(19) 대한민국특허청(KR)
(12) 등록특허공보(B1)

(45) 공고일자 2013년09월06일
(11) 등록번호 10-1305271
(24) 등록일자 2013년09월02일

(51) 국제특허분류(Int. Cl.)
H01L 41/12 (2006.01) *H01L 41/16* (2006.01)
(21) 출원번호 10-2012-0029244
(22) 출원일자 2012년03월22일
심사청구일자 2012년03월22일
(56) 선행기술조사문헌
WO2010110423 A1
JP04717344 B2
JP2003282986 A
JP2009094449 A

(73) 특허권자
한국기계연구원
대전광역시 유성구 가정북로 156 (장동)
(72) 발명자
류정호
경상남도 창원시 성산구 성주동 프리빌리지아파트 111동 501호
박동수
경상남도 창원시 성산구 남양동 우성아파트 107동 902호
윤운하
경상남도 창원시 성주동 푸르지오아파트 107동 302호
(74) 대리인
김정수

전체 청구항 수 : 총 17 항 심사관 : 노영철

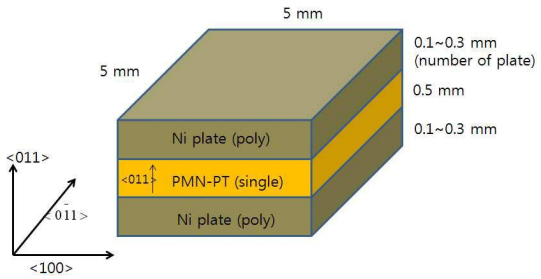
(54) 발명의 명칭 **자기전기 복합체**

(57) 요 약

압전재료와 자왜재료를 복합화하여 제작되는 Magnetoelectric (ME)복합체에서 압전재료로서는 높은 압전 특성을 가지는 압전 단결정 재료를 사용하고, 자왜재료로서는 높은 자왜 특성을 가지는 금속 자왜재료를 사용하여, 접착에 의한 층상구조의 ME 복합체를 구현할 수 있다.

이때 압전 단결정 재료의 결정방향을 <011> 의 결정방향이 두께방향으로 되도록 가공하여 ME 층상 복합체를 제조하면 기존의 <001> 결정 방향에 대비하여 2배 이상의 높은 ME 전압 계수를 얻을 수 있으며, 이 효과는 복합체의 공진에서 더욱 극대화된다.

대 표 도 - 도7



이 발명을 지원한 국가연구개발사업

과제고유번호	20110027290
부처명	교육과학기술부
연구사업명	일반연구자지원사업
연구과제명	나노구조 자기-전기 복합재료의 다차원 구조제어
주관기관	재료연구소
연구기간	2009.09.01 ~ 2012.08.31

특허청구의 범위

청구항 1

하나 이상의 압전재료로 구성된 압전재료층과 하나 이상의 자왜재료로 구성된 자왜재료층이 적층되고,

상기 압전재료층은 페로브스카이트(Perovskite) 결정구조의 단결정으로 이루어지며, 상기 단결정의 <011>방향이 상기 압전재료층의 두께방향으로 배향되며 적층된 것을 특징으로 하는 자기전기 복합체.

청구항 2

삭제

청구항 3

제1항에 있어서,

상기 단결정은 $xPb(A1\ ,\ A2\ ,\ \cdots,\ B1\ ,\ B2\ ,\cdots)O_3 + (1-x)PbTiO_3$ (단, x는 몰 분율이고, 0 〈 x 〈1 이라 함)로 이루어지는 고용체로서, A 1 , A 2 , …는, Zn, Mg, Ni, Lu, In 및 Sc으로 이루어지는 군에서 선택된 1 또는 복수의 원소로 되고, B1 , B2 ,…는, Nb, Ta, Mo 및 W로 이루어지는는 군에서 선택된 1 또는 복수의 원소로 된 것을 특징으로 하는 자기전기 복합체.

청구항 4

제3항에 있어서,

상기 단결정은 $Pb(Mg_{1/3}Nb_{2/3})O_3$-$PbTiO_3$ (PMN-PT), $Pb(Zn_{1/3}Nb_{2/3})O_3$-$PbTiO_3$ (PZN-PT), $BaTiO_3$ 중 어느 하나인 것을 특징으로 하는 자기전기 복합체.

청구항 5

제1항에 있어서,

상기 자왜재료는 페라이트계의 세라믹스, Ni, Terfenol, Gafenol, Fe 중 어느 하나인 것을 특징으로 하는 자기전기 복합체.

청구항 6

제1항에 있어서,

상기 자왜재료층과 상기 압전재료층이 교대로 적층된 것을 특징으로 하는 자기전기 복합체.

청구항 7

제1항에 있어서,

상기 자기전기 복합체의 두께 및 가로 세로 길이의 비율을 가변하여 상기 자기전기 복합체의 공진-반공진 주파수 대역이 가변가능한 것을 특징으로 하는 자기전기 복합체.

청구항 8

제1항에 있어서,

상기 압전재료층과 상기 자왜재료층의 두께비는 0.4 내지 2인 것을 특징으로 하는 자기전기 복합체.

청구항 9

자왜재료로 구성된 제1자왜재료층;

압전재료로 구성된 압전재료층; 및

자왜재료로 구성된 제2자왜재료층을 포함하고,

상기 압전재료층은 페로브스카이트(Perovskite) 결정구조의 단결정으로 이루어지고, 상기 단결정의 <011>방향이 상기 압전재료층의 두께방향으로 배향되며 적층된 것을 특징으로 하는 자기전기 복합체.

청구항 10

삭제

청구항 11

제9항에 있어서,

상기 단결정은 xPb(A 1 , A 2 , …, B 1 , B 2 ,…)O_3 + (1-x)$PbTiO_3$ (단, x는 몰 분율이고, 0 〈 x 〈1 이라 함)로 이루어지는 고용체로서, A1 , A2 , …는, Zn, Mg, Ni, Lu, In 및 Sc으로 이루어지는 군에서 선택된 1 또는 복수의 원소로 되고, B1 , B2 ,…는, Nb, Ta, Mo 및 W로 이루어지는는 군에서 선택된 1 또는 복수의 원소로 된 것을 특징으로 하는 자기전기 복합체.

청구항 12

제11항에 있어서,

상기 단결정은 $Pb(Mg_{1/3}Nb_{2/3})O_3$-$PbTiO_3$ (PMN-PT), $Pb(Zn_{1/3}Nb_{2/3})O_3$-$PbTiO_3$ (PZN-PT), $BaTiO_3$ 중 어느 하나인 것을 특징으로 하는 자기전기 복합체.

청구항 13

제9항에 있어서,

상기 자왜재료는 페라이트계의 세라믹스, Ni, Terfenol, Gafenol, Fe 중 어느 하나인 것을 특징으로 하는 자기전기 복합체.

청구항 14

제9항에 있어서,

상기 압전재료층과 상기 제1 또는 제2자왜재료층의 두께비는 0.4 내지 2인 것을 특징으로 하는 자기전기 복합체.

청구항 15

제9항에 있어서,

상기 자기전기 복합체의 두께 및 가로 세로 길이의 비율을 가변하여 상기 자기전기 복합체의 공진-반공진 주파수 대역이 가변가능한 것을 특징으로 하는 자기전기 복합체.

청구항 16

자기전기 효과(Magnetoelectric effect)를 가지는 하나 이상의 압전재료로 구성된 압전재료층과 하나 이상의 자왜재료로 구성된 자왜재료층이 적층되고,

상기 압전재료층은 페로브스카이트(Perovskite) 결정구조의 단결정으로 이루어지며, 상기 단결정의 <011>방향이 상기 압전재료층의 두께방향으로 배향되며 적층된 자기전기 복합체를 포함하는 것을 특징으로 하는 전자장치.

