



(19) 대한민국특허청(KR)
(12) 공개특허공보(A)

(11) 공개번호 10-2017-0096015
(43) 공개일자 2017년08월23일

(51) 국제특허분류(Int. Cl.)
G01C 19/5783 (2012.01) G01H 11/00 (2006.01)
(52) CPC특허분류
G01C 19/5783 (2013.01)
G01H 11/00 (2013.01)
(21) 출원번호 10-2017-7019867
(22) 출원일자(국제) 2015년12월17일
심사청구일자 2017년07월17일
(85) 번역문제출일자 2017년07월17일
(86) 국제출원번호 PCT/EP2015/080363
(87) 국제공개번호 WO 2016/097222
국제공개일자 2016년06월23일
(30) 우선권주장
1422620.3 2014년12월18일 영국(GB)

(71) 출원인
인나랩스 리미티드
아일랜드 더블린 2, 머서 스트리트 로어, 베옥스
라인 하우스, 5층
(72) 발명자
베이티아, 조세
아일랜드, 더블린 15, 블란차드스타운, 아파트
58, 팔콘스 뷰
레나울트, 알라인
프랑스, 06110 르 칸넬, 루 두 독테르 칼메트, 빌
라 허미테이지
펠, 크리스토퍼
아일랜드, 도나베이트 씨디, 터비 워크, 더 갤러
리, 아파트 24
(74) 대리인
김남식, 이인행, 김한

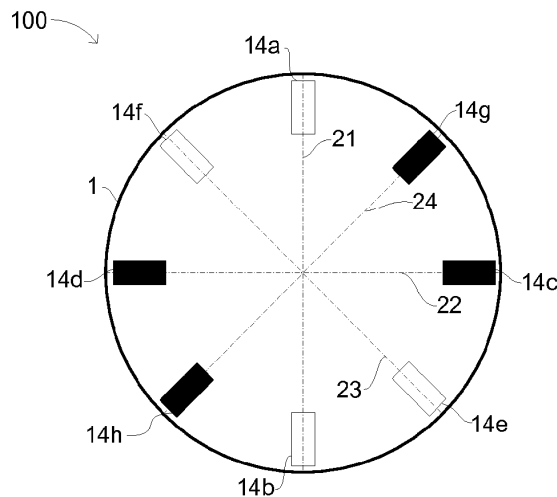
전체 청구항 수 : 총 32 항

(54) 발명의 명칭 **자이로스코프**

(57) 요약

공진 구조체 및 상기 공진 구조체에서 진동 모드를 구동하고 상기 공진 구조체의 진동들을 검출하도록 구성된 복수의 트랜스듀서들을 포함하는 자이로스코프로써, 상기 복수의 트랜스듀서들 중 적어도 하나는 압전 단결정을 포함한다.

대표도 - 도7



명세서

청구범위

청구항 1

자이로스코프로서,

공진 구조체; 및

상기 공진 구조체에서 진동 모드를 구동하고 상기 공진 구조체의 진동을 검출하도록 구성된 복수의 트랜스듀서들

을 포함하고,

상기 복수의 트랜스듀서들 중 적어도 하나는 압전 단결정을 포함하는,

자이로스코프.

청구항 2

제1항에서,

상기 복수의 트랜스듀서들은, 상기 공진 구조체의 1차 진동 모드를 구동하고 검출하도록 구성된 제1 그룹의 트랜스듀서들, 및 상기 공진 구조체의 2차 진동 모드를 검출하고 상쇄하도록 구성된 제2 그룹의 트랜스듀서들을 포함하는, 자이로스코프.

청구항 3

제2항에서,

상기 제1 그룹의 트랜스듀서들 및 상기 제2 그룹의 트랜스듀서들은, 압전 단결정을 포함하는 동일한 개수의 트랜스듀서들을 포함하는, 자이로스코프.

청구항 4

제2항 또는 제3항에서,

상기 제1 그룹의 트랜스듀서들 중 적어도 하나는 압전 단결정을 포함하고, 상기 1차 진동 모드를 검출하도록 구성되는, 자이로스코프.

청구항 5

제2항 내지 제4항 중 어느 한 항에서,

상기 제2 그룹의 트랜스듀서들 중 적어도 하나는 압전 단결정을 포함하고, 상기 2차 진동 모드를 상쇄하도록 구성되는, 자이로스코프.

청구항 6

제1항 내지 제5항 중 어느 한 항에서,

상기 복수의 트랜스듀서들 중 적어도 하나는 비-단결정 압전 트랜스듀서를 포함하는, 자이로스코프.

청구항 7

제6항 및 제2항에서,

상기 제1 그룹의 트랜스듀서들과 상기 제2 그룹의 트랜스듀서들은, 비-단결정 압전 트랜스듀서를 포함하는 동일한 개수의 트랜스듀서들을 포함하는, 자이로스코프.

청구항 8

제7항에서,

상기 제1 그룹의 트랜스듀서들 중 적어도 하나는 비-단결정 압전 트랜스듀서를 포함하고, 상기 1차 진동 모드를 구동하도록 구성되는, 자이로스코프.

청구항 9

제7항 또는 제8항에서,

상기 제2 그룹의 트랜스듀서들 중 적어도 하나는 비-단결정 압전 트랜스듀서를 포함하고, 상기 2차 진동 모드를 검출하도록 구성되는, 자이로스코프.

청구항 10

제1항 내지 제9항 중 어느 한 항에서,

상기 복수의 트랜스듀서들은,

1차 진동 모드를 구동하도록 구성된 적어도 하나의 1차 구동 트랜스듀서, 상기 1차 진동 모드를 검출하도록 구성된 적어도 하나의 1차 검출 트랜스듀서, 2차 진동 모드를 검출하도록 구성된 적어도 하나의 2차 검출 트랜스듀서, 및 상기 2차 진동 모드를 상쇄하도록 구성된 적어도 하나의 2차 구동 트랜스듀서를 포함하는, 자이로스코프.

청구항 11

제10항에서,

상기 적어도 하나의 1차 검출 트랜스듀서 및 상기 적어도 하나의 2차 구동 트랜스듀서는 각각 압전 단결정을 포함하는, 자이로스코프.

청구항 12

제10항 또는 제11항에서,

상기 적어도 하나의 1차 구동 트랜스듀서 및 상기 적어도 하나의 2차 검출 트랜스듀서는 각각 비-단결정 압전 트랜스듀서를 포함하는, 자이로스코프.

청구항 13

제1항 내지 제12항 중 어느 한 항에서,

상기 단결정은 랑가사이트(langasite)를 포함하는, 자이로스코프.

청구항 14

제6항 내지 제9항 또는 제12항 중 어느 한 항에서,

비-단결정 압전 트랜스듀서를 포함하는 트랜스듀서는 PZT를 포함하는, 자이로스코프.

청구항 15

제1항 내지 제14항 중 어느 한 항에서,

상기 복수의 트랜스듀서들 각각은 상기 공진 구조체의 표면에 접합되는, 자이로스코프.

청구항 16

제1항 내지 제15항 중 어느 한 항에서,

상기 공진 구조체의 표면은 상기 공진 구조체에 형성된 구멍들을 포함하는, 자이로스코프.

청구항 17

제16항에서,

전기 와이어들이 상기 구멍들을 통해 연장하고 상기 트랜스듀서들에 전기적으로 연결되는, 자이로스코프.

청구항 18

제1항 내지 제15 항 중 어느 한 항에서,

상기 공진 구조체는 복수의 빔들(beams)을 포함하는, 자이로스코프.

청구항 19

자이로스코프의 회전 각속도를 결정하는 방법으로서,

공진 구조체에서 진동 모드를 구동하는 단계;

상기 공진 구조체의 진동들을 검출하는 단계; 및

상기 검출된 진동들로부터 상기 자이로스코프의 회전 각속도를 결정하는 단계;

를 포함하고,

압전 단결정을 포함하는 적어도 하나의 트랜스듀서를 포함하는 복수의 트랜스듀서들에 의해 상기 진동 모드가 구동되고 상기 진동들이 검출되는, 방법.

청구항 20

제19항에서,

상기 복수의 트랜스듀서들은, 상기 공진 구조체의 1차 진동 모드를 구동 하고 검출하는 제1 그룹의 트랜스듀서들, 및 상기 공진 구조체의 2차 진동 모드를 검출하고 상쇄하는 제2 그룹의 트랜스듀서들을 포함하는, 방법.

청구항 21

제20항에서,

상기 제1 그룹의 트랜스듀서들 및 상기 제2 그룹의 트랜스듀서들은, 압전 단결정을 포함하는 동일한 개수의 트랜스듀서들을 포함하는, 방법.

청구항 22

제19항 또는 제20항에서,

상기 제1 그룹의 트랜스듀서들 중 적어도 하나는 압전 단결정을 포함하고 상기 1차 진동 모드를 검출하는, 방법.

청구항 23

제20항 내지 제22항 중 어느 한 항에서,

상기 제2 그룹의 트랜스듀서들 중 적어도 하나는 압전 단결정을 포함하고 상기 2차 진동 모드를 상쇄하는, 방법.

청구항 24

제19항 내지 제23항 중 어느 한 항에서,

상기 복수의 트랜스듀서들 중 적어도 하나는 비-단결정 압전 트랜스듀서를 포함하는, 방법.

청구항 25

제24항 및 제20항에서,

상기 제1 그룹의 트랜스듀서들과 상기 제2 그룹의 트랜스듀서들은, 비-단결정 압전 트랜스듀서를 포함하는 동일한 개수의 트랜스듀서들을 포함하는, 방법.

청구항 26

제25항에서,

상기 제1 그룹의 트랜스듀서들 중 적어도 하나는 비-단결정 압전 트랜스듀서를 포함하고 상기 1차 진동 모드를 구동하는 방법.

청구항 27

제25항 또는 제26항에서,

상기 제2 그룹의 트랜스듀서들 중 적어도 하나는 비-단결정 압전 트랜스듀서를 포함하고 상기 2차 진동 모드를 검출하는, 방법.

청구항 28

제19항 내지 제27항 중 어느 한 항에서,

상기 복수의 트랜스듀서들은,

1차 진동 모드를 구동하는 적어도 하나의 1차 구동 트랜스듀서, 상기 1차 진동 모드를 검출하는 적어도 하나의 1차 검출 트랜스듀서, 2차 진동 모드를 검출하는 적어도 하나의 2차 검출 트랜스듀서, 및 상기 2차 진동 모드를 상쇄하는 적어도 하나의 2차 구동 트랜스듀서를 포함하는, 방법.

청구항 29

제28항에서,

상기 적어도 하나의 1차 검출 트랜스듀서 및 상기 적어도 하나의 2차 구동 트랜스듀서는 각각 압전 단결정을 포함하는, 방법.

청구항 30

제28항 또는 제29항에서,

상기 적어도 하나의 1차 구동 트랜스듀서 및 상기 적어도 하나의 2차 검출 트랜스듀서는 각각 비-단결정 압전 트랜스듀서를 포함하는, 방법.

청구항 31

제19항 내지 제30항 중 어느 한 항에서,

상기 압전 단결정은 랑가사이트(langasite)를 포함하는, 방법.

청구항 32

제24항 내지 제27항 또는 제31항 중 어느 한 항에서,

비-단결정 압전 트랜스듀서를 포함하는 트랜스듀서는 PZT를 포함하는, 방법.

발명의 설명

기술 분야

[0001]

본 발명은 진동 자이로스코프에 관한 것이다.

