

(19) 대한민국특허청(KR)  
(12) 공개특허공보(A)(11) 공개번호 10-2023-0143778  
(43) 공개일자 2023년10월13일

(51) 국제특허분류(Int. Cl.)  
G01R 33/028 (2006.01) G01R 15/18 (2006.01)  
G01R 33/00 (2006.01) G01R 33/06 (2006.01)  
G01R 9/00 (2006.01)  
(52) CPC특허분류  
G01R 33/0286 (2013.01)  
G01R 15/18 (2013.01)  
(21) 출원번호 10-2022-0042822  
(22) 출원일자 2022년04월06일  
심사청구일자 2022년04월06일

(71) 출원인  
연세대학교 산학협력단  
서울특별시 서대문구 연세로 50 (신촌동, 연세대학교)  
가톨릭대학교 산학협력단  
서울특별시 서초구 반포대로 222, 가톨릭대학교  
성의교정내 (반포동)  
(72) 발명자  
김종백  
서울특별시 서대문구 연세로 50(신촌동)  
정요한  
서울특별시 서대문구 연세로2라길 56, 304호(창천동)  
(뒷면에 계속)  
(74) 대리인  
특허법인다나

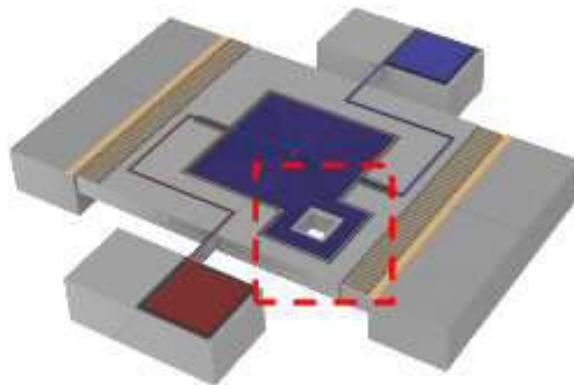
전체 청구항 수 : 총 18 항

(54) 발명의 명칭 편심 공진기와 전자기 인덕터를 활용한 정전기력 구동 2축 MEMS 자기장 센서 및 이의 제조방법

## (57) 요약

본 발명은 편심 공진기와 전자기 인덕터를 포함하는 정전기력 구동 2축 마이크로 전기기계 시스템(Micro Electro Mechanical System, MEMS) 자기장 센서로서, 상기 자기장 센서는 특정 주파수를 갖는 구동 전압을 인가하여 상기 전자기 인덕터의 일축 방향에서 비틀림 공진이 구동되며, 상기 인가된 특정 주파수와 다른 주파수를 갖는 구동 전압을 인가하여 상기 전자기 인덕터의 일축과 수직한 타축 방향에서 비틀림 공진이 구동되는, 편심 공진기와 전자기 인덕터를 포함하는 정전기력 구동 2축 MEMS 자기장 센서를 제공한다.

대표도 - 도1



(52) CPC특허분류

G01R 33/0005 (2013.01)

G01R 33/0023 (2013.01)

G01R 33/0052 (2013.01)

G01R 33/06 (2021.05)

G01R 9/00 (2013.01)

(72) 발명자

**조은환**

서울특별시 서대문구 증가로2길 27, A동 201호(연  
희동)

**주영훈**

서울특별시 서초구 효령로77길 20, 803호 (서초동,  
현대ESA아파트)

**김현범**

서울특별시 영등포구 당산로31길 32, 102-403(당산  
동쌍용예가클래식)

이 발명을 지원한 국가연구개발사업

과제고유번호 1711138100

과제번호 KMDF\_PR\_20200901\_0078-02

부처명 다부처

과제관리(전문)기관명 범부처

연구사업명 범부처전주기의료기기연구개발사업

연구과제명 [통합이지바로/범부처/공동] 압력 감지형 스마트 기관절개관 개발(2/3)

기 여 율 1/1

과제수행기관명 대학

연구기간 2021.03.01 ~ 2022.02.28

## 명세서

### 청구범위

#### 청구항 1

편심 공진기와 전자기 인덕터를 포함하는 정전기력 구동 2축 마이크로 전기기계 시스템(Micro Electro Mechanical System, MEMS) 자기장 센서로서,

상기 전자기 인덕터는,

기판;

상기 기판 상에 배치된 제1 절연층;

상기 제1 절연층 상에 배치된 제1 유도 코일층;

상기 제1 유도 코일층 상에 배치된 패터닝된 제2 절연층; 및

상기 제2 절연층 상에 배치되며, 상기 제1 유도 코일층과 연결된 제2 유도 코일층을 포함하며,

상기 전자기 인덕터는 상기 기판으로부터 소정 간격 이격되고,

상기 전자기 인덕터의 일측 방향 양측에는 이동 빗살 드라이브(Movable comb drive)가 부착되고, 상기 기판의 일측 방향 양측에는 상기 이동 빗살 드라이브(Movable comb drive)와 이격하여 대향하는 고정 빗살 드라이브(Fixed comb drive)가 부착되며,

상기 고정 빗살 드라이브(Fixed comb drive) 상부에는 시작 전극(starting electrode)이 배치되고,

상기 전자기 인덕터의 일측과 수직한 타측이 교차하는 중심에서 벗어난 일측에는 실리콘 구조체가 추가되어, 질량 불균형에 의한 편심 공진기 구조를 가지며,

상기 자기장 센서는 상기 시작 전극에 특정 주파수를 갖는 구동 전압을 인가하여 상기 전자기 인덕터의 일측 방향에서 비틀림 공진이 구동되며, 상기 시작 전극에 인가된 특정 주파수와 다른 주파수를 갖는 구동 전압을 인가하여 상기 전자기 인덕터의 일측과 수직한 타측 방향에서 비틀림 공진이 구동되는,

편심 공진기와 전자기 인덕터를 포함하는 정전기력 구동 2축 MEMS 자기장 센서.

#### 청구항 2

제1항에 있어서,

상기 전자기 인덕터의 일측 방향에서 비틀림 공진과 상기 전자기 인덕터의 일측과 수직한 타측 방향에서 비틀림 공진에 의해 면내 자기장의 자기 선속이 변하는 편심 공진기와 전자기 인덕터를 포함하는 정전기력 구동 2축 MEMS 자기장 센서.

#### 청구항 3

제2항에 있어서,

상기 면내 자기장의 자기 선속의 변화에 따른 전자기 유도에 의해 상기 전자기 인덕터의 양 끝단에서 유도 전압이 발생하는 편심 공진기와 전자기 인덕터를 포함하는 정전기력 구동 2축 MEMS 자기장 센서.

#### 청구항 4

제3항에 있어서,

상기 일축 및 일축에 수직한 타축의 유도 전압을 측정하여 면내 자기장 방향과 세기를 측정하는 편심 공진기와 전자기 인덕터를 포함하는 정전기력 구동 2축 MEMS 자기장 센서.

#### 청구항 5

제1항에 있어서,

상기 전자기 인덕터의 일축 방향에서 비틀림 공진이 구동될 때, 상기 전자기 인덕터와 인접한 기관은 같은 위상으로 구동하는 편심 공진기와 전자기 인덕터를 포함하는 정전기력 구동 2축 MEMS 자기장 센서.

#### 청구항 6

제1항에 있어서,

상기 전자기 인덕터의 일축과 수직한 타축 방향에서 비틀림 공진이 구동될 때, 상기 전자기 인덕터와 인접한 기관은 반대 위상으로 구동하는 편심 공진기와 전자기 인덕터를 포함하는 정전기력 구동 2축 MEMS 자기장 센서.

#### 청구항 7

제1항에 있어서,

상기 전자기 인덕터의 제1 및 제2 절연층은  $\text{SiO}_2$  및  $\text{Si}_3\text{N}_4$ 로 이루어진 군으로부터 선택된 어느 하나 이상을 포함하는 편심 공진기와 전자기 인덕터를 포함하는 정전기력 구동 2축 MEMS 자기장 센서.

#### 청구항 8

제1항에 있어서,

상기 전자기 인덕터의 제1 및 제2 유도 코일층은 알루미늄(Al), 금(Au), 구리(Cu) 및 크롬(Cr)으로 이루어진 군으로부터 선택된 어느 하나 이상을 포함하는 편심 공진기와 전자기 인덕터를 포함하는 정전기력 구동 2축 MEMS 자기장 센서.

