



(19) 대한민국특허청(KR)
(12) 공개특허공보(A)

(11) 공개번호 10-2018-0116727
(43) 공개일자 2018년10월25일

(51) 국제특허분류(Int. Cl.)
C04B 35/626 (2006.01) H01B 3/12 (2006.01)
(52) CPC특허분류
C04B 35/62605 (2013.01)
H01B 3/12 (2013.01)
(21) 출원번호 10-2017-0064756
(22) 출원일자 2017년05월25일
심사청구일자 2017년05월25일
(30) 우선권주장
1020170048486 2017년04월14일 대한민국(KR)

(71) 출원인
인하대학교 산학협력단
인천광역시 남구 인하로 100, 인하대학교 (용현동)
(72) 발명자
정대용
서울특별시 성북구 성북로4길 52(돈암동, 한신한진아파트)113-602
이정근
경기도 시흥시 문화마을로16번길 51-17 (대야동) (뒷면에 계속)
(74) 대리인
이원희

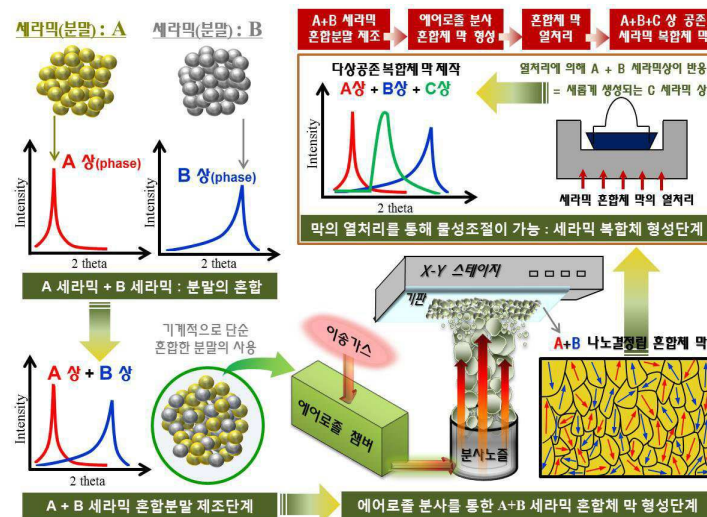
전체 청구항 수 : 총 8 항

(54) 발명의 명칭 강유전체 세라믹 복합체의 제조방법

(57) 요약

본 발명은 강유전체 세라믹 복합체의 제조방법에 관한 것이고, 본 발명의 실시예를 따르는 강유전체 세라믹 복합체의 제조방법은 제1 세라믹 분말 및 제2 세라믹 분말을 기계적으로 혼합하는 단계(단계 1); 상기 기계적으로 혼합된 제1 세라믹 분말 및 제2 세라믹 분말을 분사하여 상기 제1 세라믹 분말 및 제2 세라믹 분말이 혼재된 혼합체를 형성하는 단계(단계 2); 및 상기 혼합체를 열처리하여 상기 제1 세라믹 상 및 제2 세라믹 상을 포함하는 세라믹 복합체를 형성하는 단계(단계 3);를 포함하고, 상기 제1 유전체 분말 및 제2 유전체 분말은 서로 다른 강유전체 분말이다.

대표도 - 도1



(52) CPC특허분류

C04B 2235/5427 (2013.01)

C04B 2235/5436 (2013.01)

C04B 2235/5445 (2013.01)

(72) 발명자

박춘길

인천광역시 서구 원적로124번길 21 (가좌동, 현대아파트) 2동 204호

임지호

인천광역시 부평구 세월천로 16 (청천동, 청천푸르지오아파트) 121동 1405호

양대열

경기도 용인시 기흥구 신갈로 102 (신갈동, 원대마을한신아파트) 106동 1701호

강수빈

서울특별시 동작구 노량진로23가길 23 103동 1603호 (본동, 래미안트윈파크)

이 발명을 지원한 국가연구개발사업

과제고유번호 54862-01

부처명 미래창조과학부

연구관리전문기관 한국연구재단

연구사업명 일반연구자지원사업

연구과제명 응력조건 변화에 따른 나노그레인 강유전체의 상전이 거동 및 전기열량효과 연구

기 여 율 1/1

주관기관 인하대학교 산학협력단

연구기간 2016.11.01 ~ 2017.10.31

명세서

청구범위

청구항 1

제1 유전체 분말 및 제2 유전체 분말을 기계적으로 혼합하는 단계(단계 1);

상기 기계적으로 혼합된 제1 유전체 분말 및 제2 유전체 분말을 분사하여 상기 제1 유전체 분말 및 제2 유전체 분말이 혼재된 혼합체를 형성하는 단계(단계 2); 및

상기 혼합체를 열처리하여 상기 제1 유전체 상 및 제2 유전체 상을 포함하는 복합 유전체를 형성하는 단계(단계 3);를 포함하고, 상기 제1 유전체 분말 및 제2 유전체 분말은 서로 다른 이종의 강유전체 분말인 강유전체 세라믹 복합체의 제조방법.

청구항 2

제1항에 있어서,

상기 제1 유전체 분말 또는 상기 제2 유전체 분말은 PbTiO_3 (PT), BaTiO_3 (BT) 및 KNbO_3 (KN) 중 적어도 하나인 강유전체 세라믹 복합체의 제조방법.

청구항 3

제1항에 있어서,

상기 강유전체 세라믹 복합체는 제1 유전체 상, 제2 유전체 상, 및 제1 유전체와 제2 유전체의 혼합 상을 포함하는 강유전체 세라믹 복합체의 제조방법.

청구항 4

제1항에 있어서,

상기 강유전체 세라믹 복합체는 제1 유전체 상, 제2 유전체 상, 및 제1 유전체와 제2 유전체가 반응하여 새롭게 형성된 제3 유전체 상을 포함하는 강유전체 세라믹 복합체의 제조방법.

청구항 5

제1항에 있어서,

상기 강유전체 세라믹 복합체에 포함된 상기 제1 유전체와 제2 유전체의 혼합 상은 상기 제1 유전체 상 및 제2 유전체 상의 경계에 배치되는 강유전체 세라믹 복합체의 제조방법.

청구항 6

제1항에 있어서

상기 강유전체 세라믹 복합체에 포함된 상기 제1 유전체와 제2 유전체가 반응하여 새롭게 형성된 제3 유전체 상은 상기 제1 유전체 상 및 제2 유전체 상의 경계에 배치되는 강유전체 세라믹 복합체의 제조방법.

청구항 7

제1항에 있어서

상기 단계 3에서, 혼합체를 열처리하는 온도는 50 내지 900℃인 강유전체 세라믹 복합체의 제조방법.

청구항 8

제1항에 있어서,

상기 기계적으로 혼합된 제1 유전체 분말 및 제2 유전체 분말의 직경은 0.5 내지 500 um 인 강유전체 세라믹 복합체의 제조방법.

발명의 설명

기술 분야

[0001] 본 발명은 강유전체 세라믹 복합체의 제조방법에 관한 것이다.

배경 기술

[0003] 세라믹 소재는 과거부터 다양한 산업분야에 매우 폭넓게 적용되어 왔으며 재료의 정밀한 제어를 통해 다양한 기능을 부여하는 파인 세라믹스의 개념으로 발전되어 왔다. 하지만, 전기·전자 산업의 비약적인 발전에 의해 휴대용, 가정용, 산업용 전자기기의 수요가 급격하게 증가하는 추세에 있으며, 이와 같은 소비자의 요구를 충족시키기 위해서는 기존의 특성을 넘어서는 새로운 재료의 개발전략이 필요하다. 즉 새로운 기능을 갖는 재료개발을 위해서는 재료의 특성을 이해하고 기존과는 전혀 새로운 방식으로 접근해야 한다.

[0005] 세라믹 복합체는 우수한 특성을 발현하기 위해 두 종류 이상의 세라믹을 한 소재 내에 복합화한 소재이다. 복합체 제조는 새로운 물성을 얻을 수 있는 널리 알려진 방법이다. 복합세라믹은 단상 세라믹 소재 대비 기계적, 열적, 전기적, 화학적, 생화학적 등 다양한 물성의 향상이 가능하다.

[0007] 기존의 일반적인 세라믹 제조공정을 세부적으로 살펴보면 분말들을 원하는 조성비로 혼합하고, 상기의 과정으로 혼합된 분말(mixed powder)을 열처리 하여 화합물 형태로 합성하는 하소(calcination) 과정을 진행하게 된다. 하소과정은 원료 분말에 존재하는 유기물 불순물을 제거하거나, 수화물 또는 탄화물 등에서 물과 이산화탄소를 제거하여 완전한 산화물로 변화시키는 과정을 통해 원하는 조성으로 상합성을 하는 과정이다. 하소과정을 거쳐 합성된 분말(synthesized powder)은 성형(forming)을 통해 원하는 형태로 제작하며, 재료내부의 기공(pore) 및 잔여물(residue)을 제거하고 그 밀도를 높여 구조를 치밀화하기 위해 고온에서 소결(sintering) 공정을 진행한다. 그런데 소결과정에서 고온열처리는 치밀화 과정뿐만 아니라 결정립 성장(grain growth)을 필수적으로 동반한다. 따라서 나노크기 결정립(nano-sized grain)을 가지면서 밀도가 높은 다결정의 세라믹 소재를 구현하기란 기존의 일반적인 방법으로는 매우 어렵다고 할 수 있다.

[0009] 앞서 설명한 하소와 소결의 온도를 살펴보면 일반적으로 하소온도가 소결온도보다 낮다. 만약, 앞서 서술한 혼합 분말을 하소 과정 없이 바로 성형하여 소결할 경우, 소결과정에서 혼합 분말간의 화학반응이 발생하여 결정 구조가 바뀔 수 있으며 이때 수반되는 커다란 부피변화에 의해 일정 형태를 가지는 고밀도의 세라믹을 제작하기 어렵다. 또한, 서로 반응이 발생하는 분말을 혼합하여 소결할 경우 고온에서 혼합물질이 반응하여 하나의 상으로 변화하므로 두상이 공존하는 컴포지트를 제작하기는 어렵다. 또한, 서로 반응이 발생하는 분말을 혼합하여 소결할 경우 고온에서 혼합물질이 반응하여 하나의 상으로 변화하므로 두상이 공존하는 복합구조의 컴포지트를 제작하기는 어렵다. 특히, 저온에서 고밀도의 소결체를 얻기 위해 크기가 작은 분말을 사용하는데, 분말의 크기

가 작을수록 반응이 쉽게 일어나 나노크기의 미세구조를 가지면서 고밀도를 가지는 컴포지트를 제작하기 어려운 것이 현실이다.

- [0011] 지금까지의 새로운 특성의 세라믹을 제조하는 연구는 단일조성을 가지면서 고밀도를 구현하는 세라믹을 제조하는 것에 초점이 맞추어져 왔다. 특히 전자 세라믹 소재의 경우 그 구조가 치밀화가 되어야만 재료 내부의 결합 요소가 크게 감소하여 실제 산업적으로 사용될 수 있어, 지금까지의 연구는 치밀화 과정에 의해 자연적으로 구현되는 단일조성의 단일 상(single phase)을 탐색하는 것이 대부분이다. 결과적으로, 이러한 접근방식으로 찾을 수 있는 세라믹 조성은 제한되어 있으므로 새로운 특성을 얻기 위해서는 새로운 세라믹제조 방법이 제시되어야 한다. 즉 재료의 특성은 서로 다른 물질을 혼합하여 제조하는 방식으로 얻을 수 있으나 기존의 통상적인 세라믹 제조공정으로는 고밀도와 나노구조를 동시에 갖는 혼합물을 제조하기란 매우 어려운 실정이다.