배경 기술

[0002]

자이로스코프는 회전 각속도(rate of angular rotation)를 측정하는 데 사용할 수 있는 장치이다. 자이로스코프의 회전 각속도의 측정은 자이로스코프의 각도 배향(angular orientation)의 변화를 결정하기 위해 시간에 대해 적분될 수 있다. 자이로스코프의 초기 배향이 알려지면, 자이로스코프의 각도 배향의 변화를 결정하여 각도 배향의 변경 후 어떤 시각에서 자이로스코프의 배향을 도출할 수 있다. 자이로스코프는, 예를 들어 관성 항법 시스템(inertial navigation systems, INS), 지상 차량 안정화, 항공기, 선박 및/또는 다른 응용물들과 같은 응용물들에 사용될 수 있다.

[0003] 진동 자이로스코프는 공진 구조체가 진동하게 되는 형태의 자이로스코프이다. 진동 자이로스코프는 진동 구조 자이로스코프 및/또는 코리올리 진동 자이로스코프(Coriolis vibrating gyroscope, CVG)로 지칭될 수 있다. 링(rings), 실린더, 반구(hemispheres), 튜닝 포크(tuning forks) 및 빔(beams)을 포함하는 다양한 공진 구조체가 진동 자이로스코프를 형성하기 위해 사용될 수 있다. 진동 자이로스코프는 전통적인 자이로스코프(회전 질량체(spinning mass)를 기반으로 함)와 광섬유 및/또는 기타 광학 기술을 기반으로 하는 자이로스코프에 비해 많은 장점이 있다. 예를 들어, 진동 자이로스코프는 광섬유 자이로스코프보다 저렴할 수 있으며 회전 질량체 자이로스코프보다 작은 부품을 포함할 수 있다.

발명의 내용

해결하려는 과제

[0004] 본 발명의 목적은 공지된 진동 자이로스코프와 관련된 단점을 제거하거나 완화시키는 것이다.

과제의 해결 수단

[0005] 본 발명의 제1 측면에 따르면, 공진 구조체; 및 상기 공진 구조체에서 진동 모드를 구동하고 상기 공진 구조체의 진동을 검출하도록 구성된 복수의 트랜스듀서들 을 포함하는 자이로스코프가 제공되며, 상기 복수의 트랜스듀서들 중 적어도 하나는 압전 단결정이다.

[0006] 공진 구조체의 검출된 진동들은 자이로스코프의 회전 각속도를 결정하는 데 사용될 수 있다. 자이로스코프의 스케일 팩터는 공진 구조체의 검출된 진동들로부터 자이로스코프의 회전 각속도를 결정하기 위해 사용될 수 있다. 스케일 팩터는 시간이 지남에 따라 변할 수 있고/있거나 온도 변화에 따라 변할 수 있다. 자이로스코프의 스케일 팩터의 변화가 누락되면(unaccounted for), 자이로스코프의 회전 각속도가 결정될 수 있는 정확도가 감소될 수 있다. 압전 단결정 트랜스듀서의 사용은 자이로스코프의 스케일 팩터의 변화를 유리하게 감소시킴으로써, 자이로스코프의 회전 각속도가 결정될 수 있는 정확도를 증가시킨다.

[0007] 상기 복수의 트랜스듀서들은, 상기 공진 구조체의 1차 진동 모드를 구동하고 검출하도록 구성된 제1 그룹의 트랜스듀서들, 및 상기 공진 구조체의 2차 진동 모드를 검출하고 상쇄하도록 구성된 제2 그룹의 트랜스듀서들을 포함할 수 있다.

[0008] 상기 제1 그룹의 트랜스듀서들 및 상기 제2 그룹의 트랜스듀서들은, 압전 단결정을 포함하는 동일한 개수의 트랜스듀서들을 포함할 수 있다.

[0009] 상기 제1 그룹의 트랜스듀서들 중 적어도 하나는 압전 단결정을 포함할 수 있고, 상기 1차 진동 모드를 검출하도록 구성될 수 있다.

[0010] 상기 제2 그룹의 트랜스듀서들 중 적어도 하나는 압전 단결정을 포함할 수 있고, 상기 2차 진동 모드를 상쇄하도록 구성될 수 있다.

[0011] 상기 복수의 트랜스듀서들 중 적어도 하나는 비-단결정(non-monocrystal) 압전 트랜스듀서를 포함할 수 있다.

[0012] 상기 제1 그룹의 트랜스듀서들과 상기 제2 그룹의 트랜스듀서들은, 비-단결정 압전 트랜스듀서를 포함하는 동일한 개수의 트랜스듀서들을 포함할 수 있다.

[0013] 상기 제1 그룹의 트랜스듀서들 중 적어도 하나는 비-단결정 압전 트랜스듀서를 포함할 수 있고 상기 1차 진동 모드를 구동하도록 구성될 수 있다.

[0014] 상기 제2 그룹의 트랜스듀서들 중 적어도 하나는 비-단결정 압전 트랜스듀서를 포함할 수 있고, 상기 2차 진동 모드를 검출하도록 구성될 수 있다.

[0015] 상기 복수의 트랜스듀서들은, 1차 진동 모드를 구동하도록 구성된 적어도 하나의 1차 구동 트랜스듀서, 상기 1차 진동 모드를 검출하도록 구성된 적어도 하나의 1차 검출 트랜스듀서, 2차 진동 모드를 검출하도록 구성된 적어도 하나의 2차 검출 트랜스듀서, 및 상기 2차 진동 모드를 상쇄하도록 구성된 적어도 하나의 2차 구동 트랜스듀서를 포함할 수 있다.

[0016] 상기 적어도 하나의 1차 검출 트랜스듀서 및 상기 적어도 하나의 2차 구동 트랜스듀서는 각각 압전 단결정을 포함할 수 있다.

- [0017] 상기 적어도 하나의 1차 구동 트랜스듀서 및 상기 적어도 하나의 2차 검출 트랜스듀서는 각각 비-단결정 압전 트랜스듀서를 포함할 수 있다.
- [0018] 상기 적어도 하나의 1차 구동 트랜스듀서는 한 쌍의 1차 구동 트랜스듀서들을 포함할 수 있다. 상기 적어도 하나의 1차 검출 트랜스듀서는 한 쌍의 1차 검출 트랜스듀서들을 포함할 수 있다. 상기 적어도 하나의 2차 구동 트랜스듀서는 한 쌍의 2차 구동 트랜스듀서들을 포함할 수 있다. 상기 적어도 하나의 2차 검출 트랜스듀서는 한 쌍의 2차 검출 트랜스듀서들을 포함할 수 있다.
- [0019] 상기 단결정은 랑가사이트(langasite)를 포함할 수 있다.
- [0020] 비-단결정 압전 트랜스듀서를 포함하는 트랜스듀서는 PZT를 포함할 수 있다.
- [0021] 상기 복수의 트랜스듀서들 각각은 상기 공진 구조체의 표면에 접합(bond)될 수 있다.
- [0022] 상기 공진 구조체의 표면은 상기 공진 구조체에 형성된 구멍들을 포함할 수 있다.
- [0023] 전기 와이어들(electric wires)이 상기 구멍들을 통해 연장할 수 있고 상기 트랜스듀서들에 전기적으로 연결될 수 있다.
- [0024] 상기 공진 구조체는 복수의 빔들(beams)을 포함할 수 있다.
- [0025] 본 발명의 제2 측면에 따르면, 자이로스코프의 회전 각속도를 결정하는 방법이 제공되며, 상기 방법은 공진 구조체에서 진동 모드를 구동하는 단계; 상기 공진 구조체의 진동들을 검출하는 단계; 및 상기 검출된 진동들로부터 상기 자이로스코프의 회전 각속도를 결정하는 단계;를 포함하고, 압전 단결정을 포함하는 적어도 하나의 트랜스듀서를 포함하는 복수의 트랜스듀서들에 의해 상기 진동 모드가 구동되고 상기 진동들이 검출된다.
- [0026] 상기 복수의 트랜스듀서들은, 상기 공진 구조체의 1차 진동 모드를 구동 하고 검출하는 제1 그룹의 트랜스듀서들, 및 상기 공진 구조체의 2차 진동 모드를 검출하고 상쇄하는 제2 그룹의 트랜스듀서들을 포함할 수 있다.
- [0027] 상기 제1 그룹의 트랜스듀서들 및 상기 제2 그룹의 트랜스듀서들은, 압전 단결정을 포함하는 동일한 개수의 트랜스듀서들을 포함할 수 있다.
- [0028] 상기 제1 그룹의 트랜스듀서들 중 적어도 하나는 압전 단결정을 포함할 수 있고 상기 1차 진동 모드를 검출할 수 있다.
- [0029] 상기 제2 그룹의 트랜스듀서들 중 적어도 하나는 압전 단결정을 포함할 수 있고 상기 2차 진동 모드를 상쇄할 수 있다.
- [0030] 상기 복수의 트랜스듀서들 중 적어도 하나는 비-단결정 압전 트랜스듀서를 포함할 수 있다.
- [0031] 상기 제1 그룹의 트랜스듀서들과 상기 제2 그룹의 트랜스듀서들은, 비-단결정 압전 트랜스듀서를 포함하는 동일한 개수의 트랜스듀서들을 포함할 수 있다.
- [0032] 상기 제1 그룹의 트랜스듀서들 중 적어도 하나는 비-단결정 압전 트랜스듀서를 포함할 수 있고 상기 1차 진동 모드를 구동할 수 있다.
- [0033] 상기 제2 그룹의 트랜스듀서들 중 적어도 하나는 비-단결정 압전 트랜스듀서를 포함할 수 있고 상기 2차 진동 모드를 검출할 수 있다.
- [0034] 상기 복수의 트랜스듀서들은, 1차 진동 모드를 구동하는 적어도 하나의 1차 구동 트랜스듀서, 상기 1차 진동 모드를 검출하는 적어도 하나의 1차 검출 트랜스듀서, 2차 진동 모드를 검출하는 적어도 하나의 2차 검출 트랜스듀서, 및 상기 2차 진동 모드를 상쇄하는 적어도 하나의 2차 구동 트랜스듀서를 포함할 수 있다.
- [0035] 상기 적어도 하나의 1차 검출 트랜스듀서 및 상기 적어도 하나의 2차 구동 트랜스듀서는 각각 압전 단결정을 포함할 수 있다.
- [0036] 상기 적어도 하나의 1차 구동 트랜스듀서 및 상기 적어도 하나의 2차 검출 트랜스듀서는 각각 비-단결정 압전 트랜스듀서를 포함할 수 있다.
- [0037] 상기 적어도 하나의 1차 구동 트랜스듀서는 한 쌍의 1차 구동 트랜스듀서들을 포함할 수 있다. 상기 적어도 하나의 1차 검출 트랜스듀서는 한 쌍의 1차 검출 트랜스듀서들을 포함할 수 있다. 상기 적어도 하나의 2차 구동 트랜스듀서는 한 쌍의 2차 구동 트랜스듀서들을 포함할 수 있다. 상기 적어도 하나의 2차 검출 트랜스듀서는 한

쌍의 2차 검출 트랜스듀서들을 포함할 수 있다.

[0038] 상기 압전 단결정은 랑가사이트(langasite)를 포함할 수 있다.

[0039] 비-단결정 압전 트랜스듀서를 포함하는 트랜스듀서는 PZT를 포함할 수 있다.

도면의 간단한 설명

[0040] 본 발명의 실시예들은 첨부된 개략적인 도면을 참조하여 단지 예로서 설명될 것이다.

도 1은 자이로스코프의 개략도이다.

도 2는 자이로스코프의 다른 실시예의 개략도이다.

도 3은 도 1 또는 도 2의 자이로스코프의 공진 구조체의 개략도이다.

도 4는 진동 중 상이한 위치에서의 도 3의 공진 구조체의 개략도이다.

도 5는 PZT 트랜스듀서(transducers)를 포함하는 자이로스코프의 온도에 따른 스케일 팩터의 변화를 나타내는 개략도이다.