#### 청구항 9

제1항에 있어서,

상기 전자기 인덕터의 일축 방향과 상기 전자기 인덕터의 일축과 수직한 타축 방향에서 비틀림 공진을 구동하는 구동 전압은 동일하고 주파수가 서로 상이한 것을 특징으로 하는 구동 편심 공진기와 전자기 인덕터를 포함하는 정전기력 구동 2축 MEMS 자기장 센서.

#### 청구항 10

SOI(Silicon-on-insulator) 웨이퍼 상에 매립 산화물층(buried oxide)과 그 상부에 디바이스 층(device layer)이 형성된 기관 상에 제1 절연층을 형성하는 단계;

상기 제1 절연층 상에 금속을 증착 및 패터닝하여 제1 유도 코일층을 형성하는 단계;

상기 제1 유도 코일층 상에 제2 절연층을 형성하며, 상기 제2 절연층은 상기 제1 유도 코일층과 제2 유도 코일층이 전기적으로 연결되는 부분과 유도 코일 양단의 전극 패드를 제외한 부분에 형성하는 단계;

상기 제2 절연층 상에 금속을 증착 및 패터닝하여 제2 유도 코일층을 형성하여 전자기 인덕터를 형성하는 단계;

상기 전자기 인덕터의 일측 방향 양측에 이동 빗살 드라이브(Movable comb drive)를 형성하는 단계;

상기 기관의 일측 방향 양측에 상기 이동 빗살 드라이브(Movable comb drive)와 이격하여 대향하는 고정 빗살 드라이브(Fixed comb drive)를 형성하는 단계;

상기 제2 유도 코일층 및 상기 고정 빗살 드라이브(Fixed comb drive) 상부에 시작 전극(starting electrode)을 형성하는 단계;

상기 디바이스 층(device layer)에 심도 반응성 이온 식각(deep reactive-ion etching) 공정을 수행하는 단계;

상기 SOI(Silicon-on-insulator) 웨이퍼에 심도 반응성 이온 식각(deep reactive-ion etching) 공정을 수행하는 단계; 및

상기 매립 산화물층(buried oxide)에 반응성 이온 식각(reactive-ion etching) 공정을 수행하여 릴리즈(release)하는 단계;를 포함하는 구동 편심 공진기와 전자기 인덕터를 포함하는 정전기력 구동 2축 MEMS 자기장 센서 제조방법.

#### 청구항 11

제10항에 있어서,

상기 제1 및 제2 절연층은 스퍼터(sputter), 증착(evaporation) 및 열 산화( $\text{SiO}_2$  thermal oxidation) 공정 중 어느 하나 이상으로 형성하는 구동 편심 공진기와 전자기 인덕터를 포함하는 정전기력 구동 2축 MEMS 자기장 센서 제조방법.

#### 청구항 12

제10항에 있어서,

상기 전자기 인덕터의 일측과 수직한 타측이 교차하는 중심에서 벗어난 일측에 실리콘 구조체를 추가하여, 질량 불균형에 의한 편심 공진기 구조를 형성하는 구동 편심 공진기와 전자기 인덕터를 포함하는 정전기력 구동 2축 MEMS 자기장 센서 제조방법.

#### 청구항 13

제10항에 있어서,

상기 전자기 인덕터의 일측 방향에서 비틀림 공진이 구동될 때, 상기 전자기 인덕터와 인접한 기관은 같은 위상으로 구동하는 구동 편심 공진기와 전자기 인덕터를 포함하는 정전기력 구동 2축 MEMS 자기장 센서 제조방법.

#### 청구항 14

제10항에 있어서,

상기 전자기 인덕터의 일측과 수직한 타측 방향에서 비틀림 공진이 구동될 때, 상기 전자기 인덕터와 인접한 기관은 반대 위상으로 구동하는 구동 편심 공진기와 전자기 인덕터를 포함하는 정전기력 구동 2축 MEMS 자기장 센서 제조방법.

#### 청구항 15

제10항에 있어서,

상기 전자기 인덕터의 제1 및 제2 절연층은  $\text{SiO}_2$  및  $\text{Si}_3\text{N}_4$ 로 이루어진 군으로부터 선택된 어느 하나 이상을 포함

하는 구동 편심 공진기와 전자기 인덕터를 포함하는 정전기력 구동 2축 MEMS 자기장 센서 제조방법.

#### 청구항 16

제10항에 있어서,

상기 전자기 인덕터의 제1 및 제2 유도 코일층은 알루미늄(Al), 금(Au), 구리(Cu) 및 크롬(Cr)으로 이루어진 군 으로부터 선택된 어느 하나 이상을 포함하는 구동 편심 공진기와 전자기 인덕터를 포함하는 정전기력 구동 2축 MEMS 자기장 센서 제조방법.

#### 청구항 17

편심 공진기와 전자기 인덕터를 포함하는 정전기력 구동 2축 마이크로 전기기계 시스템(Micro Electro Mechanical System, MEMS) 자기장 센서로서,

상기 전자기 인덕터는,

기판;

상기 기판 상에 배치된 제1 절연층;

상기 제1 절연층 상에 배치된 제1 유도 코일층;

상기 제1 유도 코일층 상에 배치된 패터닝된 제2 절연층; 및

상기 제2 절연층 상에 배치되며, 상기 제1 유도 코일층과 연결된 제2 유도 코일층을 포함하며,

상기 전자기 인덕터는 상기 기판으로부터 소정 간격 이격되고,

상기 전자기 인덕터의 일측 방향 양측에는 이동 빗살 드라이브(Movable comb drive)가 부착되고, 상기 기판의 일측 방향 양측에는 상기 이동 빗살 드라이브(Movable comb drive)와 이격하여 대향하는 고정 빗살 드라이브(Fixed comb drive)가 부착되며,

상기 전자기 인덕터의 일측과 수직한 타측이 교차하는 중심에서 벗어난 일측에는 실리콘 구조체가 추가되어, 질량 불균형에 의한 편심 공진기 구조를 가지며,

상기 자기장 센서는 인가된 특정 주파수를 갖는 구동 전압에 의해 상기 전자기 인덕터의 일측 방향에서 비틀림 공진이 구동되며, 상기 인가된 특정 주파수와 다른 주파수를 갖는 구동 전압을 인가하여 상기 전자기 인덕터의 일측과 수직한 타측 방향에서 비틀림 공진이 구동되는,

편심 공진기와 전자기 인덕터를 포함하는 정전기력 구동 2축 MEMS 자기장 센서.

#### 청구항 18

편심 공진기와 전자기 인덕터를 포함하는 정전기력 구동 2축 마이크로 전기기계 시스템(Micro Electro Mechanical System, MEMS) 자기장 센서로서,

상기 전자기 인덕터는,

기판;

상기 기판 상에 배치된 절연층;

상기 절연층 상에 복수의 턴을 갖도록 배치된 유도 코일층;을 포함하며,

상기 전자기 인덕터는 상기 기판으로부터 소정 간격 이격되고,

상기 전자기 인덕터의 일측 방향 양측에는 이동 빗살 드라이브(Movable comb drive)가 부착되고, 상기 기판의 일측 방향 양측에는 상기 이동 빗살 드라이브(Movable comb drive)와 이격하여 대향하는 고정 빗살 드라이브

(Fixed comb drive)가 부착되며,

상기 고정 빗살 드라이브(Fixed comb drive) 상부에는 시작 전극(starting electrode)이 배치되고,

상기 전자기 인덕터의 일측과 수직한 타측이 교차하는 중심에서 벗어난 일측에는 실리콘 구조체가 추가되어, 질량 불균형에 의한 편심 공진기 구조를 가지며,

상기 자기장 센서는 상기 시작 전극에 특정 주파수를 갖는 구동 전압을 인가하여 상기 전자기 인덕터의 일측 방향에서 비틀림 공진이 구동되며, 상기 시작 전극에 인가된 특정 주파수와 다른 주파수를 갖는 구동 전압을 인가하여 상기 전자기 인덕터의 일측과 수직한 타측 방향에서 비틀림 공진이 구동되는,

편심 공진기와 전자기 인덕터를 포함하는 정전기력 구동 2축 MEMS 자기장 센서.

## 발명의 설명

### 기술 분야

[0001] 본 발명은 편심 공진기와 전자기 인덕터를 활용한 정전기력 구동 2축 MEMS 자기장 센서 및 이의 제조방법에 관한 것이다.