선행기술문헌

특허문헌

- [0013] (특허문헌 0001) 미국 등록 특허 공보 제7632353호

발명의 내용

해결하려는 과제

- [0014] 본 발명의 실시예를 따르는 강유전체 세라믹 복합체의 제조방법은 상온에서 나노크기의 그레인을 가지는 고밀도의 강유전체 세라믹 복합체를 제조하고 화학적 특성, 열적 특성, 기계적 특성, 전기적 특성 등을 손쉽게 조절하고 향상시킬 수 있는 방법을 제공하는 것을 목적으로 한다.

과제의 해결 수단

- [0016] 본 발명의 실시예를 따르는 강유전체 세라믹 복합체의 제조방법은 제1 유전체 분말 및 제2 유전체 분말을 기계적으로 혼합하는 단계(단계 1); 상기 기계적으로 혼합된 제1 유전체 분말 및 제2 유전체 분말을 분사하여 상기 제1 유전체 분말 및 제2 유전체 분말이 혼재된 혼합체를 형성하는 단계(단계 2); 및 상기 혼합체를 열처리하여 상기 제1 유전체 상 및 제2 유전체 상을 포함하는 복합 유전체를 형성하는 단계(단계 3);를 포함하고, 상기 제1 유전체 분말 및 제2 유전체 분말은 서로 다른 종류의 강유전체 재료 분말이다.

- [0018] 또한, 상기 제1 유전체 분말 및 제2 유전체 분말은 PbTiO_3 (PT), BaTiO_3 (BT) 및 KNbO_3 (KN) 중 적어도 하나일 수 있다.

- [0020] 또한, 상기 제1 유전체 분말 및 제2 유전체 분말은 PbTiO_3 (PT), BaTiO_3 (BT) 및 KNbO_3 (KN) 등과 같이 강유전체 재료로 대표되는 분말이 사용될 수 있다.

- [0022] 또한, 상기 강유전체 세라믹 복합체는 제1 유전체 상, 제2 유전체 상, 및 제1 유전체 와 제2 유전체의 혼합 상을 포함할 수 있다.

- [0024] 또한, 상기 강유전체 유전체 복합체는 제1 유전체 상, 제2 유전체 상, 및 제1 유전체와 제2 유전체가 반응하여 새롭게 형성된 제3 유전체의 상을 포함할 수 있다.

[0026] 또한, 상기 강유전체 세라믹 복합체에 포함된 상기 제1 유전체와 제2 유전체의 혼합 상은 상기 제1 유전체 상 및 제2 유전체 상의 경계에 배치될 수 있다.

[0028] 또한, 상기 강유전체 세라믹 복합체에 포함된 상기 제3 유전체 상은 상기 제1 유전체 상 및 제2 유전체 상의 경계에 배치될 수 있다.

[0030] 또한, 상기 단계 3에서, 혼합체를 열처리하는 온도는 50 내지 900℃일 수 있다.

[0032] 또한, 상기 기계적으로 혼합된 제1 유전체 분말 및 제2 유전체 분말의 직경은 0.5 내지 500 μ m 일 수 있다.

발명의 효과

[0034] 본 발명의 실시예를 따르는 강유전체 세라믹 복합체의 제조방법은 원료 분말을 단순히 혼합하여 고온 소결과정 없이 상온에서 고밀도의 강유전체 세라믹 복합체를 제조하고, 이후에 제조된 막의 열처리 조건을 조정하여 혼합 물을 반응시킴으로써 고온 소결과정에서 발생하는 치밀화 및 화학반응을 시간적으로 분리하여 조절함으로써 고밀도, 나노구조 세라믹 복합체를 제조할 수 있다. 또한, 간단한 방법으로 세라믹 복합체를 제조할 수 있으며, 제조 비용을 줄일 수 있다.

도면의 간단한 설명

[0036] 도 1은 본 발명의 강유전체 세라믹 복합체 제조방법의 단계를 나타낸 모식도이다.

도 2는 BaTiO₃(BT) - KNbO₃(KN) 복합체 제작을 위한 혼합 분율과 재료의 특성에 대한 모식도이다.

도 3은 에어로졸 증착 장치의 모식도이다.

도 4a는 비교예 1에 의해 준비된 BT-KN 혼합체 막의 표면 SEM 사진이다.

도 4b는 비교예 1에 의해 준비된 BT-KN 혼합체 막의 단면 SEM 사진이다.

도 5는 비교예 1에 의해 준비된 BT-KN 혼합체 막의 EDXS 성분분석 그래프이다.

도 6은 실시예 1 내지 실시예 5 및 비교예 1에 의해 준비된 BT-KN 막의 $2\theta = 20\sim 60^\circ$ 구간에서의 X-선 회절분석 그래프이다.

도 7은 실시예 1 내지 실시예 5 및 비교예 1에 의해 준비된 BT-KN 막 및 BT, KN 분말 및 BT-KN 혼합 분말의 $2\theta = 21\sim 33^\circ$ 구간에서의 X-선 회절분석을 비교한 그래프이다.

도 8은 실시예 1 내지 실시예 5 및 비교예 1에 의해 준비된 BT-KN 막 및 BT, KN 분말 및 BT-KN 혼합 분말의 $2\theta = 43\sim 58^\circ$ 구간에서의 X-선 회절분석을 비교한 그래프이다.

도 9a는 실시예 1 내지 실시예 5 및 비교예 1에 의해 준비된 BT-KN 막의 $2\theta = 31.4^\circ$ 에 해당되는 피크의 결정립 크기(crystallite size) 변화를 나타낸 그래프이다.

도 9b는 실시예 1 내지 실시예 5 및 비교예 1에 의해 준비된 BT-KN 막의 $2\theta = 31.4^\circ$ 에 해당되는 피크의 격자 변형(lattice strain) 변화를 나타낸 그래프이다.

도 9c는 실시예 1 내지 실시예 5 및 비교예 1에 의해 준비된 BT-KN 막의 $2\theta = 31.4^\circ$ 에 해당되는 피크의 강도(peak intensity) 변화를 나타낸 그래프이다.

도 10은 실시예 1 내지 실시예 5 및 비교예 1에 의해 준비된 BT-KN 막의 $2\theta = 56.3^\circ$ BT(211)면의 면상 잔류응력(in-plane residual stress) 변화를 나타낸 그래프이다.

도 11은 실시예 1에 의해 준비된 BT-KN 세라믹 복합체 막의 제한시야전자회절(SAED) 패턴 분석사진이다.

도 12는 실시예 1에 의해 준비된 BT-KN 세라믹 복합체 막의 HR-TEM 분석 사진 및 FFT 패턴을 도시한 것이다.

도 13은 실시예 1에 의해 준비된 BT-KN 세라믹 복합체 막의 에너지 분산 엑스선(EDX) 이미지 맵핑 분석결과이다.

도 14는 실시예 1에 의해 준비된 BT-KN 세라믹 복합체 막의 에너지 분산 엑스선(EDX) 라인 프로파일 분석결과이다.

도 15는 실시예 1 내지 실시예 5 및 비교예 1에 의해 준비된 BT-KN 막의 전기장에 대한 분극의 이력곡선(P-E hysteresis loop) 분석 결과이다.

도 16은 실시예 1에 의해 준비된 BT-KN 막의 전기장에 대한 분극의 이력곡선(P-E hysteresis loop) 분석 결과이다.

발명을 실시하기 위한 구체적인 내용

[0037] 이하, 첨부된 도면을 참조하여 본 발명의 바람직한 실시 형태들을 다음과 같이 설명한다. 그러나 본 발명의 실시 형태는 여러 가지 다른 형태로 변형될 수 있으며, 본 발명의 범위가 이하 설명하는 실시 형태로 한정되는 것은 아니다. 또한, 본 발명의 실시 형태는 당해 기술분야에서 평균적인 지식을 가진 자에게 본 발명을 더욱 완전하게 설명하기 위해서 제공되는 것이다. 따라서, 도면에서의 요소들의 형상 및 크기 등은 보다 명확한 설명을 위해 과장될 수 있으며, 도 상의 동일한 부호로 표시되는 요소는 동일한 요소이다. 또한, 유사한 기능 및 작용을 하는 부분에 대해서는 도 전체에 걸쳐 동일한 부호를 사용한다. 덧붙여, 명세서 전체에서 어떤 구성요소를 "포함"한다는 것은 특별히 반대되는 기재가 없는 한 다른 구성요소를 제외하는 것이 아니라 다른 구성요소를 더 포함할 수 있다는 것을 의미한다.

[0039] 강유전체 세라믹 복합체의 제조방법

[0040] 도 1은 본 발명의 실시예를 따르는 강유전체 세라믹 복합체의 제조방법의 각 단계를 나타낸 모식도이다.

[0042] 도 1을 참조하면, 본 발명의 실시예를 따르는 강유전체 세라믹 복합체의 제조방법은 제1 유전체 분말 및 제2 유전체 분말을 기계적으로 혼합하는 단계(단계 1); 상기 기계적으로 혼합된 제1 유전체 분말 및 제2 유전체 분말을 분사하여 상기 제1 유전체 분말 및 제2 유전체 분말이 혼재된 혼합체를 형성하는 단계(단계 2); 및 상기 혼합체를 열처리하여 상기 제1 유전체 상 및 제2 유전체 상을 포함하는 복합 유전체를 형성하는 단계(단계 3);를 포함하고, 상기 제1 유전체 분말 및 제2 유전체 분말은 서로 다른 이종의 강유전체 재료 분말이다.

[0044] 상기 제1 유전체 분말 및 제2 유전체 분말은 서로 다른 이종의 강유전체 재료 분말이고, PbTiO_3 (PT), BaTiO_3 (BT) 및 KNbO_3 (KN) 중 적어도 하나일 수 있다.

[0046] 상기 제1 유전체 분말 대 제2 유전체 분말은 몰비로 1:99 내지 99:1으로 혼합될 수 있고, 상기 분말의 몰비는 특별히 제한되지 않는다.

[0048] 상기 혼합단계에서 습식 혼합 방법을 사용하여 분말을 혼합할 경우, 건조기를 사용하여 혼합된 분말을 건조하는 단계를 더 포함할 수 있다.

[0050] 상기 기계적으로 혼합된 제1 유전체 분말 및 제2 유전체 분말의 직경은 0.5 내지 $500\mu\text{m}$ 일 수 있다.