도 6은 랑가사이트(langasite) 트랜스듀서를 포함하는 자이로스코프의 온도에 따른 스케일 팩터의 변화를 나타내는 개략도이다.

도 7은 단결정 트랜스듀서를 포함하는 자이로스코프의 개략도이다.

도 8a 및 8b는 본 발명의 다른 실시예에 따른 자이로스코프의 개략도이다.

발명을 실시하기 위한 구체적인 내용

[0041] 도 1은 진동 자이로스코프(100)의 일 실시예의 개략 단면도이다. 자이로스코프(100)는 공진 구조체(1)를 포함한다. 도 1에 도시된 실시예에서, 공진 구조체(1)는 대체로 원통 형상을 갖는다. 그러나, 다른 실시예에서 공진 구조체(1)는 도 1에 도시된 것과 다른 형상일 수 있다. 예를 들어, 공진 구조체(1)는 반구형(hemispherical) 또는 환형(toroidal)일 수 있다. 공진 구조체(1)는 하나 이상의 범위의 다른 물질들을 포함할 수 있다. 예를 들어, 공진 구조체(1)는 금속 또는 용융 석영(fused silica)을 포함할 수 있다.

[0042] 공진 구조체(1)는 기저부(3) 상에 장착된다. 기저부(3)는, 그 회전 각속도를 자이로스코프(100)가 측정하도록 구성된, 단위체(unit)에 자이로스코프(100)를 부착하는데 사용될 수 있는 구멍들(8)을 포함한다. 예를 들어, 측정될 단위체에 자이로스코프(100)를 고정시키기 위해 고정구(fastener)(예를 들어, 나사)가 구멍(8)에 의해 수용될 수 있다. 공진 구조체(1)는 기저부(3)에 고정된(secured) 스템(stem, 2)을 포함한다. 기저부(3)는 공진 구조체(1)의 스템(2)을 수용하도록 구성된 컵 형상 돌출부(4)를 포함한다. 공진 구조체(1)는 캡(cap, 7)에 의해 덮여 있는데, 이는 캡(7) 내부의 압력 조건들이 제어될 수 있게 한다. 예를 들어, 진공이 캡(7) 내부에서 유지될 수 있다.

[0043] 컵 형상 돌출부(4)는 와이어(wires, 5)가 관통하는 구멍들을 포함한다. 와이어(5)는 자이로스코프(100)의 내부 및/또는 외부로 신호를 통과시키는 데 사용된다. 기저부(3)의 구멍은 기저부(3)의 나머지 부분으로부터 와이어(5)를 절연시키는 전기 절연 재료(6)에 의해 둘러싸여 있다. 전기 절연 재료(6)는 또한 와이어(5) 둘레에 기밀 실(gas tight seal)을 제공한다. 기밀 실은 가스가 캡(7)과 기저부(3) 사이의 체적(volume)으로 들어가는 것을 방지하고 따라서 캡(7) 내부의 진공이 유지되도록 한다.

[0044] 와이어(5)는 공진 구조체(1)의 구멍들(12)을 통해 연장한다. 와이어(5)는 공진 구조체(1) 상에 배치된 복수의 트랜스듀서들(14)에 전기적으로 연결된다. 전자 신호(electronic signals)는 와이어(5)를 통해 트랜스듀서(14)로 그리고 트랜스듀서(14)로부터 전달되어, 자이로스코프(100)의 외부로부터 전자 신호가 기저부(3)를 통해 트랜스듀서(14)로 그리고 트랜스듀서(14)로부터 전달될 수 있게 한다.

[0045] 트랜스듀서들(14)들 중 일부는 전기 신호(electrical signals)를 생성한다. 트랜스듀서(14)에서 생성된 전기 신호는 와이어(5)를 따라 자이로스코프(100) 외부로 전달된다. 트랜스듀서들(14) 중 일부는 와이어(5)를 따라 트랜스듀서(14)에 전달되는 전기 신호를 수신한다. 회로 기관(9)이 기저부(3)에 배치된다. 회로 기관(9)은 자이로스코프(100)의 외부로 전달되는 전기 신호를 증폭하도록 구성된 하나 이상의 증폭기를 포함한다.

[0046] 트랜스듀서(14)는 공진 구조체(1)에 기계적으로 결합된다(예를 들어, 공진 구조체(1)에 접합된다(bonded)). 아

래에서 더 상세히 설명되는 바와 같이, 일부 트랜스듀서(14)는 트랜스듀서(14)에 제공된 전자 신호에 대응하여 공진 구조체를 작동시켜 공진 구조체에서 진동 모드를 여기시키도록 구성된다. 일부 트랜스듀서(14)는 공진 구조체의 진동을, 공진 구조체(1)의 진동에 대응하는 전자 신호로 변환하도록 구성된다.

[0047] 도 1에 도시된 종류의 자이로스코프의 구조에 대한 더 상세한 내용은, 그 전체가 본원에 참조에 의해 결합된 공개된 유럽 특허 출원 EP2669629에 개시되어 있다. EP2669629는 또한 본 발명과 함께 사용될 수 있는 자이로스코프의 다른 구성을 개시한다.

[0048] 도 2는 자이로스코프(1000)의 다른 실시예의 개략도이다. 도 2의 자이로스코프(1000)는 기저부(1003) 상에 장착된 컵 형상 공진 구조체(1001)를 포함한다. 기저부(1003)는 돌출부(1016)를 포함하는데 이는 공진 구조체(1001)의 오목부(recess, 1017)에 수용된다. 공진 구조체(1001)는, 공진 구조체(1001)를 통과하여 기저부(1003)의 돌출부(1016)에 고정되는 고정구(fastener)(1018)로 기저부(1003)에 고정된다. 공진 구조체(1001)는 캡(7)에 의해 덮여 있고 이는 캡(7) 내부의 진공이 유지될 수 있게 한다.

[0049] 기저부(1003)는 와이어(1005)가 관통하는 구멍들을 포함한다. 기저부(1003)의 구멍은 와이어(1005)를 기저부(3)의 나머지 부분으로부터 절연시키는 전기 절연 재료(1006)로 둘러싸여 있다. 전기 절연 재료(6)는 또한 와이어(1005) 둘레에 기밀 실(gas tight seal)을 제공하는 역할을 한다. 전기 연결부(1005)는 공진 구조체(1000)의 하부에 위치하는 트랜스듀서(1014)와 와이어(1005)의 단부 사이의 전기적 연결을 제공한다. 그것의 다른 단부에서, 와이어(1005)는 기저부(1003) 아래에 배치된 회로 기판(1009)에 전기적으로 연결된다. 회로 기판(1009)은 자이로스코프(1000)의 외부로 전달되는 전자 신호를 증폭하도록 구성된 하나 이상의 증폭기를 포함한다.

[0050] 트랜스듀서들(1014)은 공진 구조체(1001)에 기계적으로 결합된다(예를 들어, 공진 구조체(1)에 접합된다(bonded)). 트랜스듀서들(1014) 중 일부는, 공진 구조체(1001)에서 진동 모드를 여기 시키도록, 트랜스듀서들(1014)에 제공된 전자 신호들에 응답하여 공진 구조체(1001)를 작동시키도록 구성된다. 트랜스듀서들(1014) 중 일부는, 공진 구조체의 진동을 검출하고, 공진 구조체(1001)의 진동에 대응하는 전자 신호를 생성하도록 구성된다.

[0051] 도 3은 공진 구조체(1)의 개략도이다. 도 3에 도시된 공진 구조체는, 예를 들어, 위에서 내려다 본 도 1의 자이로스코프(100)의 공진 구조체(1)일 수 있다. 대안적으로, 공진 구조체는 아래에서 올려다 본 도 2의 공진 구조체(1001)일 수 있다. 공진 구조체(1) 상에는 8 개의 트랜스듀서들(14a-14h)이 배치된다. 설명을 용이하게 하기 위해, 도 3의 공진 구조체(1)에는 어떠한 구멍도 도시되어 있지 않다. 그러나, 트랜스듀서들(14a-14h)에 신호들을 전송하거나 그로부터 신호들을 수신하도록 트랜스듀서들(14a-14h) 각각에는 전기 접속부(electrical connections)가 제공된다는 점을 이해할 수 있을 것이다. 전기 접속부는 공진 구조체의 구멍을 통해 연장할 수 있다(도 3에는 도시되지 않음). 트랜스듀서들(14a-14h)은, 인접한 트랜스듀서들 사이의 이격 각도(angular separation)가 대략 45° 가 되도록 공진 구조체(1) 둘레에 배열된다. 트랜스듀서들(14a-14h)은 공진 구조체(1)의 상부 표면에 기계적으로(예를 들어, 접합(bonding)에 의해) 결합된다. 트랜스듀서들(14a-14h)은 압전 재료를 포함하는데, 그 안에서 기계적 응력이 전기 신호로 변환되고 그 반대의 경우도 마찬가지이다.

[0052] 한 쌍의 1차(primary) 구동 트랜스듀서(14a, 14b)는 공진 구조체(1)를 가로질러 연장되는 1차 구동 축(21)의 대향 단부에 배치된다. 한 쌍의 1차 검출 트랜스듀서(14c, 14d)는 1차 검출 축(22)의 대향 단부에 배치된다. 1차 검출 축(22)은 1차 구동 축(21)과 90° 의 각도를 이룬다. 한 쌍의 2차(secondary) 검출 트랜스듀서(14e, 14f)는 2차 검출 축(23)의 대향 단부에 배치된다. 2차 검출 축(23)은 1차 구동 축(21) 및 1차 검출 축(22) 둘 다와 45° 각도를 이룬다. 한 쌍의 2차 구동 트랜스듀서(14g, 14h)는 2차 구동 축(24)의 대향 단부에 배치된다. 2차 구동 축(24)은 2차 검출 축(23)과 90° 의 각도를 이루고 1차 구동 축(21) 및 1차 검출 축(22) 둘 다와 45° 각도를 이룬다.

[0053] 1차 구동 트랜스듀서들(14a, 14b)은, 1차 구동 축(21)을 따라 진동을 발생시키기 위해 공진 구조체(1)를 작동시키도록 구성된다. 도 4는 1차 구동 축(21)을 따라 발생하는 진동 중에 상이한 위치들에서의 공진 구조체(2)의 개략도이다. 설명의 편의를 위해 트랜스듀서들(14a-14h)은 도 4에서 생략되어 있다. 1차 구동 트랜스듀서들(14a, 14b)은 공진 구조체에 힘을 가함으로써, 공진 구조체(1)가, 반-장축(semi-major axis)이 1차 구동 축(21)에 실질적으로 정렬된 타원으로 공진 구조체(1)가 신장된 제1 위치(42)와, 반-장축이 1차 검출 축(22)에 실질적으로 정렬된 타원으로 공진 구조체(1)가 신장된 제2 위치(43) 사이에서 진동하게 한다. 진동 중에, 공진 구조체(1)가 진동하도록 강제되지 않을 때 공진 구조체(1)가 이완하는 위치인 제3 위치(41)를 통해 공진 구조체(1)가 이행(transition)한다는 점을 이해할 것이다.

