



(19) 대한민국특허청(KR)
(12) 공개특허공보(A)

(11) 공개번호 10-2022-0116929
(43) 공개일자 2022년08월23일

(51) 국제특허분류(Int. Cl.)
G01C 19/5719 (2012.01) B81B 7/02 (2017.01)
G01C 19/56 (2006.01) G01C 19/5726 (2012.01)
G01C 19/5733 (2012.01)
(52) CPC특허분류
G01C 19/5719 (2013.01)
B81B 7/02 (2013.01)
(21) 출원번호 10-2021-0020399
(22) 출원일자 2021년02월16일
심사청구일자 2021년02월16일

(71) 출원인
한국기술교육대학교 산학협력단
충청남도 천안시 동남구 병천면 충절로 1600 (한국기술교육대학교내)
(72) 발명자
이병렬
경기도 용인시 수지구 진산로 90, 513동 1402호(풍덕천동, 진산마을삼성래미안5차아파트)
후사 무던
충청남도 천안시 동남구 병천면 충절로 1600(가천리, 한국기술교육대학교)
파이잘
충청남도 천안시 동남구 병천면 충절로 1638, 106동 306호(신한아파트)
(74) 대리인
특허법인오암

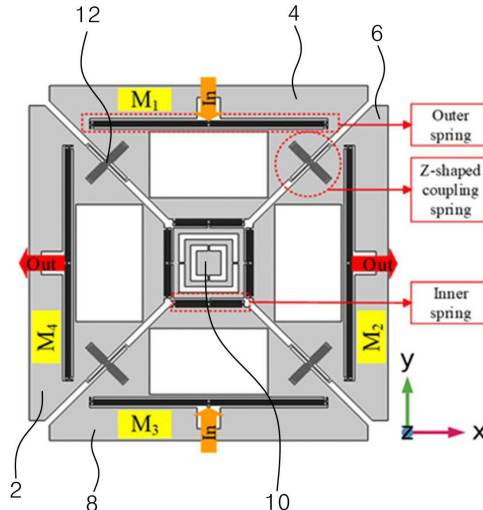
전체 청구항 수 : 총 6 항

(54) 발명의 명칭 낮은 타측 감도를 갖는 다축 MEMS 자이로센서의 설계 방법

(57) 요약

제안기술은 낮은 타측 감도를 갖는 다축 MEMS 자이로 센서의 설계 방법에 관한 것으로, 더욱 상세하게는 단일 구조를 갖는 다축 MEMS 자이로 센서의 교차축 감도를 감소시키기 위한 설계 방법에 관한 발명이다.

대표도 - 도1



(52) CPC특허분류

G01C 19/5726 (2013.01)

G01C 19/5733 (2013.01)

G01P 9/04 (2013.01)

B81B 2201/0242 (2013.01)

명세서

청구범위

청구항 1

서로 수직인 세 개 방향의 축 중 어느 하나에 대하여 운동하는 다수 개의 구동 질량부; 및

서로 소정의 간격으로 이격된 상기 다수 개의 구동 질량부 사이에 위치하며 상기 다수 개의 구동 질량부를 선택적으로 연결하는 커플링부;를 포함하는 자이로센서의 교차축감도를 최소화하기 위한 설계 방법에 있어서,

상기 구동 질량부 중 X축으로 이동하는 구동 질량부의 구동 변위 진폭(X_{d_x})과 Y축으로 이동하는 구동 질량부의 구동 변위 진폭(X_{d_y})이 서로 다르고,

수평 방향의 구동 주파수와 X축을 중심으로 비틀림 거동하는 감지 주파수와의 차이(Δf_{cx})와 Y축을 중심으로 비틀림 거동하는 감지 주파수와의 차이(Δf_{cy})가 서로 다른 경우,

$$R_{x_d} = X_{d_y} / X_{d_x},$$

$$R_{\Delta_f} = \Delta f_{cy} / \Delta f_{cx},$$

$$R_{x_d} / R_{\Delta_f} \cong \pm 1$$

(여기서, R_{x_d} : 구동 변위 진폭 비율, R_{Δ_f} : 감지 주파수 차이 비율)

수식을 만족시키는 것

을 특징으로 하는 낮은 타축 감도를 갖는 다축 MEMS 자이로센서의 설계 방법.

청구항 2

제1항에 있어서,

상기 커플링부는 중앙 일부가 분리되고 이격된 Z형의 형상을 가지며 상기 간격을 형성하는 두 개의 상기 구동 질량부를 연결하는 스프링 빔을 포함하는 것을 특징으로 하는 낮은 타축 감도를 갖는 다축 MEMS 자이로센서의 설계 방법.

청구항 3

제1항에 있어서,

상기 구동 질량부는,

서로 대칭이며, X축에 따라 위치되고, X축으로 이동하는 제1구동 질량부 및 제3구동 질량부와,

서로 대칭이며, Y축에 따라 위치되고, Y축으로 이동하는 제2구동 질량부 및 제4구동 질량부를 포함하는 것

을 특징으로 하는 낮은 타축 감도를 갖는 다축 MEMS 자이로센서의 설계 방법.

