



(19) 대한민국특허청(KR)
(12) 공개특허공보(A)

(11) 공개번호 10-2009-0005765
(43) 공개일자 2009년01월14일

(51) Int. Cl.

H01L 41/16 (2006.01) H01L 41/187 (2006.01)

(21) 출원번호 10-2007-0069063

(22) 출원일자 2007년07월10일

심사청구일자 2007년07월10일

(71) 출원인

고려대학교 산학협력단

서울 성북구 안암동5가1 고려대학교 내

(72) 발명자

남산

서울 강남구 대치동 은마아파트 20-1003

박휘열

서울 성북구 안암동 136-713 제2공학관 137-A

(74) 대리인

특허법인아주

전체 청구항 수 : 총 12 항

(54) 압전재료 및 그 제조 방법

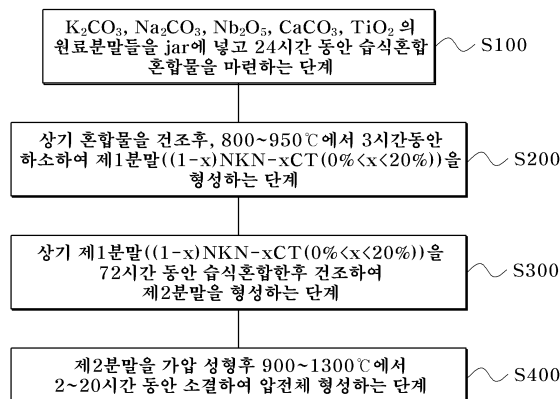
(57) 요약

본 발명에 따른 압전재료 제조방법은 K_2CO_3 , Na_2CO_3 , Nb_2O_5 , $CaCO_3$, TiO_2 를 포함하는 원료분말을 자아(jar)에 넣고, 15 내지 30시간 동안 습식혼합하여 혼합물을 형성하는 단계; 상기 혼합물을 건조 후, 열처리온도 700℃ 내지 1000℃에서 하소하여 제1분말을 형성하는 단계; 상기 제1분말을 50 내지 100시간 동안 습식 혼합한 후, 건조하여 제2분말을 형성하는 단계; 및 상기 제2분말을 가압 성형 후, 소결온도 700℃ 내지 1500℃에서 1시간 내지 25시간 동안 소결하여 압전재료를 형성하는 단계를 포함한다.

따라서 본 발명에 따른 압전재료 및 그 제조방법은 NKN 계열에 CT를 혼합하기 때문에 공정을 용이하게 실시할 수 있고, 수용성 문제를 해결하면서 향상된 압전특성을 동시에 확보할 수 있는 효과가 있다.

또한, 본 발명에 따른 상기 압전재료를 사용할 경우, 환경오염물질을 사용하지 않는 비연계열 압전체를 형성할 수 있는 효과가 있다.

대표도 - 도1



특허청구의 범위

청구항 1

K_2CO_3 , Na_2CO_3 , Nb_2O_5 , $CaCO_3$, TiO_2 를 포함하는 원료분말을 자아(jar)에 넣고, 15 내지 30시간 동안 습식혼합하여 혼합물을 형성하는 단계;

상기 혼합물을 건조 후, 열처리온도 700℃ 내지 1000℃에서 하소하여 제1분말을 형성하는 단계;

상기 제1분말을 50 내지 100시간 동안 습식 혼합한 후, 건조하여 제2분말을 형성하는 단계; 및

상기 제2분말을 가압 성형 후, 소결온도 700℃ 내지 1500℃에서 1시간 내지 25시간 동안 소결하여 압전재료를 형성하는 단계를 포함하는 압전재료 제조방법.

청구항 2

제 1항에 있어서,

상기 혼합물, 상기 제1분말, 상기 제2분말은 $(1-x)(Na_{0.5}K_{0.5})NbO_3-xCaTiO_3$ 로 구성되는 것을 특징으로 하는 압전재료 제조방법.

청구항 3

제 2항에 있어서,

상기 x는 0% 초과 30%이하로 형성되는 것을 특징으로 하는 압전재료 제조방법.

청구항 4

제 1항에 있어서,

상기 습식혼합하는 단계는 지르코니아 볼과 휘발성 용매를 사용하여 상기 제1분말을 혼합하는 것을 특징으로 하는 압전재료 제조방법.

청구항 5

제 4항에 있어서,

상기 휘발성용매는 무수 알콜 에탄올인 것을 특징으로 하는 압전재료 형성방법.

청구항 6

제 1항에 있어서,

상기 소결온도는 1050℃인 것을 특징으로 하는 압전재료 제조방법.

청구항 7

제 1항 내지 제 6항 중 어느 한 항으로 제조되며, 화학식 $(1-x)(Na_{0.5}K_{0.5})NbO_3-xCaTiO_3$ 을 포함하는 압전재료.

청구항 8

제 7항에 있어서,

상기 $x=0.05$ 인 것을 특징으로 하는 압전재료.

청구항 9

제 7항에 있어서,

상기 압전재료는 전기기계 결합계수가 0.41인 것을 특징으로 하는 압전재료.

청구항 10

제 7항에 있어서,

상기 압전재료는 압전상수가 241pC/N인 것을 특징으로 하는 압전재료.

청구항 11

제 7항에 있어서,

상기 압전재료는 유전률이 1316인 것을 특징으로 하는 압전재료.

청구항 12

제 7항 내지 제 11항 중 어느 한 항의 압전재료를 포함하는 것을 특징으로 하는 압전소자.

명세서

발명의 상세한 설명

기술 분야

- <1> 본 발명은 압전재료 및 그 제조방법에 관한 것으로, 보다 상세하게는 용이한 공정으로 형성할 수 있으면서, 환경오염물질인 납성분을 사용하지 않고 NKN계열에 CaTiO_3 를 혼합시켜 압전특성을 향상시킨 압전재료 및 그 제조방법에 관한 것이다.