청구항 17

제16항에 있어서,

상기 전자장치는 스핀트로닉 장치, 초고속 정보 저장 장치, 마그네틱-일렉트릭 센서, 마그네틱 센서, 일렉트릭 센서, 광전자 장치, 마이크로웨이브 전자 장치, 마그네틱-일렉트릭 트랜스듀서, 일렉트릭-마그네틱 트랜스듀서, 자기 구동 에너지 하베스터, 자기-기계 복합 에너지 하베스터 중 어느 하나에 해당되는 것을 특징으로 하는 전

자장치.

청구항 18

제17항에 있어서,

상기 전자장치는 자기전기 효과를 활용하는 것을 특징으로 하는 전자장치.

청구항 19

제18항에 있어서,

상기 자기전기 복합체의 두께 및 가로 세로 길이의 비율을 가변하여 상기 자기전기 복합체의 공진-반공진 주파수 대역이 가변가능한 것을 특징으로 하는 전자장치.

청구항 20

삭제

청구항 21

삭제

명 세 서

기 술 분 야

[0001] 본 발명은 자기전기 복합체에 관한 것으로서, 특히 압전재료층의 배향성을 조절하여 <011>방향을 두께방향으로 한 층상복합체에 관한 것이다.

배 경 기 술

[0002] 자기-전기결합 효과(Magnetoelectric effect, ME effect)는 물질의 특성이며, 자왜(magnetotrictive) 및 압전(piezoelectric) 물질로 이루어진 복합체 구조에서 널리 발견되고 있다.

[0003] 자기전기 효과(Magnetoelectric effect)란 한 물질이 자기장과 전기장에 반응하는 특성을 동시에 가지고 있어 물질이 자기장에 노출되었을 시 전기적 전압이 발생하고 반대로 물질이 전기장에 노출되었을 시 자화되는 현상을 의미한다. 따라서, 물질이 자기전기 효과를 가지기 위하여 물질은 외부 자기장에 반응하는 특성인 강자성(ferromagnetic), 약자성(ferrimagnetic), 또는 반강자성(antiferromagnetic) 및 외부 전기장에 반응하는 특성인 강유전성(ferroelectric), 약유전성(ferrielectric) 또는 반강유전성(antiferroelectric)을 필수적으로 동시에 가져야 한다.

[0004] 최근 많은 연구의 대상이 되고 있는 마그네틱-일렉트릭 센서, 마그네틱 센서, 일렉트릭 센서, 광전자 장치, 마이크로웨이브 전자 장치, 마그네틱-일렉트릭 또는 일렉트릭-마그네틱 트랜스듀서 등이 성공적으로 상업화되기 위하여 상온에서 강자성과 강유전성을 동시에 가지며, 소자(device)의 실제 사용온도인 25℃ 이상의 온도에서 자기전기 효과를 가지는 물질의 개발이 활발하게 연구되고 있다.

[0005] 상온 강자성과 강유전성을 동시에 가지는 물질로 개발된 가장 대표적인 물질로는 비스무스 망가네이트($BiMnO_3$)가 있다. 그러나 비스무스 망가네이트의 강자성 상전이 온도 및 강유전 상전이 온도(Tc)가 각각 약 100K 및 450K로써 100K 이상에서만 강자성과 강유전성을 동시에 가진다(N. A. Hill, K. M. Rabe, Physical Review B vol 59 pp 8759 (1999)). 이렇게 극저온 영역에서만 강자성 및 강유전성을 동시에 가질 시 상온에서 사용되는 각종 기기에 사용하는 것이 불가능하여 상업화가 불가능하다. 한편, 비스무스 망가네이트와 유사한 물질로서 반강자성 및 강유전성을 가지는 이트리움 망가네이트($YMnO_3$)가 개발되었지만 이트리움 망가네이트의 반강자성 상전이 온도 및 강유전 상전이 온도가 각각 70~130K 및 570~990K로써 70~130K 이하의 온도에서만 반강자성과 강유전성을 동시에 가져 비스무스 망가네이트를 이용한 축전기와 마찬가지로 상업화가 불가능하다(A.Filippetti, N. A. Hill, Journal of Magnetism and Magnetic Materials vol 236 pp 176 (2001)). 한편, 층상 페롭스카이트 구조를 가지는 $Bi_4Ti_3O_{12}$로 구성된 축전기의 경우, 상온에서 강자성은 나타내지 않고 강유전 특성만을 보이므로 강자성과 강유전성을 동시에 요구하는 기기에는 사용이 불가능하다.

[0006] 또한 1890년대부터 자기전기 효과를 가지는 균일 상 물질을 개발하기 위한 많은 노력의 결과, Cr_2O_3, $Pb(Fe_{1/2}Nb_{1/2})O_3$, $BaMeO_4$ (Me = Mn, Fe, Co, Ni), Cr_2BeO_4, $BiFeO_3$등의 균일 상 물질들이 자기전기 효과를 가지는 것이 발견되었다(G. Smolenskii and V. A. Ioffe, Colloque International du Magnetisme, Communication No 711958; G. A. Smolenskii and I. E. Chupis, Problems in Solid State Physics (Mir Publishers, Moscow, 1984; I.H. Ismailzade, V. I. Nesternko, F.A. Mirishli, and P.G.Rustamov, Phys. Status Solidi 57 99 (1980)). 그러나 이러한 물질들이 Magnetoelectric coefficient는 0.001 ~ 0.02 volt/cm·Oe로 매우 작을 뿐 아니라 자기전기 효과를 나타내는 온도가 대부분 0℃ 이하로 낮아 실제 장치에 적용하기에는 부적합하다.

[0007] 상술한 것과 같이 단일상 물질들의 자기전기 계수는 매우 미약하므로 이를 향상시키기 위해 자기장에 반응하는 물질과 전기장에 반응하는 물질을 혼합하여 25℃ 이상의 온도에서 큰 자기전기 계수를 가지는 복합재료를 개발하기 위하여 많은 연구가 수행되어 왔다. 25℃ 이상의 온도에서 자기전기 효과를 나타내는 대표적인 복합재료는 Terfenol(자기장에 반응하는 금속)/PZT(전기장에 반응하는 강유전체 산화물)/Terfenol이다.

[0008] Terfenol/PZT/Terfenol 복합재료는 고가의 희토류 금속 화합물인 Terfenol을 사용하기 때문에 가격적인 측면에서 매우 불리하며, 접착의 특성에 의해서 얻어지는 자기전기효과의 차이가 크게 나타날 수 있는 문제가 있다.

[0009] 또한,Terfenol/PZT/Terfenol 복합재료에서 얻어진 최대 자기전기 계수는 약 10 volt/cm·Oe로 현재까지 개발된 단일상 자기전기(Magnetoelectric) 재료의 자기전기 계수 대비 향상되었으나 실제 소자용 재료로 사용되기 위하여 더욱 증가시킬 필요가 있다(J. G. Wan, J.-M. Liu, H. L. W. Chand et al. Journal of Applied Physics, Vol 93, No 12, pp 9916~9919 (2003); Jungho Ryu, Shashank Priya, Kenji Uchino, and Hyoun-Ee Kim, Journal of the American Ceramic Society Vol 84, No 12, pp 2905 ~ 2908 (2001)).

[0010] 도 1은 종래의 ME(magnetoeletric; 자기전기) 입자 복합체의 전압발생원리를 나타내고, 도 2는 종래의 ME 입자 복합체 경우의 최대 자기전기 계수(α_{ME})와 구조를 나타내며, 도 3은 ME 층상복합체의 전압 발생원리를 나타내고, 도 4는 Terfenol-D/PZT/Terfenol-D 복합체의 개념도를 나타내며, 도 4의 층상 복합체의 경우, 압전세라믹 PZT를 사용하였기 때문에 배향이 고려되지 않은 압전 재료와 금속자왜재료 Terfenol-D를 층상복합한 것이다.

