

(19)대한민국특허청(KR) (12) 등록특허공보(B1)

(51) 。 Int. Cl.⁷
G01C 19/02

(45) 공고일자 2004년02월11일
(11) 등록번호 10-0418624
(24) 등록일자 2004년02월02일

(21) 출원번호	10-2001-0006695	(65) 공개번호	10-2002-0066486
(22) 출원일자	2001년02월12일	(43) 공개일자	2002년08월19일

(73) 특허권자 (주) 인텔리마이크론즈
서울 관악구 신림동 산56-1 서울대반도체공동연구소

김용권
서울 강남구 청담2동 95 청담빌라 씨-3

(72) 발명자 김용권
서울특별시강남구대치동선경아파트12동1105호

김성혁
서울특별시은평구갈현동267-1라이프시티906호

(74) 대리인 송만호
유미특허법인

심사관 : 공인복

(54) 자이로스코프 및 그 제조 방법

요약

고정되어 있는 구동 고정 전극, 구동 고정 전극의 대향 전극이며 제1 방향으로의 변위할 수 있는 구동 변위 전극, 구동 변위 전극에 연결되어 있으며 구동 변위 전극의 제1 방향 변위를 따라 제1 방향으로 변위하며 각속도 인가시 제2 방향으로 변위하는 관성 질량체, 관성 질량체에 연결되어 있으며 관성 질량체의 제2 방향 변위를 따라 제2 방향으로 변위할 수 있는 검출 변위 전극 및 검출 변위 전극의 대향 전극이며 고정되어 있는 검출 고정 전극을 포함하는 자이로스코프를 마련한다. 여기서, 구동 변위 전극은 제1 방향으로 유동할 수 있는 접힌 스프링에 의하여 지지되어 있고 검출 변위 전극은 제2 방향으로 유동할 수 있는 접힌 스프링에 의하여 지지된다. 또, 구동 변위 전극과 관성 질량체는 제2 방향으로 유동할 수 있으며 고정축이 없는 접힌 스프링에 의하여 연결되어 있고, 검출 변위 전극과 관성 질량체는 제1 방향으로 유동할 수 있으며 고정축이 없는 접힌 스프링에 의하여 연결된다.

대표도

도 1

색인어

자이로스코프, 구동부, 검출부, 관성질량체, 접힌스프링

명세서

도면의 간단한 설명

도 1은 본 발명의 실시예에 따른 자이로스코프의 사시도이고,
 도 2는 본 발명의 실시예에 따른 자이로스코프의 평면도이고,
 도 3은 도 1의 일부 확대도이고,
 도 4는 본 발명의 실시예에 따라 제조된 자이로스코프의 부분 SEM 사진이고,
 도 5는 본 발명의 실시예에 따른 자이로스코프의 구동 또는 검출 스프링부의 확대도이고,
 도 6은 본 발명의 실시예에 따라 제조된 자이로스코프의 구동 또는 검출 스프링부의 SEM 사진이고,
 도 7는 본 발명의 실시예에 따른 자이로스코프의 구동 또는 검출 연결 스프링부의 개념도이고,
 도 8은 변위 제한부에 따른 공진 구동 및 검출 변위 그래프이고,
 도 9a 내지 도 9h는 본 발명의 실시예에 따라 자이로스코프를 제조하는 과정을 순서대로 나타낸 사시도이다.

발명의 상세한 설명

발명의 목적

발명이 속하는 기술 및 그 분야의 종래기술

본 발명은 마이크로머시닝(micromachining) 방법을 이용하여 제조한 자이로스코프 및 그 제조 방법에 관한 것이다. 마이크로머시닝을 이용한 다양한 응용 분야 가운데, 관성 센서(Inertial sensor)로의 응용은 일찍부터 관심을 모은 분야이다. 실리콘을 바탕으로 한 마이크로머시닝으로 제작된 관성 센서는 저가, 대량 생산, 그리고, 집적화가 가능하다는 장점으로 인하여 최근 십년간 상용화 관성 센서를 개발하기 위한 연구가 활발히 진행되고 있다. 하지만, 실제 상용화 가능한 수준의 각속도계가 제작되어 발표된 것은 최근 몇 년간의 일이며, 아직까지 마이크로머시닝으로 제작된 각속도계가 상용화된 예는 없다. 상용화를 위해서는 넓은 동작범위와 함께, 낮은 출력값을 잡음과 분리하여 선택적으로 검출하여 높은 감도를 획득하는 것이 필요하며, 기존의 반도체 공정과 완전하게 호환이 되는 공정을 이용하거나, 단순한 공정을 이용하여 저가의 소자를 구현하여야 한다. 또한, 소자의 신뢰성 및 높은 수율 역시 보장되어야 한다. Analog Devices Inc.(ADI)의 경우 1998년에 개당 \$30의 각속도계를 목표로 표면 마이크로머시닝 공정을 이용하여 진공에서 동작하는 집적화 각속도계의 시제품을 개발하였으나, 당시, 압전 소자를 이용한 각속도계가 자동차용의 경우 \$15, 카메라용의 경우 \$5의 매우 저렴한 가격으로 시판되고 있었기 때문에, 이들과 경쟁하기 위해서는 새로운 접근 방법이 필요하게 되었다. 이를 위해서 소자의 소형화와 패키지 공정의 최소화를 통한 저가의 각속도계 개발로 방향을 선회하게 되었다. 소자의 소형화를 위해서, 전체 소자 크기의 대부분을 차지하는 회로 부분을 줄이고, 그에 따른 문제를 각속도계의 기계적 파트를 크게 함으로써 해결하여, 전체적인 소자의 크기는 줄이는 방향을 모색하게 되었다. 또한, 기계적 파트가 크면 상대적으로 낮은 Q 값에서도 동작하게 되어, 상용화를 위한 두 가지 목표, 작은 소자의 크기와 진공 패키지의 배제를 만족할 수 있으리라 생각된다. 실제로 진공 패키지를 하여야 하는 소자의 경우, 일반적인 IC 공정에서의 패키지 공정이 차지하는 가격 비율 50%에 비해서 80%라는 큰 가격 비율을 차지하고 있으므로, 이를 해결함으로써 전체 소자 가격을 낮출 필요가 있다.

발명이 이루고자 하는 기술적 과제

본 발명이 이루고자 하는 기술적 과제는 대기압에서 동작할 수 있는 자이로스코프를 제공하는 것이다.
 본 발명이 이루고자 하는 다른 기술적 과제는 높은 주파수에서 큰 구동 변위를 가지는 자이로스코프를 제공하는 것이다.
 본 발명이 이루고자 하는 또 다른 기술적 과제는 구동 모드와 검출 모드간의 기계적 간섭이 배제된 자이로스코프를 제공하는 것이다.
 본 발명이 이루고자 하는 또 다른 기술적 과제는 주파수 튜닝없이도 높은 감도를 나타내는 자이로스코프를 제공하는 것이다.
 본 발명이 이루고자 하는 또 다른 기술적 과제는 자이로스코프의 제조 방법을 단순화하는 것이다.