배경 기술

- <2> 압전물질이란 그에 가해지는 기계적 에너지와 전기적 에너지를 서로 간에 변환시킬 수 있는 특성을 지닌 재료를 말하며 압전효과는 전기기계 결합계수(kp)를 사용하여 가해진 전기적(K) 에너지에 대한 기계적 에너지로 변환된 값으로 정의된다.
- <3> 따라서 우수한 전기기계 결합계수를 가진 압전재료는 전기기계 에너지간의 선형적 변환이 가능하므로 기계적 변환량의 정확한 제어가 가능하며 역으로 외부의 진동신호를 정확한 선형적인 전기신호로 받을 수 있는 장점이 있다. 또한 이러한 변환이 재료자체의 특성으로 인해 나타나므로 구조가 간단해지는 장점이 있다.
- <4> 상기 압전재료는 초음파 기기, 영상기기, 음향기기, 통신기기, 센서 등 광범위한 분야에 이용되는 초음파 진동자, 전기기계 초음파 트랜듀서(Transducer), 액츄에이터(Actuator) 부품들의 재료로 널리 사용되고 있다.
- <5> 종래에는 $\text{Pb}(\text{Zr}, \text{Ti})\text{O}_3(\text{PZT})$ 계열의 재료가 높은 압전특성으로 인해 대부분의 압전부품 재료로 활용되어 왔다.
- <6> 그러나 납성분(Pb)은 독성이 강한 물질이고, 소결(Sintering)과정에서 휘발성이 강해서 심각한 환경오염을 일으키고 있다. 이와 같이, 상기 납성분은 이미 오래 전부터 큰 문제점으로 인식되어 왔으며, 유럽(EU), 미국 등에서는 전기 전자 제품에 있어서, 위험물질인 납성분을 포함하는 중금속 물질(카드뮴, 수은, 브롬계 난연제 등)의 사용을 금지한다는 내용을 발표하였다.
- <7> 비록 전자세라믹스 부품에서도 납성분은 예외 사항으로 두었지만 대체가능한 물질이 개발되면서 전자 세라믹스 부품에서도 납성분의 사용을 금지하는 조항이 발생하게 되었다.
- <8> 이와 같이, 납성분이 환경에 미치는 영향 때문에 비연계열 압전세라믹스 재료에 대한 개발이 전세계적으로 활발히 진행되고 있다.
- <9> 압전재료를 대부분 차지하고 있는 PZT세라믹스의 환경오염문제 때문에 비연계열 압전세라믹스의 개발이 필요하게 되었으며, 대표적인 비연계열 압전 세라믹스로는 비스무스(Bi)계열 페로브스카이트(perovskite) 재료와 $\text{NKN}((\text{Na}_{0.5}\text{K}_{0.5})\text{NbO}_3)$ 계열 세라믹스가 활발히 연구진행 중이다.
- <10> 표 1은 연구/진행중인 종래의 압전체를 형성하는 압전재료 및 특성을 정리한 것이다.

표 1

Type	composition		properties	Journal
(NaK)NbO ₃ Type	(NaK)NbO ₃ -LiNbTaSbO ₃	LNTS	d ₃₃ =300pC/N (Conventional)	Nature 432, 2004
			k _p =0.61, d ₃₃ =416pC/N (Reactive Template Grain Growth : RTGG)	
	(NaK)NbO ₃ -SrTiO ₃	NKN-ST	k _p =0.325, d ₃₃ =96pC/N (Cold Isostatic Press)	Solid State Communications 129, 2004
	(NaK)NbO ₃ -SrTiO ₃	NKN-ST	k _p =0.36, d ₃₃ =200pC/N (Cold Isostatic Press)	phys. stat. sol. 202, 2004
	(NaK)NbO ₃ -LiNbO ₃	NKN-LN	k _p =0.42-44, d ₃₃ =200-235pC/N (Cold Isostatic Press)	APL 85, 2004
	(NaK)NbO ₃ -LiTaO ₃	NKN-LT	k _p =0.36, d ₃₃ =200pC/N (Cold Isostatic Press)	Materials Letters 59, 2005
	(NaK)NbO ₃ -BaTiO ₃	NKN-BT	k _p =0.36, d ₃₃ =225pC/N (Conventional)	APL 89, 2006
	(NaK)NbO ₃ -K ₄ CuNb	NKN-KCN	k _p =0.41, Q _m =1400pC/N	JACS 88, 2005

<11>

상기 PZT를 대체할 수 있는 재료로 NKN계열 재료, Bi-perovskite 계열 재료들이 연구진행 중이다.

<12>

<13>

상기 Bi-perovskite 계열 재료는 높은 전기기계 결합계수(K_p)와 압전상수(d₃₃)로 PZT를 대체할 수 있는 가능성이 높은 재료지만 120℃ 이상에서는 반강유전성으로 바뀌는 단점이 있다. 게다가 PZT와 유사한 압전 특성은 발표되고 있지 않다.

<14>

반면, 상기 NKN 계열의 재료는 (NaK)NbO₃-LiNbTaSbO₃가 PZT와 유사한 압전 특성을 보이는 내용이 보고된 바 있으며, 현재는 비연계열 세라믹스 재료로 가능성이 높은 재료로 알려져 있다.

<15>

RTGG법(Reactive Template Grain Growth Method)으로 제작된 (NaK)NbO₃-LiNbTaSbO₃ 세라믹스가 대표적인 NKN 계열 압전 재료이다. 이는 RTGG법으로 제작된 경우, 그 압전 특성이 전기기계 결합상수가 0.61, 압전상수가 416pC/N으로 종래의 PZT와 유사한 압전특성을 보인다.

<16>

게다가 이 조성의 경우 일반적인 세라믹스법으로 제작하여도 압전상수가 300pC/N의 매우 높은 압전특성을 보여 현재 관심이 집중되고 있다.