[0011] 도 1 내지 도 4에 도시된 바와 같이, 자장이 인가될때 자왜재료가 변형되고 이 변형에 의한 응력 발생으로 압전재료에서 전압이 발생하게 되고, 이미 설명한 바와 같이, Ni or Co-페라이트/PZT 입자 복합체의 경우 최대 자기전기계수(α_{ME})는 약 100 mV/cm·Oe에 해당되고, Terfenol-D/PZT/Terfenol-D 와 같은 층상 복합체의 경우도 최대 자기전기 계수(α_{ME})는 약 10 volt/cm·Oe에 해당되고 이는 비록 ME 입자 복합체의 특성에 비하여 100배에 정도 증가된 값이나 실제 소자용으로 사용되는데 한계가 있었다.

발명의 내용

해결하려는 과제

[0012] 최근 스핀트로닉스 소자, 고감도 자기센서, 진동-자기 복합 에너지 하베스터로 응용이 기대되는 Magnetoelectric 복합체의 연구가 세계적으로 활발하며, 높은 ME 복합체를 구현하기 위해서 다양한 구조의 ME 복합체가 제안되고 있다.

[0013] 이러한 ME 복합체에 적용가능한 소재에 대한 연구도 최근 10년사이에 매우 활발히 이루어지고 있으며, 높은 ME 복합체를 구현하기 위해서는 자왜-압전-자왜 층상구조의 복합체가 유리하다.

[0014] 또한, 가능한 높은 압전 특성을 가지는 소재와 자왜계수가 큰 소재를 선정하여 두 소재간의 강한 커플링을 가질 수 있도록 하는 것이 중요하다.

[0015] 그러나, 이러한 거대 자왜재료를 사용한 ME 층상 복합체를 구성하더라도 종래에는 최대 자기전기 계수가 낮아 실제 소자용으로 사용하기 위해서는 규모가 커야 되었으므로 실용화에 한계가 있었으나, 본 발명에서는 높은 압전 특성을 가지는 압전 단결정과 높은 자왜계수를 가지는 금속자왜재료를 층상구조로 제작하여 ME 복합체를 제조하고, 압전 단결정의 배향을 조절함으로써 더욱 우수한 감도의 ME 복합체에 대한 기술을 제공하는데 그 목적이 있다.

과제의 해결 수단

[0016] 본 발명에 따른 자기전기 복합체는 하나 이상의 압전재료로 구성된 압전재료층과 하나 이상의 자왜재료로 구성된 자왜재료층이 적층되고, 상기 압전재료층은 <011>방향의 단결정을 두께방향으로 적층한 것을 특징으로 한다.

[0017] 또한 본 발명에 따르면, 상기 단결정의 결정구조는 페로브스카이형 구조(Perovskite)인 것을 특징으로 한다.

[0018] 또한 본 발명에 따르면, 상기 단결정은 $xPb(A1, A2, \cdots, B1, B2, \cdots)O_3 + (1-x)PbTiO_3$ (단, x는 몰 분율이고, 0 〈 x 〈1 이라 함)로 이루어지는 고용체로서, A 1 , A 2 , …는, Zn, Mg, Ni, Lu, In 및 Sc으로 이루어지는 군에서 선택된 1 또는 복수의 원소로 되고, B1 , B 2 ,…는, Nb, Ta, Mo 및 W로 이루어지는는 군에서 선택된 1 또는 복수의 원소로 된 것을 특징으로 한다.

[0019] 또한 본 발명에 따르면, 상기 단결정은 $Pb(Mg_{1/3}Nb_{2/3})O_3$-$PbTiO_3$ (PMN-PT), $Pb(Zn_{1/3}Nb_{2/3})O_3$-$PbTiO_3$ (PZN-PT), $BaTiO_3$ 중 어느 하나인 것을 특징으로 한다.

[0020] 또한 본 발명에 따르면, 상기 자왜재료는 페라이트계의 세라믹스, Ni, Terfenol, Gafenol 중 어느 하나인 것을 특징으로 한다.

[0021] 또한 본 발명에 따르면, 상기 자왜재료층과 상기 압전재료층이 교대로 적층된 것을 특징으로 한다.

[0022] 또한 본 발명에 따르면, 상기 자왜재료층에 인가되는 교류자기장의 주파수를 가변하여 상기 압전재료층의 공진주파수를 가변가능한 것을 특징으로 한다.

[0023] 또한 본 발명에 따르면, 상기 압전재료층과 상기 자왜재료층의 두께비는 0.4 내지 2인 것을 특징으로 한다.

[0024] 본 발명에 따른 실시예로서의 자기전기 복합체는 자왜재료로 구성된 제1자왜재료층; 압전재료로 구성된 압전재료층; 및 자왜재료로 구성된 제2자왜재료층을 포함하고, 상기 압전재료층은 <011>방향의 단결정을 두께방향으로 적층한 것을 특징으로 한다.

[0025] 또한 본 발명에 따르면, 상기 단결정의 결정구조는 페로브스카이형 구조(Perovskite)인 것을 특징으로 한다.

[0026] 또한 본 발명에 따르면, 상기 단결정은 $xPb(A1, A2, \cdots, B1, B2, \cdots)O_3 + (1-x)PbTiO_3$ (단, x는 몰 분율이고, 0 〈 x 〈1 이라 함)로 이루어지는 고용체로서, A 1 , A 2 , …는, Zn, Mg, Ni, Lu, In 및 Sc으로 이루어지는 군에서 선택된 1 또는 복수의 원소로 되고, B1 , B 2 ,…는, Nb, Ta, Mo 및 W로 이루어지는는 군에서 선택된 1 또는 복수의 원소로 된 것을 특징으로 한다.

[0027] 또한 본 발명에 따르면, 상기 단결정은 $Pb(Mg_{1/3}Nb_{2/3})O_3$-$PbTiO_3$ (PMN-PT), $Pb(Zn_{1/3}Nb_{2/3})O_3$-$PbTiO_3$ (PZN-PT), $BaTiO_3$ 중 어느 하나인 것을 특징으로 한다.

[0028] 또한 본 발명에 따르면, 상기 자왜재료는 페라이트계의 세라믹스, Ni, Terfenol, Gafenol 중 어느 하나인 것을 특징으로 한다.

[0029] 또한 본 발명에 따르면, 상기 압전재료층과 상기 제1 또는 제2자왜재료층의 두께비는 0.4 내지 2인 것을 특징으로 한다.

[0030] 또한 본 발명에 따르면, 상기 자기전기 복합체의 두께 및 가로 세로 길이의 비율을 가변하여 상기 복합체의 공진-반공진 주파수대역를 가변가능한 것을 특징으로 한다.

[0031] 본 발명에 따른 전자장치는 자기전기 효과(Magnetoelectric effect)를 가지는 하나 이상의 압전재료로 구성된 압전재료층과 하나 이상의 자왜재료로 구성된 자왜재료층이 적층되고, 상기 압전재료층은 <011>방향의 단결정을 두께방향으로 적층한 자기전기 복합체를 포함하는 것을 특징으로 한다.

[0032] 또한 본 발명에 따르면, 상기 전자장치는 스핀트로닉 장치, 초고속 정보 저장 장치, 마그네틱-일렉트릭 센서, 마그네틱 센서, 일렉트릭 센서, 광전자 장치, 마이크로웨이브 전자 장치, 마그네틱-일렉트릭 트랜스듀서, 일렉트릭-마그네틱 트랜스듀서, 자기 구동 에너지 하베스터, 자기-기계 복합 에너지 하베스터 중 어느 하나에 해당되는 것을 특징으로 한다.

[0033] 또한 본 발명에 따르면, 상기 전자장치는 자기전기 효과를 활용하는 것을 특징으로 한다.

[0034] 또한 본 발명에 따르면, 상기 자기전기복합체의 교류자기장의 주파수에 따라 반공진-주파수에서 최대의 ME 특성을 가지는 현상을 활용하면, 복합체의 두께 및 가로 세로 길이의 비율을 조정함으로써 공진-반공진 주파수 대역

을 조절할 수 있으므로, 특정 주파수에서 ME 특성이 최대화된 소자를 제작할 수 있다.