- [0052] 상기 제1 유전체 분말 및 제2 유전체 분말의 직경이 $0.5\mu\text{m}$ 미만이면, 상기 분말의 반응성이 높아 후속 열처리에 의한 유전체 복합체의 물성의 조절이 어려울 수 있다. 상기 제1 유전체 분말 및 제2 유전체 분말의 직경이 $500\mu\text{m}$ 를 초과하면, 분사 방법에 의해서 형성되기에 직경이 커서 혼합체의 형성이 어려울 수 있다.
- [0054] 상기 제1 유전체 분말 및 제2 유전체 분말을 기계적으로 혼합하는 단계에서, 상기 제1 유전체 분말 및 제2 유전체 분말을 혼합하는 방법은 믹서, 볼 밀(ball mill), 어트리션 밀(attrition mill), 제트 밀(jet mill), 디스크 밀(disk mill) 및 3-롤 밀(3-roll mill) 중 적어도 하나를 사용하여 수행될 수 있고, 상기 혼합 방법은 특별히 이에 제한되지 않는다. 상기 제1 유전체 및 제2 유전체 분말을 혼합할 때, 습식 혼합을 행한 후에는 건조과정이 추가로 필요하지만 건조를 위해 특별히 한정된 설비를 사용해야 하는 것은 아니다. 상기 제1 유전체 분말 및 제2 유전체 분말을 혼합하는 방법에 따라 분말의 파쇄 정도에 따라 입도가 달라질 수 있고, 혼합시간이 달라질 수 있다. 따라서, 혼합시간을 조절함으로써 제1 유전체 분말 및 제2 유전체 분말의 입도를 조절할 수 있다. 후속의 단계를 거쳐 생성될 유전체 복합체의 공정 균일도 향상을 위해 특정 크기의 입도 분포를 갖는 분말을 회수하여 사용될 수 있다.
- [0056] 상기 기계적으로 혼합된 제1 유전체 분말 및 제2 유전체 분말을 분사하여 상기 제1 유전체 분말 및 제2 유전체 분말이 혼재된 혼합체를 형성하는 단계에서, 상기 혼합체를 형성하는 방법은 상기 유전체 분말을 분사하는 방법은 콜드 스프레이(cold spray), 에어로졸 증착(aerosol deposition) 또는 과립 진공 분사(granule spray in vacuum) 방법이 사용될 수 있으나, 바람직하게 에어로졸 증착 또는 과립 진공 분사 방법에 의해 수행될 수 있다.
- [0058] 상기 혼합체를 열처리하여 상기 제1 유전체 상 및 제2 유전체 상을 포함하는 유전체 복합체를 형성하는 단계에서, 상기 유전체 복합체는 제1 유전체 상, 제2 유전체 상, 및 제1 유전체와 제2 유전체가 반응하여 새롭게 생성된 제3 유전체의 상을 포함할 수 있다.
- [0060] 에어로졸 증착 공법을 비롯한 분사 기법 기반의 유전체 혼합체 제조방법은 분말 분사되면서 분말끼리의 충돌 및 기관과의 충돌로 더욱 미세하게 분쇄되면서 혼합체 막은 원료분말에 비교하여 결정성이 저하될 수 있다. 저하된 결정성을 회복하기 위하여 또는 원하는 전기적, 기계적 물성을 얻기 위하여 열처리가 수행될 수 있다. 본 발명의 실시예를 따르는 유전체 복합체는 종래의 기술과 비교하여 소성 변형 및 분사로 야기된 내부 잔류 응력이 존재하여 열처리에 대한 반응성이 달라질 수 있다.
- [0062] 본 발명의 실시예를 따르는 유전체 복합체는 제1 유전체 상, 제2 유전체 상 및 제1 유전체와 제2 유전체의 혼합상이 공존할 수 있다. 거시적인 관점에서는 제1 유전체 및 제2 유전체 분말의 조성비를 유지하지만 국부적 또는 나노 스케일 영역에서는 제1 유전체 상 또는 제2 유전체 상이 우세하게 존재할 수 있고, 또는 제1 유전체와 제2 유전체가 화학적으로 반응하여 새롭게 형성된 제3 유전체 상이 존재할 수 있다.
- [0064] 따라서, 본 발명의 실시예를 따르는 유전체 복합체의 제조방법에 의해 제조된 유전체 복합체는 종래의 방법에 의해 제조된 유전체 복합체의 미세구조와 다른 구조를 가질 수 있고, 더 개선된 유전체 복합체 물성을 가질 수 있다.
- [0066] 상기 유전체 복합체에 포함된 상기 제1 유전체와 제2 유전체의 혼합 상은 상기 제1 유전체 상 및 제2 유전체 상의 경계에 배치될 수 있다.
- [0068] 상기 단계 3에서, 혼합체를 열처리하는 온도는 50 내지 900°C 일 수 있다. 상기 강유전체 세라믹 혼합체를 열처리하는 온도는 바람직하게 300 내지 700°C 일 수 있다.

- [0070] 도 15를 참조하면, BT-KN 강유전체 세라믹 복합체의 경우 600℃에서 최대의 강유전성을 보이는 것을 알 수 있다.
- [0072] <실시예 1> 강유전체 세라믹 복합체의 제조
- [0073] BT-KN 세라믹 복합체 막의 제조
- [0074] 일반적으로 상온에서 강유전체 특성을 갖는 BaTiO₃(BT)를 제1 유전체 분말로 준비하였고, 강유전체 특성을 갖는 KNbO₃(KN)를 제2 유전체 분말로 준비하였다.
- [0076] 단계 1. BaTiO₃(BT) 및 KNbO₃(KN) 원료분말을 혼합하는 단계
- [0077] BT와 KN 원료분말은 분자량을 고려하여 BT:KN = 50:50 mole% 비율로 계량한 후 에탄올 및 지르코니아 볼과 함께 용기에 넣어 100 rpm 내외의 속도로 12시간 동안 볼밀(ball-mill) 혼합하였다. 상기 혼합된 분말은 건조오븐(convection oven)에서 70℃ 온도로 24시간 유지시켜 완전 건조시켰으며, 유발과정 후 150 메쉬(mesh)로 체가름(sieving)하여 BaTiO₃(BT) 및 KNbO₃(KN) 혼합분말을 제조하였다.
- [0079] 단계 2. BaTiO₃(BT) - KNbO₃(KN) 혼합체 막 제작 단계
- [0080] 상기 단계 1에서 제조된 BaTiO₃(BT) 및 KNbO₃(KN) 혼합분말은 도 3에 나타난 에어로졸 증착 장비를 이용하여 (111) 방향으로 Pt/Ti/SiO₂ 하부전극/절연체(bottom electrode/insulator) 층이 코팅된 단결정 실리콘(Si) 기판을 X-Y 스테이지에 부착하여 위치시켰다.
- [0081] 에어로졸 증착 공정은 상온에서 이뤄지며, 막의 증착을 위해 혼합분말이 보관된 에어로졸 챔버에 공급한 질소(N₂) 가스의 유량은 MFC 1 = 15 slm (±3), MFC 2 = 10 slm (±5)으로 제어하였고, 진공챔버의 압력은 5 x 10⁻² torr로 유지하였으며, 기판과 분사노즐 사이의 거리는 5 mm, 기판이 부착된 스테이지의 이동속도는 1 mm/s, 이동횟수는 3~5회 반복하여 BaTiO₃(BT) - KNbO₃(KN) 혼합체 막을 제작하였다.
- [0083] 단계 3. BT-KN 에어로졸 증착 막을 열처리하는 단계
- [0084] 상기 단계 2에서 제조된 BaTiO₃(BT) - KNbO₃(KN) 혼합체 막을 600℃에서 2시간 열처리하여 BT-KN 세라믹 복합체 막을 제조하였다.
- [0086] <실시예 2> 강유전체 세라믹 복합체의 제조
- [0087] 상기 실시예 1의 단계 3에서 600℃ 열처리 조건 대신 300℃에서 열처리한 것을 제외하고는 상기 실시예 1과 동일하게 수행하여 BT-KN 세라믹 복합체 막을 제조하였다.
- [0089] <실시예 3> 강유전체 세라믹 복합체의 제조
- [0090] 상기 실시예 1의 단계 3에서 600℃ 열처리 조건 대신 400℃에서 열처리한 것을 제외하고는 상기 실시예 1과 동일하게 수행하여 BT-KN 세라믹 복합체 막을 제조하였다.
- [0092] <실시예 4> 강유전체 세라믹 복합체의 제조

- [0093] 상기 실시예 1의 단계 3에서 600℃ 열처리 조건 대신 500℃에서 열처리한 것을 제외하고는 상기 실시예 1과 동일하게 수행하여 BT-KN 세라믹 복합체 막을 제조하였다.
- [0095] <실시예 5> 강유전체 세라믹 복합체의 제조
- [0096] 상기 실시예 1의 단계 3에서 600℃ 열처리 조건 대신 700℃에서 열처리한 것을 제외하고는 상기 실시예 1과 동일하게 수행하여 BT-KN 세라믹 복합체 막을 제조하였다.
- [0098] <비교예 1> BT-KN 혼합체 막의 제조
- [0099] 상기 실시예 1의 단계 1 및 2만을 동일하게 수행하여 BT-KN 혼합체 막을 제조하였다.
- [0101] <실험예 1> 주사전자현미경(SEM)을 이용한 PZ-PT 세라믹 혼합체 미세구조 분석
- [0102] BT-KN 세라믹 복합체 분석
- [0103] 도 4a는 비교예 1에 의해 준비된 BT-KN 혼합체 막의 표면 SEM 사진이다.
- [0104] 도 4b는 비교예 1에 의해 준비된 BT-KN 혼합체 막의 단면 SEM 사진이다.
- [0105] 도 4a를 참조하면 BT-KN 혼합체 막의 표면은 나노크기의 미세구조를 갖는 전형적인 에어로졸 증착에 의한 막의 형상을 보이는 것을 알 수 있다. 도 4b를 참조하면, 기판으로부터 약 5 μm 두께의 고밀도 막이 증착된 것을 확인할 수 있다.
- [0107] <실험예 2> 에너지분산 X-선 스펙트럼(EDXS) 분석을 이용한 PZ-PT 세라믹 혼합체 막 성분분석
- [0108] BT-KN 세라믹 복합체 분석
- [0109] 도 5는 비교예 1에 의해 준비된 BT-KN 혼합체 막의 EDXS 성분분석 그래프이다.
- [0110] 도 5를 참조하면, BT:KN의 원자 비가 49.9:50.1 atomic%로 분포하는 것을 확인할 수 있었다. 일반적으로 BT와 KN 분말의 밀도가 다르고 각각의 무게에 따른 분말의 운동량 차이로 인해 에어로졸 증착 공정시 증착되는 막의 성분은 초기 혼합된 분말의 비율과 달라질 수 있으나, 최종적으로 제작된 BT-KN 혼합체 막은 나노구조를 갖는다는 점과 EDXS 장치의 오차범위를 고려한다면 초기 50:50 비율로 혼합한 BT-KN 혼합 분말과 거의 동일한 성분을 갖는 막이 형성되었다고 볼 수 있다.
- [0112] <실험예 3> X-선 회절 분석을 통한 결정구조 분석
- [0113] BT-KN 세라믹 복합체 분석
- [0114] 도 6은 실시예 1 내지 실시예 5 및 비교예 1에 의해 준비된 BT-KN 막의 $2\theta = 20\sim 60^\circ$ 구간에서의 X-선 회절분석 그래프이다.
- [0115] 도 7은 실시예 1 내지 실시예 5 및 비교예 1에 의해 준비된 BT-KN 막 및 BT, KN 분말 및 BT-KN 혼합 분말의 $2\theta = 21\sim 33^\circ$ 구간에서의 X-선 회절분석 그래프이다.
- [0116] 도 7을 참조하면, BT, KN 및 BT-KN 혼합 분말의 원료 분말의 피크와 실시예 1 내지 실시예 5 및 비교예 1에 의해 준비된 BT-KN 막의 피크가 거의 동일하게 겹쳐진 형태로 나타나는 것을 확인할 수 있고, 이를 통해 열처리를 통한 피크 이동은 발생하지 않은 것을 알 수 있다.
- [0118] 도 8은 실시예 1 내지 실시예 5 및 비교예 1에 의해 준비된 BT-KN 막 및 BT, KN 분말 및 BT-KN 혼합 분말의 $2\theta = 43\sim 58^\circ$ 구간에서의 X-선 회절분석 그래프이다.
- [0119] 도 8을 참조하면, BT, KN 및 BT-KN 혼합 분말의 원료 분말의 피크와 실시예 1 내지 실시예 5 및 비교예 1에 의