<17>

(1-x)NKN-xSrTiO₃세라믹스는 2004년에 Yiping Guo등에 의해 CIP(Cold-isostatic-Pressing)로 제작되어 0.0 ≤ x ≤ 0.1의 조성의 압전 및 유전특성에 대해서 조사되었으며, x≤0.03의 조성에서는 상방정계(Orthorhombic) 상을 유지하다가 그 이상의 조성에서는 정방정계(tetragonal) 상이 형성되며, x=0.005 조성에서 전기기계 결합계수(k_p)는 0.325, 압전상수(d₃₃)는 96pC/N의 압전 특성을 보인다고 보고하고 있다.

<18>

그 외에 스파크 플라즈마 소결법(Spark Plasma Sintering)을 사용하면, x=0.05 조성에서 세라믹스가 전기기계 결합계수가 0.37, 압전상수가 195pC/N의 높은 압전특성을 나타낸다는 내용도 발표되었다.

<19>

(1-x)NKN-xLiTa(LT) 세라믹스도 yiping Guo 등에 의해 CIP로 제작되어 0.0 ≤ x ≤ 0.2 조성의 압전 및 유전 특성을 조사하였다.

<20>

이 보고에 따르면, (1-x)NKN-xLT의 정방정계와 사방정계 상이 공존하는 상경계(Morphotropic phase boundary : MPB)는 0.05 ≤ x ≤ 0.06에서 존재하며 x ≥ 0.08 에서는 K₂Li₂Nb₅O₁₅의 이차상이 나타난다고 하였다.

<21>

상경계인 x=0.05 조성에서의 압전특성은 전기기계 결합계수 0.36, 압전상수 200pC/N으로 매우 높았다.

<22>

2004년에 Masato Matsubara 등은 NKN에 첨가제로 x mol% K₄CuTa₈O₂₃(KCN)를 첨가하였고, x=0.5의 조성에서 전기기계 결합상수 0.41, Q_m=1400을 보이는 하드한 재료를 개발하여 발표하였다. 상기 Q_m은 기계적 품질계수(Mechanical Quality Factor)를 나타내며, 압전체에서 Q_m은 공진 주파수 부근에서 떨림의 정도를 나타내는 척도

를 나타낸다. 그리고 이 연구에서도 시편들은 CIP로 제작되었다.

- <23> (1-x)NKN-xBaTiO₃ 세라믹스는 2005년 Hwi Yeol Park 등에 의해 x=0.05인 조성에서 불밀링 시간을 조절 및 파티클 사이즈를 조절을 통해 전기기계 결합계수 0.36, 압전상수 225pC/N의 높은 압전특성을 보이는 0.95NKN-0.05BT 세라믹스를 개발하였다.
- <24> 이와 같이, NKN 계열 세라믹스는 그 연구가 활발히 진행되어 현재 PZT와 유사한 압전특성을 보이고 있을 정도로 종래의 PZT를 대체할 수 있는 가장 유력한 재료로 부상되어 있다.

발명의 내용

해결 하고자하는 과제

- <25> 종래의 압전재료에 있어서는 대부분의 연구가 CIP로 제작된 시편으로 분석이 되거나 RTGG법을 사용하여 제작되었고, 일반적인 세라믹스 공정으로 진행된 연구가 거의 없다.
- <26> 게다가 종래의 압전재료에 있어서, 리튬(Li)이 첨가되지 않은 조성의 경우에는 납성분이 포함된 압전재료에 비해 높은 압전 특성을 보이지 않고 있으며, 리튬이 첨가되는 조성의 경우에는 공정 상에서 리튬이 휘발되는 문제점을 보이고 있다.
- <27> 따라서 세라믹 공정으로 제조가 용이하면서, 압전 및 유전 특성이 향상된 압전재료를 개발할 필요성이 요청된다.
- <28> 본 발명이 이루고자 하는 기술적 과제는 세라믹 공정으로 제조하기 용이하면서, 압전 및 유전 특성이 향상된 NKN 계열의 압전재료 및 그 제조방법을 제공하는 것을 목적으로 한다.

과제 해결수단

- <29> 상기와 같은 목적을 달성하기 위한 수단으로 본 발명에 따른 압전재료 제조방법은 K₂CO₃, Na₂CO₃, Nb₂O₅, CaCO₃, TiO₂를 포함하는 원료분말을 자아(jar)에 넣고, 15 내지 30시간 동안 습식혼합하여 혼합물을 형성하는 단계; 상기 혼합물을 건조 후, 열처리온도 700℃ 내지 1000℃에서 하소하여 제1분말을 형성하는 단계; 상기 제1분말을 50 내지 100시간 동안 습식 혼합한 후, 건조하여 제2분말을 형성하는 단계; 및 상기 제2분말을 가압 성형 후, 소결온도 700℃ 내지 1500℃에서 1시간 내지 25시간 동안 소결하여 압전재료를 형성하는 단계를 포함한다.
- <30> 상기 혼합물, 상기 제1분말, 상기 제2분말은 (1-x)(Na_{0.5}K_{0.5})NbO₃-xCaTiO₃로 구성되는 것을 특징으로 한다.
- <31> 상기 x는 0% 초과 30%이하로 형성되는 것을 특징으로 한다.
- <32> 상기 습식혼합하는 단계는 지르코니아 볼과 휘발성 용매를 사용하여 상기 제1분말을 혼합하는 것을 특징으로 한다.
- <33> 상기 휘발성용매는 무수 알콜 에탄올인 것을 특징으로 한다.
- <34> 상기 소결온도는 1050℃인 것을 특징으로 한다.
- <35> 상기와 같은 목적을 달성하기 위하여 본 발명에 따른 압전재료는 화학식 (1-x)(Na_{0.5}K_{0.5})NbO₃-xCaTiO₃을 포함한다.
- <36> 상기 x=0.05인 것을 특징으로 한다.
- <37> 상기 압전재료는 전기기계 결합계수가 0.41인 것을 특징으로 한다.
- <38> 상기 압전재료는 압전상수가 241pC/N인 것을 특징으로 한다.
- <39> 상기 압전재료는 유전률이 1316인 것을 특징으로 한다.
- <40> 상기와 같은 목적을 달성하기 위하여 본 발명에 따른 압전소자는 상기 압전재료를 포함하는 것을 특징으로 한다.