[0035] 본 발명에 따른 자기전기 복합체 제조방법은 하나 이상의 압전재료로 구성된 압전재료층과 하나 이상의 자왜재료로 구성된 자왜재료층을 준비하는 준비단계; 및 준비된 상기 압전재료층과 상기 자왜재료층을 서로 교대로 적층하는 적층단계를 포함하고, 상기 압전재료층은 <011>방향의 단결정을 두께방향으로 적층하는 것을 특징으로 한다.

[0036] 또한 본 발명에 따르면, 상기 준비단계후에, 상기 압전재료층과 상기 자왜재료층이 접합되는 면에 전도성 에폭시 접착제를 도포하는 접착제도포단계를 포함하는 것을 특징으로 한다.

발명의 효과

[0037] 압전재료와 자왜재료를 복합화하여 제작되는 Magnetoelectric (ME)복합체에서 압전재료로서는 높은 압전 특성을 가지는 압전 단결정 재료를 사용하고, 자왜재료로서는 높은 자왜 특성을 가지는 금속 자왜재료를 사용하여, 접착에 의한 층상구조의 ME 복합체를 구현하며, 이때 압전 단결정 재료의 결정방향을 <011> 의 결정방향이 두께방향으로 되도록 가공함으로써, 기존의 <001> 결정 방향에 대비하여 2배 이상의 높은 ME 전압 계수를 얻을 수 있고, 전기-기계적 반공진주파수에서 최대의 ME 전압계수를 얻을 수 있는 효과가 있다.

도면의 간단한 설명

[0038] 도 1은 종래의 ME(magnetoelectric) 입자 복합체의 전압발생원리를 나타낸다.

도 2는 종래의 ME 입자 복합체 경우의 최대 자기전기 계수(α_{ME})와 구조를 나타낸다.

도 3은 ME 층상복합체의 전압 발생원리를 나타낸다.

도 4는 Terfenol-D/PZT/Terfenol-D 층상 복합체의 기본 구조를 나타낸다.

도 5는 본 발명에 따른 압전 단결정의 배향을 나타낸다.

도 6은 본 발명의 비교예로서 사용된 종래의 ME 층상 복합체이다.

도 7은 본 발명에 따른 ME 층상 복합체의 일 실시예이다.

도 8은 본 발명에 따른 ME 층상 복합체의 자장인가 방향을 나타낸다.

도 9는 도 6에 도시된 비교예와 도 7에 도시된 본 발명에 따른 ME 층상 복합체의 직류 자기장의 인가량에 따른 자왜 특성의 변화를 비교한 것이다.

도 10은 도 6에 도시된 비교예와 도 7에 도시된 본 발명에 따른 ME 층상 복합체에 저주파수 (194Hz)의 교류 자기장이 1 Oe 인가된 상태에서 직류 자기장의 인가량에 따른 ME 특성의 변화를 비교한 것이다.

도 11은 교류자기장의 주파수 변화에 따른 도 6에 도시된 비교예와 도 7에 도시된 본 발명에 따른 ME 층상 복합체의 ME 특성의 변화를 비교한 것을 보여준다.

도 12는 전기장 주파수 변화에 따른 도 6에 도시된 비교예와 도 7에 도시된 본 발명에 따른 ME 층상 복합체의 임피던스 특성의 변화 비교를 나타낸다.

도 13은 도 6에 도시된 비교예의 공진모드를 ATIAL 상용 소프트웨어를 사용하여 유한요소 해석한 것이다.

도 14는 도 7에 도시된 본 발명에 따른 ME 층상 복합체의 공진모드를 ATIAL 상용 소프트웨어를 사용하여 유한요소 해석한 것이다.

도 15는, 페로브스카이트(Peroveskite) 결정구조(RMO_3)의 모식적 사시도이다.

도 16은 본 발명에 따른 자기전기 복합체 제조방법에 관한 순서도이다.

발명을 실시하기 위한 구체적인 내용

[0039] 이하, 첨부된 도면을 참조하여 본 발명의 실시예를 상세히 설명한다. 우선, 도면들 중 동일한 구성요소 또는 부품들은 가능한 한 동일한 참조부호를 나타내고 있음에 유의해야 한다. 본 발명을 설명함에 있어서 관련된 공지기능 혹은 구성에 대한 구체적인 설명은 본 발명의 요지를 모호하게 하지 않기 위해 생략한다.

[0040] 도 5는 본 발명에 따른 압전 단결정의 배향을 나타낸다.

[0041] 종래 압전 단결정을 이용한 자기전기(ME) 복합체는 압전 단결정의 <001>방향을 이용하여 자왜재료와 압전재료를 적층시 압전재료의 두께방향으로 <001>방향이 배향된 적층구조를 사용하였고 이러한 배향구조는 압전재료의 압전상수 g_{31}값을 이용하게 된다.

[0042] 도 5에 도시된 바와 같이, 본 발명에 따른 압전 단결정은<011> 방향이 자왜재료와 압전재료를 적층시 압전재료의 두께방향으로 배향되도록 적층하는 구조를 사용하게 되고, 이는 <001> 방향의 압전 단결정은 1개의 분극방향을 가지지만 <011> 단결정은 2개의 분극 방향을 가지고, <001> 방향의 압전단결정에 비해 높은 횡방향 압전특성, 즉 압전상수 g_{31}값과 g_{32}값을 이용할 수 있다.

[0043] 본 발명에서는 이러한 효과를 사용하여 Terfenol-D와 같이 고가의 거대자왜재료 (Giant Magnetostrictive Materials) 를 사용하지 않고도 단결정의 배향만으로 높은 ME 특성을 구현할 수 있다.

[0044] <011> 방향의 압전 단결정이 높은 횡방향 압전특성을 보임은 아래의 표 1을 통해서 <011>방향과 대응되는 <110> 방향의 압전상수 g_{31} 값이 <001> 방향의 압전상수에 비해 3배가량 증가된 것을 통해서 알수 있다.

표 1

	Polycrystalline PZT-based ceramic	<001> oriented PMN-PT single crystal	<110> oriented PMN-PT single crystal
Piezoelectric constant d_{33}(pC/N)	430	1150	560
Piezoelectric constant d_{31}(pC/N)	210	594	972
Capacitance (nF)	12.5	26	17
Piezoelectric voltage constant g_{31}(mVm/N)	11.3	15.7	39.5
Dielectric constant K_{33}	2100	4272	2798
Electromechanical coupling factor, k_{31}	0.34	0.42	0.78

[0045]

[0046] 도 6은 본 발명의 비교예로서 사용된 종래의 ME 층상 복합체이다.

[0047] 도 6에 도시된 바와 같이, 자왜재료로서 Ni 판재가 사용되고, 압전 단결정으로서 $Pb(Mg_{1/3}Nb_{2/3})O_3$-$PbTiO_3$ (PMN-PT) 사용하고, 압전 단결정의 배향은 적층 두께방향으로 <001>방향으로 적층한다.

[0048] 도 7은 본 발명에 따른 ME 층상 복합체의 일 실시예이다.

[0049] 도 7에 도시된 바와 같이, 자왜재료로서 Ni 판재가 사용되고, 압전 단결정으로서 $Pb(Mg_{1/3}Nb_{2/3})O_3$-$PbTiO_3$ (PMN-PT) 사용하고, 압전 단결정의 배향은 적층 두께방향으로 <011>방향으로 적층한다.

[0050] 도 8은 본 발명에 따른 ME 층상 복합체의 자장인가 방향을 나타낸다.

[0051] 도 8에 도시된 바와 같이, 본 발명에 사용된 압전 단결정은 이방성 물질(isotropic)이므로 배향에 따라 ME 특성

이 상이하고 이에 따라 자장 인가방향을 <100>방향과 $<0\bar{1}1>$방향으로 변화시켜가면서 압전 단결정의 특성을 측정한다.

[0052] 도 9는 도 6에 도시된 비교예와 도 7에 도시된 본 발명에 따른 ME 층상 복합체의 직류 자기장의 인가량에 따른 자왜 특성의 변화를 비교한 것이다.

[0053] 도 9에 도시된 바와 같이, 압전 단결정의 배향에 따라 ME 층상 복합체에 적층된 Ni의 자왜 거동은 큰 변화가 없음을 보여준다.