### 배경 기술

[0003] 소형화, 경량화가 가능한 MEMS 자기장 센서는 주로 로렌츠 힘을 이용한 감지 방식이 주로 연구되어 왔다. 로렌츠 힘에 의해 발생한 소자의 변위, 공진주파수 변화를 압저항, 광학, piezoelectric, capacitive 방식으로 감지하였다. 그러나, 구동 원리 상 지속적인 여기전류를 필요로 하면서 열 응력 및 열 변형, 높은 소비 전력 문제를 가지고 있다. 이러한 불가피한 문제를 해결하기 위해서, 정전기력 구동 및 전자기 유도 감지 방식의 MEMS 자기장 센서가 제안되었다.

[0004] 정전기력 구동 방식은 발열 문제가 적고, 낮은 소비전력을 가진다는 이점이 있다. 전자기 유도 감지 방식은 자기 선속 변화에 의해서 도체에 발생하는 유도 기전력을 측정하므로, 직접적인 전압 출력으로 인한 간단한 readout 회로 구성, 높은 선형성을 보인다. 그러나 이러한 방식의 MEMS 자기장 센서는 out-of-plane 자기장 방향 또는 in-plane 방향의 단축 센싱만 보고되었다. 정확한 자기장 벡터 측정을 위한 다축 자기장 감지는 청사진만 제시되었고, 여러 개의 단축 센서를 배열, 통합, 패키징하는 과정이 요구되므로 설치 면적(footprint area) 증가, 정렬 불량(misalignment)에 의한 보정(correction)과 보상(compensation) 비용 문제가 발생한다. In-plane 방향 단축 자기장 센서는 정전기력 비틀림 구동 방식으로 평행판 구동 방식(parallel-plate driving)과 수직 교차 콤 구동 방식(vertically interlaced comb driving)이 제안되었으며, 전자는 유리 기판(glass substrate)과의 양극 접합(anodic bonding) 과정, 후자는 콤 오프셋(comb offset) 형성을 위한 복잡한 공정이 요구된다.

[0005] 소형화, 경량화가 가능한 MEMS 자기장 센서는 자동차 산업, 비파괴검사, 네비게이션, 로봇 제어 등 다양한 분야에서 활용되고 있으며, 그에 따라 많은 수요를 가지고 있다. 로렌츠 힘을 이용하는 MEMS 자기장 센서에 비해서, 지속적인 여기 전류가 필요 없기 때문에 소비 전력의 장점을 가지고 있다. 또한, 전자기 유도 법칙에 의해서 유도 전압을 측정하기 때문에 회로 구성도 간단해질 수 있기 때문에, 이를 대체할 수 있는 센서로서 지속적인 연구가 필요한 실정이다.

## 선행기술문헌

### 특허문헌

[0007] (특허문헌 0001) 한국 등록특허공보 제10-1154832호

## 발명의 내용

### 해결하려는 과제

- [0008] 자기장 센서는 감지 범위와 감도에 따라서 자동차 산업, 비파괴검사, 네비게이션 등 다양한 분야에서 활용되고 있으며, 특히 Micro-electro-mechanical Systems (MEMS) 자기장 센서는 소형화 및 경량화가 가능하여 가속도 및 각속도 센서 등 다른 시스템과의 결합이 용이하다. 자기장 센서는 정밀한 위치 제어에도 활용 가능한데, 정확한 위치 측정을 위해서는 다축 자기장 감지가 필요하다.
- [0009] 상기의 문제점을 해결하기 위하여 본 발명의 편심 공진기와 전자기 인덕터를 활용한 정전기력 구동 2축 MEMS 자기장 센서는 고정 콤 드라이브(fixed comb drive) 위에 선택적으로 증착된 시작 전극을 통해, 간단한 공정으로 비틀림 구동을 야기할 수 있으며, 본 발명은 편심 공진기와 전자기 인덕터를 활용한 정전기력 구동 2축 MEMS 자기장센서 및 이의 제조방법을 제공한다.

### 과제의 해결 수단

- [0011] 본 발명의 일 실시형태에 따르면, 편심 공진기와 전자기 인덕터를 포함하는 정전기력 구동 2축 마이크로 전기기계 시스템(Micro Electro Mechanical System, MEMS) 자기장 센서로서, 상기 전자기 인덕터는, 기판; 상기 기판 상에 배치된 제1 절연층; 상기 제1 절연층 상에 배치된 제1 유도 코일층; 상기 제1 유도 코일층 상에 배치된 패터닝된 제2 절연층; 및 상기 제2 절연층 상에 배치되며, 상기 제1 유도 코일층과 연결된 제2 유도 코일층을 포함하며, 상기 전자기 인덕터는 상기 기판으로부터 소정 간격 이격되고, 상기 전자기 인덕터의 일축 방향 양측에는 이동 빗살 드라이브(Movable comb drive)가 부착되고, 상기 기판의 일축 방향 양측에는 상기 이동 빗살 드라이브(Movable comb drive)와 이격하여 대향하는 고정 빗살 드라이브(Fixed comb drive)가 부착되며, 상기 고정 빗살 드라이브(Fixed comb drive) 상부에는 시작 전극(starting electrode)이 배치되고, 상기 전자기 인덕터의 일축과 수직한 타축이 교차하는 중심에서 벗어난 일측에는 실리콘 구조체가 추가되어, 질량 불균형에 의한 편심 공진기 구조를 가지며, 상기 자기장 센서는 상기 시작 전극에 특정 주파수를 갖는 구동 전압을 인가하여 상기 전자기 인덕터의 일축 방향에서 비틀림 공진이 구동되며, 상기 시작 전극에 인가된 특정 주파수와 다른 주파수를 갖는 구동 전압을 인가하여 상기 전자기 인덕터의 일축과 수직한 타축 방향에서 비틀림 공진이 구동되는, 편심 공진기와 전자기 인덕터를 포함하는 정전기력 구동 2축 MEMS 자기장 센서를 제공한다.
- [0012] 상기 전자기 인덕터의 일축 방향에서 비틀림 공진과 상기 전자기 인덕터의 일축과 수직한 타축 방향에서 비틀림 공진에 의해 면내 자기장의 자기 선속이 변하는 것을 특징으로 한다.
- [0013] 상기 면내 자기장의 자기 선속의 변화에 따른 전자기 유도에 의해 상기 전자기 인덕터의 양 끝단에서 유도 전압이 발생하는 것을 특징으로 한다.
- [0014] 상기 일축 및 일축에 수직한 타축의 유도 전압을 측정하여 면내 자기장 방향과 세기를 측정할 수 있다.
- [0015] 상기 전자기 인덕터의 일축 방향에서 비틀림 공진이 구동될 때, 상기 전자기 인덕터와 인접한 기판은 같은 위상으로 구동할 수 있다.
- [0016] 상기 전자기 인덕터의 일축과 수직한 타축 방향에서 비틀림 공진이 구동될 때, 상기 전자기 인덕터와 인접한 기판은 반대 위상으로 구동할 수 있다.
- [0017] 상기 전자기 인덕터의 제1 및 제2 절연층은 SiO<sub>2</sub> 및 Si<sub>3</sub>N<sub>4</sub>로 이루어진 군으로부터 선택된 어느 하나 이상을 포함하는 것을 특징으로 한다.
- [0018] 상기 전자기 인덕터의 제1 및 제2 유도 코일층은 알루미늄(Al), 금(Au), 구리(Cu) 및 크롬(Cr)으로 이루어진 군으로부터 선택된 어느 하나 이상을 포함할 수 있다.
- [0019] 상기 전자기 인덕터의 일축 방향과 상기 전자기 인덕터의 일축과 수직한 타축 방향에서 비틀림 공진을 구동하는 구동 전압은 동일하고 주파수가 서로 상이한 것을 특징으로 한다.
- [0020] 본 발명의 다른 실시형태는, SOI(Silicon-on-insulator) 웨이퍼 상에 매립 산화물층(buried oxide)과 그 상부에 디바이스 층(device layer)이 형성된 기판 상에 제1 절연층을 형성하는 단계; 상기 제1 절연층 상에 금속을 증착 및 패터닝하여 제1 유도 코일층을 형성하는 단계; 상기 제1 유도 코일층 상에 제2 절연층을 형성하며, 상

기 제2 절연층은 상기 제1 유도 코일층과 제2 유도 코일층이 전기적으로 연결되는 부분과 유도 코일 양단의 전극 패드를 제외한 부분에 형성하는 단계; 상기 제2 절연층 상에 금속을 증착 및 패터닝하여 제2 유도 코일층을 형성하여 전자기 인덕터를 형성하는 단계; 상기 전자기 인덕터의 일측 방향 양측에 이동 빗살 드라이브(Movable comb drive)를 형성하는 단계; 상기 기관의 일측 방향 양측에 상기 이동 빗살 드라이브(Movable comb drive)와 이격하여 대향하는 고정 빗살 드라이브(Fixed comb drive)를 형성하는 단계; 상기 제2 유도 코일층 및 상기 고정 빗살 드라이브(Fixed comb drive) 상부에 시작 전극(starting electrode)을 형성하는 단계; 상기 디바이스 층(device layer)에 심도 반응성 이온 식각(deep reactive-ion etching) 공정을 수행하는 단계; 상기 SOI(Silicon-on-insulator) 웨이퍼에 심도 반응성 이온 식각(deep reactive-ion etching) 공정을 수행하는 단계; 및 상기 매립 산화물층(buried oxide)에 반응성 이온 식각(reactive-ion etching) 공정을 수행하여 릴리즈(release)하는 단계;를 포함하는 구동 편심 공진기와 전자기 인덕터를 포함하는 정전기력 구동 2축 MEMS 자기장 센서 제조방법을 제공한다.