청구항 4

서로 수직인 세 개 방향의 축 중 어느 하나에 대하여 운동하는 다수 개의 구동 질량부; 및

서로 소정의 간격으로 이격된 상기 다수 개의 구동 질량부 사이에 위치하며 상기 다수 개의 구동 질량부를 선택적으로 연결하는 커플링부;를 포함하는 자이로센서의 교차축감도를 최소화하기 위한 설계 방법에 있어서,

상기 구동 질량부 중 X축으로 이동하는 구동 질량부의 구동 변위 진폭(X_{d_x})과 Y축으로 이동하는 구동 질량부의 구동 변위 진폭(X_{d_y})이 서로 동일하고,

수평 방향의 구동 주파수와 X축을 중심으로 비틀림 거동하는 감지 주파수와의 차이(Δf_{cx})와 Y축을 중심으로 비틀림 거동하는 감지 주파수와의 차이(Δf_{cy})가 서로 동일한 경우,

$$R_{x_d} = X_{d_y} / X_{d_x} \cong 1$$

$$R_{\Delta f} = \Delta f_{cy} / \Delta f_{cx} \cong \pm 1$$

$$R_{x_d} / R_{\Delta f} \cong \pm 1$$

(여기서, R_{x_d} : 구동 변위 진폭 비율, $R_{\Delta f}$: 감지 주파수 차이 비율)

상기 수식을 만족시키는 것

을 특징으로 하는 낮은 타측 감도를 갖는 다축 MEMS 자이로센서의 설계 방법.

청구항 5

제4항에 있어서,

상기 커플링부는 단순 접합(simple folded) 형상을 가지며, 상기 간격을 형성하는 두 개의 상기 구동 질량부를 연결하는 스프링 빔을 포함하는 것을 특징으로 하는 낮은 타측 감도를 갖는 다축 MEMS 자이로센서의 설계 방법.

청구항 6

제4항에 있어서,

상기 구동 질량부는,

서로 대칭이며, X축에 따라 위치되고, X축으로 이동하는 제1구동 질량부 및 제3구동 질량부와,

서로 대칭이며, Y축에 따라 위치되고, Y축으로 이동하는 제2구동 질량부 및 제4구동 질량부를 포함하는 것

을 특징으로 하는 낮은 타측 감도를 갖는 다축 MEMS 자이로센서의 설계 방법.

발명의 설명

기술 분야

[0001] 제안기술은 낮은 타측 감도를 갖는 다축 MEMS 자이로센서의 설계 방법에 관한 것으로, 더욱 상세하게는 단일 구조를 갖는 다축 MEMS 자이로센서의 교차측 감도를 감소시키기 위한 설계 방법에 관한 발명이다.

배경 기술

[0002] 일반적으로 MEMS(Micro electro mechanical system)는 기계적, 전기적 부품들을 반도체 공정을 이용하여 구현하는 기술로서, 멤스 기술을 이용한 소자의 대표적인 예가 각속도를 측정하는 멤스 자이로스코프이다.

[0003] 자이로스코프는 소정의 속도로 이동하는 물체에 회전각속도가 가해질 경우에 발생하는 코리올리 힘(Coriolis Force)을 감지하여 각속도를 측정한다. 이때 코리올리 힘은 이동속도와 외력에 의한 회전각속도의 외적(cross product)에 비례한다.

[0004] 또한, 상기 발생된 코리올리 힘을 감지하기 위해, 자이로스코프는 그 내부에서 진동을 하는 질량체를 구비하고 있다. 통상적으로, 자이로스코프 내의 질량체가 구동되는 방향을 가진 방향이라 하고, 자이로스코프에 회전 각속도가 입력되는 방향을 입력 방향이라 하며, 질량체에 발생되는 코리올리 힘을 감지하는 방향을 감지 방향이라

한다. 상기 가진 방향과 입력 방향 및 감지 방향은 공간상에서 상호 직교하는 방향으로 설정된다.

[0005] 통상적으로, 맵스 기술을 이용한 자이로스코프에서는, 바닥 웨이퍼 기판이 이루는 평면에 평행하며 상호 직교하는 두 방향(수평 방향 또는 x-y 방향)과 기판의 판면에 수직인 한 방향(수직방향 또는 z 방향이라 한다)으로 구성된 세 방향으로 좌표축을 설정한다.

[0006] 이에 따라, 자이로스코프는 x축(또는 y축) 자이로스코프와 z축 자이로스코프로 나뉜다. x축 자이로스코프는 입력방향이 상기 수평 방향인 자이로스코프이며, y축 자이로스코프는 평면 상에서 상기 x축 자이로스코프와 수직 방향의 축을 기준으로 변위를 감지하지만 원리면에서는 x축 자이로스코프와 실질적으로 동일하다.