해 준비된 BT-KN 막의 BT 및 KN 분말 각각의 면지수에 대한 피크들이 동일하게 겹쳐진 형태로 나타나는 것을 확인할 수 있고, 이를 통해 열처리를 통한 피크 이동은 발생하지 않은 것을 알 수 있다. 또한, 열처리 온도가 높아질수록 해당 면지수에 대한 피크 강도가 상대적으로 증가하는 현상을 나타내고 있으며, 온도 상승에 의해 BT-KN 복합체 막의 결정성은 전체적으로 증가되어 600℃ 온도에서 포화상태를 보이며, 현상학적으로 700℃ 온도에 도달하면 결정성이 오히려 감소하는 현상이 발생하는 것으로 해석할 수 있다.

[0121] 도 9a는 실시예 1 내지 실시예 5 및 비교예 1에 의해 준비된 BT-KN 막의 $2\theta = 31.4^\circ$ 에 해당되는 피크의 결정립 크기(crystallite size) 변화를 나타낸 그래프이다.

[0122] HR-XRD 분석을 통해 추출할 수 있는 결정학적 변화량은 외부의 다양한 요인에 따른 막의 결정상태를 해석할 수 있는 중요한 정보가 될 수 있으며, 각각의 온도에서 발생하는 $2\theta = 31.4^\circ$ 각도에 해당되는 BT-KN 막의 결정면을 통해 추출한 결정립 크기(crystallite size)를 도 9a에 나타내었다.

[0123] 도 9a를 참조하면, 결정크기는 열처리 온도가 상승하면 함께 증가하는 경향을 보이고, 600℃ 온도에서 포화하는 경향을 보이는 것을 알 수 있다.

[0125] 도 9b는 실시예 1 내지 실시예 5 및 비교예 1에 의해 준비된 BT-KN 막의 $2\theta = 31.4^\circ$ 에 해당되는 피크의 격자 변형(lattice strain) 변화를 나타낸 그래프이다.

[0126] 도 9b를 참조하면 격자 변형의 값은 격자적 입장에서의 변형을 나타내며 이와 같은 물리량은 해당 물질에 대한 결정의 미소변형(micro strain)으로 이해할 수 있으며, 일정한 면간거리(d -spacing)를 갖는 격자구조에 불규칙한 면간거리가 혼재되면 그 값이 증가하게 되는 물리량으로서 큰 의미로 격자에 발생하는 스트레스 요인이라고 할 수 있다. 상기 격자변형의 물리량은 열처리 온도가 증가할수록 점차적으로 낮아져 600℃ 온도에서 거의 포화하는 경향을 보이는 것을 알 수 있다.

[0128] 도 9c는 실시예 1 내지 실시예 5 및 비교예 1에 의해 준비된 BT-KN 막의 $2\theta = 31.4^\circ$ 에 피크의 강도(peak intensity) 변화를 나타낸 그래프이다.

[0129] 도 9c를 참조하면, $2\theta = 31.4^\circ$ 각도의 피크 강도는 400℃ 온도에서 미세한 변곡점을 갖고 600℃ 온도까지 점차적으로 증가하여 결정성이 향상되는 특성을 나타내지만, 700℃ 온도구간에서 2배 이상으로 그 값이 감소하여 결정성이 급격하게 낮아지는 현상을 보인다. 즉 전체적으로 600℃ 온도에서 열처리한 BT-KN 복합체 막의 결정학적 물리량은 포화상태를 보이고 있는 것을 알 수 있다.

[0131] 본 발명의 실시예를 따르는 세라믹 복합체의 제조방법에 의해 준비된 BT-KN 복합체 막은 원료분말이 고속으로 기관과 충돌하면서 기관과 막 사이에 큰 응력이 발생할 수 있으며, 이와 같이 생성되는 막내 잔류응력은 최종적으로 제작되는 막의 기계적인 강도 및 신뢰성 등을 저하시킬 수 있는 원인이 될 수 있다. BT-KN 혼합체 막은 조성 및 성분에 따라 각기 다른 열팽창계수 (CTE: coefficient of thermal expansion)를 갖고 있으며, 증착에 사용된 Si 기관과 BT-KN 막의 열팽창 계수 차이에 의해 각각의 열처리 온도에서 서로 다른 잔류응력이 발생할 수 있다. 막내 잔류응력을 분석하기 위해 $2\theta = 56.3^\circ$ BT(211)면에 해당하는 피크의 HR-XRD 분석을 통해 절대적인 수치로 막내 잔류응력을 도출하였고, 그 결과를 도 10에 나타내었다.

[0132] 도 10을 참조하면, 잔류응력은 비교예 3에 의해 준비된 BT-KT 혼합체 막에서 크게 작용하고 있으며, 비교예 3에 의한 혼합체 막은 -308.5 MPa의 강한 압축잔류응력 값을 갖는 것을 확인할 수 있다. 상기 압축잔류응력은 열처리를 통해 완화될 수 있으며, 열처리 온도가 증가함에 따라 (-) 값의 압축 잔류응력은 (+) 값의 인장잔류응력(tensile residual stress)으로 완화되는 모습을 보이고 결과적으로 실시예 1의 600℃ 에서 열처리한 BT-KN 복합체 막의 1.5 MPa 값은 오차범위를 고려한다면 막내 잔류응력은 발생되지 않았다고 볼 수 있다.

[0133] 이와 같이 잔류응력이 발생하지 않는 실시예 1의 600℃ 온도조건을 기준으로 하여 비교해 보면, 실시예 4의 500℃ 온도에서는 인장 잔류응력이 발생하고, 실시예 5의 700℃ 온도에서는 압축잔류 응력이 발생함을 보이며, 이와 같은 불규칙한 변화는 큐리온도(T_c) = -10℃, 205℃, 408℃의 상전이 온도마다 열팽창 계수가 연속적으로 변

화하는 KN의 물성에 기인한 것이라고 할 수 있다.

[0135] <실험예 4> 제한시아전자회절(SAED)분석을 통한 결정구조 확인

[0136] BT-KN 세라믹 복합체 분석

[0137] 도 11은 상기 실시예 1에 의해 준비된 BT-KN 세라믹 복합체 막의 제한시아전자회절(SAED) 패턴 분석사진이다.

[0138] 도 11을 참조하면 BT-KN 복합체 막의 SAED 패턴은 많은 점(spot)들이 다양한 지름을 갖는 원형의 링(ring)을 구성하고 있는 형태가 나타나고 있음을 확인할 수 있다. 이와 같은 결과는 전자빔(electron beam)으로 투과된 BT-KN 복합체 막 내부의 결정구조가 나노결정립을 갖는 다결정(polycrystalline)의 상태임을 예측할 수 있으며, 실제 측정된 링 패턴의 반지름을 카메라 상수 값으로 나누어 표기한 결과 BT 그리고 KN 결정면에 해당하는 간격의 다양한 회절패턴이 나타난 것으로 확인되었다.

[0140] <실험예 5> 재료 내부의 형상 및 결정상태 분석

[0141] BT-KN 세라믹 복합체 분석

[0142] 도 12는 BT-KN 상기 실시예 1에 의해 준비된 BT-KN 세라믹 복합체 막의 HR-TEM 사진 및 FFT 패턴을 도시한 것이다. 단일 결정면의 패턴을 보이는 부분은 Area, 결정면의 패턴이 교차되는 경계부분을 Boundary area로 표기하였고, 각각의 영역에 해당하는 FFT 패턴을 각각 나타내었다.

[0143] 도 12를 참조하면, HR-TEM 분석 결과에서 나타내고 있는 BT-KN 복합체의 결정구조는 BT, KN 각각의 성분에 해당하는 결정면이 존재하는 다결정의 상태임을 알 수 있으며, 각각의 나노결정립은 일정한 경계를 바탕으로 서로 공존하고 있는 것을 확인할 수 있다.

[0144] 도 12는 Area 1에 해당하는 결정면의 패턴에서 측정된 면간거리는 0.286nm의 간격을 갖는 orthorhombic KN(020)면에 해당하는 면간거리이며, Area 2의 영역에 해당하는 결정면은 0.282 nm에 해당하는 tetragonal BT(110)의 면간거리와, 이 결정면에서 90° 방향으로 나타나는 0.201 nm에 해당하는 tetragonal BT(002)의 면간거리를 갖는 수치가 각각 측정되었다. 이와 같이 Area 1 : KN과 Area 2 : BT결정면이 교차되는 지점을 Area 3:Boundary area와 같이 나타내었고, 이 경계부분의 실시간 FFT 패턴은 각각의 영역에서 나타나는 패턴이 동시에 구현되며, 이는 각각의 결정면의 격자가 서로 교차되며 경계부분을 형성하는 것을 확인할 수 있다. 이와 같은 경계영역에서의 발생하는 격자의 뒤틀림은 나노 크기의 영역에서 서로 다른 물질의 결정면들이 공존하기 위해 경계를 형성할 때 격자 자체에 스트레스가 발생하여 결정의 면간거리를 인위적으로 변화시키는 현상으로 이해할 수 있다. 이를 통해 미시적 관점에서 BT-KN 복합체 막의 결정구조는 무수히 많은 경계영역을 이루는 나노 크기의 결정면이 상호 공존하는 형태임을 알 수 있다.

[0146] <실험예 6> 에너지 분산 엑스선 프로파일을 통한 내부의 성분분석

[0147] BT-KN 세라믹 복합체 분석

[0148] 도 13은 상기 실시예 1에 의해 준비된 BT-KN 세라믹 복합체 막의 에너지 분산 엑스선 이미지 맵핑 분석결과이다.

[0149] 도 13을 참조하면 미시적 관점에서의 BT-KN 복합체 막은 도 13에 나타난 경계의 상단영역에는 KN 성분이 하단영역은 BT 성분이 과잉 분포되어 있는 상태임을 확인할 수 있으며, TEM 이미지 전체에 해당하는 성분분포는 BT:KN 물질이 약 1:1 atomic% 비율을 나타내고 있음을 알 수 있다.

[0150] 도 13에서 대칭적으로 경계부분을 형성하는 영역에서는 Ba-Ti 원소, K-Nb 원소가 각각 과잉 분포되어 존재하지만 BT 풍부 영역에서 KN 성분이 아예 존재하지 않는 것은 아니며, 반대로 KN 풍부 영역에도 BT 성분이 어느 정도 분포하고 있음을 보여주고 있다. 이와 같은 결과는 나노 크기의 영역에서 BT와 KN 각각의 물질이 조성적으로 상호 공존하며 막을 구성하고 있다는 것을 확인할 수 있다.