- [0021] 상기 제1 및 제2 절연층은 스퍼터(sputter), 증착(evaporation) 및 열 산화(SiO<sub>2</sub> thermal oxidation) 공정 중 어느 하나 이상으로 형성할 수 있다.
- [0022] 상기 전자기 인덕터의 일측과 수직한 타측이 교차하는 중심에서 벗어난 일측에 실리콘 구조체를 추가하여, 질량 불균형에 의한 편심 공진기 구조를 형성하는 것을 특징으로 한다.
- [0023] 상기 전자기 인덕터의 일측 방향에서 비틀림 공진이 구동될 때, 상기 전자기 인덕터와 인접한 기관은 같은 위상으로 구동할 수 있다.
- [0024] 상기 전자기 인덕터의 일측과 수직한 타측 방향에서 비틀림 공진이 구동될 때, 상기 전자기 인덕터와 인접한 기관은 반대 위상으로 구동할 수 있다.
- [0025] 상기 전자기 인덕터의 제1 및 제2 절연층은 SiO<sub>2</sub> 및 Si<sub>3</sub>N<sub>4</sub>로 이루어진 군으로부터 선택된 어느 하나 이상을 포함할 수 있다.
- [0026] 상기 전자기 인덕터의 제1 및 제2 유도 코일층은 알루미늄(Al), 금(Au), 구리(Cu) 및 크롬(Cr)으로 이루어진 군으로부터 선택된 어느 하나 이상을 포함할 수 있다.
- [0027] 본 발명의 또 다른 실시형태는 편심 공진기와 전자기 인덕터를 포함하는 정전기력 구동 2축 마이크로 전기기계 시스템(Micro Electro Mechanical System, MEMS) 자기장 센서로서, 상기 전자기 인덕터는, 기관; 상기 기관 상에 배치된 제1 절연층; 상기 제1 절연층 상에 배치된 제1 유도 코일층; 상기 제1 유도 코일층 상에 배치된 패터닝된 제2 절연층; 및 상기 제2 절연층 상에 배치되며, 상기 제1 유도 코일층과 연결된 제2 유도 코일층을 포함하며, 상기 전자기 인덕터는 상기 기관으로부터 소정 간격 이격되고, 상기 전자기 인덕터의 일측 방향 양측에는 이동 빗살 드라이브(Movable comb drive)가 부착되고, 상기 기관의 일측 방향 양측에는 상기 이동 빗살 드라이브(Movable comb drive)와 이격하여 대향하는 고정 빗살 드라이브(Fixed comb drive)가 부착되며, 상기 전자기 인덕터의 일측과 수직한 타측이 교차하는 중심에서 벗어난 일측에는 실리콘 구조체가 추가되어, 질량 불균형에 의한 편심 공진기 구조를 가지며, 상기 자기장 센서는 인가된 특정 주파수를 갖는 구동 전압에 의해 상기 전자기 인덕터의 일측 방향에서 비틀림 공진이 구동되며, 상기 인가된 특정 주파수와 다른 주파수를 갖는 구동 전압을 인가하여 상기 전자기 인덕터의 일측과 수직한 타측 방향에서 비틀림 공진이 구동되는, 편심 공진기와 전자기 인덕터를 포함하는 정전기력 구동 2축 MEMS 자기장 센서를 제공한다.
- [0028] 본 발명의 또 다른 실시형태는 편심 공진기와 전자기 인덕터를 포함하는 정전기력 구동 2축 마이크로 전기기계 시스템(Micro Electro Mechanical System, MEMS) 자기장 센서로서, 상기 전자기 인덕터는, 기관; 상기 기관 상에 배치된 절연층; 상기 절연층 상에 복수의 턴을 갖도록 배치된 유도 코일층;을 포함하며, 상기 전자기 인덕터는 상기 기관으로부터 소정 간격 이격되고, 상기 전자기 인덕터의 일측 방향 양측에는 이동 빗살 드라이브(Movable comb drive)가 부착되고, 상기 기관의 일측 방향 양측에는 상기 이동 빗살 드라이브(Movable comb drive)와 이격하여 대향하는 고정 빗살 드라이브(Fixed comb drive)가 부착되며, 상기 고정 빗살 드라이브(Fixed comb drive) 상부에는 시작 전극(starting electrode)이 배치되고, 상기 전자기 인덕터의 일측과 수직한 타측이 교차하는 중심에서 벗어난 일측에는 실리콘 구조체가 추가되어, 질량 불균형에 의한 편심 공진기 구조를 가지며, 상기 자기장 센서는 상기 시작 전극에 특정 주파수를 갖는 구동 전압을 인가하여 상기 전자기 인덕터의 일측 방향에서 비틀림 공진이 구동되며, 상기 시작 전극에 인가된 특정 주파수와 다른 주파수를 갖는 구동 전압을 인가하여 상기 전자기 인덕터의 일측과 수직한 타측 방향에서 비틀림 공진이 구동되는, 편심 공진기와 전자기 인덕터를 포함하는 정전기력 구동 2축 MEMS 자기장 센서를 제공한다.

## 발명의 효과

- [0030] 본 발명의 일 실시형태에 따른 2 축 MEMS 자기장 센서는 정전기력으로 구동하는 편심형 공진기와 MEMS 구동부에 집적된 유도 코일을 활용하여, 구동 모드에 따른 전자기 유도 감지 방식으로 면내(In-plane) 자기장 세기를 측정할 수 있다.
- [0031] 이러한 정전 구동 방식 센서에서는 기존 로렌즈 힘 기반의 MEMS 자기장 센서가 가지는 지속적인 여기 전류로 인한 열응력 및 열변형과 높은 소비 전력 문제가 없으며, 전자기 유도 감지 방식은 자기장 세기 증감에 대한 유도 전압 증감이 높은 선형성을 보인다.
- [0032] 제작된 센서는 정전 구동형 편심 구조와 그 위에 일정한 감은 방향의 2 층 유도 코일로 구성되며, 고정 빗살 드라이브 위에 패턴된 시작 전극에 의해서 발생하는 콤 드라이브 사이의 정전기력 불균형으로 비틀림 공진 구동한다. 이는 편심 구조의 공진 주파수에 따라서 X축 또는 Y축으로 비틀림 구동하며, 각 공진 모드에서는 유도 코일을 통과하는 자기선속 변화로 유도 기전력이 발생한다. 이를 통해서 센서 각 축에서의 자기장 세기를 감지, 면내 자기장 세기 측정이 가능하다.
- [0033] 또한, 본 발명의 일 실시형태에 따르면, 전극을 패터닝하는 간단한 공정으로 고정 빗살 드라이브(Fixed comb drive) 위에 제작된 시작 전극을 활용하여, 전자기 인덕터의 비틀림 공진 구동을 야기할 수 있다. 상기 시작 전극에 구동 전압을 인가할 경우, 상기 고정 빗살 드라이브(Fixed comb drive)와 이격된 이동 빗살 드라이브(Movable comb drive)와의 사이에 정전기력 불균형이 발생하여 전자기 인덕터의 비틀림 구동을 발생시킬 수 있다.
- [0034] 또한, 본 발명의 일 실시형태에 따르면, 전자기 인덕터의 일축과 수직인 타축이 교차하는 중심에서 벗어난 일축에 실리콘 구조체를 추가하여, 질량 불균형에 의한 편심 공진기 구조를 형성한 것을 특징으로 하며, 이로 인하여 전자기 인덕터의 일축과 수직인 타축 방향에서 비틀림 공진을 구동할 수 있다.
- [0035] 또한, 본 발명의 일 실시형태에 따르면, 동일한 구동 전압을 가지지만, 간단히 구동 주파수만 바꾸어서 X축 자기장 감지모드 및 Y축 자기장 감지모드를 구현할 수 있으며, 이로 인하여 면내 자기장의 방향과 세기(즉, 자기장 벡터)를 구할 수 있다.
- [0036] 또한, 본 발명의 일 실시형태에 따르면, 기존의 2축 정전기력 공진기와는 달리, 한 축으로 배열된 comb drive만을 이용하기 때문에 설계 면적(footprint area)이 작은 장점이 있다. 또한, 배열 및 통합이 필요 없는 monolithic 구조로 일괄공정으로 제작되며, 편심 공진기의 구동 주파수만 달리하여서 2축 구동하기 때문에 면내 자기장 벡터 측정이 가능한 장점이 있다.

