



(19) 대한민국특허청(KR)
(12) 공개특허공보(A)

(11) 공개번호 10-2017-0062403
(43) 공개일자 2017년06월07일

(51) 국제특허분류(Int. Cl.)
H02N 2/16 (2006.01) H01L 41/047 (2006.01)
H01L 41/09 (2006.01) H01L 41/187 (2006.01)
H02N 2/00 (2006.01) H02N 2/12 (2006.01)
(52) CPC특허분류
H02N 2/163 (2013.01)
H01L 41/047 (2013.01)
(21) 출원번호 10-2016-0157934
(22) 출원일자 2016년11월25일
심사청구일자 없음
(30) 우선권주장
JP-P-2015-231880 2015년11월27일 일본(JP)

(71) 출원인
캐논 가부시끼가이샤
일본 도쿄도 오오따꾸 시모마루쵸 3쵸메 30방 2고
(72) 발명자
우에바야시 아키라
일본 도쿄도 오오따꾸 시모마루쵸 3쵸메 30방 2고
캐논 가부시끼가이샤 내
후루타 다츠오
일본 도쿄도 오오따꾸 시모마루쵸 3쵸메 30방 2고
캐논 가부시끼가이샤 내
(뒷면에 계속)
(74) 대리인
장수길, 이중희

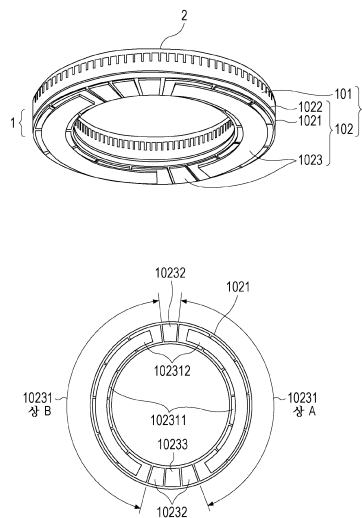
전체 청구항 수 : 총 21 항

(54) 발명의 명칭 초음파 모터, 구동 제어 시스템, 광학 기기 및 진동자

(57) 요약

환형 진동자 및 환형 이동 부재를 포함하고, 환형 이동 부재는 진동자와 압력 접촉하는 초음파 모터가 제공된다. 진동자는 환형 진동판 및 환형 압전 소자를 포함한다. 압전 소자는 환형 무연 압전 세라믹 편, 압전 세라믹 편, 일 표면 상에 배열된 공통 전극 및 압전 세라믹 편, 다른 표면 상에 배열된 복수의 전극을 포함한다. 복수의 전극은 두 개의 구동 상 전극, 하나 이상의 비구동 상 전극 및 하나 이상의 검지 상 전극을 포함한다. 진동판의 제2 표면은 반경방향으로 연장하는 복수의 홈 영역을 포함하고, 홈 영역의 깊이는 하나 이상의 정현파를 서로 중첩시킴으로써 얻어진 곡선을 따라 원주 방향으로 변한다. 초음파 모터는 불필요 진동과의 발생을 억제하면서 충분한 구동 속도를 나타낸다.

대표도



(52) CPC특허분류

H01L 41/092 (2013.01)

H01L 41/187 (2013.01)

H02N 2/008 (2013.01)

H02N 2/12 (2013.01)

(72) 발명자

우에다 미키

일본 도쿄도 오오따꾸 시모마루쵸 3쵸메 30방 2고
캐논 가부시끼가이샤 내

다나카 히데노리

일본 도쿄도 오오따꾸 시모마루쵸 3쵸메 30방 2고
캐논 가부시끼가이샤 내

교야마 신야

일본 도쿄도 오오따꾸 시모마루쵸 3쵸메 30방 2고
캐논 가부시끼가이샤 내

미우라 가오루

일본 도쿄도 오오따꾸 시모마루쵸 3쵸메 30방 2고
캐논 가부시끼가이샤 내

기무라 아츠시

일본 도쿄도 오오따꾸 시모마루쵸 3쵸메 30방 2고
캐논 가부시끼가이샤 내

후지타 사토시

일본 도쿄도 오오따꾸 시모마루쵸 3쵸메 30방 2고
캐논 가부시끼가이샤 내

명세서

청구범위

청구항 1

초음파 모터이며,

환형 진동자; 및

상기 환형 진동자와 가압 접촉하도록 배열되는 환형 이동 부재를 포함하고,

상기 환형 진동자는,

환형 진동판; 및

상기 환형 진동판의 제1 표면 상에 배열된 환형 압전 소자를 포함하며,

상기 환형 진동판은 상기 제1 표면의 반대측인 제2 표면 상에서 상기 환형 이동 부재와 접촉하게 되며,

상기 환형 압전 소자는,

환형 압전 세라믹 편;

상기 환형 압전 세라믹 편과 상기 환형 진동판 사이에 개재되도록 상기 환형 진동판에 대치된 상기 환형 압전 세라믹 편이 표면에 배열된 공통 전극; 및

상기 공통 전극이 배열되는 표면의 반대측 상의 상기 환형 압전 세라믹 편이 표면에 배열되는 복수의 전극을 포함하고,

상기 환형 압전 세라믹 편은 1,000 ppm 미만의 함량으로 납을 함유하며,

상기 복수의 전극은 두 개의 구동 상(drive phase) 전극, 하나 이상의 비구동 상 전극 및 하나 이상의 검지 상 전극을 포함하고,

상기 환형 진동판의 상기 제2 표면은 X개 부분에 반경방향으로 연장하는 홈 영역을 포함하고, 상기 환형 진동판의 외경이 mm 단위의 2R로 설정될 때, 상기 X는 $2R/0.85-5 \leq X \leq 2R/0.85+15$ 를 충족하는 자연수이고, 상기 외경(2R)은 57 mm 이상이며,

상기 인접한 홈 영역을 서로 분리하는 벽 영역의 외경측의 원주 방향으로의 길이의 평균 값(L_{top})과, 상기 홈 영역의 외경측의 원주 방향으로의 길이의 평균값(L_{btm}) 사이의 비율은 $1.45 \leq L_{top}/L_{btm} \leq 1.85$ 의 범위 이내에 들고,

상기 X개 부분의 상기 홈 영역의 중심 깊이는 원주 방향으로의 순서로 D_1 내지 D_X 로 표현되며, 상기 D_1 내지 D_X 는 하나 이상의 정현파를 서로 중첩시키는 것에 의해 얻어지는 곡선을 따르도록 변하고, 상기 홈 영역은 상기 중심 깊이의 변화가 12개 이상의 영역에서 국소 최대치에 도달하고, 상기 홈 영역은 상기 중심 깊이의 변화가 12개 이상의 영역에서 국소 최소치에 도달하며, 상기 국소 최대치에 도달하는 상기 홈 영역과 상기 국소 최소치에 도달하는 상기 홈 영역은 서로 인접하는 것이 방지되는, 초음파 모터.

청구항 2

제1항에 있어서, 상기 환형 압전 세라믹 편은 실온에서 100GPa 이상 135GPa 이하의 영률을 갖는, 초음파 모터.

청구항 3

제1항에 있어서, 상기 D_1 내지 D_X 는, 상기 환형 진동판의 최대 두께(T_{dia})에 관하여 5% 이상 25% 이하인, 최대값과 최소값 사이의 차이를 갖는, 초음파 모터.

청구항 4

제1항에 있어서, 상기 D_1 내지 D_X 는 최대 두께(T_{dia})에 관하여 25% 이상 50% 이하인 표준 깊이(D_{ave})를 갖는, 초음

파 모터.

청구항 5

제1항에 있어서, 상기 환형 압전 소자의 표면 상의 임의의 위치를 통과하면서 상기 환형 압전 소자와 중심을 공유하는 원의 원주를 7로 나눔으로써 얻어지는 하나의 원호의 길이가 λ 로 표현되고, 상기 원의 원주 길이가 7λ 로 표현되는 경우, 상기 두 개의 구동 상 전극 각각은, 3λ 의 원주 길이를 가지고, 상기 원주 방향으로 $\lambda/4$ 및 $3\lambda/4$ 의 길이를 각각 갖는 두 개의 간극 영역에 의해 상기 원주 방향으로 서로 분리되어 있으며, 상기 구동 상 전극 각각과 접촉하게 되는 영역에서의 상기 환형 압전 세라믹 편은, 극성이 상기 원주 방향을 따라 교번적으로 반전되는 6개 분극 영역을 포함하며, 상기 하나 이상의 비구동 상 전극 및 상기 하나 이상의 검지 상 전극은 상기 두 개의 간극 영역에 배열되는, 초음파 모터.

청구항 6

제1항에 있어서, 상기 환형 진동판의 상기 외경($2R$)은 90 mm 이하인, 초음파 모터.

청구항 7

제1항에 있어서, 상기 환형 진동판은 mm 단위의 내경($2R_{in}$)을 가지고, 이 내경은 관계: $2R-16 \leq 2R_{in} \leq 2R-6$ 를 충족하는, 초음파 모터.

청구항 8

제1항에 있어서, 상기 환형 압전 세라믹 편은 상기 환형 진동판의 외경보다 작은 외경을 가지고, 상기 환형 압전 세라믹 편은 상기 환형 진동판의 내경보다 큰 내경을 갖는, 초음파 모터.

청구항 9

제1항에 있어서, 상기 환형 진동판은 4 mm 이상 6 mm 이하인 최대 두께(T_{dia})를 갖는, 초음파 모터.

청구항 10

제1항에 있어서, 상기 환형 진동판은 50 질량% 이상의 강과 10.5 질량% 이하의 크롬을 함유하는 합금으로 이루어지는, 초음파 모터.

청구항 11

제1항에 있어서, 상기 X 는 짝수를 나타내고, 상기 D_1 내지 D_X 에 대하여, D_1 내지 $D_{X/2}$ 의 깊이 변화와 $D_{X/2+1}$ 내지 D_X 의 깊이 변화는 서로 일치되는, 초음파 모터.

청구항 12

제1항에 있어서, 상기 검지 상 전극에 가장 근접한 상기 홈 영역의 중심 깊이는 D_{sen} 로 표현되고, 여기서, $1 \leq sen \leq X$ 이며, $|D_{sen+1} - D_{sen-1}| / D_{sen}$ 은 5% 이하인, 초음파 모터.

청구항 13

제1항에 있어서, 국소 최대치에 도달하는 상기 홈 영역에 대하여, 상기 홈 영역이 적어도 8개 영역에서 표준 깊이(D_{ave})의 1.15배 이상 1.30배 이하인 중심 깊이를 갖는, 초음파 모터.

청구항 14

제1항에 있어서, 상기 국소 최대치에 도달하는 상기 홈 영역에 대하여, 가장 큰 중심 깊이를 갖는 상기 홈 영역과 두 번째로 가장 큰 중심 깊이를 갖는 상기 홈 영역 사이에 위치한 홈 영역의 수(I)는 관계: $I \geq X/18$ 를 충족하는, 초음파 모터.

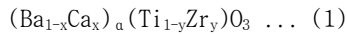
청구항 15

제1항에 있어서, 상기 홈 영역은 12개 부분 내지 16개 부분에서 상기 중심 깊이의 국소 최대치에 도달하는, 초

음과 모터.

청구항 16

제1항에 있어서, 상기 환형 압전 세라믹 편은 주 성분으로서 다음의 일반식 (1)



여기서:

$$0.986 \leq a \leq 1.100;$$

$$0.02 \leq x \leq 0.30; \text{ 및}$$

$$0.020 \leq y \leq 0.095,$$

에 의해 표현되는 페로브스카이트형 금속 산화물을 포함하고, 상기 환형 압전 세라믹 편에 포함된 주 성분 이외의 금속 성분의 함량은 상기 페로브스카이트형 금속 산화물의 100 중량부에 관하여 금속 환산으로 1.25 중량부 이하인, 초음파 모터.

청구항 17

제16항에 있어서, 상기 페로브스카이트형 금속 산화물은 Mn을 함유하고, Mn의 함량은 페로브스카이트형 금속 산화물의 100 중량부에 관하여 금속 환산으로 0.02 중량부 이상 0.40 중량부 이하인, 초음파 모터.

청구항 18

적어도 제1항 내지 제17항 중 어느 한 항의 초음파 모터와 상기 초음파 모터에 전기적으로 연결된 구동 회로를 포함하는, 구동 제어 시스템.

청구항 19

제18항에 있어서, 상기 구동 회로는 상기 환형 진동자에 7차 굽힘 진동파를 발생시키도록 구성된 신호 발생 유닛을 포함하는, 구동 제어 시스템.

청구항 20

적어도 제19항의 구동 제어 시스템과 상기 초음파 모터에 동적으로 연결된 광학 소자를 포함하는, 광학 기기.

청구항 21

환형 진동자이며,

환형 진동판; 및

상기 환형 진동판의 제1 표면 상에 배열된 환형 압전 소자를 포함하며,

상기 환형 압전 소자는,

환형 압전 세라믹 편;

상기 환형 압전 세라믹 편과 상기 환형 진동판 사이에 개재되도록 상기 환형 진동판에 대치된 상기 환형 압전 세라믹 편 표면 상에 배열된 공통 전극; 및

상기 공통 전극이 배열되는 표면의 반대측 상의 상기 환형 압전 세라믹 편 표면 상에 배열되는 복수의 전극을 포함하고,

상기 환형 압전 세라믹 편은 1,000 ppm 미만의 함량으로 납을 함유하며,

상기 복수의 전극은 두 개의 구동 상 전극, 하나 이상의 비구동 상 전극 및 하나 이상의 검지 상 전극을 포함하고,

상기 환형 진동판의 제2 표면은 X개 부분에 반경방향으로 연장하는 홈 영역을 포함하고, 상기 환형 진동판의 외경이 mm 단위의 2R로 설정될 때, 상기 X는 $2R/0.85-5 \leq X \leq 2R/0.85+15$ 를 충족하는 자연수이고, 상기 외경(2R)은

57 mm 이상이며,

상기 인접한 홈 영역을 분리하는 벽 영역의 외경측의 원주 방향으로의 길이의 평균 값(L_{top})과, 상기 홈 영역의 외경측의 원주 방향으로의 길이의 평균값(L_{btm}) 사이의 비율은 $1.45 \leq L_{top}/L_{btm} \leq 1.85$ 의 범위 이내에 들고,

상기 X개 부분의 상기 홈 영역의 중심 깊이는 원주 방향으로의 순서로 D_1 내지 D_X 로 표현되며, 상기 D_1 내지 D_X 는 하나 이상의 정현파를 서로 중첩시키는 것에 의해 얻어지는 곡선을 따르도록 변하고, 상기 홈 영역은 상기 중심 깊이의 변화가 12개 이상의 영역에서 국소 최대치에 도달하고, 상기 홈 영역은 상기 중심 깊이의 변화가 12개 이상의 영역에서 국소 최소치에 도달하며, 상기 국소 최대치에 도달하는 상기 홈 영역과 상기 국소 최소치에 도달하는 상기 홈 영역은 서로 인접하는 것이 방지되는, 환형 진동자.

발명의 설명

기술 분야

[0001] 본 발명은 초음파 모터, 구동 제어 시스템 및 초음파 모터를 사용하는 광학 기기에 관한 것이며, 추가적으로, 초음파 모터에 사용되는 진동자에 관한 것이다.

배경 기술

[0002] 진동형(진동파) 작동기는 전자기계 에너지 변환 소자 전기 신호, 예를 들어, 교번 전압을 인가하는 것에 의해, 전자기계 에너지 변환 소자, 예를 들어 압전 소자에 결합되어 있는, 환형 형상, 타원 형상, 마아 형상 등을 갖는 탄성체 내에 진동을 여기하도록 구성된 진동자를 포함한다. 진동형 작동기는 예로서 진동자에 여기된 진동의 구동력을 사용하여 진동자(정지체)에 대해 진동자와 압력 접촉되는 탄성체(이동 부재)를 상대적으로 이동시키도록 구성되는 초음파 모터로서 사용된다.

[0003] 이제, 진동형 작동기의 전형적인 사용 형태인 환형 초음파 모터의 구조와 구동 원리의 개요를 설명한다. 이하의 설명에서, 용어 "환형"은 환형 물품 또는 부재가 개략적으로 사전결정된 두께를 갖는 디스크가 동심적으로 원형 관통 구멍을 포함하고 있는 구조로서 간주될 수 있다는 것을 의미하는 것을 의도한다. 이 경우에, 디스크의 두께에 대응하는 환형 물품 또는 부재의 치수는 물품 또는 부재의 "두께"라 지칭되고, 디스크의 두께를 보유하는 디스크의 양 표면에 대응하는 환형 물품 또는 부재의 표면은 개별적으로 또는 포괄적으로 물품 또는 부재의 "표면"이라 지칭된다.

[0004] 환형 초음파 모터는 환형 진동자 및 환형 이동 부재를 포함하고, 환형 이동 부재는 진동자와 압력 접촉하게 된다. 이동 부재는 탄성체로 형성되고, 이동 부재용 재료로서 일반적으로 금속이 사용된다. 진동자는 환형 진동판과 진동판의 일 표면에 배열된 환형 압전 소자를 포함한다. 진동판은 탄성체로 형성되고, 진동판용 재료로서 일반적으로 금속이 사용된다. 압전 소자는 환형 압전 세라믹의 일 표면 상에 환형 링의 원주 방향을 따라 복수의 영역으로 분할된 전극을 포함하고, 그 다른 표면 상에 하나의 공통 전극을 포함한다. 티탄산 지르콘산 납계 재료가 압전 세라믹을 위한 재료로서 일반적으로 사용된다.

[0005] 복수의 영역으로 분할된 전극은 구동 상(drive phase) 전극을 형성하는 두 개의 영역과, 검지 상 전극을 형성하는 적어도 하나의 영역과, 필요에 따라 배열되는 비구동 상 전극을 형성하는 영역으로 분할된다. 각 구동 상 전극과 접촉하는 환형 압전 세라믹의 대응 영역에 전기장을 인가하기 위한 전력을 입력하도록 구성되는 배선이 각 구동 상 전극에 배열되고, 이 배선은 전원 유닛에 연결된다.

[0006] 환형 압전 소자의 표면 상의 임의의 위치를 통과하고 환형 링과 중심을 공유하는 원이 상정되고, n (n 은 자연수)으로 원주를 나눔으로써 얻어지는 하나의 원호의 길이가 λ 로 표현되며, 원의 원주 길이는 $n\lambda$ 로 표현된다. 각 구동 상 전극을 형성하는 영역에 대응하는 압전 세라믹의 영역은 원주 방향을 따라 $\lambda/2$ 의 피치로 교번적으로 반대 방향으로 그 두께 방향에서 압전 세라믹에 전기장을 인가하는 것에 의해 미리 분극 처리를 받게 된다. 따라서, 모든 영역에 관하여 두께 방향에서 압전 세라믹에 동일한 방향으로 전기장이 인가될 때 이 영역에서 압전 세라믹의 팽창 및 수축 극성은 $\lambda/2$ 의 피치로 교번적으로 반전된다. 각각의 구동 상 전극을 형성하는 두 개의 영역은 원주 방향으로 $\lambda/4$ 의 홀수 배수의 거리로 배열된다. 일반적으로 두 개의 구동 상 전극을 서로 분리하는 두 개의 영역(간극 영역)은 압전 진동이 자발적으로 유발되지 않도록 공통 전극에 단락된 비구동 상 전극을 포함하며, 그 결과 전기장이 이들 영역에서 압전 세라믹에 인가되지 않는다. 일반적으로, 검지 상 전극은 후술되는 바와 같은 간극 영역에 배열된다.

- [0007] 이런 초음파 모터의 구동 상 전극 중 단 하나에만 교번 전압이 인가될 때, 파장(λ)을 갖는 제1 정재파가 진동자의 전체 원주에 걸쳐 발생된다. 다른 구동 상 전극에만 교번 전압이 인가될 때, 유사하게 제2 정재파가 발생되지만, 파의 위치는 제1 정재파에 관하여 원주 방향으로 $\lambda/4$ 만큼 회전 및 이동된다. 한편, 동일한 주파수와 $\pi/2$ 의 시간적 위상차를 갖는 두 종류의 교번 전압이 각각의 구동 상 전극에 인가될 때, 전체 원주에 걸쳐 원주 방향으로 전파되는 굽힘 진동(진동자의 표면에 수직인 진폭을 갖는 진동)의 진행파(환형 링을 따른 파수: n 및 파장: λ)가 양 정재파의 합성의 결과로서 진동자에 생성된다.
- [0008] 굽힘 진동의 진행파(이하에서 때때로 간단히 "굽힘 진동파"라고 지칭됨)가 생성될 때, 진동자를 형성하는 진동판의 표면 상의 각 지점은 타원 운동을 받는다. 따라서, 표면과 접촉하는 이동 부재는 진동판으로부터의 원주 방향으로의 마찰력(구동력)으로 인해 회전한다. 회전 방향은 스위칭에 의해 양과 음 사이에서 반전될 수 있고, 교번 전압의 위상차가 각 구동 상 전극에 인가된다. 또한, 각 구동 상 전극에 인가된 교번 전압의 주파수 및 진폭을 변경함으로써 회전 속도가 제어될 수 있다.
- [0009] 발생된 굽힘 진동파는 간극 영역에 배열된 검지 상 전극으로 검지될 수 있다. 즉, 검지 상 전극과 접촉하는 압전 세라믹에 발생하는 변형의 왜곡(진동)은 왜곡의 크기에 따른 전기 신호로 변환되고, 검지 상 전극을 통해 구동 회로로 출력된다.
- [0010] 공진 주파수보다 높은 주파수에서 초음파 모터에 교번 전압이 인가될 때, 초음파 모터는 회전 동작을 시작한다. 주파수가 공진 주파수에 근접할 때, 회전이 가속되어 공진 주파수에서 최고 회전 속도에 도달한다. 따라서, 초음파 모터는 일반적으로 공진 주파수보다 더 높은 주파수 영역으로부터 공진 주파수까지 주파수를 스위프(sweep)함으로써 원하는 회전 속도로 구동된다.
- [0011] 그러나, 상술한 주파수 스위프에서, 기설정된 n -차(파수; n) 굽힘 진동파와는 다른 굽힘 진동파, 예컨대, $(n-1)$ -차 또는 $(n+1)$ -차 굽힘 진동파가 생성될 수 있다. 설정된 진동파와는 다른 굽힘 진동파는 불필요 진동파라 지칭된다. 불필요 진동파는 진동자와 이동 부재 사이의 접촉면의 낮은 정확도, 이동 부재에서 발생하는 기계적 진동의 불규칙성, 진동자와 이동 부재 사이의 접촉 압력의 비균일 분포 등에 의해 유발된다. 불필요 진동파는 초음파 모터가 구동될 때 비정상 소음의 발생과 출력의 감소를 유발한다.
- [0012] 일본 특허 제5322431호에는, 불필요 진동파의 발생을 감소시키도록 구성된 구성으로서, 환형 이동 부재와 접촉하는 측부의 진동판의 표면 상에 반경방향으로 홈이 형성되고 홈의 깊이가 정현파 곡선에 따라 변하는 구성이 설명되어 있다.
- [0013] 한편, 압전 세라믹에 사용되는 티탄산 지르콘산 납계 재료는 ABO_3 페로브스카이트형 금속 산화물의 A-사이트에 다량의 납을 포함한다. 따라서, 환경에 대한 납 성분의 영향이 문제가 되어 왔다. 이 문제를 해결하기 위해, 납을 포함하지 않는(1,000 ppm 미만의 납 함량) 페로브스카이트형 금속 산화물을 사용하는 압전 세라믹이 제안되어 있다.
- [0014] 납을 포함하지 않는(무연) 페로브스카이트형 산화물, 티탄산 바륨($BaTiO_3$) 및 그 파생체로 이루어진 압전 세라믹이 알려져 있다. 일본 특허 제5344456호 및 "Journal of Applied Physics"(2011, 109권, 054110-1 내지 054110-6)에는 티탄산 바륨의 A-사이트의 일부를 칼슘(Ca)으로 치환하고, 그 B-사이트의 일부를 지르코늄(Zr)으로 치환함으로써 압전 특성이 개선된 압전 세라믹이 설명되어 있다.
- [0015] 그러나, 압전 특성은 환경적 온도에 관한 탄성 및 압전 특성의 변화를 증가시키는 것에 의해 향상된다. 따라서, 무연 압전 세라믹이 초음파 모터에 사용될 때, 온도에 관한 탄성 및 압전 특성의 변화를 고려하여 주변 요소를 설계할 필요가 있다. 따라서, 일본 특허 제5322431호에서와 같은 관련 기술 압전 세라믹을 위해 사용되는 것을 전제로하여 설계된 진동판이 일본 특허 제5344456호에서와 같은 무연 압전 세라믹을 사용하는 초음파 모터에 적용되는 경우에도 불필요 진동파의 발생이 반드시 감소될 수 있는 것은 아니다.
- [0016] 또한, 무연 압전 세라믹의 밀도는 일반적으로 티탄산 지르콘산 납계 재료의 밀도보다 낮다. 따라서, 일본 특허 제5322431호에서와 같은 관련 기술 압전 세라믹을 위해 사용되는 것을 전제로하여 설계된 진동판이 일본 특허 제5344456호에서와 같은 무연 압전 세라믹을 사용하는 초음파 모터에 적용되는 경우에도 불필요 진동파의 발생이 반드시 감소될 수 있는 것은 아니다.

발명의 내용

해결하려는 과제

- [0017] 본 발명은 상술한 문제를 해결하기 위해 이루어진 것이며, 본 발명의 목적은 무연 압전 세라믹이 사용될 때에도 충분한 구동 속도가 나타나고, 원하는 차수(예로서, 7차 진동파)의 진동파 이외의 불필요 진동파의 발생이 억제되는 초음파 모터, 구동 제어 시스템 및 초음파 모터를 사용하는 광학 기기, 그리고, 또한 초음파 모터에 사용되는 진동자를 제공하는 것이다.

과제의 해결 수단

- [0018] 상술한 문제점을 해결하기 위해, 본 발명의 일 실시형태에 따라서, 초음파 모터가 제공되며, 이는 환형 진동자; 및 환형 진동자와 압력 접촉하도록 배열된 환형 이동 부재를 포함하고, 환형 진동자는 환형 진동판; 및 환형 진동판의 제1 표면 상에 배열된 환형 압전 소자를 포함하고, 환형 진동판은 제1 표면의 반대측인 제2 표면 상에서 환형 이동 부재와 접촉하고, 환형 압전 소자는 환형 압전 세라믹 편; 환형 압전 세라믹 편과 환형 진동판 사이에 개재되도록 환형 진동판에 대치된 환형 압전 세라믹 편에 배열된 공통 전극; 및 공통 전극이 배열되는 표면 반대쪽의 측부에서 환형 압전 세라믹 편에 배열된 복수의 전극을 포함하고, 환형 압전 세라믹 편은 1,000 ppm 미만의 함량으로 납을 포함하고, 복수의 전극은 두 개의 구동 상 전극과 하나 이상의 비구동 상 전극 및 하나 이상의 검지 상 전극을 포함하고, 환형 진동판의 제2 표면은 X개 부분에서 반경방향으로 연장하는 홈 영역을 포함하고, 환형 진동판의 외경이 mm 단위의 2R로 설정될 때, X는 $2R/0.85-5 \leq X \leq 2R/0.85+15$ 를 충족하는 자연수이고, 외경(2R)은 57 mm 이상이며, 인접한 홈 영역을 서로 분리하는 벽 영역의 외경 측부 상의 원주 방향으로의 길이의 평균 값(L_{top})과, 홈 영역의 외경 측부의 원주 방향으로의 길이의 평균 값(L_{btm}) 사이의 비율은 $1.45 \leq L_{top}/L_{btm} \leq 1.85$ 의 범위 이내에 들고, X개 부분의 홈 영역의 중심 깊이가 원주 방향으로의 순서로 D_1 내지 D_X 로 표현될 때, D_1 내지 D_X 는 하나 이상의 정현파를 서로 중첩시킴으로써 얻어진 곡선을 따르도록 변하며, 홈 영역은 중심 깊이의 변화가 12개 이상의 영역에서 국소 최대치에 도달하고, 홈 영역은 중심 깊이의 변화가 12개 이상의 영역에서 국소 최소치에 도달하며, 국소 최대치에 도달하는 홈 영역과 국소 최소치에 도달하는 홈 영역은 서로 인접하는 것이 방지된다.
- [0019] 상술한 문제점을 해결하기 위해, 본 발명의 일 실시형태에 따라서, 적어도 상술한 초음파 모터와 초음파 모터에 전기적으로 연결된 구동 회로를 포함하는 구동 제어 시스템이 제공된다.
- [0020] 상술한 문제점을 해결하기 위해, 본 발명의 일 실시형태에 따라서, 적어도 상술한 구동 제어 시스템과 초음파 모터에 동적으로 연결된 광학 소자를 포함하는 광학 기기가 제공된다.
- [0021] 상술한 문제점을 해결하기 위해, 본 발명의 일 실시형태에 따라서, 환형 진동자가 제공되며, 이 환형 진동자는 환형 진동판; 및 환형 진동판의 제1 표면 상에 배열된 환형 압전 소자를 포함하고, 환형 압전 소자는 환형 압전 세라믹 편; 환형 압전 세라믹 편과 환형 진동판 사이에 개재되도록 환형 진동판에 대치된 환형 압전 세라믹 편에 배열된 공통 전극; 및 공통 전극이 배열되는 표면 반대쪽의 측부에서 환형 압전 세라믹 편에 배열된 복수의 전극을 포함하고, 환형 압전 세라믹 편은 1,000 ppm 미만의 함량으로 납을 포함하고, 복수의 전극은 두 개의 구동 상 전극과 하나 이상의 비구동 상 전극 및 하나 이상의 검지 상 전극을 포함하고, 환형 진동판의 제2 표면은 X개 부분에서 반경방향으로 연장하는 홈 영역을 포함하고, 환형 진동판의 외경이 mm 단위의 2R로 설정될 때, X는 $2R/0.85-5 \leq X \leq 2R/0.85+15$ 를 충족하는 자연수이고, 외경(2R)은 57 mm 이상이며, 인접한 홈 영역을 분리하는 벽 영역의 외경 측부 상의 원주 방향으로의 길이의 평균 값(L_{top})과, 홈 영역의 외경 측부의 원주 방향으로의 길이의 평균 값(L_{btm}) 사이의 비율은 $1.45 \leq L_{top}/L_{btm} \leq 1.85$ 의 범위 이내에 들고, X개 부분의 홈 영역의 중심 깊이가 원주 방향으로의 순서로 D_1 내지 D_X 로 표현될 때, D_1 내지 D_X 는 하나 이상의 정현파를 서로 중첩시킴으로써 얻어진 곡선을 따르도록 변하며, 홈 영역은 중심 깊이의 변화가 12개 이상의 영역에서 국소 최대치에 도달하고, 홈 영역은 중심 깊이의 변화가 12개 이상의 영역에서 국소 최소치에 도달하며, 국소 최대치에 도달하는 홈 영역과 국소 최소치에 도달하는 홈 영역은 서로 인접하는 것이 방지된다.
- [0022] 본 발명에 따라서, 무연 압전 세라믹을 사용한 초음파 모터 또는 초음파 모터를 사용하는 광학 기기 및 구동 제어 시스템에서, 불필요 진동파의 발생이 효과적으로 억제되며 동시에 충분한 구동 속도가 발휘된다.
- [0023] 첨부 도면을 참조하는 예시적 실시형태에 대한 아래의 설명으로부터 본 발명의 다른 특징을 명백히 알 수 있을 것이다.