[0054] 여기서, λ_{11}은 자기장과 평행한 방향에서의 변형($\lambda_{\parallel}$)을 의미하고, λ_{12}는 자기장과 수직한 방향에서의 변형($\lambda_{\perp}$)을 의미한다.

[0055] 도 10은 도 6에 도시된 비교예와 도 7에 도시된 본 발명에 따른 ME 층상 복합체에 저주파수 (194Hz)의 교류 자기장이 1 Oe 인가된 상태에서 직류 자기장의 인가량에 따른 ME 특성의 변화를 비교한 것이다.

[0056] 도 10에 도시된 바와 같이, <011> 압전 단결정을 사용했을 때, <001> 압전 단결정에 비하여 높은 ME 특성을 얻을 수 있음을 보여주고, 특히, $<0\bar{1}1>$방향의 자장에 대해서는 <011> 압전단결정의 최대 자기전기 계수(α_{ME})가 <001> 압전단결정의 최대 자기전기 계수(α_{ME})의 2배 가량 증가되었음을 보여준다.

[0057] Ni 판재와 압전 단결정의 두께비는 0.4 내지 2인 것이 바람직하고, 보다 바람직하게는 1 내지 2이며, 이는 도 10에 도시된 바와 같이, 두께비에 따라 ME 특성이 변화하며, 1 이상일 때 포화가 되기 때문이고, 2이상의 경우에는 재료비가 더 많이 들고, 소자의 부피가 커지기 때문에 효용성이 떨어진다.

[0058] 도 11은 교류자기장의 주파수 변화에 따른 도 6에 도시된 비교예와 도 7에 도시된 본 발명에 따른 ME 층상 복합체의 ME 특성의 변화를 비교한 것을 보여준다.

[0059] 도 11에 도시된 바와 같이, <001> 압전단결정을 사용했을때 하나의 공진 주파수가 나타나지만, <011> 압전단결정에서는 3개의 공진 주파수가 나타나며, 공진주파수에서의 ME를 비교하면 <011> 압전단결정에서 높은 ME 특성을 얻을 수 있음을 보여준다.

[0060] 도 12는 전기장 주파수 변화에 따른 도 6에 도시된 비교예와 도 7에 도시된 본 발명에 따른 ME 층상 복합체의 임피던스 특성의 변화 비교를 나타낸다.

[0061] 도 12에 도시된 바와 같이, <001> 압전단결정을 사용했을 때 하나의 공진 주파수가 나타나지만, <011> 압전단결정에서는 3개의 공진 주파수가 나타났고, 나타났고, 도 11과 주파수 특성을 비교해 보면 ME 특성은 구조체의 반공진주파수 (Anti-resonance frequency)에서 최대로 나타남을 알 수 있다.

[0062] 도 11 및 도 12의 결과를 통해 볼 때, <011> 방향의 압전단결정을 적층 두께 방향으로 배향하게 되면, 인가되는 자기장의 주파수 변화에 따라 3개의 공진-반공진 주파수가 발현되고, 공진-반공진 주파수의 변화에 따라 임피던스 특성도 변화함을 보여준다.

[0063] 이러한 특성을 활용하면, 자왜재료층에 인가되는 교류자기장의 주파수를 가변하여 복합체의 공진주파수를 가변가능하고, 전기적 특성 변화를 야기할 수 있으므로 필요에 따라 임피던스 변화가 요구되는 전자장치에서 사용가능하다. 특히 반공진 주파수에서 ME 특성이 최대가 되므로 복합체의 두께 및 가로 세로 길이의 비율을 조정함으로써 공진-반공진 주파수 대역을 조절할 수 있으므로, 특정 주파수에서 ME 특성이 최대화된 소자를 제작할 수 있다.

[0064] 도 13은 도 6에 도시된 비교예를 공진모드를 ATIAL 상용 소프트웨어를 사용하여 유한요소 해석를 해석한 것이고, 도 14는 도 7에 도시된 본 발명에 따른 ME 층상 복합체의 공진모드를 ATIAL 상용 소프트웨어를 사용하여 유한요소 해석한 것이다.

[0065] 도 13의 <001> 압전단결정의 공진 모드는 측정된 주파수대역에서 하나의 공진 모드를 가지는 것으로 확인되었으며 실제 측정치와 매우 유사하고 이때의 진동 모드는 각 모서리 방향으로 수축팽창을 하는 diagonal 진동 모드로 확인된다.

[0066] 또한, 도 14의 <011> 압전단결정의 공진 모드는 측정된 주파수대역에서 세개의 공진모드를 가지는 것으로 확인되어 실제 실험과 동일했으며, 다만, 실제 측정치와 약간 상이함이 상이함을 보였고 이는 실험에 사용된 압전단결정의 압전상수와 전산모사에 사용된 압전상수의 차이와 접착제의 두께에 의한 영향으로 판단된다.

[0067] 도 7에 도시된 본 발명에 따른 ME 층상 복합체는 일실시예에 불과할 뿐 이후 설명할 다양한 압전재료와 자왜재료의 복수개의 층상구조가 적용가능하다.

[0068] 하나 이상의 압전재료로 구성된 압전재료층과 하나 이상의 자왜재료로 구성된 자왜재료층이 적층 가능하고, 이때 압전재료층은 <011>방향의 단결정을 두께방향으로 적층하면 종래의 <011> 방향의 단결정과 비교하여 최대 자기전기 계수(α_{ME})가 증가하여 감도를 향상시킬 수 있다.

[0069] 압전재료층과 자왜재료층은 서로 교대로 적층하며, 압전재료층과 자왜재료층의 두께비 0.4 내지 2로 하는 것이 ME 특성이 우수하고, 특히 1 내지 2일 때가 효율성과 경제성면에서 가장 바람직하다.

[0070] 단결정의 결정구조는 페로브스카이형 구조(Perovskite)인 것이 바람직하고, 도 15는, 페로브스카이트(Peroveskite) 결정구조(RMO_3)의 모식적 사시도이다.

[0071] 「페로브스카이트구조」라 함은, 고용체단결정의 단위격자가 도 15에 모식적으로 나타낸 바와 같이, R이온이, 단위격자의 각(角)에 위치하고, 산소이온이, 단위격자의 면심(面心)에 위치하고, M이온이 단위격자의 체심(體心)에 위치하는 것과 같은 구조(RMO_3)를 말한다.

[0072] 또한, 본 발명의 압전재료층에 적용될 단결정의 조성은, $xPb(A1, A2, \cdots, B1, B2, \cdots)O_3 + (1-x)PbTiO_3$ (단, x는 몰 분율이고, $o < x < 1$ 이라 함)로 이루어지는 조성의 고용체로서, A 1 , A 2 , …는, Zn, Mg, Ni, Lu, In 및 Sc로 이루어지는 군에서 선택된 하나 또는 복수의 원소로 되고, B 1 , B 2 ,…는, Nb, Ta, Mo 및 W로 이루어지는 군에서 선택된 하나 또는 복수의 원소로 되는 복합페로브스카이트 구조일 수 있고, 이러한 복합 페로브스카이트 구조의 단결정을 사용한 경우에, 횡방향 진동모드에 알맞은 소자가 된다.

[0073] 즉, 고용체 단결정의 단위격자가 도 15에 모식적으로 도시한 바와 같이, Pb이온이, 단위격자의 각에 위치하고, 산소이온이, 단위격자의 면심에 위치하고, M 이온이 단위격자의 체심에 위치하는 것 같은 페로브스카이트구조(RMO_3)이며, 또한, 도 15의 체심위치에 있는 M이온이, 1종류의 원소이온이 아니고, Zn , Mg, Ni, Lu, In 및 Sc으로 이루어지는 군에서 선택된 하나 또는 복수의 원소 및 Nb, Ta, Mo 및 W로 이루어지는 군에서 선택된 하나 또는 복수의 원소중 어느 하나로 되는 복합페로브스카이트 구조일 수도 있다.

