



(19) 대한민국특허청(KR)
(12) 등록특허공보(B1)

(45) 공고일자 2013년11월06일
(11) 등록번호 10-1325552
(24) 등록일자 2013년10월30일

(51) 국제특허분류(Int. Cl.)
H01L 41/09 (2006.01) H01L 41/187 (2006.01)
H02N 2/00 (2006.01)
(21) 출원번호 10-2008-7009656
(22) 출원일자(국제) 2006년09월15일
심사청구일자 2011년07월21일
(85) 번역문제출일자 2008년04월22일
(65) 공개번호 10-2008-0063354
(43) 공개일자 2008년07월03일
(86) 국제출원번호 PCT/JP2006/318791
(87) 국제공개번호 WO 2007/034903
국제공개일자 2007년03월29일
(30) 우선권주장
JP-P-2005-00277108 2005년09월26일 일본(JP)
JP-P-2006-00188765 2006년07월10일 일본(JP)
(56) 선행기술조사문헌
JP2000326506 A
JP2005093133 A
W01998033220 A1

(73) 특허권자
후지필름 가부시킴가이샤
일본 도쿄도 미나토구 니시 아자부 2쵸메 26방 30고
(72) 발명자
사카시타 유키오
일본국 카나가와켄 아시가라카미군 카이세이마치 우시지마 577후지필름 가부시킴가이샤 나이
후지 타카미치
일본국 카나가와켄 아시가라카미군 카이세이마치 우시지마 577후지필름 가부시킴가이샤 나이
히시누마 요시카즈
일본국 카나가와켄 아시가라카미군 카이세이마치 우시지마 577후지필름 가부시킴가이샤 나이
(74) 대리인
하영욱

전체 청구항 수 : 총 21 항

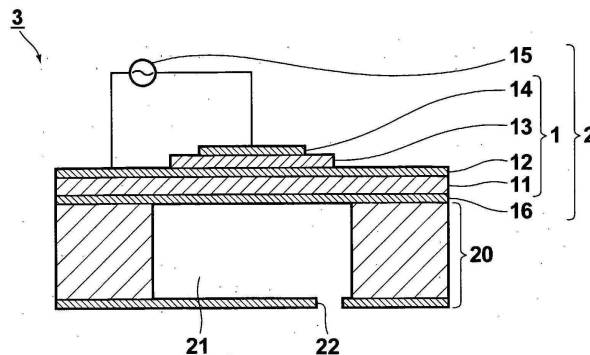
심사관 : 노영철

(54) 발명의 명칭 압전소자, 그 구동방법, 압전장치 및 액체 토출 장치

(57) 요약

본 발명의 압전소자(1)는 압전체(13), 및 상기 압전체(13)에 대하여 소정 방향으로 전계를 인가하는 전극(12, 14)을 포함한다. 상기 압전체(13)는 전계가 인가되지 않을 때에 결정 배향성을 갖는 제 1 강유전체 결정층을 함유하고, 소정의 전계 E1 이상을 인가해서, 상기 제 1 결정의 적어도 일부가 상기 제 1 결정의 결정계와 다른 결정계인 제 2 강유전체 결정으로 상전이하는 특징을 갖는 무기화합물 다결정을 함유한다. 상기 압전소자(1)는 최소 인가 전계 E_{min} 및 최대 인가 전계 E_{max}가 E_{min} < E1 < E_{max}을 만족하는 조건에서 구동된다.

대표도 - 도1



특허청구의 범위

청구항 1

i) 압전성을 갖는 압전체, 및

ii) 상기 압전체에 대하여 소정 방향으로 전계를 인가하는 전극을 포함하는 압전소자로서:

상기 압전체는 전계가 인가되지 않을 때에 결정 배향성을 갖는 제 1 강유전체 결정을 함유하고, 소정의 전계 E1 이상의 전계 인가에 의해서 상기 제 1 강유전체 결정의 적어도 일부가 상기 제 1 강유전체 결정의 결정계와 다른 결정계인 제 2 강유전체 결정으로 상전이하는 특징을 갖는 무기화합물 다결정을 함유하고;

최소 인가 전계 E_{min} 및 최대 인가 전계 E_{max} 가 식(1)을 만족하는 조건에서 구동되는 것을 특징으로 하는 압전소자.

$$E_{min} < E1 < E_{max} \cdots (1)$$

(식중, 전계 E1은 제 1 강유전체 결정으로부터 제 2 강유전체 결정으로의 상전이가 시작하는 최소 전계를 나타낸다.)

청구항 2

제 1 항에 있어서, 최소 인가 전계 E_{min} 및 최대 인가 전계 E_{max} 가 식(2)을 만족하는 조건에서 구동되는 것을 특징으로 하는 압전소자.

$$E_{min} < E1 \leq E2 < E_{max} \cdots (2)$$

(식중, 전계 E2은 제 1 강유전체 결정으로부터 제 2 강유전체 결정으로의 상전이가 완전하게 종료하는 전계를 나타낸다).

청구항 3

제 1 항에 있어서, 상기 제 1 강유전체 결정의 분극축 방향이 상기 전극에 의한 전계 인가 방향과 다른 것을 특징으로 하는 압전소자.

청구항 4

제 3 항에 있어서, 상기 전계 인가 방향이 상기 제 2 강유전체 결정의 분극축 방향과 일치하는 것을 특징으로 하는 압전소자.

청구항 5

제 1 항에 있어서, 상기 제 1 강유전체 결정은 정방정계 결정, 사방정계 결정, 및 능면정계 결정으로 이루어진 군에서 선택되고,

상기 제 2 강유전체 결정은 정방정계 결정, 사방정계 결정, 및 능면정계 결정으로 이루어진 군에서 선택되고, 상기 제 1 강유전체 결정과 다른 결정계인 것을 특징으로 하는 압전소자.

청구항 6

제 5 항에 있어서, 상기 제 1 강유전체 결정은 <001>방향으로 결정 배향성을 갖는 능면정계 결정이며, 상기 제 2 강유전체 결정은 정방정계 결정인 것을 특징으로 하는 압전소자.

청구항 7

제 5 항에 있어서, 상기 제 1 강유전체 결정은 <111>방향으로 결정 배향성을 갖는 정방정계 결정이며, 상기 제 2 강유전체 결정은 능면정계 결정인 것을 특징으로 하는 압전소자.

청구항 8

제 5 항에 있어서, 상기 제 1 강유전체 결정은 <001>방향으로 결정 배향성을 갖는 사방정계 결정이며, 상기 제 2 강유전체 결정이 정방정계 결정인 것을 특징으로 하는 압전소자.

청구항 9

제 5 항에 있어서, 상기 제 1 강유전체 결정은 <110>방향으로 결정 배향성을 갖는 정방정계 결정이며, 상기 제 2 강유전체 결정은 사방정계 결정인 것을 특징으로 하는 압전소자.

청구항 10

제 5 항에 있어서, 상기 제 1 강유전체 결정은 <110>방향으로 결정 배향성을 갖는 능면정계 결정이며, 상기 제 2 강유전체 결정은 사방정계 결정인 것을 특징으로 하는 압전소자.

청구항 11

제 5 항에 있어서, 상기 제 1 강유전체 결정은 <111>방향으로 결정 배향성을 갖는 사방정계 결정이며, 상기 제 2 강유전체 결정은 능면정계 결정인 것을 특징으로 하는 압전소자.

청구항 12

제 1 항에 있어서, 상기 압전체는 불가피한 불순물을 함유해도 좋은 1종 이상의 페로브스카이트형 산화물을 함유하는 것을 특징으로 하는 압전소자.

청구항 13

제 12 항에 있어서, 상기 압전체는 하기 일반식으로 나타낸, 불가피한 불순물을 함유해도 좋은 1종 이상의 페로브스카이트형 산화물을 함유하는 것을 특징으로 하는 압전소자.

일반식 ABO_3

(식중, A는 A사이트의 원소를 나타내며, P b, B a, L a, S r, B i, L i, Na, Ca, C d, M g, 및 K 로 이루어지는 군에서 선택된 1종 이상의 원소를 나타내고, B는 B사이트의 원소를 나타내고, T i, Z r, V, N b, T a, C r, M o, W, M n, S c, C o, C u, I n, S n, G a, Z n, C d, F e, N i, 및 란타게 원소로 이루어지는 군에서 선택된 1종 이상의 원소를 나타내고, O는 산소원자를 나타내고, A사이트 원소의 몰수가 1.0이며, 동시에 B사이트 원소의 몰수가 1.0인 것이 표준 조성이지만, A사이트 원소의 몰수와 B사이트 원소의 몰수는 페로브스카이트 구조를 얻을 수 있는 범위내에서 1.0로부터 벗어나도 좋다.)

청구항 14

제 1 항에 있어서, 상기 압전체의 상기 제 1 강유전체 결정으로부터 상기 제 2 강유전체 결정으로 상전이가 발생하는 상전이 온도는 $-50 \sim +200^{\circ}\text{C}$ 의 범위에 있는 것을 특징으로 하는 압전소자.

청구항 15

제 1 항에 있어서, 상기 압전체는 막두께가 $20 \mu\text{m}$ 이하의 압전막인 것을 특징으로 하는 압전소자.

청구항 16

제 1 항에 있어서, 상기 압전체는 입자 배향 세라믹스 소결체를 함유하는 것을 특징으로 하는 압전소자.

청구항 17

i) 압전성을 갖는 압전체, 및

ii) 상기 압전체에 대하여 소정 방향으로 전계를 인가하는 전극을 포함하는 압전소자의 구동방법으로서:

상기 압전체는 전계가 인가되지 않을 때에 결정 배향성을 갖는 제 1 강유전체 결정을 함유하고, 소정의 전계 E_1 이상의 전계 인가에 의해서 상기 제 1 강유전체 결정의 적어도 일부가 상기 제 1 강유전체 결정의 결정계과 다른 결정계인 제 2 강유전체 결정으로 상전이하는 특징을 갖는 무기화합물 다결정을 함유하고;

최소 인가 전계 E_{\min} 및 최대 인가 전계 E_{\max} 가 식(1)을 만족하는 조건에서 상기 압전소자를 구동하는 단계를 포함하는 특징으로 하는 압전소자의 구동방법.

$$E_{\min} < E_1 < E_{\max} \cdots (1)$$

(식중, 전계 E1은 제 1 강유전체 결정으로부터 제 2 강유전체 결정으로의 상전이가 시작하는 최소 전계를 나타낸다).

청구항 18

제 17 항에 있어서, 최소 인가 전계 E_{min} 및 최대 인가 전계 E_{max} 가 식(2)을 만족하는 조건에서 상기 압전소자를 구동하는 것을 특징으로 하는 압전소자의 구동방법.

$$E_{min} < E1 \leq E2 < E_{max} \cdots (2)$$

(식중, 전계 E2은 제 1 강유전체 결정으로부터 제 2 강유전체 결정으로의 상전이가 완전하게 종료하는 전계를 나타낸다).

청구항 19

i) a) 압전성을 갖는 압전체, 및

b) 상기 압전체에 대하여 소정 방향으로 전계를 인가하는 전극을 포함하는 압전소자; 및

ii) 상기 압전소자의 구동을 제어하는 제어 수단을 포함하는 압전장치로서:

상기 압전체는 전계가 인가되지 않을 때에 결정 배향성을 갖는 제 1 강유전체 결정을 함유하고, 소정의 전계 E1 이상의 전계 인가에 의해서 상기 제 1 강유전체 결정의 적어도 일부가 상기 제 1 강유전체 결정의 결정계와 다른 결정계인 제 2 강유전체 결정으로 상전이하는 특징을 갖는 무기화합물 다결정을 함유하고;

상기 제어 수단은 최소 인가 전계 E_{min} 및 최대 인가 전계 E_{max} 가 식(1)을 만족하는 조건에서 상기 압전소자를 구동하는 것을 특징으로 하는 압전장치.

$$E_{min} < E1 < E_{max} \cdots (1)$$

(식중, 전계 E1은, 제 1 강유전체 결정으로부터 제 2 강유전체 결정으로의 상전이가 시작하는 최소 전계를 나타낸다).

청구항 20

제 19 항에 있어서, 상기 제어 수단은 최소 인가 전계 E_{min} 및 최대 인가 전계 E_{max} 가 식(2)을 만족하는 조건에서 상기 압전소자를 구동하는 것을 특징으로 하는 압전장치.

$$E_{min} < E1 \leq E2 < E_{max} \cdots (2)$$

(식중, 전계 E2은 제 1 강유전체 결정으로부터 제 2 강유전체 결정으로의 상전이가 완전하게 종료하는 전계를 나타낸다).

청구항 21

i) 제 19 항에 기재된 압전 장치; 및

ii) a) 액체가 저장되는 액체저장실, 및

b) 상기 액체가 상기 액체저장실로부터 액체저장실 외부로 토출되는 액체토출구를 구비한 액체저장 및 토출부재

를 포함하는 것을 특징으로 하는 액체토출장치.

명세서

기술분야

[0001]

본 발명은 압전소자 및 압전소자의 구동 방법에 관한 것이다. 본 발명은 특히 압전소자의 구동하에서 압전소자를 구성하는 압전체의 결정구조 및 조건에 관한 것이다. 본 발명은 또한 압전소자 및 압전소자의 구동을 제어하는 제어 수단을 구비한 압전 장치, 및 이 압전 장치를 사용한 액체토출장치에 관한 것이다.