도면의 간단한 설명

[0024]

도 1a 및 도 1b는 각각 본 발명의 일 실시형태에 따른 초음파 모터를 예시하기 위한 개략도이다.

도 2는 본 발명의 실시형태에 따른 초음파 모터의 구성의 일부를 예시하기 위한 개략 단면도이다.

도 3은 본 발명의 진동자 및 초음파 모터에 사용되는 환형 압전 소자에서의 진동파의 파장과 원주 방향 길이 사이의 관계를 예시하기 위한 개략도이다.

도 4a 및 도 4b는 각각 본 발명의 일 실시형태에 따른 진동자 및 초음파 모터에 사용되는 환형 압전 소자의 개략도이다.

도 5는 본 발명의 진동자 및 초음파 모터에 사용되는 환형 진동판의 외경과 홈 영역의 수 사이의 관계를 도시하는 그래프이다.

도 6a, 도 6b, 도 6c 및 도 6d는 각각 본 발명의 진동자와 초음파 모터에 사용되는 환형 진동판의 홈 영역과 돌기 영역의 원주 방향 길이를 측정하는 방법을 예시하는 개략도이다.

도 7a, 도 7b, 도 7c, 도 7d, 도 7e 및 도 7f는 각각 본 발명의 일 실시형태에 따른 진동자와 초음파 모터의 진동판의 홈 영역의 중심 깊이의 분포를 개략적으로 보여주기 위한 그래프이다.

도 8은 본 발명의 일 실시형태에 따른 구동 제어 시스템을 예시하는 개략도이다.

도 9a 및 도 9b는 각각 본 발명의 일 실시형태에 따른 광학 기기를 예시하기 위한 개략도이다.

도 10은 본 발명의 일 실시형태에 따른 광학 기기를 예시하기 위한 개략도이다.

도 11a 및 도 11b는 각각 본 발명의 진동자와 초음파 모터에 사용되는 환형 진동판의 제조 공정의 일 예를 예시하기 위한 개략적 단계도이다.

도 12a, 도 12b, 도 12c, 도 12d, 도 12e, 도 12f, 도 12g, 도 12h, 도 12i 및 도 12j는 각각 본 발명의 일 실시형태에 따른 진동자와 초음파 모터의 진동판의 홈 영역의 중심 깊이의 분포를 개략적으로 보여주기 위한 그래프이다.

도 13a, 도 13b 및 도 13c는 각각 진동판의 제조 예에서 홈 영역의 중심 깊이의 변화를 확인하기 위한 그래프이다.

도 14a, 도 14b, 도 14c, 도 14d 및 도 14e는 각각 본 발명의 초음파 모터의 제조 공정의 일 예를 예시하기 위한 개략적 단계도이다.

도 15a 및 도 15b는 본 발명의 비교예에 따른 진동자와 본 발명의 실시예에 따른 진동자에서 상 A와 상 B에서 측정을 수행함으로써 얻어진 임피던스 곡선의 일 예를 도시하는 그래프이다.

발명을 실시하기 위한 구체적인 내용

[0025]

본 발명의 양호한 실시형태를 이제 첨부 도면을 참조로 상세히 설명한다.

[0026]

이제, 본 발명의 실시형태에 따른 초음파 모터, 구동 제어 시스템, 광학 기기 및 진동자를 설명한다.

[0027]

초음파 모터는 환형 진동자 및 환형 이동 부재를 포함하고, 환형 이동 부재는 진동자와 압력 접촉하도록 배열된다. 진동자는 환형 진동판과 진동판의 제1 표면(일 표면) 상에 배열된 환형 압전 소자를 포함하고, 진동판의 제2 표면(제1 표면 반대쪽의 표면)은 이동 부재와 접촉한다. 압전 소자는 환형 압전 세라믹 편(이음매 없이 통합형 방식으로 형성됨), 압전 세라믹 편(이음매 없이 통합형 방식으로 형성됨)의 일 표면(진동판에 대치된 측부) 상에 배열된 공통 전극 및 압전 세라믹 편(이음매 없이 통합형 방식으로 형성됨)의 다른 표면(공통 전극이 배열되는 표면 반대쪽의 측부)에 배열된 복수의 전극을 포함한다. 압전 세라믹 편은 1,000 ppm 미만의 함량으로 납을 포함한다. 복수의 전극은 두 개의 구동 상 전극, 하나 이상의 비구동 상 전극 및 하나 이상의 검지 상 전극을 포함한다. 환형 진동판의 제2 표면은 X개 부분에서 반경방향으로 연장하는 홈 영역을 포함한다. 이 때, $X는 2R/0.85-5 \leq X \leq 2R/0.85+15$ 를 충족하는 자연수이고(2R은 진동판의 외경;단위: mm), 2R은 57 mm 이상이고, 인접한 홈 영역을 서로 분리하는 벽 영역의 외경측 상의 원주 방향으로의 길이의 평균 값(L_{top})과, 홈 영역의 외경측의 원주 방향으로의 길이의 평균값(L_{btm}) 사이의 비율은 $1.45 \leq L_{top}/L_{btm} \leq 1.85$ 의 범위 이내에 든다. X개 부분의 홈 영역의 중심 깊이는 원주 방향으로의 순서로 D_1 내지 D_X 로 표현되며,

D_1 내지 D_n 는 하나 이상의 정현파를 서로 중첩시키는 것에 의해 얻어지는 곡선을 따르도록 변하고, 홈 영역은 중심 깊이의 변화가 12개 이상의 영역에서 국소 최대치에 도달하고, 홈 영역은 중심 깊이의 변화가 12개 이상의 영역에서 국소 최소치에 도달하며, 국소 최대치에 도달하는 홈 영역과 국소 최소치에 도달하는 홈 영역은 서로 인접하는 것이 방지된다.

[0028] 도 1a 및 도 1b는 각각 본 발명의 일 실시형태에 따른 초음파 모터를 예시하기 위한 개략도이다. 도 1a는 경사 방향으로부터 볼 때의 초음파 모터의 개략 사시도이고, 도 1b는 복수의 전극(패턴 전극)이 그 위에 배열되는 측부로부터 볼 때의 초음파 모터의 개략 평면도이다. 도 2는 측부 방향으로부터 볼 때의 본 발명의 실시형태에 따른 초음파 모터의 상세 구성의 개략적 부분 측면도이다. 본 명세서에서 사용될 때 측부 방향은 반경 방향에서 환형 링으로부터 멀어지는 위치를 지칭한다. 도 1a에 예시된 바와 같이, 본 발명의 초음파 모터는 환형 진동자(1) 및 진동자(1)와 압력 접촉하게 되는 환형 이동 부재(2)를 포함한다.

[0029] 본 발명에서, 상술한 바와 같이, 환형 형상은 사전결정된 두께를 갖는 디스크가 개략적으로 원형 관통 구멍을 동심적으로 포함하는 구성으로서 간주될 수 있는 형상을 지칭한다. 디스크의 외부 주연부 형상 및 관통 구멍은 이상적으로는 진정한 원형 형상이지만, 형상이 개략적으로 원형 형상으로서 간주될 수 있다면 난형 형상, 타원 형상 등을 포함한다. 원형 형상이 진정한 원형 형상이 아닌 경우 반경 및 직경은 동일한 면적을 갖는 진정한 원을 상정하여 결정된다. 실질적 환형 형상, 예컨대, 환형 링의 일부가 결여된 형상, 환형 링의 일부가 절단된 형상 또는 환형 링의 일부가 돌출하는 형상도 실질적 환형 형상이 환형 형상으로서 실질적으로 간주될 수 있는 한 본 발명에서 환형 형상에 포함된다. 따라서, 제조시 진동에 기인하여 미소하게 변형된 실질적 환형 형상도 실질적 환형 형상이 실질적으로 환형 형상으로서 간주될 수 있는 한 본 발명의 환형 형상에 포함된다. 원형 형상이 실질적 환형 형상일 때의 반경 및 직경은 결손 영역 및 이상 영역이 교정된 진정한 원을 상정하여 결정된다.

[0030] (이동 부재)

[0031] 환형 이동 부재(2)는 환형 진동자(1)에 실질적으로 압력 접촉되고, 진동자(1)에 관하여 접촉면에서 발생하는 진동에 의해 유발되는 구동력에 의해 회전된다. 진동자(1)에 관한 이동 부재(2)의 접촉면은 평탄한 것이 바람직하다. 이동 부재(2)는 탄성체로 형성되고, 이동 부재(2)의 재료는 금속인 것이 바람직하다. 예로서, 이동 부재(2)를 위한 재료로서 알루미늄이 적절하게 사용된다. 알루미늄의 표면은 알루미이트(양극산화) 처리를 받을 수 있다.

[0032] (진동자)

[0033] 도 1a에 예시된 바와 같이, 진동자(1)는 외경(2R)을 갖는 환형 진동판(101) 및 환형 진동판(101)의 제1 표면에 배열되어 진동판(101)의 제2 표면 상의 이동 부재(2)와 접촉하는 환형 압전 소자(102)를 포함한다. 진동자(1)로부터 이동 부재(2)로의 구동력의 전달이 더욱 만족스럽게 이루어지도록 이동 부재(2)는 적절한 외력에 의해 진동판(101)의 제2 표면에 대하여 가압된다. 진동판(101)의 외부 주연부가 단순한 형상을 갖지 않고, 측정 영역에 따라 복수의 외경을 가질 때, 최대 외경이 2R로 설정된다.

[0034] 진동판(101)의 외경(2R)(단위: mm)은 57 mm 이상이다($2R \geq 57$). 외경(2R)이 57 mm 미만일 때, 관통 구멍의 영역은 더 작고, 따라서, 환형 링의 장점이 얻어지지 않을 수 있다. 예로서, 카메라를 위한 렌즈를 이동시킬 목적으로 본 발명의 초음파 모터를 사용하는 경우에, 광속이 통과하는 영역이 더 작아지도록, 외경이 작은 것은 실질적으로 부적합하다.

[0035] 진동판(101)의 외경(2R)의 상한에 대해서는 어떠한 특정 제한도 존재하지 않지만, 본 발명의 주 효과인 불필요 진동파가 충분히 제거될 수 있는 견지에서, 외경(2R)은 90 mm 이하, 더욱 바람직하게는 80 mm 이하인 것이 바람직하다.

[0036] 내경($2R_{in}$)이 외경(2R)보다 작은 한, 진동판(101)의 내경($2R_{in}$)(단위: mm)에 대해서는 어떠한 특정한 제한도 존재하지 않지만, 관계 $2R-16 \leq 2R_{in} \leq 2R-6$ 가 충족되는 것이 바람직하다. 이 요건은 진동판(101)의 환형 링의 반경 방향으로의 길이(이하에서, 환형 링의 "폭"이라고 지칭됨)를 3 mm 이상 8 mm 이하로 설정하는 것으로 해석될 수 있다. 진동판(101)의 환형 링의 폭이 상술한 범위 이내로 설정될 때, 환형 형상의 장점이 보증되면서 초음파 모터의 구동 동안 충분한 구동력이 발생된다. 내경($2R_{in}$)이 2R-16보다 작을 때, 관통 구멍의 영역은 더 작아진다. 따라서, 상술한 바와 같이, 환형 링의 장점이 얻어질 수 없다. 한편, $2R_{in}$ 이 2R-6보다 클 때, 진동판

(101)의 환형 링의 폭은 불충분하고, 초음파 모터의 구동 동안 발생하는 구동력이 불충분해질 위험이 존재한다.

- [0037] 압전 소자(102)의 팽창 및 수축에 수반되는 진동의 전달이 더욱 만족스러워 지도록 진동판(101)의 제1 표면은 평탄한 것이 바람직하다. 진동의 전달이 더욱 만족스러워지도록 진동판(101)의 환형 영역의 중심이 압전 소자(102)의 환형 링의 중심과 일치되는 것이 바람직하다.
- [0038] 진동판(101)의 제1 표면 상에 압전 소자(102)를 배열하는 방법에 대해서는 어떠한 특정한 제한도 없지만, 고 탄성 재료의 매개를 통해 진동판(101)의 제1 표면에 압전 소자(102)가 부착되게 하는 것 또는 진동의 전달을 억제하지 않도록 진동판(101)의 제1 표면에 대하여 압전 소자(102)가 직접적으로 부착되게 하는 것이 바람직하다. 0.5 GPa 이상, 더욱 바람직하게는 1 GPa 이상의 실온(예컨대, 20° C)에서의 영률을 갖는 접착제 층(미도시)이고 탄성 재료의 일 예로서 배열될 때, 진동판(101)으로의 압전 소자(102)로부터의 진동의 전달은 더욱 만족스러워 진다. 한편, 접착제 층의 실온에서의 영률의 상한은 특정하게 설정될 수 없지만, 경화 이후 수지의 접착 강도를 충분히 획득하기 위해, 영률의 상한은 바람직하게는 10 GPa 이하인 것이 바람직하다. 예로서, 에폭시 수지가 접착제 층으로서 적절히 사용된다.
- [0039] 접착제 층의 실온에서의 영률은 JIS K6911 "General test methods for thermosetting plastics" (1995)에 의해 계산될 수 있다.
- [0040] (압전 소자의 구성)
- [0041] 도 1a에 예시된 바와 같이, 환형 압전 소자(102)는 환형 압전 세라믹 편(1021), 진동판(101)에 대치된 압전 세라믹 편(1021)의 표면 상에 배열된 공통 전극(1022) 및 공통 전극(1022)이 그 위에 배열되는 표면의 반대측 상의 진동판(101)의 표면 상에 배열된 복수의 전극(1023)을 포함한다.
- [0042] 본 발명에서, 압전 세라믹 편(1021)은 금속을 포함하는 원료 분말을 소성함으로써 얻어지는 이음매가 없는 단일체 구조를 갖는 덩어리(벌크체)이고, 10 pm/V 이상의 실온에서의 압전 상수(d_{31}) 또는 30 pC/N 이상의 실온에서의 압전 상수(d_{33})의 절대값을 갖는 세라믹을 지칭한다.
- [0043] 압전 세라믹의 압전 상수는 압전 세라믹의 밀도, 공진 주파수 및 반공진 주파수의 측정 결과로부터 Japan Electronics and Information Technology Industries Association Standard(JEITA EM-4501)에 기초한 계산에 의해 결정될 수 있다. 이 방법은 이하에서 공진-반공진법이라 지칭된다. 밀도는 예로서 아르키메데스법에 의해 측정될 수 있다. 공진 주파수 및 반공진 주파수는 예로서 전극 쌍이 압전 세라믹 상에 배열된 이후 임피던스 분석기의 사용을 통해 측정될 수 있다.
- [0044] 세라믹은 일반적으로 미세 결정의 집괴체("다결정"이라고도 지칭됨)이며, 각 결정은 음 전하를 갖는 원자와 양 전하를 갖는 원자를 포함한다. 대부분의 세라믹은 양 전하 및 음 전하가 균형화되는 상태를 갖는다. 그러나, 유전 세라믹은 또한 결정 내의 음 전하와 양 전하가 자연 상태에서도 균형화되지 않고 전하 바이어스(자발 분극)가 발생하는 강유전체라 지칭되는 세라믹을 포함한다. 소성(calcination) 이후 강유전성 세라믹은 다양한 방향으로 자발 분극을 가지며, 세라믹 전체에서 전하의 바이어스를 갖지는 않는다. 그러나, 강유전성 세라믹에 고전압이 인가되면, 자발 분극의 방향이 균일한 방향으로 정렬되고, 전압이 제거되더라도 원래 방향으로 자발 분극이 되돌아가지 않는다. 자발 분극의 방향 정렬은 일반적으로 분극 처리라 지칭된다. 외부로부터 분극 처리를 받은 강유전성 세라믹에 전압이 인가될 때, 세라믹 내의 각 양 및 음 전하의 중심은 외부 전하를 견인 또는 배척하며, 세라믹 본체는 팽창 또는 수축한다(역 압전 효과). 본 발명의 압전 세라믹 편(1021)은 역 압전 효과를 유발하도록 이런 분극 처리를 받고, 압전 재료 편(101)의 일부의 적어도 일 영역은 분극 처리를 받는다.
- [0045] 환형 압전 세라믹 편(1021)의 외경은 진동판(101)의 외경(2R)보다 작고, 압전 세라믹 편(1021)의 내경은 진동판(101)의 내경($2R_{in}$)보다 큰 것이 바람직하다. 즉, 환형 링의 중심이 일치될 때, 환형 링 중심 축 방향으로의 압전 세라믹 편(1021)의 돌출 표면은 동일 방향으로 진동판(101)의 돌출 표면에 포함된다. 환형 압전 세라믹 편(1021)의 외경 및 내경이 이런 범위 이내로 설정될 때, 압전 세라믹 편(1021)과 진동판(101) 사이의 진동 전달은 더욱 만족스러워진다.
- [0046] 본 발명에서, 압전 세라믹 편(1021)은 1,000 ppm 미만의 함량으로 납을 포함한다. 즉, 압전 세라믹 편(1021)은 무연 압전 세라믹이다. 압전 세라믹 편(1021)은 100 GPa 이상, 그리고 135 GPa 이하의 실온(예컨대 20° C)에서의 영률을 갖는 것이 바람직하다. 압전 세라믹 편(1021)의 실온에서의 영률은 상술한 공진-반공진법에 의해 계산될 수 있다.

- [0047] 대부분의 관련 압전 세라믹은 주 성분으로서 티탄산 지르콘산 납을 포함한다. 따라서, 다음의 사항이 나타난다. 예로서, 압전 소자가 폐기되고 산성비에 노출되거나 가혹한 환경에 방치되게 되면, 관련 기술 압전 세라믹 내의 납 성분이 토양으로 용해되어 생태계를 훼손시킬 위험이 있다. 그러나, 예로서, 본 발명의 압전 세라믹 편(1021)에서와 같이 납 함량이 1,000 ppm 미만인 경우, 압전 소자가 폐기되고 산성비에 노출되거나 가혹한 환경에 방치되는 경우에도, 환경에 대한 압전 세라믹 편(1021)에 포함된 납 성분의 영향이 미소하다. 압전 세라믹 편(1021)에 포함된 납 함량은 예컨대 X 선 형광(XRF) 분석 및 ICP 발광 분광 분석에 의해 정량화되는 압전 세라믹 편(1021)의 총 중량에 관한 납 함량에 기초하여 평가될 수 있다.
- [0048] 압전 세라믹 편(1021)의 실온에서의 영률이 100 GPa보다 작을 때, 초음파 모터의 구동 동안 발생하는 구동력은 충분하지 못해질 수 있다. 한편, 압전 세라믹(1021)의 실온에서의 영률이 135 GPa보다 클 때, 압전 세라믹 편(1021)이 쉽게 균열될 위험이 있다. 예로서, 영률이 클 때, 초음파 모터의 구동에 기인하여 발생하는 압전 세라믹 편(1021)의 변형(왜곡)에 의해 유발되는 응력이 증가하고, 따라서, 압전 세라믹 편(1021)이 쉽게 균열된다. 예로서, 압전 세라믹 편(1021)의 영률이 큰 경우, 진동자(1)의 탄성 변형의 중립 평면은 진동판(101) 측으로부터 압전 세라믹 편(1021) 측으로 편위된다. 따라서, 모터 구동의 효율(초음파 모터로의 입력 전력에 관한 출력의 효율)이 열화된다. 이러한 견지에서, 중립면을 진동판(101) 측으로 복귀시키도록 압전 세라믹 편(1021)의 두께가 감소될 수 있지만, 변형 동안의 응력은 두께의 -2승에 비례하여 증가하고, 따라서, 압전 세라믹 편(1021)이 쉽게 균열된다.
- [0049] 납 함량이 1,000 ppm 미만이고, 실온에서의 영률이 100 GPa 이상 및 135 GPa 이하인 압전 세라믹 편(1021)의 주 성분으로서, 페로브스카이트형 결정 구조를 갖는 금속 산화물(페로브스카이트형 금속 산화물)이 바람직하다.
- [0050] 본 발명의 페로브스카이트형 금속 산화물은 "Iwanami Dictionary of Physics and Chemistry", 5판(Iwanami Shoten, 1998년 2월 20일 발간)에 설명된 바와 같이 이상적으로 입방정 구조인 페로브스카이트 구조를 갖는 금속 산화물을 지칭한다. 페로브스카이트 구조를 갖는 금속 산화물은 일반적으로 ABO_3 의 화학 조성으로 표현된다. 비록, B-사이트의 원소와 O-원소 사이의 몰비가 1:3으로 설명되지만, 원소 양의 비율이 미소하게 편위되더라도(예로서, 1.00:2.94 내지 1.00:3.06), 금속 산화물이 주 상으로서 페로브스카이트 구조를 갖는 한 금속 산화물은 페로브스카이트형 금속 산화물로서 고려될 수 있다. 예로서, X-선 회절 또는 전자 비임 회절에 의한 구조 분석으로부터, 금속 산화물이 페로브스카이트 구조를 갖는다는 것이 결정될 수 있다.
- [0051] 페로브스카이트형 금속 산화물에서, 원소 A 및 B는 단위 격자 내에서 이온 형태로 특정 위치를 점유하며, 이는 A-사이트 및 B-사이트라 지칭된다. 예로서, 입방정 유닛 격자에서, 원소 A는 큐브의 정점에 위치되고, 원소 B는 큐브의 체심 위치를 점유한다. 원소 O는 산소의 음이온으로서 큐브의 면심 위치를 점유한다. 원소 A, 원소 B 및 원소 O가 단위 격자의 대칭 위치로부터 좌표가 각각 미소하게 편위되면, 페로브스카이트형 구조의 단위 격자는 왜곡되어 사방정, 능면체정 또는 정방정 결정계가 된다.
- [0052] A-사이트 이온 및 B-사이트 이온에 의해 점유될 수 있는 원자가의 조합으로서, $AB^{+5+}O^{2-}_3$, $AB^{2+4+}O^{2-}_3$, $A^{3+}B^{3+}O^{2-}_3$ 및 그 조합에 의해 얻어진 고용체가 주어진다. 이 원자가는 동일 사이트에 위치된 복수의 이온의 평균 원자가일 수 있다.
- [0053] 공통 전극(1022)은 진동판(101)에 대치된 측부 상의 환형 압전 세라믹 편(1021)의 표면, 즉, 진동판(101)과 접촉하는 표면 또는 상술한 접촉제 층과 접촉하는 표면 상에 배열된다. 공통 전극(1022)은 압전 세라믹 편(1021)의 표면과 유사하게 환형 방식으로 배열된다. 구동 전압이 복수의 전극(1023)의 특정 영역에서만 인가될 수 있도록 공통 전극(1022)이 복수의 전극(1023) 사이의 비구동 상 전극(10232)과 도통되는 것이 바람직하다(도 1b 참조). 예로서, 공통 전극(1022)과 비구동 상 전극(10232) 양자 모두와 접촉하도록 배선이 배열되면, 공통 전극(1022)과 비구동 상 전극(10232)은 도통되게 된다. 대안적으로, 배선은 전도성을 갖는 진동판(101)의 매개를 통해 공통 전극(1022)과 비구동 상 전극(10232)이 도통되도록 배선이 배열될 수 있다.
- [0054] 이런 배선은 예로서, 예컨대 은으로 이루어진 금속 페이스트를 적용하고, 금속 페이스트를 건조 또는 베이킹하는 것에 의해 형성될 수 있다.
- [0055] 도 1b에 예시된 바와 같이, 복수의 전극(1023)은 두 개의 구동 상 전극(10231), 하나 이상의 비구동 상 전극(10232) 및 하나 이상의 검지 상 전극(10233)을 포함한다. 구동 상 전극(10231), 비구동 상 전극(10232) 및 검지 상 전극(10233)은 서로 도통되지 않으며, 그래서, 각 전극이 구동 동안 독립적 전위를 갖는 것이 바람직하다.

- [0056] 검지 상 전극(10233)은 진동자(1)의 진동 상태의 검지 및 외부, 예로서, 구동 회로로의 진동 상태에 대한 정보의 피드백을 위해 배열된다. 검지 상 전극(10233)과 접촉하는 영역의 압전 세라믹 편(1021)은 분극 처리를 받는다. 따라서, 초음파 모터가 구동될 때, 진동자(1)의 왜곡의 크기에 대응하는 전압이 검지 상 전극(10233)의 영역에서 발생되고, 검지 신호로서 외부로 출력된다.
- [0057] 적어도 하나의 비구동 상 전극(10232)이 공통 전극(1022)과 도통되고, 그래서, 비구동 상 전극(10232)이 접지 전극으로서 사용될 수 있는 것이 바람직하다. 도통을 달성하기 위한 예시적 모드 및 절차는 상술한 바와 같다. 구동 상 전극(10231), 접지 전극으로서 기능하는 비구동 상 전극(10232) 및 검지 상 전극(10233)이 환형 압전 소자(102)의 일 표면(공통 전극(1022) 반대쪽의 표면) 상에 배열되는 경우, 초음파 모터 외부의 구동 회로에 관한 전기 신호(구동 신호, 검지 신호)의 전송이 용이해진다. 예로서, 구동 신호 및 검지 신호는 가요성 인쇄 기판을 통해 전송될 수 있다.
- [0058] 가요성 인쇄 기판이 초음파 모터와 구동 회로의 전기 연결을 위해 사용되는 경우, 가요성 인쇄 기판은 환형 압전 소자(102)의 일 표면(공통 전극(1022)이 배열되는 표면 반대쪽의 표면) 상에서 각 구동 상 전극(10231), 비구동 상 전극(10232) 및 검지 상 전극(10233)의 일부와 접촉하게 되도록 배열된다. 가요성 인쇄 기판은 높은 치수 정확도를 가지고, 지그 등의 사용을 통해 쉽게 위치설정될 수 있다. 가요성 인쇄 기판의 연결을 위해, 예폭시 접착제 등을 사용하여 열압착이 수행될 수도 있다. 그러나, 대량 생산의 견지에서, 도통 불량이 감소되고 가공 속도가 증가되도록 전도성을 갖는 이방성 전도성 페이스트(ACP) 및 이방성 전도성 필름(ACF)이 열압착을 받게 되는 것이 바람직하다. 열압착이 가요성 인쇄 기판의 연결을 위해 사용될 때, 압전 세라믹 편(1021)의 탈분극 온도보다 낮은 온도를 선택하는 것이 바람직하다.
- [0059] 비구동 상 전극(10232)과 접촉하는 영역에서 압전 세라믹 편(1021)은 잔여(잔류) 분극을 갖거나 갖지 않을 수 있다. 비구동 상 전극(10232)과 접촉하는 영역에서 압전 세라믹 편(1021)이 잔류 분극을 갖는 경우, 공통 전극(1022) 및 비구동 상 전극(10232)은 서로 도통되는 것이 바람직하다.
- [0060] 도 1b에 예시된 바와 같이, 각 구동 상 전극(10231)은 6개 분극 전극(102311) 및 6개 분극 전극(102311)을 전기적으로 연결하는 연결 전극(102312)을 포함한다.
- [0061] 도 3은 본 발명의 초음파 모터에 사용되는 환형 압전 소자(102)에서의 진동파의 파장과 원주 방향 길이 사이의 관계를 예시하기 위한 개략도이다. 도 3에서, 설명의 편의상, 전극은 도시되어 있지 않다. 도 3의 환형 링은 압전 소자(102)를 나타내고, 압전 세라믹 편(1021)의 것과 실질적으로 동일한 상을 갖는다. 임의의 위치가 환형 링의 표면 상에 지정되고, 임의의 위치를 통과하면서 압전 소자(102)의 환형 형상과 그 중심을 공유하는 원의 직경이 $2R_{arb}$ (단위: mm)로 표현될 때, 원의 원주 길이는 $2\pi R_{arb}$ 이다. 원주 길이 $2\pi R_{arb}$ 는 7λ 로 설정된다. 본 발명에서 " λ "는 7차(파수: 7) 굽힘 진동의 진행파가 본 발명의 초음파 모터를 형성하는 진동자(1)의 원주 방향으로 생성될 때의 파장을 지칭한다. λ 의 값은 앞서 지정된 임의의 위치에 따라 변하지만, 이런 파라미터(λ)는 복수의 전극(1023)의 형상 및 치수를 설계하기 위해 상정된다. 원주 방향 길이는 이후 어떠한 특정 설명도 없을 때에도 압전 소자(102)의 표면 상의 임의의 위치를 통과하는 원을 상정하는 것으로 고려된다.
- [0062] 도 4a 및 도 4b는 각각 본 발명의 초음파 모터에 사용되는 환형 압전 소자(102)에서의 분극 전극(102311)의 배열과 환형 압전 소자(102)를 복수의 전극이 배열되는 측부로부터 볼 때의 각 전극 영역에서의 압전 세라믹 편(1021)의 극성을 예시하기 위한 개략도이다. 설명의 편의성을 위해, 도 4a 및 도 4b에서, 연결 전극(102312)은 도시되어 있지 않다. 도 4a 및 도 4b의 극성의 조합은 예시이며, 본 발명을 제한하지 않는다.
- [0063] 구동 상 전극(10231)과 접촉하는 영역에서 압전 세라믹 편(1021)은 구동 상 전극(10231)에 실질적으로 수직인 방향으로 잔류 분극을 갖는다. 잔류 분극을 갖는 영역은 공통 전극(1022)과 분극 전극(102311) 사이에 유지되는 영역에서 압전 세라믹 편(1021)의 일부 또는 전체일 수 있다. 초음파 모터의 구동 동안 발생력을 향상시키는 관점에서, 공통 전극(1022)과 분극 전극(102311) 사이에 유지되는 전체 영역이 잔류 분극을 갖는 것이 바람직하다. 본 발명에서, 잔류 분극을 갖는 영역은 "분극 영역"이라 지칭된다. 잔류 분극은 압전 세라믹 편(1021)에 전압이 인가되지 않을 때의 압전 세라믹 편(1021)에 잔류하는 분극을 지칭한다. 압전 세라믹 편(1021)이 분극 처리를 받게 될 때, 자발 분극의 방향은 전압 인가 방향으로 정렬되고, 따라서, 압전 세라믹 편(1021)은 잔류 분극을 갖는다. 압전 세라믹 편(1021)이 잔류 분극을 갖는지 여부는 압전 소자(102)를 보유하는 전극 사이에 전기장을 인가하고, 인가된 전기장(E)과 분극량(P)을 측정함으로써(P-E 히스테리시스 곡선) 결정될 수 있다.
- [0064] 각 구동 상 전극(10231)은 6개 분극 전극(102311)을 포함하고, 대응적으로, 분극 전극(102311)과 접촉하는 압전

세라믹 편(1021)의 6개 영역, 즉, 6개 분극 영역이 존재한다. 6개 분극 영역 및 6개 분극 전극(102311)은 도 4a 및 도 4b에 예시된 바와 같이 그 사이에 비분극 영역을 개재하도록 원주를 따라 배열된다. 분극 영역의 극성은 원주를 따른 배열 순서로 교번적으로 반전된다. 도 4a 및 도 4b에서, 분극 전극(102311)의 내측에 기재된 기호 "+" 및 "-"는 잔류 분극, 즉, 극성의 방향을 나타낸다. 본 명세서에서, 기호 "+"는 압전 소자(102)의 제조 단계의 분극 처리에서 양의 전압이 인가되는 전극 영역에 기재된다. 따라서, 압전 상수(d_{33})가 "+" 전극 영역에서만 측정될 때, 음의 값이 검출된다. 유사하게, "-" 전극 영역에서, 양의 압전 상수(d_{33})가 검출된다. 한편, 도 4b에 기재된 기호 "0"를 갖는 전극 영역 또는 도 4b에 어떠한 전극도 배열되어 있지 않은 비분극 영역에서만, 0 또는 극도로 작은 값, 예를 들어, 5 pC/N 이하의 실온에서의 압전 상수(d_{33})만이 검출된다. 도 4a 및 도 4b에 예시된 압전 소자(102)에서, 압전 세라믹 편(1021)은 도면 지면에 관하여 하향 잔류 분극을 갖는 영역과 상향 잔류 분극을 갖는 영역을 포함한다. 잔류 분극의 극성이 영역에 따라 변하는 것을 확인하는 방법으로서, 압전 상수를 측정하여 검출된 값의 플러스 및 마이너스에 기초하여 극성의 변동을 결정하는 것을 수반하는 방법과, P-E 히스테리시스 곡선 내의 항전계의 원점으로부터의 편위 방향이 반대인 것을 확인하는 것을 수반하는 방법이 존재한다.