발명의 구성 및 작용

이러한 과제를 해결하기 위하여 본 발명에서는 구동 변위 전극과 검출 변위 전극을 관성 질량체와 접힌 스프링을 매개로 하여 연결함으로써 구동 변위 전극과 검출 변위 전극 사이의 기계적 간섭을 배제한다. 구체적으로는, 고정되어 있는 구동 고정 전극, 구동 고정 전극의 대향 전극이며 제1 방향으로의 변위할 수 있는 구동 변위 전극, 구동 변위 전극에 연결되어 있으며 구동 변위 전극의 제1 방향 변위를 따라 제1 방향으로 변위하며 각속도 인가시 제2 방향으로 변위하는 관성 질량체, 관성 질량체에 연결되어 있으며 관성 질량체의 제2 방향 변위를 따라 제2 방향으로 변위할 수 있는 검출 변위 전극 및 검출 변위 전극의 대향 전극이며 고정되어 있는 검출 고정 전극을 포함

하는 자이로스코프를 마련한다.

이 때, 구동 변위 전극은 제1 방향으로 유동할 수 있는 접힌 스프링에 의하여 지지되어 있고 검출 변위 전극은 제2 방향으로 유동할 수 있는 접힌 스프링에 의하여 지지된다. 또, 구동 변위 전극과 관성 질량체는 제2 방향으로 유동할 수 있으며 고정축이 없는 접힌 스프링에 의하여 연결되어 있고, 검출 변위 전극과 관성 질량체는 제1 방향으로 유동할 수 있으며 고정축이 없는 접힌 스프링에 의하여 연결된다.

또, 검출 변위 전극은 관성 질량체를 중심으로 하여 양쪽에 두 개가 배치되어 있고, 두 개의 검출 변위 전극을 연결하는 테두리 김발을 더 포함할 수 있고, 관성 질량체의 중심에는 구멍이 형성되어 있고, 구멍의 중심에 위치하며 고정되어 있는 변위 제한축을 더 포함할 수 있다.

또한, 검출 변위 전극의 양측에 대칭적으로 형성되어 있으며 검출 변위 전극의 양측에 대칭적으로 형성되어 있으며 전기적 스프링의 역할을 하여 검출 변위 전극의 공진 주파수를 변화시켜 검출 감도를 조절하는 튜닝 전극을 더 포함할 수 있고, 검출 변위 전극과 튜닝 전극의 서로 마주하는 면에는 사각형 요철이 형성되어 있고, 검출 변위 전극의 요철과 튜닝 전극의 요철은 서로 양각부는 양각부끼리 마주하고, 음각부는 음각부끼리 마주하도록 배치된다.

또, 구동 고정 전극과 상기 구동 변위 전극의 마주하는 면 및 상기 검출 고정 전극과 상기 검출 변위 전극의 마주하는 면에는 서로 깎지킨 형태로 사각형 요철을 형성하는 것이 바람직하다.

이러한 자이로스코프는 실리콘 기판과 유리 기판을 양극 접합하는 제1 단계, 상기 실리콘 기판을 식각, 연마하여 특정한 두께로 만드는 제2 단계, 상기 실리콘 기판 위에 금속층을 형성하는 제3 단계, 상기 금속층과 상기 실리콘 기판을 사진 식각하여 자이로스코프 패턴을 가지는 실리콘 구조체를 형성하는 제4 단계, 상기 유리 기판을 식각하여 상기 실리콘 구조체 중 고정축을 제외한 나머지 부분을 유리 기판으로부터 분리하여 자이로스코프 구조체를 형성하는 제5 단계, 상기 자이로스코프 구조체를 플립 칩 본딩하여 외부 회로와 연결하는 제6 단계를 포함하는 방법을 사용하여 제작한다.

이 때, 제4 단계와 제5 단계 사이에 실리콘 기판과 유리 기판을 다이싱하여 개별 소자 단위로 분리하는 단계를 더 포함할 수 있고, 제3 단계에서 형성하는 금속층은 Cr과 Au 이중층인 것이 바람직하며, 제5 단계에서 유리 기판은 HF 용액을 사용하여 식각하고, 제2 단계에서 실리콘 기판의 식각은 80°C의 36wt.%의 KOH 수용액을 사용하여 행하는 것이 바람직하다.

그러면 도면을 참고로 하여 본 발명의 실시예에 따른 자이로스코프에 대하여 설명한다.

도 1은 본 발명의 실시예에 따른 자이로스코프의 사시도이고, 도 2는 본 발명의 실시예에 따른 자이로스코프의 평면도이고, 도 3은 도 1의 일부 확대도이고, 도 4는 본 발명의 실시예에 따라 제조된 자이로스코프의 부분 SEM 사진이다.

본 발명의 실시예에 따른 자이로스코프는 유리 기판(10)과 그 위에 형성되어 있는 실리콘 구조체로 이루어져 있다. 유리 기판(10) 상부에는 실리콘 구조체를 지지하고 실리콘 구조체의 고정축을 고정시키는 지지 기둥(11, 12, 13)이 형성되어 있다.

실리콘 구조체는 크게 구동부, 검출부, 다수의 스프링, 튜닝(tuning) 전극(32) 및 변위 제한축(33)으로 이루어져 있다. 다시 구동부는 구동 고정 전극(26), 구동 변위 전극(24) 및 관성 질량체(23)로 이루어져 있고, 검출부는 검출 고정 전극(25), 검출 변위 전극(22) 및 테두리 김발(gimbal)(21)로 이루어져 있다. 스프링은 구동 변위 전극(24)을 진동할 수 있도록 지지하는 구동 스프링(28, 29), 검출 변위 전극(22)과 테두리 김발(21)을 진동할 수 있도록 지지하는 검출 스프링(27, 30) 및 구동 변위 전극(24)과 관성 질량체(23)를 연결하는 구동 연결 스프링(31)과 검출 변위 전극(22)과 관성 질량체(23)를 연결하는 검출 연결 스프링(32)으로 구분된다. 또, 구동 스프링(28, 29)은 외부 구동 스프링(28)과 내부 구동 스프링(29)으로 구분되고, 검출 스프링(27, 30)은 외부 검출 스프링(27)과 내부 검출 스프링(30)으로 구분된다.

그러면 이들 각 요소의 구조 및 기능에 대하여 좀 더 상세히 설명한다.

먼저, 구동부의 구동 고정 전극(26)은 유리 기판(10)의 지지 기둥(12)에 의하여 고정되어 있고, 사각형 요철 형태의 대향부를 가진다. 구동 변위 전극(24)은 외부 및 내부 구동 스프링(28, 29)에 의하여 지지되어 있어서 동서 방향(도 1과 도 2의 방위 참조)으로만 유동할 수 있고, 사각형 요철 형태로 형성되어 있는 대향부를 가진다. 구동 고정 전극(26)의 대향부와 구동 변위 전극(24)의 대향부는 서로 깎지른 낀 모양으로 배치되어 있다. 외부 및 내부 구동 스프링(28, 29)은 유리 기판(10)의 지지 기둥(13)에 의하여 고정되어 있고, 판스프링이 남북 방향으로 길게 배치되어 있어서 동서 방향으로만 유동할 수 있다. 관성 질량체(23)는 구동 연결 스프링(31)을 통하여 구동 변위 전극(24)과 연결되어 있어서 구동 변위 전극(24)이 동서 방향으로 진동하면 함께 진동하게 되어 있다. 이 때, 구동 연결 스프링(31)은 고정축이 없고 남북 방향으로만 유동할 수 있어서 구동 변위 전극(24)의 동서 방향 진동을 관성 질량체(23)에 그대로 전달한다.