[0074] 보다 구체적으로 압전재료층에 적용될 단결정은 $Pb(Mg_{1/3}Nb_{2/3})O_3$-$PbTiO_3$ (PMN-PT), $Pb(Zn_{1/3}Nb_{2/3})O_3$-$PbTiO_3$ (PZN-PT), $BaTiO_3$ 중 어느 하나일 수 있다.

[0075] 여기서, 아연 니오브산납 - 티탄산납(PZN-PT 또는 PZNT라 함)의 고용체 단결정은, 그 단위격자가 도 15에 모식적으로 도시한 바와 같은 복합페로브스카이트 구조(단위격자의 각의 위치에 Pb이온이 있고, 단위격자의 체심위치에 Zn,Nb, Ti의 어느 하나의 원소이온이 있는 구조)를 하고 있다.

[0076] 그러나, 압전재료층이 이러한 예시에 한정되는 것은 아니며 종래의 압전 단결정이라면 어떠한 것이라도 적용가능하다.

[0077] 또한, 자왜재료층에 적용될 자왜재료는 $CoFe_2O_4$, $NiFe_2O_4$와 같은 페라이트계의 세라믹스, Ni, Terfenol, Gafenol, Fe 중 어느 하나를 채택하여 사용가능하다.

[0078] 일반식 MFe_2O_4 또는 $MFe_{12}O_{19}$ (M은 1종 이상의 2가의 금속 이온)으로 나타내는 스피넬(spinel)형 또는 마그네토플럼바이트(magnetoplumbite)형 페라이트 혹은 $M'_3Fe_5O_{12}$ (M'은 3가의 금속 이온)으로 나타내는 페라이트나, $Li_{0.5}Fe_{2.5}O_4$ 로 나타내는 리튬페라이트가 있을 수 있고, 이들은 우수한 자기특성을 지닌 자성재료로서 본 발명의 자왜재료로 채택가능하다.

[0079] 보다 구체적으로 예를 들면 Fe_3O_4, $NiFe_2O_4$, $MnFe_2O_4$, $(Ni,Zn)Fe_2O_4$,$(Mn,Zn)Fe_2O_4$, $CoFe_2O_4$ 등의 소프트 페라이트는, 높은 투자율(透磁率)과 낮은 보자력(保磁力) 및 저손실이 요구되는 연자성재료로서 인덕터, 트랜스 및 필터의 자심; 자기 헤드코어, 자기실드재 등에 사용되고 있으며, 또한 자왜재료로서도 이용되어 본 발명에 적용가능하다.

[0080] 결정자기이방성이 큰 γ-Fe_2O_3 및 바륨페라이트 등은, 영구자석재료 및 고밀도자기기록재료로서 이용되고, 본 발명의 자왜재료로서도 적용가능하며, 자왜재료로서 희토류 합금$Tb_{0.3}Dy_{0.7}Fe$가 주목되고(Jounal of Alloys and Compounds, vol. 258, 1997),상품화(상품명 Terfenol-D)되고 있다. Terfenol-D의 최대 자왜량(磁歪量)은 0.17%이다.

[0081] 자왜 재료는 테르븀(terbium)-디스프로슘(dysprosium)-철(iron) 합금(Terfenol-D), 갈륨-철 합금(Gafenol), 사마륨(samarium)-디스프로슘-철 합금(Samfenol-D) 등과 같은 자왜 합금이 양호하지만, 이것에 제한되는 것은 아니다.

[0082] 복수개의 자왜재료층과 압전재료층에 적용되는 재료는 각 층별로 위에서 나열한 다양한 재료로서 서로 동일할 수도 있고, 서로 다른 재료를 적층시킬 수도 있다.

[0083] 또한, 복수개의 자왜재료층과 압전재료층을 적층할 수도 있고, 도 7에 예시한 바와 같이, 자왜재료로 구성된 제1자왜재료층이 상부에 위치하고, 그 하부에 압전재료로 구성된 압전재료층이 위치하며, 그 하부에 다시 자왜재료로 구성된 제2자왜재료층을 적층하고, 압전재료층은 <011> 방향의 단결정을 적층시키는 두께 방향으로 배향되도록 적층하게 할 수도 있다.

[0084] 본 발명에 따른 자기전기 복합체(ME 복합체)는 자기전기 효과(Magnetoelectric effect)를 가지는 하나 이상의 압전재료로 구성된 압전재료층과 하나 이상의 자왜재료로 구성된 자왜재료층이 적층되고, 상기 압전재료층은 <011>방향의 단결정을 두께방향으로 적층되어 구성되고, 이를 활용하여 축전기를 포함시킨 다양한 전자장치가 가능하다.

[0085] 본 발명에 따른 자기전기 복합체(ME 복합체)는 자기전기 효과를 나타내므로 축전기로 제조되어 스핀트로닉 장치, 초고속 정보 저장 장치, 마그네틱-일렉트릭 센서, 마그네틱 센서, 일렉트릭 센서, 광전자 장치(optoelectronics), 마이크로웨이브 전자 장치(microwave electronics), 트랜스듀서(transducer), 자기 구동 에너지 하베스터, 자기-기계 복합 에너지 하베스터 등의 각종 전자 장치에 활용될 수 있다.

[0086] 또한 본 발명에 따른 자기전기복합체의 교류자기장의 주파수에 따라 반공진-주파수에서 최대의 ME 특성을 가지는 현상을 활용하면, 복합체의 치수비를 조정함으로써 공진-반공진 주파수 대역을 조절할 수 있으므로, 특정 주파수에서 ME 특성이 최대화된 소자를 제작할 수 있다.

[0087] 도 16은 본 발명에 따른 자기전기 복합체 제조방법에 관한 순서도이다.

[0088] 도 16에 도시된 바와 같이, 하나 이상의 압전재료로 구성된 압전재료층과 하나 이상의 자왜재료로 구성된 자왜재료층을 준비하는 준비단계(S100); 및 준비된 상기 압전재료층과 상기 자왜재료층을 서로 교대로 적층하는 <011>방향의 단결정 적층단계(S200)를 포함하고, 압전재료층은 <011>방향의 단결정을 두께방향으로 적층한다.

[0089] 준비단계(S100)후에, 압전재료층과 자왜재료층이 접합되는 면에 전도성 에폭시 접착제를 도포하는 접착제도포단계(S150)를 포함하여 접합시켜 자기전기 복합체를 제조한다.

[0090] 이상에서 본 발명은 특정의 실시예와 관련하여 도시 및 설명하였지만, 첨부된 특허청구범위에 의해 나타난 발명의 사상 및 영역으로부터 벗어나지 않는 한도내에서 다양한 변경, 개조 및 변화가 가능하다는 것을 당 업계에서 통상의 지식을 가진 자라면 누구나 쉽게 알 수 있을 것이다.