효과

- <41> 본 발명에 따른 압전재료 및 그 제조방법은 NKN 계열에 CT를 혼합하기 때문에 공정을 용이하게 실시할 수 있고, 수용성 문제를 해결하면서 향상된 압전특성을 동시에 확보할 수 있는 효과가 있다.
- <42> 또한, 본 발명에 따른 상기 압전재료를 사용할 경우, 환경오염물질을 사용하지 않는 비연계열 압전재료를 형성할 수 있는 효과가 있다.

발명의 실시를 위한 구체적인 내용

- <43> 이하, 첨부된 도면들을 참조하여 본 발명에 따른 $(1-x)\text{NKN}-x\text{CT}$ 압전재료 및 이로 형성되는 압전소자의 실시예를 설명한다.
- <44> 이러한 과정에서 도면에 도시된 선들의 두께나 구성요소의 크기 등은 설명의 명료성과 편의상 과장되게 도시되어 있을 수 있다.
- <45> 본 발명의 이점 및 특징, 그리고 그것들을 달성하는 방법은 첨부되는 도면과 함께 상세하게 후술되어 있는 실시예들을 참조하면 명확해질 것이다. 그러나, 본 발명은 이하에서 개시되는 실시예들에 한정되는 것이 아니라 서로 다른 다양한 형태로 구현될 것이며, 단지 본 실시예들은 본 발명의 개시가 완전하도록 하며, 본 발명이 속하는 기술분야에서 통상의 지식을 가진 자에게 발명의 범주를 완전하게 알려주기 위해 제공되는 것이며, 본 발명은 청구항의 범주에 의해 정의될 뿐이다. 명세서 전체에 걸쳐 동일 참조 부호는 동일 구성요소를 지칭한다.
- <46> 도 1은 본 발명에 따른 $(1-x)\text{NKN}-x\text{CT}$ 압전재료 제조방법을 도시한 공정도이다.
- <47> 본 발명에 따른 압전재료는 종래의 세라믹 공정으로 용이하게 제조할 수 있다.
- <48> 상기 압전재료는 $(1-x)(\text{Na}_{0.5}\text{K}_{0.5})\text{Nb}_3-x\text{CaTiO}_3$ 조성으로 형성되며, 상기 화학식을 줄여서 $(1-x)\text{NKN}-x\text{CT}$ 로 표시한다. 여기서 x 는 0% 초과 30%이하인 것이 바람직하다.
- <49> 도 1을 참조하면, 본 발명에 따른 $(1-x)\text{NKN}-x\text{CT}$ 압전재료를 형성하기 위해서 S100단계로 원료분말인 K_2CO_3 , Na_2CO_3 , Nb_2O_5 , CaCO_3 , TiO_2 등을 마련한다. 여기서 상기 압전재료의 조성에 맞게 상기 원료분말의 구성요소들을 평량할 수 있다.
- <50> 그리고 상기 원료분말들을 자아(Jar)에 넣고 15시간 내지 30시간 동안 습식혼합을 실시한다.
- <51> 상기 습식혼합은 지르코니아 볼과 휘발성 용매를 사용하여 상기 원료분말을 분쇄/혼합하여 혼합물을 마련하게 된다. 여기서 상기 휘발성 용매는 알콜용매를 사용할 수 있으며, 더욱 자세하게는 무수 알콜 에탄올을 사용할 수 있다.
- <52> 다음으로 S200 단계로 용매로써 사용한 휘발성 용매를 휘발시키기 위한 건조과정을 실시하게 된다. 상기 건조시킨 혼합물을 700°C 내지 1000°C 에서 1시간 내지 5시간 동안 하소(Calcination)시켜 제1분말을 형성한다.
- <53> 여기서 상기 제1분말은 $(1-x)\text{NKN}-x\text{CT}$ 로 형성할 수 있다. 여기서 상기 x 는 $0\% < x \leq 30\%$ 이며, 더욱 바람직하게는 $0\% < x \leq 20\%$ 조성으로 상기 제1분말을 형성할 수 있다.
- <54> 다음으로 본 발명에 따른 $(1-x)\text{NKN}-x\text{CT}$ 압전재료를 형성하기 위한 S300 단계로써 상기 제1분말을 휘발성용매를 사용하여 50시간 내지 100시간 동안 습식혼합하고 건조하여 제2분말을 형성한다.
- <55> 여기서, 상기 습식혼합공정을 다수 번 실시함으로써 상기 혼합분말의 혼합 및 분말의 형상(Size)을 최소화시킬 수 있는 효과가 있다.
- <56> 다음으로 본 발명에 따른 $(1-x)\text{NKN}-x\text{CT}$ 압전재료를 형성하기 위한 S400 단계로써 상기 제2분말을 가압 성형하는 단계를 실시한다. 상기 가압/성형 공정에서 상기 제2분말은 소정의 형상을 갖는 성형체로 형성할 수 있다.
- <57> 이와 같이 가압/성형 공정을 거친 제2분말의 성형체를 700°C 내지 1500°C 에서 1시간 내지 25시간 동안 소결(Sintering)하여 본 발명에 따른 $(1-x)\text{NKN}-x\text{CT}$ 압전재료를 형성할 수 있게 된다.
- <58> 상기와 같은 공정을 거친 $(1-x)\text{NKN}-x\text{CT}$ 압전재료는 $(1-x)\text{NKN}-x\text{CT}$ 의 고용체로 상전이 영역에서 압전상수가 증가함으로 상기 압전상수를 향상시킬 수 있다.
- <59> 또한, 상기 CT의 첨가량에 따른 액상의 형성으로 소결성 향상 및 미세구조 변화를 통해 압전상수를 증가시킬 수 있다.

