



(19) 대한민국특허청(KR)
(12) 등록특허공보(B1)

(45) 공고일자 2013년07월15일
(11) 등록번호 10-1284542
(24) 등록일자 2013년07월04일

(51) 국제특허분류(Int. Cl.)
G02F 1/03 (2006.01) G02F 1/07 (2006.01)
G02B 26/00 (2006.01)
(21) 출원번호 10-2008-7000190
(22) 출원일자(국제) 2006년06월06일
심사청구일자 2011년05월12일
(85) 번역문제출일자 2008년01월04일
(65) 공개번호 10-2008-0026591
(43) 공개일자 2008년03월25일
(86) 국제출원번호 PCT/IL2006/000657
(87) 국제공개번호 WO 2006/131916
국제공개일자 2006년12월14일
(30) 우선권주장
11/144,842 2005년06월06일 미국(US)
(56) 선행기술조사문헌
JP2004347663 A*
JP2005043612 A*
US20050036196 A1*
*는 심사관에 의하여 인용된 문헌

(73) 특허권자
에스티마이크로일렉트로닉스 인터내셔널 엔브이
스위스 제네바 플랜-레스-오우아테스 1228 체민
두 캄프 데스 필레스 39
(72) 발명자
크릴로브 슬라바
이스라엘 58337 홀론 쉬프린트작 29
메디나 모쉬
이스라엘 34792 하이파 살리트 스트리트 11
(뒷면에 계속)
(74) 대리인
안국찬, 양영준

전체 청구항 수 : 총 6 항

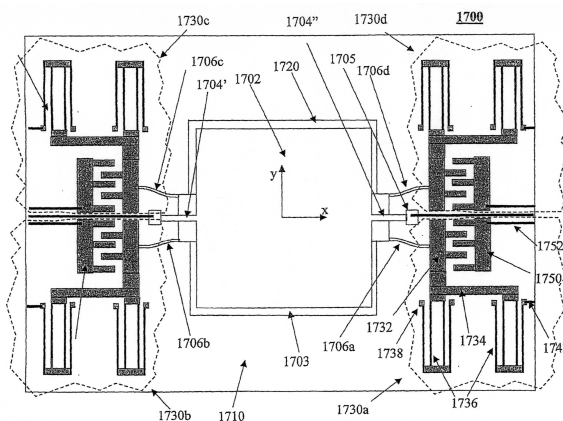
심사관 : 차건숙

(54) 발명의 명칭 반발 모드 작동식 주사 미세 거울

(57) 요약

광학 빔을 주사하기 위한 MEMS 장치는 이중 활성 층 실리콘-온-인슐레이터(SOI) 기판 내에서 형성되는 거울 회전 축에 대한 최대 회전각으로의 회전 운동을 수행하도록 작동하는 거울을 포함한다. 장치는 반발 발생을 제공하고 회전 운동을 역전시키도록 작동하는 반발 메커니즘을 포함할 수 있다. 반발 발생은 거울에 본질적으로 비선형인 정전기력에 의한 구동에 대한 구분적으로 선형인 응답을 제공한다. 특정 실시예에서, 반발 메커니즘은 이중 활성 층 SOI 기판의 동일한 활성 층 내에서 형성되는 수직 콤 드라이브 스테이터를 포함하고, 액추에이터 콤 드라이브 스테이터는 다른 활성 층 내에서 형성된다.

대표도 - 도17a



(72) 발명자

후버 아비그도

이스라엘 56000 예후드 메보 야스민 1

라레자르 로넨

이스라엘 75310 리손 레지온 람반 스트리트 4/비

특허청구의 범위

청구항 1

광학 빔을 주사하기 위한 MEMS 장치이며,

- a. 제1 Si 활성층, Si 기판층, 제1 Si 활성층과 Si 기판층 사이에 위치하는 제2 Si 활성층을 갖는 이중 활성층 실리콘-온-인슐레이터(DSOI)와,
- b. 상기 제1 Si 활성층에 형성되며 거울 회전 축에 대한 최대 회전각으로의 회전 운동을 수행하도록 작동하는 거울과,
- c. 적어도 하나의 제2 콤 드라이브 스테이터를 구비하며, 반발 발생을 제공하고 상기 회전 운동을 역전시키도록 작동하는, 반발 메커니즘과,
- d. 적어도 하나의 제1 콤 드라이브 스테이터를 구비하는 수직 콤 드라이브 액츄에이터를 포함하며,

상기 반발 메커니즘의 제2 콤 드라이브 스테이터는 상기 제1 Si 활성층에 형성되고, 상기 수직 콤 드라이브 액츄에이터의 제1 콤 드라이브 스테이터는 상기 제2 Si 활성층에 형성되고,

상기 반발 발생은 상기 거울에 본질적으로 비선형인 힘에 의한 구동에 대한 구분적으로 선형인 응답을 제공하는, 광학 빔을 주사하기 위한 MEMS 장치.

청구항 2

삭제

청구항 3

삭제

청구항 4

삭제

청구항 5

삭제

청구항 6

삭제

청구항 7

삭제

청구항 8

삭제

청구항 9

제1 Si 활성층 및 제2 Si 활성층을 구비하는 이중 활성층 실리콘-온-인슐레이터(DSOI) 기판 내에서 형성되는 반사 요소에 의해 반사되는 광선의 경로를 제어하기 위한 방법이며,

- a. 상기 DSOI 기판의 제1 Si 활성층 및 제2 Si 활성층에 형성되는 콤 드라이브 요소를 구비하는 적어도 하나의 수직 콤 드라이브를 제공하는 단계와,
- b. 상기 반사 요소를 경사지게 하여, 상기 광선의 경로를 제어하도록, 상기 적어도 하나의 수직 콤 드라이브를 사용하는 단계를 포함하며,

상기 적어도 하나의 수직 콤 드라이브는, 적어도 하나의 제1 콤 드라이브 스테이터를 갖는 수직 콤 드라이브 액

츄에이터와, 적어도 하나의 제2 콤 드라이브 스테이터를 구비하며 반발 발생을 제공하고 상기 반사 요소의 운동을 역전시키도록 작동하는 반발 메커니즘을 포함하고,

상기 반발 메커니즘의 제2 콤 드라이브 스테이터는 상기 제1 Si 활성층에 형성되고, 상기 수직 콤 드라이브 액츄에이터의 제1 콤 드라이브 스테이터는 상기 제2 Si 활성층에 형성되는, 광선 경로 제어 방법.