## 도면의 간단한 설명

- [0038] 도 1은 본 발명의 일 실시형태에 따른 편심 공진기와 전자기 인덕터를 활용한 정전기력 구동 2축 MEMS 자기장 센서의 개략 사시도이다(적색 점선은 편심 구조를 위한 실리콘 구조체임).
- 도 2는 본 발명의 일 실시형태에 따른 편심 공진기와 전자기 인덕터를 활용한 정전기력 구동 2축 MEMS 자기장 센서의 사진과 광학 현미경 사진을 나타낸다.
- 도 3은 (a) 편심 공진기와 전자기 인덕터를 활용한 정전기력 구동 2축 MEMS 자기장 센서의 구동원리, ANSYS 시뮬레이션을 통해 확인한 공진모드 중 (b) X축 자기장 감지모드와 (c) Y축 자기장 감지모드를 나타내는 도면이다.
- 도 4는 (a) X축 자기장 감지 모드에서의 구동 전압 별 감도, (b) Y축 자기장 감지 모드에서의 구동 전압 별 감도, (c) X축과 Y축 감지모드에서의 자기장 방향 별 유도전압을 나타낸 그래프이다.
- 도 5는 X축 감지모드에서 Y축 감지모드로 전환 또는 Y축 감지모드에서 X축 감지모드로의 전환을 나타내는 그래프이다.
- 도 6은 본 발명의 다른 실시형태에 따른 편심 공진기와 전자기 인덕터를 활용한 정전기력 구동 2축 MEMS 자기장 센서의 제작 공정도이다.

**발명을 실시하기 위한 구체적인 내용**

- [0039] 이하, 실시예를 통해 본 발명을 보다 구체적으로 설명한다. 그러나 이들 예는 본 발명의 이해를 돕기 위한 것일 뿐 어떠한 의미로든 본 발명의 범위가 이들 예로 한정되는 것은 아니다.
- [0041] 도 1은 본 발명의 일 실시형태에 따른 편심 공진기와 전자기 인덕터를 활용한 정전기력 구동 2축 MEMS 자기장 센서의 개략 사시도이다(적색 점선은 편심 구조를 위한 실리콘 구조체임).
- [0042] 도 2는 본 발명의 일 실시형태에 따른 편심 공진기와 전자기 인덕터를 활용한 정전기력 구동 2축 MEMS 자기장 센서의 사진과 광학 현미경 사진을 나타낸다.
- [0043] 본 발명의 일 실시형태에 따르면, 편심 공진기와 전자기 인덕터를 포함하는 정전기력 구동 2축 마이크로 전기기계 시스템(Micro Electro Mechanical System, MEMS) 자기장 센서로서, 상기 전자기 인덕터는, 기판; 상기 기판 상에 배치된 제1 절연층; 상기 제1 절연층 상에 배치된 제1 유도 코일층; 상기 제1 유도 코일층 상에 배치된 패터닝된 제2 절연층; 및 상기 제2 절연층 상에 배치되며, 상기 제1 유도 코일층과 연결된 제2 유도 코일층을 포함하며, 상기 전자기 인덕터는 상기 기판으로부터 소정 간격 이격되고, 상기 전자기 인덕터의 일축 방향 양측에는 이동 빗살 드라이브(Movable comb drive)가 부착되고, 상기 기판의 일축 방향 양측에는 상기 이동 빗살 드라이브(Movable comb drive)와 이격하여 대향하는 고정 빗살 드라이브(Fixed comb drive)가 부착되며, 상기 고정 빗살 드라이브(Fixed comb drive) 상부에는 시작 전극(starting electrode)이 배치되고, 상기 전자기 인덕터의 일축과 수직한 타축이 교차하는 중심에서 벗어난 일측에는 실리콘 구조체가 추가되어, 질량 불균형에 의한 편심 공진기 구조를 가지며, 상기 자기장 센서는 상기 시작 전극에 특정 주파수를 갖는 구동 전압을 인가하여 상기 전자기 인덕터의 일축 방향에서 비틀림 공진이 구동되며, 상기 시작 전극에 인가된 특정 주파수와 다른 주파수를 갖는 구동 전압을 인가하여 상기 전자기 인덕터의 일축과 수직한 타축 방향에서 비틀림 공진이 구동되는, 편심 공진기와 전자기 인덕터를 포함하는 정전기력 구동 2축 MEMS 자기장 센서를 제공한다 (도 1).
- [0044] 제작된 편심 공진기와 전자기 인덕터를 활용한 정전기력 구동 2축 MEMS 자기장 센서의 사진과 광학 현미경 사진은 도 2와 같다. 센서는 MEMS 공정을 활용하여 일괄공정으로 제작 가능하며, 질량 불균형을 가지는 편심 구조 및 일정한 감은 방향을 가지는 전자기 인덕터를 가진다. 고정 빗살 드라이브(Fixed comb drive)에는 이동 빗살 드라이브(Movable comb drive)와 달리 시작 전극(starting electrode)이 있기 때문에, 별다른 콤 오프셋(comb offset)이 존재하지 않더라도 정전기력 균형이 깨지면서 비틀림 공진 구동이 가능하다.
- [0045] 본 발명의 일 실시형태에 따르면, 상술한 바와 같이 고정 빗살 드라이브(Fixed comb drive) 상부에 배치된 시작 전극으로 인하여 이동 빗살 드라이브(Movable comb drive)와 높이 차가 발생하고 이로 인하여 정전기력 균형이 깨지면서 비틀림 공진 구동이 가능하다.
- [0046] 상기 고정 빗살 드라이브(Fixed comb drive)와 이동 빗살 드라이브(Movable comb drive) 사이에서 정전기력 균형을 깨기 위하여 높이 차를 생기도록 하는 방법은 상술한 바와 같이 고정 빗살 드라이브(Fixed comb drive) 상부에 시작 전극을 배치하여 구현할 수 있으나, 이에 제한되는 것은 아니며, 예를 들어 이동 빗살 드라이브(Movable comb drive)를 예칭함으로써 높이 차가 생기도록 하거나, 높이 차가 발생하도록 고정 빗살 드라이브(Fixed comb drive)와 이동 빗살 드라이브(Movable comb drive)를 수직 방향으로 상하 배치하거나, 이동 빗살 드라이브(Movable comb drive)를 일정 각도로 경사지게 배열하는 방법에 의해 구현할 수도 있다.
- [0047] 상기 전자기 인덕터의 제1 및 제2 절연층은  $\text{SiO}_2$  및  $\text{Si}_3\text{N}_4$ 로 이루어진 군으로부터 선택된 어느 하나 이상을 포함하는 것을 특징으로 한다.
- [0048] 상기 전자기 인덕터의 제1 및 제2 유도 코일층은 알루미늄(Al), 금(Au), 구리(Cu) 및 크롬(Cr)으로 이루어진 군으로부터 선택된 어느 하나 이상을 포함할 수 있다.
- [0050] 도 3은 (a) 편심 공진기와 전자기 인덕터를 활용한 정전기력 구동 2축 MEMS 자기장 센서의 구동원리, ANSYS 시뮬레이션을 통해 확인한 공진모드 중 (b) X축 자기장 감지모드와 (c) Y축 자기장 감지모드를 나타내는 도면이다.
- [0051] 도 3을 참조하면, 상기 전자기 인덕터의 일축 방향에서 비틀림 공진과 상기 전자기 인덕터의 일축과 수직한 타

축 방향에서 비틀림 공진에 의해 면내 자기장의 자기 선속이 변하는 것을 특징으로 한다.