다음, 검출부의 검출 고정 전극(25)은 유리 기판(10)의 지지 기둥(12)에 의하여 고정되어 있고, 사각형 요철 형태의 대향부를 가진다. 검출 변위 전극(22)은 외부 및 내부 검출 스프링(27, 30)에 의하여 지지되어 있어서 남북 방향(도 1과 도 2의 방위 참조)으로만 유동할 수 있고, 사각형 요철 형태로 형성되어 있는 대향부를 가진다. 검출 고정 전극(25)의 대향부와 검출 변위 전극(22)의 대향부는 서로 깎지른 낀 모양으로 배치되어 있다. 외부 및 내부 검출 스프링(27, 30)은 유리 기판(10)의 지지 기둥(13)에 의하여 고정되어 있고, 판스프링이 동서 방향으로 길게 배치되어 있어서 남북 방향으로만 유동할 수 있다. 검출 변위 전극(22)은 검출 연결 스프링(32)을 통하여 관성 질량체(23)와 연결되어 있어서 관성 질량체(23)가 남북 방향으로 진동하면 함께 진동하게 되어 있다. 이 때, 검출 연결 스프링(32)은 고정축이 없고 동서 방향으로만 유동할 수 있어서 관성 질량체(23)의 남북 방향 진동을 검출 변위 전극(22)에 그대로 전달한다. 테두리 김발(21)은 구동부와 검출부 전체를 둘러싸고 있으며 관성 질량체(23)를 중심으로 하여 남북 양쪽에 위치하는 검출 변위 전극(22)을 하나로 연결하고 있다. 따라서 양쪽의 검출 변위 전극(22)은 동일한 방향과 변위로 운동하게 된

다.

튜닝 전극(32)은 남북 두 검출 변위 전극(22)의 동서 양쪽에 각각 하나씩 4개가 형성되어 있고, 유리 기판(10)의 지지 기둥(11)에 의하여 고정되어 있다. 튜닝 전극(32)의 검출 변위 전극(22)과 마주하는 면에는 사각형 요철이 형성되어 있고, 검출 변위 전극(22)에도 튜닝 전극(32)과 마주하는 면에는 사각형 요철이 형성되어 있다. 검출 변위 전극(22)의 사각형 요철과 튜닝 전극(32)의 사각형 요철은 서로 양각부는 양각부끼리 마주하고 있고 음각부는 음각부끼리 마주하고 있다.

변위 제한축(33)은 관성 질량체(23)의 중앙 부분에 형성되어 있는 구멍의 중심에 형성되어 있고 관성 질량체가 일정한 이상 변위하는 것을 막는 역할을 하는 것으로 유리 기판(10)의 지지 기둥(도시하지 않음)에 의하여 고정되어 있고, 관성 질량체(23)가 정지해 있는 상태에서는 관성 질량체(23)와 일정한 간격을 두고 분리 되어 있다.

이러한 구조의 자이로스코프의 구동 및 검출 방법에 대하여 설명한다.

구동 고정 전극(26)에 전원을 인가하면, 구동 변위 전극(24)은 구동 고정 전극(26)에 인가되는 전원의 주파수에 따라 정전력 구동되어 동서 방향으로 진동하고, 관성 질량체(23)도 구동 변위 전극(24)과 동일하게 진동한다. 이 상태에서 자이로스코프가 회전력을 받으면 관성 질량체(23)는 남북 방향으로의 힘을 받아 남북 방향으로도 진동하게 된다. 관성 질량체(23)의 남북 방향 진동은 검출 변위 전극(22)에 그대로 전달되어 검출 변위 전극(22)도 동일하게 진동한다. 검출 변위 전극(22)이 진동하면 검출 고정 전극(25)과 검출 변위 전극(22) 사이에 형성되는 정전 용량이 변화하는데 이 변화를 검출하여 각속도를 산출한다. 이 때, 튜닝 전극(32)은 전기적 스프링의 역할을 하고 검출 변위 전극(25)의 공진 주파수를 변화시켜 검출 감도를 조절한다. 변위 제한축(33)은 관성 질량체(23)의 구동 변위를 일정한 값으로 제한하여 넓은 주파수 범위에서 일정한 변위를 유지하도록 한다. 이것에 대하여는 뒤에서 상술한다.

본 발명의 실시예에 적용된 구동 또는 검출 스프링(27, 28, 29, 30)의 구조에 대하여 도 5 및 6을 참고로 하여 좀더 상세히 설명한다.

도 5는 본 발명의 실시예에 따른 자이로스코프의 구동 또는 검출 스프링부의 개념도이고, 도 6은 본 발명의 실시예에 따라 제조된 자이로스코프의 구동 또는 검출 스프링부의 SEM 사진이다.

구동 또는 검출 스프링은 모두 고정축(1), 연결부(2), 내측 판(3) 및 외측 판(4)으로 이루어진다. 고정축(1)은 유리 기판(10)의 지지 기둥(13)에 의하여 고정되어 있고, 연결부(2)는 내측 판(3)과 외측 판(4)을 연결하고 있다. 내측 판(3)은 고정축(1)과 연결부(2) 사이를 연결하고 있고, 외측 판(4)은 연결부(2)와 구동 또는 검출 변위 전극(구동 스프링인가 검출 스프링인가에 따라 결정됨)의 사이를 연결하고 있다. 이러한 구조의 스프링을 접힌 스프링(folded spring)이라 한다.

도 5에서 실리콘 구조체의 위에 얇게 표시되어 있는 층은 금속층이다. 이 금속층은 자이로스코프를 플립 칩 본딩(flip chip bonding)하기 위하여 형성한다. 도 1 내지 도 4에서는 도시를 생략하였다.

도 6에서 연결부(5)와 그 주변의 구조체에 형성되어 있는 구멍은 제조 공정에서 구조체를 공중에 띄우기 위하여 유리 기판을 식각할 때 식각액을 투입하기 위한 것이다. 따라서 고정축이 되는 부분과 폭이 얇은 스프링의 판(3, 4)을 제외하고는 구조체의 모든 부분에 구멍이 형성되어 있다.

본 발명의 실시예에 적용된 구동 또는 검출 연결 스프링(31, 32)의 구조에 대하여 도 7을 참고로 하여 좀더 상세히 설명한다.

도 7는 본 발명의 실시예에 따른 자이로스코프의 구동 또는 검출 연결 스프링부의 개념도이다.

연결 스프링은 연결부(2), 내부 판(3) 및 외부 판(4)으로 이루어져 있고, 고정축은 없다. 연결부(2)는 내부 판(3)과 외부 판(4)을 연결하고 있고, 내부 판(3)은 구동 변위 전극 또는 검출 변위 전극(구동 연결 스프링이나 검출 연결 스프링이나에 따라 결정됨)에 연결되어 있으며, 외부 판(4)은 관성 질량체(23)에 연결되어 있다.

이어서, 변위 제한부의 기능에 대하여 설명한다.

도 8은 변위 제한부에 따른 공진 구동 및 검출 변위 그래프이다.