[0065] 각 분극 영역은 실질적으로 동일한 치수를 갖는다. 구체적으로, 6개 분극 전극(102311)(두 개의 구동 상 전극(10231)의 총계로서 12개 분극 전극(102311))이 원주 방향으로 동일한 길이를 갖는다. 또한, 각 분극 영역(각 분극 전극(102311))이 돌출 영역에 관하여 2% 미만의 편차를 갖는 것도 바람직하다.

[0066] 더 구체적으로, 각 분극 전극(102311)은 팬 형상을 가지고, 비분극 영역이 무시될 때, 원주 방향의 그 길이는 이상적으로 $\lambda/2$ 이다. 실제로, 인접한 영역이 서로 다른 극성을 갖는 분극 상태를 생성할 때, 단락을 방지하기 위하여, 비분극분과 각각의 분극 전극(102311) 사이에 존재한다. 이 경우, 시작점으로서 취해지는 원주 방향으로의 비분극 영역의 중심과 시작 지점으로부터 인접한 분극 전극(102311)을 지나친 후속 비분극 영역의 중심까지의 거리가 $\lambda/2$ 로 설정되는 것이 이상적이다. 그러나, 약 2% 미만의 길이 오차는 허용된다. 초음파 모터의 구동 동안 생성되는 구동력을 향상시키는 견지에서, 비분극 영역의 체적은 가능한 작은 것이 바람직하다. 분극 전극(102311) 사이에 개재된 비분극 영역은 연결 전극(102312)과 접촉하게 된다.

[0067] 원주 방향으로의 각 구동 상 전극(10231)의 길이는 이상적으로 3λ 이다. 실제로, 인접한 비구동 상 전극(10232) 또는 검지 상 전극(10233)에 관한 단락을 방지하기 위해 어떠한 전극도 갖지 않는 간극이 존재하고, 따라서, 길이는 3λ 보다 미소하게 더 작을 수 있다. 실제로, 길이는 예로서 대부분의 경우에 약 1% 내지 약 2.5% 만큼 3λ 보다 더 작도록 설정된다.

[0068] 압전 소자(102) 상의 임의의 위치를 통과하는 원의 원주 방향 길이는 7λ 이고, 따라서, 전극 사이의 간극을 무시하면, 두 개의 구동 상 전극(10231)을 배제한 원주 방향 길이의 나머지는 λ 이다. 이 나머지 영역은 하나 이상의 비구동 상 전극(10232) 및 하나 이상의 검지 상 전극(10233)에 의해 공유된다. 이 경우에, 두 개의 구동 상 전극(10231)은 원주 방향으로 $\lambda/4$ 의 홀수 배수의 거리에 배열될 필요가 있고, 따라서, 두 개의 구동 상 전극(10231)은 $\lambda/4$ 및 $3\lambda/4$ 의 원주 방향 길이를 갖는 두 개의 간극 영역에 의해 원주 방향으로 서로 분리될 필요가 있다. 비구동 상 전극(10232) 및 검지 상 전극(10233)이 두 개의 간극 영역에 배열될 필요가 있다. 이로 인해, 두 개의 구동 상 전극(10231)의 영역, 예로서, 노드의 위치에서 발생하는 정재파의 상은 $\lambda/4$ 만큼 편위되고, 환형 압전 소자(102)는 진동자(1)의 원주 방향으로 굽힘 진동파를 형성할 수 있다. 이는 연결 전극(102312)을 통해 각 분극 전극(102311)에 동시에 전압이 인가될 때, 역 압전 효과로 인해, 교번적으로 배열된 서로 다른 극성을 갖는 분극 영역 중 하나는 두께 방향으로 팽창하고, 나머지는 두께 방향으로 수축한다.

[0069] 구체적으로, 진동자(1)의 고유 진동수로서 기능하는 주파수를 갖는 교번 전압이 본 발명의 초음파 모터의 공통 전극(1022)과 하나의 구동 상(상 A) 전극(10231) 사이에 개재된 영역에만 인가될 때, 파장(λ)을 갖는 정재파가 진동판(101)의 표면 상에서 원주 방향을 따른 전체 원주에 걸쳐 발생된다. 공통 전극(1022)과 다른 구동 상(상 B) 전극(10231) 사이에 개재된 영역에만 교번 전압이 유사하게 인가될 때, 유사한 정재파가 발생된다. 각각의 정재파의 노드의 위치는 진동판(101)의 원주 방향을 따라 $\lambda/4$ 의 편위를 갖는다.

[0070] 초음파 모터가 구동될 때, 진동자(1)의 고유 진동수로서 기능하는 주파수를 갖는 교번 전압이 본 발명의 초음파 모터의 두 개의 구동 상(상 A 및 상 B) 전극(10231)의 영역에 인가되고, 그래서, 주파수는 동일하고 시간적 위상차는 $\pi/2$ 가 된다. 이에 의해, 두 개의 정재파의 합성에 기인하여, 원주 방향으로 전파하는 파장(λ)을 갖는 7차 진행파가 진동판(101)에 발생된다.

[0071] 분극 전극(102311), 비구동 상 전극(10232), 검지 상 전극(10233) 및 연결 전극(102312)은 10 Ω 미만, 바람직

하계는 1 Ω 미만의 저항을 갖는 층상 또는 필름상 전도체로 형성된다. 전극의 저항은 예로서 회로 시험기(전기 시험기)로 저항을 측정하는 것에 의해 평가될 수 있다. 각 전극의 두께는 약 5 nm 내지 약 20 μm이다. 각 전극을 위한 재료에는 어떠한 제한도 없으며, 압전 소자에 일반적으로 사용되는 임의의 재료가 사용될 수 있다.

[0072] 전극을 위한 재료로서, 예로서, Ti, Pt, Ta, Ir, Sr, In, Sn, Au, Al, Fe, Cr, Ni, Pd, Ag 및 Cu와 그 화합물 같은 금속이 주어진다. 전극은 상술한 예 중 하나의 종류 또는 그 둘 이상의 종류의 적층으로 형성될 수 있다. 압전 소자에 배열된 각 전극은 서로 다른 재료로 이루어질 수 있다. 이들 중에서, 본 발명에 사용되는 전극으로서, Ag 페이스트 또는 Ag 소성 전극, Au/Ti 스퍼터 전극 등이 바람직하며, 그 이유는 저항이 낮기 때문이다.

[0073] (진동판의 구성)

[0074] 도 2에 예시된 바와 같이, 이동 부재(2)와 접촉하는 진동판(101)의 제2 표면은 반경방향으로 연장하는, U 형상 단면을 각각 갖는 복수의 홈 영역(1012)을 포함한다. "U 형상 단면"은 본 명세서에서 사용될 때 진동판(101)의 제2 표면에 실질적으로 수직인 양 벽 표면과 그에 실질적으로 수평인 저부 표면을 갖는 단면 형상을 지칭한다. U 형상 단면은 저부 표면과 각 벽 표면이 둥근 방식으로 서로 매끄럽게 연결되는 소위 U 형상 뿐만 아니라, 저부 표면과 각 벽 표면이 서로 직각을 형성하도록 연결되는 소위 직사각형 형상, 그 중간 형상 또는 이들 형상으로부터 미소하게 변형된 형상 같은 "U 형상 단면"으로 간주될 수 있는 소위 U 형상과 유사한 형상도 포함한다. 도 6b 내지 도 6d는 각각 본 발명에 포함되는 U 형상 단면을 갖는 홈 영역의 예시적 단면 형상의 예시이다.

[0075] 진동판(101)의 제2 표면은 반경방향으로 배열되는 복수의 홈 영역(1012)을 포함하고, 따라서, 두 개의 인접한 홈 영역 사이의 영역은 두 개의 홈 영역을 서로 분리하는 벽 영역(1011)을 형성한다. 반경방향으로 연장하는 복수의 홈 영역(1012)은 원주 방향으로 배열되고, 따라서, 그 사이에 형성되는 벽 영역(1011)의 수는 홈 영역(1012)의 수와 동일하다. 벽 영역(1011)의 상부면은 환형 진동판(101)의 제2 표면에 대응하고, 또한, 각 홈 영역(1012)의 깊이를 규정하기 위한 기준 표면으로서 기능한다. 그러나, 벽 영역(1011)은 오목 영역인 홈 영역(1012)에 관하여 볼록 영역으로서 간주될 수 있고, 따라서, 벽 영역은 "돌기 영역"이라고도 지칭될 수 있다. 즉, 이동 부재(2)는 돌기 영역(1011)의 상부 표면에 관한 마찰에 의해 유발되는 구동력에 의해, 이동 부재(2)가 압력 접촉하는 상태로 진동자(1)에 관하여 상대적으로 이동할 수 있다. 이하에서, 설명의 편의를 위해, 홈 영역(1012) 사이의 영역(1011)은 원론적으로 "벽 영역" 대신 "돌기 영역"이라 지칭된다.

[0076] 본 발명의 홈 영역(1012)은 각 홈 영역(1012)에 따라 중심 깊이가 변하는 특징을 갖는다(도 2에서, 중심 깊이는 동일한 중심 깊이로 도시됨). 본 명세서에서 사용될 때 "중심 깊이"는 이동 부재(2)측으로부터 각 홈 영역(1012)을 볼 때 중심 위치에서의 깊이를 지칭한다. 즉, 중심 깊이는 반경 방향 및 원주 방향 양자 모두에서 각 홈 영역의 중심에 대응하는 위치에서 돌기 영역의 상단 표면(진동판(101)의 제2 표면)으로부터 측정된 홈의 깊이를 지칭한다. 일반적으로, 홈 영역(1012)의 저부 표면은 전체적으로 진동판(101)의 제2 표면에 평행하고, 전체적으로 반경 방향(홈이 연장하는 방향)으로 평탄하며, 전체적으로 원주 방향(홈이 배열되는 방향)으로 평탄하거나 중심 부분이 평탄하고 양 측부 부분(벽 표면의 근방)이 융기되는 오목한 표면 형상을 갖는다. 따라서, 중심 깊이는 각 홈 영역의 가장 깊은 부분의 깊이를 의미한다. 그러나, 상술한 바는 각 홈 영역의 저부 표면 형상에 따라 변하며, 따라서, 중심 깊이는 반드시 항상 가장 깊은 부분의 깊이를 지칭하는 것은 아니다. 예로서, 중심 깊이는 깊이의 중간값을 지칭할 수 있다(예로서, 저부 표면이 일 방향으로 경사져 있는 경우). 중심 위치에서의 깊이가 일반적으로 홈 영역의 깊이의 대표값(예로서, 특이점)으로서의 의미를 갖지 않는 값인 경우, 중심 위치에 근접한 다른 지점에서의 깊이인 홈 영역의 깊이를 대표하는 값이 중심 깊이로서 규정된다. 깊이의 측정 위치가 모든 홈 영역에서 고정되어 있고, 각 홈 영역의 저부 표면이 동일한 형상을 갖는 경우, 중심 깊이의 의미는 전체 홈 영역에서 동일하다.

[0077] 돌기 영역(1011) 및 홈 영역(1012)은 환형 진동판(101)의 원주 방향을 따라 교번적으로 배열되고, 상술한 바와 같이, 돌기 영역(1011)의 수는 홈 영역(1012)의 수와 동일하다. 돌기 영역(1011) 또는 홈 영역(1012)의 수(X)는 진동판(101)의 외경(2R)에 실질적으로 비례하도록, 즉, $2R/0.85-5 \leq X \leq 2R/0.85+15$ 의 관계를 충족하도록 결정된다. 여기서, 2R의 단위는 mm이고, X의 단위는 부분(개수)이다. X는 자연수이다. X 및 2R이 상술한 관계를 충족할 때, 본 발명의 초음파 모터는 진동자(1)와 이동 부재(2) 사이에 적절한 마찰력을 가지면서 충분한 구동력을 전달할 수 있다.

[0078] 도 5는 진동판(101)의 외경(2R)(단위: mm)과 진동판(101)의 홈 영역(1012)(또는 돌기 영역(1011))의 수 사이의 관계를 보여주는 그래프이다. 도 5의 선분을 포함하는 착색된 영역이 본 발명의 범주 내에 든다. 외경(2R)에 상한을 제공하는 것은 특히 필수적이지는 않지만, 외경(2R)이 90 mm를 초과하는 범위에 대한 설명은 나타나 있지 않다. 한편, 진동판(101)의 외경(2R)은 57 mm 이상으로 설정되고, 따라서, 홈 영역(1012)의 개수(X)의 최소

값은 63이다. 외경(2R)의 상한이 90 mm인 경우, 개수(X)의 최대값은 120이다. 다른 예로서, 외경(2R)의 상한이 80 mm인 경우, 개수(X)의 최대값은 109이다.

[0079] 홈 영역(1012)의 개수(X)가 $2R/0.85-5$ 보다 작은 자연수인 경우, 이동 부재(2)와 접촉하는 돌기 영역(1011)의 변형은 불충분해지고, 진동자(1)에 의해 발생하는 구동력이 감소한다. 한편, 개수(X)가 $2R/0.85+15$ 보다 큰 자연수인 경우, 하나의 돌기 영역(1011)을 위한 이동 부재(2)와의 접촉 영역이 감소한다. 따라서, 이동 부재(2)측상의 요소로서 중량체가 사용되거나, 큰 부하(토크)가 이동 부재(2)에 인가될 때, 이동 부재(2)와 돌기 영역(1011) 사이의 마찰력이 불충분해지며, 구동력이 충분히 전달되지 않아 결과적으로 미끄럼이 발생할 수 있다. 모터 구동 동안 힘의 발생 및 미끄럼의 방지의 견지에서, 개수(X)의 범위는 $70 \leq X \leq 110$ 인 것이 더욱 바람직하다.

[0080] 도 6a 내지 도 6d는 각각 본 발명의 진동자(1) 또는 본 발명의 초음파 모터에 사용되는 환형 진동판(101)의 홈 영역(1012)과 돌기 영역(1011)의 원주 방향에서의 길이(단위: mm)를 측정하는 방법을 예시하는 개략도이다. 돌기 영역(1011)과 홈 영역(1012) 사이의 경계선이 정확하게 반경 방향으로 연장하는 경우(즉, 홈 영역(1012)이 팬 형상으로 형성되는 경우), 원주 방향으로의 그 길이의 비율은 진동판(101)의 표면 상의 어느 위치에서 원주가 취해질 경우에도 동일하다. 그러나, 일반적으로, 홈 영역(1012)은 팬 형상을 갖지 않으며, 홈의 중심선이 반경 방향으로 연장하고 양 벽 표면이 중심선에 평행하게 연장하는 형상(이동 부재(2)측에서 볼 때 직사각형 형상)으로 형성된다. 따라서, 엄밀한 개념에서, 원주 방향으로의 홈 영역(1012)과 돌기 영역(1011)의 길이의 비율은 원주가 취해지는 위치(가상 원의 반경)에 따라 미소하게 변한다. 이러한 경우에, 원주는 진동판(101)의 외경측에서 취해지고, 가상 원의 반경은 R로 설정된다.

[0081] 본 발명에서, 외경측에서의 원주 방향으로의 돌기 영역(1011)의 길이의 평균값(L_{top})과, 외경측에서의 원주 방향으로의 홈 영역(1012)의 길이의 평균값(L_{btm}) 사이의 비율(원주 방향으로의 돌기 영역(1011)의 전체 길이와 홈 영역(1012)의 전체 길이 사이의 비율에도 동일하게 적용됨)은 $1.45 \leq L_{top}/L_{btm} \leq 1.85$ 이다. 평균값(L_{top} 및 L_{btm})이 상술한 관계를 충족할 때, 본 발명의 초음파 모터는 진동자(1)와 이동 부재(2) 사이의 적절한 마찰을 가지면서 진동자(1)에서 발생한 구동력을 충분히 전달할 수 있다.

[0082] 도 6a는 이동 부재(2)와 접촉하는 표면(제2 표면)측으로부터 볼 때의 진동판(101)의 개략적 부분 평면도이다. X개 부분의 돌기 영역(1011-1 내지 1011-X)으로부터 하나의 임의의 돌기 영역이 선택되는 것을 상정한다. 외경측에서의 원주 방향으로의 선택된 돌기 영역(1011-1)의 길이(원호)는 L_{top1} 로 표현된다. 외경측에서의 원주 방향으로의 다른 돌기 영역(1011-2 내지 1011-X)의 길이는 유사하게 결정되며, X개 부분에서의 길이(L_{top1} 내지 L_{topX})의 평균은 평균값(L_{top})이 되도록 결정된다. 평균이 취해지고, 따라서, 외경측에서의 원주 방향으로의 돌기 영역(1011-1 내지 1011-X)의 길이는 서로 같거나 다를 수 있다.

[0083] 유사하게, 하나의 임의의 홈이 X개 부분의 홈 영역(1012-1 내지 1012-X)으로부터 선택된다. 외경측 상에서의 원주 방향으로의 선택된 홈 영역(1012-1)의 길이(원호)는 L_{btm1} 로 표현된다. 외경측에서의 원주 방향으로의 다른 홈 영역(1012-2 내지 1012-X)의 길이는 유사하게 결정되며, X개 부분에서의 길이(L_{btm1} 내지 L_{btmX})의 평균은 평균값(L_{btm})이 되도록 결정된다. 평균이 취해지고, 따라서, 외경측에서의 원주 방향으로의 홈 영역(1012-1 내지 1012-X)의 길이는 서로 같거나 다를 수 있다.

[0084] 도 6b 내지 도 6d는 각각 환형 링의 외경측으로부터 볼 때(반경 방향으로 환형 링으로부터 떨어진 위치) 임의의 홈 영역(1012-1)과 임의의 돌기 영역(1011-1)을 포함하는 진동판(101)의 일부의 개략적 전개 도면이다. 돌기 영역(1011-1) 및 홈 영역(1012-1)이 도 6b에 도시된 바와 같이 직사각형 형상 또는 실질적 직사각형 형상으로 형성될 때, 돌기 영역의 천정측(외경측의 상단 표면)의 폭은 길이 L_{top1} 로 설정될 필요가 있고, 홈의 저부측(외경측의 저부 표면)의 폭은 길이 L_{btm1} 로 설정될 필요가 있다. 돌기 영역(1011-1)과 홈 영역(1012-1)에 공통적인 벽 표면은 진동판(101)의 제1 표면에 수직이지만, 돌기 영역(1011-1)의 상단면 또는 홈 영역(1012-1)의 저부면은 도 6c에 도시된 바와 같이 평탄하지 않은 경우, 길이(L_{top1} 및 L_{btm1})는 벽 표면들 사이의 거리에 기초하여 결정될 수 있다. 돌기 영역(1011-1)과 홈 영역(1012-1)에 의해 형성된 벽 표면이 도 6d에 예시된 바와 같이 진동판(101)의 제1 표면에 수직이 아닐 때, 진동판(101)의 제1 표면에 대해 수직인 선이 홈 영역(1012-1)의 저부면과 돌기 영역(1011-1)의 상단면 사이의 중간 위치에서 상정되고, 길이(L_{top1} 및 L_{btm1})는 인접한 수직선 사이의

거리에 기초하여 측정될 수 있다.

[0085] 원주 방향(외경측)으로의 돌기 영역(1011)과 홈 영역(1012)의 길이의 비율(L_{top}/L_{btm})이 1.45 미만인 경우, 이동 부재(2)에 관한 X개 부분에서의 돌기 영역(1011)의 접촉 면적이 감소한다. 따라서, 이동 부재(2)측 상의 요소로서 중량체가 사용되거나, 큰 부하(토크)가 이동 부재(2)에 인가될 때, 이동 부재(2)와 돌기 영역(1011) 사이의 마찰력이 불충분해지며, 구동력이 효율적으로 전달되지 않아 결과적으로 미끄럼이 발생할 수 있다. 한편, 비율(L_{top}/L_{btm})이 1.85보다 클때, 이동 부재(2)와 접촉하게 되는 돌기 영역(1011)의 변형이 불충분해지고, 결과적으로, 진동자(1)에 의해 발생하는 구동력이 감소한다. 비율(L_{top}/L_{btm})은 $1.50 \leq L_{top}/L_{btm} \leq 1.85$ 인 것이 더욱 바람직하다.

[0086] 도 6b 내지 도 6d 중 임의의 경우에, 그리고, 이들 도면에 도시되지 않은 경우를 추가로 포함하여, 이동 부재(2)와의 접촉을 증가시키는 견지에서, 개시 지점으로서 기능하는 진동판(101)의 제1 표면으로부터 돌기 영역(1011-1 내지 1011-X)의 최대 지점까지의 거리가 처리 치수의 공차 범위 이내에서 서로 같은 것이 바람직하다.

[0087] X개 부분의 홈 영역(1012)의 중심 깊이는 진동판(101)의 원주 방향의 순서로 D_1 내지 D_X (단위: mm)로 각각 표현된다. 본 발명에서, 중심 깊이(D_1 내지 D_X)는 다섯 종류 이상의 서로 다른 값을 취하고, 하나 이상의 정현파를 서로 중첩시킴으로써 얻어진 곡선을 추종하도록 변한다.

[0088] 예로서, 본 발명에서 의도하는 환형 링을 따른 7차 진행파에 관하여 불필요 진동파로서 기능하는 4차, 5차, 6차 및 8차(환형 링을 따른 파수가 4, 5, 6 및 8) 진행파를 억제하는 경우에, 중심 깊이(D_1 내지 D_X)가 하나 이상의, 그리고, 네 개 미만의 정현파를 서로 중첩시킴으로써 얻어진 곡선을 따라 변하는 것만이 요구된다. 이 경우에 정현파를 서로 중첩시킴으로써 얻어진 곡선의 일반식은 다음 수학식 (1)로 표현된다.

$$D = D_{ave} + Am_4 \times \sin(4 \times 2 \times \omega + \theta_4) + Am_5 \times \sin(5 \times 2 \times \omega + \theta_5) + Am_6 \times \sin(6 \times 2 \times \omega + \theta_6) + Am_8 \times \sin(8 \times 2 \times \omega + \theta_8)$$

[0089] 수학식 1

[0090] 수학식 (1)에서, ω 는 반경방향으로 연장하는 환형 진동판(101)의 홈의 중심 선 위치를 나타내는 각도를 나타낸다. θ 는 위상차를 나타내는 각도이고, 본 실시예에서 추후 설명될 조건을 충족하기 위해 적절히 결정된다. D (단위: mm)는 환형 진동판(101)의 임의의 홈의 중심 위치에서의 이상적 홈의 깊이를 나타내며, 중심 깊이(D_1 내지 D_X)는 $D \pm 0.1$ mm으로 설정된다. 중심 깊이(D_1 내지 D_X)의 크기 관계는 수학식 (1)에 의해 계산된 D 와 맞춰진다. D_{ave} (단위: mm)는 중심 깊이(D_1 내지 D_X)의 평균 값으로서 별개로 설정되는 홈 영역(1012)의 표준 깊이를 나타낸다.

[0091] Am (단위: mm)은 홈 영역(1012)의 중심 깊이의 변화를 나타내는 곡선에서 서로 중첩되는 각 정현파의 진폭이 되는 실수이고, 첨자는 감소가 의도되는 불필요 진동파의 차수(파수)를 나타낸다. Am_4 , Am_5 , Am_6 및 Am_8 중에서, 적어도 하나가 0이 아닌 값을 갖는다. 0이 아닌 진폭을 갖는 정현파의 수는 서로 중첩되는 정현파의 수이다. 서로 중첩되는 정현파의 수가 1 이상이라면, 그 상한에는 특정한 제한은 없다. 그러나, 5개 이상의 정현파가 서로 중첩되는 경우에도, 불필요 진동파를 감소시키는 효과는 실질적으로 개선되지 않으며, 모터 구동의 효율이 열화될 위험이 있다. 따라서, 서로 중첩되는 정현파의 수는 1 이상 및 4 이하인 것이 바람직하다. 서로 중첩되는 정현파의 더욱 바람직한 수는 2 이상 및 4 이하이다.

[0092] 도 7a 내지 도 7f는 각각 본 발명의 일 실시형태에 따른 초음파 모터의 진동판(101)의 홈 영역(1012)의 중심 깊이의 변화 상태를 개략적으로 보여주기 위한 그래프이다. 도 7a, 도 7c 및 도 7e는 각각 X가 90인 것으로 상정할 때, 각 홈 영역(1012)의 표준 깊이(D_{ave})와 중심 깊이 사이의 차이를 보여주기 위한 예이다. 각 플롯의 수평 축은 90 홈 영역(1012)(이하에서 "홈 번호"라 지칭됨)의 번호를 나타낸다. 0번 홈 영역은 원래 존재하지 않지만, 90번 홈 영역의 깊이를 2회 나타내도록 플롯 상에 편의상 사용된다. 도 7a 및 도 7c의 각 홈 영역(1012)의 깊이의 플롯은 양 경우 모두 서로 두 개의 정현파를 중첩시킴으로써 얻어진 곡선을 따른다. 도 7e의 각 홈 영역(1012)의 깊이의 플롯은 서로 네 개의 정현파를 중첩시킴으로써 얻어진 곡선을 따른다.

[0093] 도 7b는 도 7a에 도시된 각 홈 영역(1012)의 중심 깊이가 1.85 mm의 표준 깊이(D_{ave})인 진동판(101)에 적용되는 경우에 홈 영역(1012)과 돌기 영역(1011)의 높이 및 깊이의 관계를 그래프 플롯으로서 개략적으로 보여주기 위한 그래프이며, 도 7f는 도 7e에 도시된 각 홈 영역(1012)의 중심 깊이가 1.85 mm의 표준 깊이(D_{ave})인, 진동판

(101)에 적용된 경우 홈 영역(1012) 및 돌기 영역(1011)의 높이 및 깊이의 관계를 그래프 플롯으로서 개략적으로 보여주기 위한 그래프이다. 도 7d는 진동판(101)에 적용되는 경우에 홈 영역(1012)과 돌기 영역(1011)의 높이 및 깊이의 관계를 그래프 플롯으로서 개략적으로 보여주기 위한 그래프이며, 도 7c에 도시된 각 홈 영역(1012)의 중심 깊이는 1.65 mm의 표준 깊이(D_{ave})이다. 이러한 예에서, 진동판(101)의 제1 표면이 개시 지점인 상태에서 각 돌기 영역(1011)의 높이는 서로 동일하다. 각 플롯의 수평 축은 환형 링의 중심으로부터 볼 때의 각도로 90 홈 영역(1012)의 위치(연장 방향)를 나타낸다. 수평 축 상의 값은 상대값이지만, 도 7b에서, 도 7a의 89번 홈 영역의 단부 부분이 개시 지점으로 설정된다. 도 7d에서, 도 7c의 89번 홈 영역의 단부 부분이 개시 지점으로 설정되고, 도 7f에서, 도 7e의 89번 홈 영역의 단부 부분이 개시 지점으로 설정된다.