[0007] 이러한 x축 자이로스코프를 이용하여 수평방향으로 가해지는 각속도를 측정하기 위해서는, 가진 방향 또는 감지 방향 중 어느 하나는 수직방향으로 설정되어야 한다.

[0008] 한편, 단일 구조의 다축 MEMS 자이로스코프에서 교차축감도(Cross-axis sensitivity, CAS)는 중요한 문제 중 하나이다.

[0009] 상기 교차축감도는 조립 및 테스트 설정 오류의 문제로 발생하는 것으로, 교차축감도를 최소한으로 줄이기 위한 방법이 요구되고 있다.

선행기술문헌

특허문헌

[0010] (특허문헌 0001) 한국등록특허 제10-1984078호

발명의 내용

해결하려는 과제

[0011] 본 발명은 상기와 같은 문제를 해결하기 위해 발명된 것으로서, 단일 구조를 갖는 다축 MEMS 자이로센서의 교차축 감도를 감소시킬 수 있는 설계 방법을 제공하는데 목적이 있다.

과제의 해결 수단

[0012] 상기와 같은 목적을 달성하기 위한 본 발명의 낮은 타축 감도를 갖는 다축 MEMS 자이로센서의 설계 방법에 있어서,

[0013] 구동 질량부 중 X축으로 이동하는 구동 질량부의 구동 변위 진폭(X_{d_x})과 Y축으로 이동하는 구동 질량부의 구동 변위 진폭(X_{d_y})이 서로 다르고,

[0014] 수평 방향의 구동 주파수와 X축을 중심으로 비틀림 거동하는 감지 주파수와의 차이(Δf_{cx})와 Y축을 중심으로 비틀림 거동하는 감지 주파수와의 차이(Δf_{cy})가 서로 다른 경우,

$$R_{x_d} = X_{d_y} / X_{d_x},$$

$$R_{\Delta_f} = \Delta f_{cy} / \Delta f_{cx},$$

$$R_{x_d} / R_{\Delta_f} \cong \pm 1$$

[0018] (여기서, R_{x_d} : 구동 변위 진폭 비율, R_{Δ_f} : 감지 주파수 차이 비율)

[0019] 수식을 만족시키는 것을 특징으로 한다.

[0020] 커플링부는 중앙 일부가 분리되고 이격된 Z형의 형상을 가지며 간격을 형성하는 두 개의 구동 질량부를 연결하

는 스프링 빔을 포함하는 것을 특징으로 한다.

[0021] 구동 질량부는,

[0022] 서로 마주보도록 배치되며, X축에 따라 위치되고, Y축으로 이동하는 제1구동 질량부 및 제3구동 질량부와,

[0023] 서로 마주보도록 배치되며, Y축에 따라 위치되고, X축으로 이동하는 제2구동 질량부 및 제4구동 질량부를 포함하는 것을 특징으로 한다.

발명의 효과

[0024] 본 발명에 따르면, 단일 구조를 갖는 다축 MEMS 자이로센서의 교차축 감도를 감소시킬 수 있는 효과가 있다.

도면의 간단한 설명

[0025] 도 1은 본 발명에 따른 단일 구조의 MEMS 자이로센서의 개념도.

도 2는 본 발명에 따른 구동 변위 진폭이 동일하지 않은 경우, 단일 구조의 MEMS 자이로센서의 개념도.

도 3은 2의 주파수 배열 개념도.

도 4는 도 2의 초기 설계 공진 주파수.

도 5는 도 4의 교차축감도 결과표.

도 6은 도 2에 본 발명의 설계 방법이 적용된 공진 주파수.

도 7은 도 6의 교차축감도 결과표.

도 8은 도 2에서의 커플링부 스프링의 위치 변화 개념도.

도 9는 도 8의 위치 변화에 따른 교차축감도 그래프.

도 10은 본 발명에 따른 구동 변위 진폭이 동일한 경우, 단일 구조의 MEMS 자이로센서의 개념도.

도 11은 도 10의 주파수 배열 개념도.

도 12(a)는 도 2에 적용된 커플링부의 개념도, 도 12(b)는 도 10에 적용된 커플링부의 개념도.

도 13은 본 발명의 수식에서 사용되는 기호 테이블.

발명을 실시하기 위한 구체적인 내용

[0026] 상술한 본 발명의 특징 및 효과는 첨부된 도면과 관련한 다음의 상세한 설명을 통하여 보다 분명해 질 것이며, 그에 따라 본 발명이 속하는 기술 분야에서 통상의 지식을 가진 자가 본 발명의 기술적 사상을 용이하게 실시할 수 있을 것이다. 본 발명은 다양한 변경을 가할 수 있고 여러 가지 형태를 가질 수 있는바, 특정 실시 예들을 도면에 예시하고 본문에 상세하게 설명하고자 한다. 그러나 이는 본 발명을 특정한 개시형태에 대해 한정하려는 것이 아니며, 본 발명의 사상 및 기술범위에 포함되는 모든 변경, 균등물 내지 대체물을 포함하는 것으로 이해되어야 한다. 본 출원에서 사용되는 용어는 단지 특정한 실시 예들을 설명하기 위한 것으로, 본 발명을 한정하려는 의도가 아니다.