Q 값이 높은 공진 구조물의 경우, 진공도 및 주파수의 변화에 따른 변위 변화가 매우 크며, 이로 인해 구조물의 출력이 변화하게 되므로, 출력 성능이 외부 잡음(진공도나 주파수 변화)에 매우 민감하게 되는 단점이 생기게 된다. 이를 극복하기 위하여 본 각속도계는 구동 변위를 제한하는 기계적 변위 제한 장치를 관성 질량체 중앙부에 형성한다. 이는 관성 질량체를 비롯한 구동부의 변위를 일정한 값으로 유지하도록 하며, 넓은 주파수 범위에서도 일정한 변위를 유지하도록 한다. 또한, 도 8과 같이, 기존의 각속도계의 경우, 공정 상의 오차로 인하여 구동 및 검출 공진 주파수의 차이가 생긴 경우 감도가 저하되는 것을 방지하기 위하여, 공진 주파수를 튜닝하여야 하지만, 변위 제한기를 채용한 본 각속도계의 경우에는 구동 변위가 넓은 주파수 영역에서 일정하게 유지되어 검출 공진 주파수 영역에서도 구동 변위가 일정하게 유지되므로, 별도의 튜닝없이도 검출 공진 주파수에서 구동을 할 수 있게 된다.

그러면 이러한 구조의 자이로스코프를 제조하는 방법에 대하여 설명한다.

도 9a 내지 도 9h는 본 발명의 실시예에 따라 자이로스코프를 제조하는 과정을 순서대로 나타낸 사시도이다.

먼저, 도 9a에 나타낸 바와 같이, 저저항 실리콘 웨이퍼(20)와 Pyrex #7740 등의 유리 기판(10)을 380 °C에서 800 V를 2시간동안 가하여 양극 접합한다.

다음, 도 9b에 나타낸 바와 같이, 수산화칼륨(KOH) 수용액을 사용하여 유리기판(10)을 식각한다. 식각 후 유리 기판(10)의 두께는 약 70 μm 정도가 되도록 한다. 이는 최종 실리콘 구조체의 두께인 50 μm 에 CMP(chemical mechanical polishing)를 통하여 거울면을 만들기 위한 여유분 20 μm 를 감안한 두께이다. 이 때, 식각액은 80°C의 36wt.%의 KOH 수용액이며, 이때의 식각 속도는 대략 0.93 $\mu\text{m}/\text{min}$ 이다. KOH 식각 후, 실리콘 표면에는 힐록(hillock) 및 핏홀(pit hole)이 형성된다.

다음, 도 9c에 나타낸 바와 같이, CMP를 통하여 실리콘 웨이퍼(20)의 표면을 거울면으로 만든다.

이어서, 도 9d에 나타난 바와 같이, 플립 칩 본딩을 위한 전극을 형성하기 위하여 Cr과 Au를 각각 200 Å과 3000 Å 두께로 증착하여 Cr/Au층(40)을 형성한다.

다음, 도 9e에 나타난 바와 같이, Cr/Au층(40) 위에 산화막(도시하지 않음)을 증착하고 그 위에 감광제를 도포하고 사진 공정을 진행하여 실리콘 구조체 패턴을 정의하기 위한 감광제 패턴(50)을 형성한다. 이 때 감광제 패턴에는 나중에 유리 기판을 식각하여 실리콘 구조체를 띄우기 위하여 필요한 식각액 침투용 구멍을 형성하기 위한 패턴이 포함되어 있다.

다음, 도 9f에 나타난 바와 같이, 감광제 패턴(50)을 식각 마스크로 하여 산화막을 식각한 후, 감광제 패턴(50)과 산화막 패턴을 식각 마스크로 하여 반응성 이온 식각(RIE: reactive ion etching)을 진행하여 실리콘 구조체 패턴을 형성한다. 실리콘 구조체의 패턴이 형성된 실리콘 웨이퍼(20)와 유리 기판(10)은 다이싱(dicing)하여 시편 단위로 분리한다.

이어서, 도 9g에 나타난 바와 같이, 실리콘 구조체(20)를 유리 기판(10)으로부터 분리하기 위하여 49%의 HF 용액에서 유리 기판(10)을 식각한다. 이 때, 앞서 설명한 바와 같이 고정축과 스프링의 판을 제외한 실리콘 구조체의 모든 부분에는 구멍이 형성되어 있어서 식각액인 유리 기판(10)에 도달할 수 있도록 되어 있다. 이 때, 구조물을 바닥면에서 충분히 띄워 공기 감쇄(damping)를 최소화하여야 대기압에서 구동하는 각속도계를 제작할 수 있으며, HF 용액을 이용한 유리 식각을 이용하면 바닥면에서 10μm 이상 떠 있는 구조물을 제작할 수 있다. 이 때, 구조물을 바닥면에서 충분히 띄워 공기 감쇄(damping)를 최소화하여야 한다. 약 8분간 유리 기판(10)을 식각하여 실리콘 구조체(20)를 유리 기판(10)에서 약 50 μm 떠 있도록 할 수 있다.

마지막으로, 도 9h에 나타난 바와 같이, 유리 기판(10), 실리콘 구조체(20) 및 Cr/Au층(40)으로 이루어진 자이로스코프 구조체(200)를 배선을 위한 전극 구조물 또는 PCB(printed circuit board) 기판(100)에 플립 칩 본딩한다. 이 때 본더(bonder)(300)는 자이로스코프 구조체(200)의 고정축 부분에 접촉한다.

위에서는 실리콘 구조체의 패턴링시 식각 마스크로 감광제와 산화막을 사용하였으나 감광제만을 사용할 수도 있다. 그러면 본 발명의 자이로스코프의 특징에 대하여 설명한다.

본 발명에 따른 각속도계는 매우 단순한 공정을 바탕으로 제작이 되며, 전체 공정에서 각속도계 구조물을 만들기 위한 사진 식각 공정은 한 번이다. 제작된 각 속도계는 단 하나의 구조물 층만을 갖게 되며, 최종적으로 플립 칩 본딩을 하여 회로부와 연결하게 된다.

각속도계 구조물의 구동부와 검출부는 머리빗 모양 구조물을 채용하며, 바닥 면과의 간격을 크게 하여, 공기 감쇄를 최소화함으로써 대기압에서도 높은 Q 값을 갖도록 설계하였다. 이는 기존의 각속도계 설계에서 고려하지 않았던 Q값에 대한 수식을 정리하여, 이를 바탕으로 구조물의 Q값을 예측하여 기계적인 감도를 최대한으로 설계하기 위함이며, 이 때 Q값을 예측하기 위하여 쿠에테 플로(Couette flow), 스톱스 플로(Stokes flow)와 스퀴즈 감쇄(Squeeze damping)를 고려한다.

또한, 최대한의 감도를 얻기 위하여, 주어진 각속도계 영역에 최대한의 전극 구조물을 집적하여, 10μm 정도로 큰 구동 변위를 갖게끔 설계하였으며, 기계적인 구조는 각속도계의 기계적 간섭을 최소화하고 외부 잡음에 둔감하게 설계한다. 구조물의 구동 및 검출 주파수는 외부 잡음의 영향을 배제하기 위하여 5kHz 이상으로 설계하였으며, 구동과 검출 주파수는 대역폭을 넓히기 위하여 일치시키지 않고, 50Hz 정도 떨어져 있도록 설계하였다. 구동 및 검출 주파수가 각각 7088Hz, 7132Hz로 예측되었다.