[0094] 도 7a 내지 도 7f에 도시된 바와 같이 홈 깊이를 설정함으로써, 선택된 불필요 진동파(4차, 5차, 6차 및 8차)의 진행파의 발생이 7차 진행파에 관하여 실질적으로 억제된다. 예로서, 4차 불필요 진동파만을 보면, 홈 영역(1012)의 중심 깊이는 수학적 (1)의 두 번째 항에 의해서도 표현되는 바와 같이 원주에 관하여 등간격($\pi/4$ 의 각도)으로 8 부분에서 국소 최대치 영역(깊은 영역)을 갖고, 8 부분에서 국소 최소치 영역(얕은 영역)을 가진다. 두 개의 구동 상 전극 영역에서 발생하는 각 정재파의 안티노드의 위치도 $\pi/4$ 의 각도로 편위된다. 따라서, 하나의 정재파는 낮은 탄성 계수를 갖는 부분에서 진동하고, 따라서, 공진 주파수는 낮은 주파수 측으로 편위된다. 다른 정재파는 높은 탄성 계수를 갖는 부분에서 진동하고, 따라서, 공진 주파수는 높은 주파수 측으로 편위된다. 정재파의 공진 주파수는 분리되고, 결과적으로, 4차 진행파(불필요 진동파)가 발생되지 않는다. 동일한 억제 메커니즘이 다른 차수의 불필요 진동파에 적용된다.

[0095] 초음파 모터의 진동판(101)의 X개 부분의 홈 영역(1012)의 중심 깊이가 하나 이상의 정현파를 서로 중첩하는 것에 의해 얻어진 곡선을 따라 변하는 것을 확인하는 방법으로서, 이하의 방법이 주어질 수 있다. 먼저, 외경축의 진동판(101)의 원주 방향 길이에 관한 각 홈의 중심 부분의 깊이 및 좌표가 실제 측정된다. 홈 영역의 좌표는 수평 축 상에서 취해지고, 실제 측정된 깊이는 수직 축 상에 취해진다. 플롯이 보완되고, 홈 깊이가 모든 좌표에 존재하는 곡선이 상정된다. 이 곡선은 정현파의 수 및 존재를 판정하기 위해 푸리에 변환을 받는다.

[0096] X개 부분에서의 홈 영역(1012)의 중심 깊이는 국소 최대치에 도달하는 홈 영역의 수 및 국소 최소치에 도달하는 홈 영역의 수가 각각 12개 이상에 도달하도록 변한다. 중심 깊이의 국소 최대치는 특정 홈 영역의 중심 깊이가 양 측부의 특정 홈 영역에 인접한 홈 영역의 어떠한 중심 깊이보다도 더 크다는 것을 나타낸다. 중심 깊이의 국소 최소치는 특정 홈 영역의 중심 깊이가 양 측부의 특정 홈 영역에 인접한 홈 영역의 어떠한 중심 깊이보다도 더 작다는 것을 나타낸다.

[0097] 본 발명의 초음파 모터 및 진동자(1)는 이동 부재(2)의 구동원으로서 7차 굽힘 진동파를 사용한다. 현저한 부정적 영향을 갖는 불필요 진동파는 7차 굽힘 진동파의 것과 근사한 공진 주파수를 갖는 6차 및 8차 진동파이다. 수학적 (1)의 네 번째 항에 나타난 바와 같이, 특히 큰 영향을 갖는 6차 불필요 진동파는 홈 영역(1012)에 12개 국소 최대치 영역(깊은 영역) 및 12개 국소 최소치 영역(얕은 영역)을 배열하는 것에 의해 효과적으로 억제될 수 있다.

[0098] 국소 최대치에 도달하는 홈 영역(1012)의 수는 국소 최소치에 도달하는 홈 영역(1012)의 수와 일치되는 것이 바람직하다. 국소 최대치에 도달하는 홈 영역(1012)의 수 및 국소 최소치에 도달하는 홈 영역(1012)의 수는 각각 16 이하인 것이 바람직하다. 8차 불필요 진동파를 억제하기 위한 시도가 이루어지는 경우, 국소 최대치에 도달하는 홈 영역(1012)의 수 및 국소 최소치에 도달하는 홈 영역(1012)의 수는 각각 16이될 수 있다. 그러나, 이 수가 17 이상이 되면, 본 발명의 초음파 모터 및 진동자(1)에 의해 발생하는 구동력이 극도로 감소될 수 있는 위험이 있다. 국소 최대치에 도달하는 홈 영역(1012)의 수는 12 내지 16인 것이 더욱 바람직하다. 이런 구성에서, 불필요 진동파는 추가로 효과적으로 억제될 수 있다.

[0099] X개 부분의 홈 영역(1012)에서, 중심 깊이가 국소 최대치에 도달하는 홈 영역 및 중심 깊이가 국소 최소치에 도달하는 홈 영역은 서로 인접하지 않고 하나 이상의 홈 영역을 사이에 두고 있도록 배열된다. 이러한 구성에서, 본 발명의 초음파 모터 및 진동자(1)가 구동될 때의 이동 부재(2)의 회전 동작이 더욱 안정화되게 된다.

[0100] 본 발명의 초음파 모터 및 진동자(1)가 구동될 때, 각 돌기 영역(1011)의 천정 표면에서 타원 운동이 발생하여 이동 부재(2)의 회전을 위한 동력으로서 기능한다. 타원 운동의 타원 비율은 홈 영역의 중심 깊이에 의존한다. 따라서, 중심 깊이가 작을 때, 타원 비율은 더 커지고, 중심 깊이가 클 때, 타원 비율은 더 작아진다. 타원 비율은 중심 깊이가 국소 최대치에 도달하는 홈 영역과 중심 깊이가 국소 최소치에 도달하는 홈 영역 사이에서 크게 다르다. 따라서, 이들 홈 영역이 서로 인접하는 경우, 이동 부재(2)의 회전 동작은 더 매끄러워 지지 않는다

며, 회전 동작의 거동은 회전 방향에 의존하여 변한다.

- [0101] 국소 최대에 도달하는 X개 부분에서의 홈 영역(1012)에 대하여, 가장 큰 중심 깊이를 갖는 홈 영역과 두 번째로 가장 큰 중심 깊이를 갖는 홈 영역 사이에 위치한 홈 영역의 수(I)는 관계: $I \geq X/18$ 를 충족하는 것이 바람직하다. 이런 구성에서, 타원 비율이 더 균일해지고, 결과적으로, 회전 동작이 더욱 더 안정화된다.
- [0102] 진동판(101)의 최대 두께는 T_{dia} (단위: mm)에 의해 표현된다. 진동판(101)의 최대 두께로서는 돌기 영역(1011)의 천정 표면과 진동판(101)의 제1 표면 사이의 거리가 일반적으로 채택된다. 진동판(101)의 두께가 위치에 따라 변하는 경우, 최대값은 기본적으로 진동판(101)의 최대 두께로서 규정된다.
- [0103] 최대 두께(T_{dia})는 4 mm 이상 및 6 mm 이하인 것이 바람직하다. 최대 두께(T_{dia})가 4 mm 미만이면, 진동자(1)로서의 탄성 변형(왜곡)의 중립 표면이 압전 세라믹 편(1021)쪽으로 편위되고, 따라서, 모터 구동 효율이 열화된다. 압전 세라믹 편(1021)이 중립 표면을 진동판(101)측으로 복귀시킬 목적으로 두께가 감소되는 경우, 변형 동안의 응력이 두께의 역수 제공에 비례하여 증가하고, 따라서, 압전 세라믹 편(1021)이 균열되기 쉽다. 또한, 진동자(1)의 발생력이 감소한다. 한편, 최대 두께(T_{dia})가 6 mm보다 클때, 진동판(101)의 구동 동안 변형량은 더 작아지며, 모터의 회전 속도가 감소한다. 진동판(101)의 구동 동안 변형량을 보상하기 위한 목적으로 압전 세라믹 편(1021)의 두께를 증가시키면, 모터의 구동 전압이 과도하게 증가한다.
- [0104] 중심 깊이(D_1 내지 D_X)에 대하여, 최대값(최대 중심 깊이를 갖는 홈)과 최소값(최소 중심 깊이를 갖는 홈) 사이의 차이는 진동판(101)의 최대 두께(T_{dia})에 관하여 5% 이상 25% 이하인 것이 바람직하다. 진동판(101)의 두께에 관한 상술한 범위 이내로 중심 깊이(D_1 내지 D_X)의 변화 폭(최대값과 최소값 사이의 차이)을 설정함으로써, 불필요 진동과의 억제 및 모터 구동의 효율이 달성될 수 있다. 중심 깊이(D_1 내지 D_X)의 최대값과 최소값 사이의 차이가 최대 두께(T_{dia})에 관하여 5% 미만이면, 불필요 진동과의 충분히 억제되지 않을 수 있는 위험이 있다. 한편, 중심 깊이(D_1 내지 D_X)의 최대값과 최소값 사이의 차이가 최대 두께(T_{dia})에 관하여 25%를 초과하면, 각 돌기 영역(1011)을 위한 이동 부재(2)로의 진동의 전달 효율이 변하고, 따라서, 모터의 구동 효율이 감소할 수 있는 위험이 있다.
- [0105] 도 7a 내지 도 7f는 각각 중심 깊이(D_1 내지 D_X)의 최대값과 최소값 사이의 차이가 최대 두께(T_{dia})에 관하여 5% 이상 25% 이하이도록 중심 깊이가 설계된 예이며, 최대 두께(T_{dia})는 4 mm 이상, 그리고, 6 mm 이하로 설정된다.
- [0106] 중심 깊이(D_1 내지 D_X)의 표준 깊이(D_{ave})는 진동판(101)의 최대 두께(T_{dia})에 관하여 25% 이상 50% 이하인 것이 바람직하다. 진동판(101)의 최대 두께(T_{dia})에 관한 상술한 범위 이내로 표준 깊이(D_{ave})를 설정함으로써, 회전 속도 및 모터 구동의 효율이 달성될 수 있다. 표준 깊이(D_{ave})가 최대 두께(T_{dia})에 관하여 25% 미만이면, 진동판(101)의 구동 동안 변형량이 감소하며, 모터의 회전 속도가 감소할 수 있는 위험이 있다. 한편, 표준 깊이(D_{ave})가 최대 두께(T_{dia})에 관하여 50%를 초과하면, 모터 구동 효율이 감소할 수 있는 위험이 있다.
- [0107] 중심 깊이가 국소 최대에 도달하는 홈 영역에 대하여, 중심 깊이가 표준 깊이(D_{ave})의 1.15배 이상 1.30배 이하인 8개 이상의 홈 영역이 존재하는 것이 바람직하다. 이런 구성에서, 모터의 구동 효율이 추가로 개선된다.
- [0108] 홈 영역(1012)의 수(X)가 짝수이면, 중심 깊이(D_1 내지 D_X)에 대하여, 앞의 절반의 깊이 변화(D_1 내지 $D_{X/2}$)가 뒤의 절반($D_{X/2+1}$ 내지 D_X)의 깊이 변화와 일치하는 것이 바람직하다. 개시 지점으로서 기능하는 홈 영역(1012)은 임의적으로 선택될 수 있다. 따라서, X가 예로서 90과 같은 경우, 임의의 n에 관하여 관계: $D_n = D_{n+45}$ (n은 1 내지 45의 자연수)가 유지되는 것이 바람직하다. 이런 구성에서, 불필요 진동과의 억제가 더욱 향상되고, 이동 부재(2)의 회전 운동의 대칭 특성이 더욱 만족스러워진다.
- [0109] X개 부분의 홈 영역(1012)에 대하여, 검지 상 전극(10233)에 가장 근접한 홈 영역(1012)의 중심 깊이는 D_{sen} 로 표현된다. 용어 "sen"은, 여기서 1 이상이고, X 이하인 자연수에 관련한다. 검지 상 전극(10233)에 가장 근접한 홈 영역(1012)은 검지 상 전극(10233)의 중심 부분을 기준 지점으로 하여 결정된다. 검지 상 전극(10233)에 가장 근접한 홈 영역(1012)에 인접한 두 개의 홈 영역(1012)의 중심 깊이는 D_{sen-1} 및 D_{sen+1} 로 표현된다. 이 경우에, $|D_{sen+1} - D_{sen-1}| / D_{sen}$ 이 5% 이하인 것이 바람직하다. $|D_{sen+1} - D_{sen-1}| / D_{sen} \leq 2\%$ 이 더욱 바람직하다. 세 개의 홈

영역의 중심 깊이의 관계가 상술한 범위 이내로 설정되면, 중심으로서 검지 상 전극(10233)을 갖는 양 인접한 홈 영역(1012)의 중심 깊이가 서로 더 근접해진다. 결과적으로, 초음파 모터의 구동 동안 검지 상 전극(10233) 부근의 진동자(1)의 진폭은 구동이 시계방향 구동이든 반시계방향 구동이든 무관하게 실질적으로 동일해지며, 따라서, 구동 회로에 의한 초음파 모터의 구동 제어가 용이해진다.

[0110] (진동판의 재료)

[0111] 압전 소자(102)와 함께 굽힘 진동의 진행과를 형성하고, 진동을 이동 부재(2)에 전달할 목적으로 진동판(101)이 탄성체로 형성되는 것이 바람직하다. 진동판(101)은 탄성체의 가공성 및 특성의 견지에서 금속으로 이루어지는 것이 바람직하다. 진동판(101)으로서 사용될 수 있는 금속으로서, 알루미늄, 황동, Fe-Ni 36% 합금 및 스테인레스 강이 주어질 수 있다. 이들 중에서, 본 발명에서 스테인레스 강이 사용되는 것이 바람직하며, 그 이유는 스테인레스 강이 100 GPa 이상 135 GPa 이하인 실온에서의 영률을 갖는 압전 세라믹 편(1021)과 조합하여 높은 회전 속도를 제공할 수 있기 때문이다. 여기서 사용되는 스테인레스 강은 50 질량% 이상의 강과 10.5 질량% 이상의 크롬을 함유하는 합금을 지칭한다. 스테인레스 강 중에서, 마르텐사이트 스테인레스 강이 바람직하고, SUS420J2가 진동판(101)을 위한 재료로서 가장 바람직하다.

[0112] 7차 굽힘 진동과를 사용한 초음파 모터가 예로서 상술되었지만, 본 발명은 또한 다른 차수의 굽힘 진동과를 사용한 경우에도 적용될 수 있다. 예로서, 6차 불필요 진동과 이외의 불필요 진동과가 6차 굽힘 진동과를 사용하는 초음파 모터에서 억제될 수 있다. 유사하게, 본 발명은 8차 굽힘 진동과 및 11차 굽힘 진동과 같은 임의의 굽힘 진동과를 사용한 초음파 모터에 적용될 수 있다.

[0113] (압전 세라믹의 조성)

[0114] 납의 함량이 1,000 ppm 미만이고(즉, 무연), 실온에서의 영률이 100 GPa 이상 135 GPa 이하이면, 압전 세라믹 편(1021)의 조성에 대해서는 어떠한 특정한 제한도 없다. 예로서, 티탄산 바륨, 티탄산 바륨 칼슘, 티탄산 지르콘산 바륨 칼슘, 티탄산 비스무트 나트륨, 니오브산 칼륨 나트륨, 니오브산 티탄산 나트륨 바륨 및 비스무트 페라이트를 함유하는 조성을 갖는 압전 세라믹 및 주 성분으로서 이들 조성을 함유하는 압전 세라믹이 본 발명의 초음파 모터 및 진동자(1)에 사용될 수 있다.

[0115] 물론, 압전 세라믹 편(1021)은 이하의 일반식 (1)로 표현되는 페로브스카이트형 금속 산화물을 함유하는 것이 바람직하다.

[0116] $Ba_{1-x}Ca_x)_a(Ti_{1-y}Zr_y)O_3(1)$

[0117] 여기서:

[0118] $0.986 \leq \alpha \leq 1.100$;

[0119] $0.02 \leq x \leq 0.30$; 및

[0120] $0.020 \leq y \leq 0.095$ 이고,

[0121] 압전 세라믹 편에 함유된 주 성분 이외의 금속 성분의 함량은 페로브스카이트형 금속 산화물의 100 중량부에 관하여 금속 환산으로 1.25 중량부 이하인 것이 바람직하다.

[0122] 금속 산화물은 Mn을 함유하고, Mn의 함량은 금속 산화물의 100 중량부에 관하여 금속 환산으로 0.02 중량부 이상 0.40 중량부 이하인 것이 특히 바람직하다.

[0123] 상술한 일반식 (1)로 표현되는 금속 산화물에서 A-사이트에 위치되는 금속 원소는 Ba 및 Ca이고, B-사이트에 위치되는 금속 원소는 Ti 및 Zr이다. Ba 및 Ca의 일부는 B-사이트에 위치될 수 있다. 유사하게, Ti 및 Zr의 일부가 A-사이트에 위치될 수 있다.

[0124] 일반식 (1)에서, B-사이트에 위치된 원소와 원소(O) 사이의 몰비는 1:3으로 표현된다. 그러나, 몰비가 미소하게 편이되는 경우에도, 금속 산화물이 주 상으로서 페로브스카이트 구조를 갖는 한, 이런 금속 산화물은 본 발명의 범주 내에 포함된다.

[0125] 예로서, X-선 회절 또는 전자 비임 회절을 사용한 구조 분석에 의해, 금속 산화물이 페로브스카이트 구조를 갖는다는 것이 결정될 수 있다.

[0126] 주 성분으로서 일반식 (1)로 표현되는 페로브스카이트형 금속 산화물을 함유하는 압전 세라믹 편(1021)의 실온

(예를 들어, 20° C)에서의 영률은 약 100 GPa 내지 약 135 GPa의 범위 이내에 든다.

- [0127] 일반식 (1)에서, A-사이트의 Ca의 몰비를 나타내는 "x"는 $0.02 \leq x \leq 0.30$ 의 범위 내에 든다. 페로브스카이트형 티탄산 바륨의 Ba의 일부가 상술한 범위 이내에서 Ca로 치환될 때, 사방정 결정계 및 정방정 결정계의 상 전이 온도는 저온측으로 편이되고, 따라서, 안정적인 압전 진동이 초음파 모터 및 진동자(1)의 구동 온도 범위 내에서 달성될 수 있다. 그러나, "x"가 0.30보다 크면, 압전 세라믹 편(1021)의 압전 상수가 불충분하고, 따라서, 초음파 모터의 회전 속도가 불충분해질 수 있다. 한편, "x"가 0.02 미만이면, 유전성 손실($\tan \delta$)이 증가할 수 있는 위험이 있다. 유전성 손실이 증가하는 경우, 압전 소자(102)가 전압의 인가를 통해 모터 구동을 받게 될 때 발생하는 발열이 증가하고, 모터 구동 효율이 감소할 수 있는 위험이 있다.
- [0128] 일반식 (1)에서, B-사이트의 Zr의 몰비를 나타내는 "y"는 $0.020 \leq y \leq 0.095$ 의 범위 이내에 든다. "y"가 0.020보다 작으면, 압전 세라믹 편(1021)의 압전 상수가 불충분하고, 따라서, 초음파 모터의 회전 속도가 불충분해질 위험이 있다. 한편, "y"가 0.095를 초과하면, 압전성의 천정 온도인 탈분극 온도(T_d)가 80° C 미만이 되고, 따라서, 압전 세라믹 편(1021)의 압전 특성이 고온에서 소실될 수 있는 위험이 있다.
- [0129] 본 명세서에서 사용되는 탈분극 온도(때때로, " T_d "라 지칭됨)는 분극 처리로부터 충분한 시간 기간의 경과 이후 온도가 실온으로부터 온도 T_d (° C)로 상승되고 실온으로 다시 하강될 때 온도 상승 이전의 압전 상수에 비해 압전 상수가 감소하는 온도를 지칭한다. 여기서, 압전 상수가 온도 상승 이전의 압전 상수의 90% 미만이 되는 온도를 탈분극 온도(T_d)라 지칭한다.
- [0130] 일반식 (1)에서, A-사이트의 Ba와 Ca의 몰량과 B-사이트의 Ti와 Zr의 몰량 사이의 비율을 나타내는 " α "는 $0.986 \leq \alpha \leq 1.100$ 의 범위 이내에 드는 것이 바람직하다. " α "가 0.986보다 작을 때, 압전 세라믹 편(1021)을 형성하는 결정 입자에서 비정상 입자 성장이 발생하기 쉽고, 압전 세라믹 편(1021)의 기계적 강도가 열화된다. 한편, " α "가 1.100보다 크면, 압전 세라믹 편(1021)의 입자 성장에 요구되는 온도가 너무 높아져서, 결과적으로, 일반적 소성 노에서 소결이 수행될 수 없다. 여기서, "소결이 수행될 수 없다"는 것은 밀도가 충분한 값이 될 수 없고 다량의 공극 및 결함이 압전 세라믹 편(1021) 내에 존재하는 상태를 지칭한다.
- [0131] 압전 세라믹 편(1021)의 조성을 측정하는 방법에는 어떠한 특정한 제한도 없다. 조성을 측정하는 방법으로서, 형광 X선 분석, ICP 발광 분광 분석 및 원자 흡광 분석이 주어진다. 임의의 측정 방법에서, 압전 세라믹 편(1021)에 포함된 각 원소의 중량 비율 및 조성 비율이 계산될 수 있다.
- [0132] 압전 세라믹 편(1021)은 주 성분으로서 상술한 일반식 (1)에 의해 표현되는 페로브스카이트형 금속 산화물을 포함하고, 금속 산화물은 Mn을 함유하고, Mn의 함량은 금속 산화물의 100 중량부에 관하여 금속 환산으로 0.02 중량부 이상 0.40 중량부 이하인 것이 바람직하다.
- [0133] 금속 산화물이 상술한 범위 이내로 Mn을 함유할 때, 절연 특성 및 기계적 품질 계수(Q_m)가 개선된다. 여기서, 기계적 품질 계수(Q_m)는 압전 소자가 진동자로서 평가될 때 진동에 의해 유발되는 탄성 손실을 나타내는 계수를 지칭하며, 기계적 품질 계수(Q_m)의 크기는 임피던스 측정에서 공진 곡선의 첨예도(steeptness)로서 관찰된다. 즉, 기계적 품질 계수(Q_m)는 압전 소자의 공진의 첨예도를 나타내는 상수이다. 기계적 품질 계수(Q_m)가 크면, 공진 주파수 부근에서의 압전 소자의 왜곡량이 커지고, 압전 소자가 효율적으로 진동할 수 있다.
- [0134] 절연 특성과 기계적 품질 계수(Q_m)는 Ti 또는 Zr의 것과는 다른 원자가를 갖는 Mn에 의해 결함 쌍극자가 도입될 때 내부 전기장의 발생에 의해 향상되는 것으로 고려된다. 내부 전기장이 존재하는 경우, 압전 소자(102)가 그에 전압을 인가하는 것에 의해 구동되는 경우, 압전 소자(102)의 신뢰성이 보증될 수 있다.
- [0135] 여기서, "금속 환산으로" Mn의 함량은 X 선 형광(XRF) 분석, ICP 발광 분광 분석 또는 원자 흡광 분석에 의해 압전 세라믹 편(1021)으로부터 측정되고 그 총 중량을 100으로 설정한 Ba, Ca, Ti, Zr 및 Mn의 각 금속의 함량으로부터의 산화물에 관하여 일반식 (1)에 의해 표현되는 금속 산화물을 형성하는 전환 원소의 경우의 Ba, Ca, Ti, Zr 및 Mn의 총 중량에 관한 Mn의 중량의 비율로 결정되는 값을 지칭한다.
- [0136] Mn의 함량이 0.02 중량부 미만이면, 압전 소자(102)의 구동에 요구되는 분극 처리의 효과가 불충분할 수 있는 위험이 있다. 한편, Mn의 함량이 0.40 중량부보다 크면, 압전 특성이 불충분하고 압전 특성에 기여하지 않는 육방정 구조를 갖는 결정이 발현될 수 있는 위험이 있다.
- [0137] Mn은 금속 Mn에 한정되지 않는다. Mn이 Mn 성분으로서 압전 재료에 포함되는 것만이 요구되며, 압전 재료에 포

함된 Mn의 형태는 제한되지 않는다. 예로서, Mn은 B-사이트에서 고체 내에 용해될 수 있거나, 입자 경계에 포함될 수 있다. 대안적으로, Mn 성분은 금속, 이온, 산화물, 금속 염, 착체 등의 형태로 압전 세라믹 편(1021) 내에 포함될 수 있다. 더욱 바람직한 함유 형태는 절연 특성 및 소결의 용이성의 견지에서 Mn이 B-사이트의 고체 내에 용해되는 것이다. Mn이 B-사이트의 고체 내에 용해되고, A-사이트의 Ba 및 Ca의 몰량과 B-사이트의 Ti, Zr 및 Mn의 몰량의 비율이 A2/B2로 설정되는 경우, A2/B2의 양호한 범위는 $0.993 \leq A2/B2 \leq 0.998$ 이다.

[0138] 압전 세라믹 편(1021)은 일반식 (1)에 의해 표현되는 금속 산화물의 100 중량부에 관하여 금속 환산으로 0.042 중량부 이상 0.850 중량부 이하인 Bi를 포함할 수 있다. 금속 산화물에 관한 Bi의 함량은 예로서 ICP 발광 분광 분석에 의해 측정될 수 있다. Bi는 세라믹형 압전 재료의 입자 경계에 존재할 수 있거나, (Ba, Ca)(Ti, Zr)O₃의 페로브스카이트형 구조의 고체 내에 용해될 수 있다. Bi가 입자 경계에 존재하는 경우, 입자 사이의 마찰이 감소되고, 기계적 품질 계수가 증가한다. 한편, Bi가 페로브스카이트 구조를 형성하는 고용체 내에 도입되는 경우, 상 전이온도가 감소한다. 따라서, 압전 상수의 온도 의존성이 감소하고, 기계적 품질 계수가 추가로 개선된다. Bi가 고용체 내에 도입될 때의 위치는 A-사이트이고, 그래서, Mn과의 전하 균형이 더욱 만족스러워질 수 있는 것이 바람직하다.

[0139] 압전 세라믹 편(1021)은 일반식 (1)에 포함된 원소, Mn 및 Bi 이외의 성분(이하에서, "보조 성분"이라 지칭됨)을 특성을 변화시키지 않는 정도로 포함할 수 있다. 전체 보조 성분은 일반식 (1)에 의해 표현되는 금속 산화물의 100 중량부에 관하여 1.2 중량부 이하인 것이 바람직하다. 보조 성분의 함량이 1.2 중량부를 초과하면, 압전 세라믹 편(1021)의 압전 특성 및 절연 특성이 열화될 수 있는 위험이 있다. 보조 성분에서 Ba, Ca, Ti, Zr 및 Mn 이외의 금속 원소의 함량은 압전 세라믹 편(1021)의 100 중량부에 관하여 금속 환산으로 0.9 중량부 이하이거나 산화물 환산으로 1.0 중량부 이하인 것이 바람직하다. 본 명세서에서 사용될 때 "금속 원소"는 또한 Si, Ge 및 Sb 같은 반금속 원소를 포함한다. 보조 성분에서 Ba, Ca, Ti, Zr 및 Mn 이외의 금속 원소의 함량이 압전 세라믹 편(1021)의 100 중량부에 관하여 금속 환산으로 0.9 중량부를 초과하거나 산화물 환산으로 1.0 중량부를 초과하면, 압전 세라믹 편(1021)의 압전 특성 및 절연 특성이 현저히 열화될 수 있는 위험이 있다.

[0140] 보조 성분으로서, Li, Na, Mg 및 Al의 전체 함량은 압전 세라믹 편(1021)의 100 중량부에 관하여 금속 환산으로 0.5 중량부 이하인 것이 바람직하다. Li, Na, Mg 및 Al의 전체 함량이 압전 세라믹 편(1021)의 100 중량부에 관하여 금속 환산으로 0.5 중량부를 초과하는 경우, 소결이 불충분해질 수 있는 위험이 있다. 보조 성분으로서, Y 및 V 원소의 전체 함량은 압전 세라믹 편(1021)의 100 중량부에 관하여 금속 환산으로 0.2 중량부 이하인 것이 바람직하다. Y 및 V 원소의 전체 함량이 압전 세라믹 편(1021)의 100 중량부에 관하여 금속 환산으로 0.2 중량부를 초과하면, 분극 처리가 더욱 어려워질 위험이 있다.

[0141] 보조 성분의 예로서, Si, Cu 및 B 같은 소결 보조제가 주어진다. 본 발명의 압전 재료는 Sr 및 Mg가 Ba 및 Ca의 상업적으로 가용한 원료에 불가피한 성분으로서 함유되는 정도로 Sr 및 Mg를 포함할 수 있다. 유사하게, 본 발명의 압전 세라믹 편(1021)은 Ti의 상업적으로 가용한 원료에 불가피한 성분으로서 Nb가 포함되는 정도로 Nb를 포함할 수 있고, Zr의 상업적으로 가용한 원료에 불가피한 성분으로서 Hf가 포함되는 정도로 Hf를 포함할 수 있다.

[0142] 보조 성분의 중량부를 측정하는 방법에는 어떠한 특정한 제한도 없다. 중량부를 측정하는 방법으로서, 형광 X선 분석(XRF), ICP 발광 분광 분석 및 원자 흡광 분석이 주어진다.

[0143] (구동 제어 시스템)

[0144] 다음에, 본 발명의 구동 제어 시스템을 설명한다. 도 8은 본 발명의 일 실시형태에 따른 구동 제어 시스템을 예시하는 개략도이다. 본 발명의 구동 제어 시스템은 적어도 본 발명의 초음파 모터와 초음파 모터에 전기적으로 연결된 구동 회로를 포함한다. 구동 회로는 회전 구동을 유발하기 위해 본 발명의 초음파 모터 내에 7차 굽힘 진동파를 발생시키기 위한 전기 신호를 발생하도록 구성된 신호 발생 유닛을 포함한다.