배경기술

- [0002] 인가되는 전계의 증감에 따라 신축하는 압전성을 갖는 압전체와, 압전체에 대하여 소정 방향으로 전계를 인가하는 전극을 구비한 압전소자가 잉크젯식 기록헤드에 탑재된 액추에이터 등으로서 사용되고 있다.
- [0003] 압전체 재료로서는, 티탄산 지르콘산납(P Z T)등의 페로브스카이트 구조를 갖는 복합 산화물이 알려져 있다. 상기 페로브스카이트 구조를 갖는 복합 산화물은 전계가 인가되지 않을 때에 자발분극성을 갖는 강유전체이다. 종래의 압전소자는 일반적으로 강유전체의 분극축에 맞춘 방향으로 전계를 인가하여 분극축 방향에 미치는 "압전 효과"를 이용한다 (강유전체의 분극축에 맞춘 방향으로 전계를 인가하는 기술은 종래 기술1로서 칭한다). 구체적으로, 종래에는 전계 인가 방향과 분극축 방향이 서로 일치하는 재료를 설계하는 것이 중요하다고 여겨져 왔다(즉, 분극축=전계 인가 방향).
- [0004] 그러나, 강유전체의 상기 압전 효과를 이용하는 것만으로는 상기 압전 소자의 왜변위량에 한계가 있다. 따라서, 왜변위량이 향상된 압전소자가 강하게 요구되어 왔다.
- [0005] 또한, 최근에 전자기기의 소형 및 경량화, 및 고기능화에 따라, 압전소자의 소형 및 경량화, 및 고기능화에 따른 경향이 증가하고 있다. 예를 들면 잉크젯식 기록헤드에 사용하는 압전소자의 경우에, 고화질의 화상이 얻어지도록, 최근에 압전소자의 배열 밀도를 향상시키는 것이 검토되고 있다. 또한, 압전 소자의 배열 밀도가 향상되도록, 최근에 압전소자의 박형화가 검토되고 있다. 그러나, 압전소자를 박형화시키는 경우에, 종래의 압전소자 같이 압전소자에 전압을 인가하면 압전체에 걸리는 인가 전계가 커진다. 따라서, 종래의 압전소자와 같은 재료설계를 그대로 적용하면 충분한 압전 효과를 얻을 수 없다.
- [0006] 도11은 종래의 압전 소자를 구성하는 압전체의 압전성을 나타내는 그래프이다. 상기 강유전체의 압전 효과에 의해 얻어진 압전성(인가 전계와 왜변위량의 관계)은 도 11에 도시된 곡선Q(종래 기술1)에 의해 대략 나타내는 것이 알려져 있다. 곡선Q는 0에서 특정 인가 전계 E_x 까지의 인가 전계 범위에서 인가 전계가 증가함에 따라 왜변위량이 직선적으로 증가하는 것을 나타낸다. 곡선Q는 특정 인가 전계 E_x 를 초과한 인가 전계의 범위에서, 인가 전계 증가에 대한 왜변위량의 증가가 현저하게 작아져서, 왜변위량이 거의 포화하는 것이 나타나 있다.
- [0007] 종래에, 압전소자는 인가 전계가 증가함에 따라 왜변위량이 직선적으로 증가하는 인가 전계 $0 \sim E_x$ 의 범위내에서 사용되어 왔다(예를 들면, 압전체의 재료의 종류에 따라서 E_x 는 약 $5 \sim 100 \text{ kV/cm}$ 의 값을 갖고, 압전체 재료의 종류에 따라서 최대 인가 전계는 약 $0.1 \sim 10 \text{ kV/cm}$ 의 값을 갖는다.). 그러나, 박형화된 압전소자에 대해서, 종래의 압전 소자와 같이 압전소자에 전압을 인가하는 경우에도 압전체에 걸리는 인가 전계가 커진다. 따라서, 이러한 경우에, 예를 들면 인가 전계가 $0 \sim E_y$, $E_y > E_x$ 의 범위내에서 박형화된 압전소자가 사용된다. 이 경우에 실질적인 압전상수는 도11에서 파선Q'로 나타낸 기울기로 나타낼 수 있다. 구체적으로, 이러한 경우에 압전상수는 인가 전계 $0 \sim E_x$ 의 범위내의 압전상수보다도 작고, 원래 압전소자가 가지고 있는 압전성이 충분히 사용될 수 없다.
- [0008] 특히, 최소 인가 전계와 최대 인가 전계와의 차이를 종래 방법과 같은 수준으로 설정할 경우, 예를 들면 인가 전계가 $E_x \sim E_y$ 의 범위내에 드는 압전소자를 사용할 경우에는, 압전소자는 거의 왜변위량을 얻을 수 없는 범위내에서 사용되고, 압전소자의 충분한 기능을 사용할 수 없다.
- [0009] 이러한 사정을 감안하여, 예를 들면, 일본 특허 제3568107호에, 전계 인가에 의해 압전체를 상전이시키는 압전소자가 제안되어 있다(일본 특허, 3568107호에 제안된 압전소자는 종래 기술2로 칭한다). 일본 특허 3568107호는, 상전이막, 전극, 및 상전이막을 쿨리 온도(curie) T_c 근방의 온도T에서 상전이막의 온도를 조정하는 발열체를 포함하는 압전소자가 개시되어 있다(일본 특허 3568107호의 청구항 1 참조). 또한, 일본 특허 3568107호에 있어서 상전이막은 정방정계와 능면정계의 사이에서 전이, 또는 능면정계 또는 정방정계와 입방정계의 사이에서 전이하는 막이 거론되고 있다 (일본 특허 3568107호의 청구항 2 참조).
- [0010] 일본 특허 3568107호에 있어서, 일본 특허 3568107호의 본 발명의 압전소자는 강유전체의 압전 효과와 상전이에 따르는 결정구조의 변화에 의한 체적변화에 의하여, 종래의 압전소자보다 큰 왜변위량을 얻을 수 있다는 것이 기재되어 있다.
- [0011] 일본 특허 3568107호에 있어서, 상전이막으로서, 각각이 강유전체인 정방정계와 능면정계의 사이에서 상전이하는 막과, 강유전체로 이루어진 능면정계 또는 정방정계와 상유전체로 이루어진 입방정계의 사이에서 상전이하는 막이 거론되고 있다. 그러나, 일본 특허 3568107호에 기재된 압전소자(종래 기술2)는 쿨리 온도 T_c 부근의 온도에서 사용된다. 쿨리 온도 T_c 는 강유전체와 상유전체의 사이의 상전이온도에 상응한다. 따라서, 쿨리 온도 T_c 부근의 온도에서 사용하는 경우에 상전이막은 정방정계와 능면정계의 사이에서 상전이를 할 수 없다. 따라서, 일본 특허 3568107호에 기재된 압전소자는, 강유전체와 상유전체의 사이의 상전이를 이용하는 것이다. 강유전체와

상유전체의 사이의 상전이를 이용한 압전소자는, 상유전체가 자발분극성을 갖지 않으므로, 상전이가 발생한 후에 전계인가에 의해 분극축 방향에 미치는 압전 효과를 얻을 수 없다.

[0012] 일본 특허 3568107호에 기재된 압전소자의 압전성은 개략 도 11에 도시된 곡선R(종래 기술2)로 나타낼 수 있다. 도 11에서, 비교하기 쉽게, 곡선 R로 나타낸 상전이가 발생하기 전의 압전성은 강유전체의 압전 효과만을 이용하는 상기 종래기술1에 상응하는 곡선 Q로 나타낸 상전이가 발생하기 전의 압전성과 동일하게 도시되어 있다. 곡선R은 상전이가 발생하기 전에 인가 전계의 범위에서 강유전체의 압전 효과에 의해 인가 전계가 증가함에 따라 왜변위량이 직선적으로 증가하는 것을 나타낸다. 곡선 R은 또한 상전이가 시작하는 인가 전계 E1로부터 상전이가 대략 완료하는 인가 전계 E2까지의 인가 전계 범위에서, 상전이에 따르는 결정구조의 변화에 의해 왜변위량이 증가하는 것을 나타낸다. 곡선R은 또한 상유전체로의 상전이가 대략 완료하는 인가 전계 E2를 초과하는 인가 전계 범위에서, 강유전체의 압전 효과를 얻을 수 없으므로, 전계를 그 이상 인가해도 왜변위량이 증가하지 않는 것을 나타낸다.

[0013] 종래 기술 2에 의하면 강유전체의 압전 효과만을 이용하는 종래 기술 1의 경우와 같이 압전소자를 박형화하면, 박형화된 압전소자는 왜변위량이 거의 얻어지지 않는 높은 인가 전계 범위를 함유한 인가 전계를 사용하고, 조작 효율을 높일 수 없다.

발명의 상세한 설명

[0014] 본 발명은 상기 실정을 고려하여 이루어진 것으로서, 본 발명의 주목적은 큰 왜변위량을 안정적으로 얻을 수 있고, 박형화에도 대응가능한 압전소자를 제공하는 것이다.

[0015] 본 발명의 다른 목적은 압전 소자를 구동하는 방법을 제공하는 것이다.

[0016] 본 발명의 또 다른 목적은 상기 압전소자와, 이 압전소자의 구동을 제어하는 제어 수단을 구비한 압전 장치를 제공하는 것이다.

[0017] 본 발명의 구체적인 목적은 압전 장치를 이용하는 액체 토출 장치를 제공하는 것이다.

[0018] 본 발명은

[0019] i)압전성을 갖는 압전체, 및

[0020] ii)상기 압전체에 대하여 소정 방향으로 전계를 인가하는 전극을 포함하는 압전소자로서,

[0021] 상기 압전체는 전계가 인가되지 않을 때에 결정 배향성을 갖는 제 1 강유전체 결정을 함유하고, 소정의 전계 E1 이상의 전계인가에 의해, 상기 제 1 강유전체 결정의 적어도 일부가 상기 제 1 강유전체 결정의 결정계와 다른 결정계인 제 2 강유전체 결정으로 상전이하는 특징을 갖는 무기화합물 다결정을 함유하고,

[0022] 최소 인가 전계 E_{min} 및 최대 인가 전계 E_{max} 가 식(1)을 만족하는 조건에서 구동되는 것을 특징으로 한다:

[0023] $E_{min} < E1 < E_{max} \cdots (1)$

[0024] (식중, 전계 E1은 제 1 강유전체 결정으로부터 제 2 강유전체 결정으로의 상전이가 시작하는 최소 전계를 나타낸다.)

[0025] 본 발명의 압전소자에 있어서, 상기 압전체는 전계가 인가되지 않을 때에 제 1 강유전체 결정으로 이루어지는 무기화합물 다결정으로 이루어져도 좋다. 또한, 상기 압전체는 전계가 인가되지 않을 때에 제 1 강유전체 결정의 결정계 및 제 1 강유전체 결정의 결정계와 다른 강유전체 결정의 혼합물을 함유한 무기화합물 다결정으로 이루어져도 좋다.

[0026] 본 명세서에서 사용되는, "제 1 강유전체 결정이 결정 배향성을 갖는다"란, Lotgerling법에 의해 측정된 제 1 강유전체 결정의 배향율 F가 80% 이상인 것을 의미한다.

[0027] 배향율 F는 하기 식(i)으로 나타낼 수 있다.

[0028] $F(\%) = (P - P_0) / (1 - P_0) \times 100 \cdots (i)$

[0029] 식(i)중, P는 배향면에서의 반사 강도의 합계와 전체 반사강도의 합계의 비를 나타낸다. (001)배향의 경우, P는 (001)면으로부터의 반사 강도 $I(001)$ 의 합계 $\Sigma I(001)$ 과, 각 결정면 (hkl)으로부터의 반사 강도

$I(hkl)$ 의 합계 $\Sigma I(hkl)$ 의 비 $\{\Sigma I(001)/\Sigma I(hkl)\}$ 이다. 예를 들면, 페로브스카이트 결정에 있어서 (001)배향의 경우에, P 는 $P=I(001)/[I(001)+I(100)+I(101)+I(110)+I(111)]$ 로부터 산출된다.

- [0030] 또한, 식(i)에서 P_0 은 완전하게 임의의 배향을 하고 있는 시료의 P 이다.
- [0031] 완전하게 임의의 배향을 하는 시료의 경우($P=P_0$)에 배향율 F 는 0%이다. 또한, 완전하게 배향하는 시료의 경우($P=1$)에 배향율 F 는 100%이다.
- [0032] 예를 들면, 상기 일본 특허 No.3568107호(종래 기술2)에 있어서, 결정 배향성에 대해서 언급되지 않았다. 여기서, 종래에 압전체로서 불균일 구조의 세라믹스 소결체가 사용되었고, 결정 배향성을 갖는 압전체의 이용에 대한 구상은 없었다.
- [0033] 본 발명의 압전소자는 최소 인가 전계 E_{min} 및 최대 인가 전계 E_{max} 가 하기 식(2)을 만족하는 조건에서 구동되도록 변경하는 것이 바람직하다:
- [0034] $E_{min} < E_1 \leq E_2 < E_{max} \cdots (2)$
- [0035] 식중, 전계 E_2 은 제 1 강유전체 결정으로부터 제 2 강유전체 결정으로의 상전이가 대략 완전하게 종료하는 전계를 나타낸다.
- [0036] 본 명세서에서 사용된, "제 1 강유전체 결정으로부터 제 2 강유전체 결정으로의 상전이가 대략 완전하게 종료하는 전계 E_2 "는, 더 높은 전계를 더 인가해도 상전이가 더 발생하지 않는 전계를 의미한다. 압전체에 E_2 를 초과한 전계를 인가하는 경우에, 제 1 강유전체 결정의 일부가 제 2 강유전체 결정으로 상전이지 않고 제 1 강유전체 결정으로 남는 경우가 있다.
- [0037] 또한, 본 발명의 압전소자는, 상기 제 1 강유전체 결정의 분극축 방향이 상기 전극에 의한 전계 인가 방향과 다른 방향으로 변경하는 것이 바람직하다. 특히, 상기 전계 인가 방향이 상기 제 2 강유전체 결정의 분극축 방향과 대략 일치하도록 변경하는 것이 바람직하다.
- [0038] 본 명세서에서 사용되는, "전계 인가 방향이 제 2 강유전체 결정의 분극축 방향과 대략 일치한다"란, 전계 인가 방향과 제 2 강유전체 결정의 분극축 방향의 어긋남이 $\pm 20^\circ$ 이내에 드는 것을 의미한다.
- [0039] 상술한 것처럼, 강유전체의 압전 효과만 이용하는 종래의 압전 소자(종래 기술 1)에 대해서, 강유전체의 분극축에 맞춘 방향으로 전계를 인가하는 것이 중요하다고 여겨진다. 강유전체 결정의 분극축에 맞춘 방향으로 전계를 인가하는 상기 기술은 제 1 강유전체 결정을 제 2 강유전체 결정으로 상전이지키는 본 발명의 장치에 그대로 적용하면, 상전이지기 전에 제 1 강유전체 결정의 분극축에 맞춘 방향으로 전계를 인가한다.
- [0040] 본 발명의 압전소자는 종래 기술 1과 반대로, 제 1 강유전체 결정의 분극축 방향과 전극의 전계 인가 방향을 서로 다르게 설정한다. 또한, 바람직하게는 상기 전계 인가 방향을 제 2 강유전체 결정의 분극축 방향과 대략 동일하게 설정한다. 본 발명의 압전소자는, "엔지니어드 도메인 효과(engineered domain effect)" 등을 바람직하게 얻을 수 있다.
- [0041] "단결정체의 엔지니어드 도메인 효과"는, 예를 들면 "Ultrahigh strain and piezoelectric behavior in relaxor based ferroelectric single crystals", S.E.Park et.al., JAP,82,1804(1997)에 기재되어 있다.
- [0042] 상기 문헌에서, "엔지니어드 도메인 효과"는, PZN-8%PT 단결정체에 대해서, 제 1 강유전체 결정(능면정계)부터 제 2 강유전체 결정(정방정계)으로 상전이지켜서, 제 1 강유전체 결정의 분극축 방향과 전계 인가 방향을 서로 다르게 하고, 전계 인가 방향을 제 2 강유전체 결정의 분극축 방향에 맞추는 경우, 전계 인가 방향을 제 1 강유전체 결정의 분극축 방향에 맞추는 경우에 비해서 큰 변위량을 얻을 수 있는 효과로서 기재되어 있다.
- [0043] 도 12는 상기 문헌의 도 17에 도시된 압전성을 나타낸다. 상기 문헌에서, 단계 A와 단계 B의 범위내, 즉 상전이가 대략 완료하기 전의 범위내에서, 엔지니어드 도메인 효과에 의해서, 전계 인가 방향을 제 1 강유전체 결정의 분극축 방향에 맞추는 것에 비해 큰 변위량을 얻을 수 있는 것이 기재되어 있다. 상기 문헌에서, 엔지니어드 도메인 효과가 일어나는 이유에 대해서는 밝혀져 있지 않다.
- [0044] 그러나, 상기 문헌에서, 상전이가 대략 완전히 종료된 후의 단계의 압전성에 대해서는 특히 논의되어 있지 않다. 또한, 그 다결정에 대해서도 언급되지 않았다. 본 발명의 압전 소자에서 다결정을 사용한 결정 배향성을 갖는 다결정에 대해서 언급되지 않았다. 또한, 최소 인가 전계와 최대 인가 전계를 특정한 범위내로 설정해서 구동하는 등의 기술에 대해서는 언급되지 않았다. 구체적으로, 상기문헌에는, "단결정체의 엔지니어드 도메인 효과"

과"가 보고되지만, 그 효과만 보고 되어 있고, 다결정체에 대한 응용, 압전소자로서 구체적인 이용 등에 대해서는, 언급되지 않고 있다.