- [0054] 진동 자이로스코프(100)가 정지된 경우, 공진 구조체(1)의 진동은, 공진 구조체(1)가 실질적으로 정지하는 4 개의 노드들(nodes)(31a-31d)이 존재하게 한다. 노드(31a-31d)는 실질적으로 2차 검출 축(23) 및 2차 구동 축(24) 상에 배치된다. 공진 구조체(1)가 1차 구동 축(21) 및 1차 검출 축(22)과 교차하는 지점들은 안티노드들(antinodes)로 지칭될 수 있는데, 이는 이 지점들이 공진 구조체(1)의 진동의 진폭이 최대가 되는 점들을 나타내기 때문이다.
- [0055] 자이로스코프(100)가 회전하면, 1차 구동 축(21)이 회전하고, 공진 구조체(1)의 진동은, 회전 전에 그것이 구동되었던 방향과 다른 방향을 따라 (1차 구동 트랜스듀서들(14a, 14b)에 의해) 구동된다. 그러나, 공진 구조체(1)의 진동은 관성을 가지며, 이는 자이로스코프(100)가 회전하기 전에 진동이 일어나고 있었던 방향과 동일한 방향으로 진동이 지속되게 한다. 공진 구조체(1)의 진동은 자이로스코프(100)의 회전에 따라 회전하지만, 진동의 관성은 진동의 회전이 자이로스코프(100)의 회전에 뒤처지게 한다. 따라서, 자이로스코프(100)의 회전은, 1차 구동 축(21) 또는 1차 검출 축(22)에 정렬되지 않은 방향에서 진동이 일어나게 한다. 노드들(31a-31d)에 힘이 가해지지 않으면, 이 효과는 공진 구조체(1)의 운동이 노드들(31a-31d)에서 유도되게 한다.
- [0056] 자이로스코프(100)의 회전 속도를 측정하기 위해, 노드들(31a-31d)에서 공진 구조체(1)의 변위가 실질적으로 발생하지 않도록 2차 구동 트랜스듀서들(14g, 14h)이 노드들(31a-31d)을 상쇄하도록(null) 작용할 수 있다. 아래에서 더 설명하는 바와 같이, 노드들(31a-31d)을 상쇄하기 위해 인가된 힘은 자이로스코프(100)의 회전 속도에 정비례하므로, 이 힘의 측정은 자이로스코프(100)의 회전 속도를 측정하는데 사용될 수 있다.
- [0057] 전술한 바와 같이, 1차 구동 트랜스듀서들(14a, 14b)은, 공진 구조체(1)에서 진동 모드를 여기시키기 위해 공진 구조체(1)를 작동시키도록 구성된다. 1차 구동 트랜스듀서들(14a, 14b)에 의해 여기되는 진동 모드는 1차 진동 모드로 지칭될 수 있다. 1차 진동 모드는, 도 4에 도시된 바와 같이, 1차 구동 축(21) 및 1차 검출 축(22)을 따르는 진동들로 구성된다. 1차 검출 트랜스듀서들(14c, 14d)은 1차 검출 축(22)을 따르는 공진 구조체(1)의 진동을 검출하도록 구성된다. 공진 구조체(1)의 운동은 1차 검출 트랜스듀서들(14c, 14d)에 기계적 응력을 유발한다. 기계적 응력은 트랜스듀서들(14c, 14d)을 형성하는 압전 재료 내에 전하 흐름(charge flow)을 유도함으로써, 전기 신호를 생성한다. 전기 신호는 1차 검출 트랜스듀서들로부터 1차 검출 신호(51)로서 출력된다. 1차 검출 신호(51)는 1차 검출 축(22)을 따르는 공진 구조체(1)의 진동에 대응한다.
- [0058] 1차 검출 신호(51)는, 도 3에 도시된 바와 같이, 1차 피드백 루프(feedback loop)(53)에 입력된다. 1차 피드백 루프(53)는 1차 구동 트랜스듀서들(14a, 14b)로의 입력을 형성하는 1차 구동 신호(55)를 출력한다. 1차 구동 신호(55)는 트랜스듀서들(14c, 14d)을 형성하는 압전 재료에 변형(strain)을 유발하는 전기 신호이다. 압전 재료의 변형은 공진 구조체(1)로 전달되어 1차 구동 신호(55)에 대응하는 공진 구조체의 운동을 유발한다.
- [0059] 설명의 편의를 위해, 1차 검출 신호(51)는 트랜스듀서(14c)로부터 나오는 것으로만 도 3에 도시되고, 1차 구동 신호는 트랜스듀서(14a)에 입력되는 것으로만 도시된다. 그러나, 실제로는 1차 검출 트랜스듀서들(14c, 14d)은 모두 1차 검출 신호(51)에 기여하고 1차 구동 신호(55)는 1차 구동 트랜스듀서들(14a, 14b) 모두에 입력된다는 것을 알 수 있을 것이다.
- [0060] 1차 피드백 루프(53)는 1차 검출 트랜스듀서들(14c, 14d)에 의해 이루어진 측정값들(measurements)에 기초하여 1차 구동 트랜스듀서들(14a, 14b)을 제어한다. 1차 피드백 루프(53)는 위상 동기 루프(phase locked loop) 및 자동 이득 제어 루프(automatic gain control loop)(도시되지 않음)를 포함한다. 위상 동기 루프는, 1차 구동 트랜스듀서들(14a, 14b)에 의해 일어나는 1차 진동 모드의 주파수가 공진 구조체(1)의 공진 주파수로 유지되도록 보장된다. 진폭 이득 제어 루프(amplitude gain control loop)는, 1차 진동 모드의 진폭이 원하는 진폭으로 유지되게 보장하도록 구성된다. 1차 진동 모드의 진폭 및/또는 주파수가 원하는 진폭 및 공진 주파수로부터 벗어나면, 1차 피드백 루프(53)는 임의의 그러한 편차(deviation)를 보정하기 위해 1차 구동 트랜스듀서들을 제어하도록 작동한다.
- [0061] 전술한 바와 같이, 자이로스코프(100)의 회전은 1차 구동 축(21) 또는 1차 검출 축(22)에 정렬되지 않은 방향으로 진동을 발생시킬 것이다. 특히 진동은 2차 검출 축(23)을 따라 발생한다. 2차 검출 축을 따르는 진동들은 2차 진동 모드로 지칭될 수 있다. 2차 검출 축(23)을 따르는 공진 구조체(1)의 운동은 2차 검출 트랜스듀서들(14e, 14f)에 기계적 응력을 유발한다. 기계적 응력은 트랜스듀서들(14e, 14f)을 형성하는 압전 재료 내에 전하 흐름을 유도함으로써, 전기 신호를 생성한다. 전기 신호는 2차 검출 트랜스듀서들로부터 2차 검출 신호(57)로서 출력된다. 2차 검출 신호(57)는 2차 검출 축(23)을 따르는 공진 구조체(1)의 진동에 대응한다.
- [0062] 2차 검출 신호(57)는, 도 3에 도시된 바와 같이, 2차 피드백 루프(59)에 입력된다. 2차 피드백 루프(59)는 2차

구동 트랜스듀서들(14h, 14g)로의 입력을 형성하는 2차 구동 신호(61)를 출력한다. 2차 구동 신호(61)는 2차 구동 트랜스듀서들(14h, 14g)을 형성하는 압전 재료에 변형을 유발하는 전기 신호이다.

[0063] 설명의 편의를 위해, 2차 검출 신호(57)는 트랜스듀서(14f)로부터 나오는 것으로만 도 3에 도시되고, 2차 구동 신호(61)는 트랜스듀서(14h)에 입력되는 것으로만 도시된다. 그러나, 실제로는 2차 검출 트랜스듀서들(14e, 14f)은 모두 2차 검출 신호(57)에 기여하고 2차 구동 신호(61)는 2차 구동 트랜스듀서들(14g, 14h) 모두에 입력된다는 것을 알 수 있을 것이다.

[0064] 1차 피드백 루프(53), 2차 피드백 루프(59) 및 피드백 루프들(53, 59)과 트랜스듀서들(14) 간 연결들은 도 3에 개략적으로만 도시된다. 실제로는, 1차 피드백 루프(53)와 2차 피드백 루프(59)는, 하나 이상의 전자 보드(electronics boards)(도시하지 않음)에 배치될 수 있는 아날로그 및/또는 디지털 전자 장치를 포함할 수 있다. 하나 이상의 전자 보드는, 예를 들어, 자이로스코프의 기저부에 배치될 수 있다. 예를 들어, 1차 피드백 루프(53)와 2차 피드백 루프(59)는 도 1의 자이로스코프의 회로 기관(9) 또는 도 2의 자이로스코프의 회로 기관(1009) 상에 배치될 수 있다. 대안적으로, 1차 피드백 루프(53)와 2차 피드백 루프(59)는 다른 곳에 배치될 수 있고 자이로스코프의 기저부로부터 분리될 수 있다. 자이로스코프의 기저부에 있는 회로 기관(9, 1009)은 출력 신호를 증폭하고, 다른 곳에 배치된 1차 및/또는 2차 피드백 루프들(53, 59)에 그 신호를 제공하도록 구성될 수 있다. 피드백 루프들(53, 59)과 트랜스듀서들(14) 사이의 전기적 연결들은 자이로스코프의 기저부를 통해 연장되는 와이어들(wires)(5)를 통해 이루어질 수 있다.

[0065] 2차 피드백 루프(59)는 2차 검출 트랜스듀서들(14e, 14f)에 의해 이루어진 측정값들에 기초하여 2차 구동 트랜스듀서들(14g, 14h)을 제어한다. 2차 피드백 루프(59)는, 2차 검출 축(23) 또는 2차 구동 축(24)을 따라 실질적으로 진동이 발생하지 않게, 2차 구동 트랜스듀서들(14g, 14h)로 하여금 2차 진동 모드를 상쇄하게 하는 2차 구동 신호(61)를 출력하도록 구성된다.

[0066] 2차 피드백 루프(59)는 또한 자이로스코프(100)의 회전 속도에 비례하는 측정 신호(63)를 출력한다. 자이로스코프(100)는 비례 상수인 스케일 팩터(scale factor)(SF)를 가지는데, 이는 2차 피드백 루프(59)로부터 출력된 측정 신호(63)를 자이로스코프(100)의 회전 속도에 관련시킨다. 스케일 팩터(SF)는 일반적으로 자이로스코프(100)의 단위 회전 속도 당 측정 신호(63)의 전압으로서(통상적으로 초 당 각도에 대한 볼트의 단위(units of volts per degree per second)로 주어짐) 정의된다.

[0067] 스케일 팩터(SF)는 2차 구동 트랜스듀서들(14g, 14h)의 이득(G_{SDr}), 1차 검출 트랜스듀서들의 이득(G_{PDe}) 및 기준 진폭(V_{ref})에 의존한다. 기준 진폭(V_{ref})은 1차 진동 모드의 목표(target) 진폭이며, 시간 및 온도에 대해 일정하게 유지된다. 스케일 팩터(SF)는 다음과 같이 주어진다.

$$SF = k \frac{V_{ref}}{G_{PDe} G_{SDr}} \quad (1)$$

[0068]

[0069] 여기서, k는 비례 상수이다. 자이로스코프(100)의 회전 속도를 결정하기 위해서는 스케일 팩터(SF)를 알아야 한다. 스케일 팩터(SF)는 보정(calibration) 공정을 통해 결정될 수 있다. 그러나 스케일 팩터(SF)는 시간과 온도의 변화에 따라 변할 수 있다. 특히, 스케일 팩터의 변화는, 시간 및/또는 온도의 함수일 수 있는, 2차 구동 트랜스듀서들(14g, 14h) 및 1차 검출 트랜스듀서들(14c, 14d)의 이득들(G_{SDr} , G_{PDe})의 변화에 의해 야기될 수 있다.