[0027] 이하, 본 발명의 바람직한 실시 예를 첨부도면을 참조하여 상세히 설명한다.

[0028] 본 발명은 낮은 타축 감도를 갖는 다축 MEMS 자이로센서의 설계 방법에 관한 것으로, 더욱 상세하게는 단일 구조를 갖는 다축 MEMS 자이로센서의 교차축 감도를 감소시키기 위한 설계 방법에 관한 발명이다.

[0029] 타축 감도가 낮다는 것은 원래 감지해야 할 입력축이 아닌 이에 직교하는 다른 축에 대한 민감도가 낮다는 것을 의미한다. 센서의 선택성 측면에서 타축 감도는 낮은 수록 유리하다.

[0030] 상기 기준이 되는 값은 여러 필요성에 의해 결정될 수 있으며, 예를 들어 특정 복수의 센서들에서 측정된 민감도의 평균값이 될 수도 있다.

[0031] 도 1에는 본 발명에 따른 단일 구조의 MEMS 자이로센서의 개념도가 도시되어 있다.

[0032] 도 1에 도시된 본 발명의 자이로센서는, 서로 수직인 세 개 방향의 축 중 어느 하나에 대하여 운동하는 다수 개

의 구동 질량부와, 서로 소정의 간격으로 이격된 상기 다수 개의 구동 질량부 사이에 위치하며 상기 다수 개의 구동 질량부를 선택적으로 연결하는 커플링부를 포함하여 구성된다.

[0033] 상기 다수 개의 구동 질량부는 모두 관성력 또는 코리올리 힘에 의해 변위가 발생하는 것으로, 정지된 상태에서는 X축 및 Y 축으로 구성된 평면에 위치된다.

[0034] 상기 구동 질량부는 서로 대칭이며, X축에 따라 위치되고, X축으로 이동하는 제1구동 질량부 및 제3구동 질량부와, 서로 대칭이며, Y축에 따라 위치되고, Y축으로 이동하는 제2구동 질량부 및 제4구동 질량부를 포함하여 구성된다.

[0035] 또한, X축과 Y축의 교차점에 Z축 및 중앙부가 위치되는 것이 바람직하다.

[0036] 상기 다수 개의 구동 질량부는 상기 중앙부와 연결되며, 상기 중앙부는 다수 개의 구동 질량부가 정지된 상태인 경우 상기 다수 개의 구동 질량부와 동일한 평면에 위치되는 것이 바람직하다.

[0037] 이때, 상기 제1구동 질량부 내지 제4구동 질량부는 상기 중앙부를 둘러싸는 형태로 가요성 재질로 구성된 연결 수단으로 중앙부에 연결되어 다수 개의 구동 질량부가 미리 정해진 범위 내에서 운동할 수 있도록 구성되는 것이 바람직하다.

[0038] 다수 개의 구동 질량부는 서로에 대하여 모두 수직인 세 개의 방향의 X축, Y축 및 Z축 중 적어도 어느 하나에 대해 운동할 수 있다.

[0039] 본 발명에서 자이로센서의 교차축감도를 감소시키기 위한 방법은 두 가지 경우에 대해 각각 설명하도록 한다.

[0040] 도 2에는 본 발명에 따른 구동 변위 진폭이 동일하지 않은 경우, 단일 구조의 MEMS 자이로센서의 개념도가 도시되어 있고, 도 3에는 2의 주파수 배열 개념도가 도시되어 있다.

[0041] 도 2에서 상기 커플링부는 도 12(a)에 도시된 바와 같이, 중앙 일부가 분리되고 이격된 Z형의 형상을 가지며 상기 간격을 형성하는 두 개의 상기 구동 질량부 각각에서 연결되는 스프링 빔과, 상기 간격과 수직인 방향으로 두 개의 상기 구동 질량부에 각각 형성되는 홈과, 상기 스프링 빔을 연결하는 스프링 구조체를 포함하여 구성된다.

[0042] 상기과 같이 구성되는 자이로센서에서 상기 구동 질량부 중 X축으로 이동하는 구동 질량부의 구동 변위 진폭(X_{d_v})과 Y축으로 이동하는 구동 질량부의 구동 변위 진폭(X_{d_x})이 서로 다르고, 수평 방향의 구동 주파수와 X축을 중심으로 비틀림 거동하는 감지 주파수와 차이(Δf_{cx})와 Y축을 중심으로 비틀림 거동하는 감지 주파수와 차이(Δf_{cy})가 서로 다른 경우, 교차축감도(Cross Axis Sensitivity)를 최소화하기 위해서는 하기 수학식 1을 만족시켜야 한다.

수학식 1

[0043]
$$R_{x_d}/R_{\Delta f} \cong \pm 1$$

[0044]
$$R_{x_d} = X_{d_v}/X_{d_x}$$

[0045]
$$R_{\Delta f} = \Delta f_{cy}/\Delta f_{cx}$$

[0046] 상기 수학식 1에서 R_{x_d} 은 구동 변위 진폭 비율, $R_{\Delta f}$ 은 감지 주파수 차이 비율을 의미한다.