- [0052] 상기 면내 자기장의 자기 선속의 변화에 따른 전자기 유도에 의해 상기 전자기 인덕터의 양 끝단에서 유도 전압이 발생하는 것을 특징으로 한다.
- [0053] 상기 일축 및 일축에 수직한 타축의 유도 전압을 측정하여 면내 자기장 방향과 세기를 측정할 수 있다.
- [0054] 본 발명의 편심 공진기와 전자기 인덕터를 활용한 정전기력 구동 2축 MEMS 자기장 센서 구동 원리는 도 3(a)와 같다. 일정한 방향의 자기장 내에서 전자기 인덕터가 형성된 편심 공진기가 정전기력으로 비틀림 구동하면서, 전자기 인덕터를 통과하는 면내 자기장의 자기 선속의 변화가 발생한다. 따라서 전자기 유도 법칙에 의해서, 전자기 인덕터 양 끝단에서 유도 전압이 발생한다. 동일한 면내 자기장 세기 내에서 발생하는 유도 전압은 편심 공진기의 공진 주파수, 공진기의 비틀림 각도, 전자기 인덕터의 감은 수에 따라 증가하므로, 공진 주파수와 구동 전압에 의해서 자기장 센서의 감도가 결정될 수 있다.
- [0055] 도 3b 및 3c와 같이 디자인된 편심 공진기는 공진 모드에 따라서 X축 또는 Y축으로 비틀림 공진 구동할 수 있으며, 이는 각각 X축과 Y축 자기장 감지모드로 활용될 수 있다.
- [0057] 도 4는 (a) X축 자기장 감지 모드에서의 구동 전압 별 감도, (b) Y축 자기장 감지 모드에서의 구동 전압 별 감도, (c) X축과 Y축 감지모드에서의 자기장 방향 별 유도 전압을 나타낸 그래프이다.
- [0058] 도 4a 및 4b는 X축과 Y축 자기장 감지모드에서 구동 전압 별 감도(sensitivity)를 나타내는 그래프이다. 감도가 확인된 자기장 센서는 X축 비틀림 공진 모드와 Y축 비틀림 공진 모드를 통해서, 각각 X축과 Y축 방향 자기장 세기를 구할 수 있다. 이렇게 구해진 각 축의 자기장 세기를 이용하여, 면 내 자기장(in-plane) 벡터(세기 및 방향)를 감지할 수 있다. 도 4c는 동일한 세기의 자기장이 센서를 중심으로 회전할 때 발생하는 각 축 자기장 감지 모드에서의 유도전압을 나타낸다.
- [0059] 본 발명의 일 실시형태에 따른 2 축 MEMS 자기장 센서는 정전기력으로 구동하는 편심형 공진기와 MEMS 구동부에 집적된 유도코일을 활용하여, 구동 모드에 따른 전자기 유도 감지 방식으로 면내(In-plane) 자기장 세기를 측정할 수 있다.
- [0060] 이러한 정전 구동 방식 센서에서는 기존 로렌츠 힘 기반의 MEMS 자기장 센서가 가지는 지속적인 여기 전류로 인한 열응력 및 열변형과 높은 소비 전력 문제가 없으며, 전자기 유도 감지 방식은 자기장 세기 증감에 대한 유도 전압 증감이 높은 선형성을 보인다.
- [0061] 제작된 센서는 정전 구동형 편심 구조와 그 위에 일정한 감은 방향의 2 층 유도코일로 구성되며, 고정 콤 위에 패터닝된 시작 전극에 의해서 발생하는 콤 드라이브 사이의 정전기력 불균형으로 비틀림 공진 구동한다. 이는 편심 구조의 공진 주파수에 따라서 X축 또는 Y 축으로 비틀림 구동하며, 각 공진 모드에서는 유도 코일을 통과하는 자기선속 변화로 유도 기전력이 발생한다. 이를 통해서 센서 각 축에서의 자기장 세기를 감지, 면내 자기장 세기 측정이 가능하다.
- [0062] 또한, 본 발명의 일 실시형태에 따르면, 전극을 패터닝하는 간단한 공정으로 고정 빗살 드라이브(Fixed comb drive) 위에 제작된 시작 전극을 활용하여, 전자기 인덕터의 비틀림 공진 구동을 야기할 수 있다. 상기 시작 전극에 구동 전압을 인가할 경우, 상기 고정 빗살 드라이브(Fixed comb drive)와 이격된 이동 빗살 드라이브(Movable comb drive)와의 사이에 정전기력 불균형이 발생하여 전자기 인덕터의 비틀림 구동을 발생시킬 수 있다.
- [0063] 또한, 본 발명의 일 실시형태에 따르면, 전자기 인덕터의 일축과 수직한 타축이 교차하는 중심에서 벗어난 일축에 실리콘 구조체를 추가하여, 질량 불균형에 의한 편심 공진기 구조를 형성한 것을 특징으로 하며, 이로 인하여 전자기 인덕터의 일축과 수직한 타축 방향에서 비틀림 공진을 구동할 수 있다.
- [0064] 또한, 본 발명의 일 실시형태에 따르면, 동일한 구동 전압을 가지지만, 간단히 구동 주파수만 바꾸어서 X축 자기장 감지모드 및 Y축 자기장 감지모드를 구현할 수 있으며, 이로 인하여 면내 자기장의 방향과 세기(즉, 자기장 벡터)를 구할 수 있다.
- [0065] 또한, 본 발명의 일 실시형태에 따르면, 기존의 2축 정전기력 공진기와는 달리, 한 축으로 배열된 comb drive만을 이용하기 때문에 설계 면적(footprint area)이 작은 장점이 있다. 또한, 배열 및 통합이 필요 없는 monolithic 구조로 일괄공정으로 제작되며, 편심 공진기의 구동 주파수만 달리하여서 2축 구동하기 때문에 면내 자기장 벡터 측정이 가능한 장점이 있다.