[0070] (예를 들어, 트랜스듀서 이득들의 변화로 인한) 스케일 팩터(SF)의 변화가 누락되면(unaccounted for), 측정 신호(63)로부터 결정된 바와 같은 자이로스코프(100)의 회전 속도의 불확실성이 초래된다. 자이로스코프(100)의 일부 응용들에서, 자이로스코프(100)의 회전 속도를 높은 정밀도로 결정할 수 있는 것이 바람직하다. 예를 들어, 자이로스코프가 높은 회전 속도를 겪는 응용들에서, 자이로스코프의 회전 속도가 높은 정밀도로 결정되는 것이 바람직할 수 있다. 예를 들어, 이러한 응용들은, 예를 들면, (예: 항공기 롤(roll) 중) 초당 최대 400도(degrees)까지 높은 회전 속도를 겪을 수 있는 항공기 자세 및 기수방위 참조 시스템(aircraft altitude and heading reference system, AHRS)에 자이로스코프를 사용하는 것을 포함할 수 있다. 이러한 응용들에서, 예를 들면, 약 0.1 % 이상의 정확도로 자이로스코프의 회전 속도를 결정하는 것이 바람직할 수 있다. 스케일 팩터(SF)의 변화는 일반적으로 자이로스코프(100)가 회전 속도를 결정할 수 있는 정확도를 제한하는 인자이다. 따라서, 회전 속도가 결정되는 정확도가 증가되도록, 스케일 팩터(SF)의 변화가 감소되는 자이로스코프(100)를 제공

하는 것이 바람직하다.

- [0071] 일반적으로 트랜스듀서들(14a-14h)은 티탄산 지르콘산 납(lead zirconate titanate)(PZT)으로 형성된다. PZT는, 높은 이득으로, 기계적 응력을 전기 신호로 또는 그 반대로 변환하는 압전 재료이다. PZT는 예를 들어 소결 공정을 사용하여 형성될 수 있다. 주어진 진폭을 갖는 1차 진동 모드를 구동하기 위해 1차 구동 트랜스듀서들(14a, 14b)을 구동하는 데 상대적으로 낮은 전압의 1차 구동 신호(55)가 사용될 수 있기 때문에, PZT 트랜스듀서의 높은 이득은 유리하다. 또한, 2차 검출 트랜스듀서들(14e, 14f)에 의해 검출된 진동들은 비교적 높은 전압의 2차 검출 신호(14e, 14f)의 생성을 야기한다. 이에 따라 상대적으로 높은 신호 대 잡음 비(signal to noise ratio)로 2차 진동 모드를 측정할 수 있다.
- [0072] 그러나 PZT 트랜스듀서의 이득은 시간과 온도 변화 둘 다에 따라 변한다. 또한, PZT 트랜스듀서의 이득은 히스테리시스(hysteresis) 효과를 겪게 되는데 이로 인해 PZT 트랜스듀서의 이득은 온도의 불명확한(ill-defined) 함수가 된다. 수학적 식으로부터 알 수 있는 바와 같이, PZT 트랜스듀서들(특히 1차 검출 트랜스듀서들(14c, 14d) 및 2차 구동 트랜스듀서들(14g, 14h))의 이득의 변화는 스케일 팩터(SF)의 변화를 야기하는데, 이는 회전 각속도가 자이로스코프(100)에 의해 결정되는 정확도에 부정적인 영향을 미친다.
- [0073] 도 5는 온도의 함수로서의 자이로스코프(100)의 스케일 팩터(SF)의 백분율 변화의 개략도이다. 자이로스코프(100)의 트랜스듀서들(14)은 PZT 트랜스듀서들이다. 도 5에 도시된 예에서, 자이로스코프(100)는 온도의 증가 및 감소를 경험한다. 온도는 약 -45°C 와 90°C 사이에서 변화한다. 도 5로부터 알 수 있듯이, 스케일 팩터(SF)는 온도 변화에 따라 비교적 큰 변화를 겪는다. 도 5에 도시된 온도 범위에서 스케일 팩터는 7% 이상 변화한다. 이러한 변화는 자이로스코프(100)에 의해 결정되는 회전 속도의 상당한 불확실성을 야기할 수 있다.
- [0074] 도 5로부터 더 알 수 있듯이, 스케일 팩터(SF)는 온도의 비선형(non-linear) 함수이고, 스케일 팩터(SF)는 히스테리시스 효과를 겪으므로 스케일 팩터(SF)가 온도의 동일한 증가 및 감소 후에 동일한 값으로 복귀하지 않는다. 따라서 스케일 팩터(SF)는 온도의 잘 정의된(well-defined) 함수가 아니다. 이는 자이로스코프(100)의 회전 속도를 결정할 때 스케일 팩터(SF)의 변화를 설명하기 어렵고 결과적으로 스케일 팩터(SF)의 변화는 자이로스코프(100)의 회전 속도가 결정될 수 있는 정확도를 제한한다는 것을 의미한다.
- [0075] 본 발명은 압전 단결정(piezoelectric monocrystal)으로 형성된 트랜스듀서들의 사용을 고려한다. 단결정은 단위 셀(cell)의 주기적인 반복에 의해 형성되는 연속 결정 격자를 포함하는 결정질 재료이다. 대안적으로, 단결정(monocrystal)은 단결정(single crystal)이라 칭할 수 있다. 트랜스듀서는 예를 들어 압전 특성을 나타내는 란탄 갈륨 실리케이트(lanthanum gallium silicate) 단결정을 포함할 수 있다. 란탄 갈륨 실리케이트는 일반적으로 랑가사이트(langasite)로 알려져 있다. 랑가사이트 단결정을 포함하는 트랜스듀서는 랑가사이트 트랜스듀서라 불릴 수 있다. 랑가사이트 단결정은 PZT와 비교할 때 높은 탄성 특성과 낮은 내부 감쇠(damping)를 가진다. 랑가사이트의 이러한 특성들은 랑가사이트 트랜스듀서의 이득이, PZT 트랜스듀서의 이득보다, 시간과 온도에 따라 덜 변한다는 것을 의미한다. 시간과 온도에 따라 이득이 덜 변하는 트랜스듀서를 자이로스코프(100)에 사용하면 PZT 트랜스듀서가 사용되는 경우에 비해 자이로스코프의 스케일 팩터(SF)가 시간 및 온도에 대해 더 안정적이게 된다.
- [0076] 랑가사이트가 아닌 압전 단결정을 포함하는 트랜스듀서는 또한 시간 및 온도에 따라 상대적으로 낮은 이득 변화를 나타낼 수 있으며, 또한 자이로스코프에 사용하기에 적합할 수 있다. 예를 들어, 납 마그네슘 니오베이트-납 티타네이트(lead magnesium niobate-lead titanate)(PMPNT) 단결정을 포함하는 트랜스듀서는 자이로스코프에 유리하게 사용될 수 있다. 본 발명의 실시예들에 따라 사용될 수 있는 다른 압전 단결정들은 예를 들어 인산갈륨(gallium phosphate), 석영 및/또는 전기석(tourmaline) 단결정들을 포함한다. 여기에서 명시적으로 언급되지 않은 다른 압전 단결정들이 사용될 수 있다. 통상의 기술자가 이해하는 바와 같이, 그러한 압전 단결정들은 동일한 방식으로 기능할 것이고, 따라서 그러한 압전 단결정들은 본 발명의 범위 내에 있다.
- [0077] 도 6은 트랜스듀서들(14)이 랑가사이트(langasite) 트랜스듀서들인 자이로스코프(100)의 온도의 함수로서의 스케일 팩터(SF)의 백분율 변화의 개략도이다. 도 6에 도시된 온도 범위는 도 5에 도시된 온도 범위와 동일하다. 도 5에 도시된 예와 유사하게, 온도의 증가 및 감소 동안 스케일 팩터(SF)가 도 6에 도시된다. 도 6으로부터 알 수 있듯이, 온도의 함수로서의 스케일 팩터(SF)의 변화는 (도 5에 도시된 바와 같이) PZT 트랜스듀서가 사용될 때와 비교하여 랑가사이트 트랜스듀서가 사용될 때 상당히 작다. 나아가 랑가사이트(langasite) 트랜스듀서들이 사용될 때 온도에 따른 스케일 팩터(SF)의 변화는 대략 선형적이고 스케일 팩터(SF)는 온도의 연속적인 증가 및 감소 동안 상당한 히스테리시스 효과를 겪지 않는, 온도의 잘 정의된 함수라는 것을 알 수 있다.

- [0078] 랑가사이트(langasite) 트랜스듀서들에 의해 나타나는, 온도의 함수로서의 스케일 팩터(SF)의 더 작은 변화는 PZT 트랜스듀서들을 사용할 때보다 자이로스코프의 회전 속도가 더 정확하게 결정될 수 있게 한다. 온도의 잘 정의된 함수인 스케일 팩터(SF)는, 온도가 알려진다면, 자이로스코프(100)의 회전 속도를 결정할 때 스케일 팩터(SF)의 변화가 고려되게 한다. 예를 들어, 온도가 측정될 수 있고 온도의 측정값은 (온도의 함수로서의 스케일 팩터(SF)의 알려진 변화에 기초하여) 자이로스코프(100)의 회전 속도를 결정하는 데 사용되는 스케일 팩터(SF)를 조정하는 데 사용될 수 있다.
- [0079] 본 발명의 일 실시예에서, 자이로스코프(100)의 모든 트랜스듀서들(14a-14h)은 랑가사이트 트랜스듀서들(또는 압전 단결정으로 형성된 다른 트랜스듀서들)이다. 랑가사이트 트랜스듀서들은 랑가사이트 단결정들을 포함할 수 있는데, 이들의 상부 및 저부 표면들은 금속막으로 도금된다. 금속막은 예를 들어 금으로 형성될 수 있다. 금속막은 랑가사이트 결정으로 전기 접속부들이 형성되게 한다. 저부 금속막은 공진 구조체(100)와의 전기 접속부를 형성하는 데 사용될 수 있다. 상부 금속막은 금속막에 접합(bond)될 수 있는 와이어와의 전기 접속부를 형성하는 데 사용될 수 있다. 와이어는 1차 피드백 루프(53) 또는 2차 피드백 루프(59)에 연결될 수 있으며, (트랜스듀서의 역할에 따라) 1차 검출 신호(51), 1차 구동 신호(55), 2차 검출 신호(57) 또는 2차 구동 신호(61)를 전송할 수 있다.
- [0080] 압전 단결정을 포함하는 트랜스듀서(예를 들어, 랑가사이트 트랜스듀서)의 사용이 PZT 트랜스듀서를 사용할 때에 비해 스케일 팩터(SF)의 변화를 유리하게 감소시키지만, 단결정 트랜스듀서는 일반적으로 PZT 트랜스듀서에 비해 작은 이득을 갖는다. 예를 들어, 단결정 트랜스듀서의 이득은 동등한(equivalent) PZT 트랜스듀서의 이득보다 약 6배 작을 수 있다. 단결정 트랜스듀서의 더 작은 이득은, 주어진 진폭의 공진 구조체에서의 진동 모드를 발생시키기 위해서는, 1차 구동 트랜스듀서들(14a, 14b)이 PZT 트랜스듀서들일 때와 반대로, 1차 구동 트랜스듀서들(14a, 14b)이 단결정 트랜스듀서들일 때는 1차 구동 신호(55)의 진폭이 증가된다는 것을 의미한다. 이는 1차 구동 신호(55)의 전압을 증가시킴으로써 달성될 수 있다. 그러나 어떤 경우 이는 1차 피드백 루프(53)를 형성하는 전자 장치에서 바람직하지 않은 변화가 발생되게 할 수 있다.
- [0081] 단결정 트랜스듀서의 감소된 이득은 공진 구조체의 진동이 측정될 수 있는 신호 대 잡음 비에 부가적으로 영향을 줄 수 있다. 예를 들어, 2차 검출 트랜스듀서들(14e, 14f)이 PZT 트랜스듀서들과 반대로 단결정 트랜스듀서들인 경우, 2차 검출 신호(57)의 신호 대 잡음 비는 감소될 수 있다.
- [0082] 본 발명의 일부 실시예들에서, 트랜스듀서들(14a-14h) 중 일부는 단결정 트랜스듀서들(예를 들어, 랑가사이트 트랜스듀서들)이고, 나머지 트랜스듀서들은 PZT 트랜스듀서들이다. 단결정 트랜스듀서들과 PZT 트랜스듀서들의 역할은 PZT 트랜스듀서들의 더 높은 이득과 단결정 트랜스듀서들의 더 큰 안정성을 활용하기 위해 선택될 수 있다.
- [0083] 도 7은 랑가사이트 트랜스듀서들과 PZT 트랜스듀서들을 포함하는 자이로스코프(100)의 일 실시예의 개략도이다. PZT 트랜스듀서들은 도 7에서 흰색 블록들(blocks)으로 도시되고 랑가사이트 트랜스듀서들은 검은 색 블록들로 도시된다. 수학적 1로부터 알 수 있듯이, 자이로스코프(100)의 스케일 팩터(SF)는 1차 검출 트랜스듀서들(14c, 14d)의 이득과 2차 구동 트랜스듀서들(14g, 14h)의 이득의 함수이다. 스케일 팩터(SF)의 온도 안정성을 증가시키기 위해, 1차 검출 트랜스듀서들(14c, 14d)과 2차 구동 트랜스듀서들(14g, 14h)은 랑가사이트 트랜스듀서들이다. 다른 실시예들에서, 하나 이상의 랑가사이트 트랜스듀서는 다른 압전 단결정들을 포함하는 트랜스듀서들로 대체될 수 있다.
- [0084] 1차 구동 트랜스듀서들(14a, 14b)과 2차 검출 트랜스듀서들(14e, 14f)은 PZT 트랜스듀서들이다. 위에서 설명한 바와 같이 PZT 트랜스듀서는 랑가사이트 트랜스듀서보다 높은 이득을 가진다. 1차 구동 트랜스듀서들(14a, 14b)로 PZT 트랜스듀서들을 사용하는 것은, 주어진 진폭의 1차 구동 신호(55)가, 1차 구동 트랜스듀서들(14a, 14b)이 랑가사이트 트랜스듀서들인 경우보다 큰 진폭을 갖는 1차 진동 모드를 여기한다는 것을 유리하게 의미한다. 2차 검출 트랜스듀서들(14e, 14f)로 PZT 트랜스듀서들을 사용하면, 2차 진동 모드가 측정되는 신호 대 잡음 비가 유리하게 증가된다. 2차 진동 모드가 측정되는 신호 대 잡음 비의 증가는 자이로스코프(100)의 결정된 회전 속도의 신호 대 잡음 비를 증가시킨다.
- [0085] 도 7에 도시된 랑가사이트 트랜스듀서들과 PZT 트랜스듀서들의 배열은 PZT 트랜스듀서의 높은 이득과 랑가사이트 트랜스듀서의 더 큰 이득 안정성을 유리하게 결합한다. 일부 실시예들에서, 하나 이상의 랑가사이트 트랜스듀서들은 다른 단결정 트랜스듀서들로 대체될 수 있다. 예를 들어, PMPNT 단결정을 포함하는 트랜스듀서가 사용될 수 있다.