실시예

- <60> 이하는, 본 발명의 이해를 돕기 위해 바람직한 실시예를 제시한다. 하기의 실시예들은 본 발명을 보다 쉽게 이해하기 위하여 제공되는 것일 뿐 본 발명은 하기의 실시예에 한정되는 것은 아니다.
- <61> 본 발명에 따른 $(1-x)\text{NKN}-x\text{CT}$ 압전재료를 형성하기 위하여 원료분말로 순도 99.9%의 K_2CO_3 , Na_2CO_3 , Nb_2O_5 , CaCO_3 , TiO_2 을 각각 마련한다. 상기 원료분말들을 $(1-x)(\text{Na}_{0.5}\text{K}_{0.5})\text{Nb}_3-x\text{CaTiO}_3$ 조성으로 혼합하기 위해서 $0\% < x < 100\%$ 의 범위의 여러 조성을 평량한 후 나일론 자아에서 지르코니아 볼과 함께 24시간 동안 휘발성 용매를 사용하여 습식 혼합한다.
- <62> 상기 습식 혼합하여 분쇄한 혼합물을 건조시킨 후 800°C 내지 950°C 에서 3시간 동안 하소하여 $(1-x)\text{NKN}-x\text{CT}$ 조성의 상을 합성하여 제1분말을 제조한다.
- <63> 상기 제1분말을 48시간 내지 72시간 동안 휘발성용매를 사용하여 습식혼합하고 건조하여 제2분말을 제조한다. 상기 휘발성용매는 알콜용매를 사용하며 자세하게는 무수 알콜에탄올을 사용할 수 있다.
- <64> 상기 제2분말을 직경 18mm, 높이 1.3 내지 1.5mm의 실린더 형상에 넣고 성형하여 성형체를 가압 성형한다.
- <65> 이때, 상기 소결체를 형성하기 위해서 1000°C 내지 1100°C 에서 2시간 동안 상기 성형체를 소결한다.
- <66> 상기 제2분말을 성형하고 소결하여 본 발명에 따른 $(1-x)\text{NKN}-x\text{CT}$ 압전재료를 형성할 수 있다.
- <67> 상기 소결공정을 거친 시료를 연마하고, 전극물질을 도포한 후에 실리콘 오일 속에서 120°C 내지 150°C 의 온도에서 3 내지 5KV/mm DC 바이어스를 1시간 동안 제공한 후 24시간 지난 후에 상기 압전재료의 특성을 측정하였다.
- <68> **X선 회절 분석**
- <69> 도 2는 본 발명에 따른 $(1-x)\text{NKN}-x\text{CT}$ 압전재료의 CT 첨가량에 따른 X-ray 회절 패턴을 도시한 도면이다.
- <70> 도 2를 참조하면, $(1-x)\text{NKN}-x\text{CT}$ 압전재료는 상기 CT량에 따라서 NKN의 구조가 변화되는 것을 볼 수 있다.
- <71> 상기 CT량을 상기 $(1-x)\text{NKN}-x\text{CT}$ 압전재료에 4% 내지 6% 고용시켰을 때, 사방정과 정방정이 공존하고, 10% 내지 15% 고용시켰을 때, 정방정과 입방정이 공존함을 알 수 있었다.
- <72> **조성분석**
- <73> 본 발명에 따른 $(1-x)\text{NKN}-x\text{CT}$ 압전재료는 $(1-x)\text{NKN}-x\text{CT}$ 의 x의 변화량에 상기 $(1-x)\text{NKN}-x\text{CT}$ 압전재료의 특성이 변화할 수 있다. 그래서 상기 $(1-x)\text{NKN}-x\text{CT}$ 압전체 조성의 변화에 따라 변화되는 압전특성을 관찰하기 위해 조성 분석을 실시한다.
- <74> 도 3 내지 도 6은 본 발명에 따른 $(1-x)\text{NKN}-x\text{CT}$ 압전재료의 CT량에 따른 압전특성을 도시한 도면이다.
- <75> 도 3은 본 발명에 따른 $(1-x)\text{NKN}-x\text{CT}$ 압전재료의 CT량에 따른 상대밀도를 도시한 도면이다.
- <76> 도 3을 참조하면, 본 발명에 따른 $(1-x)\text{NKN}-x\text{CT}$ 압전재료에 있어서 상기 $(1-x)\text{NKN}-x\text{CT}$ 압전재료를 소결시키면서 형성되는 시편의 소결 유무를 확인하기 위하여 상대밀도를 측정하였다.
- <77> 여기서, 본 발명에 따른 $(1-x)\text{NKN}-x\text{CT}$ 압전재료의 CT량이 0.05일 때, 가장 높은 밀도를 나타내었고 상기 $(1-x)\text{NKN}-x\text{CT}$ 압전재료의 CT조성은 압전특성의 향상에 기여를 하였다.
- <78> 그리고 상기 CT첨가량이 0.05 일 때, 상기 $(1-x)\text{NKN}-x\text{CT}$ 압전재료의 상대밀도(시편의 밀도/이론 밀도)는 95%로 최대값을 나타내었다.
- <79> 도 4는 본 발명에 따른 $(1-x)\text{NKN}-x\text{CT}$ 압전재료의 CT량에 따른 압전상수를 도시한 도면이다.
- <80> 도 4를 참조하면, 본 발명에 따른 $(1-x)\text{NKN}-x\text{CT}$ 압전재료의 압전상수는 CT량이 0.05일 때, 241pC/N으로 측정되었다.
- <81> 일반적으로 압전재료는 압전상수가 200pC/N 이상의 압전 특성 값을 가져야 상기의 압전상수를 이용하여 압전재료로서 사용 가능하다.
- <82> 따라서 본 발명의 $(1-x)\text{NKN}-x\text{CT}$ 압전재료는 압전상수가 241pC/N으로 측정되어 실제적으로 압전소자에 응용 가

능할 수 있다.