- [0045] 본 발명의 압전소자에 있어서, 상기 제 1 강유전체 결정과 상기 제 2 강유전체 결정의 조합은, 상기 제 1 강유전체 결정이, 정방정계 결정, 사방정계 결정, 및 능면정계 결정으로 이루어진 군에서 선택되고,
- [0046] 상기 제 2 강유전체 결정이, 정방정계 결정, 사방정계 결정, 및 능면정계 결정으로 이루어진 군에서 선택되고, 상기 제 1 강유전체 결정과 다른 결정계로 될 수 있다.
- [0047] 강유전체 결정의 분극축은 아래와 같다.
- [0048] 정방정계: <001>,
- [0049] 사방정계: <110>,
- [0050] 능면정계: <111>
- [0051] 전계 인가 방향은 보통 압전체의 두께 방향(압전체의 표면에 대하여 수직방향, 즉 배향방향)으로 설정한다.
- [0052] 상기 분극축을 고려하는 경우에, 전계 인가 방향(배향방향)이 상전이가 발생한 후의 제 2 강유전체 결정의 분극축 방향과 대략 일치하는, 제 1 강유전체 결정과 제 2 강유전체 결정의 조합으로서는 하기의 조합(1)~(6)을 들 수 있다.
- [0053] (1)상기 제 1 강유전체 결정이 대략 <001>방향으로 결정 배향성을 갖는 능면정계 결정이며, 상기 제 2 강유전체 결정이 정방정계 결정인 조합,
- [0054] (2)상기 제 1 강유전체 결정이 대략 <111>방향으로 결정 배향성을 갖는 정방정계 결정이며, 상기 제 2 강유전체 결정이 능면정계 결정인 조합,
- [0055] (3)상기 제 1 강유전체 결정이 대략 <001>방향으로 결정 배향성을 갖는 사방정계 결정이며, 상기 제 2 강유전체 결정이 정방정계 결정인 조합,
- [0056] (4)상기 제 1 강유전체 결정이 대략 <110>방향으로 결정 배향성을 갖는 정방정계 결정이며, 상기 제 2 강유전체 결정이 사방정계 결정인 조합,
- [0057] (5)상기 제 1 강유전체 결정이 대략 <110>방향으로 결정 배향성을 갖는 능면정계 결정이며, 상기 제 2 강유전체 결정이 사방정계 결정인 조합,
- [0058] (6)상기 제 1 강유전체 결정이 대략 <111>방향으로 결정 배향성을 갖는 사방정계 결정이며, 상기 제 2 강유전체 결정이 능면정계 결정.
- [0059] 본 명세서에서 사용되는, "제 1 강유전체 결정이 대략 <a b c>방향으로 결정 배향성을 갖는다"란, 배향율 F가 80% 이상인 것을 의미한다.
- [0060] 본 발명의 압전소자에 있어서, 상기 압전체는 불가피한 불순물을 함유해도 좋은 1종 이상의 페로브스카이트형 산화물을 함유해도 좋다.
- [0061] 이러한 경우에, 상기 압전체는, 하기 식으로 나타낸, 불가피한 불순물을 함유해도 좋은 1종 이상의 페로브스카이트형 산화물을 함유하는 것이 바람직하다.
- [0062] 일반식 ABO_3
- [0063] 식중, A는 A사이트의 원소이며, P b, B a, L a, S r, B i, L i, Na, Ca, C d, M g, 및 K 로 이루어지는 군에서 선택된 1종 이상의 원소이고, B는 B사이트의 원소이며, T i, Z r, V, N b, T a, C r, M o, W, M n, S c, C o, C u, I n, S n, G a, Z n, C d, F e, N i, 및 란탄계 원소로 이루어지는 군에서 선택된 1종 이상의 원소, O는 산소원자이고, A사이트 원소의 몰수가 1.0이며, 동시에 B사이트 원소의 몰수가 1.0인 것이 표준 조성이지만, A사이트 원소의 몰수와 B사이트 원소의 몰수는 페로브스카이트 구조를 얻을 수 있는 범위 내에서 1.0로부터 벗어나도 좋다.
- [0064] 또한, 본 발명의 압전소자는, 상기 압전체의 상기 제 1 강유전체 결정으로부터 상기 제 2 강유전체 결정으로 상전이하는 상전이 온도는 $-50 \sim +200^{\circ}\text{C}$ 의 범위에 있도록 변경하는 것이 바람직하다.

- [0065] 또한, 본 발명의 압전소자는, 상기 압전체가 막두께 $20\mu\text{m}$ 이하의 압전막으로 변경할 수 있다.
- [0066] 또한, 본 발명의 압전 소자는 상기 압전체가 입자 배향 세라믹스 소결체를 함유하도록 변경해도 좋다.
- [0067] 또한, 본 발명은,
- [0068] i) 압전성을 갖는 압전체, 및
- [0069] ii) 상기 압전체에 소정 방향으로 전계를 인가하는 전극을 구비한 압전소자의 구동 방법을 제공한다.
- [0070] 상기 압전체는 전계가 인가되지 않을 때에 결정 배향성을 갖는 제 1 강유전체 결정을 함유하고, 소정의 전계 $E1$ 이상의 전계인가에 의해, 상기 제 1 강유전체 결정의 적어도 일부가 상기 제 1 강유전체 결정의 결정계와 다른 결정계인 제 2 강유전체 결정으로 상전이하는 특징을 갖는 무기화합물 다결정을 함유하고,
- [0071] 상기 방법은 최소 인가 전계 E_{min} 및 최대 인가 전계 E_{max} 가 식(1)을 만족하는 조건에서, 상기 압전소자를 구동하는 단계를 포함하는 특징을 갖는다.
- [0072] $E_{min} < E1 < E_{max} \cdots (1)$
- [0073] 식중, 전계 $E1$ 은, 제 1 강유전체 결정으로부터 제 2 강유전체 결정으로의 상전이가 시작하는 최소 전계를 나타낸다.
- [0074] 본 발명의 압전소자의 구동 방법은, 최소 인가 전계 E_{min} 및 최대 인가 전계 E_{max} 가 식(2)을 만족하는 조건에서, 압전소자를 구동하도록 변경하는 것이 바람직하다.
- [0075] $E_{min} < E1 \leq E2 < E_{max} \cdots (2)$
- [0076] 식중, 전계 $E2$ 은, 제 1 강유전체 결정으로부터 제 2 강유전체 결정으로의 상전이가 대략 완전하게 종료하는 전계를 나타낸다.
- [0077] 본 발명은,
- [0078] i) a) 압전성을 갖는 압전체, 및
- [0079] b) 상기 압전체에 소정 방향으로 전계를 인가하는 전극을 구비한 압전소자, 및
- [0080] ii) 상기 압전소자의 구동을 제어하는 제어 수단을 포함한 압전 장치로서,
- [0081] 상기 압전체는 전계가 인가되지 않을 때에 결정 배향성을 갖는 제 1 강유전체 결정을 함유하고, 소정의 전계 $E1$ 이상의 전계인가에 의해 상기 제 1 강유전체 결정의 적어도 일부가 상기 제 1 강유전체 결정의 결정계와 다른 결정계인 제 2 강유전체 결정으로 상전이하는 특징을 갖는 무기화합물 다결정을 함유하고,
- [0082] 상기 제어 수단은, 최소 인가 전계 E_{min} 및 최대 인가 전계 E_{max} 가 식(1)을 만족하는 조건에서 상기 압전소자를 구동하는 압전장치를 제공한다:
- [0083] $E_{min} < E1 < E_{max} \cdots (1)$
- [0084] 식중, 전계 $E1$ 은, 제 1 강유전체 결정으로부터 제 2 강유전체 결정으로의 상전이가 시작하는 최소의 전계를 나타낸다.
- [0085] 본 발명의 압전 장치는 상기 제어 수단이 최소 인가 전계 E_{min} 및 최대 인가 전계 E_{max} 가 식(2)을 만족하는 조건에서, 상기 압전소자를 구동하도록 변경하는 것이 바람직하다:
- [0086] $E_{min} < E1 \leq E2 < E_{max} \cdots (2)$
- [0087] 식중, 전계 $E2$ 은 제 1 강유전체 결정으로부터 제 2 강유전체 결정으로의 상전이가 대략 완전하게 종료하는 전계를 나타낸다.
- [0088] 본 발명은,
- [0089] i) 본 발명의 압전 장치, 및
- [0090] ii) a) 액체가 저장되는 액체저장실 및
- [0091] b) 상기 액체가 상기 액체저장실로부터 액체저장실 외부로 토출되는 액체토출구를 구비한 액체저장 및 토출

부재

- [0092] 를 포함한 액체토출장치를 제공한다.
- [0093] 본 발명의 압전소자는, 전계가 인가되지 않을 때에 결정 배향성을 갖는 제 1 강유전체 결정을 함유하고, 소정의 전계 E1 이상의 전계인가에 의해 제 1 강유전체 결정의 적어도 일부가 제 1 강유전체 결정의 결정계와 다른 결정계인 제 2 강유전체 결정으로 상전이하는 특징을 갖는 무기화합물 다결정을 함유하는 압전체를 포함한다. 최소 인가 전계 E_{min} 및 최대 인가 전계 E_{max} 가 식(1)을 만족하는 조건에서 본 발명의 압전소자를 구동한다.
- [0094] $E_{min} < E1 < E_{max} \cdots (1)$
- [0095] 식중, 전계 E1은, 제 1 강유전체 결정으로부터 제 2 강유전체 결정으로의 상전이가 시작하는 최소의 전계를 나타낸다.
- [0096] 본 발명의 압전 소자는 최소 인가 전계 E_{min} 및 최대 인가 전계 E_{max} 가 식(2)을 만족하는 조건에서 구동하는 것이 바람직하다:
- [0097] $E_{min} < E1 \leq E2 < E_{max} \cdots (2)$
- [0098] 식중, 전계 E2은 제 1 강유전체 결정으로부터 제 2 강유전체 결정으로의 상전이가 대략 완전하게 종료하는 전계를 나타낸다.
- [0099] 본 발명의 압전소자는 압전체의 상전이에 따르는 결정구조의 변화에 의한 체적변화를 얻을 수 있다. 또한, 압전체는 상전이가 발생하는 전후에 강유전체 결정을 함유한다. 따라서, 상전이가 발생하는 전후에 강유전체의 압전 효과를 얻을 수 있다. 따라서, 상기 식(1)을 만족하는 조건하에서 압전소자를 구동하는 경우 및 상기 식(2)을 만족하는 조건하에서 압전소자를 구동하는 경우에, 대체로 큰 왜변위량을 얻을 수 있다.
- [0100] 본 발명의 압전소자에 있어서 상전이하기 전에 강유전체 결정인 제 1 강유전체 결정은 결정 배향성을 갖는 결정이다. 따라서, 제 1 강유전체 결정으로부터 제 2 강유전체 결정으로의 상전이가 안정적으로 진행될 수 있고, 큰 왜변위량을 안정적으로 얻을 수 있다.
- [0101] 본 발명의 압전소자의 상기 구성은 벌크 단결정을 사용하는 경우에 비해서, 제조 용이성, 저가, 높은 형상 설계 자유도 등의 점에서 유리하다. 또한, 압전소자의 두께를 얇게 설정할 경우에, 고가의 단결정 기판을 사용할 필요가 없으므로, 기판의 선택폭을 넓힐 수 있다. 넓어진 기판 선택폭은 저가, 높은 프로세스 선택성 등의 점에서 유리하다.
- [0102] 같은 화학식으로 나타낸 조성의 압전체를 구비한 본 발명의 압전소자 및 종래의 압전소자(상기 종래 기술 1)를 비교하면, 본 발명의 압전소자는 최대 인가 전계 E_{max} 가 강유전체의 압전효과만을 이용하는 종래의 압전소자(종래기술1)의 최대 인가 전계와 같거나 또는 그것보다도 높은 조건에서 구동된다. 따라서, 압전체에 종래의 수준과 같은 전압을 인가하는 경우에도 높은 인가 전계가 발생하는 박형의 압전소자에도 적용할 수 있다. 구체적으로, 본 발명의 압전소자는 그 박형화에도 대응할 수 있다.
- [0103] 본 발명의 압전소자는, 제 1 강유전체 결정의 분극축 방향이 전극의 전계 인가 방향과 다르게 되도록 변경하는 것이 바람직하다. 특히, 본 발명의 압전소자는 전계 인가 방향이 제 2 강유전체 결정의 분극축 방향과 대략 일치하도록 변경하는 것이 바람직하다. 이러한 경우에, "엔지니어드 도메인 효과"가 발현되고, 상전이가 효율적으로 진행된다. 따라서, 큰 왜변위량을 안정적으로 얻을 수 있다.

실시예

- [0116] 본 발명은 수반하는 도면을 참조로 해서 더욱 상세하게 설명한다.
- [0117] [압전소자]
- [0118] [압전소자, 압전 액추에이터, 및 잉크젯식 기록헤드]
- [0119] 이하, 도면을 참조하여, 본 발명에 따른 실시형태의 압전소자, 본 발명에 따른 실시형태의 압전소자를 구비한 압전 액추에이터(본 발명에 따른 압전 장치로서 구동), 및 잉크젯식 기록헤드(본 발명에 따른 액체토출장치로서 구동)에 관하여 설명한다. 도 1은 잉크젯식 기록헤드(액체 토출 장치로서 구동)의 주요부 단면도이고, 본 발명의 실시형태의 압전 소자를 구비하고, 압전소자의 두께 방향의 단면도이다. 도 1에서 명확하게 하기 위해서, 잉

크제 기록헤드의 구성요소의 감소 범위는 실제의 감소 범위와 다르다.