- [0086] 1차 구동 트랜스듀서들(14a, 14b)로서 (상대적으로 높은 이득을 갖는) PZT 트랜스듀서들의 사용은 유리하게는 상대적으로 큰 진폭을 갖는 1차 진동 모드가 높은 구동 전압의 사용 없이 공진 구조체(1)에서 구동될 수 있게 한다. 1차 구동 트랜스듀서들(14a, 14b)이 단결정 트랜스듀서들일 수 있다. 그러나 단결정 1차 구동 트랜스듀서들(14a, 14b)의 사용은, 1차 구동 신호(55)의 전압이 증가(이는 자이로스코프 내의 전자 장치의 복잡성을 증가시킬 수 있음)하지 않으면, 1차 진동 모드의 진폭을 감소시킬 수 있다. 1차 진동 모드의 진폭이 감소하면 2차 진동 모드의 진폭이 감소할 것이다. 따라서, 자이로스코프의 주어진 회전 속도로부터 발생하는 2차 검출 축(23)을 따른 진동의 진폭이 감소할 것이다. 이는 2차 검출 트랜스듀서들(14e, 14f)에 의한 측정값의, 자이로스코프의 회전 속도의 변화에 대한 민감도를 감소시키고, 따라서 회전 속도가 결정되는 신호 대 잡음 비를 감소시킨다. 회전 속도가 결정되는 신호 대 잡음 비는 또한 2차 검출 트랜스듀서들(14e, 14f)의 이득에 의존한다. 따라서, 1차 구동 트랜스듀서들(14a, 14b)과 2차 검출 트랜스듀서들(14e, 14f) 둘 다로서 고 이득 PZT 트랜스듀서들을 사용하면 자이로스코프의 회전 속도가 결정되는 신호 대 잡음 비가 유리하게 증가되는 한편 (단결정만을 사용하는 자이로스코프에 비해) 상대적으로 낮은 구동 전압이 자이로스코프에서 활용될 수 있게 한다.
- [0087] 전술한 바와 같이, 고 이득 PZT 트랜스듀서들은 1차 구동 트랜스듀서들(14a, 14b)과 2차 검출 트랜스듀서들(14e, 14f) 용으로 유리하다. 그러나, 1차 검출 트랜스듀서들(14c, 14d)과 2차 구동 트랜스듀서들(14g, 14h) 용으로는 단결정 트랜스듀서들을 사용하는 것이 바람직한데, 이는 자이로스코프의 스케일 팩터(SF)에 직접 영향을 미치는 것은 이 트랜스듀서들의 이득이기 때문이다. (예를 들어, PZT 트랜스듀서들과 비교할 때) 단결정 트랜스듀서들의 증가된 이득 안정성은 자이로스코프의 스케일 팩터(SF)의 안정성을 유리하게 증가시킴으로써, 자이로스코프의 회전 속도가 측정되는 정확도를 증가시킨다.
- [0088] (예를 들어, PZT 트랜스듀서들과 비교할 때) 단결정 트랜스듀서들의 더 낮은 이득을 보상하기 위해, 1차 및 2차 피드백 루프들(53, 59)의 1차 검출 신호(51)와 2차 구동 신호(61)의 증폭(amplification)이 증가될 수 있다.
- [0089] 전술한 바와 같이, 1차 구동 트랜스듀서들(14a, 14b)과 2차 검출 트랜스듀서들(14e, 14f)은 PZT 트랜스듀서들고, 2차 구동 트랜스듀서들(14g, 14h)과 1차 검출 트랜스듀서들(14c, 14d)은 랭가사이트 트랜스듀서들인, 도 7에 도시된 트랜스듀서들의 구성은, 자이로스코프(100)의 회전 속도가 결정되는 신호 대 잡음 비를 증가시키는 한편 스케일 팩터의 안정성을 유리하게 증가시킨다. 그러나, 다른 실시예들에서 트랜스듀서들의 다른 구성이 사용될 수 있다. 일반적으로 트랜스듀서들 중 적어도 하나는 단결정 트랜스듀서(예컨대 랭가사이트 트랜스듀서)이다. 하나 이상의 트랜스듀서들은 PZT 트랜스듀서들일 수 있다.
- [0090] 비-단결정 트랜스듀서가 PZT 트랜스듀서인 실시예들이 위에서 설명되었지만, 다른 실시예들에서는 다른 비-단결정 트랜스듀서가 대신 사용될 수 있다.
- [0091] 단결정 트랜스듀서(예컨대, 랭가사이트 트랜스듀서)와 PZT 트랜스듀서는 트랜스듀서에 의해 구동 및/또는 검출되는 진동 모드의 특성에 영향을 줄 수 있는 상이한 기계적 특성을 갖는다. 예를 들어, 진동 모드를 구동하거나 검출하는 데 사용되는 트랜스듀서의 유형은 진동하는 재료의 질량 및 강성(stiffness)과 진동의 임의의 감쇠(damping)에 영향을 줄 수 있다. 이러한 효과는 상대적으로 미미할 수 있다. 그러나 동일한 개수의 각 유형의 트랜스듀서가 각 진동 모드에 관여되는 것이 바람직할 수 있다. 예를 들어, 1차 진동 모드를 구동 및/또는 검출하는 단결정 트랜스듀서들(이는 1차 트랜스듀서들로 지칭될 수 있음)의 개수는 2차 진동 모드를 구동 및/또는 검출할 수 있는 단결정 트랜스듀서들(이는 2차 트랜스듀서들로 지칭될 수 있음)의 개수와 동일한 것이 바람직할 수 있다. 1차 PZT 트랜스듀서들의 개수가 2차 PZT 트랜스듀서들의 개수와 동일한 것이 더 바람직할 수 있다. 도 7에 도시된 실시예에서, 두 개의 1차 트랜스듀서들(1차 검출 트랜스듀서들(14c, 14d))과 두 개의 2차 트랜스듀서들(2차 구동 트랜스듀서들(14g, 14h))은 랭가사이트 트랜스듀서들임을 알 수 있을 것이다. 또한, 두 개의 1차 트랜스듀서들(1차 구동 트랜스듀서들(14a, 14b))과 두 개의 2차 트랜스듀서들(2차 검출 트랜스듀서들(14e, 14f))은 PZT 트랜스듀서들이다. 따라서 각 진동 모드는 동일한 개수의 각 트랜스듀서 유형을 포함한다.
- [0092] 전술한 실시예들에서, 각각의 기능(예를 들어, 1차 구동, 1차 검출, 2차 구동 및 2차 검출)은 한 쌍의 트랜스듀서에 의해 수행된다. 그러나, 다른 실시예들에서 다른 개수의 트랜스듀서들이 다른 기능들을 수행할 수 있다. 예를 들어, 자이로스코프의 일 실시예는 단일한(single) 1차 구동 트랜스듀서, 단일한 1차 검출 트랜스듀서, 단일한 2차 구동 트랜스듀서 및 단일한 2차 검출 트랜스듀서를 포함할 수 있다. 도 3 및 도 7에 도시된 바와 같은 한 쌍의 트랜스듀서와 반대로 각 기능 용으로 단일한 트랜스듀서를 사용하면 자이로스코프의 조립이 간단해질 수 있다. 그러나 각 기능 용으로 단일한 트랜스듀서를 사용하면 각 기능 용으로 한 쌍의 트랜스듀서를 사용하는 것과 비교할 때 1차 및 2차 모드의 더 작은 이득들(G_{pDr} , G_{pDe} , G_{sDr} 및 G_{sDe})로 이어질 수 있다.