또한, 제안한 각속도계의 경우 인위적으로 변위를 제한하는 변위 제한기(displacement limiter)가 기계적으로 붙어 있으며, 이는 넓은 주파수 영역에서 구동 변위를 일정하게 유지시켜 대역폭을 넓히고, 튜닝의 필요성을 줄이는 역할을 한다.

각속도계 구조물은 기본적으로 2차원 스테이지(2D stage)와 같은 형태를 가 지고 있으며, 같은 평면 내에서 구동 모드 및 검출 모드가 존재한다. 각속도계의 감도는 관성 질량(inertial mass)이 클수록 증가하므로, 이를 감안하여 전체적인 각속도계의 질량을 크게 하여야 한다. 또한, 구동력 및 검출 감도를 최대로 위하여 구조물 내에서 빗모양 전극 구조물의 수를 최대로 하였으며, 기계적인 간섭을 최소화하기 위하여 테두리 김발을 채택하였다. 전체적인 각속도계 구조물의 크기는 8×8 [mm]이며, 밀폐 실링(hermetic sealing)을 위한 외부 프레임 등을 고려한 전체 크기는 10×10 [mm]이다. 구조물로는 앞서 설명한 바와 같이 기계적 성질이 우수한 단결정 실리콘을 사용하며, 구조물의 두께는 50μm로 설계하였다. 또한, 각속도계 구조물은 감쇄를 줄이기 위하여 바닥면에서 50μm 떠 있는 형태이다.

앞서 설명한 바와 같이 수평으로 진동하는 구조물의 경우 Q 값을 계산하기 위해서는 감쇄값을 계산하여야 하며, 일반적으로 알려진 감쇄 및 이를 계산하는 식은 다음과 같다.

쿠에테 플로의 비스코스 감쇄 상수(Viscous damping coefficient of Couette flow: $B_{\text{Couette}} = \mu \frac{A}{g}$, 여기서 g 는 공기층의 두께이고 A 는 구체의 면적이다.

스톱스 플로의 감쇄 상수(Damping coefficient of Stokes flow: $B_{\text{Stokes}} = \mu \frac{A}{\delta}$, 여기서 δ 는 투과 깊이로서 $\delta(\omega) = \sqrt{\frac{2\eta}{\omega}}$ 로 정의되며, A 는 구조체의 면적이다.

스퀴즈 감쇄 상수(Squeeze damping coefficient: $B_{\text{Hagen}} = 7.2\mu(\frac{h}{g})^3$, 여기서 g 두 판사이의 공기층 두께, h 은 구조체의 중첩 길이, h 는 구조체의 높이이다.

$Q \text{ factor} = \frac{\sqrt{K_{\text{SYSTEM}} M_{\text{SYSTEM}}}}{B} = \frac{\sqrt{K_{\text{SYSTEM}} M_{\text{SYSTEM}}}}{B_{\text{Couette}} + B_{\text{Stokes}} + B_{\text{Hagen}}}$, 여기서 μ 는 공기의 절대 점도(1.78×10^{-5} [N · s/m²])이다.

구동부는 426개의 빗모양 전극 구조물을 가지며, 6개의 구동용 접힌 스프링(folded spring) 구조물을 가진다. 스프링의 길이를 192 μm로 하였을 때, 스프링 상수는 2684이며, 구동 공진 주파수는 8299 [Hz]로 계산되었다. 전체 구조물의 크기를 고려하여 계산된 대기압에서의 Q-factor는 3565의 큰 값을 나타내었으며, 구동 전압을

$V(t) = v_d + v_s \cos \omega_{DRIVE} t = 15 + 3 \cos(2\pi \cdot f_{DRIVE} \cdot t)$ [V]로 할 때 구동력과 구동 변위는 다음과 같이 계산된다.

구동력[F(t)]

$$= 4 \cdot \epsilon_0 \cdot N_{DRIVE} \cdot \frac{h}{g} \cdot v_d \cdot v_s \cdot \cos \omega_{DRIVE} t$$

$$= 6.789 \times 10^{-6} \cos \omega_{DRIVE} t \text{ [N]}$$

구동 변위[x(t)]

$$= 4 \cdot \epsilon_0 \cdot N_{DRIVE} \cdot \frac{h}{g} \cdot v_d \cdot v_s \cdot \frac{Q_{DRIVE}}{K_{DRIVE}} \cdot \cos \omega_{DRIVE} t$$

$$= 9.017 \cos \omega_{DRIVE} t \text{ [}\mu\text{m]}$$

검출부는 692개의 빗모양 전극 구조물과 6개의 접힌 스프링을 가진다. 스프링의 길이를 157 μm 로 하였을 때, 검출부의 공진 주파수는 8269 [Hz]로 구동 공진 주파수에 비해 약간 작은 값을 갖도록 설계하였다. 검출부의 Q-factor는 3765로 계산되었다. 이 때, 입력 각속도에 의해 발생하는 코리올리 힘과 변위는 다음과 같이 계산된다.

코리올리의 힘($F_{CORIOLIS}$)

$$= 2M_{SHUTTLE} V \cdot \Omega$$

$$= 2M_{SHUTTLE} \cdot 4\epsilon_0 N_{DRIVE} \cdot \frac{h}{g} \cdot v_d \cdot v_s \cdot \frac{Q_{DRIVE}}{K_{DRIVE}} \omega_{DRIVE} \sin \omega_{DRIVE} t \cdot \Omega_{rad}$$

$$= 1.126 \times 10^{-8} \sin \omega_{DRIVE} t \cdot \Omega_{deg}$$

검출 변위[y(t)]

$$= \frac{Q_{SENSE}}{K_{SENSE}} \cdot F_{CORIOLIS}$$

$$= 0.008 \sin \omega_{SENSE} t \text{ [}\mu\text{m/(deg/sec)}]$$

그러므로, 각속도계의 기계적 감도는 0.008 [$\mu\text{m/deg/sec}$]이며, 전기적인 감도는 1.939[fF/deg/sec]로 계산되었다. 본 발명에 따른 각속도계의 제작 공정은 하나의 구조물 층을 갖는 공정을 채택하였으며, 이를 위한 공정으로 깊은 반응성 이온 식각(Deep RIE) 공정과 실리콘-유리 양극 접합 공정을 채택하였다. 이를 이용하면 단 한 번의 사진 식각 작업으로 각속도계 구조물을 제작할 수 있으며, 전극 기판 및 PCB와의 플립 칩 본딩을 통하여 각속도계를 완성할 수 있다.

Deep RIE 식각 마스크로 사용된 산화막은 옥스퍼드 에처(Oxford Etcher)에서의 산화막 패터닝 공정에서 언더컷(undercut)이 발생하였으며, 이로 인해 실리콘 구조물에 반영되어 최종적으로 Deep RIE 후의 구조물이 설계한 값보다 2 μm 정도 좁게 제작되었다. 제작된 구조물의 두께는 44 μm 이며, Deep RIE는 33분간 수행하였다. 구조체는 8분간의 글래스 식각 후 바닥에서 완전하게 릴리즈되었으며, 이때 바닥과 구조물과의 간격은 37 μm 로 측정되었다.