- [0120] 도 1에 대해서, 압전소자(1)는 기관(11)을 포함한다. 압전소자(1)는 기관(11)의 표면에 순차적으로 적층된 하부 전극(12), 압전체(13) 및 상부 전극(14)을 포함한다. 압전체(13)는 압전성을 갖는 무기화합물 다결정을 함유한다. 하부 전극(12) 및 상부 전극(14)에 의해 압전체(13)의 두께 방향으로 전계가 인가될 수 있다.
- [0121] 기관(11)의 재료에 대해 특별히 제한되지 않는다. 기관(11)의 재료로서는 실리콘, 유리, 스텔레스 스틸(SUS), 및 이트륨 안정화 산화지르코늄(YSZ)를 들 수 있다. 기관(11)은 실리콘 기관 상에 순서대로 적층된 SiO₂막 및 Si 활성층을 함유한 SOI 기관 등의 적층 기관으로 이루어져도 좋다.
- [0122] 하부 전극(12)의 주성분은 특별히 제한되지 않는다. 하부 전극(12)의 주성분은 Au, Pt, 및 Ir 등의 금속; IrO₂, RuO₂, LaNiO₃, 및 SrRuO₃ 등의 금속산화물; 및 상기 열거된 금속 및/또는 상기 열거된 금속산화물의 조합을 들 수 있다. 또한, 상부 전극(14)의 주성분은 특별히 제한되지 않는다. 상부 전극(14)의 주성분은 하부 전극(12)으로 예시한 재료; Al, Ta, Cr, 및 Cu 등의 일반적으로 반도체 프로세스에 사용되는 전극재료; 및 하부 전극(12)에 대해 상기 열거한 재료 및/또는 상기 열거된 전극 재료의 조합을 들 수 있다. 그러나, 하부 전극(12)과 상부 전극(14)의 두께는 50~500nm의 범위내에 드는 것이 바람직하다.
- [0123] 압전 액추에이터(본 발명에 따른 압전 장치로서 구동)(2)은 압전소자(1)를 구비한다. 압전 액추에이터(2)는 압전소자(1)의 기관(11)의 이면에 압전체(13)의 신축에 의해 진동할 수 있는 진동판(16)을 구비한다. 압전 액추에이터(2)는, 예를 들면 압전소자(1)를 구동하는 구동회로로 이루어지는 제어 수단(15)도 구비되어 있다.
- [0124] 잉크젯식 기록헤드(본 발명에 따른 액체토출장치로서 구동)(3)은, 개략, 압전 액추에이터(2)의 이면에 잉크 노즐(액체 저장 및 토출 부재)(20)이 확보된 구성을 갖는다. 잉크노즐(20)은 잉크가 저장되는 잉크실(액체저장실로서 구동)(21)을 포함한다. 잉크노즐(20)은 잉크실(21)로부터 잉크실(21) 외부로 잉크가 토출되는 잉크 토출구(액체토출구로서 구동)(22)를 포함한다.
- [0125] 잉크젯식 기록헤드(3)는, 압전소자(1)에 인가하는 전계를 변경시켜서 압전소자(1)을 신축시켜서, 이것에 의해 잉크실(21)로부터의 잉크의 토출 및 토출량을 제어한다.
- [0126] 기관(11)에 독립한 부재의 진동판(16) 및 잉크 노즐(20)을 장착하는 대신에, 기관(11)의 일부는 진동판(16) 및 잉크 노즐(20)을 구비하도록 가공해도 좋다. 예를 들면, 기관(11)이 SOI 기관 등의 적층기관으로 이루어질 경우에는, 기관(11)의 이면측에서 에칭 공정을 실시해서 잉크실(21)을 형성하고, 기관(11)의 가공에 의해 진동판(16)과 잉크 노즐(20)을 형성할 수 있다.
- [0127] 본 실시형태에 있어서, 압전체(13)는 전계가 인가되지 않을 때에 결정 배향성을 갖는 제 1 강유전체 결정을 함유하고, 소정의 전계 E1 이상의 전계 인가에 의해 제 1 강유전체 결정의 적어도 일부가 제 1 강유전체 결정의 결정계와 다른 결정계인 제 2 강유전체 결정으로 상전이하는 특징을 갖는 무기화합물 다결정을 함유한다.
- [0128] 본 실시형태에 있어서의 압전체(13)의 압전성(즉, 인가 전계와 왜변위량의 관계)은 개략, 도 2에 도시된 곡선 P로 나타낼 수 있다("Ultrahigh strain and piezoelectric behavior in relaxor based ferroelectric single crystals", S.E.Park et.al., JAP,82,1804(1997)의 도 17에 상당하는 도12를 참조).
- [0129] 도2에 대해, 전계 E1은 제 1 강유전체 결정으로부터 제 2 강유전체 결정으로의 상전이가 시작하는 최소의 전계를 나타낸다. 또한, 전계 E2은 제 1 강유전체 결정으로부터 제 2 강유전체 결정으로의 상전이가 대략 완전하게 종료하는 전계를 나타낸다. E1과 E2 사이의 관계는 보통은 E1<E2이도록 해도 좋다. 그러나, E1과 E2 사이의 관계는 E1=E2이 되도록 해도 좋다.
- [0130] 도 2에 도시된 바와 같이, 압전체(13)는 후술한 압전성을 갖는다. 구체적으로, 0~E1의 인가 전계 E의 범위에서(즉, 상전이가 발생하기 전단계에서), 제 1 강유전체 결정의 압전 효과에 의해, 인가 전계가 증가함에 따라 왜변위량이 직선적으로 증가한다. 또한, E1~E2의 인가 전계 E의 범위에서, 상전이에 따르는 결정구조의 변화에 의한 체적변화가 발생하고, 0~E1의 인가 전계 E의 범위에 대한 왜변위량의 증가의 기울기 보다 큰 기울기로, 인가 전계의 증가에 따라 왜변위량이 직선적으로 증가한다. E≥E2의 인가 전계 E의 범위에서(즉, 상전이가 대략 완전하게 종료한 후의 단계), 제 2 강유전체 결정의 압전 효과에 의해, 인가 전계가 증가함에 따라 왜변위량이 직선적으로 증가한다.
- [0131] 압전체(13)는 상전이에 따른 결정구조의 변화에 의해 체적변화가 발생한다(E1~E2의 인가 전계 E의 범위). 또한, 압전체(13)는 상전이가 발생하기 전후의 단계에서 강유전체 결정을 함유한다. 따라서, 상전이가 발생하

기 전후의 단계에서 강유전체의 압전 효과를 얻을 수 있다. 따라서, 0~E1의 인가 전계 E의 범위, E1~E2의 인가 전계 E의 범위, 및 E≥E2의 인가 전계 E의 범위에서 큰 왜변위량을 얻을 수 있다.

[0132] 본 실시형태는 하기와 같이 구성되어 있다. 구체적으로, 기재된 특징을 갖는 압전체(13)는 제어 수단(15)에 의해, 최소 인가 전계 E_{min} 및 최대 인가 전계 E_{max} 가 식(1)을 만족하는 조건에서 구동된다:

[0133] $E_{min} < E1 < E_{max}$ (1)

[0134] 보다 구체적으로, 최소 인가 전계 E_{min} 은 상전이가 발생하지 않는 범위내의 값으로 설정한다(최소 인가 전계 E_{min} 은 0이어도 좋다). 또한, 최대 인가 전계 E_{max} 는 제 1 강유전 결정의 적어도 일부가 상전이하는 범위내에 드는 값으로서 설정한다. 상기 구성에 의해서, 제 1 강유전체 결정의 압전 효과와, 압전체(13)의 상전이에 따르는 결정구조의 변화에 의한 체적변화를 얻을 수 있다. 따라서, 큰 왜변위량을 얻을 수 있다.

[0135] 또한, 본 실시형태는 하기와 같은 방법으로 구성되어 있는 것이 바람직하다. 구체적으로, 상기 기재된 특징을 갖는 압전체(13)는 최소 인가 전계 E_{min} 및 최대 인가 전계 E_{max} 가 식(2)을 만족하는 조건에서, 구동하는 것이 바람직하다:

[0136] $E_{min} < E1 \leq E2 < E_{max} \dots (2)$

[0137] 보다 구체적으로, 최소 인가 전계 E_{min} 은 상전이가 발생하지 않는 범위내에 드는 값으로 설정한다(최소 인가 전계 E_{min} 은 0이어도 좋다). 또한, 최대 인가 전계 E_{max} 는 제 1 강유전체 결정이 대략 완전하게 제 2 강유전체 결정으로 상전이하는 범위내에 드는 값으로 설정한다. 상기 구성에 의해서, 제 1 강유전체 결정의 압전 효과, 압전체(13)의 상전이에 따르는 결정구조의 변화에 의한 체적변화, 및 제 2 강유전체 결정의 압전 효과를 모두 얻을 수 있다. 따라서, 큰 왜변위량을 얻을 수 있다. 도 2는 최소 인가 전계 E_{min} 및 최대 인가 전계 E_{max} 가 식(2)을 만족할 경우에 대해서 도시한다.

[0138] 상술한 것처럼, 강유전체의 압전 효과만을 이용하는 종래의 압전소자(종래 기술 1)는 후술한 압전성을 갖는다. 구체적으로, 도 11에 나타나 있는 바와 같이, 0에서 어떤 인가 전계 E_x 까지의 인가 전계 범위에 대해서, 인가 전계가 증가함에 따라 왜변위량이 직선적으로 증가한다. 또한, 인가 전계 E_x 를 초과한 인가 전계에서, 인가 전계가 증가함에 따라서 왜변위량의 증가가 현저하게 작아져, 왜변위량이 거의 포화한다. 따라서, 종래의 압전 소자는 인가 전계가 증가함에 따라 왜변위량이 직선적으로 증가하는 인가 전계 0~ E_x 의 범위내에서 사용되었다.

[0139] 압전체는 같은 화학식으로 나타낸 조성을 갖는 본 발명의 압전 소자(1)의 압전체(13)와 종래 기술(1)의 압전체를 비교하는 경우, 상기 종래 기술(1)의 경우에 왜변위량이 거의 포화하기 전단계에서 압전체(13)의 상전이가 시작한다(구체적으로, 압전체(13)의 경우에, $E1$ 은 $E1 \leq E_x$ 를 만족하는 값이다)

[0140] 본 실시형태의 압전소자(1)는 최대 인가 전계 E_{max} ($>E1$)가 강유전체의 압전 효과만을 이용하는 종래의 압전소자(종래 기술(1)의 최대 인가 전계와 동일하거나 또는 그것보다도 높은 조건에서 구동한다. 따라서, 본 발명의 압전소자(1)는 압전체에 종래의 수준과 같은 수준의 전압을 인가하는 경우에도 높은 인가 전계가 일어나는 박형의 압전소자에도 적용가능하다.

[0141] 압전체(13)의 조성은 상기 결정 조건을 만족하는 다양한 조성에서 선택해도 좋다. 실시예에 의해, 압전체(13)는 불가피한 불순물을 함유해도 좋은 1종 이상의 페로브스카이트형 산화물을 함유할 수 있다.

[0142] 이러한 경우에, 압전체(13)는 일반식으로 나타내는, 불가피한 불순물을 함유해도 좋은 1종 이상의 페로브스카이트형 산화물을 함유하는 것이 바람직하다.

[0143] 일반식 ABO_3

[0144] 식중, A는 A사이트의 원소이며, P b, B a, L a, S r, B i, L i, N a, C a, C d, M g, 및 K 로 이루어지는 군에서 선택된 적어도 1종의 원소이며, B는 B사이트의 원소이며, T i, Z r, V, N b, T a, C r, M o, W, M n, S c, C o, C u, I n, S n, G a, Z n, C d, F e, N i, 및 란탄계 원소로 이루어지는 군에서 선택된 적어도 1종의 원소이며, O는 산소원자를 나타내며, A사이트 원소의 몰수가 1.0이며, 동시에 B사이트 원소의 몰수가 1.0일 경우가 표준 조성이지만, A사이트 원소의 몰수와 B사이트 원소의 몰수는 페로브스카이트 구조를 얻을 수 있는 범위내에서 1.0로부터 벗어나도 좋다.

[0145] 상기 일반식으로 나타내는 페로브스카이트형 산화물로서는, 티탄산납, 티탄산 지르콘산납(P Z T), 지르코늄산납, 티탄산납 란탄계, 지르콘산 티탄산납 란탄계, 마그네슘 니오브산 지르코늄 티탄산납, 니켈 니오브산 지르코

늄 티탄산납, 및 아연 니오브산 지르코늄 티탄산납 등의 납함유 화합물; 상기 열거된 납 함유 화합물의 혼합 결정계; 티탄산바륨, 티탄산 스트론튬 바륨, 티탄산 비스무트 나트륨, 티탄산 비스무트 칼륨, 니오브산나트륨, 니오브산칼륨, 및 니오브산리튬 등의 납을 함유하지 않은 화합물; 및 상기 열거된 납을 함유하지 않은 화합물의 혼합 결정계를 들 수 있다.

[0146] 양호한 전기 특성을 얻을 수 있도록, 압전체(13)은, Mg, Ca, Sr, Ba, Bi, Nb, Ta, W, 및 Ln으로 이루어진 군에서 선택된 1종 이상의 금속 이온을 함유한 것이 바람직하고, Ln은 란타네 원소(La, Ce, Pr, Nd, Sm, Eu, Gd, Tb, Dy, Ho, Er, Tm, Yb, 및 Lu)를 나타낸다.

[0147] PZT 등의 결정은, 즉, 입방정계, 정방정계 및 능면정계의 3종의 결정계 중 하나이다. 또한, 티탄산바륨 등은, 즉 입방정계, 정방정계, 사방정계 및 능면정계의 4종의 결정계 중 하나이다.

[0148] 입방정계는 상유전체로 이루어진다. 따라서, 제 1 강유전체 결정은, 정방정계 결정, 사방정계 결정, 또는 능면정계 결정 중의 형태이다. 또한, 제 2 강유전체 결정은, 정방정계 결정, 사방정계 결정, 또는 능면정계 결정 중의 형태이며, 제 1 강유전체 결정의 결정계와 다른 결정계이다. 상술한 것처럼 PZT 등의 결정은 사방정계의 형태를 갖지 않는다. 따라서, PZT 등의 경우에서 제 1 강유전체 결정과 제 2 강유전체 결정의 조합은, 제 1 강유전체 결정과 제 2 강유전체 결정 중 하나는 정방정계이고, 다른 강유전체 결정은 능면정계이어도 좋다.

[0149] 일반적으로, 강유전체를 포함하는 유전체의 깃스 자유에너지 G는 하기 식으로 나타내고, 어떤 조성의 유전체의 결정계는, 응력, 전계, 온도에 의해 일의적으로 결정된다:

$$G=U+X_i x_i-E_i P_i-T S$$

[0151] U는 내부에너지이고, X_i 는 응력이고, x_i 는 변형이고, E_i 는 전계이고, P_i 는 분극이고, T는 온도이며, S는 엔트로피이다.

[0152] 도 3은 티탄산바륨($BaTiO_3$)의 온도 T, 깃스 자유에너지 G 및 결정계의 관계를 나타내는 그래프이다. 도 3에 대해서, 티탄산바륨의 경우에 능면정계와 사방정계의 상전이온도는 약 $-80^{\circ}C$, 사방정계와 정방정계의 상전이온도는 약 $10^{\circ}C$, 정방정계와 입방정계의 상전이온도는 약 $120^{\circ}C$ 이다. PZT의 경우에, PZT의 결정이 사방정계를 갖지 않는 것을 제외하면, 온도 T, 깃스 자유에너지 G 및 결정계의 관계가 도 3에 도시된 관계와 기본적으로 같다.

[0153] 압전체(13)의 형태는 다양한 방법으로 설계될 수 있다. 예를 들면, 압전체(13)는 막의 형태이어도 좋다. 또한, 압전체(13)는 소결체의 형태이어도 좋다. 본 실시형태의 압전소자(1)은, 압전체(13)가 두께 $20\mu m$ 이하의 압전 막의 형태인 경우에 특히 유효하다. 이 실시형태에서, 압전체(13)는 압전체(13)의 형태에 관계없이, 상전이하기 전의 제 1 강유전체 결정이 결정 배향성을 갖도록 형성한다. 상술한 바와 같이 형성된 압전체(13)는, 배향막(즉, 1축 배향성을 갖는 막), 에피택셜 막(즉, 3축 배향성을 갖는 막), 및 입자배향 세라믹스 소결체를 들 수 있다.

