할 수 있다.

도면의 간단한 설명

- [0026] 도 1은 본 발명의 일 실시예에 따라 고효율 노킹센서용 압전 세라믹 조성물을 제조하는 방법을 나타낸 흐름도이다.
- 도 2는 본 발명의 실시예에 따라 제조된 고효율 노킹센서용 압전 세라믹 조성물의 상대밀도, 압전 변형 상수, 유전율 및 압전 전압 상수를 나타낸 그래프이다.

발명을 실시하기 위한 구체적인 내용

- [0027] 본 발명은 종래의 노킹센서에 비하여 출력이 향상된 노킹센서를 제공할 수 있는 고출력 노킹센서용 압전 세라믹 조성물 및 이의 제조방법에 관한 것이다.
- [0028] 이하, 본 발명을 상세하게 설명한다.
- [0029] 본 발명의 고출력 노킹센서용 압전 세라믹 조성물은 하기 [화학식 1]로 표시되어 종래에 비하여 향상된 출력을 갖는 노킹센서에 적합한 압전특성을 갖는다.
- [0030] [화학식 1]
- [0031] $x\text{Pb}(\text{Zr}_{1-y}\text{Ti}_y)\text{O}_3-(1-x)\text{Pb}(\text{Ni}_{0.4}\text{Zn}_{0.6})_{1/3}\text{Nb}_{2/3}\text{O}_3$
- [0032] 상기 [화학식 1]에서 x 는 $0.60 < x < 0.69$ 인 정수이며, 바람직하게는 0.65, 0.66 및 0.67로 이루어진 군에서 선택된 어느 하나인 정수이고, 더욱 바람직하게는 0.67인 정수이다.
- [0033] 또한, 상기 [화학식 1]에서 y 는 $0.500 < y < 0.525$ 인 정수이며, 바람직하게는 0.51 또는 0.52인 정수이고, 더욱 바람직하게는 0.52인 정수이다.
- [0034] 상기 [화학식 1]의 조성물은 PbO , ZrO_2 , TiO_2 , NiO , ZnO 및 Nb_2O_5 을 포함하는 원료분말로 제조된 것이다.
- [0035] 구체적으로, 상기 [화학식 1]로 표시되는 조성물은 PbO 1 몰(mol)에 대하여 ZrO_2 0.6 내지 1 몰(mol), TiO_2 0.7 내지 1 몰(mol), NiO 0.01 내지 0.5 몰(mol), ZnO 0.01 내지 0.5 몰(mol) 및 Nb_2O_5 0.1 내지 1 몰(mol)을 포함하여 제조된다.
- [0036] 원료분말이 상기 범위를 벗어나는 함량으로 혼합되는 경우에는 상기 [화학식 1]로 표시되는 화합물이 아닌 다른 화합물이 제조될 수 있다.
- [0037] 본 발명에 따른 [화학식 1]의 조성물은 압전 변형 상수(d_{33})가 360 pC/N 이상으로 비교적 높은 압전 변형 상수를 가지며 동시에 낮은 유전율을 가짐으로써, 높은 압전 전압 상수(g_{33})를 가지므로 노킹센서의 고출력을 유도할 수 있다.
- [0038] 일반적으로 두 개의 상이 공존하는 상 경계(morphotropic phase boundary:MPB) 조성을 가지는 압전 세라믹 조성물은 압전 변형 상수(d_{33})는 크지만 유전율도 크기 때문에 상대적으로 압전 전압 상수(g_{33}) 값이 작다. 그러므로 높은 압전 전압 상수(g_{33}) 값을 가지려면 상 경계(MPB)에서 약간 벗어나는 조성을 가진 압전 세라믹 조성물을 이용해야 한다. 특히, 입방계와 능면체의 상 경계(MPB)에서 벗어난 조성을 가지는 압전 세라믹 조성물의 유전율이 비교적 작기 때문에 압전 전압 상수(g_{33}) 값이 커진다.
- [0039] 본 발명의 [화학식 1]의 조성물은 입방계와 능면체의 상 경계(MPB)에서 벗어난 조성을 가지므로 높은 압전 전압 상수(g_{33}) 값을 가질 수 있는 것이다.
- [0040] 또한, 본 발명은 고출력 노킹센서용 압전 세라믹 조성물의 제조방법을 제공하며, 도 1을 참조하여 설명한다.
- [0041] 본 발명의 고출력 노킹센서용 압전 세라믹 조성물의 제조방법은 (A) PbO , ZrO_2 , TiO_2 , NiO , ZnO 및 Nb_2O_5 을 포함하는 원료분말을 상기 [화학식 1]에 따른 몰(mol)분율에 따라 1차 습식 혼합한 후 1차 분말화하고 1차 건조시켜 분말 혼합물을 형성하는 단계; (B) 상기 분말 혼합물을 800 내지 1000 °C에서 하소하여 제1 분말을 형성하는 단계; (C) 상기 제1 분말을 2차 습식 혼합한 후 2차 분말화하고 2차 건조시켜 제2 분말을 형성하는 단계; 및 (D) 상기 제2 분말을 1000 내지 1200 °C에서 소결하는 단계를 포함한다.
- [0042] 또한, 상기 (D)단계 이후에 (D)단계에서 제조된 압전 세라믹 조성물을 연마하고 전극물질을 도포한 후 120 내지 150 °C의 실리콘 오일 조 내부에서 DC 3 내지 5 kV/mm로 40 내지 80분 동안 폴링하는 단계(E)를 더 포함할 수 있다. 상기 전극물질은 은(Ag), 구리(Cu), 팔라듐(Pd) 및 니켈(Ni)로 이루어진 군에서 선택된 1종 또는 복합 2