[0145] 구동 회로는 초음파 모터의 각 구동 상 전극(10231)(상 A 및 상 B)에 $\pi/2$ 의 시간적 위상차와 동일한 주파수를 갖는 교번 전압을 동시적으로 인가한다. 결과적으로, 상 A 및 상 B에서 발생된 정재파는 합성되어 진동판(101)의 제2 표면 상에, 원주 방향으로 진행하는, 7차 굽힘 진동파(파장: λ)를 생성한다.

[0146] 이 경우, 진동판(101)의 X개 부분의 돌기 영역(1011) 상의 각 지점은 타원 운동을 받는다. 따라서, 이동 부재(2)가 진동판(101)으로부터의 원주 방향으로의 마찰력에 기인하여 회전하게 된다. 7차 굽힘 진동파가 생성될 때, 검지 상 전극(10233)은 검지 상 전극(10233)과 접촉하는 영역에서 압전 세라믹 편(1021)의 진동 진폭에 따라 검지 신호를 발생하고, 검지 신호를 배선을 통해 구동 회로에 출력한다. 구동 회로는 검지 신호를 구동 상

전극(10231)에 입력된 구동 신호의 상과 비교하고, 그에 의해, 공진 상태로부터의 편이를 파악한다. 상술한 정보에 기초하여 구동 상 전극(10231)에 입력된 구동 신호의 주파수를 다시 판정하는 것에 의해, 초음파 모터의 피드백 제어가 수행될 수 있다.

[0147] (광학 기기)

[0148] 다음에, 본 발명의 광학 기기를 설명한다. 본 발명의 광학 기기는 적어도 본 발명의 구동 제어 시스템 및 구동 제어 시스템에 포함된 초음파 모터에 동적으로 연결된 광학 소자를 포함한다. 어구 "동적 연결"은 본 명세서에서 사용될 때, 요소가 서로 직접적으로 접촉하는 상태 또는 요소가 하나의 요소의 좌표 변화, 체적 변화 및 형상 변화에 의해 발생하는 힘이 다른 요소로 전달되도록 제3 요소의 개입을 통해 서로 접촉하고 있는 상태를 지칭한다.

[0149] 도 9a 및 도 9b는 각각 본 발명의 예시적 실시예에 따른 광학 기기의 예로서 단일 렌즈 리플렉스 카메라를 위한 교환 렌즈 경통의 주 부분의 단면도이다. 도 10은 각각 본 발명의 예시적 실시예에 따른 광학 기기의 예로서 단일 렌즈 리플렉스 카메라를 위한 교환 렌즈 경통의 분해 사시도이다. 고정 베릴(712), 직진 안내 베릴(713) 및 전방 렌즈 그룹(701)을 보유하는 전방 렌즈 유닛 베릴(714)이 카메라를 위한 착탈 마운트(711)에 고정된다. 이들 구성요소는 교환 렌즈 경통의 고정된 요소이다.

[0150] 포커스 렌즈(702)를 위한 광학 축 방향으로의 직진 안내 홈(713a)이 직진 안내 베릴(713) 상에 형성된다. 반경 방향으로 외향 돌출하는 캠 롤러(717a, 717b)가 축방향 나사(718)를 거쳐 포커스 렌즈(702)를 보유하는 후방 렌즈 유닛 베릴(716)에 고정되고, 캠 롤러(717a)가 직진 안내 홈(713a) 내에 끼워진다.

[0151] 캠 링(715)은 회전가능한 방식으로 직진 안내 홈(713)의 내주에 끼워진다. 광학 축 방향으로의 직진 안내 베릴(713)과 캠 링(715) 사이의 상대 이동은 직진 안내 베릴(713)의 환형 홈(713b) 내에 끼워져 있는 캠 링(715)에 고정된 롤러(719)로 인해 규제되게 된다. 포커스 렌즈(702)를 위한 캠 홈(715a)이 캠 링(715) 상에 형성되고, 상술한 캠 롤러(717b)가 동시에 캠 홈(715a)에 끼워진다.

[0152] 고정 베릴(712)의 외주측에는 고정 베릴(712)에 관하여 사전결정된 위치에 회전가능한 방식으로 볼 레이스(727)에 의해 보유되는 회전 전달 링(720)이 배열된다. 회전 전달 링(720)은 회전 전달 링(720)으로부터 반경방향으로 연장하는 샤프트(720f)를 갖고, 롤러(722)는 회전가능한 방식으로 샤프트(720f)에 의해 보유된다. 롤러(722)의 대경부(722a)는 수동 포커스 링(724)의 마운트측 단부면(724b)과 접촉한다. 추가적으로, 롤러(722)의 소경부(722b)는 결합 부재(729)와 접촉한다. 6개 롤러(722)가 균일한 간격으로 회전 전달 링(720)의 외주 상에 배열되고, 각 롤러는 상술한 바와 같은 관계로 제공된다.

[0153] 저마찰 시트(와셔 부재)(733)가 수동 포커스 링(724)의 내경부에 배열되고, 이 저마찰 시트는 고정 베릴(712)의 마운트측 단부면(712a)과 수동 포커스 링(724)의 전방측 단부면(724a) 사이에 개재된다. 추가적으로, 저마찰 시트(733)의 외경면은 링 형상으로 형성되어 수동 포커스 링(724)의 내경부(724c) 상에 원주 방향으로 끼워지게 된다. 또한, 수동 포커스 링(724)의 내경부(724c)는 고정 베릴(712)의 외경부(712b) 상에 원주 방향으로 끼워진다. 저마찰 시트(733)는 수동 포커스 링(724)이 각각 광학 축을 중심으로 고정 베릴(712)에 대해 회전하는 회전 링 기구의 마찰을 감소시키는 역할을 한다. 롤러(722)의 대경부(722a)는 렌즈 전방에 대해 초음파 모터(725)를 가압하는 파형 와셔(726)의 가압력에 의해 압력이 인가되는 상태에서 수동 포커스 링의 마운트측 단부면(724b)과 접촉한다. 추가적으로, 유사하게, 롤러(722)의 소경부(722b)는 렌즈의 전방에 대해 초음파 모터(725)를 가압하는 파형 와셔(726)의 가압력에 의해 적절한 압력이 인가되는 상태에서 결합 부재(729)와 접촉한다. 장착 방향으로의 파형 와셔(726)의 이동은 베이어릿 조인트에 의해 고정 베릴(712)에 연결된 와셔(732)에 의해 규제된다. 파형 와셔(726)에 의해 발생된 스프링력(편향력)은 초음파 모터(725)로 전달되고, 추가로, 롤러(722)로 전달되며, 고정 베릴(712)의 마운트측 단부면(712a)을 가압하기 위한 수동 포커스 링(724)을 위한 힘이 된다. 달리 말하면, 수동 포커스 링(724)은 저마찰 시트(733)를 거쳐 고정 베릴(712)의 마운트측 단부면(712a)에 수동 포커스 링(724)이 가압되는 상태로 통합된다.

[0154] 따라서, 신호 발생 유닛(미도시)이 내장되어 있는 구동 회로가 초음파 모터(725)를 고정 베릴(712)에 관해 회전하도록 구동할 때, 롤러(722)는 샤프트(720f)를 중심으로 회전하여 결합 부재(729)가 롤러(722)의 소경부(722b)와 마찰에 의해 접촉하게 된다. 샤프트(720f)를 중심으로 한 롤러(722)의 회전의 결과로서, 회전 전달 링(720)은 광학 축을 중심으로 회전한다(자동 포커스 동작).

[0155] 추가적으로, 수동 동작 입력 유닛(미도시)이 수동 포커스 링(724)에 광학 축을 중심으로 한 회전력을 제공할 때, 구성요소들은 다음과 같이 동작된다. 구체적으로, 롤러(722)는 수동 포커스 링(724)의 마운트측 단부면

(724b)이 롤러(722)의 대경부(722a)와 압력 접촉하게 되기 때문에 마찰력에 의해 샤프트(720f)를 중심으로 회전한다. 롤러(722)의 대경부(722a)가 샤프트(720f)를 중심으로 회전할 때, 회전 전달 링(720)은 광학 축을 중심으로 회전한다. 이 경우에, 초음파 모터(725)는 이동 부재(725c)와 진동자(725b) 사이의 마찰 유지력으로 인해 회전하지 않는다(수동 포커스 동작).

[0156] 두 개의 포커스 키(728)가 대향한 위치들에서 회전 전달 링(720)에 장착되고, 포커스 키(728)는 캠 링(715)의 선단에 형성된 절결부(715b)에 끼워진다. 따라서, 자동 포커스 동작 및 수동 포커스 동작이 수행되고, 그래서, 회전 전달 링(720)이 광학 축을 중심으로 회전할 때, 회전력이 포커스 키(728)를 거쳐 캠 링(715)으로 전달된다. 캠 링이 광학 축을 중심으로 회전될 때, 캠 롤러(717a) 및 직진 안내 홈(713a)에 의해 그 회전이 규제되는 후방 렌즈 유닛 베럴(716)이 캠 롤러(717b)에 의해 캠 링(715)의 캠 홈(715a)을 따라 전후로 이동된다. 따라서, 포커스 렌즈(702)가 구동되고, 포커스 동작이 수행된다. 즉, 광학 요소인 포커스 렌즈(702)의 위치는 초음파 모터(725)에 동적으로 연결되는 포커스 렌즈(702)에 의해 변경된다.

[0157] 이러한 경우에, 단일 렌즈 리플렉스 카메라를 위한 교환 렌즈 경통이 본 발명의 광학 기기로서 상술되었지만, 본 발명은 콤팩트 카메라, 전자 정화상 카메라 등을 포함하는 카메라의 유형에 무관하게, 초음파 모터를 포함하는 다수 종류의 광학 기기에 적용될 수 있다.

[0158] 예

[0159] 다음에, 본 발명의 진동자, 초음파 모터, 구동 제어 시스템 및 광학 기기가 예에 의거하여 구체적으로 설명되지만, 본 발명은 이하의 예들에 한정되는 것은 아니다. 도면의 참조 번호를 사용하여 도면을 참조로 예를 설명한다.

[0160] (환형 압전 세라믹 편의 제조 예)

[0161] 1,000 ppm 미만의 함량으로 납을 함유하고 실온에서 100 GPa 이상 및 135 GPa 이하의 영률을 갖는 환형 압전 세라믹 편이 이하의 방식으로 제조되었다. 영률은 압전 소자로부터 절단된 시험편을 사용하여 측정되었다.

[0162] 일반식 (1)에서 0.16의 x, 0.06의 y 및 1.00의 α의 조성에 대응하는 $(\text{Ba}_{0.84}\text{Ca}_{0.16})_{1.00}(\text{Ti}_{0.94}\text{Zr}_{0.06})\text{O}_3$ 에 Mn을 추가할 의도로, 대응 원료 분말이 다음과 같이 계중되었다.

[0163] 원료 분말로서 기능하는 각각 300 nm 이상의 평균 입경과 페로브스카이트형 구조를 갖는 티탄산 바륨, 티탄산 칼슘 및 지르콘산 칼슘이 Ba, Ca, Ti 및 Zr이 $(\text{Ba}_{0.84}\text{Ca}_{0.16})_{1.00}(\text{Ti}_{0.94}\text{Zr}_{0.06})\text{O}_3$ 의 조성을 충족하도록 계중되었다. A-사이트 및 B-사이트의 몰비를 나타내는 "x"를 조절하기 위해, 탄산 바륨 및 산화 티탄이 사용되었다. 사산화 삼망간이 Mn 함량이 $(\text{Ba}_{0.84}\text{Ca}_{0.16})_{1.00}(\text{Ti}_{0.94}\text{Zr}_{0.06})\text{O}_3$ 의 조성물의 100 중량부에 관하여 금속환산으로 0.26 중량부가 되도록 결과물에 추가되었다.

[0164] 이들 계중된 분말이 볼 밀을 사용하여 24 시간 동안 건식 혼합에 의해 혼합됨으로써 혼합 분말이 제공되었다. 얻어진 혼합 분말을 입자화하기 위해, 혼합 분말에 관하여 3 중량부의 PVA 바인더가 스프레이 건조기를 사용하여 혼합 분말의 표면에 부착됨으로써 입자형 분말을 제공하였다.

[0165] 다음에, 얻어진 입자상 분말이 금형에 공급되고, 가압 성형 기계를 사용하여 200 MPa의 성형 압력이 입자상 분말에 적용되어 디스크형 성형물을 생성하였다. 디스크형 성형물을 위해 사용된 금형의 치수는 의도된 디스크형 압전 세라믹의 외경, 내경 및 두께 각각에 관하여 2 mm, 2 mm 및 0.5 mm의 여유를 갖는다.

[0166] 얻어진 성형물이 전기로에 배치되고, 5시간 동안 1,380° C의 최고 온도로 유지되어 총 24시간에 걸쳐 대기 분위기에서 성형물을 소결하였다. 다음에, 소결체가 원하는 외경, 내경 및 두께를 갖는 환형 형상으로 연삭되어 환형 압전 세라믹 편을 제공하였다.

[0167] 54 mm 내지 90 mm 범위의 외경, 38 mm 내지 84 mm 범위의 내경 및 0.3 mm 내지 1.0 mm 범위의 두께를 갖도록 제조된 압전 세라믹 편은 등가 압전 특성을 가질 수 있다. 본 발명의 진동자 및 초음파 모터가 상술한 범위 이내의 임의의 치수를 갖는 압전 세라믹 편을 사용하여 제조될 수 있다. 그러나, 설명의 편의를 위해, 76.9 mm의 외경, 67.2 mm의 내경 및 0.5 mm의 두께를 갖는 환형 압전 세라믹 편을 전형적 예로서 설명한다.

[0168] 제조된 압전 세라믹 편을 형성하는 결정 입자의 상대 밀도 및 평균 원 상당 직경이 평가되었으며, 1.0 μm 내지 10.0 μm의 평균 원 상당 직경 및 95% 이상의 상대 밀도를 갖는 압전 세라믹 편이 다음 단계에서의 압전 소자를 제조하기 위해 사용되었다. 평균 원 상당 직경의 계산을 위하여 편광 현미경 및 주사 전자 현미경이 사용되었다. 상대 밀도는 아르키메데스법에 의해 측정되었고, 압전 세라믹 편의 구성 원소의 원자 중량 및 압전 세라믹

편의 격자 상수로부터 계산된 이론적 밀도에 관하여 평가되었다.

- [0169] 환형 표면의 X 선 회절 측정으로부터 상술한 방법으로 제조된 임의의 압전 세라믹 편이 정방정 결정계의 페로브스카이트 구조를 갖는 것이 발견되었다.
- [0170] 압전 세라믹 편 조성은 ICP 발광 분광 분석에 의해 평가되었다. 결과적으로, 상술한 방법으로 제조된 임의의 압전 세라믹 편 납 함량은 각 시험편에서 1 ppm 미만이었다. ICP 발광 분광 분석 및 X 선 회절 측정의 결과의 조합을 통해, 압전 세라믹 편 조성물은 주 성분으로서 $(\text{Ba}_{0.84}\text{Ca}_{0.16})_{1.00}(\text{Ti}_{0.94}\text{Zr}_{0.06})\text{O}_3$ 의 조성으로 표현될 수 있는 페로브스카이트형 금속 산화물을 함유하고, 주 성분의 100 중량부에 관하여 0.26 중량부의 Mn을 함유한다는 것이 밝혀졌다. 이러한 제조 예에서 제조된 압전 세라믹 편 조성은 "조성 1"이라 규정된다.
- [0171] 일반식 (1)에서 0.14의 x, 0.06의 y 및 1.00의 a의 조성에 대응하는 $(\text{Ba}_{0.86}\text{Ca}_{0.14})_{1.00}(\text{Ti}_{0.94}\text{Zr}_{0.06})\text{O}_3$ 에 Mn 및 Bi를 추가할 의도로, 대응 원료 분말이 다음과 같이 계중되었다.
- [0172] 원료 분말로서 기능하는 각각 300 nm 이상의 평균 입경과 페로브스카이트형 구조를 갖는 티탄산 바륨, 티탄산 칼슘 및 지르콘산 칼슘이 Ba, Ca, Ti 및 Zr이 $(\text{Ba}_{0.86}\text{Ca}_{0.14})_{1.00}(\text{Ti}_{0.94}\text{Zr}_{0.06})\text{O}_3$ 의 조성을 충족하도록 계중되었다. A-사이트 및 B-사이트의 몰비를 나타내는 "x"를 조절하기 위해, 탄산 바륨 및 산화 티탄이 사용되었다. 사산화삼망간이 Mn 함량이 $(\text{Ba}_{0.84}\text{Ca}_{0.16})_{1.00}(\text{Ti}_{0.94}\text{Zr}_{0.06})\text{O}_3$ 의 조성물의 100 중량부에 관하여 금속환산으로 0.14 중량부가 되도록 결과물에 추가되었다. 유사하게, 산화 미스무트가 $(\text{Ba}_{0.84}\text{Ca}_{0.16})_{1.00}(\text{Ti}_{0.94}\text{Zr}_{0.06})\text{O}_3$ 의 조성 100 중량부에 관하여 금속 환산으로 Bi의 함량이 0.18 중량부가 되도록 결과물에 추가되었다.
- [0173] 이들 계중된 분말이 볼 밀을 사용하여 24 시간 동안 건식 혼합에 의해 혼합됨으로써 혼합 분말이 제공되었다. 얻어진 혼합 분말을 입자화하기 위해, 혼합 분말에 관하여 3 중량부의 PVA 바인더가 스프레이 건조기를 사용하여 혼합 분말의 표면에 부착됨으로써 입자형 분말을 제공하였다.
- [0174] 다음에, 얻어진 입자상 분말이 금형에 공급되고, 가압 성형 기계를 사용하여 200 MPa의 성형 압력이 입자상 분말에 적용되어 디스크형 성형물을 생성하였다. 디스크형 성형물을 위해 사용된 금형의 치수는 의도된 디스크형 압전 세라믹의 외경, 내경 및 두께 각각에 관하여 2 mm, 2 mm 및 0.5 mm의 여유를 갖는다.
- [0175] 얻어진 성형물이 전기로에 배치되고, 5시간 동안 1,340° C의 최고 온도로 유지되어 총 24시간에 걸쳐 대기 분위기에서 성형물을 소결하였다. 다음에, 소결체가 원하는 외경, 내경 및 두께를 갖는 환형 형상으로 연삭되어 환형 압전 세라믹 편을 제공하였다.
- [0176] 54 mm 내지 90 mm 범위의 외경, 38 mm 내지 84 mm 범위의 내경 및 0.3 mm 내지 1.0 mm 범위의 두께를 갖도록 제조된 압전 세라믹 편은 등가 압전 특성을 가질 수 있다. 본 발명의 진동자 및 초음파 모터가 상술한 범위 이내의 임의의 치수를 갖는 압전 세라믹 편을 사용하여 제조될 수 있다. 그러나, 설명의 편의를 위해, 76.9 mm의 외경, 67.2 mm의 내경 및 0.5 mm의 두께를 갖는 환형 압전 세라믹 편을 전형적 예로서 설명한다.
- [0177] 제조된 압전 세라믹 편을 형성하는 결정 입자의 상대 밀도 및 평균 원 상당 직경이 평가되었으며, 1.0 μm 내지 10.0 μm의 평균 원 상당 직경 및 95% 이상의 상대 밀도를 갖는 압전 세라믹 편이 다음 단계에서의 압전 소자를 제조하기 위해 사용되었다. 평균 원 상당 직경의 계산을 위하여 편광 현미경 및 주사 전자 현미경이 사용되었다. 상대 밀도는 아르키메데스법에 의해 측정되었고, 압전 세라믹 편 구성 원소의 원자 중량 및 압전 세라믹 편 격자 상수로부터 계산된 이론적 밀도에 관하여 평가되었다.
- [0178] 환형 표면의 X 선 회절 측정으로부터 상술한 방법으로 제조된 임의의 압전 세라믹 편이 정방정 결정계의 페로브스카이트 구조를 갖는 것이 발견되었다.
- [0179] 압전 세라믹 편 조성은 ICP 발광 분광 분석에 의해 평가되었다. 결과적으로, 상술한 방법으로 제조된 임의의 압전 세라믹 편 납 함량은 각 시험편에서 1 ppm 미만이었다. ICP 발광 분광 분석 및 X 선 회절 측정의 조합을 통해, 압전 세라믹 편 조성물은 주 성분으로서 $(\text{Ba}_{0.84}\text{Ca}_{0.16})_{1.00}(\text{Ti}_{0.94}\text{Zr}_{0.06})\text{O}_3$ 의 조성으로 표현될 수 있는 페로브스카이트형 금속 산화물을 함유하고, 주 성분의 100 중량부에 관하여 0.14 중량부의 Mn 및 0.18 중량부의 Bi를 함유한다는 것이 밝혀졌다. 이러한 제조 예에서 제조된 압전 세라믹 편 조성은 "조성 2"이라 규정된다.
- [0180] (진동판의 제조 예 1)
- [0181] 도 11a 및 도 11b는 각각 본 발명의 진동자와 초음파 모터에 사용되는 환형 진동판의 제조 방법의 일 예를 예시

하기 위한 개략적 단계도이다.

- [0182] 본 발명에 사용되는 진동판을 제조하기 위해, 도 11a에 예시된 바와 같은 환형 금속 판(101a)이 준비되었다. 금속 판(101a)은 JIS의 자성 스테인레스 강 SUS420J2로 형성되었다. SUS420J2는 12 질량% 내지 14 질량%의 크롬과 70 질량% 이상의 강을 함유하는 합금이다.
- [0183] 금속판(101a)의 외경, 내경 및 최대 두께는 도 11b에 예시된 진동판(101)의 외경(2R), 내경(2R_{in}) 및 최대 두께(T_{dia})의 의도된 값으로 설정되었다. 본 발명의 진동자와 초음파 모터에 적용될 수 있는 진동판은 56 mm 내지 90 mm 범위의 외경, 40 mm 내지 84 mm의 범위의 내경 및 4 mm 내지 6 mm 범위의 두께를 갖는 금속판(101a)으로 제조될 수 있었다. 본 제조 예에서, 설명의 편의를 위해, 77.0 mm의 외경(2R), 67.1 mm의 내경(2R_{in}) 및 5.0 mm의 최대 두께(T_{dia})를 갖는 금속판(101a)이 전형적 예로서 설명된다.
- [0184] 다음에, 90(X=90) 홈 영역(1012)이 환형 금속판(101a)의 일 표면(제2 표면)을 연삭함으로써 반경방향 방식으로 기계적으로 형성되었다(홈형성). 각 홈 영역(1012)의 벽 표면은 홈형성이 이루어지지 않은 진동판(101)의 제1 표면으로부터 볼 때 수직이되도록 설정되었다. 각 홈 영역(1012)의 홈 저부는 도 6c에 예시된 바와 같이 그 중심에서 가장 깊은 경사진 형상으로 형성되었다. 홈형성 이후 금속 판(101a)에 베릴 처리, 랩핑(lapping) 및 비전해 니켈 도금이 이루어져서 본 발명의 진동자(1)에 사용되는 진동판(101)이 제공된다.
- [0185] 진동판(101)의 홈 영역(1012)은 제2 표면측으로부터 볼 때 1.0 mm의 폭을 갖는 직육면체 형상으로 형성되었다. 따라서, 돌기 영역(1011)이 환형 외경측에서 확대되는 폭을 갖는 팬 형상으로 형성되었다. 결과적으로, 외경측에서의 원주 방향으로의 돌기 영역(1011)의 길이의 평균값(L_{top})과, 외경측에서의 원주 방향으로의 홈 영역(1012)의 길이의 평균값(L_{btm})은 관계: L_{top}/L_{btm}=1.69를 갖는다.
- [0186] 진동판(101)의 90 홈 영역(1012)의 중심 깊이(D₁ 내지 D₉₀)가 도 7b에 도시된 바와 같은 값으로 설정되었다. 즉, 중심 깊이(D₁ 내지 D₉₀)는 두 개의 정현파를 서로 중첩시킴으로써 얻어진 곡선을 따르도록 변한다. 도 7b 및 도 7b에 대응하는 도 7a에서 알 수 있는 바와 같이, 변화의 국소 최대치 영역 및 국소 최소치 영역의 수는 각각 16이었다. 변화의 국소 최대치 영역 및 국소 최소치 영역은 서로 인접하지 않는다. 중심 깊이(D₁ 내지 D₉₀)의 최대 절대값은 2.105 mm였고, 그 최소 절대값은 1.570 mm였다. 따라서, 그 사이의 차이는 0.535 mm이었고, 이는 진동판(101)의 최대 두께(T_{dia})(5.0 mm)에 관하여 10.7% 였다. 중심 깊이(D₁ 내지 D₉₀)의 절대값의 표준 깊이(D_{ave})는 1.85 mm이었고, 이는 진동판(101)의 최대 두께(T_{dia})(5.0 mm)에 관하여 37.0% 였다.
- [0187] 중심 깊이(D₁ 내지 D₄₅)의 변화 및 중심 깊이(D₄₆ 내지 D₉₀)의 변화는 표 1에 도시된 바와 같다. 표 1에서, D_x의 첨자는 첨자가 시각적으로 쉽게 인식될 수 있도록 큰 크기로 표시되어 있다. 표 1로부터 알 수 있는 바와 같이, 중심 깊이(D₁ 내지 D₉₀)에 대하여, 중심 깊이(D₁ 내지 D_{90/2})의 변화는 중심 깊이(D_{90/2+1} 내지 D₉₀)의 변화와 일치하였다. 본 제조 예에서 제조된 이러한 구성을 갖는 진동 판은 진동판(V1)으로 규정되고, 이는 77.0 mm의 2R, 67.1 mm의 2R_{in}, 5.0 mm의 T_{dia}, 90의 X, 1.69의 L_{top}/L_{btm} 및 1.85 mm의 D_{ave}를 가지며, 7차 진동과 이외의 불필요 진동파를 추가로 억제할 수 있다. 도 11b의 홈 영역(1012) 및 돌기 영역(1011)의 수 및 형상, 돌기 영역(1011)의 높이 및 홈 영역(1012)의 중심 깊이가 개략적으로 예시되어 있고, 본 발명은 도 11b의 형상에 한정되지 않는다.

표 1

[0188]

홈 영역의 중심 깊이의 기호	홈 깊이 [mm]	홈 영역의 중심 깊이의 기호	홈 깊이 [mm]
D1	2.105	D46	2.105
D7	2.095	D52	2.095
D30	2.089	D75	2.089
D23	2.086	D68	2.086
D24	2.062	D69	2.062
D29	2.041	D74	2.041
D8	2.027	D53	2.027
D45	2.013	D90	2.013

D2	1.965	D47	1.965
D6	1.937	D51	1.937
D31	1.930	D76	1.930
D40	1.926	D85	1.926
D17	1.922	D62	1.922
D13	1.914	D58	1.914
D36	1.912	D81	1.912
D22	1.909	D67	1.909
D18	1.903	D63	1.903
D39	1.899	D84	1.899
D14	1.892	D59	1.892
D35	1.889	D80	1.889
D16	1.871	D61	1.871
D37	1.867	D82	1.867
D38	1.853	D83	1.853
D41	1.852	D86	1.852
D15	1.851	D60	1.851
D12	1.840	D57	1.840
D25	1.836	D70	1.836
D9	1.825	D54	1.825
D28	1.807	D73	1.807
D44	1.801	D89	1.801
D19	1.785	D64	1.785
D34	1.776	D79	1.776
D32	1.737	D77	1.737
D42	1.719	D87	1.719
D11	1.716	D56	1.716
D21	1.715	D66	1.715
D3	1.707	D48	1.707
D10	1.686	D55	1.686
D5	1.683	D50	1.683
D33	1.681	D78	1.681
D20	1.675	D65	1.675
D43	1.672	D88	1.672
D26	1.611	D71	1.611
D27	1.597	D72	1.597
D4	1.570	D49	1.570

[0189] (진동판의 제조 예 2)

[0190] 진동판(V2)는 진동판(V1)의 것과 동일한 원료 및 제조 방법을 사용하여 제조되었다. 진동판(V2)의 90 홈 영역(1012)의 중심 깊이(D_1 내지 D_{90})는 도 7d에 도시된 것들로 설정되었다. 중심 깊이(D_1 내지 D_{90})의 절대값의 표준 깊이(D_{ave})는 1.65 mm로 설정되었다. 결과적으로, 77.0 mm의 $2R$, 67.1 mm의 $2R_{in}$, 5.0 mm의 T_{dia} , 90의 X , 1.69의 L_{top}/L_{btm} 및 1.65 mm의 D_{ave} 를 갖는 진동판(V2)이 얻어졌다. 중심 깊이(D_1 내지 D_{90})는 두 개의 정현파를 서로 중첩시킴으로써 얻어진 곡선을 따르도록 변한다. 도 7d 및 도 7d에 대응하는 도 7c에서 알 수 있는 바와 같이, 변화의 국소 최대치 영역 및 국소 최소치 영역의 수는 각각 16이었다. 변화의 국소 최대치 영역 및 국소 최소치 영역은 서로 인접하지 않는다. 중심 깊이(D_1 내지 D_{90})의 최대 절대값은 1.903 mm였고, 그 최소 절대값은 1.399 mm였다. 따라서, 그 사이의 차이는 0.504 mm이었고, 이는 진동판(101)의 최대 두께(T_{dia})(5.0 mm)에 관하여 10.1% 였다. 중심 깊이(D_1 내지 D_{90})의 절대값의 표준 깊이(D_{ave})는 1.65 mm이었고, 이는 진동판(101)의 최대 두께(T_{dia})(5.0 mm)에 관하여 33.0% 였다.

[0191] 중심 깊이(D_1 내지 D_{45})의 변화 및 중심 깊이(D_{46} 내지 D_{90})의 변화는 표 2에 도시된 바와 같다. 표 2에서, D_x 의 첨자는 첨자가 시각적으로 쉽게 인식될 수 있도록 큰 크기로 표시되어 있다. 표 2로부터 알 수 있는 바와 같이, 중심 깊이(D_1 내지 D_{90})에 대하여, 중심 깊이(D_1 내지 $D_{90/2}$)의 변화는 중심 깊이($D_{90/2+1}$ 내지 D_{90})의 변화와

일치하였다. 이런 구성에서, 7차 진동파 이외의 불필요 진동파가 추가로 억제될 수 있다.