[0154] 배향막은 공지의 박막형성 방법을 사용하여, 1축 배향성 결정이 형성되는 조건에서 성막하는 공정에 의해 형성할 수 있다. 공지의 성막 방법으로는 스퍼터링법, MOCVD법, 및 펄스 레이저 증착 방법 등의 기상법; 졸겔법 및 유기 금속화합물 분해법 등의 액상법 등을 들 수 있다. 예를 들면, (100)배향시키는 경우에는, 하부 전극으로서 (100)배향한 Pt 등을 사용하면 좋다 (하기 실시예 1을 참조).

[0155] 에피택셜 막은, 기판 및 하부 전극에 대한 재료로서 압전막에 대한 격자정합성이 좋은 재료를 사용함으로써 형성할 수 있다. 에피택셜 막을 형성가능한 기판/하부 전극 재료의 적당한 조합으로서는, $SrTiO_3/SrRuO_3$, 및 MgO/Pt 등을 들 수 있다.

[0156] 입자배향 세라믹스 소결체는, 열압착법, 시트법, 시트법에 의해서 얻어진 복수의 시트를 적층 압착하는 적층 압착법 등에 의해 형성할 수 있다.

[0157] 본 실시형태의 압전소자(1)는, 상전이하기 전의 강유전체 결정인 제 1 강유전체 결정은 배향성 결정이다. 따라서, 0~E1의 인가 전계 E의 범위(즉, 상전이가 발생하기 전단계)에서, 제 1 강유전체 결정의 압전 효과는 압전체(13) 전체에 걸쳐서 균일하고 안정적으로 발생한다. 또한, E1~E2의 인가 전계 E의 범위에서, 압전체(13) 전체에 걸쳐서 제 1 강유전체 결정으로부터 제 2 강유전체 결정으로의 상전이가 안정적으로 진행된다. 또한, $E \geq E2$ 의 인가 전계 E의 범위(즉, 상전이가 대략 완전하게 종료한 후의 단계)에서, 제 2 강유전체 결정의 압전 효과

는 압전체(13) 전체에 걸쳐서 균일하고 안정적으로 일어난다. 따라서, 압전소자(1)는 상기 식(1)을 만족하는 조건에서 구동하는 경우 및 압전소자(1)는 상기 식(2)을 만족하는 조건에서 구동하는 경우에 큰 왜변위량을 안정적으로 얻을 수 있다.

- [0158] 본 실시형태의 압전소자(1)의 구성은, 벌크 단결정을 사용하는 경우에 비해서, 제조 용이성, 저가, 높은 형상 설계 자유도 등의 점에서 유리하다. 또한 압전소자(1)의 두께를 박막으로 설정할 경우에, 고가의 단결정 기판을 사용할 필요가 없으므로, 기판의 선택폭을 넓힐 수 있다. 넓어진 기판 선택폭은 저가, 높은 프로세스 선택성 등의 점에서 유리하다.
- [0159] 상술한 바와 같이, 강유전체의 압전 효과만을 이용하는 종래의 압전소자(종래 기술 1)는, 강유전체의 분극축에 맞춘 방향으로 전계를 인가하는 것이 중요하다고 여겨졌다. 상술한 강유전체의 분극축에 맞춘 방향으로 전계를 인가하는 기술은 제 1 강유전체 결정을 제 2 강유전체 결정으로 상전이시키는 본 실시예의 장치에 직접 적용하면, 상전이하기 전의 제 1 강유전체 결정의 분극축에 맞춘 방향으로 전계를 인가한다.
- [0160] 그러나, 본 실시형태에서는 종래 기술 1의 전계 인가 방향을 채용하는 것 대신에, 제 1 강유전체 결정의 분극축 방향은, 하부 전극(12) 및 상부 전극(14)에 의한 전계 인가 방향과 다른 방향으로 구성하는 것이 바람직하다. 상기 구성에 의해 "엔지니어드 도메인 효과"를 얻을 수 있다.
- [0161] "엔지니어드 도메인 효과"는, 제 1 강유전체 결정의 분극축 방향과 전계 인가 방향을 서로 다르게 설정하는 경우, 전계 인가 방향을 제 1 강유전체 결정의 분극축 방향에 맞춘 경우 보다도 큰 변위량을 안정적으로 얻을 수 있는 효과가 있다.
- [0162] 구체적으로, 제 1 강유전체 결정의 분극축 방향과 전계 인가 방향을 서로 다르게 설정하는 경우는, 0~E1의 인가 전계 E의 범위에서, 인가 전계의 증가에 대한 왜변위량의 증가의 기울기는 압전상수를 나타내고, 엔지니어드 도메인 효과에 의해, 전계 인가 방향을 제 1 강유전체 결정의 분극축 방향에 맞춘 경우보다도 커진다.
- [0163] 또한, 제 1 강유전체 결정의 분극축 방향이 전계 인가 방향과 다른 방향인 구성, 특히, 전계 인가 방향이 제 2 강유전체 결정의 분극축 방향에 대략 일치하는 구성에 의해서, 상술한 "엔지니어드 도메인 효과"와 더불어 새로운 효과를 얻을 수 있다.
- [0164] 구체적으로 본 발명자는 전계 인가 방향을 상전이가 발생한 후에 형성된 제 2 강유전체 결정의 분극축 방향에 대략 동일하게 설정하면, 제 1 강유전체 결정으로부터 제 1 강유전체 결정의 분극축과 다른 분극축을 갖는 제 2 강유전체 결정으로의 상전이가 가장 효율적으로 진행할 수 있는 것을 찾아냈다. 이것은 분극축과 전계 인가 방향이 서로 일치하는 상태가 결정적 안정성이 높기때문에 바람직하며, 제 1 강유전체 결정이 안정성이 향상된 제 2 강유전체 결정으로 상전이하기 쉬워지기 때문인 것으로 추찰된다.
- [0165] 압전체(13)에 인가 전계 E2를 초과한 전계를 인가하는 경우에, 제 1 강유전체 결정의 일부가 제 2 강유전체 결정으로 상전이하지 않고 제 1 강유전체 결정으로 남아 있다. 그러나, 제 1 강유전체 결정으로부터 제 2 강유전체 결정으로의 상전이가 효율적으로 진행하기 때문에 압전체(13)에 인가 전계 E2를 초과한 전계를 인가한 경우에, 일부가 제 2 강유전체 결정으로 상전이하지 않고 제 1 강유전체 결정으로 남아 있는 일부의 제 1 강유전체 결정 비율을 작게 할 수 있다. 또한, 모든 제 1 강유전체 결정을 제 2 강유전체 결정으로 안정적으로 상전이시키는 것도 가능하다. 결과적으로, E1~E2의 인가 전계 E의 범위에서, 전계 인가 방향을 제 1 강유전체 결정의 분극축 방향에 맞춘 경우 보다도, 큰 왜변위량을 안정적으로 얻을 수 있다.
- [0166] 또한, 제 2 강유전체 결정으로 상전이가 발생한 후에는, 전계 인가 방향과 제 2 강유전체 결정의 분극축 방향이 대략 일치한다. 따라서, $E \geq E2$ 의 인가 전계 E의 범위에서, 제 2 강유전체 결정의 압전 효과가 효과적으로 발현되고, 전계 인가 방향을 제 1 강유전체 결정의 분극축 방향에 맞춘 경우보다도, 큰 왜변위량을 안정적으로 얻을 수 있다.
- [0167] 상기 효과는, 적어도 제 1 강유전체 결정의 분극축 방향이 전계 인가 방향과 다른 방향인 경우에 얻을 수 있다. 상기 기재된 효과는 전계 인가 방향이 제 2 강유전체 결정의 분극축 방향에 가까운 경우에, 더욱 향상될 수 있다.
- [0168] 요약하면, 제 1 강유전체 결정의 분극축 방향과 전계 인가 방향을 서로 다르게 설정하는 경우에, 바람직하게는 전계 인가 방향을 제 2 강유전체 결정의 분극축 방향에 일치하도록 상전이를 행하는 경우에 이하에 기재된 (a), (b) 및 (c)효과를 얻을 수 있다.
- [0169] (a) 0~E1의 인가 전계 E의 범위내에서 "엔지니어드 도메인 효과"에 의해 큰 왜변위량을 안정적으로 얻을 수 있

다.

- [0170] (b)E1~E2의 인가 전계 E의 범위내에서 상전이를 효율적으로 진행하므로, 큰 왜변위량을 안정적으로 얻을 수 있다.
- [0171] (c)E≥E2의 인가 전계 E의 범위내에서, 제 2 강유전체 결정의 압전 효과가 효과적으로 일어나므로, 큰 왜변위량을 안정적으로 얻을 수 있다.
- [0172] 구체적으로, 모든 인가 전계 E의 범위에서도, 큰 왜변위량을 안정적으로 얻을 수 있다.
- [0173] 이하, 전계 인가 방향이 상전이가 발생한 후의 제 2 강유전체 결정의 분극축 방향과 대략 일치하는, 제 1 강유전체 결정과 제 2 강유전체 결정의 조합에 대해서, 상세하게 기재되어 있다.
- [0174] 강유전체 결정의 분극축은 아래와 같다.
- [0175] 정방정계: <001>,
- [0176] 사방정계: <110>,
- [0177] 능면정계: <111>
- [0178] 보통, 전계 인가 방향은, 압전체(13)의 두께 방향(압전체(13)의 표면에 대하여 수직방향, 즉 배향방향)으로 설정한다.
- [0179] 상기 분극축을 고려하면, 전계 인가 방향(배향방향)이 상전이가 발생한 후의 제 2 강유전체 결정의 분극축 방향에 대략 일치하는, 제 1 강유전체 결정과 제 2 강유전체 결정의 조합으로서는 하기에 도시된 조합(1)~(6)을 들 수 있다.
- [0180] (1)제 1 강유전체 결정이 대략 <001>방향으로 결정 배향성을 갖는 능면정계 결정이며, 제 2 강유전체 결정이 정방정계 결정인 조합,
- [0181] (2)제 1 강유전체 결정이 대략 <111>방향으로 결정 배향성을 갖는 정방정계 결정이며, 제 2 강유전체 결정이 능면정계 결정인 조합,
- [0182] (3)제 1 강유전체 결정이 대략 <001>방향으로 결정 배향성을 갖는 사방정계 결정이며, 제 2 강유전체 결정이 정방정계 결정인 조합,
- [0183] (4)제 1 강유전체 결정이 대략 <110>방향으로 결정 배향성을 갖는 정방정계 결정이며, 제 2 강유전체 결정이 사방정계 결정인 조합,
- [0184] (5)제 1 강유전체 결정이 대략 <110>방향으로 결정 배향성을 갖는 능면정계 결정이며, 제 2 강유전체 결정이 사방정계 결정인 조합,
- [0185] (6)제 1 강유전체 결정이 대략 <111>방향으로 결정 배향성을 갖는 사방정계 결정이며, 제 2 강유전체 결정이 능면정계 결정인 조합.
- [0186] 본 실시형태의 압전소자(1)는, 기본적으로 압전체(13)의 제 1 강유전체 결정으로부터 제 2 강유전체 결정으로의 상전이는, 인가 전계를 변화시키는 것 만으로 실시되도록, 설계를 행하는 것이 바람직하다. 구체적으로, 압전체(13)의 조성의 선택 및 상전이가 발생하는 결정계 사이의 선택은, 압전체(13)이 사용 환경온도에 상전이온도를 갖도록 행해지는 것이 바람직하다. 그러나, 필요에 따라, 소자온도가 상전이온도가 되도록, 온도를 조절해도 좋다. 압전소자(1)는 상전이온도 또는 그 근방에서 구동되는 경우에, 제 1 강유전체 결정으로부터 제 2 강유전체 결정으로의 상전이가 효율적으로 행해질 수 있다.
- [0187] 종래에 압전소자는 일반적으로 상온에서 사용되고, 압전소자가 상온에서 사용된다는 가정하에서 설계된다. 그러나, 압전소자는 상온에 비해 고온의 환경하에서 사용될 가능성이 있다. 예를 들면 자동차의 엔진 주위, CPU 주위 등의 용도에서 압전소자의 사용 환경 온도는 80℃ 이상일 수 있다. 또한, 잉크젯형 기록 헤드에 사용시에 잉크 점도를 저감하기 위해 압전소자의 사용환경온도는 40~80℃ 내에 들 수 있다. 또한, 압전소자는 상온에 비해 낮은 온도환경하(예를 들면, 냉장고의 사용 용도)에서도, 사용될 가능성이 있다. 구체적으로는, -50℃~200℃의 사용 환경온도를 고려해서 압전소자의 재료를 설계하는 것이 바람직하다.
- [0188] 본 실시예에서는 상기 사용 환경온도를 고려하는 경우에, 압전체의 제 1 강유전체 결정으로부터 제 2 강유전체 결정으로의 상전이가 발생하는 상전이온도는 -50~200℃의 범위에 있는 것이 바람직하다.