종의 물질이다.

- [0043] 본 발명의 압전 세라믹 조성물 제조방법을 구체적으로 설명하면 먼저, 상기 (A)단계에서는 PbO , ZrO_2 , TiO_2 , NiO , ZnO 및 Nb_2O_5 을 포함하는 원료분말을 혼합하여 나일론 자(nylon jar)에 넣고 지르코니아볼 및 용매와 함께 4 내지 36시간 동안 1차 습식 혼합한 후 1차 분말화하고, 상기 분말화된 혼합물의 용매를 휘발시키기 위하여 50 내지 100 °C에서 1차 건조시킨다.
- [0044] 상기 혼합된 원료분말의 함량은 PbO 1 몰(mol)에 대하여 ZrO_2 0.6 내지 1 몰(mol), TiO_2 0.7 내지 1 몰(mol), NiO 0.01 내지 0.5 몰(mol), ZnO 0.01 내지 0.5 몰(mol) 및 Nb_2O_5 0.1 내지 1 몰(mol)이다.
- [0045] 상기와 같이 원료분말들의 몰 분율을 조절하여 [화학식 1]의 조성을 최적으로 설계함으로써 높은 압전 변형 상수 및 낮은 유전율을 갖도록 할 수 있다.
- [0046] 상기 원료분말들의 순도는 압전 변형 상수, 유전율, 소결온도 등의 특성에 영향을 주지 않지만, 바람직한 순도는 98% 이상이다.
- [0047] 또한, 상기 용매는 원료분말과 함께 습식 혼합이 가능하면 특별히 한정되지 않지만, 바람직하기로는 메탄올, 에탄올, 이소프로판올 및 증류수로 이루어진 군에서 선택된 1종이다.
- [0048] 다음으로, 상기 (B)단계에서는 상기 건조된 분말 혼합물을 800 내지 1000 °C에서 1 내지 10 시간 동안 하소하여 $xPb(Zr_{1-y}Ti_y)O_3-(1-x)Pb(Ni_{0.4}Zn_{0.6})_{1/3}Nb_{2/3}O_3$ 조성식을 갖는 제1 분말을 형성한다. 상기 x는 $0.60 < x < 0.69$ 이며, 상기 y는 $0.500 < y < 0.525$ 인 정수이다.
- [0049] 다음으로, 상기 (C)단계에서는 상기 제1 분말을 상기 (A)단계와 동일한 방법으로 습식 혼합한 후 분말화하고 건조시켜 제2 분말을 형성한다. 이와 같이 습식 혼합하고 건조하는 과정을 반복함으로써 분말의 크기를 최소화할 수 있으며, 더욱 높은 압전 변형 상수 및 더욱 낮은 유전율을 갖도록 할 수 있다.
- [0050] 다음으로, 상기 (D)단계에서는 상기 제2 분말을 1000 내지 1200 °C에서 1 내지 10시간 동안 소결하여 압전 세라믹 조성물을 형성한다.
- [0051] 이하, 본 발명의 이해를 돕기 위하여 바람직한 실시예를 제시하나, 하기 실시예는 본 발명을 예시하는 것일 뿐 본 발명의 범주 및 기술사상 범위 내에서 다양한 변경 및 수정이 가능함은 당업자에게 있어서 명백한 것이며, 이러한 변형 및 수정이 첨부된 특허청구범위에 속하는 것도 당연한 것이다.
- [0052] **실시예 1.**
- [0053] 순도 98% 이상의 PbO , ZrO_2 , TiO_2 , NiO , ZnO 및 Nb_2O_5 을 원료 파우더를 하기 조성이 되도록 칭량하여 나일론 자에서 지르코니아 볼과 함께 24시간 동안 에탄올을 사용하여 습식 혼합하여 혼합물을 제조하였다. 상기 습식 혼합하여 분쇄된 혼합물을 100 °C에서 30분 동안 건조한 후 880 °C에서 4시간 동안 하소하여 $0.65Pb(Zr_{0.48}Ti_{0.52})O_3-0.35Pb(Ni_{0.4}Zn_{0.6})_{1/3}Nb_{2/3}O_3$ 로 표시되는 제1 분말을 합성하였다. 상기 제1 분말을 48시간 동안 에탄올과 함께 2차 습식 혼합하고 100 °C에서 30분 동안 2차 건조하는 과정을 반복하여 평균입경이 1 μm 이하인 제2 분말을 제조한 후 상기 제 2 분말을 직경 16 mm, 높이 1.2 mm인 실린더 형상의 성형체에 넣고 100 kg/cm²의 압력을 가하여 성형한 후 1150 °C에서 2시간 동안 소결하여 압전 세라믹 조성물을 제조하였다.
- [0054] **실시예 2.**
- [0055] 상기 실시예 1과 동일하게 실시하되, 상기 원료 파우더를 $0.66Pb(Zr_{0.48}Ti_{0.52})O_3-0.34Pb(Ni_{0.4}Zn_{0.6})_{1/3}Nb_{2/3}O_3$ 의 조성이 되도록 칭량하여 압전 세라믹 조성물을 제조하였다.
- [0056] **실시예 3.**
- [0057] 상기 실시예 1과 동일하게 실시하되, 상기 원료 파우더를 $0.67Pb(Zr_{0.48}Ti_{0.52})O_3-0.33Pb(Ni_{0.4}Zn_{0.6})_{1/3}Nb_{2/3}O_3$ 의 조