[0047] 교차축감도는 직교 축의 주요 감도에 직접적으로 의존하는 것으로, 높은 X축 주 감도(S_{xx})는 Y축에서 높은 교차축감도(S_{yx})를 유발하며, 낮은 Y축 주 감도(S_{yy})는 X축에서 낮은 교차축감도(S_{xy})를 유발한다.

[0048] 따라서, 교차축감도를 줄이려면 먼저 주 감도(Main Sensitivity)를 정규화해야 한다.

[0049] 감지 주파수와 구동 변위 방식은 하기의 식(1, 2)을 따라 설계된다.

[0050] 식(1)
$$S_{xx} = \frac{x_{d_x}}{\Delta f_{\alpha}} \quad (\text{X-Axis Sensitivity})$$

[0051] 식(2)
$$S_{yy} = \frac{x_{d_y}}{\Delta f_{\gamma}} \quad (\text{Y-Axis Sensitivity})$$

[0052] 상기 주 감도를 정규화하기 위해서는 X축과 Y축의 구동 변위 진폭 비율이 1에 근접해야 하며, X축과 Y축의 감지 주파수 차이의 비율 또한 1에 근접해야 한다.

[0053] 따라서, 낮은 교차축감도를 위해 상기 구동 질량부 중 X축으로 이동하는 구동 질량부의 구동 변위 진폭(X_{d_y})과 Y축으로 이동하는 구동 질량부의 구동 변위 진폭(X_{d_x})의 비인 R_{x_d} 와, 수평 방향의 구동 주파수와 X축을 중심으로 비틀림 거동하는 감지 주파수와의 차이(Δf_{α})와 Y축을 중심으로 비틀림 거동하는 감지 주파수와의 차이(Δf_{γ})의 비인 R_{Δ_f} 는 상기 [수학식 1]인 $R_{x_d}/R_{\Delta_f} \cong \pm 1$ 를 만족해야 한다.

[0054] 상기 [수학식 1]을 만족하는 경우, $S_{xx} \cong S_{yy}$ 와 $S_{yx} \cong S_{xy}$ 를 만족하게 되어 상기 교차축감도가 최소화된다.

[0055] 상기의 수식은 상기 스프링 빔의 위치 변화에 대한 교차축감도 분석을 통해 검증된다.

[0056] 도 4에는 도 2의 초기 설계 공진 주파수가 도시되어 있고, 도 5에는 도 4의 교차축감도 결과표가 도시되어 있다.

[0057] 도 4 내지 도 5에 도시된 바와 같이, 교차축감도는 비교적 높은 값인 0.301%로 계산된다.

[0058] 도 6에는 도 2에 본 발명의 설계 방법이 적용된 공진 주파수가 도시되어 있고, 도 7에는 도 6의 교차축감도 결과표가 도시되어 있다.

[0059] 도 6 내지 도 7에 도시된 바와 같이, 교차축감도는 비교적 낮은 값인 0.045%로 계산되며, 도 5와 비교하여 85.1% 감소한 것을 확인할 수 있다.

[0060] 도 8에는 도 2에서의 스프링 빔의 위치 변화 개념도가 도시되어 있고, 도 9에는 도 8의 위치 변화에 따른 교차축감도 그래프가 도시되어 있다.

[0061] 상기 [수학식 1]을 검증하기 위해 상기 스프링 빔을 서로 다른 세 지점에 배치하여 교차축감도 분석을 수행했다.

[0062] 도 9에 도시된 바와 같이, $R_{x_d}/R_{\Delta_f} \cong \pm 1$ 을 만족할 때 교차축감도가 최소임을 확인할 수 있다.

[0063] 또한, 상기 스프링 빔이 도 8(b)와 같이 중앙에 배치된 경우가 도 8(a)와 같이 안쪽에 배치된 경우 및 도 8(c)와 같이 바깥쪽에 배치된 경우보다 교차축감도가 낮은 것을 확인할 수 있다.

[0064] 도 10에는 본 발명에 따른 구동 변위 진폭이 동일한 경우, 단일 구조의 MEMS 자이로센서의 개념도가 도시되어 있고, 도 11에는 도 10의 주파수 배열 개념도가 도시되어 있다.

[0065] 도 10에서 상기 커플링부는 도 12(b)에 도시된 바와 같이, 단순 접힘(simple folded) 형상을 가지며, 상기 간격을 형성하는 두 개의 상기 구동 질량부를 연결하는 스프링 빔과, 상기 간격과 수직인 방향으로 두 개의 상기 구동 질량부에 각각 형성되는 홈과, 상기 스프링 빔을 연결하는 스프링 구조체를 포함하여 구성된다.