- [0189] 사용 환경온도가 상전이온도인 조건에서는, P Z T에서는, (1)제 1 강유전체 결정이 대략 <001>방향으로 결정 배향성을 갖는 능면정계 결정이며, 제 2 강유전체 결정이 정방정계 결정인 조합의 경우, 조성이나 두께에 따라 다르지만, 전계 E1는 약 10~150kV/cm의 범위내에 들 수 있고, 전계 E2는 약 30~300kV/cm의 범위내에 들 수 있다.
- [0190] 본 발명에 따른 압전체(13)를 구비한 압전소자(1)와, 같은 화학식으로 나타낸 조성을 갖는 압전체를 구비한 상기 종래기술 1의 압전 소자를 비교하면, 본 실시형태의 압전소자(1)는, 최대 인가 전계 E_{max} (>E1)이, 강유전체의 압전 효과만을 이용한 종래의 압전소자(상기 종래 기술 1)의 최대 인가 전계(보통 약 0.1~10kV/cm의 범위내에 든다)에 비해 동등하거나 그것보다도 높은 조건(예를 들면, 최대 인가 전계 E_{max} 100kV/cm 이상)에서 구동한다. 따라서, 본 발명에 따른 압전 소자(1)는 압전체에 종래의 수준과 같은 전압을 인가하는 경우에 높은 인가 전계가 생기는 박형의 압전소자에도 적용할 수 있다.
- [0191] 박막에 걸리는 응력의 종류는, 성막시에 발생하는 내부응력, 및 막과 기판의 열팽창 계수차에 의한 응력을 들 수 있다. 일반적으로 박막에 걸리는 응력이 -10~+10GPa의 범위에 있도록 재료를 설계하면 좋다.
- [0192] 압전체(13)는 전계가 인가되지 않을 때에 제 1 강유전체 결정으로 이루어지는 다결정으로 이루어진다. 또한, 압전체(13)은, 전계가 인가되지 않을 때에 제 1 강유전체 결정의 결정계와, 제 1 강유전체 결정의 결정계와 다른 그 외의 강유전체 결정의 혼합물을 함유하는 다결정으로 이루어져도 좋다. 압전체(13)는 전계가 인가되지 않을 때에 제 1 강유전체 결정 및 제 1 강유전체 결정의 결정계와 다른 그 외의 강유전체 결정의 혼합물을 함유하는 다결정으로 이루어진 경우에, 제 1 강유전체 결정의 엔지니어드 도메인 효과에 의해 발생하는 압전 왜곡 및 제 1 강유전체 결정으로부터 제 2 강유전체 결정으로의 상전이에 따르는 체적변화에 의해 발생하는 왜변위를 얻을 수 있다.
- [0193] 본 실시형태의 압전소자(1)는 전계가 인가되지 않을 때에 결정 배향성을 갖는 제 1 강유전체 결정을 함유하고, 소정의 전계 E1 이상의 전계 인가에 의해, 제 1 강유전체 결정의 적어도 일부가 제 1 강유전체 결정의 결정계와 다른 결정계인 제 2 강유전체 결정으로 상전이하는 특징을 갖는 무기화합물 다결정을 함유하는 압전체(13)를 포함한다. 최소 인가 전계 E_{min} 및 최대 인가 전계 E_{max} 가 상기 식(1)을 만족하는 조건하에서 구동된다. 본 실시형태의 압전소자(1)는 최소 인가 전계 E_{min} 및 최대 인가 전계 E_{max} 가 상기 식(2)을 만족하는 조건하에서 구동되는 것이 바람직하다.
- [0194] 본 실시형태의 압전소자(1)는, 압전체(13)의 상전이에 따르는 결정구조의 변화에 의한 체적변화를 얻을 수 있다. 또한, 압전체(13)은 상전이가 발생하기 전단계 및 상전이가 발생한 후의 단계 둘다에서 제 1 강유전체 결정을 함유한다. 따라서, 상전이가 발생하기 전단계 및 상전이가 발생한 후의 단계에서 모두 강유전체의 압전 효과를 얻을 수 있다, 상기 식(1)을 만족하는 조건에서 압전소자를 구동하는 경우 및 상기 식(2)을 만족하는 조건에서 압전소자를 구동하는 경우 둘다에서, 전체적으로 큰 왜변위량을 얻을 수 있다.
- [0195] 본 실시예의 압전소자(1)는 상전이하기 전의 강유전체 결정인 제 1 강유전체 결정이 결정 배향성을 갖는 결정이다. 따라서, 제 1 강유전체 결정으로부터 제 2 강유전체 결정으로의 상전이가 안정적으로 진행할 수 있고, 큰 왜변위량을 안정적으로 얻을 수 있다.
- [0196] 압전소자(1)의 상기 구성은 벌크 단결정을 사용하는 경우에 비해, 제조 용이성, 저가, 높은 형상 설계 자유도 등의 점에서 유리하다. 또한, 압전소자(1)의 두께를 박막으로 설정한 경우에, 고가의 단결정기판을 사용할 필요가 없으므로, 기판 선택폭을 넓힐 수 있다. 넓어진 기판 선택폭은 저가, 프로세스 선택성 등의 점에서 유리하다.
- [0197] 본 실시형태의 압전소자(1)는, 최대 인가 전계 E_{max} 가, 강유전체의 압전 효과만을 이용하는 종래의 압전소자의 최대 인가 전계와 동등하거나 그것보다도 높은 조건에서 구동한다. 그러므로, 본 실시형태의 압전소자(1)는 종래 기술의 수준과 같은 수준의 전압을 인가하는 경우에 높은 인가 전계가 생기는 박형의 압전소자에도 적용할 수 있다. 구체적으로, 본 실시형태의 압전소자(1)는 그 박형화도 대응할 수 있다.
- [0198] 본 실시형태의 압전소자(1)는, 제 1 강유전체 결정의 분극축 방향이 전극의 전계 인가 방향과 다른 방향으로 변경하는 것이 바람직하다. 특히, 본 실시형태의 압전소자(1)는 전계 인가 방향이 제 2 강유전체 결정의 분극축 방향에 대략 일치하도록 변경하는 것이 바람직하다. 이러한 경우에, "엔지니어드 도메인 효과"가 발현되고, 상전이가 효율적으로 진행된다. 따라서, 큰 왜변위량을 안정적으로 얻을 수 있다.
- [0199] [잉크젯식 기록장치]

- [0200] 도 4 및 도 5을 참조하여, 도 1의 잉크젯식 기록헤드(3)을 사용한 잉크젯식 기록장치의 예에 관하여 설명한다. 도 4은 도 1의 잉크젯식 기록헤드를 사용한 잉크젯식 기록장치의 예를 도시한 개략도이다. 도 5은 도4의 잉크젯식 기록장치의 부분평면도이다.
- [0201] 도4 및 도5를 참조한 잉크젯식 기록장치(100)는, 복수의 잉크젯식 기록헤드 (이하, 간단히 "헤드"라고 한다)(3K, 3C, 3M, 및 3Y)를 구비한 인쇄부(102)를 포함한다. 각 헤드(3K, 3C, 3M, 및 3Y)는 다른 잉크 색 중 하나로 이용된다. 잉크젯식 기록장치(100)는 기록헤드(3K, 3C, 3M 및 3Y) 중 하나에 공급하는 잉크 조성물을 저장하기 위한 잉크 저장 및 장전부(114)도 포함한다. 잉크젯식 기록장치(100)는 기록지(116)를 공급하는 급지부(118)를 더욱 포함한다. 잉크젯 기록장치(100)는 급지부(118)에서 수용된 기록지(116)의 겹을 제거하는 디컬링 처리부(120)을 더욱 더 포함한다. 잉크젯식 기록장치(100)은 인쇄부(102)의 노즐바닥면(즉, 잉크토출면)을 대향하도록 배치한 흡착 벨트 반송부(122)를 포함한다. 상기 흡착 벨트 반송부(122)는 기록지(116)의 평면성을 유지하면서 기록지(116)을 이송한다. 잉크젯식 기록장치(100)는 인쇄부(102)에 의해 실시된 인쇄 결과를 판독하는 인쇄검출부(124)를 더욱 포함한다. 잉크젯식 기록장치(100)는 잉크젯식 기록장치(100)의 외부에 인쇄 기록지(즉, 인쇄지)를 배출하는 배지부(126)를 더욱 포함한다.
- [0202] 인쇄부(102)의 각 헤드(3K, 3C, 3M, 및 3Y)는 도1에 도시된 잉크젯식 기록헤드(3)로 이루어진다.
- [0203] 디컬링 처리부(120)에서 기록지(116)에 물의 겹 방향과 역방향으로 가열 드럼(130)에 의해 열을 제공하여 디컬링 처리를 실시한다.
- [0204] 도4에 도시된 바와 같이, 물지를 사용하는 잉크젯식 기록장치(100)의 경우에, 디컬링 처리부(120) 후단계에서 컷터(128)를 위치시키고, 이 컷터(128)에 의해 물지를 원하는 사이즈로 절단한다. 컷터(128)는 기록지(116)의 반송로 폭이상의 길이를 갖는 고정날(128A)과, 상기 고정날(128A)에 따라 이동할 수 있는 둥근날(128B)로 구성되고 있다. 상기 고정날(128A)은 상기 기록지(116)의 이면측에 위치되고, 이면은 기록지(116)의 인쇄면의 반대편에 있다. 또한, 둥근날(128B)은 고정날(128A)과 둥근날(128B) 사이에 반송로를 끼워서 기록지(116)의 인쇄면측에 위치된다. 컷터를 사용하는 장치의 경우에, 컷터(128)를 구비할 필요가 없다.
- [0205] 디컬링 처리되고 원하는 크기로 절단된 기록지(116)는 흡착 벨트 반송부 (122)에 보내진다. 흡착 벨트 반송부(122)는 무한 벨트(133)가 롤러(131, 132)에 걸쳐진 구조를 갖는다. 인쇄부(102)의 노즐바닥면 및 인쇄 검출부(124)의 센서면에 대향하는 흡착 벨트 반송부(122)의 적어도 일부가 수평면(평면)이 되도록 구성되어 있다.
- [0206] 벨트(133)는 기록지(116)의 폭보다도 넓은 폭을 갖는다. 벨트(133)는 벨트면에서 개구된 다수의 흡인 구멍(도시 생략)을 갖는다. 또한, 흡착 챔버(134)는 롤러(131, 132)사이에 걸쳐진 벨트(133)로 한정된 공간내에 위치한다. 구체적으로, 인쇄부(102)의 노즐면 및 인쇄 검출부(124)의 센서면에 대향하는 위치에 흡착 챔버(134)가 위치되어 있다. 이 흡착 챔버(134) 내의 영역을 팬(135)으로 마이너스 압력으로 흡인하고 벨트(133) 상에 위치한 기록지(116)가 흡착되어 지지된다.
- [0207] 벨트(133)가 걸쳐 있는 롤러(131, 132)의 적어도 한쪽에 모터(도시 생략)의 동력이 전달된다. 벨트(133)는 도 4의 시계 방향으로 회전되어, 벨트(133) 위에 지지된 기록지(116)는 도 4의 우측으로 반송된다.
- [0208] 테두리 없는 인쇄 등의 경우에, 기록지(116)의 영역을 넘어서 벨트(133)에 잉크 조성물이 부착된다. 따라서, 벨트(133)로 한정된 공간의 외측에 소정의 위치(구체적으로 인쇄영역 이외의 적당한 위치)에 벨트 청소부(136)가 위치되어 있다.
- [0209] 흡착 벨트 반송부(122)에 의해 형성되는 용지반송로에 대해 인쇄부(102)로부터 상류측에 가열팬(140)이 위치되어 있다. 가열팬(140)은 인쇄를 행하기 전에 기록지(116)에 가열 공기를 송풍해서 기록지(116)를 가열한다. 기록지에 인쇄를 행하기 직전에 기록지(116)을 가열하는 경우에, 기록지(116)에 분사된 잉크 조성물은 쉽게 건조할 수 있다.
- [0210] 도5에 도시된 바와 같이, 인쇄부(102)는 폴라인형 헤드로 이루어져 있다. 구체적으로, 인쇄부(102)의 최대 지폭에 대응하는 길이를 갖는 라인형 헤드를 종이 공급 방향과 직교하는 방향(즉, 주주사 방향)으로 뻗도록 위치시킨다. 각 인쇄 헤드(3K, 3C, 3M, 및 3Y)는, 잉크젯식 기록장치(100)에 의해 처리된 최대 사이즈의 기록지(116)의 적어도 한 번을 초과하는 길이에 걸쳐 배열된 잉크 토출구(노즐)가 복수를 구비한 라인형 헤드로 구성되어 있다.
- [0211] 기록지(116)의 이송방향에 따라 상류측에서, 블랙(K), 시안(C), 마젠타(M), 및 옐로우(Y)의 순서로 각 칼라 잉크에 대응한 헤드(3K, 3C, 3M, 및 3Y)가 위치되어 있다. 기록지(116)를 반송하면서 각 헤드(3K, 3C, 3M, 및

3Y)로부터 각각 칼라 잉크 조성물을 토출한다. 기록지(116) 위에 칼라화상이 기록된다.

- [0212] 인쇄 검출부(124)은, 예를 들면, 인쇄부(102)에 의해 실시된 액적 분사 조작의 결과를 활상하는 라인 센서로 이루어질 수 있다. 인쇄 검출부(124)는 라인 센서에 의해 판독한 액적 분사 화상에 따라서 노즐 막힘 등의 토출불량을 검출한다.
- [0213] 인쇄 검출부(124) 후의 단계에서 후 건조부(142)를 위치시킨다. 후 건조부(142)는 예를 들면 인쇄된 화상면을 건조시키는 가열팬으로 이루어질 수 있다. 기록지(116) 상에 분사된 잉크 조성물이 건조하기 전단계에서, 인쇄면이 건조 부재 등과 접촉하지 않는 것이 바람직하다. 따라서, 후 건조부(142)는 인쇄면에 열풍을 송풍하는 건조 기술을 사용하는 것이 바람직하다.
- [0214] 후 건조부(142)의 후단계에서, 화상 표면의 광택도를 제어하기 위해서, 가열 및 가압부(144)가 위치된다. 가열 및 가압부(144)에서 화상면을 가열하면서, 소정의 표면요철 패턴을 갖는 가압 롤러(145)로 화상면을 가압한다. 가압롤러(145)에 의해 화상면에 요철 패턴을 전사한다.
- [0215] 이렇게 해서 얻어진 인쇄지는, 배지부(126)를 통해서 배출된다. 보통 기록될 원래 본화상(목적 화상)을 인쇄하는 인쇄지 및 시험 화상이 인쇄된 인쇄지는 다른 장소로 배출하는 것이 바람직하다. 이 잉크젯식 기록장치(100)는 기록될 본화상이 인쇄된 인쇄지 및 시험 화상이 인쇄된 인쇄지를 선별해서 각각의 배출부(126A, 126B)로 보내기 위해서 배출 경로를 서로 바꾸는 선별 수단(도시 생략)이 구비되어져 있다.
- [0216] 인쇄부(102)에서 하나의 대형 종이 시트에 기록될 본 화상과 시험 인쇄 화상을 동시에 병렬로 인쇄할 경우에, 기록될 본화상이 인쇄된 종이 시트 영역에서 시험 인쇄 화상이 인쇄된 종이 시트 영역을 분리하기 위해 컷터(148)를 배치해도 좋다.
- [0217] 잉크젯기 기록장치(100)은, 이상과 같이 구성되어 있다.
- [0218] (실시예)
- [0219] 본 발명은 하기의 실시예로 설명하지만, 이들로 제한되지 않는다.
- [0220] (실시예 1)
- [0221] (100)MgO 기판의 표면에 스퍼터링법을 사용하여 두께 0.2 μm 의 (100)Pt 하부전극을 형성했다. 이어서, 펄스 레이저 증착법을 사용해서 (100)Pt 하부 전극상에 압전체로서 두께 5 μm 의 $\text{PbZr}_{0.55}\text{Ti}_{0.45}\text{O}_3$ 박막을 형성했다. 또한, $\text{PbZr}_{0.55}\text{Ti}_{0.45}\text{O}_3$ 박막 상에, 두께 0.2 μm 의 Pt 상부 전극을 형성하였다. 이와 같이 해서 본 발명의 압전소자를 얻었다.
- [0222] 상기 압전막을 성막했을 때에, 얻어진 압전막에 전계 인가 X선 회절(전계 인가 XRD)측정을 행했다. 상기 압전막은 이 측정에 의해 전계가 인가되지 않을 때에 <001>방향으로 결정 배향성을 갖는 능면정계 결정(제 1 강유전체 결정)으로 이루어졌다(배향율95%)는 것을 확인했다. 압전막에 <001>방향으로 전계를 인가하는 경우에, 압전막을 구성하는 사방정계 결정(제 1 강유전체 결정)이 정방정계 결정(제 2 강유전체 결정)으로 상전이하는 것이 확인되었다. 실시예 1에서는, 전계 인가 방향은 상전이가 발생한 후에 제 2 강유전체 결정의 분극축의 방향과 일치했다.
- [0223] 제 1 강유전체 결정으로부터 제 2 강유전체 결정으로의 상전이가 시작하는 최소의 전계 E1는 110kV/cm이었다. 또한 제 1 강유전체 결정으로부터 제 2 강유전체 결정으로의 상전이가 대략 완전하게 종료하는 전계 E2는 160kV/cm이었다.
- [0224] 캔틸레버(cantilever)를 이용한 기술로, 최소 인가 전계 $E_{\min}=50\text{kV/cm}$ (<E1)~최대 인가 전계 $E_{\max}=200\text{kV/cm}$ (>E2)의 범위에서 압전상수 d_{31} 을 산출하였다. 압전상수 d_{31} 은 190 p m/V인 것이 발견되었다. 실시예 1에서 구동 조건은, 최소 인가 전계 E_{\min} 및 최대 인가 전계 E_{\max} 가 상기식(2)을 만족하는 조건이었다.
- [0225] (비교예 1)
- [0226] (100)MgO 기판 대신에 (111)MgO 기판을 사용하고, (100)Pt 하부전극 대신에 (111)Pt 하부전극을 형성한 것 이외는, 실시예 1과 같은 방법으로, 비교용의 압전소자를 제조했다.
- [0227] 얻어진 압전막은 실시예 1과 동일한 방법으로 전계 인가 XRD측정을 행했다. 이 측정에 의해서 전계가 인가되지 않을 때에 <111>방향으로 결정 배향성을 갖는 능면정계 결정(분극축 방향으로 배향)인 것(배향율90%)이 발견

되었다. 실시예 1과 마찬가지로 전계를 인가하는 경우에도 상전이가 발생되지 않았다는 것이 확인되었다.