표 2

홈 영역의 중심 깊이의 기호	홈 깊이 [mm]	홈 영역의 중심 깊이의 기호	홈 깊이 [mm]
D18	1.903	D63	1.903
D41	1.896	D86	1.896
D12	1.853	D57	1.853
D40	1.846	D85	1.846
D35	1.836	D80	1.836
D19	1.828	D64	1.828
D34	1.818	D79	1.818
D24	1.792	D69	1.792
D2	1.787	D47	1.787
D13	1.766	D58	1.766
D1	1.753	D46	1.753
D25	1.745	D70	1.745
D11	1.744	D56	1.744
D17	1.739	D62	1.739
D42	1.718	D87	1.718
D29	1.708	D74	1.708
D7	1.701	D52	1.701
D6	1.687	D51	1.687
D3	1.684	D48	1.684
D23	1.676	D68	1.676
D30	1.665	D75	1.665
D36	1.659	D81	1.659
D33	1.655	D78	1.655
D28	1.646	D73	1.646
D26	1.625	D71	1.625
D8	1.611	D53	1.611
D39	1.610	D84	1.610
D5	1.605	D50	1.605
D20	1.596	D65	1.596
D4	1.588	D49	1.588
D27	1.581	D72	1.581
D45	1.580	D90	1.580
D10	1.577	D55	1.577
D31	1.558	D76	1.558
D14	1.541	D59	1.541
D32	1.531	D77	1.531
D9	1.526	D54	1.526
D43	1.495	D88	1.495
D22	1.493	D67	1.493
D16	1.491	D61	1.491
D37	1.446	D82	1.446
D44	1.439	D89	1.439
D21	1.438	D66	1.438
D38	1.415	D83	1.415
D15	1.399	D60	1.399

(진동판의 제조 예 3)

진동판(V3)는 진동판(V1)의 것과 동일한 원료 및 제조 방법을 사용하여 제조되었다. 진동판(V3)의 90 홈 영역(1012)의 중심 깊이(D₁ 내지 D₉₀)는 도 7f에 도시된 것들로 설정되었다. 중심 깊이(D₁ 내지 D₉₀)는 네 개의 정현파를 서로 중첩시킴으로써 얻어진 곡선을 따르도록 하고, 변화의 국소 최대치 영역 및 국소 최소치 영역의 수는

각각 12로 설정되었다.

[0195] 결과적으로, 77.0 mm의 2R, 67.1 mm의 2R_{in}, 5.0 mm의 T_{dia}, 90의 X, 1.69의 L_{top}/L_{btm} 및 1.85 mm의 D_{ave}를 갖는 진동판(V3)이 얻어졌다.

[0196] 변화의 국소 최대치 영역 및 국소 최소치 영역은 서로 인접하지 않는다. 중심 깊이(D₁ 내지 D₉₀)의 최대 절대값은 2.220 mm였고, 그 최소 절대값은 1.505 mm였다. 따라서, 그 사이의 차이는 0.715 mm이었고, 이는 진동판(101)의 최대 두께(T_{dia})(5.0 mm)에 관하여 14.3% 였다. 중심 깊이(D₁ 내지 D₉₀)의 절대값의 표준 깊이(D_{ave})는 1.85 mm이었고, 이는 진동판(101)의 최대 두께(T_{dia})(5.0 mm)에 관하여 37.0% 였다.

[0197] 중심 깊이(D₁ 내지 D₄₅)의 크기 관계 및 중심 깊이(D₄₆ 내지 D₉₀)의 크기 관계는 표 3에 도시된 바와 같다. 표 3에서, D_x의 첨자는 첨자가 시각적으로 쉽게 인식될 수 있도록 큰 크기로 표시되어 있다. 표 3으로부터 알 수 있는 바와 같이, 중심 깊이(D₁ 내지 D₉₀)에 대하여, 중심 깊이(D₁ 내지 D_{90/2})의 변화는 중심 깊이(D_{90/2+1} 내지 D₉₀)의 변화와 일치하였다. 이런 구성에서, 7차 진동과 이외의 불필요 진동파가 추가로 억제될 수 있다.

표 3

[0198]

홈 영역의 중심 깊이의 기호	홈 깊이 [mm]	홈 영역의 중심 깊이의 기호	홈 깊이 [mm]
D30	2.220	D75	2.220
D40	2.157	D85	2.157
D18	2.144	D63	2.144
D29	2.139	D74	2.139
D1	2.133	D46	2.133
D31	2.084	D76	2.084
D39	2.077	D84	2.077
D19	2.070	D64	2.070
D2	2.051	D47	2.051
D8	2.024	D53	2.024
D9	2.013	D54	2.013
D41	2.004	D86	2.004
D10	2.000	D55	2.000
D17	1.995	D62	1.995
D11	1.991	D56	1.991
D45	1.951	D90	1.951
D7	1.948	D52	1.948
D23	1.942	D68	1.942
D12	1.910	D57	1.910
D20	1.894	D65	1.894
D32	1.877	D77	1.877
D24	1.871	D69	1.871
D22	1.868	D67	1.868
D38	1.864	D83	1.864
D28	1.857	D73	1.857
D21	1.808	D66	1.808
D3	1.783	D48	1.783
D6	1.758	D51	1.758
D33	1.744	D78	1.744
D42	1.727	D87	1.727
D13	1.724	D58	1.724
D16	1.712	D61	1.712
D34	1.701	D79	1.701
D37	1.698	D82	1.698
D35	1.679	D80	1.679
D44	1.676	D89	1.676
D25	1.663	D70	1.663

D36	1.655	D81	1.655
D27	1.576	D72	1.576
D5	1.574	D50	1.574
D43	1.568	D88	1.568
D4	1.567	D49	1.567
D14	1.536	D59	1.536
D15	1.512	D60	1.512
D26	1.505	D71	1.505

[0199] (진동판의 제조 예 4 내지 8)

[0200] 진동판(V4 내지 V8)은 진동판(V1)의 것과 동일한 원료 및 제조 방법을 사용하여 제조되었다. 진동판(V4)에서, 최대 두께(T_{dia})는 6.0 mm로 설정되었고, 90 홈 영역(1012)의 중심 깊이(D_1 내지 D_{90})는 도 12b에 도시된 것들로 설정되었다. 중심 깊이(D_1 내지 D_{90})의 절대값의 표준 깊이(D_{ave})는 1.65 mm으로 설정되었다. 중심 깊이(D_1 내지 D_{90})는 네 개의 정현파를 서로 중첩시킴으로써 얻어진 곡선을 따르도록 하고, 변화의 국소 최대치 영역 및 국소 최소치 영역의 수는 각각 12로 설정되었다.

[0201] 진동판(V5)에서, 외경(2R)은 85.0 mm으로 설정되었고, 내경(2R_{in})은 73.5 mm로 설정되었으며, 110(X=110) 홈 영역이 형성되었다. 진동판(V5)의 110 홈 영역(1012)의 중심 깊이(D_1 내지 D_{110})는 도 12d에 도시된 것들로 설정되었다. 중심 깊이(D_1 내지 D_{110})는 네 개의 정현파를 서로 중첩시킴으로써 얻어진 곡선을 따르도록 하고, 변화의 국소 최대치 영역 및 국소 최소치 영역의 수는 각각 12로 설정되었다.

[0202] 진동판(V6)에서, 외경(2R)은 88.0 mm으로 설정되었고, 내경(2R_{in})은 76.0 mm로 설정되었으며, 110(X=110) 홈 영역이 형성되었다. 진동판(V6)의 110 홈 영역(1012)의 중심 깊이(D_1 내지 D_{110})는 도 12f에 도시된 것들로 설정되었다. 중심 깊이(D_1 내지 D_{110})는 네 개의 정현파를 서로 중첩시킴으로써 얻어진 곡선을 따르도록 하고, 변화의 국소 최대치 영역 및 국소 최소치 영역의 수는 각각 12로 설정되었다.

[0203] 진동판(V7)에서, 외경(2R)은 88.0 mm으로 설정되었고, 내경(2R_{in})은 76.0 mm로 설정되었으며, 진동판(101)의 최대 두께(T_{dia})는 4.0 mm로 설정되었고, 110(X=110) 홈 영역이 형성되었다. 진동판(V7)의 110 홈 영역(1012)의 중심 깊이(D_1 내지 D_{110})는 도 12h에 도시된 것들로 설정되었다. 중심 깊이(D_1 [mm] 내지 D_{110} [mm])의 절대값의 표준 깊이(D_{ave})는 1.65 mm으로 설정되었다. 중심 깊이(D_1 내지 D_{110})는 네 개의 정현파를 서로 중첩시킴으로써 얻어진 곡선을 따르도록 하고, 변화의 국소 최대치 영역 및 국소 최소치 영역의 수는 각각 12로 설정되었다.

[0204] 진동판(V8)에서, 외경(2R)은 62.0 mm으로 설정되었고, 내경(2R_{in})은 54.3 mm로 설정되었으며, 75(X=75) 홈 영역이 형성되었다. 진동판(V8)의 75 홈 영역(1012)의 중심 깊이(D_1 내지 D_{75})는 도 12j에 도시된 것들로 설정되었다. 중심 깊이(D_1 내지 D_{75})는 네 개의 정현파를 서로 중첩시킴으로써 얻어진 곡선을 따르도록 하고, 변화의 국소 최대치 영역 및 국소 최소치 영역의 수는 각각 12로 설정되었다.

[0205] 결과로서, 표 4에 도시된 치수를 갖는 진동판(V4 내지 V8)이 얻어졌다.

표 4

진동판	외경(2R) [mm]	내경(2R _{in}) [mm]	T _{dia} [mm]	홈 수 [부분]	L _{top} [mm]	L _{btm} [mm]	L _{top} /L _{btm}
V1	77.0	67.1	5.0	90	1.688	1.000	1.69
V2	77.0	67.1	5.0	90	1.688	1.000	1.69
V3	77.0	67.1	5.0	90	1.688	1.000	1.69
V4	77.0	67.1	6.0	90	1.688	1.000	1.69
V5	85.0	73.5	5.0	110	1.528	0.900	1.70
V6	88.0	76.0	5.0	110	1.513	1.000	1.51
V7	88.0	76.0	4.0	110	1.513	1.000	1.51
V8	62.0	54.3	5.0	75	1.597	1.000	1.60

- [0207] 도 12a 내지 도 12j는 각각 진동관(101)의 홈 영역(1012)의 중심 깊이의 분포를 개략적으로 보여주는 그래프이다. 도 12a는 X가 90인 것으로 상정할 때, 각 홈 영역(1012)의 표준 깊이(D_{ave})와 중심 깊이 사이의 차이를 보여주기 위한 그래프이다. 각 플롯의 수평 축은 90 부분의 홈 수를 나타내고, 0번 홈 영역은 90번 홈 영역의 깊이를 2회 나타내도록 플롯 상에 편의상 사용된다. 도 12c, 도 12e 및 도 12g는 X가 110인 것으로 상정할 때, 각 홈 영역(1012)의 표준 깊이(D_{ave})(단위: mm)와 중심 깊이 사이의 차이를 보여주기 위한 그래프이다. 각 플롯의 수평 축은 110 부분의 홈 수를 나타내고, 0번 홈 영역은 110번 홈 영역의 깊이를 2회 나타내도록 플롯 상에 편의상 사용된다. 도 12i는 X가 75인 것으로 상정할 때, 각 홈 영역(1012)의 표준 깊이(D_{ave})와 중심 깊이 사이의 차이를 보여주기 위한 그래프이다. 각 플롯의 수평 축은 75 부분의 홈 수를 나타내고, 0번 홈 영역은 75번 홈 영역의 깊이를 2회 나타내도록 플롯 상에 편의상 사용된다.
- [0208] 도 12a, 도 12c, 도 12e, 도 12g 및 도 12i의 각 홈 영역(1012)의 깊이의 플롯은 서로 네 개의 정현파를 중첩시킴으로써 얻어진 곡선을 따른다. 12개의 변화의 국소 최대치 영역 및 12개의 국소 최소치 영역이 존재한다.
- [0209] 도 12b는 도 12a에 도시된 각 홈 영역의 깊이가 1.65 mm의 D_{ave} 로 설정되고 진동관(V4)에 적용되는 경우의 홈 영역의 깊이와 돌기 영역의 높이의 관계를 그래프 플롯으로서 개략적으로 도시하는 그래프이다. 이러한 예에서, 진동관의 제1 표면이 개시 지점인 상태에서 각 돌기 영역의 높이는 서로 동일하다. 각 플롯의 수평 축은 환형 링의 중심으로부터 볼 때의 X가 90인 홈 영역의 위치의 각도를 나타낸다. 수평 축 상의 값은 상대값이지만, 도 12b에서, 도 12a의 89번 홈 영역의 단부 부분이 개시 지점으로 설정된다. 도 12d 및 도 12f는 각각 도 12c 및 도 12e에 도시된 각 홈 영역의 깊이가 1.85 mm의 D_{ave} 로 설정되고 진동관(V5 및 V6)에 적용되는 경우의 홈 영역의 깊이와 돌기 영역의 높이의 관계를 그래프 플롯으로서 개략적으로 도시하는 그래프이다. 도 12h는 도 12g에 도시된 각 홈 영역의 깊이가 1.65 mm의 D_{ave} 로 설정되고 진동관(V7)에 적용되는 경우의 홈 영역의 깊이와 돌기 영역의 높이의 관계를 그래프 플롯으로서 개략적으로 도시하는 그래프이다. 이러한 예에서, 진동관의 제1 표면이 개시 지점인 상태에서 각 돌기 영역의 높이는 서로 동일하다. 각 플롯의 수평 축은 환형 링의 중심으로부터 볼 때의 X가 110인 홈 영역의 위치의 각도를 나타낸다. 수평 축 상의 값은 상대값이지만, 도 12d, 도 12f 및 도 12h에서, 도 12c, 도 12e 및 도 12g의 109번 홈 영역의 단부 부분이 개시 지점으로 설정된다.
- [0210] 도 12j는 도 12i에 도시된 각 홈 영역의 깊이가 1.65 mm의 D_{ave} 로 설정되고 진동관(V8)에 적용되는 경우의 홈 영역의 깊이와 돌기 영역의 높이의 관계를 그래프 플롯으로서 개략적으로 도시하는 그래프이다. 이러한 예에서, 진동관의 제1 표면이 개시 지점인 상태에서 각 돌기 영역의 높이는 서로 동일하다. 각 플롯의 수평 축은 환형 링의 중심으로부터 볼 때의 X가 75인 홈 영역의 위치의 각도를 나타낸다. 수평 축 상의 값은 상대값이지만, 도 12j에서, 도 12i의 74번 홈 영역의 단부 부분이 개시 지점으로 설정된다.
- [0211] 도 12b, 도 12d, 도 12f, 도 12h 및 도 12j의 돌기 영역 및 홈 영역의 수 및 형상, 돌기 영역의 높이 및 홈 영역의 중심 깊이는 개략적으로 도시된 것이며, 실제 치수와는 다르다.
- [0212] 제조된 진동관(V1 내지 V8)에 대응하는 홈 영역의 깊이 및 돌기 영역의 높이의 관계를 그래프 플롯으로서 개략적으로 도시하기 위한 그래프는 다음과 같다.
- [0213] V1: 도 7b
- [0214] V2: 도 7d
- [0215] V3: 도 7f
- [0216] V4: 도 12b
- [0217] V5: 도 12d
- [0218] V6: 도 12f
- [0219] V7: 도 12h
- [0220] V8: 도 12j
- [0221] 진동관(V4)의 중심 깊이(D_1 내지 D_{90})의 변화의 국소 최대치 영역 및 국소 최소치 영역은 서로 인접하지 않는다.

중심 깊이(D_1 내지 D_{90})의 최대 절대값은 2.061 mm였고, 그 최소 절대값은 1.249 mm였다. 따라서, 그 사이의 차이는 0.812 mm이었고, 이는 진동판(V4)의 최대 두께(T_{dia})(6.0 mm)에 관하여 13.5% 였다. 중심 깊이(D_1 내지 D_{90})의 절대값의 표준 깊이(D_{ave})는 1.65 mm이었고, 이는 진동판(101)의 최대 두께(T_{dia})(6.0 mm)에 관하여 27.5% 였다.

[0222] 진동판(V5)의 중심 깊이(D_1 내지 D_{110})의 변화의 국소 최대치 영역 및 국소 최소치 영역은 서로 인접하지 않는다. 중심 깊이(D_1 내지 D_{110})의 최대 절대값은 2.204 mm였고, 그 최소 절대값은 1.484 mm였다. 따라서, 그 사이의 차이는 0.720 mm이었고, 이는 진동판(V5)의 최대 두께(T_{dia})(5.0 mm)에 관하여 14.4% 였다. 중심 깊이(D_1 내지 D_{110})의 절대값의 표준 깊이(D_{ave})는 1.85 mm이었고, 이는 진동판(101)의 최대 두께(T_{dia})(5.0 mm)에 관하여 37.0% 였다.

[0223] 진동판(V6)의 중심 깊이(D_1 내지 D_{110})의 변화의 국소 최대치 영역 및 국소 최소치 영역은 서로 인접하지 않는다. 중심 깊이(D_1 내지 D_{110})의 최대 절대값은 2.203 mm였고, 그 최소 절대값은 1.484 mm였다. 따라서, 그 사이의 차이는 0.719 mm이었고, 이는 진동판(V6)의 최대 두께(T_{dia})(5.0 mm)에 관하여 14.4% 였다. 중심 깊이(D_1 내지 D_{110})의 절대값의 표준 깊이(D_{ave})는 1.85 mm이었고, 이는 진동판(101)의 최대 두께(T_{dia})(5.0 mm)에 관하여 37.0% 였다.

[0224] 진동판(V7)의 중심 깊이(D_1 내지 D_{110})의 변화의 국소 최대치 영역 및 국소 최소치 영역은 서로 인접하지 않는다. 중심 깊이(D_1 내지 D_{110})의 최대 절대값은 2.047 mm였고, 그 최소 절대값은 1.237 mm였다. 따라서, 그 사이의 차이는 0.810 mm이었고, 이는 진동판(V7)의 최대 두께(T_{dia})(4.0 mm)에 관하여 20.2% 였다. 중심 깊이(D_1 내지 D_{110})의 절대값의 표준 깊이(D_{ave})는 1.65 mm이었고, 이는 진동판(101)의 최대 두께(T_{dia})(4.0 mm)에 관하여 41.3% 였다.

[0225] 진동판(V8)의 중심 깊이(D_1 내지 D_{75})의 변화의 국소 최대치 영역 및 국소 최소치 영역은 서로 인접하지 않는다. 중심 깊이(D_1 내지 D_{75})의 최대 절대값은 2.049 mm였고, 그 최소 절대값은 1.207 mm였다. 따라서, 그 사이의 차이는 0.842 mm이었고, 이는 진동판(V8)의 최대 두께(T_{dia})(5.0 mm)에 관하여 16.8% 였다. 중심 깊이(D_1 내지 D_{75})의 절대값의 표준 깊이(D_{ave})는 1.65 mm이었고, 이는 진동판(101)의 최대 두께(T_{dia})(5.0 mm)에 관하여 33.0% 였다.

[0226] 진동판(V4)의 중심 깊이(D_1 내지 D_{45})의 크기 관계 및 중심 깊이(D_{46} 내지 D_{90})의 크기 관계는 표 5에 도시된 바와 같다. 진동판(V5 내지 V7)의 중심 깊이(D_1 내지 D_{55})의 변화 및 중심 깊이(D_{56} 내지 D_{110})의 변화는 각각 표 6, 표 7 및 표 8에 도시된 바와 같다. 표 5 내지 8에서, D_X 의 첨자는 첨자가 시각적으로 쉽게 인식될 수 있도록 큰 크기로 표시되어 있다. 표 5 내지 8로부터 알 수 있는 바와 같이, X가 짝수인 진동판(V4 내지 V7)에서, 중심 깊이(D_1 내지 D_X)에 대하여, 크기 관계에 관해 중심 깊이(D_1 내지 $D_{X/2}$)의 변화는 중심 깊이($D_{X/2+1}$ 내지 D_X)의 변화와 일치하였다. 이런 구성에서, 7차 진동판 이외의 불필요 진동판이 추가로 억제될 수 있다.

표 5

홈 영역의 중심 깊이의 기호	홈 깊이 [mm]	홈 영역의 중심 깊이의 기호	홈 깊이 [mm]
D30	2.061	D75	2.061
D18	2.008	D63	2.008
D40	2.002	D85	2.002
D1	1.959	D46	1.959
D29	1.947	D74	1.947
D19	1.945	D64	1.945
D31	1.922	D76	1.922
D2	1.915	D47	1.915
D39	1.875	D84	1.875
D41	1.867	D86	1.867

D8	1.850	D53	1.850
D9	1.842	D54	1.842
D10	1.818	D55	1.818
D11	1.807	D56	1.807
D17	1.799	D62	1.799
D7	1.743	D52	1.743
D12	1.729	D57	1.729
D20	1.722	D65	1.722
D23	1.719	D68	1.719
D45	1.712	D90	1.712
D24	1.692	D69	1.692
D32	1.685	D77	1.685
D38	1.633	D83	1.633
D28	1.626	D73	1.626
D3	1.625	D48	1.625
D22	1.614	D67	1.614
D21	1.575	D66	1.575
D42	1.553	D87	1.553
D13	1.529	D58	1.529
D33	1.528	D78	1.528
D6	1.513	D51	1.513
D25	1.491	D70	1.491
D34	1.487	D79	1.487
D35	1.475	D80	1.475
D37	1.472	D82	1.472
D16	1.459	D61	1.459
D36	1.448	D81	1.448
D44	1.407	D89	1.407
D4	1.352	D49	1.352
D27	1.340	D72	1.340
D43	1.331	D88	1.331
D5	1.319	D50	1.319
D14	1.304	D59	1.304
D26	1.301	D71	1.301
D15	1.249	D60	1.249

표 6

홈부의 중심 깊이의 기호	홈 깊이 [mm]	홈부의 중심 깊이의 기호	홈 깊이 [mm]
D37	2.204	D92	2.204
D36	2.185	D91	2.185
D22	2.163	D77	2.163
D49	2.160	D104	2.160
D23	2.143	D78	2.143
D2	2.128	D57	2.128
D48	2.093	D103	2.093
D1	2.089	D56	2.089
D38	2.084	D93	2.084
D50	2.068	D105	2.068
D10	2.033	D65	2.033
D11	2.027	D66	2.027
D21	2.020	D76	2.020
D35	2.011	D90	2.011
D12	2.009	D67	2.009
D24	2.001	D79	2.001
D13	1.999	D68	1.999
D3	1.988	D58	1.988
D9	1.977	D64	1.977
D14	1.971	D69	1.971
D47	1.927	D102	1.927
D39	1.912	D94	1.912
D29	1.906	D84	1.906
D28	1.899	D83	1.899
D55	1.894	D110	1.894
D15	1.881	D70	1.881
D51	1.855	D106	1.855
D25	1.848	D80	1.848
D8	1.838	D63	1.838
D27	1.825	D82	1.825
D30	1.801	D85	1.801
D26	1.784	D81	1.784
D20	1.778	D75	1.778
D40	1.777	D95	1.777
D46	1.765	D101	1.765
D34	1.764	D89	1.764
D4	1.759	D59	1.759
D16	1.724	D71	1.724
D41	1.714	D96	1.714
D42	1.698	D97	1.698
D43	1.685	D98	1.685
D45	1.678	D100	1.678
D54	1.671	D109	1.671
D44	1.666	D99	1.666
D7	1.662	D62	1.662
D52	1.643	D107	1.643
D31	1.638	D86	1.638
D5	1.579	D60	1.579
D33	1.572	D88	1.572
D19	1.564	D74	1.564

(계속)

홈부의 중심 깊이의 기호	홈 깊이 [mm]	홈부의 중심 깊이의 기호	홈 깊이 [mm]
D53	1.564	D108	1.564
D17	1.560	D72	1.560
D6	1.548	D61	1.548
D32	1.531	D87	1.531
D18	1.484	D73	1.484

표 7

홈부의 중심 깊이의 기호	홈 깊이 [mm]	홈부의 중심 깊이의 기호	홈 깊이 [mm]
D37	2.203	D92	2.203
D36	2.186	D91	2.186
D22	2.164	D77	2.164
D49	2.160	D104	2.160
D23	2.142	D78	2.142
D2	2.127	D57	2.127
D48	2.095	D103	2.095
D1	2.090	D56	2.090
D38	2.082	D93	2.082
D50	2.066	D105	2.066
D10	2.034	D65	2.034
D11	2.027	D66	2.027
D21	2.023	D76	2.023
D35	2.014	D90	2.014
D12	2.008	D67	2.008
D24	1.999	D79	1.999
D13	1.998	D68	1.998
D3	1.985	D58	1.985
D9	1.979	D64	1.979
D14	1.970	D69	1.970
D47	1.930	D102	1.930
D39	1.910	D94	1.910
D29	1.905	D84	1.905
D28	1.900	D83	1.900
D55	1.897	D110	1.897
D15	1.880	D70	1.880
D51	1.852	D106	1.852
D25	1.847	D80	1.847
D8	1.841	D63	1.841
D27	1.826	D82	1.826
D30	1.799	D85	1.799
D26	1.784	D81	1.784
D20	1.782	D75	1.782
D40	1.775	D95	1.775
D34	1.767	D89	1.767
D46	1.767	D101	1.767
D4	1.755	D59	1.755
D16	1.722	D71	1.722
D41	1.714	D96	1.714
D42	1.698	D97	1.698
D43	1.685	D98	1.685
D45	1.678	D100	1.678
D54	1.673	D109	1.673
D44	1.666	D99	1.666
D7	1.665	D62	1.665
D52	1.640	D107	1.640
D31	1.636	D86	1.636
D5	1.578	D60	1.578
D33	1.574	D88	1.574

(계속)

홈부의 중심 깊이의 기호	홈 깊이 [mm]	홈부의 중심 깊이의 기호	홈 깊이 [mm]
D19	1.566	D74	1.566
D53	1.564	D108	1.564
D17	1.558	D72	1.558
D6	1.549	D61	1.549
D32	1.530	D87	1.530
D18	1.484	D73	1.484

표 8

홈부의 중심 깊이의 기호	홈 깊이 [mm]	홈부의 중심 깊이의 기호	홈 깊이 [mm]
D37	2.047	D92	2.047
D36	2.030	D91	2.030
D22	2.006	D77	2.006
D49	2.002	D104	2.002
D23	1.978	D78	1.978
D2	1.971	D57	1.971
D1	1.928	D56	1.928
D48	1.926	D103	1.926
D38	1.907	D93	1.907
D50	1.895	D105	1.895
D10	1.854	D65	1.854
D21	1.848	D76	1.848
D11	1.843	D66	1.843
D35	1.836	D90	1.836
D12	1.821	D67	1.821
D13	1.814	D68	1.814
D24	1.812	D79	1.812
D3	1.808	D58	1.808
D9	1.796	D64	1.796
D14	1.787	D69	1.787
D47	1.738	D102	1.738
D29	1.721	D84	1.721
D28	1.711	D83	1.711
D39	1.710	D94	1.710
D55	1.704	D110	1.704
D15	1.690	D70	1.690
D51	1.650	D106	1.650
D8	1.642	D63	1.642
D25	1.637	D80	1.637
D27	1.621	D82	1.621
D30	1.601	D85	1.601
D20	1.573	D75	1.573
D26	1.568	D81	1.568
D40	1.561	D95	1.561
D34	1.555	D89	1.555
D46	1.554	D101	1.554
D4	1.544	D59	1.544
D16	1.513	D71	1.513
D41	1.496	D96	1.496
D42	1.484	D97	1.484
D43	1.472	D98	1.472
D45	1.458	D100	1.458
D44	1.448	D99	1.448
D54	1.446	D109	1.446
D7	1.442	D62	1.442
D31	1.413	D86	1.413
D52	1.407	D107	1.407
D5	1.341	D60	1.341
D33	1.336	D88	1.336
D19	1.329	D74	1.329

[0232]

(계속)

홈부의 중심 깊이의 기호	홈 깊이 [mm]	홈부의 중심 깊이의 기호	홈 깊이 [mm]
D17	1.324	D72	1.324
D53	1.320	D108	1.320
D6	1.308	D61	1.308
D32	1.289	D87	1.289
D18	1.237	D73	1.237

[0233]

[0234]

(비교를 위한 진동판의 제조 예)

[0235] 본 발명과의 비교를 위해, 77.0 mm의 2R, 67.1 mm의 2R_{in}, 5.0 mm의 T_{dia}, 90의 X 및 1.69의 L_{top}/L_{btm}를 갖는 진동판(V9R)이 진동판(V1)과 동일한 원료 및 제조 방법을 사용하여 제조되었다. 진동판(V9R)의 90 홈 영역의 중심 깊이(D₁ 내지 D₉₀)은 모두 1.85 mm로 설정되었다.

[0236] 추가적으로, 본 발명과의 비교를 위해, 88.0 mm의 2R, 76.0 mm의 2R_{in}, 5.0 mm의 T_{dia}, 110의 X 및 1.51의 L_{top}/L_{btm}를 갖는 진동판(V10R)이 진동판(V6)과 동일한 원료 및 제조 방법을 사용하여 제조되었다. 진동판(V10R)의 110 홈 영역의 중심 깊이(D₁ 내지 D₁₁₀)은 모두 1.95 mm로 설정되었다. 여기서, 본 발명의 진동판(V1 내지 V8)과 비교를 위한 진동판(V9R 및 V10R)의 특징이 표 9에 요약되어 있다.