제안된 각속도계는 426개의 구동 전극과 692개의 검출 전극을 가지며, 구동 전극 및 검출 전극은 관성 질량체를 통해서 기계적으로 분리된 구조를 가지고 있다. 또한, 관성 질량체 중앙에는 변위를 제한하기 위한 변위 제한기가 있으며, 최대 변위는 15 μm 에서 제한된다. 또한, 기계적 간섭을 보다 줄이기 위한 김볼 구조물을 전체 소자 외곽에 배치하였다. 제작된 시편들의 성능을 알아보기 위하여, 반도체 공동 연구소의 프루브 스테이션(probe station)을 이용하여 간단한 구동 성능을 측정하였다. 검출부의 동작 확인 역시 구동부와 마찬가지로 전압을 인가하여 공진 주파수 및 공진점에서의 최대 변위를 측정하였으며, 대략적인 제작 및 성능 측정 결과를 표 1에 나타낸다.

[표 1]

	Comb	Spring		Thickness (μm)	Q	Displacement (μm)	Frequency (Hz)
	width(μm)	length(μm)	width(μm)				
Driving							
Design	5	192	5	44	3565	9.017 *	8907
Fabricated	4.3	194	4.3	44	2327	4 **	6563
Sensing							
Design	5	165	5	44	3765	0.008/ ° /s	8863
Fabricated	4.3	167	4.3	44	2178	- -	6523

* 인가 전압에 대하여 계산된 변위 $V(t) = 15 + 3 \cos \omega_{drive} t$ [V] (양방향)

* 인가 전압에 대하여 측정된 변위 $V(t) = 7.5 + 7.5 \cos \omega_{drive} t$ [V] (일방향)

23개의 시편에 대해서 전압을 인가하여 공진 주파수를 측정한 결과, 20개의 시편이 구동부, 검출부 또는 구동부 및 검출부의 동작 확인에 성공하였다. 공진 주파수는 구동 및 검출 모두 5500 ~ 6500 Hz의 범위에 폭넓게 분포하고 있음을 알 수 있으며, 특히 5500 ~ 6000 Hz의 영역에 집중되어 있음을 확인할 수 있었다. 또한, 구동부 및 검출부의 공진이 확인된 시편의 경우 두 공진 주파수의 차이는 대략 50 Hz로 일정함을 확인할 수 있었다. 구동부 및 검출부 중의 어느 한 방향으로의 공진만 관찰되거나, 공진 주파수의 차이가 큰 시편의 경우, 스프링부가 파손되어 있거나 한 쪽 방향으로의 점착이 발생한 경우임이 확인되었다.

공진시의 변위는 앞의 표 1과 같이 실제 설계치보다 작은 값을 나타내었으며, 이는 단방향 구동으로 인한 변위의 감소, 바닥면과 구조물과의 간격이 설계보다 작게 제작됨으로 인한 공기 감쇠의 증가와 Q 값의 감소, 머리빔 모양 전극 구조물의 풋팅(footing) 및 언더컷(undercut)으로 인한 머리빔 모양 전극 간의 간격 증가에 그 원인을 찾을 수 있다. 또한, 인위적으로 구동 전압을 증가시켜 변위 제한기의 효용성을 확인하였다. 변위가 변위 제한기에 의해 제한된 경우, 수백 Hz의 범위에서 최대 제한 변위인 15 μ m의 구동 변위가 유지됨을 확인할 수 있었으며, 이는 외부 잡음에 무관하고, 넓은 대역폭을 가질 수 있음을 확인한 것이다.

발명의 효과

본 발명은 새로운 형태의 정전력 구동형, 정전 용량 검출형 각속도계를 제시한다. 단결정 실리콘 몸체 미세 가공 기술을 이용하여 크기가 큰 각속도계 구조물을 제작할 수 있도록 함으로써 대기압에서 동작 가능한 각속도계를 제시하며, 이를 제작하기 위하여 실리콘-글래스 접합 기술, 실리콘 몸체 식각 기술과 플립 칩 본딩을 이용한다. 이는 한 번의 사진 식각 공정으로 식각 구멍(etch hole)을 전면에 가진 각속도계 구조물을 정의한 후, 추가적인 사진 식각 공정 없이 글래스 식각을 통해서 제작하는 매우 단순한 공정이다. 특히 플립 칩 본딩을 이용하면, 제작된 각속도계 구조물을 기타의 패키지 공정 없이 곧장 회로에 집적화할 있으며, 본 각속도계는 대기압에서 동작 가능하므로 기존의 각속도계가 가지고 있는 진공 패키지 공정의 문제점을 해결할 수 있다.

구조물은 대기압에서도 큰 감도를 갖도록 최대한 많은 구동 및 검출 전극과 큰 관성 질량체를 가지며, 외부 잡음의 영향을 배제하기 위하여 높은 주파수에서 큰 구동 동작 변위를 가지도록 설계한다. 각속도계 구조물은 같은 평면 내에서 구동 모드 및 검출 모드가 존재하므로, 기존의 각속도계가 가지고 있던 기계적 간섭을 배제할 수 있는 동작 원리를 채택하며, 외부에 김벌 구조물을 설치하여 기계적 간섭을 최소화한다. 또한, 구동 변위를 제한하는 기계적 변위 제한 장치를 추가하여, 부수적인 주파수 튜닝을 하지 않아도, 좋은 감도를 갖도록 각속도계를 설계하며, 각속도계의 동작 대역폭이 늘어날 수 있도록 설계한다.

제작된 각속도계는 대기압에서 동작을 확인하였으며, 의도한 대로 대기압에서 큰 감도를 가질 수 있도록 구동됨을 확인하였다.

(57) 청구의 범위

청구항 1.

(정정) 고정되어 있는 구동 고정 전극,
상기 구동 고정 전극의 대향 전극이며 제1 방향으로의 변위할 수 있는 구동 변위 전극,
상기 구동 변위 전극에 연결되어 있으며 상기 구동 변위 전극의 제1 방향 변위를 따라 제1 방향으로 변위하며 각속도 인가시 제2 방향으로 변위하는 관성 질량체,
상기 관성 질량체에 연결되어 있으며 상기 관성 질량체의 제2 방향 변위를 따라 제2 방향으로 변위할 수 있는 검출 변위 전극,
상기 검출 변위 전극의 대향 전극이며 고정되어 있는 검출 고정 전극
을 포함하고, 상기 구동 변위 전극과 상기 관성 질량체는 제2 방향으로 유동할 수 있으며 고정축이 없는 접힌 스프링에 의하여 연결되어 있고, 상기 검출 변위 전극과 상기 관성 질량체는 제1 방향으로 유동할 수 있으며 고정축이 없는 접힌 스프링에 의하여 연결되어 있는 자이로스코프.

청구항 2.

제1항에서,
상기 구동 변위 전극은 제1 방향으로 유동할 수 있는 접힌 스프링에 의하여 지지되어 있고 상기 검출 변위 전극은 제2 방향으로 유동할 수 있는 접힌 스프링에 의하여 지지되어 있는 자이로스코프.