- [0093] 본 발명은 자이로스코프의 특정 실시예들을 참조하여 설명되었지만, 하나 이상의 단결정 트랜스듀서들(예를 들어, 랑가사이트 트랜스듀서들)이 진동 자이로스코프의 임의의 구성과 함께 사용될 수 있다는 것을 알 수 있을 것이다. 예를 들어, 도 8a 및 8b는 본 발명의 대안적인 실시예에 따른 진동 자이로스코프(2000)를 개략적으로 도시한다. 자이로스코프(2000)는 공통 기저부(2002)에서 결합된 한 쌍의 튜닝 포크(tuning forks)와 유사한 공진 구조체(2001)를 포함한다. 도 8a는 자이로스코프(2000)의 측면 프로파일(profile)을 도시한다. 공진 구조체(2001)는 기저부(2002) 상에 장착되는 네 개의 평행 빔들(beams)(2004a-2004d)(도 8a에서는 두 개만 보임)을 포함한다. 기저부(2002)는 빔들(2004)을 기계적으로 연결하여, 빔들 중 하나의 진동이 다른 빔들에서 진동을 일으키도록 한다. 기저부(2002)는 기둥(2006)을 통해 스탠드(stand)(2008)에 고정된다. 공진 구조체(2001)은 공진 구조체 주위에 진공이 유지될 수 있도록 캡(cap, 도시되지 않음) 내부에 밀봉될 수 있다.
- [0094] 빔들(2004a-2004d)은 각각 트랜스듀서들(2014a-2014h 및 2015a-2015h)의 두 개의 수직 레벨들(levels)(2014, 2015)(이들 중 일부만 도 8a에서 보임)을 구비한다. 도 8b는 트랜스듀서들의 두 개의 수직 레벨들(2014, 2015)의 수평 단면의 개략도이다. 도 8b에는 트랜스듀서들과 1차 피드백 루프(2021) 및 2차 피드백 루프(2023) 사이의 연결부들도 도시되어 있다.
- [0095] 트랜스듀서들(2014a-2014h 및 2015a-2015h)은 공진 구조체에서의 진동 모드를 구동 및 감지하기 위해 다수의 상이한 방식으로 작동될 수 있다. 일 실시예에서, 도 8a 및 8b에서 도면부호 2015e, 2015f, 2015g 및 2015h로 표시된 트랜스듀서들은 1차 구동 트랜스듀서들의 역할을 수행하며 빔들(2004a-2004d)에서 1차 진동 모드를 구동하도록 구성된다. 1차 진동 모드는, 예를 들어, 동일한 방향으로의 모든 네 개의 빔들(2004a-2004d)의 진동들을 포함할 수 있다. 예를 들어, 빔들(2004a-2004d)은 1차 구동 트랜스듀서들(2015e-2015h)에 의해 구동되어 도 8b에 도시된 양방향 화살표(2041)로 표시된 바와 같이 위에서 아래로 진동할 수 있다.
- [0096] 1차 진동 모드는 도 8a 및 도 8b의 도면부호 2014e, 2014g, 2014g 및 2014h로 표시된 1차 검출 트랜스듀서들에 의해 검출된다. 1차 검출 트랜스듀서들은 1차 피드백 루프(2021)에 입력을 제공하고, 1차 피드백 루프(2021)는 1차 구동 트랜스듀서들(2015e-2015h)에 제공되는 신호를 출력한다. 1차 피드백 루프(2021)는, 예를 들어, 원하는 주파수, 진폭 및 위상을 갖는 1차 진동 모드를 유지하도록, 1차 검출 트랜스듀서들에 의해 이루어진 측정값들에 기초하여 1차 구동 트랜스듀서들을 제어하도록 작용하는 아날로그 또는 디지털 전자 장치를 포함할 수 있다.
- [0097] 1차 진동 모드가 빔들(2004a-2004d)이 동일한 방향(2041)으로 진동하도록 이루어질 수 있는 한편, 빔들은, 일부 빔들의 진동들이 하나 이상의 나머지 빔들의 진동들과 위상이 달라지도록 진동할 수 있다. 예를 들어, 도 8a 및 도 8b에 도시된 실시예에서, 빔들(2004a, 2004c)의 진동들은 서로 위상이 같지만 빔들(2004b, 2004d)의 진동들과는 위상이 달라지게, 빔들(2004a-2004d)이 진동하도록 구동될 수 있다. 따라서, (빔들(2004a, 2004c) 상에 각각 위치하는) 1차 검출 트랜스듀서들(2014e, 2014g)에서 생성되는 신호들은, (빔들(2004a, 2004c) 상에 각각 배치되는) 1차 검출 트랜스듀서들(2014f, 2014h)에서 생성되는 신호들과 위상이 맞지 않을 것이다. 1차 검출 트랜스듀서들(2014e, 2014g)에서 생성된 신호들은, 1차 검출 트랜스듀서들(2014f, 2014h)에서 생성된 신호들로부터 감산기(2070)에서 감산되어 1차 피드백 루프(2021)로의 입력 신호(2072)를 형성하는데, 이는 1차 진동 모드의 진폭, 주파수 및 위상을 나타낸다.
- [0098] 1차 피드백 루프(2021)는, 원하는 진폭, 주파수 및 위상을 갖는 1차 진동 모드를 유지하도록 1차 구동 트랜스듀서들(2015e-2015h)을 구동하는 신호(2074)를 출력한다. 트랜스듀서들(2015f, 2015h)을 구동하는 신호는, 빔들(2004b, 2004d)의 진동들과 빔들(2004a, 2004b)의 진동 간의 위상 관계를 유지하도록 인버터(inverter)(2076)에 의해 반전된다.
- [0099] 도 1 내지 도 4를 참조하여 상술한 진동 자이로스코프의 실시예들과 유사하게, 도 8a 및 도 8b에 도시된 자이로스코프(2000)의 회전은 2차 진동 모드를 발생시킬 수 있다. 예를 들어, 자이로스코프(2000)의 회전은 도 8b에 도시된 양방향 화살표(2040)로 표시된 방향으로의 빔들(2004a-2004d)의 진동들을 유발할 수 있다. 2차 진동 모드는 도 8b에서 도면부호 2014a, 2014b, 2014c 및 2014d로 표시된 2차 검출 트랜스듀서들에 의해 검출된다. 트랜스듀서들(2014a, 2014b)로부터 출력된 신호들은 트랜스듀서들(2014c, 2014d)로부터 출력된 신호들로부터 감산기(2080)에서 감산되어 2차 피드백 루프(2023)로의 입력 신호(2082)를 형성하는데, 이는 2차 진동 모드를 나타낸다.
- [0100] 2차 피드백 루프(2023)는 2차 구동 트랜스듀서들(2015a, 2015b, 2015c, 2015d)에 제공되는 신호(2084)를 출력한다. 2차 피드백 루프(2023)는, 예를 들어, 2차 진동 모드를 실질적으로 상쇄하도록 2차 검출 트랜스듀서들(2014a-2014d)에 의해 이루어진 측정값들에 기초하여 2차 구동 트랜스듀서들(2015a-2015d)을 제어하도록 작용하

는 아날로그 또는 디지털 전자 장치를 포함할 수 있다. 서로 다른 빔들(2004a-2004d)의 진동들 간의 위상 관계가 주어지면, 트랜스듀서들(2015a, 2015b)에 제공되는 신호는 인버터(2086)에 의해 반전된다.

[0101] 2차 구동 트랜스듀서들(2015a-2015d)을 구동하는 신호(2084)를 출력하는 것에 더하여, 2차 피드백 루프(2023)는 또한 자이로스코프(2000)의 회전 속도에 비례하는 측정 신호(2063)를 출력한다. 다른 실시예들을 참조하여 상술한 바와 같이, 자이로스코프(2000)는 2차 피드백 루프(2023)로부터 출력되는 측정 신호(2063)를 자이로스코프(2000)의 회전 속도에 관련시키는 비례 상수인 스케일 팩터(SF)를 갖는다.

[0102] 스케일 팩터(SF)는 2차 구동 트랜스듀서들(2015a-2015d)의 이득들(G_{Sdr}) 및 1차 검출 트랜스듀서들(2014e-2014h)의 이득들(G_{Pde})에 의존한다. 도 8a 및 도 8b에 도시된 실시예에서, 2차 구동 트랜스듀서들(2015a-2015d)과 1차 검출 트랜스듀서들(2014e-2014h)은 각각 압전 단결정(도 8a 및 8b에 검은 색 블록으로 도시됨)을 포함한다. 예를 들어, 2차 구동 트랜스듀서들(2015a-2015d) 및 1차 검출 트랜스듀서들(2014e-2014h)은 각각 랑가사이트 단결정을 포함할 수 있다. 다른 실시예들을 참조하여 상술한 바와 같이, 압전 단결정을 포함하는 트랜스듀서의 이득은 시간에 따라 그리고 온도 변화에 대해 비교적 안정적이다. 따라서, 도 8a 및 도 8b에 도시된 바와 같이, 2차 구동 트랜스듀서들(2015a-2015d) 및 1차 검출 트랜스듀서들(2014e-2014h) 용으로 압전 단결정을 사용하면 시간에 따라 그리고 온도 변화에 대해 상대적으로 안정적인 스케일 팩터(SF)를 갖는 자이로스코프(2000)가 유리하게 얻어진다. 예를 들어, 자이로스코프(2000)의 스케일 팩터(SF)는, 도 6에 도시된 온도에 따른 스케일 팩터(SF)의 변화와 유사한 방식으로 온도에 따라 변할 수 있다. 상술한 바와 같이, 도 6은, 예를 들면, 도 5에 도시된 바와 같이 2차 구동 트랜스듀서들과 1차 검출 트랜스듀서들 용으로 PZT 트랜스듀서들이 사용되는 경우와 비교할 때, 온도에 따른 스케일 팩터(SF)의 상대적으로 작은 변화를 도시한다.

[0103] 도 8a 및 8b에 도시된 실시예의 트랜스듀서들 중 일부는 압전 단결정을 포함하는 반면, 도 8a 및 8b에 흰색 블록으로 도시된 1차 구동 트랜스듀서들(2015e-2015h) 및 2차 검출 트랜스듀서들(2014a-2014d)은, 예를 들면, PZT 트랜스듀서들일 수 있다. 다른 실시예들을 참조하여 상술한 바와 같이, PZT 트랜스듀서들은 (예를 들어, 압전 단결정을 포함하는 트랜스듀서들과 비교할 때) 상대적으로 높은 이득을 갖는다.

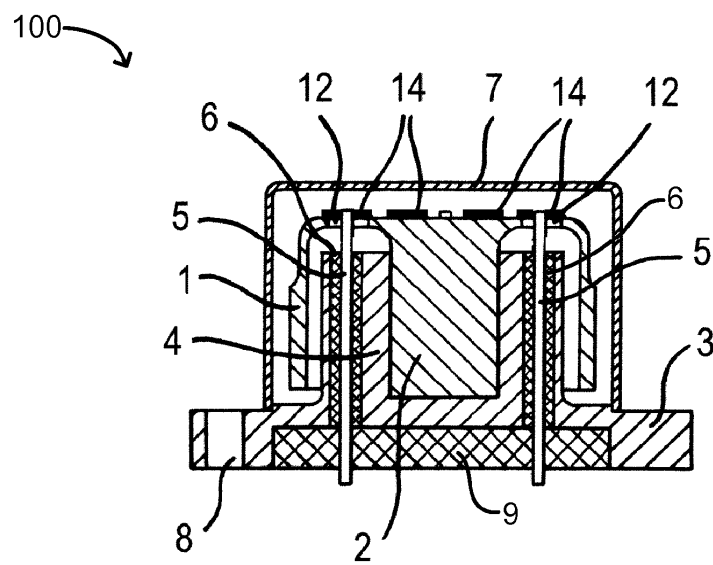
[0104] 1차 구동 트랜스듀서들(2015e-2015h)로서 (상대적으로 높은 이득을 갖는) PZT 트랜스듀서들의 사용은 유리하게는 상대적으로 큰 진폭을 갖는 1차 진동 모드가 높은 구동 전압의 사용 없이 공진 구조체(2001)에서 구동될 수 있게 한다. 2차 검출 트랜스듀서들(2014a-2014d)로서 비교적 높은 이득의 PZT 트랜스듀서들을 사용하면, 자이로스코프의 회전 속도가 결정되는 신호 대 잡음 비가 유리하게 증가된다.