- [0152] 도 14는 상기 실시예 1에 의해 준비된 BT-KN 세라믹 복합체 막의 라인 프로파일 분석결과이다.
- [0153] 도 14를 참조하면, 해당 라인을 스캔한 직선 구간에서의 산소(O) 성분은 전체구간에서 비교적 일정하게 검출되었고, 바륨(Ba)과 티타늄(Ti) 성분은 라인 우측방향으로 이동할수록 검출의 양이 증가되며 칼륨(K)과 나이오븀(Nb) 성분이 교차되는 지점에서는 그 값이 급격하게 상승하는 것을 알 수 있다.
- [0154] 이와는 반대로 칼륨(K)과 나이오븀(Nb) 성분은 라인 우측 방향으로 이동할수록 검출되는 양이 감소하는 모습을 보이며, 이는 BT 와 KN 성분을 갖는 결정립이 경계를 이루는 경계부분으로 생각할 수 있다. 또한, 라인 좌측영역인 KN 과잉분포 지역은 라인 우측방향의 BT 풍부 영역에 비해 상대적으로 KN 과 BT의 성분이 공존하는 영역임을 확인할 수 있으며, 이와 같은 미시적 관점에서의 분석을 통해 BT-KN AD 필름을 구성하는 각각의 물질은 나노 결정립을 형성하고 이에 따른 수많은 경계 층(boundary layer)을 통해 조성적·결정학적으로 상호 공존하고 있다는 사실을 확인할 수 있다.
- [0156] <실험예 7> 전기장에 대한 분극의 이력곡선 분석을 통한 강유전특성 분석
- [0157] BT-KN 세라믹 복합체 분석
- [0158] 도 15는 실시예 1 내지 실시예 5 및 비교예 1에 의해 준비된 BT-KN 세라믹 복합체 막의 전기장에 대한 분극의 이력곡선(P-E hysteresis loop) 분석 결과이다.
- [0159] 도 15를 참조하면, 300 내지 700℃ 온도에서 열처리한 BT-KN 복합체 막의 경우에는 외부의 전기장이 제거되어도 잔류분극이 존재하는 것을 확인할 수 있으며, 전기장의 변화에 의해 잔류분극 값이 증가하고, 전기장의 방향에 의해 도메인이 재정렬되는 강유전체 이력곡선을 보이고 있다. 이는 상유전 상을 갖는 비교예 3에 의한 BT-KN 혼합체 막에 열적요인을 가함으로 막의 결정구조가 전체적으로 강유전상으로 변화된 것이며, 결과적으로 실시예 1의 600℃ 온도에서 열처리한 BT-KN 복합체 막의 경우 다른 온도구간에서 열처리한 막에 비해 강유전성(ferroelectricity)이 크게 향상되었음을 알 수 있다.
- [0160] 표 1은 실시예 1 내지 실시예 5에 의해 준비된 BT-KN 세라믹 복합체 막의 포화분극(P_s), 잔류분극(P_r) 및 항전계(E_c) 값의 절대적인 수치를 나타내고 있다.

표 1

	포화분극($\mu\text{C}/\text{cm}^2$)	잔류분극($\mu\text{C}/\text{cm}^2$)	항전계(kV/cm)
실시예 2	1.02	3.75	50.73
실시예 3	5.39	1.04	24.57
실시예 4	9.09	3.79	44.88
실시예 1	10.69	3.21	33.64
실시예 5	9.38	1.66	15.51

- [0163] 표 1을 참조하면, 포화분극(P_s) 값은 실시예 1의 600℃ 온도까지 점차적으로 상승하고 실시예 5의 700℃ 온도에서 감소하는 것을 알 수 있으며, 잔류분극(P_r) 값은 실시예 4의 500℃ 온도에서 최대치를 보이지만 도메인에 존재하는 잔류분극을 사라지게 하는 항전계(E_c) 값이 상당히 높아 강유전성의 관점에서는 실시예 1의 600℃ 온도에서 열처리한 BT-KN 복합체 막이 더욱 우수한 강유전 특성을 갖는다고 볼 수 있다. 이와 같은 조건에서 외부의 열적요인을 더욱 강하게 가한 실시예 5의 700℃ 온도구간은 실시예 1의 600℃ 온도에 비해 강유전성이 감소되는 특성을 보이며, 결정 크기 조대화 및 격자 변형 감소가 600℃에서 포화상태가 되고, 잔류응력이 전혀 작용하지 않는 600℃ 온도에 비해 -7.3 MPa 압축 잔류응력이 막내에 작용하는 700℃ 열처리 복합체 막의 결정성 저하를 통해 강유전성의 감소를 설명할 수 있다. 즉 미결정의 조대화 및 격자의 마이크로 변형(micro strain)은 600℃ 온도구간에서 포화됨을 보이지만, 기관과 막의 열팽창 계수의 차이에 의한 마이크로 변형은 700℃ 온도구간에서 압축응력으로 작용하여 결정의 전체적인 격자구조에 변형을 발생시켰으며, 이와 같은 사실을 통해 격자적 입장에서 600℃ 온도는 BT-KN 복합체 막의 결정구조를 가장 안정한 상태로 유지시키는 임계온도일 수 있다.

[0165] 도 16은 실시예 1에 의해 준비된 BT-KN 복합체 막의 전기장에 대한 분극의 이력곡선(P-E hysteresis loop) 분석 결과이다.

[0166] 도 16을 참조하면, 실시예 1에 의해 준비된 BT-KN 세라믹 복합체 막은 최종적으로 400 kV/cm의 전기장에서 잔류 분극(P_r)= 3.21 $\mu\text{C}/\text{cm}^2$, 포화분극(P_s) = 10.69 $\mu\text{C}/\text{cm}^2$, 항전계(E_c)= 33.64 kV/cm 값을 갖는 강유전체 막을 제작할 수 있었다.

[0168] 본 발명은 상술한 실시 형태 및 첨부된 도면에 의해 한정되는 것이 아니며 첨부된 청구범위에 의해 한정하고자 한다. 따라서, 청구범위에 기재된 본 발명의 기술적 사상을 벗어나지 않는 범위 내에서 당 기술분야의 통상의 지식을 가진 자에 의해 다양한 형태의 치환, 변형 및 변경이 가능할 것이며, 이 또한 본 발명의 범위에 속한다고 할 것이다.