[0228] 실시예 1과 동일한 방법으로, 최소 인가 전계 $E_{min}=50\text{ kV/cm}$ ~최대 인가 전계 $E_{max}=200\text{ kV/cm}$ 의 범위에서 압전상수 d_{31} 를 산출하였다. 압전상수 d_{31} 는 120 p m/V 인 것이 발견되었다.

[0229] (실시예2)

[0230] SiO_2/Si 기판의 표면에 두께 20 nm 의 TiO_2 밀착층을 형성하였다. 또한, 스퍼터링법을 사용해서 SiO_2/Si 기판의 표면에 형성된 TiO_2 기판의 표면에 두께 $0.2\text{ }\mu\text{m}$ 의 Pt 하부전극을 형성했다. 이어서, 스퍼터링법을 사용해서, 압전체로서 Pt 하부 전극 상에 두께 $2.4\text{ }\mu\text{m}$ 의 $\text{PbZr}_{0.46}\text{Ti}_{0.42}\text{Nb}_{0.12}\text{O}_3$ 박막을 형성했다. 또한, $\text{PbZr}_{0.46}\text{Ti}_{0.42}\text{Nb}_{0.12}\text{O}_3$ 박막 상에 두께 $0.2\text{ }\mu\text{m}$ 의 Pt 상부전극을 형성하였다. 이와 같이 해서, 본 발명의 압전소자를 얻었다.

[0231] 얻어진 압전막은 실시예 1과 동일한 방법으로 전계 인가 XRD측정을 행하였다. 이 측정에 의해, 상기 압전막은 전계가 인가되지 않을 때에 $\langle 001 \rangle$ 방향으로 결정 배향성을 갖는 능면정계 결정(제 1 강유전체 결정)인 것(배향율99%)을 확인하였다. 압전막에 $\langle 001 \rangle$ 방향으로 전계를 인가하는 경우에 압전막을 구성하는 사방정계 결정(제 1 강유전체 결정)이 정방정계 결정(제 2 강유전체 결정)으로 상전이하는 것이 확인되었다. 실시예 2에서는 전계 인가 방향은 상전이가 발생한 후의 제 2 강유전체 결정의 분극축의 방향과 일치한다. 도 6은 전계를 인가하지 않을 때에 실시예 2에서 얻어졌던 압전막의 XRD패턴을 나타낸다.

[0232] 다이아그램형 압전소자를 얻었고, 이 압전소자의 전계-변위곡선을 측정했다. 압전소자의 전계-변위곡선에서, 상전이가 시작하는 인가 전계 E1과 상전이가 대략 완전하게 종료하는 인가 전계 E2에서, 전계-변위곡선의 기울기가 변화되는 변곡점이 보여졌다. 제 1 강유전체 결정으로부터 제 2 강유전체 결정으로의 상전이가 시작하는 최소 인가 전계 E1은 45 kV/cm 이었다. 또한, 제 1 강유전체 결정으로부터 제 2 강유전체 결정으로의 상전이가 대략 완전하게 종료하는 인가 전계 E2는 68 kV/cm 이었다. 이와 같이 얻어진 결과는 전계 인가 XRD측정의 결과와 일치하였다. 얻어진 전계-변위곡선과 얻어진 전계 인가 XRD측정의 결과로부터 상전이가 발생하는 것이 확인되었다.

[0233] 도 7은 최소 인가 전계 $E_{min}=0\text{ kV/cm}(<E1)$ ~최대 인가 전계 $E_{max}=60\text{ kV/cm}(>E1)$ 의 조건하에서 실시예 2에서 얻어진 압전소자를 구동했을 때에 얻어진 전계-변위곡선을 나타낸다. 상기 구동 조건은 최소 인가 전계 E_{min} 및 최대 인가 전계 E_{max} 가 상기 식(1)을 만족하고, 상기 식(2)을 만족하지 않는 조건이었다.

[0234] 도 8은 최소 인가 전계 $E_{min}=0\text{ kV/cm}(<E1)$ ~최대 인가 전계 $E_{max}=100\text{ kV/cm}(>E2)$ 의 조건하에서 실시예 2에서 얻어진 압전소자를 구동했을 때에 전계-변위곡선을 나타낸다. 상기 기재된 구동 조건은, 최소 인가 전계 E_{min} 및 최대 인가 전계 E_{max} 가 상기 식(2)을 만족하는 조건이었다.

[0235] 도 7과 도 8을 비교한 결과에 따라서, 상기 식(1)을 만족하는 조건하에서 압전소자를 구동하는 경우에 비해 상기 식(2)을 만족하는 조건하에서 압전소자를 구동하는 경우에 큰 변위량을 얻을 수 있는 것을 나타냈다. 최소 인가 전계 $E_{min}=0\text{ kV/cm}(<E1)$ ~최대 인가 전계 $E_{max}=100\text{ kV/cm}(>E2)$ 범위에서의 압전상수 d_{31} 를 산출하였다. 압전상수 d_{31} 는 250 p m/V 인 것이 발견되었다.

[0236] (비교예 2)

[0237] 압전막의 조성을 $\text{PbZr}_{0.42}\text{Ti}_{0.46}\text{Nb}_{0.12}\text{O}_3$ 으로 설정한 것 이외에는, 실시예 2과 같은 방법으로, 비교용의 압전소자를 제조했다.

[0238] 얻어진 압전막은 실시예 1과 동일한 방법으로 전계 인가 XRD측정을 행했다. 이 측정에 의해 전계가 인가되지 않을 때에 $\langle 100 \rangle/\langle 001 \rangle$ 방향으로 결정 배향성을 갖는 정방정계 결정(분극축 방향에 배향)으로 이루어진 것(배향율 99%이상)을 확인했다. 실시예 2과 동일한 방법으로 전계를 인가하는 경우에도 상전이가 발생되지 않는 것이 확인되었다. 도 9는 전계를 인가하지 않을 때에 비교예 2에서 얻어진 압전막의 XRD패턴을 나타낸다.

[0239] 다이아그램형 압전소자를 얻었고, 이 압전소자의 전계-변위곡선을 형성했다. 또한, 실시예 2과 동일한 방법으로, 최소 인가 전계 $E_{min}=0\text{ kV/cm}$ ~최대 인가 전계 $E_{max}=100\text{ kV/cm}$ 의 범위에서 압전상수 d_{31} 를 구했다. 압전상수 d_{31} 는 150 p m/V 인 것을 발견했다.

- [0240] (실시에 1,2 및 비교예 1,2의 비교)
- [0241] 실시예 1과 비교예 1을 비교했다. 또한, 실시예 2과 비교예 2를 비교했다. 비교의 결과에 의하면, 압전소자는 전계가 인가되지 않을 때에 결정 배향성을 갖는 제 1 강유전체 결정을 함유하고, 소정의 전계 E1이상의 전계 인가에 의해, 제 1 강유전체 결정의 적어도 일부가 제 1 강유전체 결정의 결정계와 다른 결정계인 제 2 강유전체 결정으로 상전이하는 특징을 갖는 다결정을 함유하는 압전체를 포함하는 경우, 및 최소 인가 전계 E_{min} 및 최대 인가 전계 E_{max} 가 상기 식(1)을 만족하는 조건, 또는 바람직하게 최소 인가 전계 E_{min} 및 최대 인가 전계 E_{max} 가 상기 식(2)을 만족하는 조건하에서 구동하는 경우에 큰 왜변위량을 얻을 수 있는 것을 나타냈다.
- [0242] (실시에 3)
- [0243] 하부 전극에 스퍼터링법을 사용하여 압전체로서 두께 $5.0\mu\text{m}$ 의 $\text{PbZr}_{0.44}\text{Ti}_{0.44}\text{Nb}_{0.12}\text{O}_3$ 박막을 형성하고, 산소분위기 하에서 650°C 에서 어닐링 처리를 실시한 후, $\text{PbZr}_{0.44}\text{Ti}_{0.44}\text{Nb}_{0.12}\text{O}_3$ 박막 상에 상부 전극을 형성한 것 이외에는, 실시예 2과 같은 방법으로, 본 발명의 압전소자를 얻었다. 이와 같은 방법으로 본 발명의 압전소자를 얻었다.
- [0244] 얻어진 압전막에 실시예 1과 같은 방법으로 전계 인가 XRD측정을 행했다. 이 측정에 의해 전계가 인가되지 않을 때에 <001>방향으로 결정 배향성을 갖는 능면정계 결정(제 1 강유전체 결정)과, <100>/<001>방향으로 결정 배향성을 갖는 정방정계 결정의 혼합물을 함유한 다결정으로 이루어졌다. 압전막에 <001>방향으로 전계를 인가하는 경우에 능면정계 결정(제 1 강유전체 결정)의 일부가 정방정계 결정(제 2 강유전체 결정)으로 상전이하는 것이 확인되었다. 도10은 실시예3에서 행해진 전계 인가XRD측정의 결과 나타낸다. 도 10에서 참조 부호 T는 정방정계 결정의 회절피크를 나타내고 참조 부호 R은 능면정계 결정의 회절피크를 나타낸다.
- [0245] 도 10에 도시된 바와 같이, 인가 전계가 증가함에 따라, 능면정계 결정의 회절 피크인 R(002)이 시프트되었다. 능면정계 결정의 회절 피크인 R(002)의 시프트는, 인가 전계의 증가에 따라 능면정계 결정의 격자가 전계 인가 방향으로 자라고, 격자상수가 커졌다(구체적으로, 능면정계 결정의 회절피크R(002)의 시프트는 엔지니어드 도메인 효과에 의한 압전 왜곡을 나타낸다). 또한, 도10에 도시된 바와 같이, 인가 전계의 증가에 따라, 정방정계 결정의 회절 피크인 T(200) 및 T(002)의 피크 강도가 커졌다. 정방정계 결정의 회절 피크인 T(200) 및 T(002)의 회절피크의 증가는 인가 전계의 증가에 따라서 능면정계 결정의 일부가 정방정계 결정으로 상전이한 것을 나타냈다.
- [0246] 실시예 1과 동일한 방법으로, 캔틸레버를 이용하여, 최소 인가 전계 $E_{min}=0\text{kV/cm}$ (<E1)~최대 인가 전계 $E_{max}=100\text{kV/cm}$ (>E2)의 범위에서 압전상수 d_{31} 을 산출하였다. 압전상수 d_{31} 은 250p m/V 인 것을 발견했다.

산업상 이용 가능성

- [0247] 본 발명의 압전소자는, 잉크젯식 기록헤드, 자기기록 및 재생 헤드, 마이크로 전자 기계 시스템(MEMS)디바이스, 마이크로 펌프, 초음파탐침 등에 사용되는 압전 액추에이터에 적당하게 이용할 수 있다. 본 발명의 압전소자는 강유전 메모리(FRAM)등에 적당하게 이용할 수 있다.

도면의 간단한 설명

- [0104] 도 1은 본 발명에 따른 실시형태의 압전소자를 구비한 잉크젯식 기록헤드(액체토출장치로서 구동)의 주요부를 나타내는 단면도이다.
- [0105] 도 2는 도 1에 도시된 압전소자의 압전체의 압전성을 도시한 그래프이다.
- [0106] 도 3은 티탄산바륨의 온도 T와 깁스 자유 에너지 G 및 결정계의 관계를 도시한 그래프이다.
- [0107] 도 4는 도 1의 잉크젯식 기록헤드를 사용한 잉크젯식 기록장치의 예를 도시한 개략도이다.
- [0108] 도 5는 도 4의 잉크젯식 기록장치의 부분평면도이다.
- [0109] 도 6은 전계가 인가되지 않을 때에 실시예 2에서 얻어진 압전막의 XRD패턴을 도시한 그래프이다.
- [0110] 도 7은 $E_{min}=0\text{kV/cm}$ (<E1)~ $E_{max}=60\text{kV/cm}$ (>E1)의 조건에서 실시예 2에서 얻어진 압전소자를 구동했

을 때에 얻어진 전계-변위곡선을 도시한 그래프이다.

[0111] 도 8은 $E_{min}=0\text{kV/cm}(<E1) \sim E_{max}=100\text{kV/cm}(>E2)$ 의 조건에서 실시예 2에서 얻어진 압전소자를 구동했을 때에 얻어진 전계-변위곡선을 도시한 그래프이다.

[0112] 도 9는 전계가 인가되지 않을 때에 비교예 2에서 얻어진 압전막의 XRD 패턴을 도시한 그래프이다.

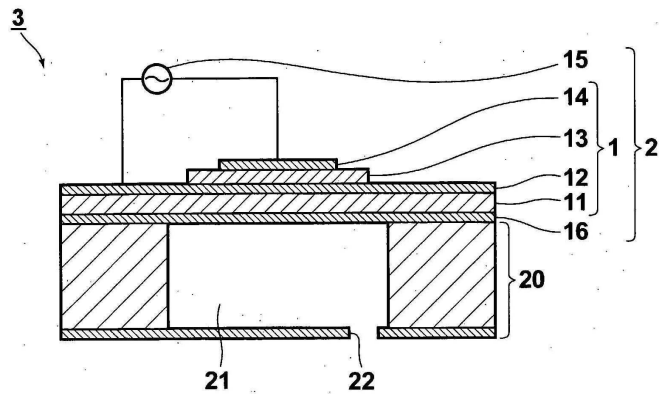
[0113] 도 10은 실시예 3에서 행해진 전계 인가 XRD 측정 결과를 도시한 그래프이다.

[0114] 도 11은 종래의 압전소자를 구성하는 압전체의 압전성을 도시한 그래프이다.