[0105] 도 8a 및 도 8b에 도시된 형태의 자이로스코프의 다른 실시예들에서, 도면에 도시된 것보다 많거나 적은 트랜스듀서들이 사용될 수 있다. 예를 들어, 일 실시예에서, 도 8a 및 8b의 각 기능 용으로 사용되는 네 개의 트랜스듀서들과는 반대로, 두 개의 트랜스듀서들만이 각 기능(예를 들어, 1차 구동, 1차 검출, 2차 구동 및 2차 검출) 용으로 사용될 수 있다. 일반적으로, 트랜스듀서들 중 적어도 하나는 압전 단결정(예컨대 랑가사이트 단결정)을 포함할 수 있다. 트랜스듀서들은 1차 진동 모드를 구동하고 검출하도록 구성된 제1 그룹(group)의 트랜스듀서들 및 2차 진동 모드를 검출하고 상쇄하도록 구성된 제2 그룹의 트랜스듀서들을 포함할 수 있다. 일부 실시예들에서, 제1 및 제2 그룹의 트랜스듀서들은 압전 단결정을 포함하는 동일한 개수의 트랜스듀서들을 포함할 수 있다.

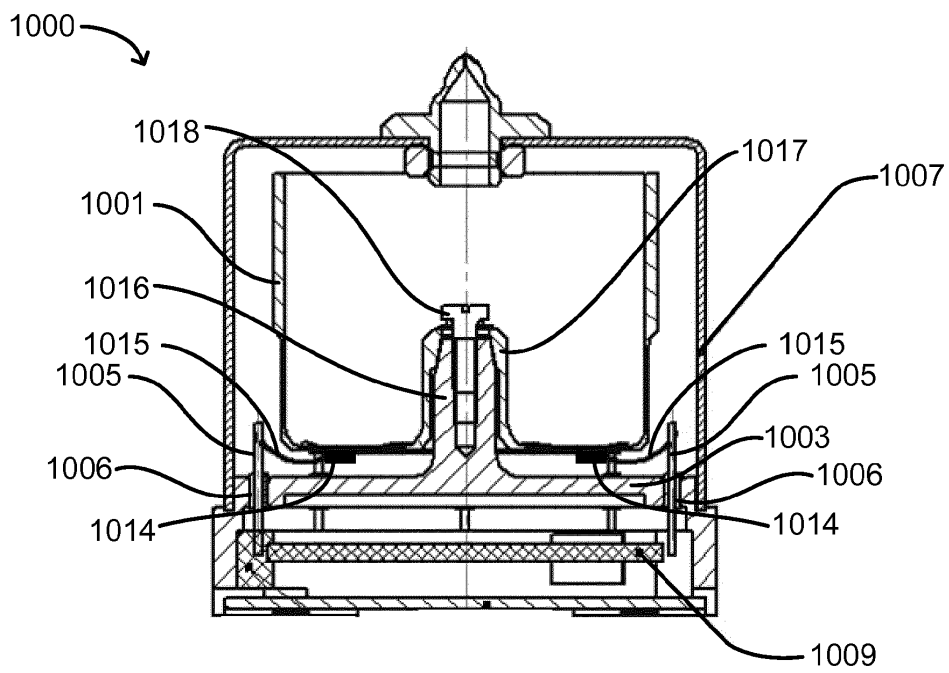
[0106] 본 발명의 특정 실시예들이 상술되었지만, 본 발명은 설명된 것과 다르게 실시될 수 있다는 것을 이해할 것이다. 위의 설명은 예시를 위한 것이지만 한정하고자 하는 것은 아니다. 따라서, 첨부된 청구범위의 범주를 벗어나지 않고 설명된 바와 같은 본 발명에 수정이 가해질 수 있음은 통상의 기술자에게 명백할 것이다.

도면

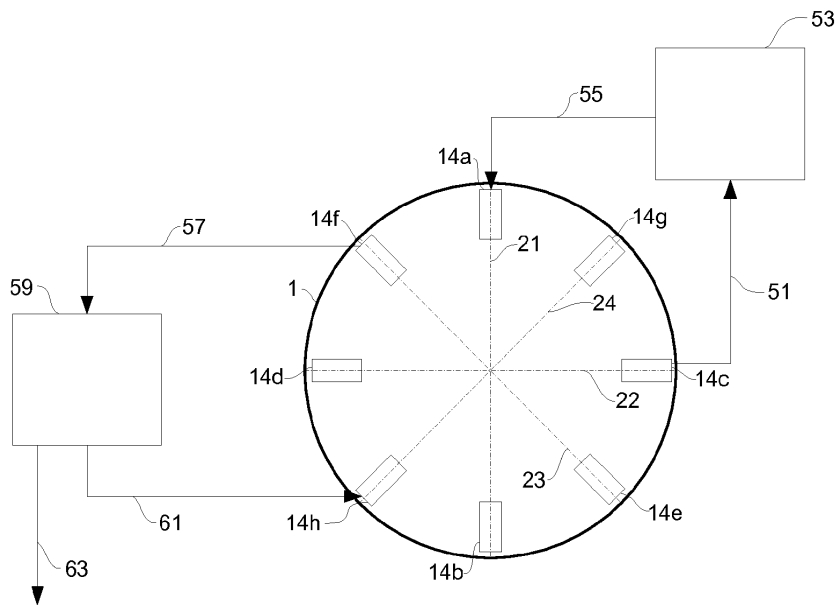
도면1



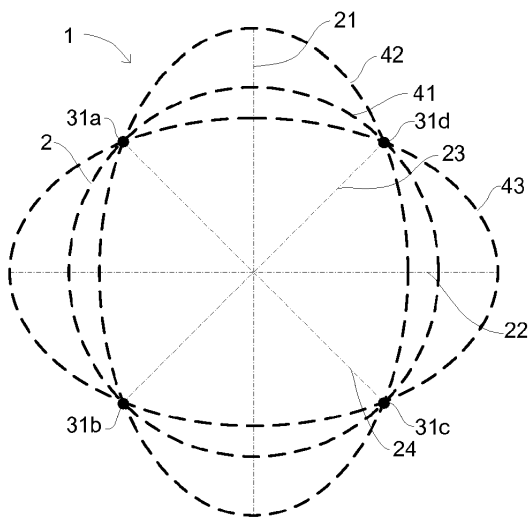
도면2



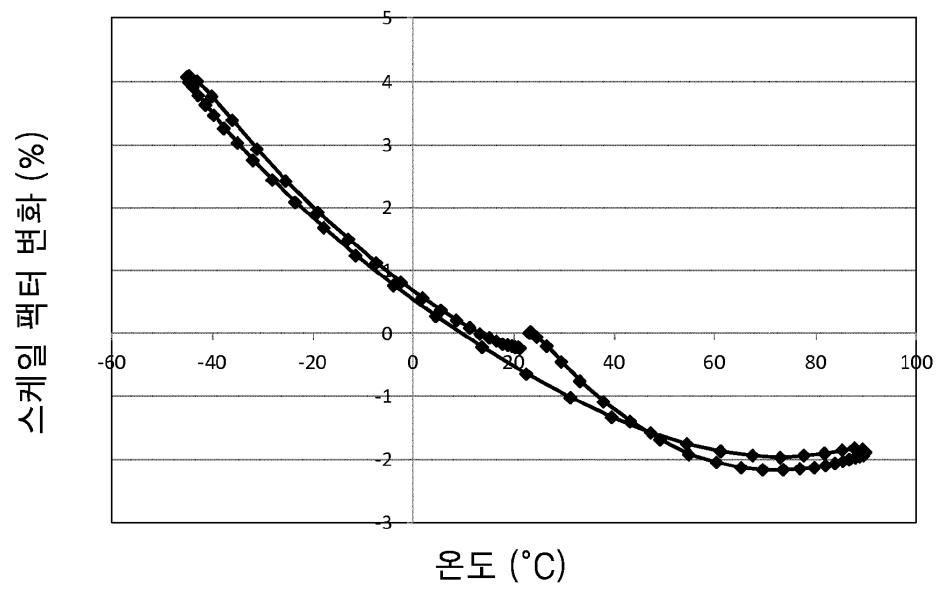
도면3



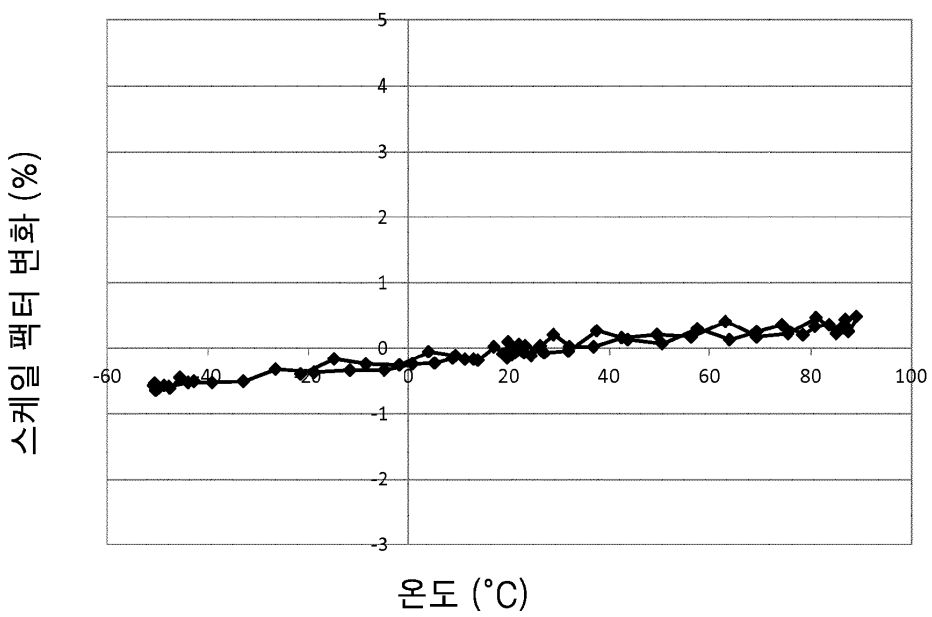
도면4



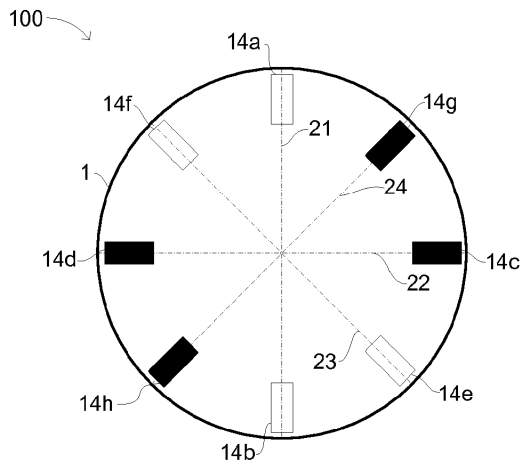
도면5



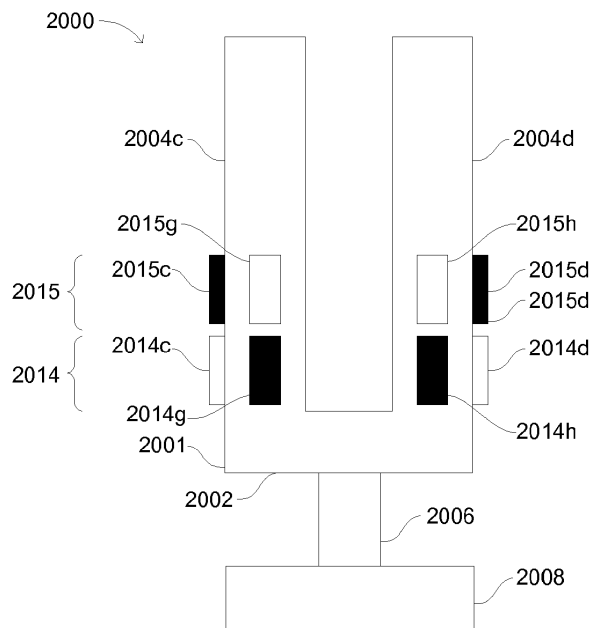
도면6



도면7



도면8a



도면8b