부호의 설명

[0171] 100: 에어로졸 증착 장치

110 : 진공펌프 120 : X-Y 스테이지

130 : 진공챔버 140 : Si 기판

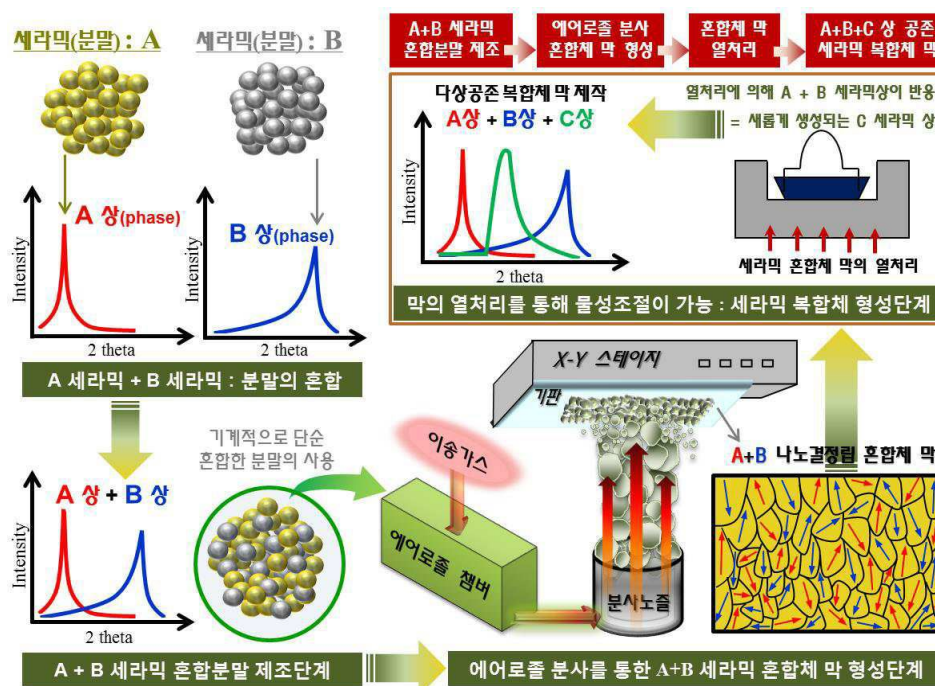
150 : 분사노즐 160 : MFC 1

170 : MFC 2 180 :에어로졸 챔버

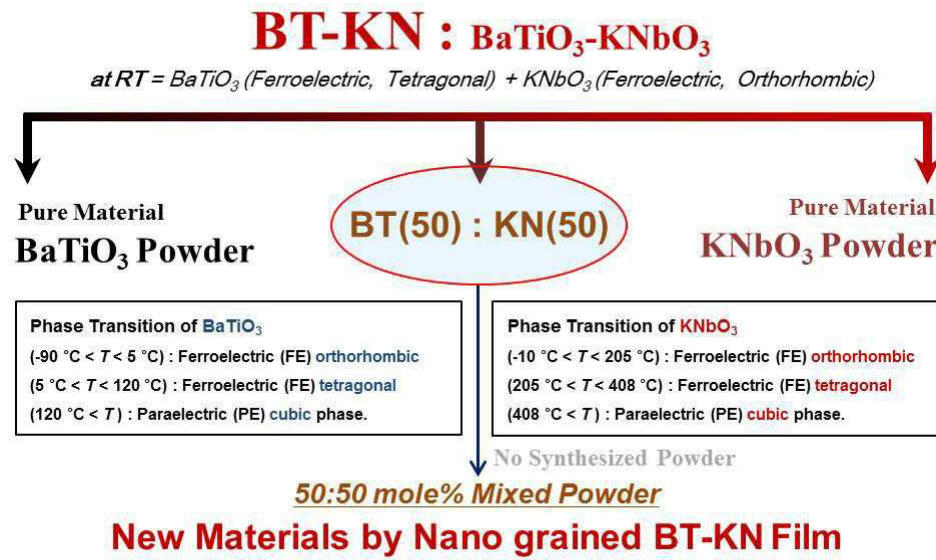
190 : 이송가스용기

도면

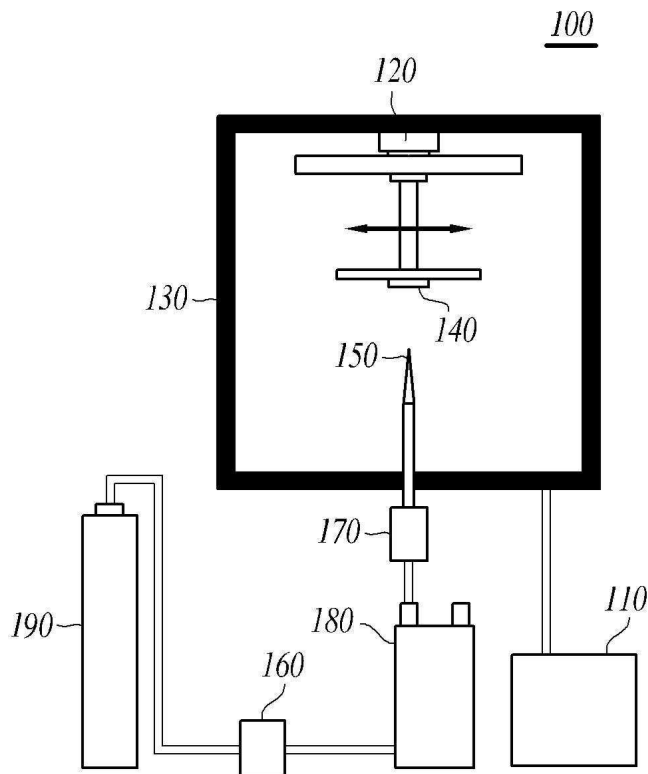
도면1



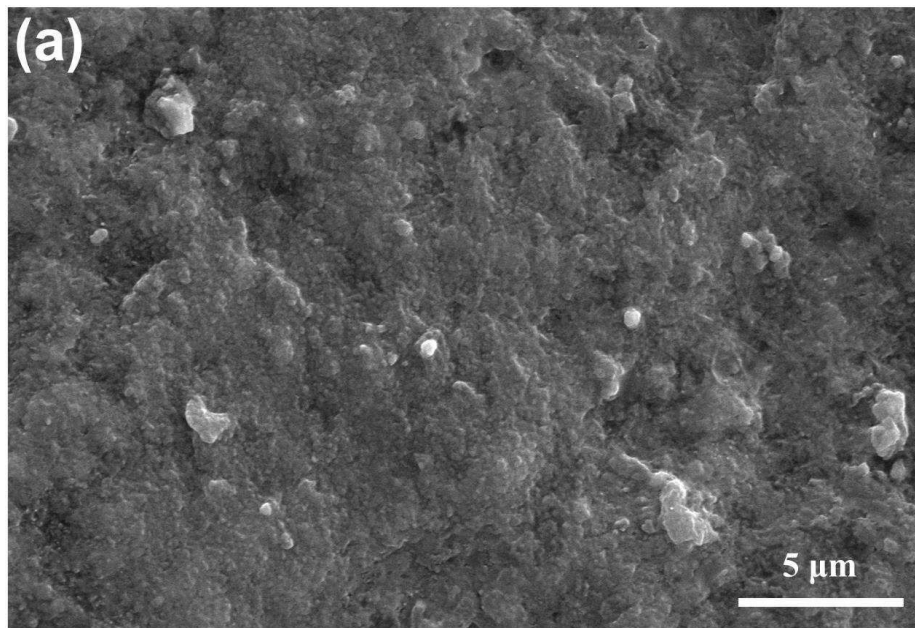
도면2



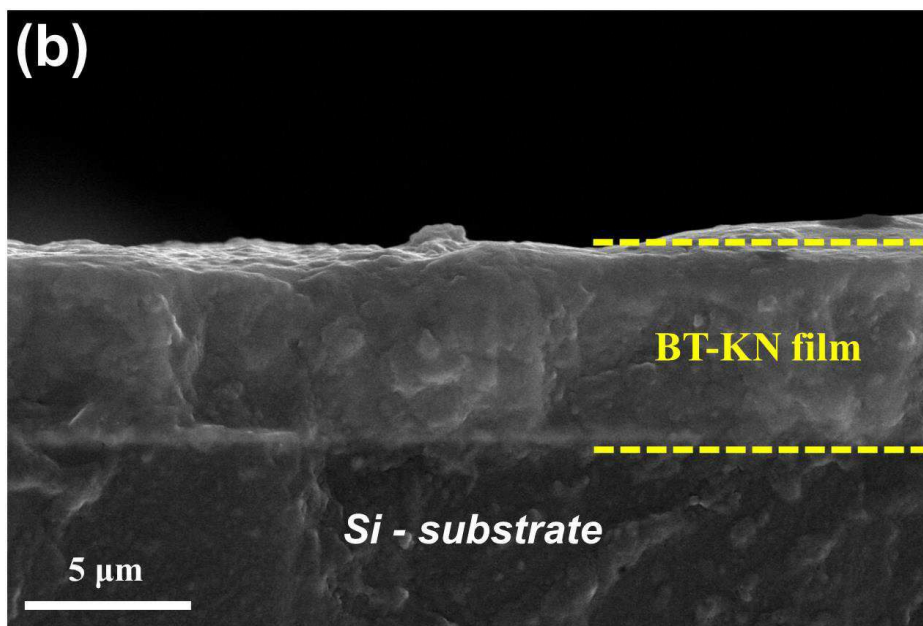
도면3



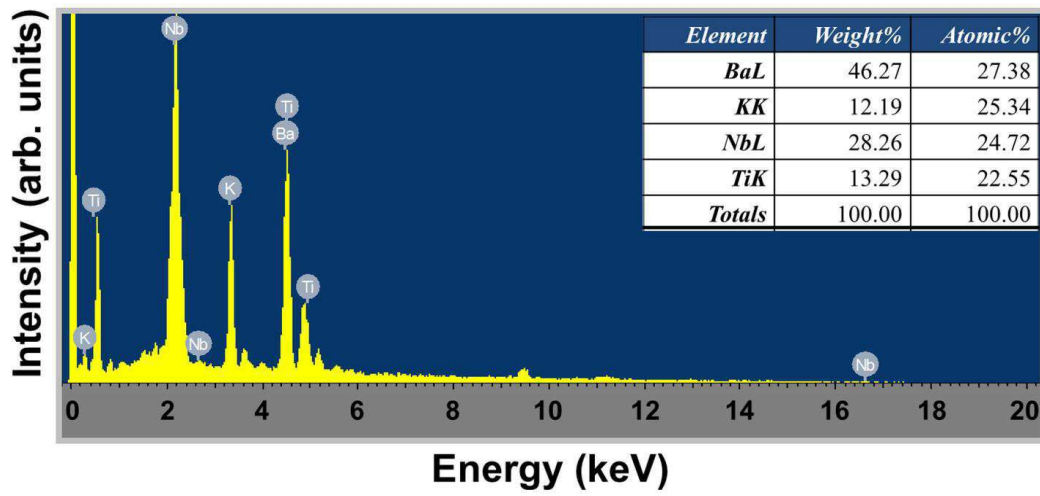