성이 되도록 칭량하여 압전 세라믹 조성물을 제조하였다.

[0058] 시험예 1. 상대밀도, 압전 변형 상수(d_{33}), 유전율($\epsilon_{33}^T / \epsilon_0$), 압전 전압 상수(g_{33})

[0059] 상기 실시예에서 제조된 압전 세라믹 조성물을 연마하고 전극물질로 은을 도포한 후 120 °C의 실리콘 오일 조 내부에서 DC 3 내지 5 kV/mm를 60분 동안 제공하고 24시간이 지나 압전 세라믹 조성물의 특성을 측정하였으며, 이를 도 2에 나타내었다.

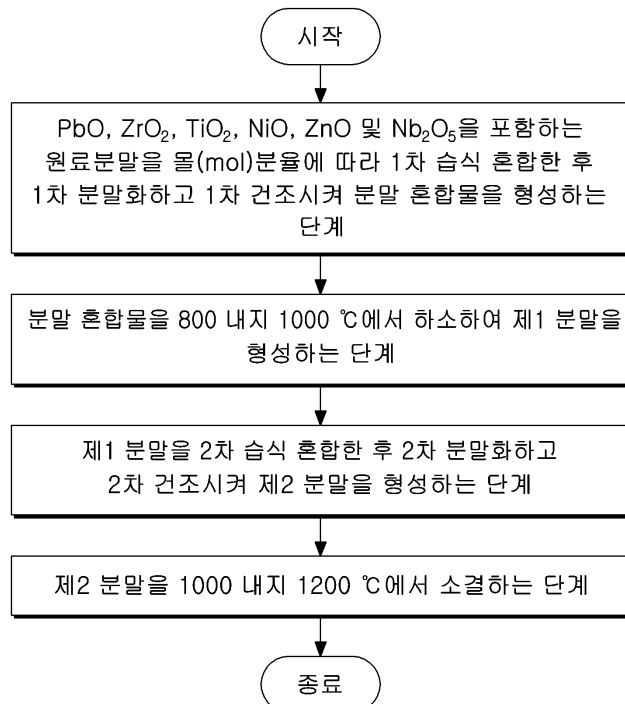
[0060] 도 2에 도시된 바와 같이, 실시예 1 내지 3에 따라 제조된 압전 세라믹 조성물은 모두 97% 이상의 높은 상대밀도를 보이는 것을 확인하였다. 상기 상대밀도는 압전 세라믹 조성물의 소결유무를 판단하는 척도로 이용되므로, 소결이 잘되었다는 것으로 확인하였다.

[0061] 또한, 실시예 1 내지 3에 따라 제조된 압전 세라믹 조성물의 유전율은 950 내지 1050로서 낮은 값을 가지며, 동시에 압전 변형 상수(d_{33})는 360 pC/N 이상으로 높은 값을 가지는 것을 확인하였다. 그러므로 실시예 1 내지 3에 따라 제조된 압전 세라믹 조성물은 40×10^{-3} Vm/N 이상의 높은 압전 전압 상수(g_{33}) 값을 갖는 것으로 확인되었다.

[0062] 특히, 실시예 3에 따라 제조된 압전 세라믹 조성물은 42×10^{-3} Vm/N의 높은 압전 전압 상수(g_{33}) 값을 갖으며, 이는 지금까지 알려진 압전 세라믹 조성물 중에서 가장 높은 값으로서 자동차용 고출력 노킹센서에 충분히 적용이 가능함을 알 수 있다.

도면

도면1



도면2