청구항 3.

(삭제)

청구항 4.

제1항에서,
상기 검출 변위 전극은 상기 관성 질량체를 중심으로 하여 양쪽에 두 개가 배치되어 있고, 상기 두 개의 검출 변위 전극을 연결하는 테두리 김발을 더 포함하는 자이로스코프.

청구항 5.

제1항에서,
상기 관성 질량체의 중심에는 구멍이 형성되어 있고, 상기 구멍의 중심에 위치하며 고정되어 있는 변위 제한축을 더 포함하는 자이로스코프.

청구항 6.

제1항에서,
상기 검출 변위 전극의 양측에 대칭적으로 형성되어 있으며 전기적 스프링의 역할을 하여 검출 변위 전극의 공진 주파수를 변화시켜 검출 감도를 조절하는 튜닝 전극을 더 포함하는 자이로스코프.

청구항 7.

제6항에서,

상기 검출 변위 전극과 상기 튜닝 전극의 서로 마주하는 면에는 사각형 요철 이 형성되어 있고, 상기 검출 변위 전극의 요철과 상기 튜닝 전극의 요철은 서로 양각부는 양각부끼리 마주하고, 음각부는 음각부끼리 마주하도록 배치되어 있는 자이로스코프.

청구항 8.

제1항에서,

상기 구동 고정 전극과 상기 구동 변위 전극의 마주하는 면 및 상기 검출 고정 전극과 상기 검출 변위 전극의 마주하는 면에는 서로 짝지킨 형태로 사각형 요철이 형성되어 있는 자이로스코프.

청구항 9.

실리콘 기판과 유리 기판을 양극 접합하는 제1 단계,

상기 실리콘 기판을 식각, 연마하여 특정한 두께로 만드는 제2 단계,

상기 실리콘 기판 위에 금속층을 형성하는 제3 단계,

상기 금속층과 상기 실리콘 기판을 사진 식각하여 자이로스코프 패턴을 가지는 실리콘 구조체를 형성하는 제4 단계, 상기 유리 기판을 식각하여 상기 실리콘 구조체 중 고정축을 제외한 나머지 부분을 유리 기판으로부터 분리하여 자이로스코프 구조체를 형성하는 제5 단계,

상기 자이로스코프 구조체를 플립 칩 본딩하여 외부 회로와 연결하는 제6 단계

를 포함하는 자이로스코프의 제조 방법.

청구항 10.

제9항에서,

제4 단계와 제5 단계 사이에 실리콘 기판과 유리 기판을 다이싱하여 개별 소자 단위로 분리하는 단계를 더 포함하는 자이로스코프의 제조 방법.

청구항 11.

제9항에서,

상기 제3 단계에서 형성하는 금속층은 Cr과 Au 이중층인 자이로스코프의 제조 방법.

청구항 12.

제9항에서,

상기 제5 단계에서 유리 기판은 HF 용액을 사용하여 식각하는 자이로스코프의 제조 방법.

청구항 13.

제12항에서,

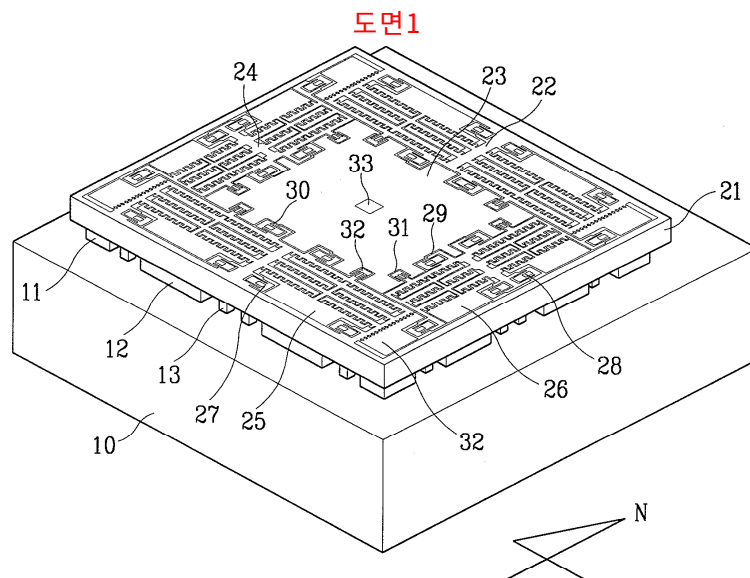
상기 HF 용액을 이용하여 상기 유리 기판을 식각하는 깊이는 10 μ m 이상으로 하여, 공기 감쇄를 최소화하여 대기압에서 동작이 가능하도록 하는 자이로스코프의 제조 방법"

청구항 14.

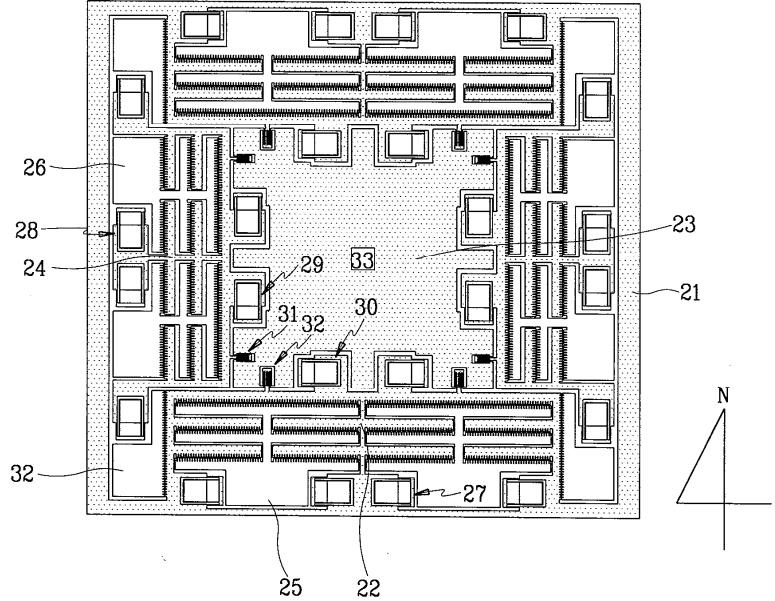
제9항에서,

상기 제2 단계에서 실리콘 기판의 식각은 80°C의 36wt.%의 KOH 수용액을 사용하여 행하는 자이로스코프의 제조 방법.