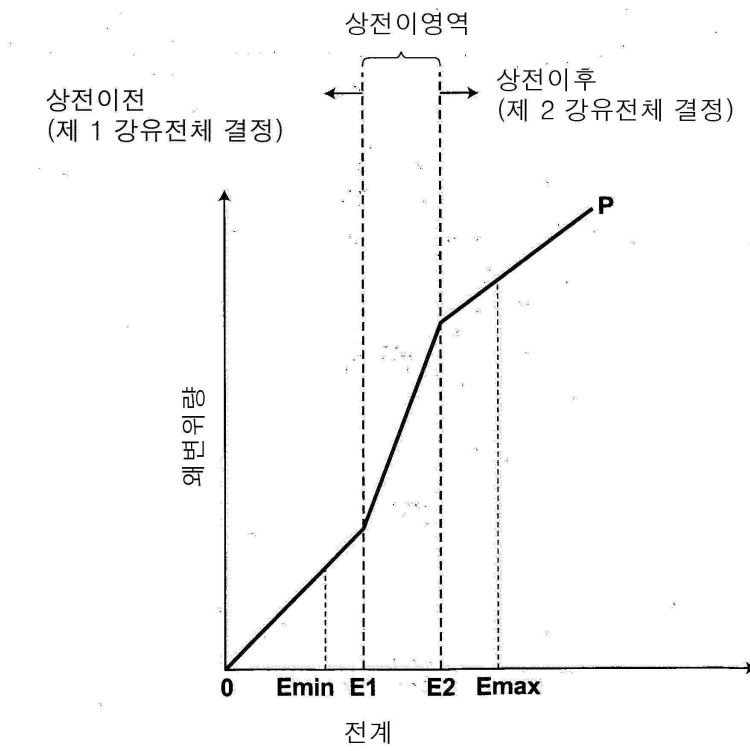
[0115] 도 12는 PZN-8%PT 단결정체의 엔지니어드 도메인 효과를 도시한 그래프이다.

도면

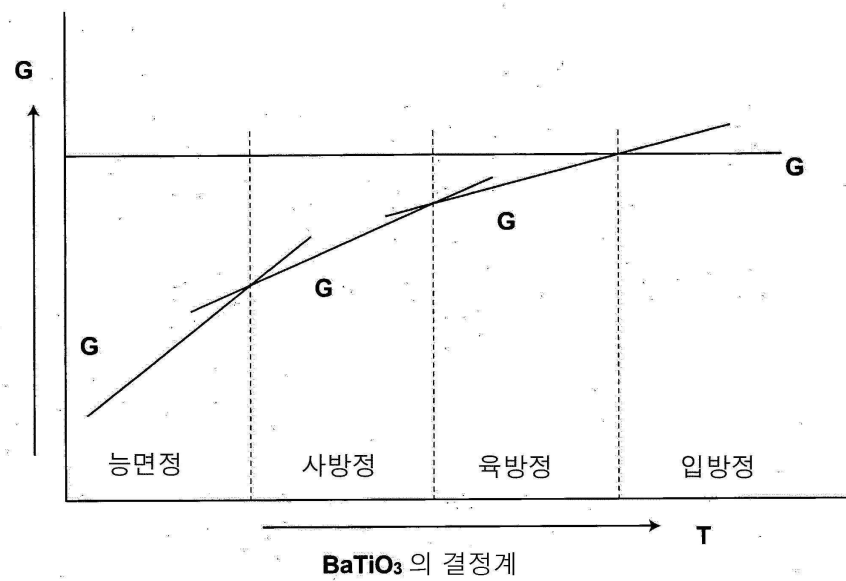
도면1



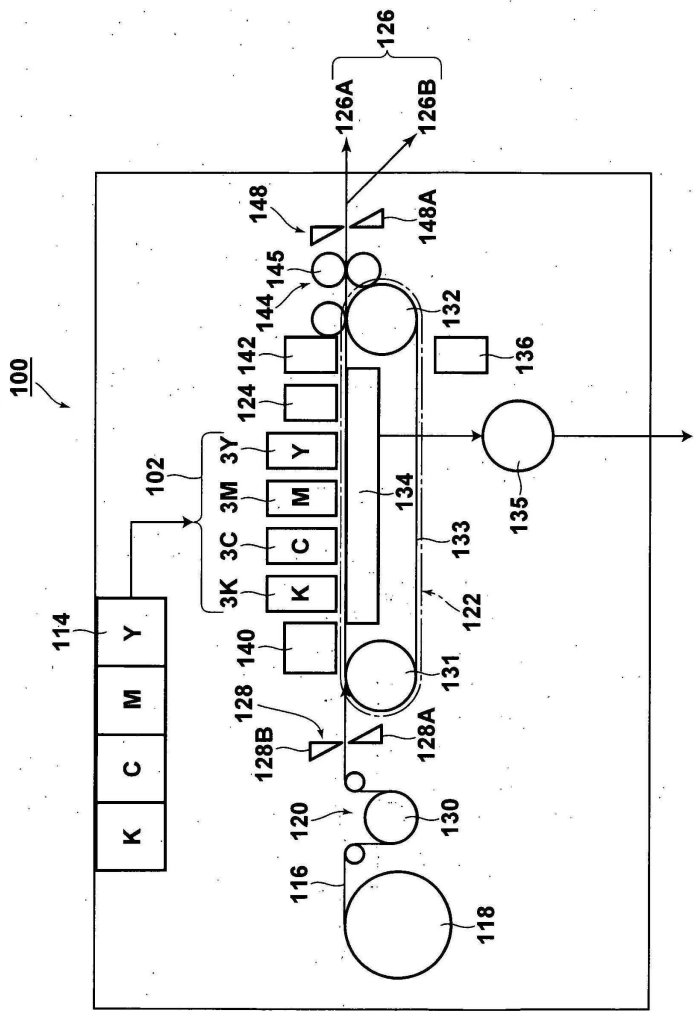
도면2



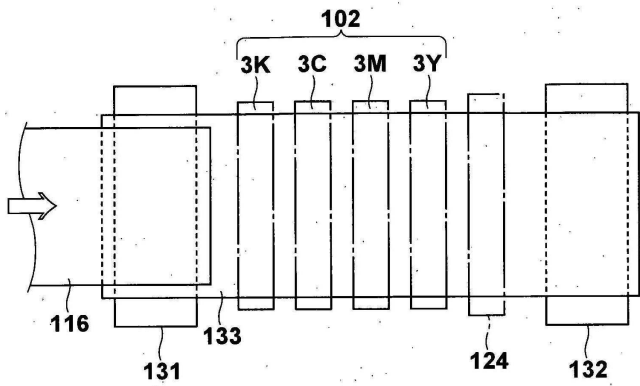
도면3



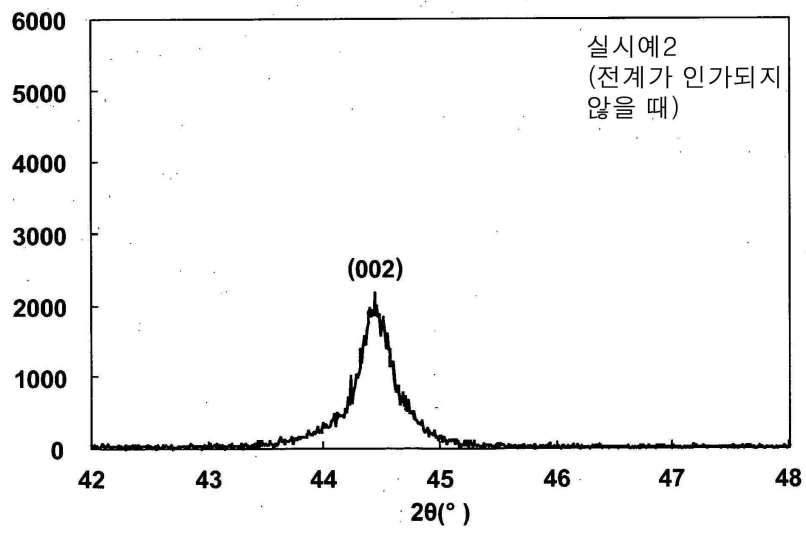
도면4



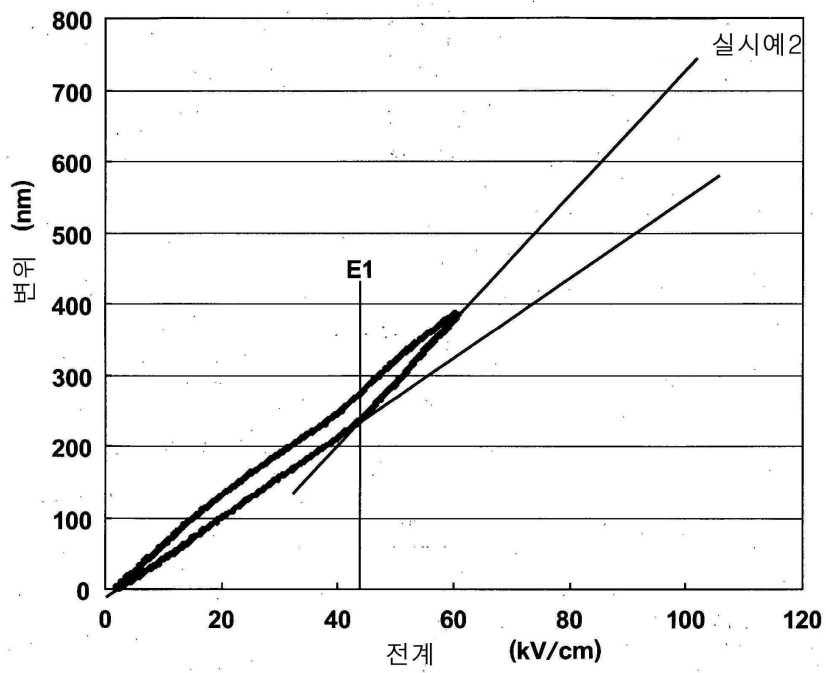
도면5



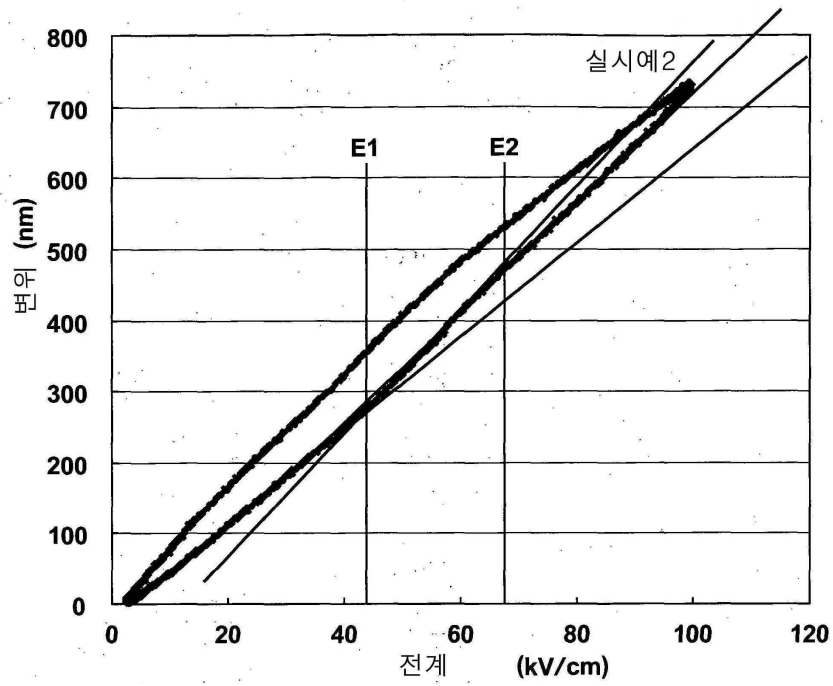
도면6



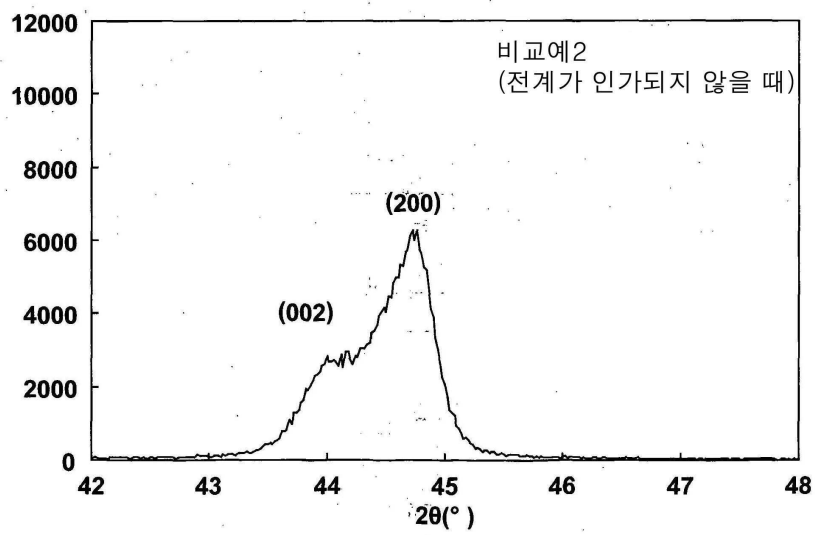
도면7



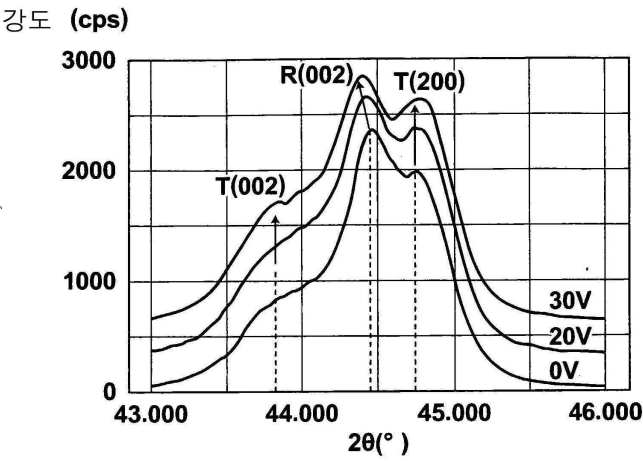
도면8



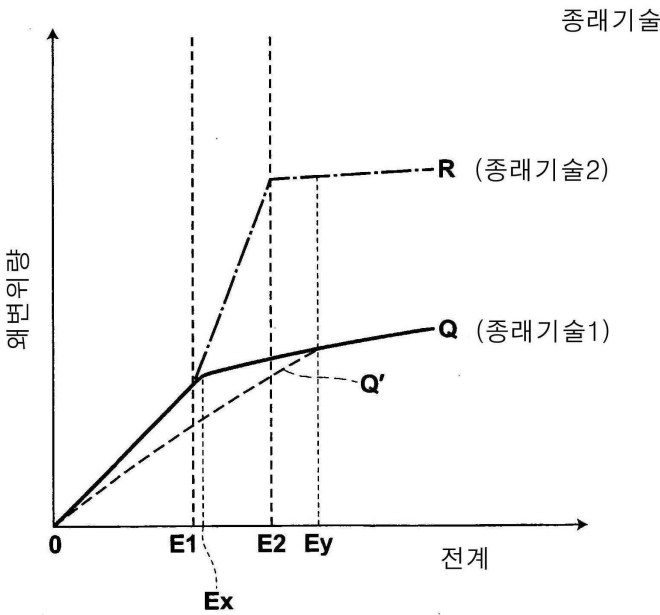
도면9



도면10



도면11



도면12

종래기술