표 9

진동판	외경 (2R) [mm]	내경 (2R _{in}) [mm]	T _{dia} [mm]	홈 수 [부분]	L _{top} [mm]	L _{btm} [mm]	L _{top} /L _{btm}	국소 최대치 [개]	국소 최소치 [개]	D ₁ 내지 D _X 의 최대값과 최소값 사이의 차이 [mm]
V1	77.0	67.1	5.0	90	1.688	1.000	1.69	16	16	0.534
V2	77.0	67.1	5.0	90	1.688	1.000	1.69	16	16	0.505
V3	77.0	67.1	5.0	90	1.688	1.000	1.69	12	12	0.715
V4	77.0	67.1	6.0	90	1.688	1.000	1.69	12	12	0.813
V5	85.0	73.5	5.0	110	1.528	0.900	1.70	12	12	0.720
V6	88.0	76.0	5.0	110	1.513	1.000	1.51	12	12	0.719
V7	88.0	76.0	4.0	110	1.513	1.000	1.51	12	12	0.809
V8	62.0	54.3	5.0	75	1.597	1.000	1.60	12	12	0.842
V9R	77.0	67.1	5.0	90	1.688	1.000	1.69	0	0	0.000
V10R	88.0	76.0	5.0	110	1.513	1.000	1.51	0	0	0.000

진동판	T _{dia} 에 관한 D ₁ 내지 D _X 의 최대값과 최소값 사이의 차이	D _{ave} [mm]	T _{dia} 에 관한 D ₁ 내지 D _X 의 평균값	정원파의 수	국소 최대치에 도달하는 홈부의 D _{ave} [mm]의 1.15배 이상이고 1.30배 이하인 홈부의 수	가장 큰 홈부와 두 번째 가장 큰 홈부 사이의 홈부의 수 (I)
V1	10.7%	1.85	37.0%	2	0	5
V2	10.1%	1.65	33.0%	2	2	21
V3	14.3%	1.85	37.0%	4	8	9
V4	13.5%	1.65	27.5%	4	8	11
V5	14.4%	1.85	37.0%	4	8	14
V6	14.4%	1.85	37.0%	4	6	14
V7	20.2%	1.65	41.3%	4	8	14
V8	16.8%	1.65	33.0%	4	8	28
V9R	0.0%	1.85	37.0%	0	0	0
V10R	0.0%	1.95	39.0%	0	0	0

[0237]

- [0238] (진동판의 홈 영역의 중심 깊이의 변화의 확인)
- [0239] 본 발명의 진동자 및 초음파 모터에 사용되는 진동판(V1 내지 V8)과 비교를 위한 진동판(V9R 및 V10R)이 각 홈 영역의 중심 깊이에 대하여 측정되었다. 이들 중심 깊이의 값의 열에 급속 푸리에 변환이 적용되어 진동체의 일 주기를 한 사이클로 하는 공간 주파수가 변수인 함수로 변환되었다. 계산 결과가 도 13a 내지 도 13c에 도시되어 있다.
- [0240] 도 13a는 진동판(V1)의 계산 결과를 보여주는 그래프이다. 실질적으로 동일한 플롯이 진동판(V2)에 대해서도 얻어졌다. 도 13a로부터, 진동판의 홈 영역의 중심 깊이가 12 및 16의 공간적 주파수를 갖는 두 개의 정현파의 합성 파를 따라 변한다는 것을 이해할 수 있다.
- [0241] 도 13b는 진동판(V3)의 계산 결과를 보여주는 그래프이다. 실질적으로 동일한 플롯이 진동판(V4 내지 V8)에 대해서도 얻어졌다. 도 13b로부터, 진동판의 홈 영역의 중심 깊이가 8, 10, 12 및 16의 공간적 주파수를 갖는 네 개의 정현파의 합성 파를 따라 변한다는 것을 이해할 수 있다.
- [0242] 도 13c는 진동판(V9R)의 계산 결과를 보여주는 그래프이다. 실질적으로 동일한 플롯이 진동판(V10R)에 대해서도 얻어졌다. 홈 영역의 중심 깊이에 어떠한 변화도 존재하지 않으며, 따라서, 플롯의 수직 축으로 표현되는 진폭은 변하지 않는다.
- [0243] (진동자의 제조 예 및 비교 예)
- [0244] 도 14a 내지 도 14d는 각각 본 발명의 진동자와 초음파 모터를 제조하는 방법의 예를 예시하기 위한 개략적 단계도이다.
- [0245] 제조 예에서 설명된 조성 1 및 조성 2를 갖는 압전 세라믹과 본 발명의 진동판(V1 내지 V8) 및 비교를 위한 진동판(V9R 및 V10R)이 조합되어 20개 진동자를 제조하였다. 그 제조 예가 표 10에 나타나 있다.

표 10

		진동판	압전 세라믹
제조 예 1	예 1	V1	조성 1
제조 예 2	예 2	V2	조성 1
제조 예 3	예 3	V3	조성 1
제조 예 4	예 4	V4	조성 1
제조 예 5	예 5	V5	조성 1
제조 예 6	예 6	V6	조성 1
제조 예 7	예 7	V7	조성 1
제조 예 8	예 8	V8	조성 1
제조 예 9	비교예 1	V9R	조성 1
제조 예 10	비교예 2	V10R	조성 1
제조 예 11	예 9	V1	조성 2
제조 예 12	예 10	V2	조성 2
제조 예 13	예 11	V3	조성 2
제조 예 14	예 12	V4	조성 2
제조 예 15	예 13	V5	조성 2
제조 예 16	예 14	V6	조성 2
제조 예 17	예 15	V7	조성 2
제조 예 18	예 16	V8	조성 2
제조 예 19	비교예 3	V9R	조성 2
제조 예 20	비교예 4	V10R	조성 2

- [0247] 먼저, 도 14a에 예시된 환형 압전 세라믹 편(1021)에 은 페이스트의 스크린 인쇄가 이루어져서 도 14c에 예시된 바와 같이 하나의 표면 상에 공통 전극(1022)이 형성되었고, 도 14b에 도시된 바와 같이 다른 표면 상에서 12 부분에 분극 전극(102311), 3 부분에 비구동 상 전극(10232) 및 1 부분에 검지 상 전극(10233)이 형성되었다. 이 경우에, 도 14b에 예시된 각각의 인접한 전극 사이의 거리는 0.5 mm로 설정되었다.
- [0248] 다음에, 압전 소자의 팽창 및 수축 극성이 도 4a에 도시된 바와 같아지도록 DC 전원을 사용하여 공기 중에서 공통 전극(1022)과 분극 전극(102311), 비구동 상 전극(10232 및 검지 상 전극(10233) 사이에 분극 처리가 수행되

었다. 전압은 1.0 kV/mm의 전기장이 인가되는 값으로 설정되었고, 온도 및 전압 인가 시간은 각각 100° C와 60 분으로 설정되었다. 전압은 40° C에 도달될 때까지 온도가 감소하는 도중에 인가되었다.

[0249] 다음에, 도 14d에 예시된 바와 같이, 분극 전극(102311)을 연결하기 위해, 은 페이스트를 사용하여 연결 전극(102312)이 형성되고, 양 종류의 전극이 조합되어 2 부분에서 구동 상 전극(10231)을 형성함으로써 압전 소자(102)가 제공되었다. 은 페이스트는 압전 세라믹 편(1021)의 탈분극 온도보다 충분히 낮은 온도에서 건조되었다. 구동 상 전극(10231)의 저항이 회로 시험기(전기 시험기)로 측정되었다. 회로 시험기의 일측은 검지 상 전극(10233)에 가장 근접한 분극 전극(102311)의 일부의 표면과 접촉되고, 그 다른측은 구동 상 전극(10231)의 환형 형상의 원주 방향으로 검지 상 전극(10233)으로부터 가장 먼 분극 전극(102311)의 일부의 표면과 접촉되었다. 결과적으로, 구동 상 전극(10231)의 저항은 0.6 Ω 이었다.

[0250] 이러한 단계에서, 압전 소자(102)의 표본 검사로서, 시편이 절취되고, 압전 세라믹 편(1021)의 다양한 특성이 평가되었다. 구체적으로, 압전 소자(102)에서, 예로서, 10 mm의 길이, 2.5 mm의 폭 및 0.05 mm의 두께를 갖는 직사각형 스트립이 일 분극 전극(102311)의 영역으로부터 절취되었다. 스트립은 실온(20° C)에서 공진-반공진 법에 의해 측정되어 압전 상수(d_{31}), 기계적 품질 계수(Q_m) 및 영률(Y_{11})이 얻어졌다. 결과가 표 11에 도시되어 있다.

표 11

압전 세라믹	압전 상수	기계적 품질 계수	영률 Y_{11} [10^9 Pa]
	d_{31} [pm/V]	Q_m [-]	
조성 1	85	1,300	125
조성 2	100	1,500	115

[0252] (주) 실온(20° C)에서의 측정 결과

[0253] 다음에, 도 14e에 도시된 바와 같이, 가요성 인쇄 기관(3)이 습기 경화성 에폭시 수지 접착제를 사용하여 실온 공정으로 압전 소자(102)의 2 부분의 구동 상 전극(10231), 2 부분의 비구동 상 전극(10232) 및 검지 상 전극(10233)에 걸쳐 연장하는 영역 상에 가압 접합되었다. 가요성 인쇄 기관(3)은 전극 그룹에 전기를 공급하고 검지 신호를 취출할 목적으로 배열되는 요소이며, 전기 배선(301) 절연 기저막(302) 및 외부 구동 회로에 연결되는 커넥터 영역(미도시)을 포함한다.

[0254] 다음에, 도 1a에 예시된 바와 같이, 압전 소자(102)가 습기 경화성 에폭시 수지 접착제를 사용하여 실온 공정으로 진동판(101)(V1 내지 V8, V9R, 및 V10R 중 임의의 것)의 제1 표면 상에 가압 접합되었고, 3 부분의 비구동 상 전극(10232) 및 진동판(101)이 은 페이스트로 형성된 단락 배선(미도시)을 통해 서로 연결되어 본 발명의 진동자(1) 또는 비교 대상 진동자를 제조하였다. 은 페이스트는 압전 세라믹 편(1021)의 탈분극 온도보다 충분히 낮은 온도에서 건조되었다. 경화 이후 에폭시 접착제의 실온에서의 영률은 JIS K6911에 따라 약 2.5 GPa가 되는 것으로 측정되었다.

[0255] 본 발명의 진동판(V1 내지 V8)을 사용한 각 진동자(1)에서 검지 상 전극(10233)에 가장 근접하도록 가압 접합된 홈 영역(D_{sen}), 홈 영역(D_{sen+1}) 및 홈 영역(D_{sen-1})의 관계가 표 12에 도시되어 있다. 표 12에서, D_x 의 첨자는 첨자가 시각적으로 쉽게 인식될 수 있도록 큰 크기로 표시되어 있다.

표 12

		진동판	홈 영역의 중심 깊이의 기호			홈 깊이 [mm]			$ D_{sen+1} - D_{sen-1} / D_{sen}$
			D_{sen-1}	D_{sen}	D_{sen+1}	D_{sen-1}	D_{sen}	D_{sen+1}	
제조 예 1	예 1	V1	D14	D15	D16	1.892	1.851	1.871	1.1%
제조 예 2	예 2	V2	D28	D29	D30	1.646	1.708	1.665	1.1%
제조 예 3	예 3	V3	D22	D23	D24	1.868	1.942	1.871	0.2%
제조 예 4	예 4	V4	D35	D36	D37	1.475	1.448	1.472	0.2%
제조 예 5	예 5	V5	D72	D73	D74	1.560	1.484	1.564	0.3%
제조 예 6	예 6	V6	D43	D44	D45	1.685	1.666	1.678	0.4%
제조 예 7	예 7	V7	D72	D73	D74	1.324	1.237	1.329	0.3%

제조 예 8	예 8	V8	D45	D46	D47	1.797	1.852	1.809	0.7%
제조 예 11	예 9	V1	D14	D15	D16	1.892	1.851	1.871	1.1%
제조 예 12	예 10	V2	D28	D29	D30	1.646	1.708	1.665	1.1%
제조 예 13	예 11	V3	D22	D23	D24	1.868	1.942	1.871	0.2%
제조 예 14	예 12	V4	D35	D36	D37	1.475	1.448	1.472	0.2%
제조 예 15	예 13	V5	D72	D73	D74	1.560	1.484	1.564	0.3%
제조 예 16	예 14	V6	D43	D44	D45	1.685	1.666	1.678	0.4%
제조 예 17	예 15	V7	D72	D73	D74	1.324	1.237	1.329	0.3%
제조 예 18	예 16	V8	D45	D46	D47	1.797	1.852	1.809	0.7%

- [0257] (진동자의 공진 주파수에서의 불필요 진동파의 평가)
- [0258] 상술한 제조 예 각각에서 얻어진 본 발명의 진동자(1)의 공진 주파수가 측정되어 발생하는 굽힘 진동파의 수가 결정되고, 비교를 위한 진동기와와의 차이가 평가된다.
- [0259] 각 구동 상 전극(상 A 및 상 B)(10231)에 대하여 공진 주파수가 측정되었다. 먼저, 상 A 전극에만 교번 전압을 인가하기 위해, 상 B 전극 및 검지 상 전극(10233)은 가요성 인쇄 기관(3)의 커넥터 영역을 사용하여 비구동 상 전극(10232)에 단락되고, 단락 영역은 배선을 통해 평가를 위한 외부 전원의 접지측에 연결된다. 1V의 진폭 및 가변 주파수를 갖는 교번 전압이 상 A 전극에 인가되었고, 그에 의해, 실온에서 임피던스가 측정되었다. 주파수는 고 주파수 측, 예로서, 50 kHz로부터 저 주파수 측, 예로서, 1 Hz까지 변화였다. 그후, 상 A 전극 및 검지 상 전극(10233)이 비구동 상 전극(10232)에 단락되고, 교번 전압이 상 B 전극에만 인가되었다. 그후, 임피던스의 주파수 의존성이 유사하게 측정되었다.
- [0260] 도 15a는 본 발명의 진동자(1)의 실온에서의 임피던스 곡선의 일 예를 도시하는 그래프이고, 도 15b는 비교를 위한 진동자의 실온에서의 임피던스 곡선의 일 예를 도시하는 그래프이다. 도 15a는 제조 예 12에서 설명된 조성 2를 갖는 압전 세라믹에서 진동판(V2)을 사용한 진동자(1)의 임피던스 측정 결과를 보여주는 그래프이고, 도 15b는 제조 예 19에 설명된 조성 2를 갖는 압전 세라믹에서 진동판(V9R)을 사용한 비교를 위한 진동자의 임피던스 측정 결과를 보여주기 위한 그래프이다. 다른 조합에 의해 얻어진 본 발명의 진동자(1)에서, 도 15a의 것과 유사한 형상을 갖는 임피던스 곡선이 얻어졌다. 다른 조합에 의해 얻어진 비교를 위한 진동자에서, 도 15b의 것과 유사한 형상을 갖는 임피던스 곡선이 얻어졌다.
- [0261] 임피던스 측정은 50 kHz로부터 1 Hz까지 수행되었지만, 도 15a 및 도 15b에서, 특성 피크가 나타나는 15 kHz 내지 40 kHz의 결과가 확대된 방식으로 도시되어 있다. 곡선의 중첩을 제거하기 위해, 상 B의 임피던스는 1,000 회 교정되었다. 도 15a 및 도 15b의 임피던스 곡선에서 관찰된 복수의 첨예한 피크는 공진에 의해 유발되는 6차, 7차 및 8차 정재파의 발생에 대응하는 피크이다. 하향 피크의 국소 최소값이 공진 주파수로서 규정된다. 각 피크에 대응하는 파수는 레이저 변위 게이지를 사용하여 실제로 환경 진동자(1)의 표면의 변위를 관찰함으로써 이해된다.
- [0262] 홈 영역의 중심 깊이가 도 15b에서와 같이 변하지 않는 진동판(V9R 또는 V10R)을 사용한 비교를 위한 진동자(제조 예 9, 10, 19 및 20)에서, 6차, 7차 및 8차 공진 주파수는 상 A와 상 B에서 각각 측정된 임피던스 곡선 사이에서 일치되었다. 즉, 상 A 정재파와 상 B 정재파가 조합될 때, 원하는 7차 진행파 이외의 6차 및 8차 불필요 진행파도 발생되었다.
- [0263] 한편, 도 15a에 도시된 바와 같이 홈 영역의 중심 깊이가 본 발명에 따라 변하는 진동판(V1 내지 V8)을 사용한 본 발명의 진동자(제조 예 1 내지 8 및 11 내지 18)에서, 원하는 7차 공진 주파수는 상 A 및 상 B에서 각각 측정되는 임피던스 곡선 사이에서 일치하였다. 그러나, 제조 예 1, 2, 11 및 12에서 6차 및 8차 불필요 공진 주파수는 다른 피크 위치를 나타내었고, 제조 예 3 내지 8 및 13 내지 18에서, 4차, 5차, 6차 및 8차 불필요 공진 주파수가 다른 피크 위치를 나타내었다. 즉, 상 A 정재파와 상 B 정재파가 조합될 때, 원하는 7차 진행파의 발생에 관하여 불필요 진행파의 발생이 억제된다는 것이 밝혀졌다. 여기서, n차 공진 주파수에 관한 상 A 및 상 B의 주파수의 분리도($F_{res}(n)$)(단위: %)가 이하의 수학적 식 (2)에 의해 규정된다.

$$F_{res}(n) = \left| \frac{2(F_A(n) - F_B(n))}{F_A(n) + F_B(n)} \right| \times 100 \quad \text{수학적 식 2}$$

- [0264]
- [0265] 수학적 식 (2)에서, $F_A(n)$ 은 상 A 전극에만 교번 전압을 인가함으로써 얻어진 임피던스 곡선에서의 n차 공진 주파

수를 나타낸다. 유사하게, $F_B(n)$ 은 상 B 전극에서 측정된 임피던스 곡선에서의 n차 공진 주파수를 나타낸다.

본 발명의 진동자(1)와 비교를 위한 진동자에서의 $F_{res}(n)$ 의 결과가 표 13에 나타나 있다.

표 13

		진동판	압전 세라믹	$F_{res}(4)$ [%]	$F_{res}(5)$ [%]	$F_{res}(6)$ [%]	$F_{res}(7)$ [%]	$F_{res}(8)$ [%]
제조 예 1	예 1	V1	조성 1	0	0	3.8	0	3.8
제조 예 2	예 2	V2	조성 1	0	0	3.7	0	3.5
제조 예 3	예 3	V3	조성 1	3.8	3.7	3.6	0	3.5
제조 예 4	예 4	V4	조성 1	3.8	3.5	3.8	0	3.6
제조 예 5	예 5	V5	조성 1	3.5	3.7	3.5	0	3.5
제조 예 6	예 6	V6	조성 1	3.7	3.6	3.7	0	3.5
제조 예 7	예 7	V7	조성 1	3.6	3.6	3.8	0	3.8
제조 예 8	예 8	V8	조성 1	3.5	3.7	3.7	0	3.6
제조 예 9	비교예 1	V9R	조성 1	0	0	0	0	0
제조 예 10	비교예 2	V10R	조성 1	0	0	0	0	0
제조 예 11	예 9	V1	조성 2	0	0	3.8	0	3.7
제조 예 12	예 10	V2	조성 2	0	0	3.6	0	3.6
제조 예 13	예 11	V3	조성 2	3.8	3.6	3.8	0	3.7
제조 예 14	예 12	V4	조성 2	3.5	3.5	3.6	0	3.5
제조 예 15	예 13	V5	조성 2	3.7	3.7	3.7	0	3.6
제조 예 16	예 14	V6	조성 2	3.6	3.8	3.8	0	3.6
제조 예 17	예 15	V7	조성 2	3.6	3.8	3.6	0	3.6
제조 예 18	예 16	V8	조성 2	3.7	3.7	3.6	0	3.8
제조 예 19	비교예 3	V9R	조성 2	0	0	0	0	0
제조 예 20	비교예 4	V10R	조성 2	0	0	0	0	0

(주) 실온(20° C)에서의 측정 결과

(이동 부재의 제조 예)

본 발명의 초음파 모터와 비교를 위한 초음파 모터에 사용되도록 환형 이동 부재(2)가 제조되었다. 77.0 mm의 외경, 67.1 mm의 내경 및 5 mm의 두께를 갖는 환형 이동 부재가 제조 예 1 내지 4, 9, 11 내지 14 및 19를 위해 제조되었다. 85.0 mm의 외경, 73.5 mm의 내경 및 5 mm의 두께를 갖는 환형 이동 부재가 제조 예 5 및 15를 위해 제조되었다. 88.0 mm의 외경, 76.0 mm의 내경 및 5 mm의 두께를 갖는 환형 이동 부재가 제조 예 6, 7, 10, 16, 17 및 20을 위해 제조되었다.

62.0 mm의 외경, 54.3 mm의 내경 및 5 mm의 두께를 갖는 환형 이동 부재가 제조 예 8 및 18을 위해 제조되었다.

이동 부재를 위한 재료로서 알루미늄 금속이 사용되었고, 블록 머시닝에 의해 성형되었다. 그후, 표면에 알루미늄 처리가 이루어졌다.

(초음파 모터의 비교예 및 제조 예)

도 1a 및 도 2에 예시된 바와 같이, 진동판(101)의 크기로 조절된 이동 부재(2)가 본 발명의 진동자(1)의 제2 표면과 가압 접촉됨으로써 본 발명의 초음파 모터가 제조되었다. 유사하게, 비교를 위한 초음파 모터가 제조되었다.

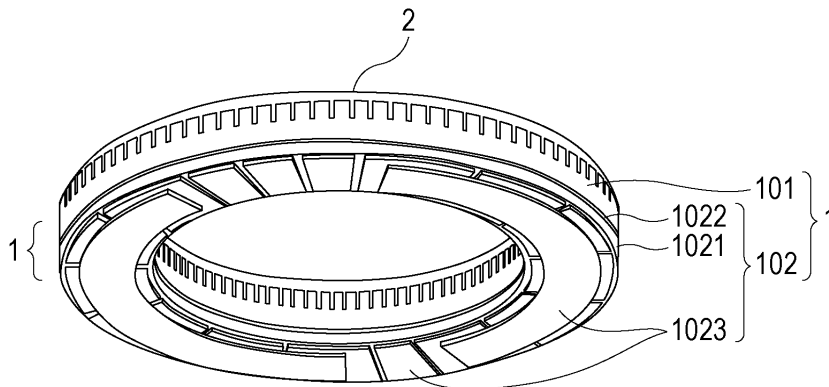
(구동 제어 시스템의 비교예 및 제조 예)

본 발명의 초음파 모터의 구동 상 전극(10231), 공통 전극(1022)에 단락된 비구동 상 전극(10232) 및 검지 상 전극(10233)이 가요성 인쇄 기판(3)의 커넥터 영역을 사용하여 외부 구동 회로에 전기적으로 연결됨으로써 도 8에 예시된 바와 같은 구성을 갖는 본 발명의 구동 제어 시스템이 제조되었다. 외부 구동 회로는 초음파 모터를 구동하도록 구성된 제어 유닛 및 제어 유닛의 명령에 응답하여 7차 굽힘 진동파를 발생시키도록 교번 전압을 출력하게 구성된 신호 발생 유닛을 포함한다.

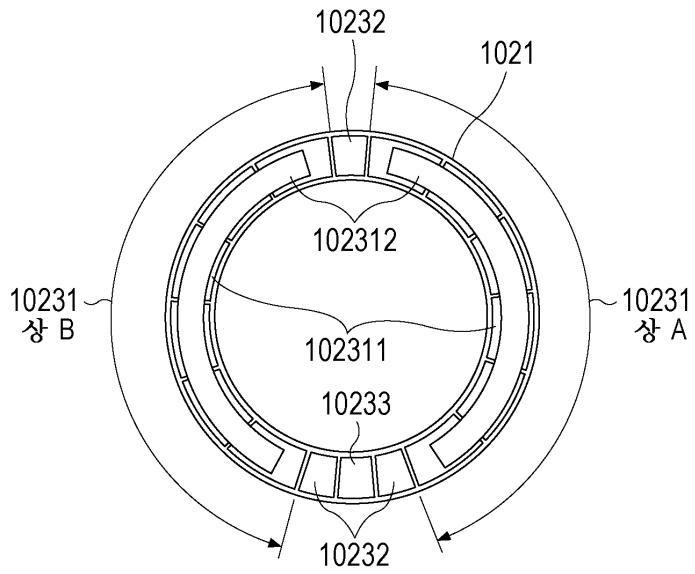
- [0277] 유사하게, 비교를 위한 구동 제어 시스템이 제조되고, 본 발명의 구동 제어 시스템 및 비교를 위한 구동 제어 시스템에 구동 시험이 이루어졌다.
- [0278] 이동 부재(2)에 150 gf·cm(약 1.5 N·cm)의 부하가 인가되고, 70 V의 진폭을 갖는 교번 전압이 상 A 및 상 B에 인가되었다. 상 A 및 상 B에서 구동 제어 시스템 중 임의의 것에 $\pi/2$ 의 시간적 위상차로 동일한 주파수가 인가되도록 40 kHz로부터 25 kHz까지 주파수가 변화되었다.
- [0279] 결과적으로, 임의의 회전 방향에서 등가 회전 구동이 관찰되었고, 회전 구동 동안 이상 소음은 발생되지 않았다. 한편, 비교를 위한 구동 제어 시스템에서, 회전 구동 동안 이상 소음이 발생되었다.
- [0280] (광학 기기의 제조 예)
- [0281] 본 발명의 구동 제어 시스템을 사용하여 도 9a, 도 9b 및 도 10에 예시된 광학 기기가 제조되었으며, 교번 전압의 인가에 따라 오토포커스 동작이 확인되었다.
- [0282] 본 발명에 따르면, 높은 환경적 안전성을 갖는 무연 압전 세라믹이 사용될 때에도 충분한 구동 속도가 나타나고, 이상 소음의 발생이 억제되는, 7차 굽힘 진동파에 의해 이동 부재를 회전시키도록 구성된 초음파 모터, 초음파 모터를 사용하는 광학 기기와 구동 제어 시스템 및 초음파 모터에 사용되는 진동자가 제공된다.
- [0283] 예시적 실시예를 참조로 본 발명을 설명하였지만, 본 발명은 개시된 예시적 실시예에 한정되지 않음을 이해하여야 한다. 이하의 청구범위의 범주는 모든 이런 변형 및 균등 구조와 기능을 포함하도록 가장 넓은 해석에 따라야 한다.