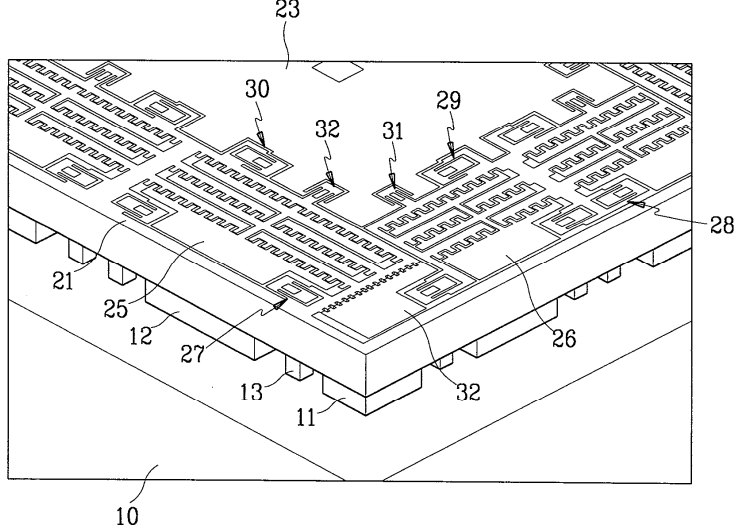
도면



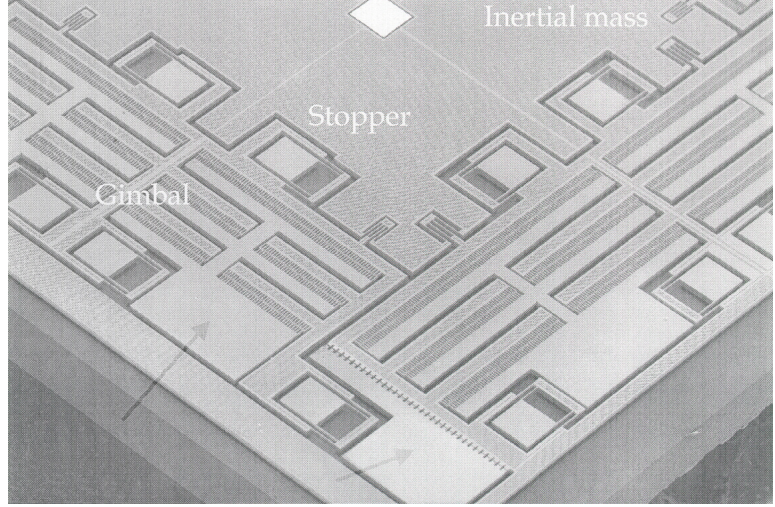
도면2



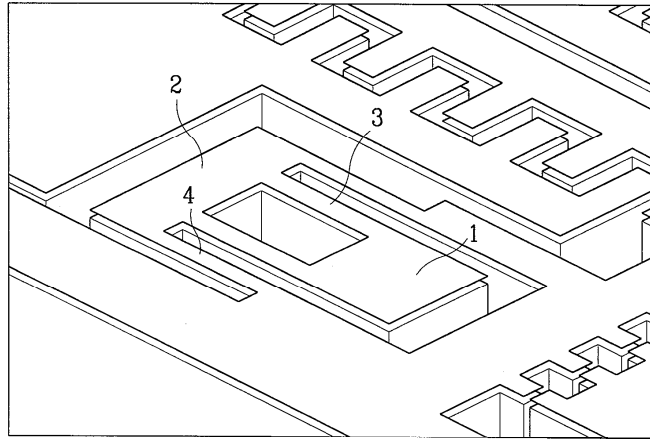
도면3



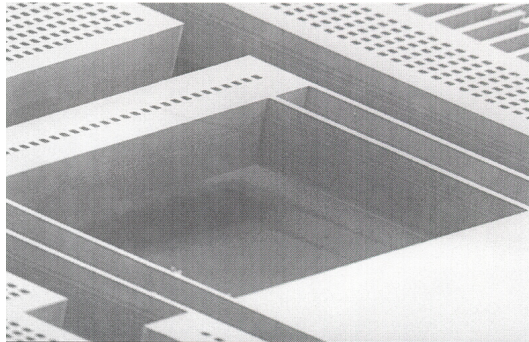
도면4



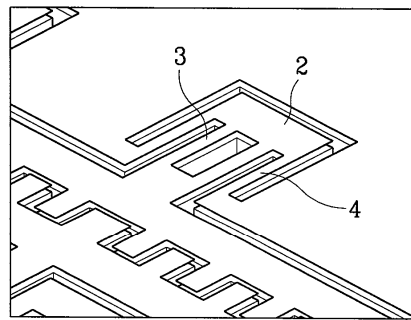
도면5



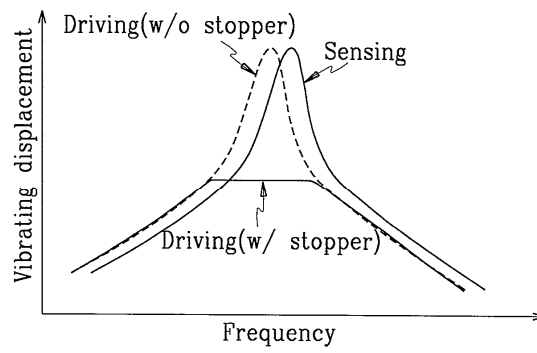
도면6



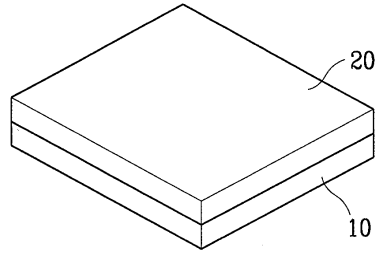
도면7



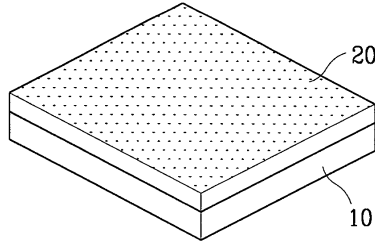
도면8



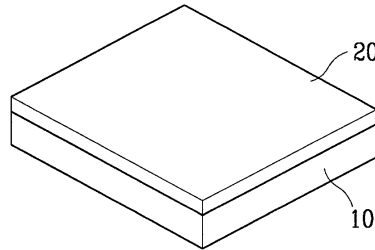
도면9a



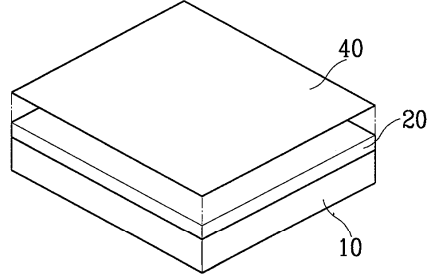
도면9b



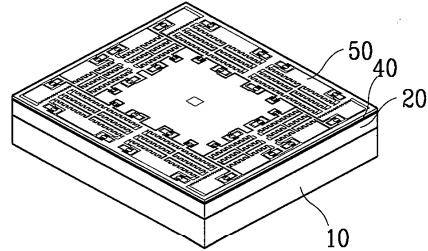
도면9c



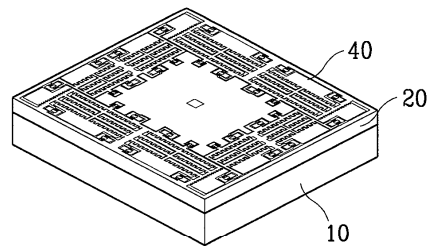
도면9d



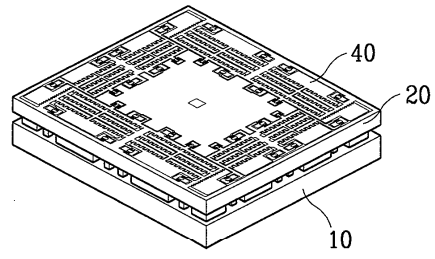
도면9e



도면9f



도면9g



도면9h