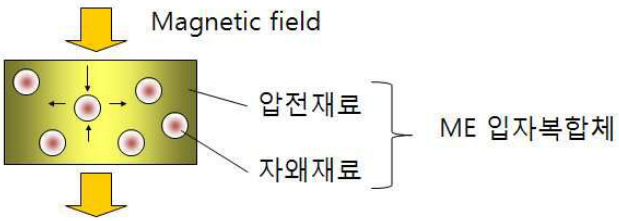
부호의 설명

[0091] S100: 준비단계 S150: 접착제도포단계

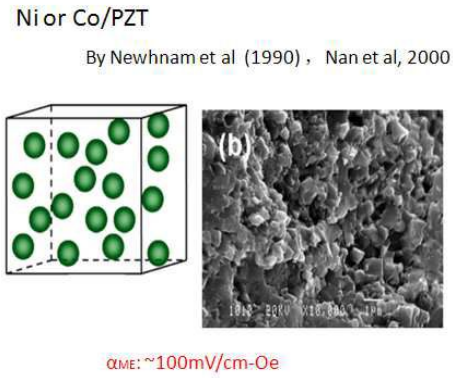
S200: <011>방향의 단결정 적층단계

도면

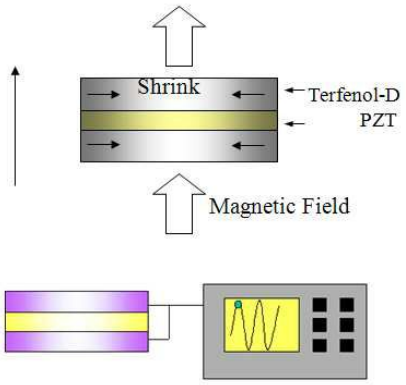
도면1



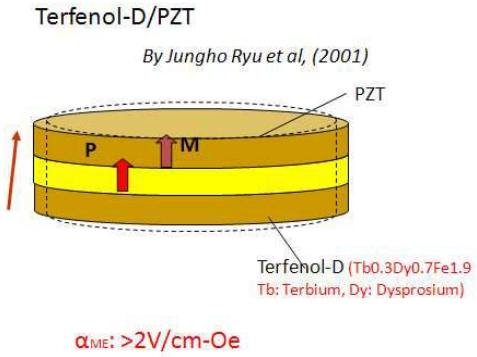
도면2


Ni or Co/PZT
By Newhnam et al (1990), Nan et al, 2000
(b)
αME: ~100mV/cm-Oe

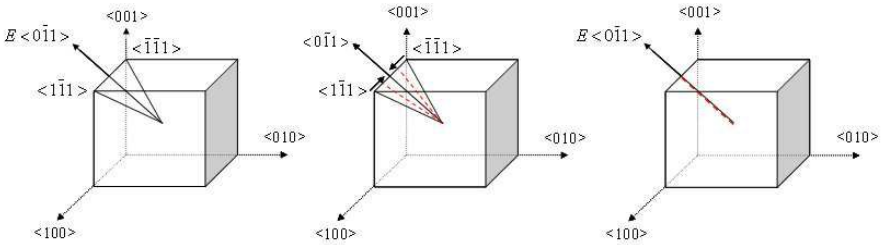
도면3


Shrink
Terfenol-D
PZT
Magnetic Field

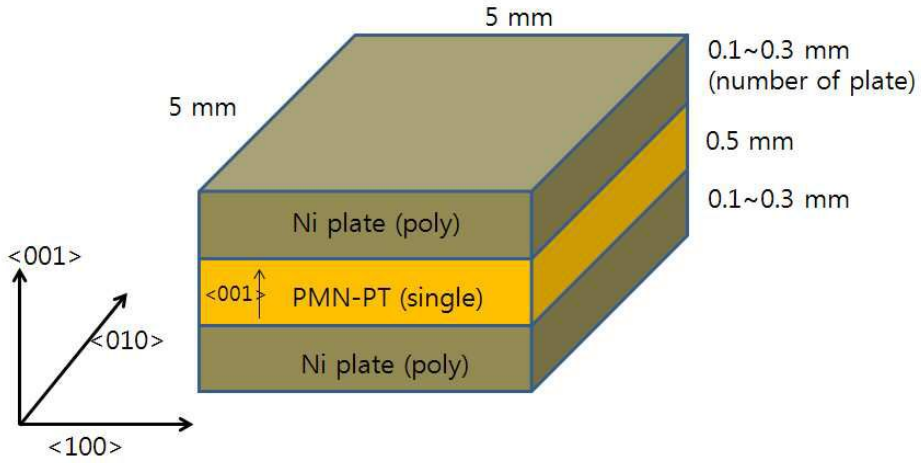
도면4


Terfenol-D/PZT
By Jungho Ryu et al, (2001)
PZT
P
M
Terfenol-D (Tb0.3Dy0.7Fe1.9
Tb: Terbium, Dy: Dysprosium)
αME: >2V/cm-Oe

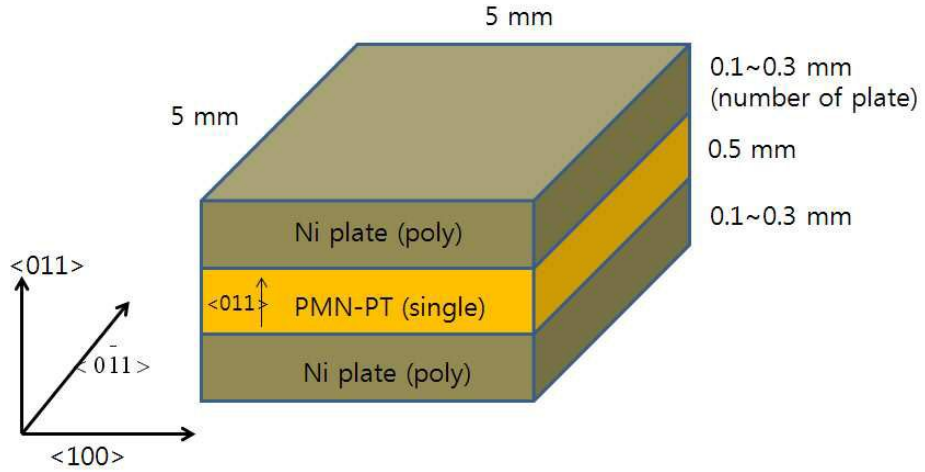
도면5


<001>
E<011>
<111>
<111>
<010>
<100>
<001>
<011>
<111>
<111>
<010>
<100>
<001>
E<011>
<010>
<100>

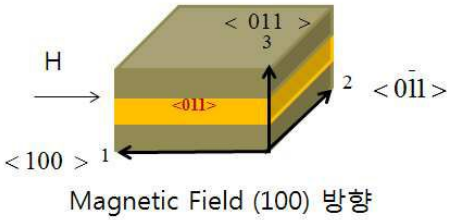
도면6


5 mm
5 mm
0.1~0.3 mm
(number of plate)
0.5 mm
0.1~0.3 mm
Ni plate (poly)
<001>
PMN-PT (single)
Ni plate (poly)
<001>
<010>
<100>

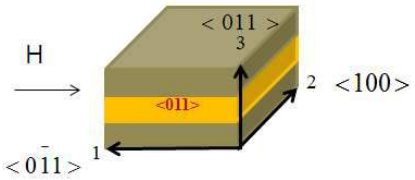
도면7


5 mm
5 mm
0.1~0.3 mm
(number of plate)
0.5 mm
0.1~0.3 mm
Ni plate (poly)
<011>
PMN-PT (single)
Ni plate (poly)
<011>
<0 1 1>
<100>