[0066] 상기와 같이 구성되는 자이로센서에서 상기 구동 질량부 중 X축으로 이동하는 구동 질량부의 구동 변위 진폭(X_{d_y})과 Y축으로 이동하는 구동 질량부의 구동 변위 진폭(X_{d_x})이 서로 동일하고, 수평 방향의 구동 주파수와 X축을 중심으로 비틀림 거동하는 감지 주파수와의 차이(Δf_{α})와 Y축을 중심으로 비틀림 거동하는 감지 주파수

와의 차이(Δf_{σ})가 서로 동일한 경우, 교차축감도(Cross Axis Sensitivity)를 최소화하기 위해서는 하기 수학적 식 2를 만족시켜야 한다.

수학적 식 2

$$R_{x_d} = X_{d_y} / X_{d_x} \cong 1$$

$$R_{\Delta_f} = \Delta f_{\sigma} / \Delta f_{\alpha} \cong \pm 1$$

$$R_{x_d} / R_{\Delta_f} \cong \pm 1$$

상기 수학적 식 2에서 R_{x_d} 은 구동 변위 진폭 비율, R_{Δ_f} 은 감지 주파수 차이 비율을 의미한다.

먼저, 구동 주파수와 동일한 주파수 차이를 얻기 위해서는 도 11에 도시된 바와 같은 감지 주파수가 배열되어야 한다.

구동 변위 진폭 비율이 $R_{x_d} = X_{d_y} / X_{d_x} \cong 1$ 을 만족할 때, 상기 구동 질량부 중 X축으로 이동하는 구동 질량부의 구동 변위 진폭(X_{d_y})과 Y축으로 이동하는 구동 질량부의 구동 변위 진폭(X_{d_x})이 서로 동일해진다.

또한, 감지 주파수 차이 비율이 $R_{\Delta_f} = \Delta f_{\sigma} / \Delta f_{\alpha} \cong \pm 1$ 을 만족할 때, 수평 방향의 구동 주파수와 X축을 중심으로 비틀림 거동하는 감지 주파수와의 차이(Δf_{α})와 Y축을 중심으로 비틀림 거동하는 감지 주파수와의 차이(Δf_{σ})가 서로 동일해진다.

따라서, 낮은 교차축감도를 위해 $R_{x_d} / R_{\Delta_f} \cong \pm 1$ 을 만족해야 한다.

상기 [수학적 식 2]를 만족하는 경우, $S_{xx} \cong S_{yy}$ 와 $S_{yx} \cong S_{xy}$ 를 만족하게 되어 상기 교차축감도가 최소화된다.

상술한 ‘낮은 타측 감도를 갖는 다축 MEMS 자이로센서의 설계 방법’의 세부 단계들은 컴퓨터에 의해 수행되는 컴퓨터 프로그램의 형태로 진행될 수 있다. 구체적으로, 상기 센서 설계 방법의 시뮬레이션은 COMSOL에서 수행되는 컴퓨터 프로그램(스크립트)의 형태로 구현될 수 있다.

상기 센서 설계 방법은 결과적으로 컴퓨터 프로그램의 형태로 제공될 수 있고, 상기 방법과 세부 단계들은 프로세서에 의해 수행되며, 기록 가능한 다양한 저장매체에 저장될 수 있다.

앞서 설명한 본 발명의 상세한 설명에서는 본 발명의 바람직한 실시 예들을 참조하여 설명하였지만, 해당 기술 분야의 숙련된 당업자 또는 해당 기술 분야에 통상의 지식을 갖는 자라면 후술 될 특허청구범위에 기재된 본 발명의 사상 및 기술영역으로부터 벗어나지 않는 범위 내에서 본 발명을 다양하게 수정 및 변경시킬 수 있음을 이해할 수 있을 것이다.