- [0066] 또한, 본 발명의 일 실시형태와 같이 편심 구조를 가지는 본 자기장 센서의 구조는 ANSYS 시뮬레이션을 통해서, 여러 개의 공진모드 및 주파수를 파악할 수 있다.
- [0068] 본 발명의 일 실시형태에 따르면, 상기 전자기 인덕터의 일축 방향에서 비틀림 공진이 구동될 때, 상기 전자기 인덕터와 인접한 기판은 같은 위상으로 구동할 수 있다.
- [0069] 자기장 센서가 가지고 있는 여러 개의 공진 주파수 중 특정 주파수에 맞추어서 구동 전압을 인가하게 되면, X축 자기장 감지모드로 센서가 구동하게 된다. X축 자기장 감지모드는 전자기 인덕터가 배치된 내부 프레임(frame)과 인덕터가 배치되지 않은 외부 프레임(frame)인 기판이 같은 phase(위상)으로 구동하게 된다.
- [0070] 한편, 상기 전자기 인덕터의 일축과 수직한 타축 방향에서 비틀림 공진이 구동될 때, 상기 전자기 인덕터와 인접한 기판은 반대 위상으로 구동할 수 있다.
- [0071] 즉, 또 다른 공진 주파수 중 하나인 Y축 자기장 감지모드에서는 전자기 인덕터가 배치된 내부 프레임(frame)과 인덕터가 배치되지 않은 외부 프레임(frame)인 기판이 정반대의 위상으로 구동하게 된다. 각 프레임의 비틀림 축은 수직으로 되어 있고, 전자기 인덕터가 배치된 내부 프레임(frame)은 편심형 구조로 되어 있기 때문에 X축 감지모드와는 수직인 방향으로 구동하게 된다.
- [0072] 상기 전자기 인덕터의 일축 방향과 상기 전자기 인덕터의 일축과 수직한 타축 방향에서 비틀림 공진을 구동하는 구동 전압은 동일하고 주파수가 서로 상이한 것을 특징으로 한다.
- [0074] 도 5는 X축 감지모드에서 Y축 감지모드로 전환 또는 Y축 감지모드에서 X축 감지모드로의 전환을 나타내는 그래프이다.
- [0075] 도 5를 참조하면, 공진 주파수에 맞는 구동 전압의 작동 주파수를 인가하면, X축 또는 Y축 자기장 감지 모드를 구현할 수 있다. X축 감지모드에서 Y축 감지모드로 전환 또는 Y축 감지모드에서 X축 감지모드로의 전환을 통해서 면내 자기장을 측정할 수 있다.
- [0076] 이와 같이 특성 평가를 마친 자기장 센서는 동일한 구동 전압에서, X축 감지모드와 Y축 감지모드의 감도(sensitivity)와 그 비를 알 수 있기 때문에, 이후로 측정되는 임의의 자기장 방향과 세기를 구할 수 있다.
- [0077] X축 감지모드와 Y축 감지모드를 통해 각각의 자기장을 측정한 이후 면내 자기장 벡터를 구할 수 있다.
- [0078] X축 감지모드와 Y축 감지모드를 통해 측정된 각각의 유도 기전력은 아래의 식에 의해 측정될 수 있다.
- [0079] 유도 기전력  $V_x = b \cdot \sin\theta = a \cdot k \cdot \sin\theta$
- [0080] 유도 기전력  $V_y = a \cdot \cos\theta$
- [0081] 특히, 내부/외부 프레임이 같이 움직이는 X축 감지모드로의 전환이 Y축 감지모드로의 전환보다 상대적으로 빨랐으며, 이는 comb drive가 바로 붙어 있는 외부 프레임의 제어가 더 빠르게 이루어지기 때문이다.
- [0083] 도 6은 본 발명의 다른 실시형태에 따른 편심 공진기와 전자기 인덕터를 활용한 정전기력 구동 2축 MEMS 자기장 센서의 제작 공정도이다.
- [0084] 본 발명의 다른 실시형태는, SOI(Silicon-on-insulator) 웨이퍼 상에 매립 산화물층(buried oxide)과 그 상부에 디바이스 층(device layer)이 형성된 기판 상에 제1 절연층을 형성하는 단계; 상기 제1 절연층 상에 금속을 증착 및 패터닝하여 제1 유도 코일층을 형성하는 단계; 상기 제1 유도 코일층 상에 제2 절연층을 형성하며, 상기 제2 절연층은 상기 제1 유도 코일층과 제2 유도 코일층이 전기적으로 연결되는 부분과 유도 코일 양단의 전극 패드를 제외한 부분에 형성하는 단계; 상기 제2 절연층 상에 금속을 증착 및 패터닝하여 제2 유도 코일층을 형성하여 전자기 인덕터를 형성하는 단계; 상기 전자기 인덕터의 일축 방향 양측에 이동 빗살 드라이브(Movable comb drive)를 형성하는 단계; 상기 기판의 일축 방향 양측에 상기 이동 빗살 드라이브(Movable comb drive)와 이격하여 대향하는 고정 빗살 드라이브(Fixed comb drive)를 형성하는 단계; 상기 제2 유도 코일층 및 상기 고정 빗살 드라이브(Fixed comb drive) 상부에 시작 전극(starting electrode)을 형성하는 단계; 상기 디바이스 층(device layer)에 심도 반응성 이온 식각(deep reactive-ion etching) 공정을 수행하는 단계; 상기

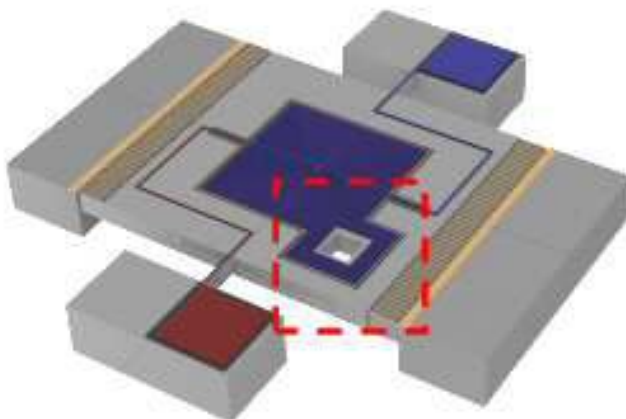
SOI(Silicon-on-insulator) 웨이퍼에 심도 반응성 이온 식각(deep reactive-ion etching) 공정을 수행하는 단계; 및 상기 매립 산화물층(buried oxide)에 반응성 이온 식각(reactive-ion etching) 공정을 수행하여 릴리즈(release)하는 단계;를 포함하는 구동 편심 공진기와 전자기 인덕터를 포함하는 정전기력 구동 2축 MEMS 자기장 센서 제조방법을 제공한다(도 6).

- [0085] 상기 제1 및 제2 절연층은 스퍼터(sputter), 증착(evaporation) 및 열 산화(SiO<sub>2</sub> thermal oxidation) 공정 중 어느 하나 이상으로 형성할 수 있다.
- [0086] 상기 전자기 인덕터의 일측과 수직한 타측이 교차하는 중심에서 벗어난 일측에 실리콘 구조체를 추가하여, 질량 불균형에 의한 편심 공진기 구조를 형성하는 것을 특징으로 한다.
- [0087] 상기 전자기 인덕터의 일측 방향에서 비틀림 공진이 구동될 때, 상기 전자기 인덕터와 인접한 기관은 같은 위상으로 구동할 수 있다.
- [0088] 상기 전자기 인덕터의 일측과 수직한 타측 방향에서 비틀림 공진이 구동될 때, 상기 전자기 인덕터와 인접한 기관은 반대 위상으로 구동할 수 있다.
- [0089] 상기 전자기 인덕터의 제1 및 제2 절연층은 SiO<sub>2</sub> 및 Si<sub>3</sub>N<sub>4</sub>로 이루어진 군으로부터 선택된 어느 하나 이상을 포함할 수 있다.
- [0090] 상기 전자기 인덕터의 제1 및 제2 유도 코일층은 알루미늄(Al), 금(Au), 구리(Cu) 및 크롬(Cr)으로 이루어진 군으로부터 선택된 어느 하나 이상을 포함할 수 있다.
- [0091] 본 발명의 일 실시형태에 따르면, 동일한 구동 전압을 가지지만, 간단히 구동 주파수만 바꾸어서 X축 자기장 감지모드 및 Y축 자기장 감지모드를 구현할 수 있으며, 이로 인하여 면내 자기장의 방향과 세기(즉, 자기장 벡터)를 구할 수 있다.
- [0092] 또한, 본 발명의 일 실시형태에 따르면, 기존의 2축 정전기력 공진기와는 달리, 한 축으로 배열된 comb drive만을 이용하기 때문에 설계 면적(footprint area)가 작은 장점이 있다. 또한, 배열 및 통합이 필요 없는 monolithic 구조로 일괄공정으로 제작되며, 편심 공진기의 구동 주파수만 달리하여서 2축 구동하기 때문에 면내 자기장 벡터 측정이 가능한 장점이 있다.
- [0094] 한편, 본 발명의 또 다른 실시형태는 편심 공진기와 전자기 인덕터를 포함하는 정전기력 구동 2축 마이크로 전자기계 시스템(Micro Electro Mechanical System, MEMS) 자기장 센서로서, 상기 전자기 인덕터는, 기관; 상기 기관 상에 배치된 제1 절연층; 상기 제1 절연층 상에 배치된 제1 유도 코일층; 상기 제1 유도 코일층 상에 배치된 패터닝된 제2 절연층; 및 상기 제2 절연층 상에 배치되며, 상기 제1 유도 코일층과 연결된 제2 유도 코일층을 포함하며, 상기 전자기 인덕터는 상기 기관으로부터 소정 간격 이격되고, 상기 전자기 인덕터의 일측 방향 양측에는 이동 빗살 드라이브(Movable comb drive)가 부착되고, 상기 기관의 일측 방향 양측에는 상기 이동 빗살 드라이브(Movable comb drive)와 이격하여 대향하는 고정 빗살 드라이브(Fixed comb drive)가 부착되며, 상기 전자기 인덕터의 일측과 수직한 타측이 교차하는 중심에서 벗어난 일측에는 실리콘 구조체가 추가되어, 질량 불균형에 의한 편심 공진기 구조를 가지며, 상기 자기장 센서는 인가된 특정 주파수를 갖는 구동 전압에 의해 상기 전자기 인덕터의 일측 방향에서 비틀림 공진이 구동되며, 상기 인가된 특정 주파수와 다른 주파수를 갖는 구동 전압을 인가하여 상기 전자기 인덕터의 일측과 수직한 타측 방향에서 비틀림 공진이 구동되는, 편심 공진기와 전자기 인덕터를 포함하는 정전기력 구동 2축 MEMS 자기장 센서를 제공한다.
- [0095] 본 발명의 상기 실시형태에 따른 편심 공진기와 전자기 인덕터를 포함하는 정전기력 구동 2축 MEMS 자기장 센서는 상술한 본 발명의 일 실시형태에 따른 자기장 센서와 달리 시작 전극 없이 실리콘 구조에 바로 구동 전압을 인가하는 방식으로 작동할 수 있다.
- [0096] 즉, 상술한 본 발명의 일 실시형태에 따른 자기장 센서는 시작 전극에 특정 주파수를 갖는 구동 전압을 인가하여 상기 전자기 인덕터의 일측 방향에서 비틀림 공진이 구동되는 반면, 상기 본 발명의 또 다른 실시형태에 따르면, 시작 전극 없이 실리콘 구조에 인가된 특정 주파수를 갖는 구동 전압에 의해 상기 전자기 인덕터의 일측 방향에서 비틀림 공진이 구동될 수 있다.
- [0097] 이외에는 상술한 본 발명의 일 실시형태에 따른 자기장 센서와 동일하므로 여기서 중복 설명은 생략하도록 한다.