도면4a



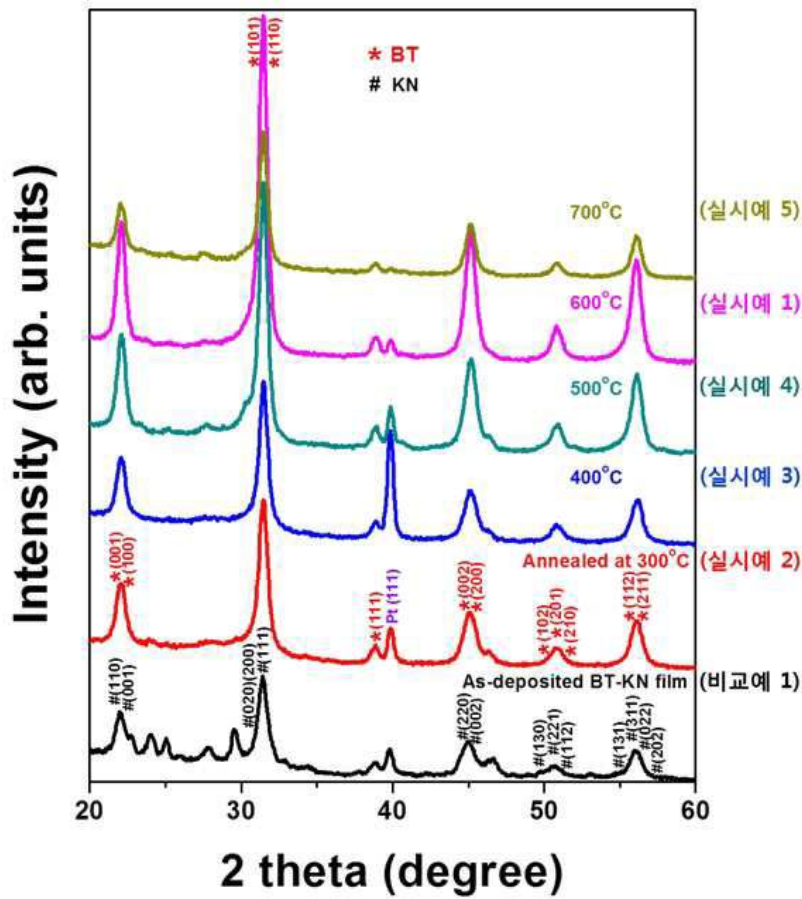
도면4b



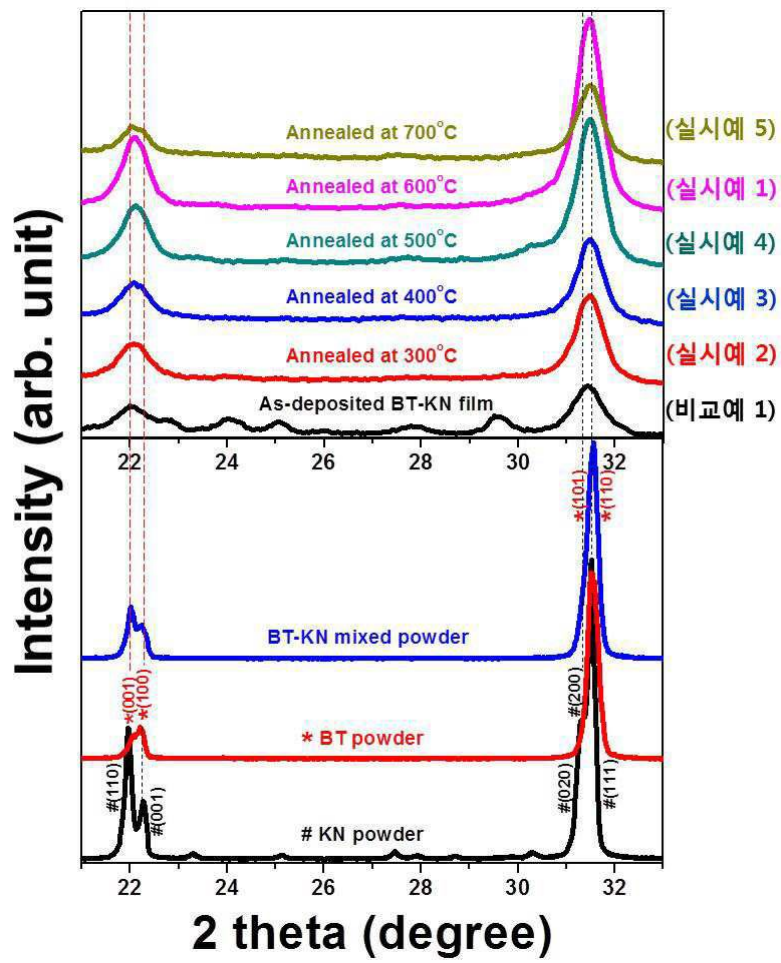
도면5



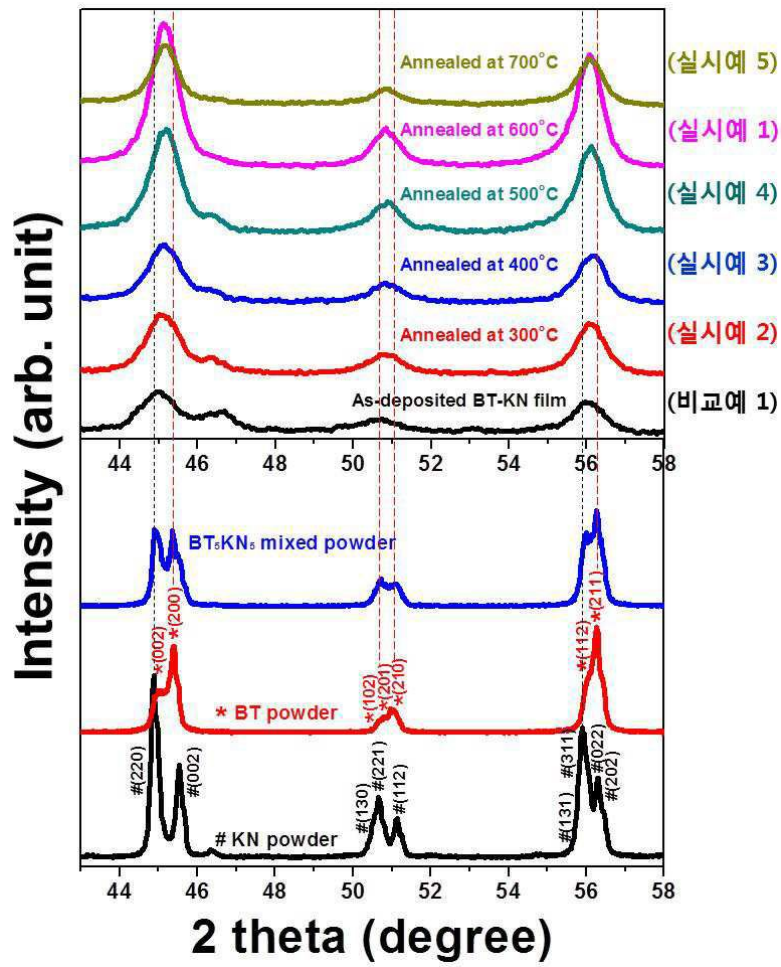
도면6



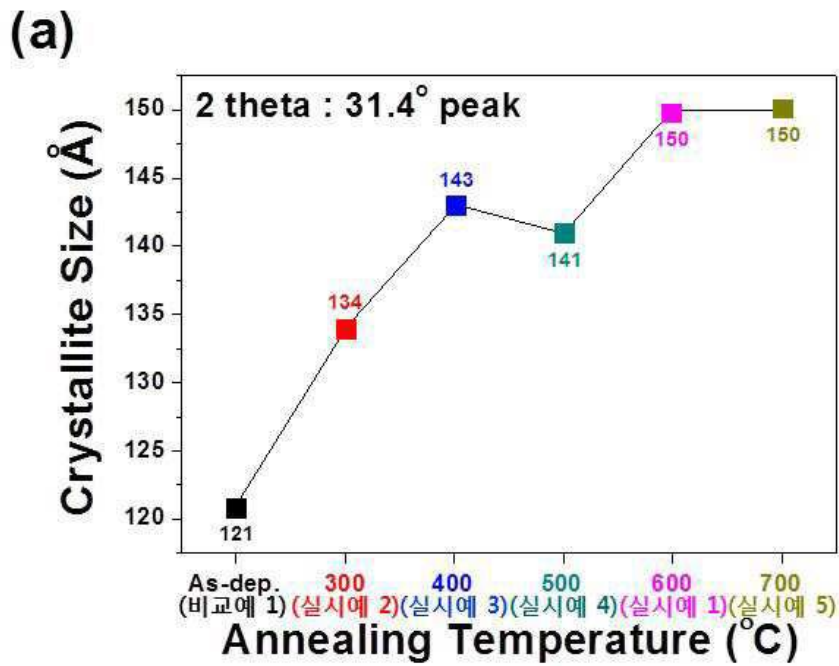
도면7



도면8

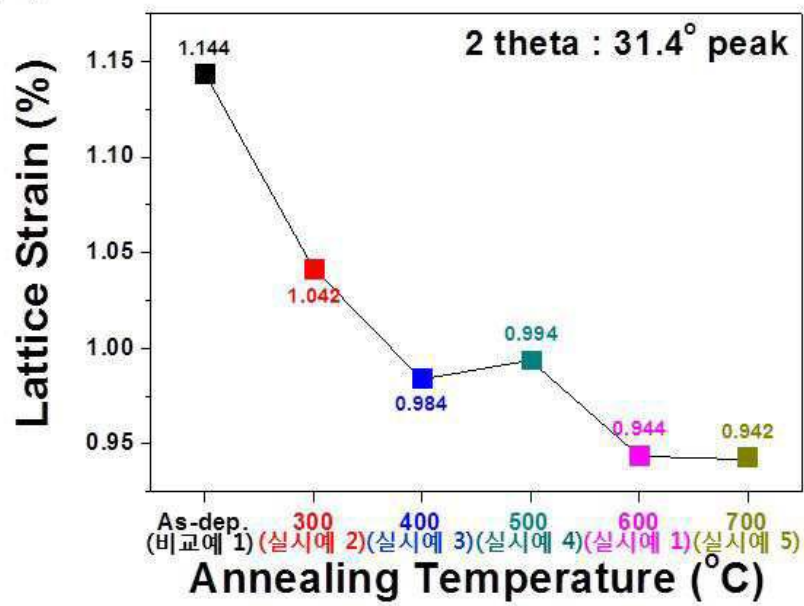


도면9a



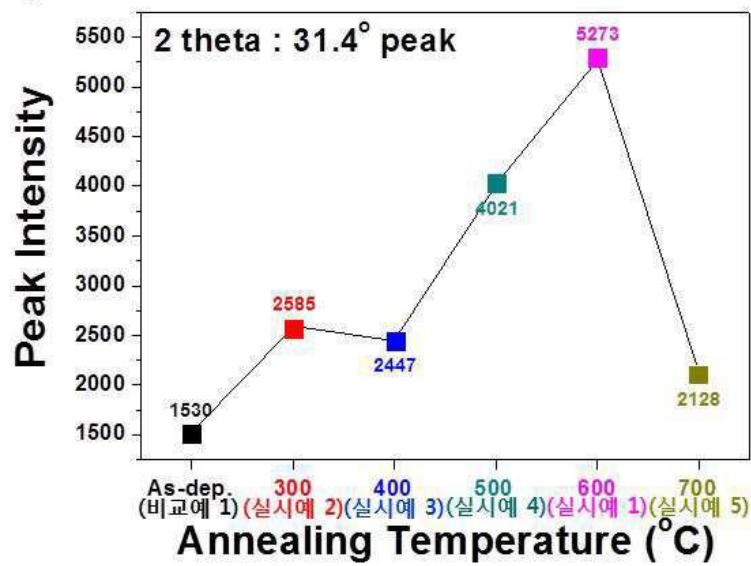
도면9b

(b)

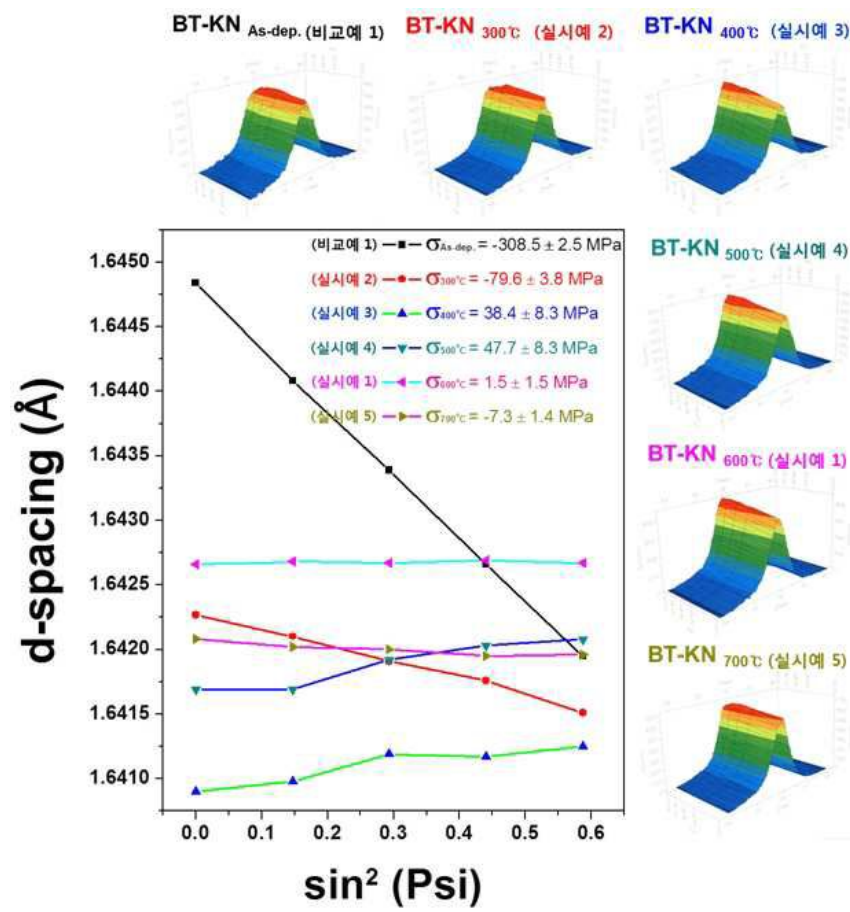


도면9c

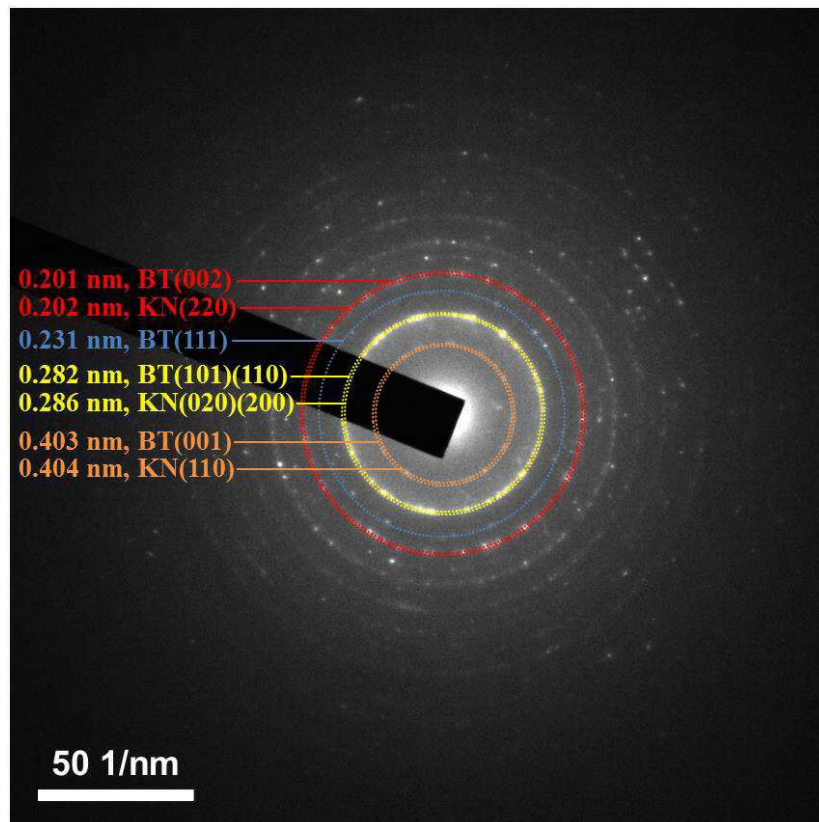
(c)