- <83> 게다가 종래에 RTCG, CIP 등의 소결방법을 사용하지 않고 일반적인 소결 방법에 의해 제조된 비연계 압전 세라믹스는 225pC/N 정도가 가장 우수한 값이었으나, 본 발명에 따른 (1-x)NKN-xCT 압전재료는 종래의 비하여 압전특성이 향상된 것을 확인할 수 있다.
- <84> 도 5는 본 발명에 따른 (1-x)NKN-xCT 압전재료의 CT량에 따른 전기기계 결합계수를 도시한 도면이다.
- <85> 도 5를 참조하면, 상기 (1-x)NKN-xCT 압전재료에서 전기기계 결합계수는 기계적 에너지와 전기적 에너지 간의 상호 변환 효율을 나타낸다.
- <86> 여기서 상기 (1-x)NKN-xCT 압전재료의 전자기계 결합계수(Kp)는 0.41 정도로 측정되었다.
- <87> 도 6은 본 발명에 따른 (1-x)NKN-xCT 압전재료의 CT량에 따른 유전율을 도시한 도면이다.
- <88> 도 6을 참조하면, 압전재료에서 유전율은 압전재료의 분극이 잘 일어날 수 있게 하는 요소로 분극이 잘 일어나면 압전 상수의 증가와 관련이 있다.
- <89> 상기 (1-x)NKN-xCT 압전재료의 유전율은 $x=0.05$ 일 때, 1300 내지 1400 정도의 유전율이 측정되었다. 자세하게는 1316의 값이 측정되었다.
- <90> 이와 같이, 본 발명에 따른 (1-x)NKN-xCT 압전재료에서 상기 CT량에 따른 조성을 분석한 결과 상기 CT량이 $X=0.05$ 일 때 물질특성을 향상시키는 상공존 영역이 존재하는 것을 확인할 수 있다.
- <91> 상기 상공존영역(morphotropic phase boundary; MBP)에서는 상이 공존하여 물질 특성이 향상되는데, 특히 압전재료에서는 쌍극자를 정렬시킬 수 있는 방향이 늘어나게 되는 현상이 발생하고, 이에 따라 상기 상공존 영역은 압전재료의 압전특성을 향상시키는 원인이 될 수 있다.
- <92> 따라서 (1-x)NKN-xCT 압전재료는 상기 CT량에 따른 조성을 분석한 결과 상기 CT량이 $X=0.05$ 일 때, 가장 우수한 압전특성을 보임을 알 수 있다.
- <93> **소결온도**
- <94> 상기 압전재료로 형성되는 압전체는 소결온도에 따라서 그 압전특성이 변화할 수 있다.
- <95> 즉, 소결은 물질의 특성을 결정할 수 있는 중요한 요인이 될 수 있으며, 상기 소결온도에 따라 물질의 결정 상이 결정될 수 있기 때문에 소결온도에 의해서 상기 압전체의 물질특성이 변화할 수 있다.
- <96> 그래서 상기 조성분석에서 특성이 우수하게 측정된 CT량이 0.05의 일 때 즉, 0.95NKN-0.05CT 조성의 압전재료에서 소결온도를 변화를 주어 압전특성을 측정하였다.
- <97> 이하는 (1-x)NKN-xCT 압전재료로 형성되는 압전소자는 0.95NKN-0.05CT 인 것으로 간주하여 설명한다.
- <98> 도 7 내지 도 10은 본 발명에 따른 (1-x)NKN-xCT 압전재료의 소결온도에 따라 형성되는 (1-x)NKN-xCT 압전소자의 압전특성 변화량을 도시한 도면이다.
- <99> 도 7은 본 발명에 따른 (1-x)NKN-xCT 압전재료의 소결온도에 따라 형성된 압전체의 상대밀도를 도시한 도면이다.
- <100> 도 7을 참조하면, 본 발명에 따른 (1-x)NKN-xCT 압전재료를 이용하여 소결체인 압전체의 소결온도가 1050℃ 일 때, 상대밀도가 94 내지 97%로 최적으로 측정되었다.
- <101> 따라서 본 발명에 따른 (1-x)NKN-xCT 압전체는 1050℃에서 소결시킴으로써 압전특성을 향상시킬 수 있다.
- <102> 도 8은 발명에 따른 (1-x)NKN-xCT 압전재료의 소결온도에 따라 형성된 압전체의 압전상수를 도시한 도면이다.
- <103> 도 8을 참조하면, 본 발명에 따른 (1-x)NKN-xCT 압전재료를 이용하여 소결체인 압전체의 소결온도가 1050℃ 일 때, 압전상수는 241pC/n으로 최적화된 값이 측정되었다.
- <104> 도 9는 발명에 따른 (1-x)NKN-xCT 압전재료의 소결온도에 따라 형성된 압전체의 전기기계 결합계수를 도시한 도면이다.
- <105> 도 9를 참조하면, 본 발명에 따른 (1-x)NKN-xCT 압전재료를 이용하여 소결체인 (1-x)NKN-xCT 압전체의 소결온

도가 1050℃ 일 때, 상기 압전체의 전기기계 결합계수는 0.41로 가장 최적화된 특성을 보이는 것으로 측정되었다.