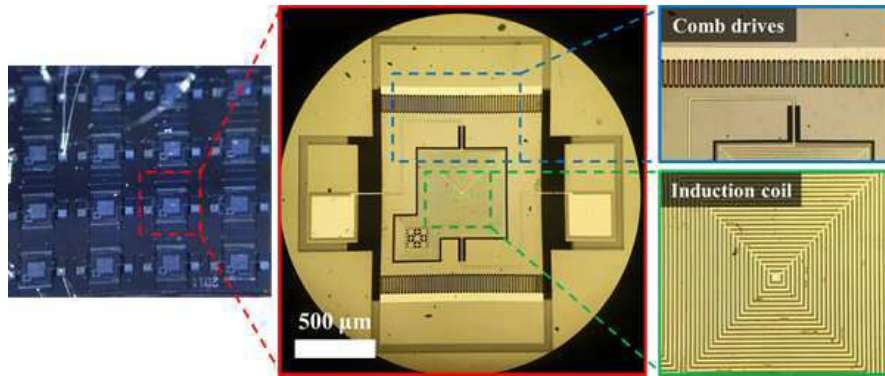
- [0099] 본 발명의 또 다른 실시형태는 편심 공진기와 전자기 인덕터를 포함하는 정전기력 구동 2축 마이크로 전기기계 시스템(Micro Electro Mechanical System, MEMS) 자기장 센서로서, 상기 전자기 인덕터는, 기판; 상기 기판 상에 배치된 절연층; 상기 절연층 상에 복수의 턴을 갖도록 배치된 유도 코일층;을 포함하며, 상기 전자기 인덕터는 상기 기판으로부터 소정 간격 이격되고, 상기 전자기 인덕터의 일축 방향 양측에는 이동 빗살 드라이브(Movable comb drive)가 부착되고, 상기 기판의 일축 방향 양측에는 상기 이동 빗살 드라이브(Movable comb drive)와 이격하여 대향하는 고정 빗살 드라이브(Fixed comb drive)가 부착되며, 상기 고정 빗살 드라이브(Fixed comb drive) 상부에는 시작 전극(starting electrode)이 배치되고, 상기 전자기 인덕터의 일축과 수직한 타축이 교차하는 중심에서 벗어난 일측에는 실리콘 구조체가 추가되어, 질량 불균형에 의한 편심 공진기 구조를 가지며, 상기 자기장 센서는 상기 시작 전극에 특정 주파수를 갖는 구동 전압을 인가하여 상기 전자기 인덕터의 일축 방향에서 비틀림 공진이 구동되며, 상기 시작 전극에 인가된 특정 주파수와 다른 주파수를 갖는 구동 전압을 인가하여 상기 전자기 인덕터의 일축과 수직한 타축 방향에서 비틀림 공진이 구동되는, 편심 공진기와 전자기 인덕터를 포함하는 정전기력 구동 2축 MEMS 자기장 센서를 제공한다.
- [0100] 본 발명의 상기 실시형태에 따른 편심 공진기와 전자기 인덕터를 포함하는 정전기력 구동 2축 MEMS 자기장 센서는 상술한 본 발명의 일 실시형태에 따른 자기장 센서와 달리 전자기 인덕터가 절연층 상에 복수의 턴을 갖도록 배치된 유도 코일층이 배치된 1층 구조를 가질 수 있다.
- [0101] 즉, 상술한 본 발명의 일 실시형태에 따른 자기장 센서는 전자기 인덕터가 기판; 상기 기판 상에 배치된 제1 절연층; 상기 제1 절연층 상에 배치된 제1 유도 코일층; 상기 제1 유도 코일층 상에 배치된 패터닝된 제2 절연층; 및 상기 제2 절연층 상에 배치되며, 상기 제1 유도 코일층과 연결된 제2 유도 코일층을 포함하는 2층 구조인 반면, 상기 본 발명의 또 다른 실시형태에 따르면, 전자기 인덕터가 절연층 상에 복수의 턴을 갖도록 배치된 유도 코일층이 배치된 1층 구조를 가질 수 있다.
- [0102] 이외에는 상술한 본 발명의 일 실시형태에 따른 자기장 센서와 동일하므로 여기서 중복 설명은 생략하도록 한다.
- [0104] 이상에서 설명한 본 발명은, 본 발명이 속하는 기술분야에서 통상의 지식을 가진 자에게 있어서 본 발명의 기술적 사상을 벗어나지 않는 범위내에서 여러 가지 치환, 변경이 가능하므로 전술한 실시예에 한정되는 것은 아니다.

## 도면

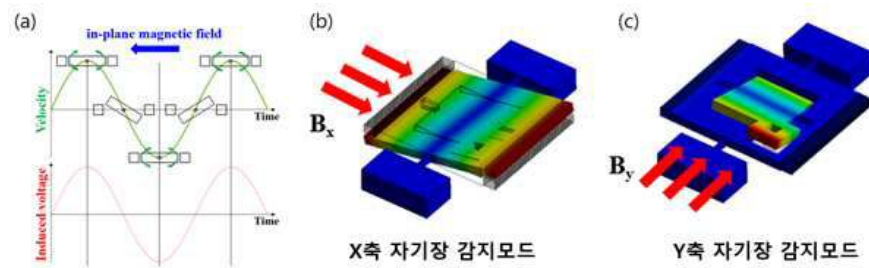
### 도면1



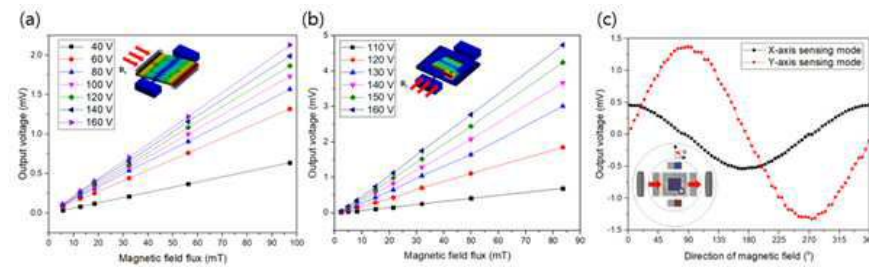
도면2



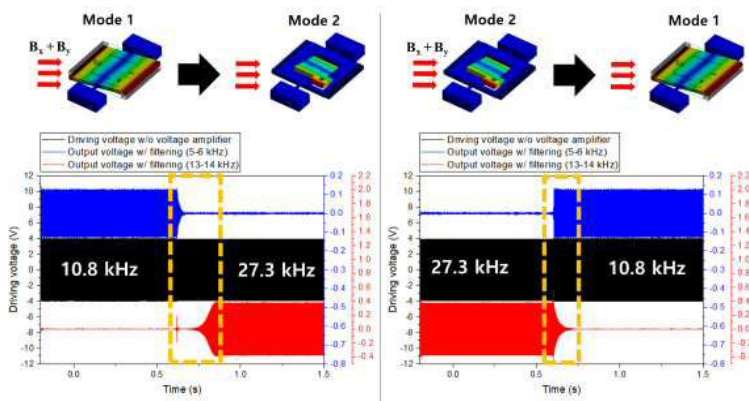
도면3



도면4



도면5



도면6