도면8

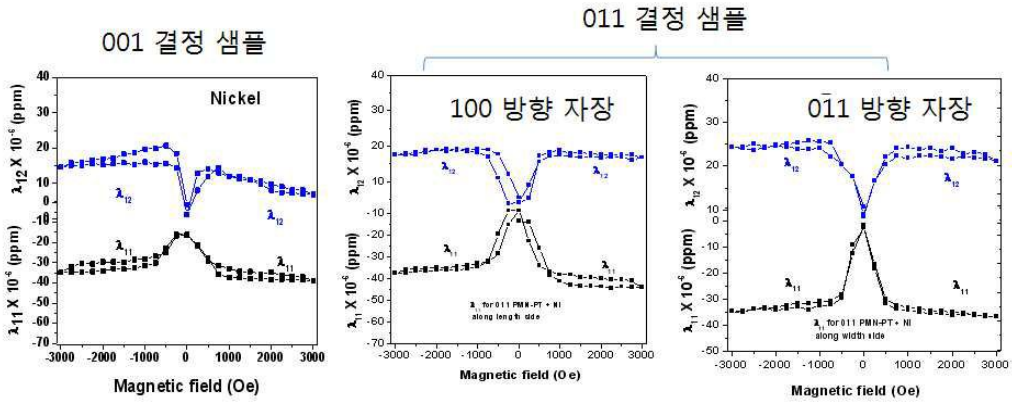


Magnetic Field (100) 방향

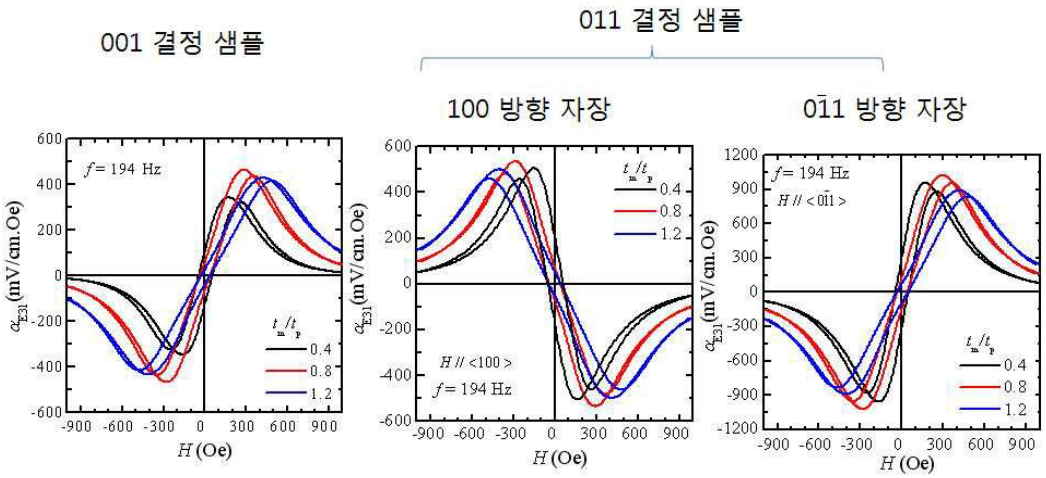


Magnetic Field (0$\bar{1}$1) 방향

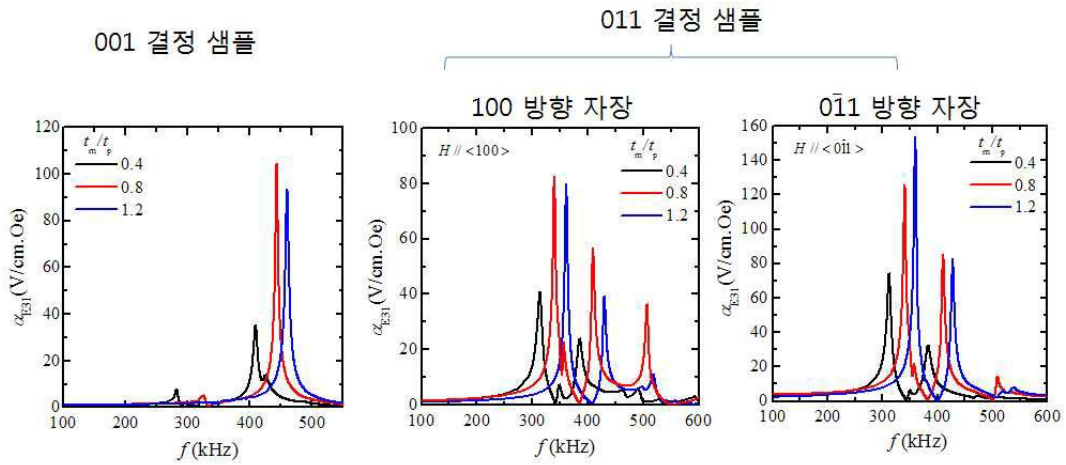
도면9



도면10

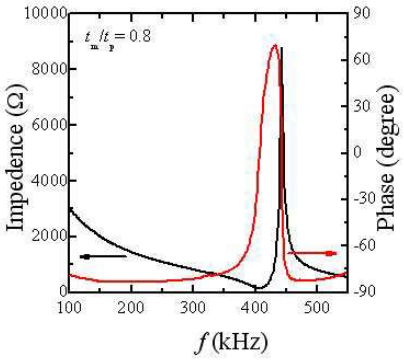

001 결정 샘플
011 결정 샘플
100 방향 자장
0$\bar{1}$1 방향 자장
f = 194 Hz
H // <100>
H // <0$\bar{1}$1>
t_m/t_p
0.4
0.8
1.2
α_{E31}(mV/cm.Oe)
H(Oe)

도면11

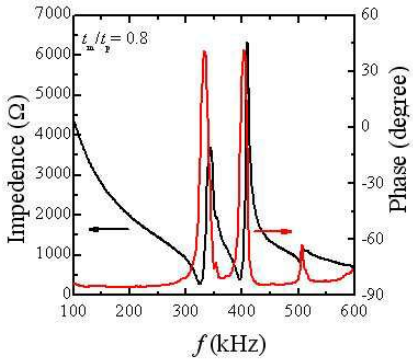

001 결정 샘플
011 결정 샘플
100 방향 자장
0$\bar{1}$1 방향 자장
H // <100>
H // <0$\bar{1}$1>
t_m/t_p
0.4
0.8
1.2
α_{E31}(V/cm.Oe)
f(kHz)

도면12

001 결정 샘플

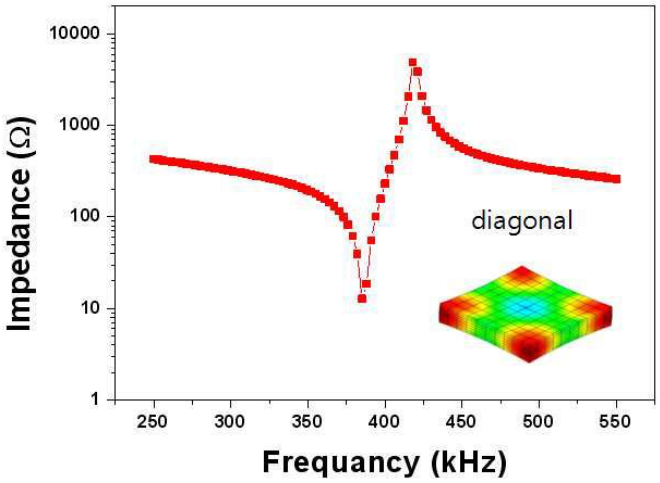


011 결정 샘플

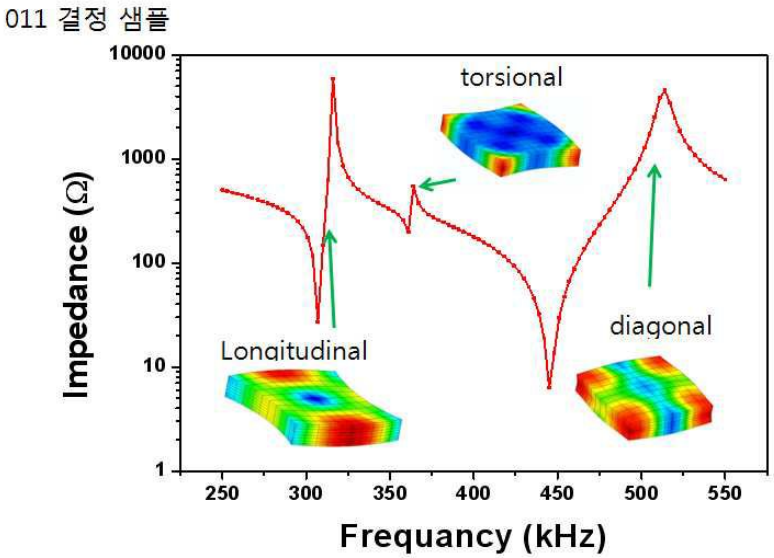


도면13

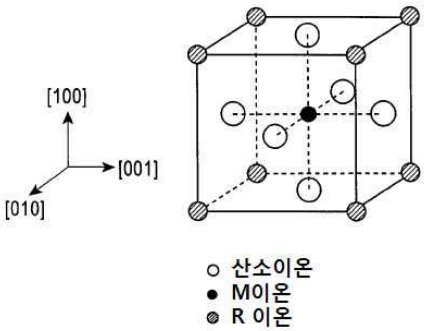
001 결정 샘플



도면14


011 결정 샘플
10000
1000
100
10
1
Impedance (Ω)
250
300
350
400
450
500
550
Frequancy (kHz)
torsional
Longitudinal
diagonal

도면15


[100]
[001]
[010]
산소이온
M이온
R 이온

도면16