부호의 설명

2 : 제1구동 질량부

4 : 제2구동 질량부

6 : 제3구동 질량부

8 : 제4구동 질량부

10 : 중앙부

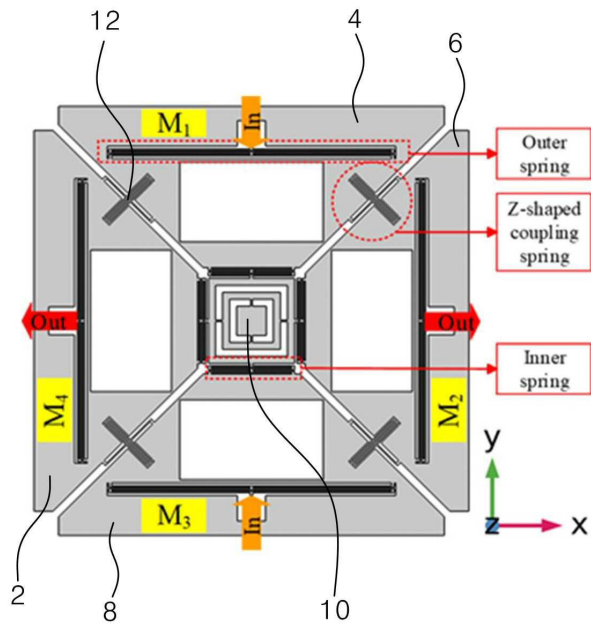
12 : 커플링부

14 : Z 형상의 스프링 빔

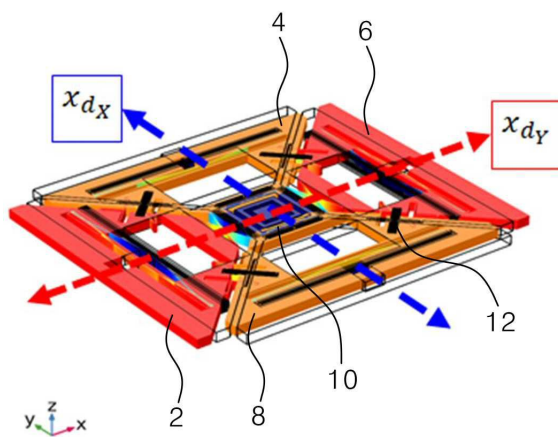
16 : 단순 접힘(simple folded) 형상의 스프링 빔

도면

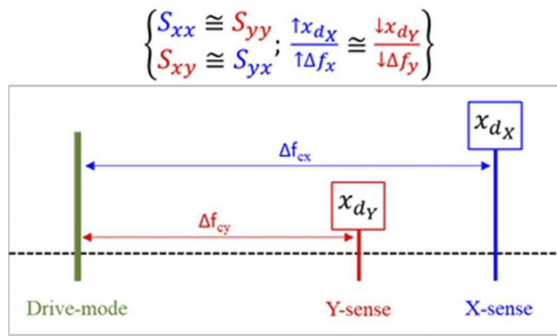
도면1



도면2



도면3



도면4

Frequency Mode		Frequency (Hz)	Δf (Hz)	Drive-displacement Amplitude (μm) 구동 변위 진폭 (μm)
f_{dr}	Drive mode	25682	—	
f_{cx}	x-sense	25979	$f_{dr} - f_{cx} = -297$	$x_{dx} = 3.51$
f_{cy}	y-sense	26036	$f_{dr} - f_{cy} = -354$	$x_{dy} = 4.04$

도면5

Ratio $R_{x_d} = x_{dy}/x_{dx}$	Ratio $R_{\Delta f} = \Delta f_{cy}/\Delta f_{cx}$	Ratio $R_{x_d}/R_{\Delta f}$	Cross-axis sensitivity
1.151	1.192	0.966	0.301 %

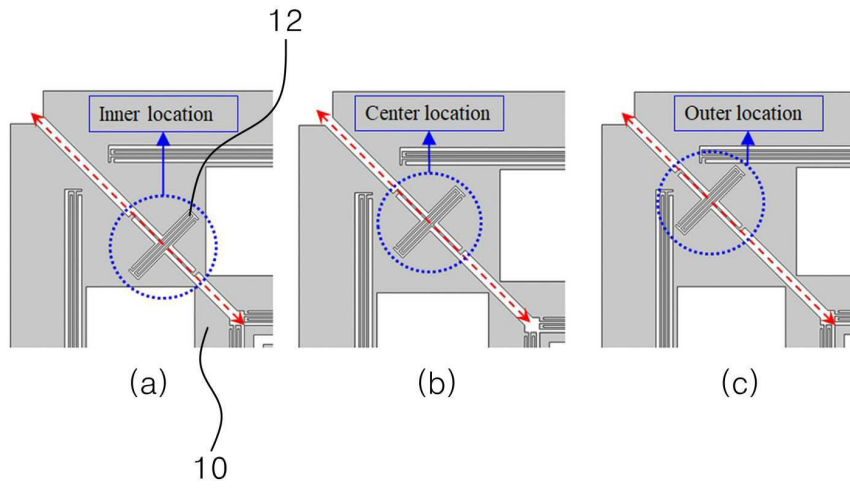
도면6

Frequency Mode		Frequency (Hz)	Δf (Hz)	Drive-displacement Amplitude (μm)
f_{dr}	Drive mode	25577	—	
f_{cx}	x-sense	25974	$f_{dr} - f_{cx} = -397$	$x_{dx} = 3.52$
f_{cy}	y-sense	26037	$f_{dr} - f_{cy} = -460$	$x_{dy} = 4.06$

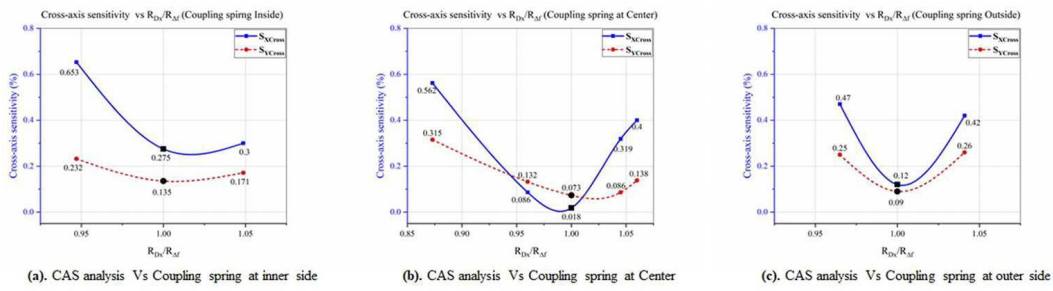
도면7

Ratio $R_{x_d} = x_{dy}/x_{dx}$	Ratio $R_{\Delta f} = \Delta f_{cy}/\Delta f_{cx}$	Ratio $R_{x_d}/R_{\Delta f}$	Cross-axis sensitivity
1.154	1.158	1.0	0.045 %