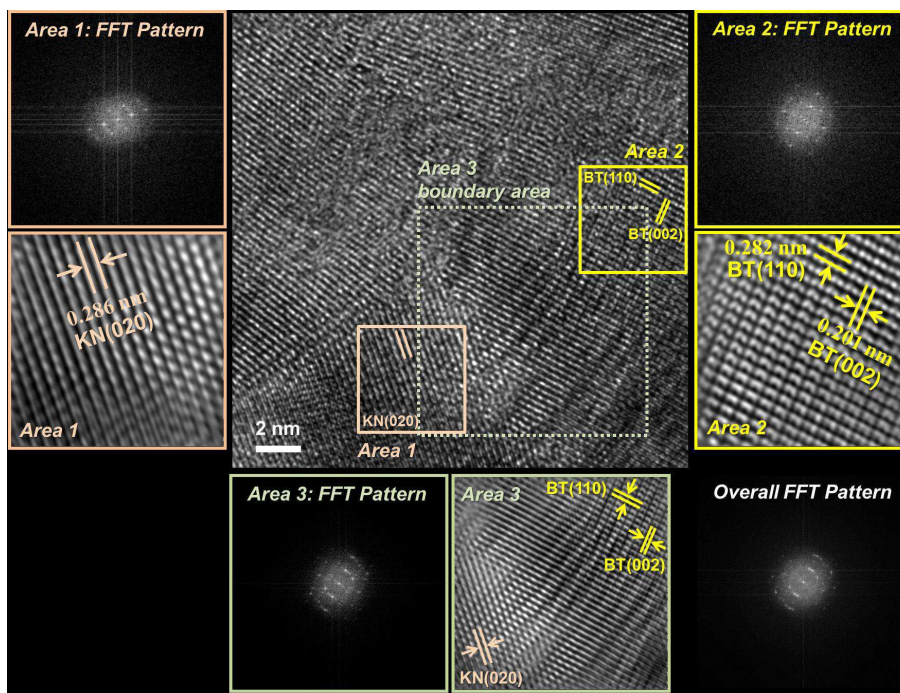
도면10



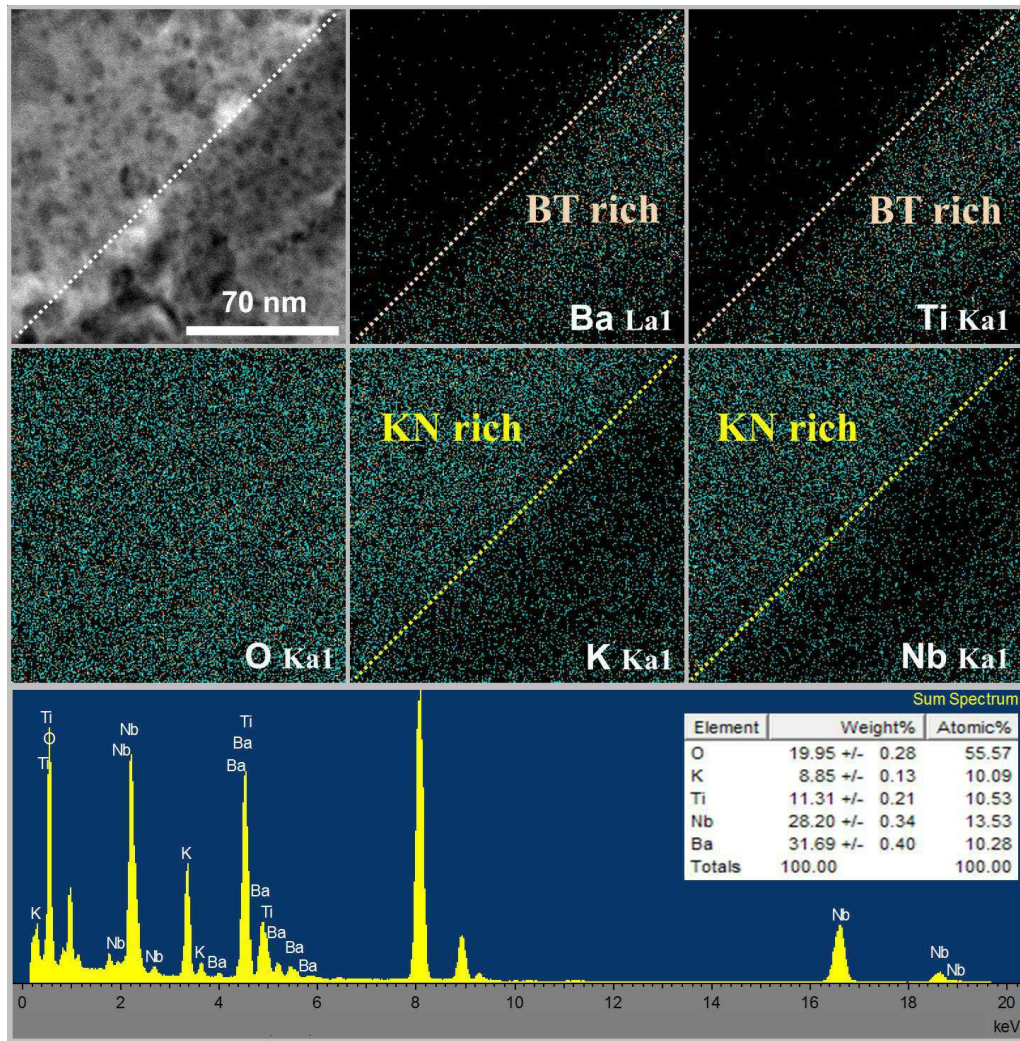
도면11



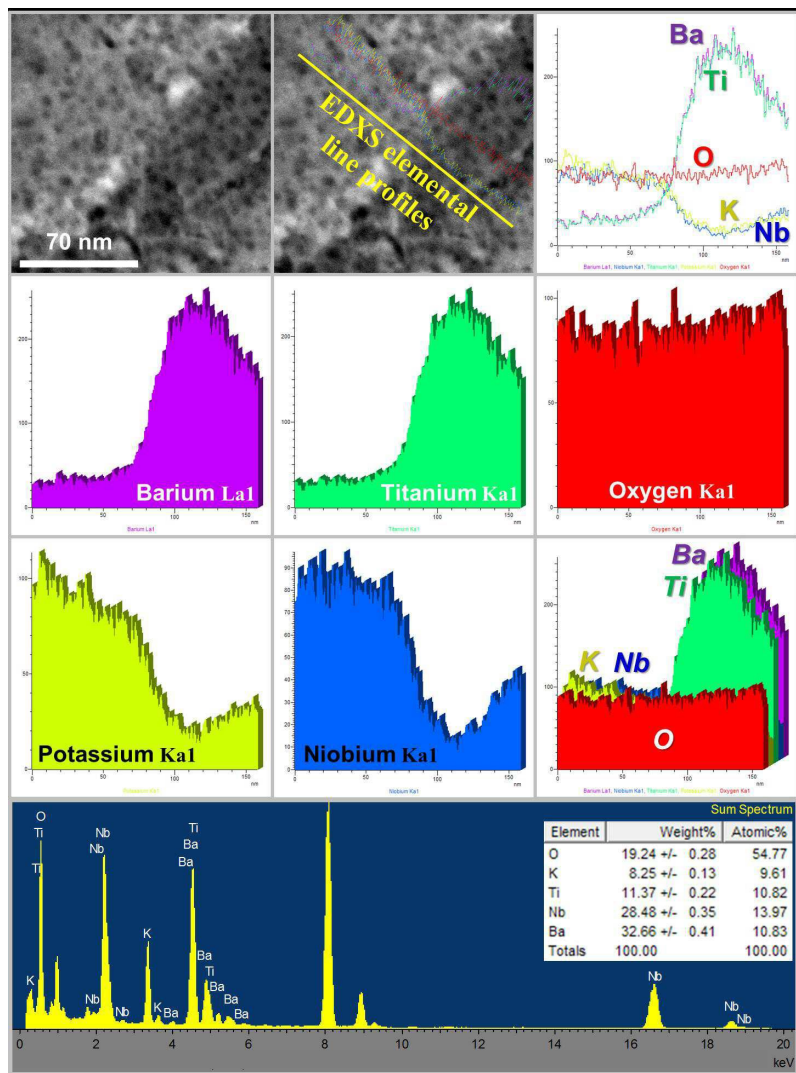
도면12



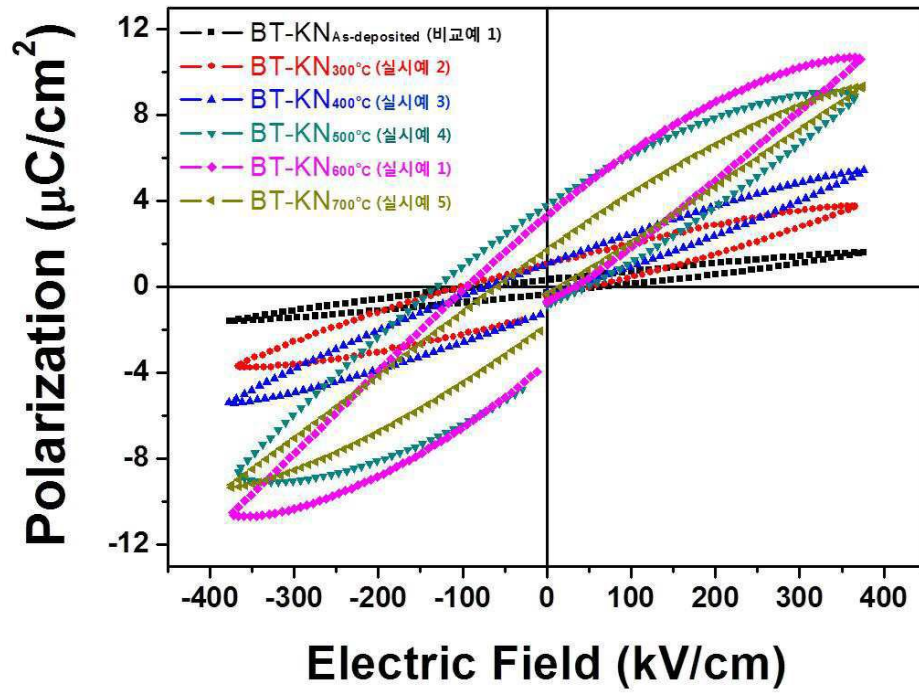
도면13



도면14



도면15



도면16