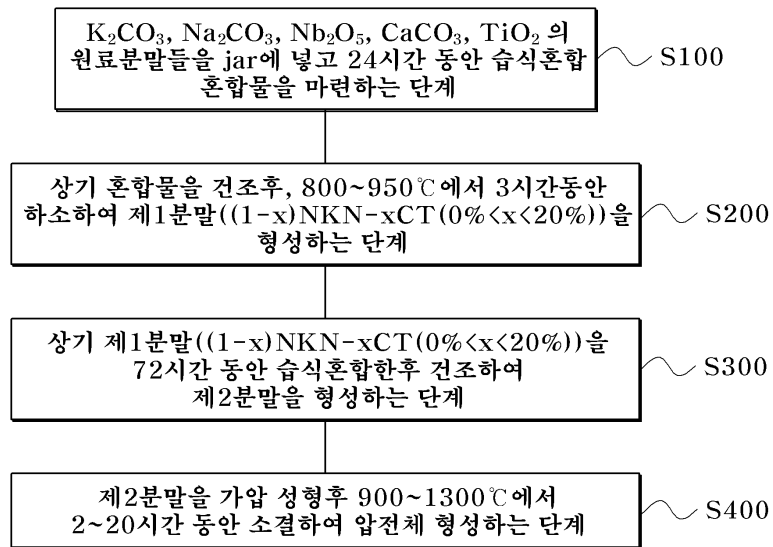
- <106> 도 10은 본 발명에 따른 (1-x)NKN-xCT 압전재료의 소결온도에 따라 형성된 압전체의 유전율을 도시한 도면이다.
- <107> 도 10을 참조하면, 본 발명에 따른 (1-x)NKN-xCT 압전재료를 이용하여 소결체인 (1-x)NKN-xCT 압전체의 소결온도가 1050℃ 일 때, 상기 (1-x)NKN-xCT 압전체의 유전률이 1300 내지 1400으로 가장 최적화된 특성을 보이는 것을 측정되었다. 자세한 것은 1316으로 측정되었다.
- <108> 이와 같이, 본 발명에 따른 (1-x)NKN-xCT 압전재료로 형성되는 (1-x)NKN-xCT 압전체는 0.95NKN-0.05CT조성에 소결온도 1050℃ 일 때, 최적화된 압전특성을 보이는 것으로 측정되었다.
- <109> 따라서 본 발명에 따른 (1-x)NKN-xCT 압전재료 및 이로 형성되는 (1-x)NKN-xCT 압전체는 NKN 계열에 CT를 혼합하기 때문에 공정을 용이하게 실시할 수 있고, NKN 세라믹에 CT를 첨가하여 고용체를 만듦으로서 수용성 문제점을 해결하면서 압전특성이 향상된 (1-x)NKN-xCT 압전재료 및 압전체를 얻을 수 있다.
- <110> 또한, 본 발명에 따른 상기 (1-x)NKN-xCT 압전재료를 사용할 경우, 환경오염물질을 사용하지 않는 비연계열 압전체를 형성할 수 있다
- <111> 이상 첨부된 도면 및 표를 참조하여 본 발명의 실시예들을 설명하였으나, 본 발명은 상기 실시예들에 한정되는 것이 아니라 서로 다른 다양한 형태로 제조될 수 있으며, 본 발명이 속하는 기술분야에서 통상의 지식을 가진 자는 본 발명의 기술적 사상이나 필수적인 특징을 변경하지 않고서 다른 구체적인 형태로 실시될 수 있다는 것을 이해할 수 있을 것이다. 그러므로 이상에서 기술한 실시예들은 모든 면에서 예시적인 것이며 한정적이 아닌 것으로 이해해야만 한다.

도면의 간단한 설명

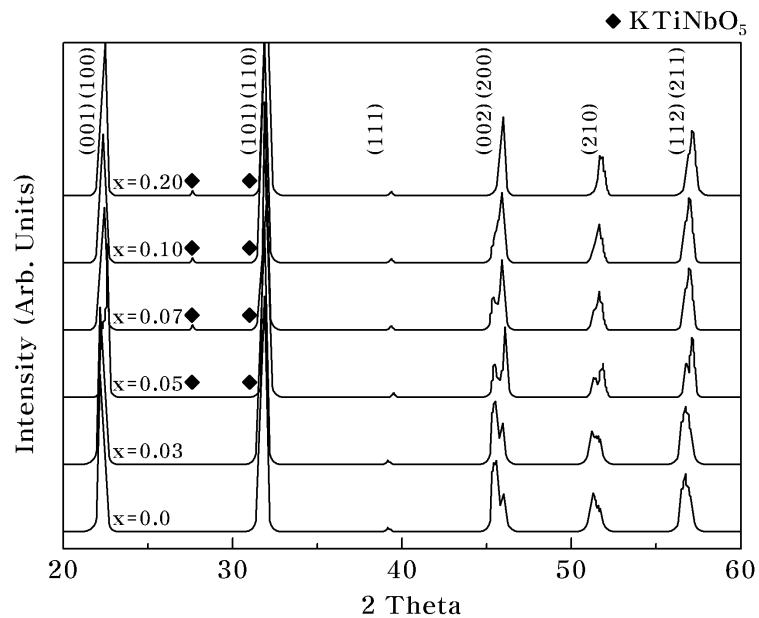
- <112> 도 1은 본 발명에 따른 (1-x)NKN-xCT 압전재료 제조방법을 도시한 공정도.
- <113> 도 2는 본 발명에 따른 (1-x)NKN-xCT 압전재료의 CT 첨가량에 따른 X-ray 회절 패턴을 도시한 도면.
- <114> 도 3은 본 발명에 따른 (1-x)NKN-xCT 압전재료의 CT량에 따른 상대밀도를 도시한 도면.
- <115> 도 4는 본 발명에 따른 (1-x)NKN-xCT 압전재료의 CT량에 따른 압전상수를 도시한 도면.
- <116> 도 5는 본 발명에 따른 (1-x)NKN-xCT압전재료의 CT량에 따른 전기기계 결합계수를 도시한 도면.
- <117> 도 6은 본 발명에 따른 (1-x)NKN-xCT 압전재료의 CT량에 따른 유전율을 도시한 도면.
- <118> 도 7은 본 발명에 따른 (1-x)NKN-xCT 압전재료의 소결온도에 따라 형성된 압전체의 상대밀도를 도시한 도면.
- <119> 도 8은 발명에 따른 (1-x)NKN-xCT 압전재료의 소결온도에 따라 형성된 압전체의 압전상수를 도시한 도면.
- <120> 도 9는 발명에 따른 (1-x)NKN-xCT 압전재료의 소결온도에 따라 형성된 압전체의 전기기계 결합계수를 도시한 도면.
- <121> 도 10은 본 발명에 따른 (1-x)NKN-xCT 압전재료의 소결온도에 따라 형성된 압전체의 유전율을 도시한 도면.