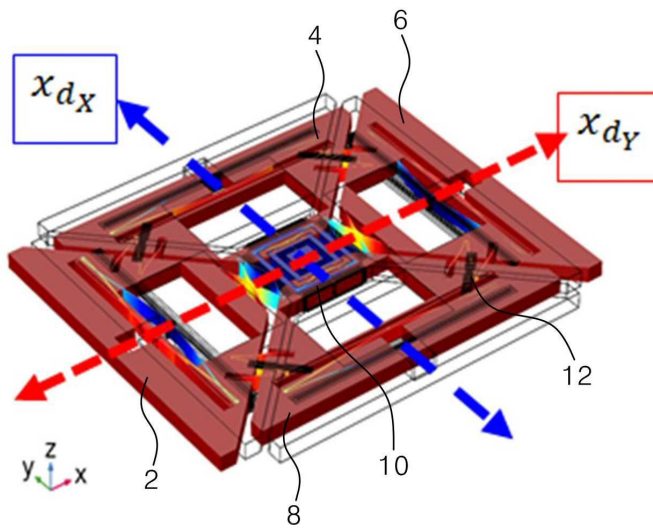
도면8



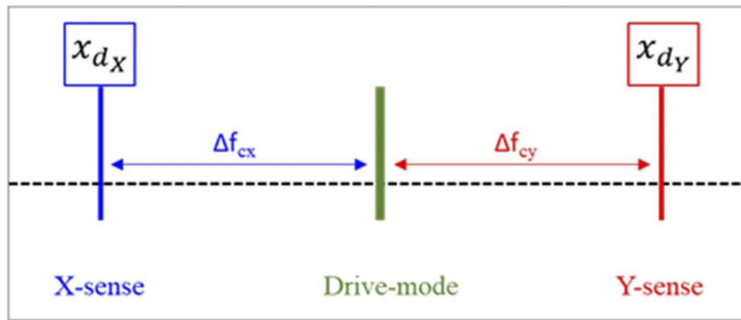
도면9



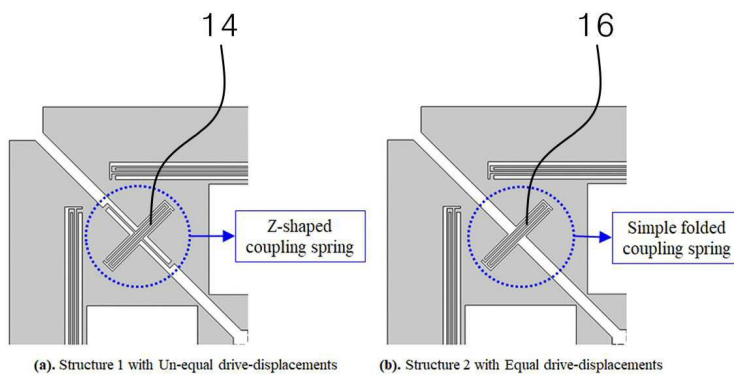
도면10



도면11



도면12



도면13

Symbol	Specifications	Remarks
M_1	X-mass-1 (제2구동 질량부)	Each axis have two masses opposite to each other
M_3	X-mass-2 (제4구동 질량부)	
M_2	Y-mass-1 (제3구동 질량부)	Each axis have two masses opposite to each other
M_4	Y-mass-2 (제1구동 질량부)	
P_1, P_2	Point at M_3	Corner points of X-mass-2
P_3, P_4	Point at M_1	Corner points of X-mass-1
P_1, P_2	Point at M_4	Corner points of Y-mass-2
P_3, P_4	Point at M_2	Corner points of Y-mass-1
S_{xx}	X-axis main sensitivity	
S_{yy}	Y-axis main sensitivity	
S_{xy}	Cross-axis sensitivity term of x-axis due to y-axis	Cross-axis sensitivity in x-axis
S_{yx}	Cross-axis sensitivity term of y-axis due to x-axis	Cross-axis sensitivity in y-axis
x_{dx}	X-masses drive-displacement	X-masses move in Y-axis
x_{dy}	Y-masses drive-displacement	Y-masses move in X-axis
Δf_{cx}	X-Coriolis frequency difference	X-sense frequency difference with respect to drive frequency
Δf_{cy}	Y-Coriolis frequency difference	Y-sense frequency difference with respect to drive frequency