도면

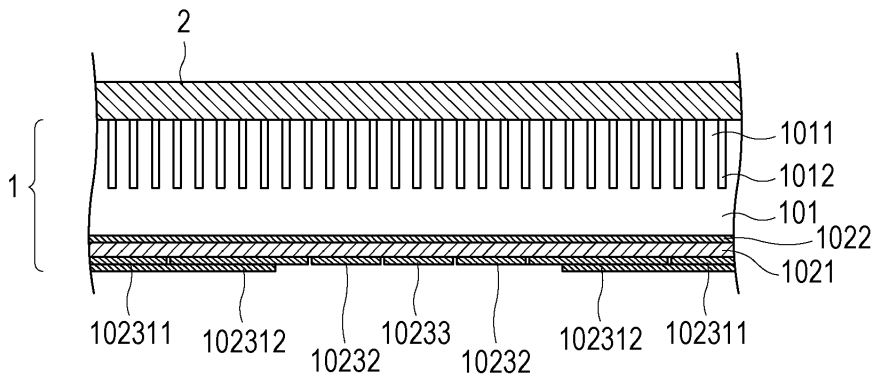
도면1a



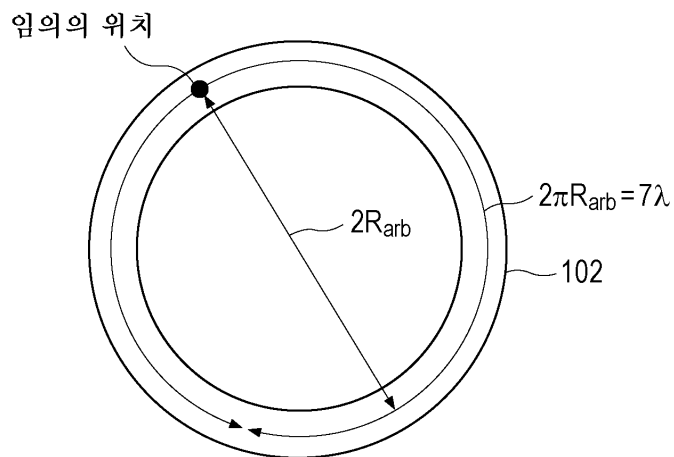
도면1b



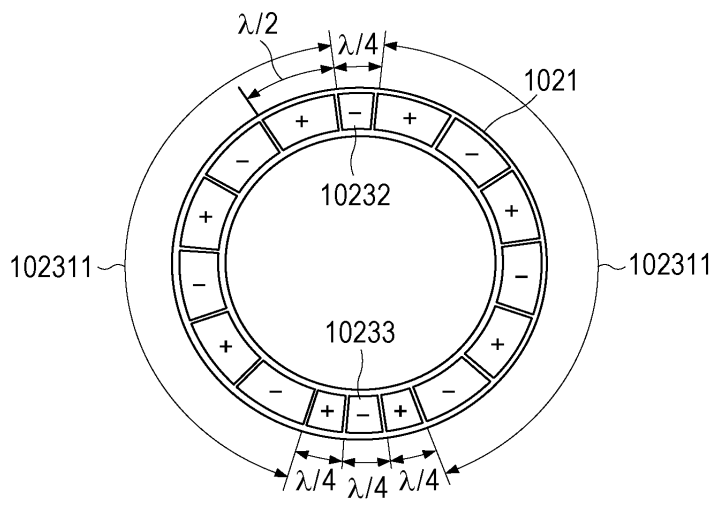
도면2



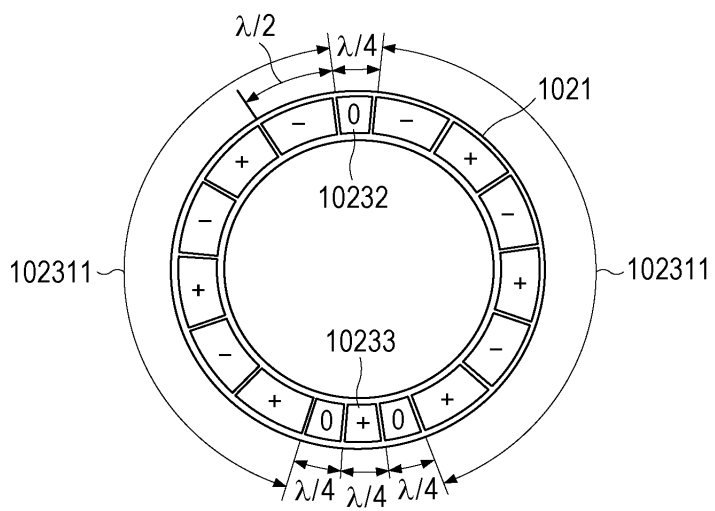
도면3



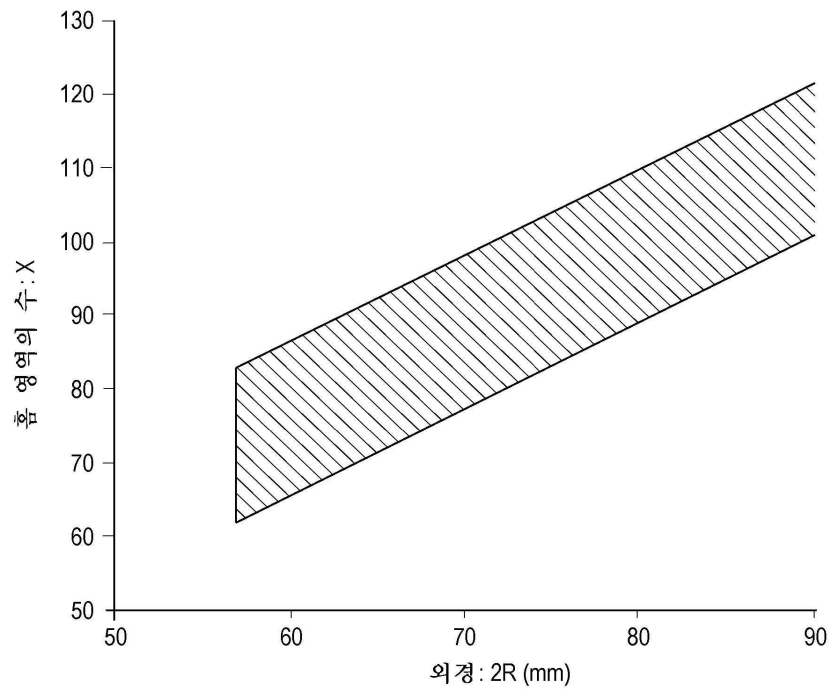
도면4a



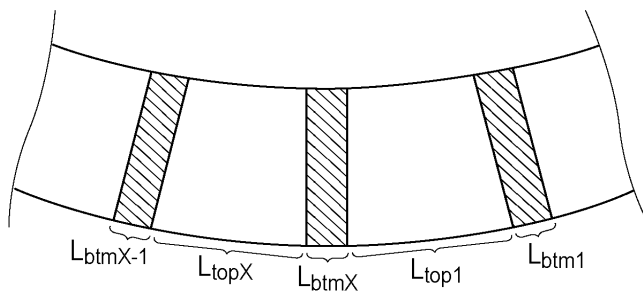
도면4b



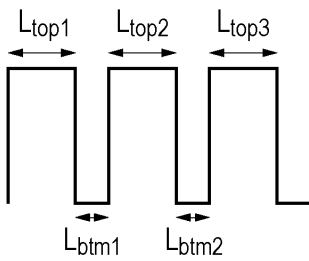
도면5



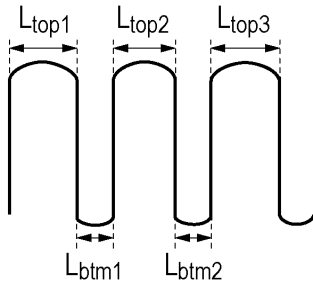
도면6a



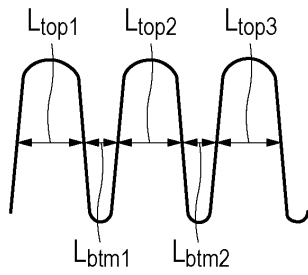
도면6b



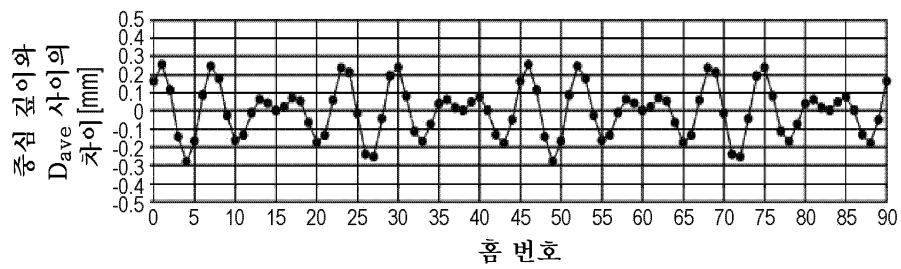
도면6c



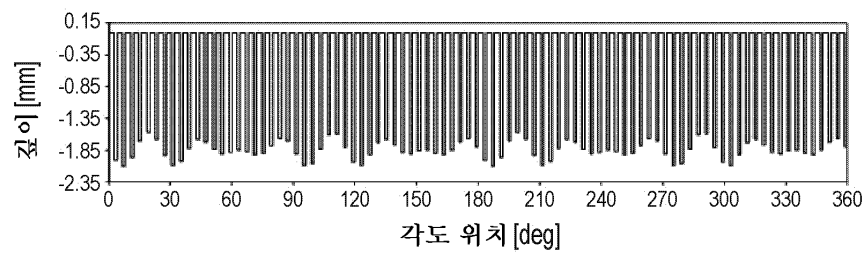
도면6d



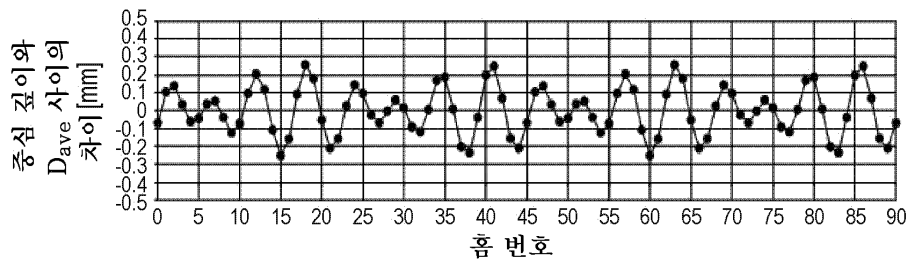
도면7a



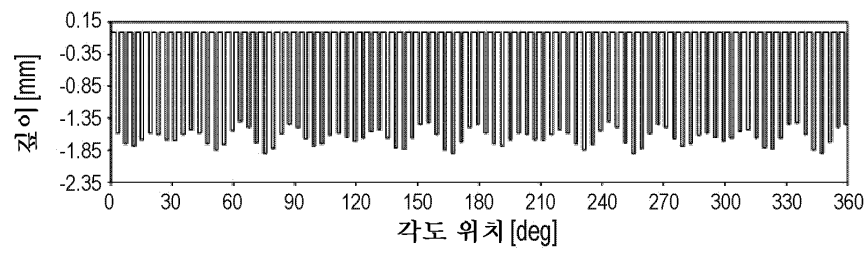
도면7b



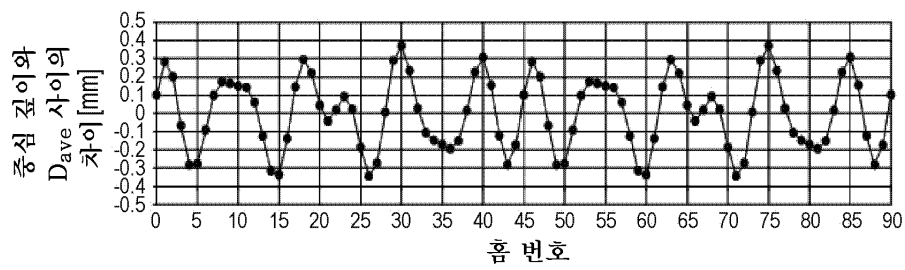
도면7c



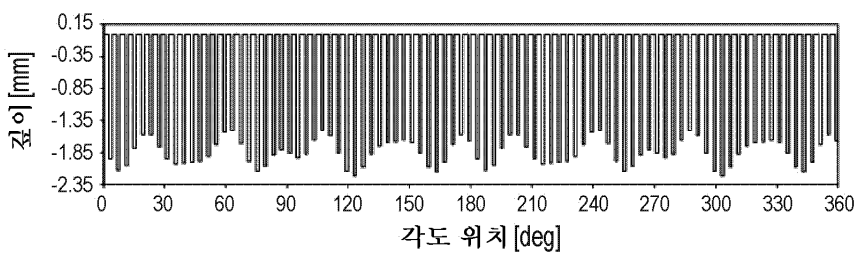
도면7d



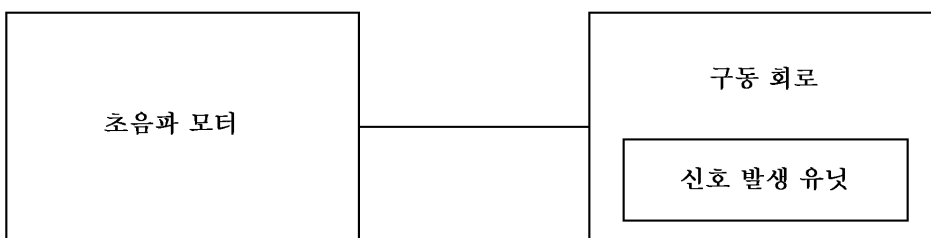
도면7e



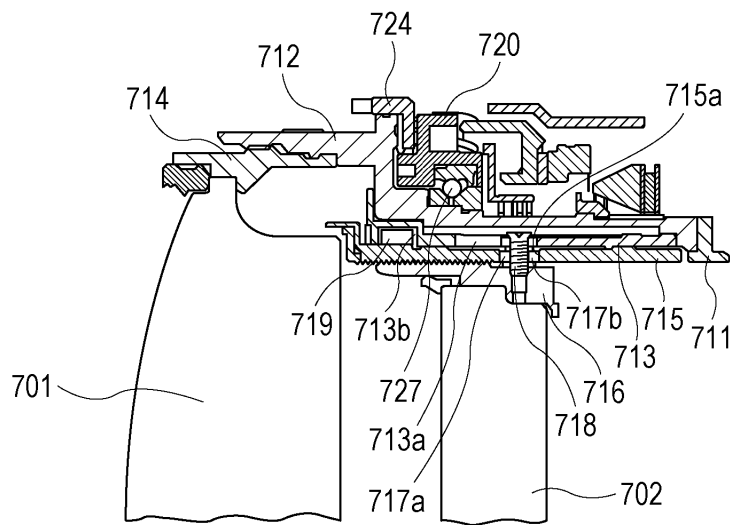
도면7f



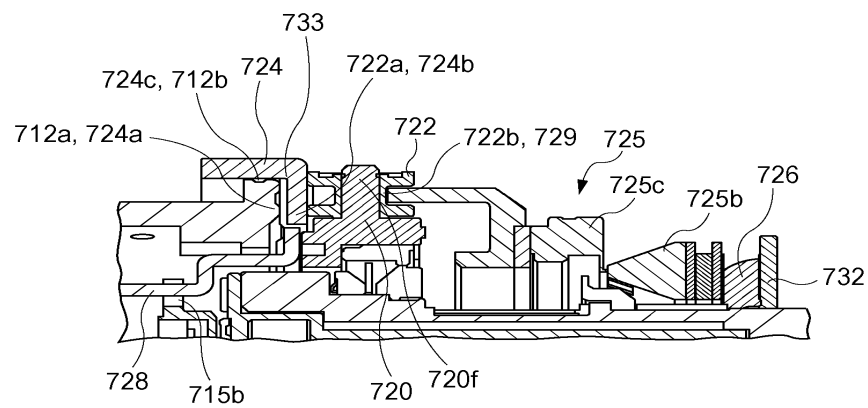
도면8



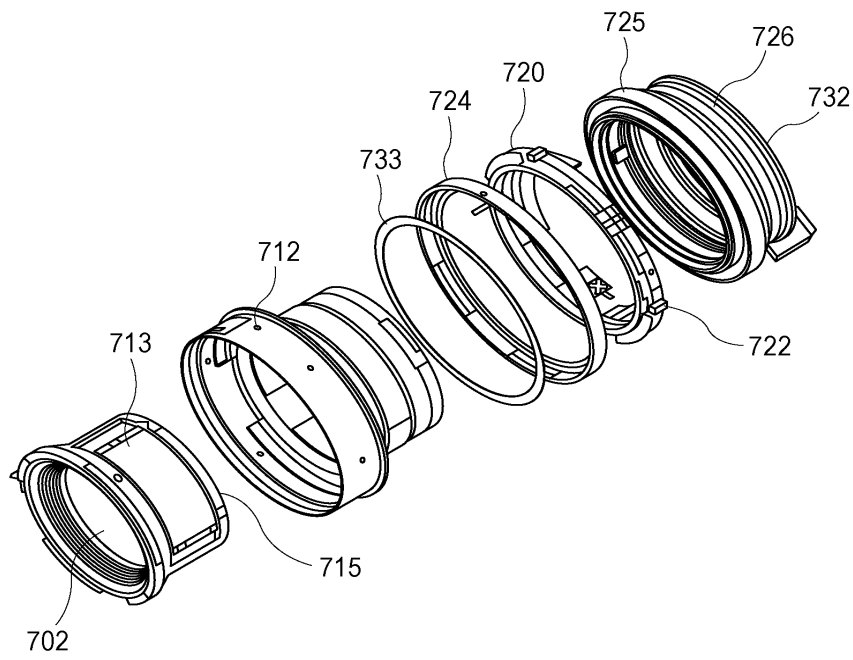
도면9a



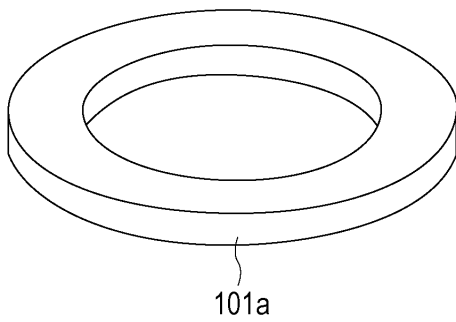
도면9b



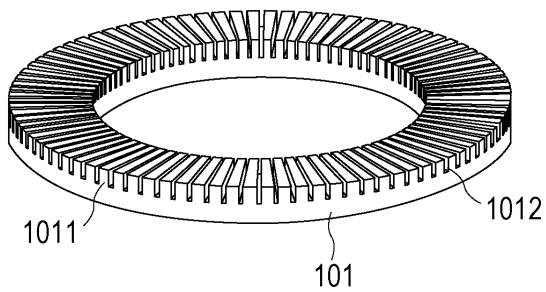
도면10



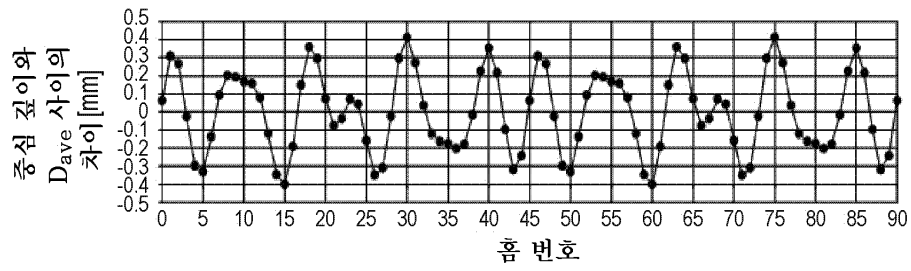
도면11a



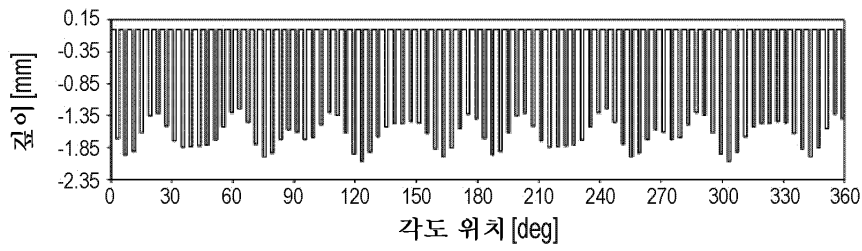
도면11b



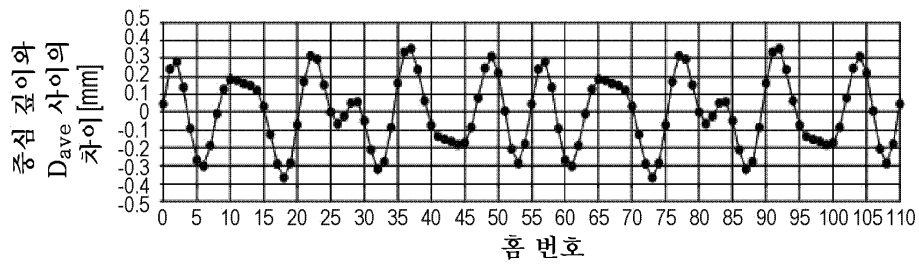
도면12a



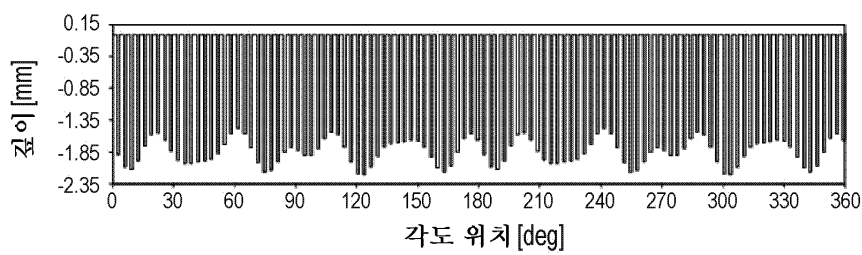
도면12b



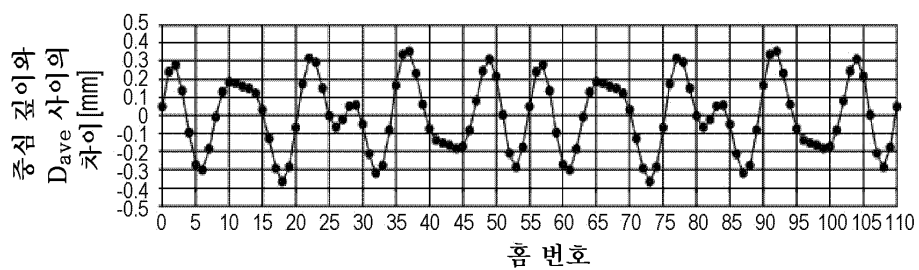
도면12c



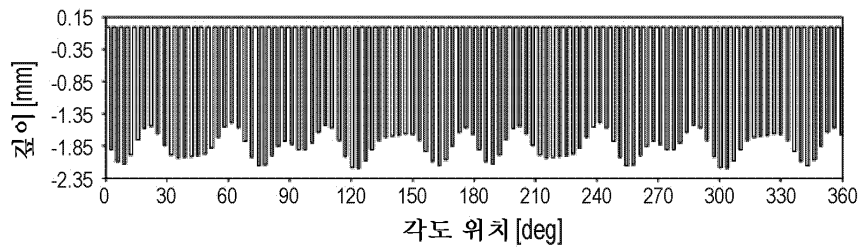
도면12d



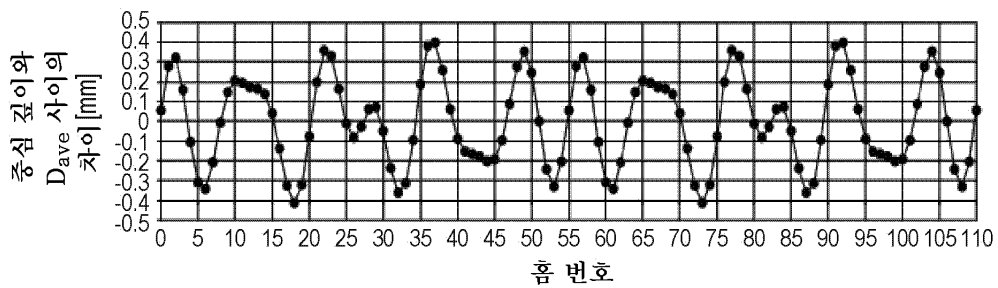
도면12e



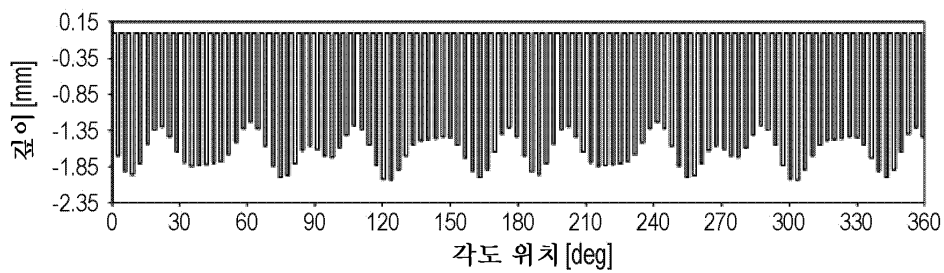
도면12f



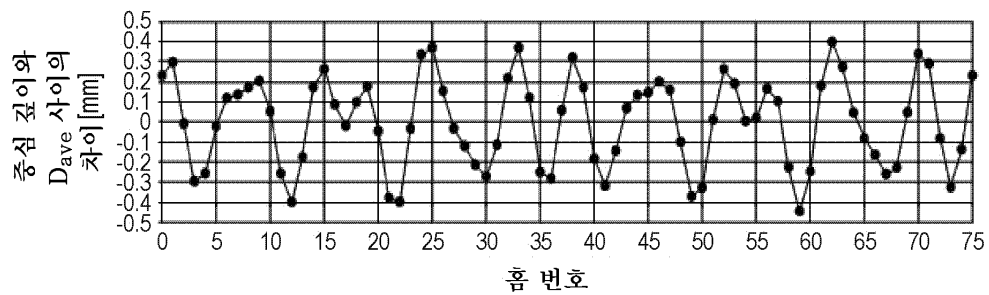
도면12g



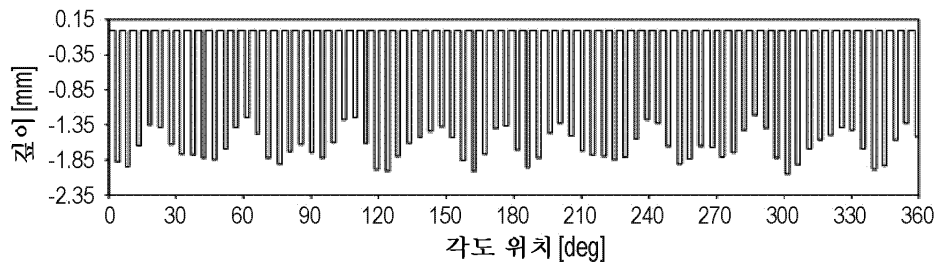
도면12h



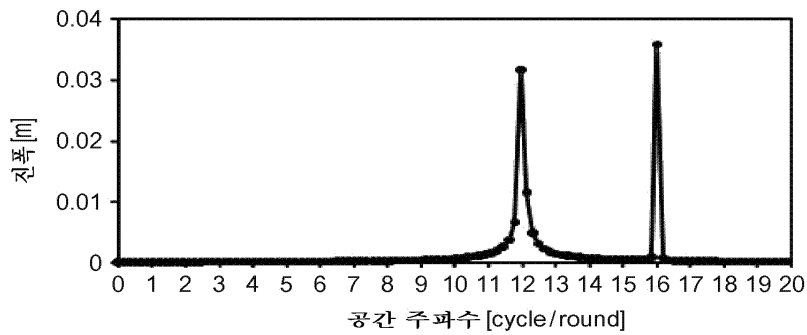
도면12i



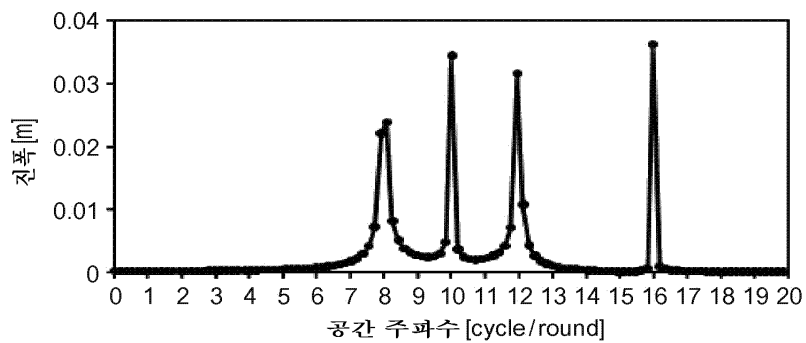
도면12j



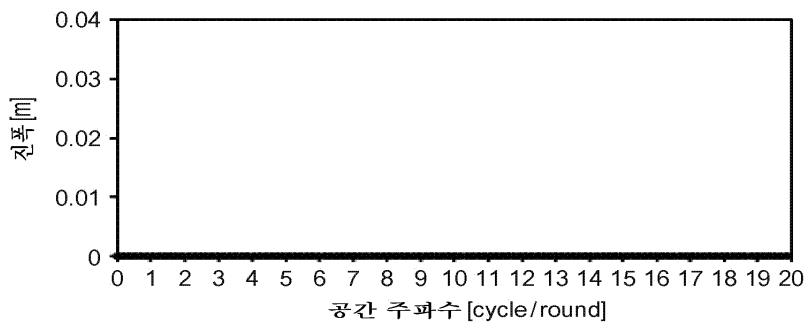
도면13a



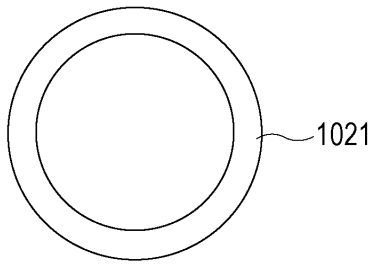
도면13b



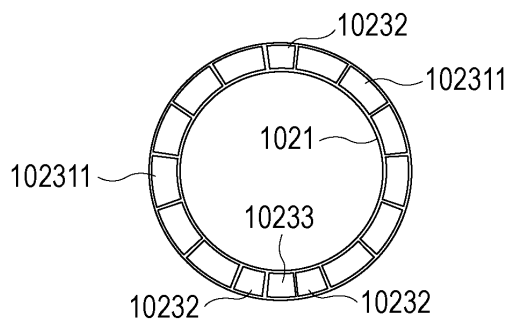
도면13c



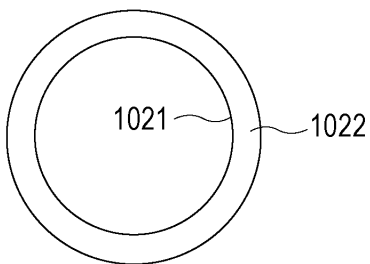
도면14a



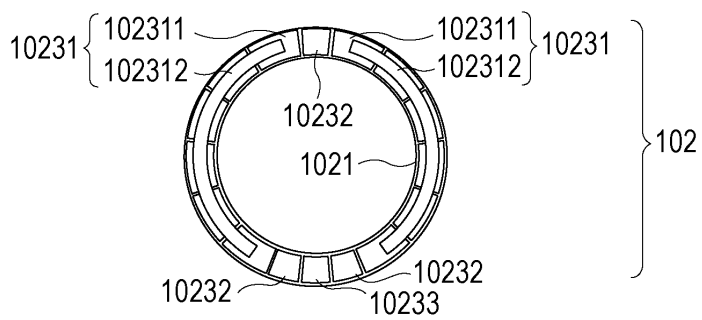
도면14b



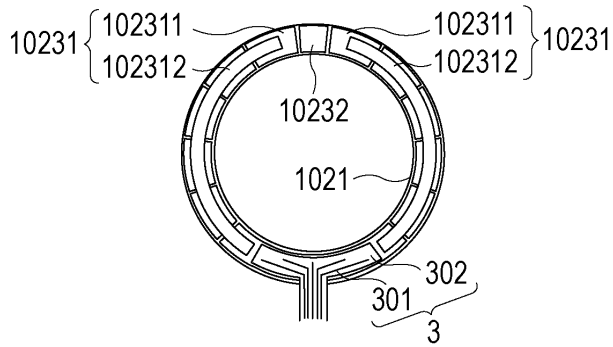
도면14c



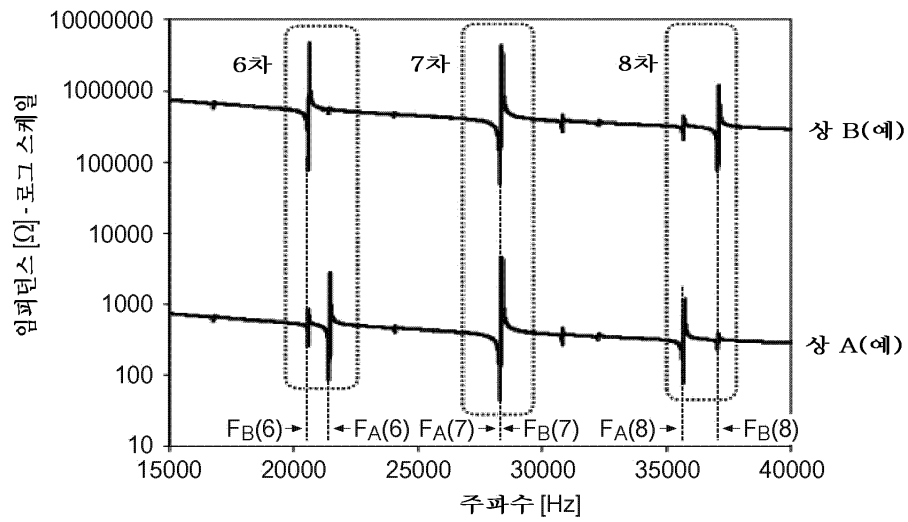
도면14d



도면14e



도면15a



도면15b