도면

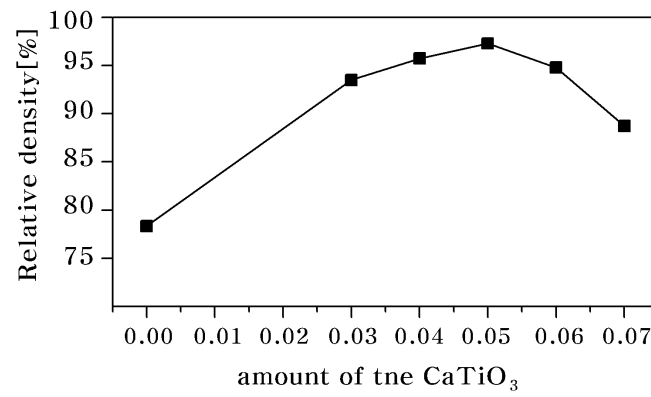
도면1



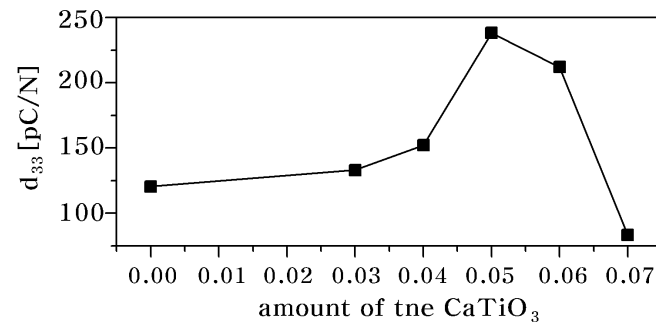
도면2



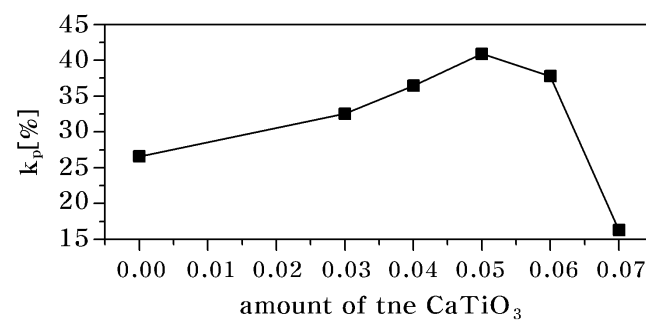
도면3



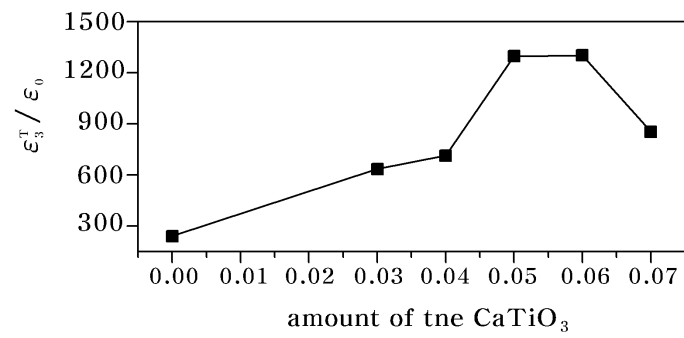
도면4



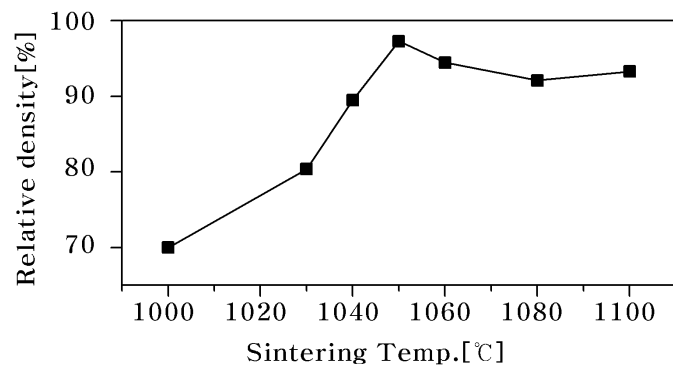
도면5



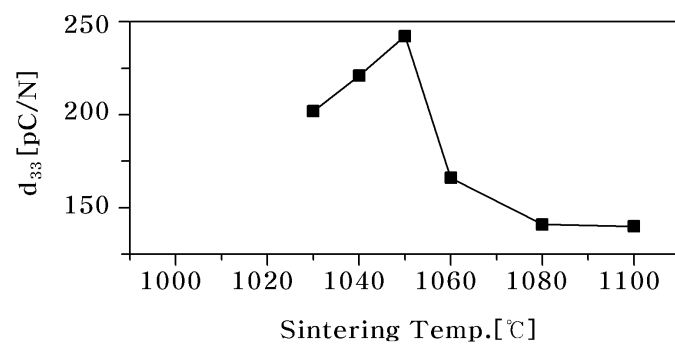
도면6



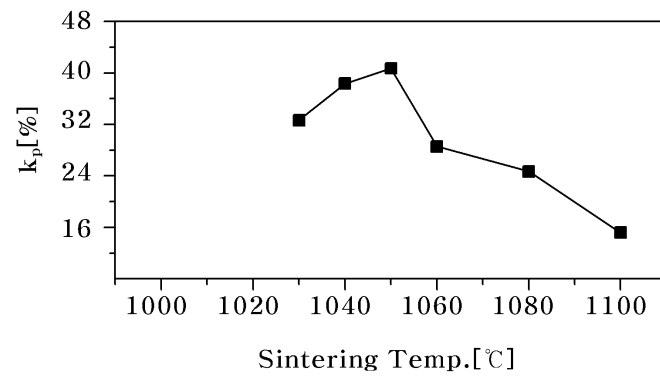
도면7



도면8



도면9



도면10