청구항 10

제9항에 있어서, 상기 DSOI 기판 내에서 형성되는 적어도 하나의 수직 콤 드라이브를 제공하는 상기 단계는, 상기 반사 요소에 견고하게 연결되며 상기 제1 Si 활성층 및 제2 Si 활성층 중 어느 하나의 활성층 내에서 형성되는 적어도 하나의 가동 콤 드라이브 요소를 제공하는 단계를 포함하며,

상기 가동 콤 드라이브 요소와 상기 수직 콤 드라이브 액츄에이터는 상기 경사를 제공하도록 정전기적으로 구동되는 광선 경로 제어 방법.

청구항 11

제1 활성층, 제2 활성층 및 하나의 취급층을 포함하는 이중 활성층 실리콘 온 인슐레이터(DSOI) 기판 내에서 형성되는 광학 빔을 주사하기 위한 MEMS 장치이며,

- a. 상기 제1 활성층 내에서 형성되는 미세 거울과,
- b. 상기 미세 거울에 경사 운동을 부여하도록 작동하며, 로터 및 제1 스테이터를 포함하는 수직 콤 드라이브와,
- c. 반발 발생을 제공하고 상기 미세 거울의 경사 운동을 역전시키도록 작동하는 반발 메커니즘을 포함하고,

상기 로터는 상기 제1 활성층 내에 형성되고, 상기 제1 스테이터는 상기 제2 활성층 내에 형성되며,

상기 반발 메커니즘은 제2 스테이터를 포함하고, 상기 제2 스테이터는 상기 제1 활성층에 형성되는, 광학 빔을 주사하기 위한 MEMS 장치.

청구항 12

제1 활성층, 제2 활성층 및 하나의 취급층을 포함하는 이중 활성 실리콘-온-인슐레이터(DSOI) 기판 내에서 주사 미세 거울을 형성하기 위한 방법이며,

- a. 상기 제1 활성층 내에서 미세 거울을 형성하는 단계와,
- b. 상기 미세 거울에 경사 운동을 부여하도록 작동하는 수직 콤 드라이브를 형성하는 단계와,
- c. 반발 발생을 제공하고 상기 미세 거울의 경사 운동을 역전시키도록 작동하는 반발 메커니즘을 형성하는 단계를 포함하고,

상기 수직 콤 드라이브는 로터 및 제1 스테이터를 포함하며, 상기 로터는 상기 제1 활성층 내에 형성되고, 상기 제1 스테이터는 상기 제2 활성층 내에 형성되며,

상기 반발 메커니즘은 제2 스테이터를 포함하고, 상기 제2 스테이터는 상기 제1 활성층에 형성되는, 미세 거울 형성 방법.

청구항 13

제12항에 있어서, 상기 제1 활성층 내에서 상기 로터를 형성하는 상기 단계는 상기 로터를 한정하는 제2 활성층 및 취급층 섹션을 제거함으로써 달성되고, 상기 제2 활성층 내에서 상기 제1 스테이터를 형성하는 상기 단계는 상기 제1 스테이터를 한정하는 취급층 섹션을 제거함으로써 달성되는 미세 거울 형성 방법.

청구항 14

삭제

청구항 15

삭제

청구항 16

삭제

청구항 17

삭제

청구항 18

삭제

청구항 19

삭제

청구항 20

삭제

청구항 21

삭제

청구항 22

삭제

청구항 23

삭제

청구항 24

삭제

명세서

기술분야

[0001] 본 발명은 미세 기전 시스템(MEMS) 또는 미세 광전기계 시스템(MOEMS) 내에서 실시되는 주사 미세 거울에 관한 것이고, 특히 주사를 위해 사용되는 경사식 미세 거울에 관한 것이다.

배경기술

[0002] 경사식 미세 거울이 많은 MEMS 또는 MOEMS 장치 내의 중심 요소이다. 주사를 위해 사용될 때, 그의 요소 및 작동 원리가 도1에 도시되어 있다. 경사식 미세 거울 (또는 단순히 "거울")(100)은 반사 표면(104)을 갖는 (예를 들어, 실리콘으로 제조된) 대체로 편평한 판을 포함한다. 판(102)은 공통 비틀림 (및 경사) 축(108)을 따라 정렬된 2개의 비틀림 힌지(106', 106'')에 의해 현수되어 유지된다. 2개의 힌지는 거울(100)을 주어진 각도 범위 (전형적으로, $\pm 5^\circ$) 내에서 축(108)에 대해 시계 방향 및 반시계 방향으로 경사지게 작동하도록 만든다. 거울의 반사 표면 상에 충돌하는 레이저 빔(110)이 거울에 의해 주사 영역(112)으로 재지향된다. 경사식 거울은 공지된 MEMS 구동 시스템에 의해 제공될 수 있는 구동 모멘트(120)에 의해 구동된다.

[0003] 도2는 주사 거울의 회전 (또는 "경사") 각도의 요구되는 시간 의존성, 즉 주사 영역(112) 상으로 반사되는 레이저 빔이 따르는 주사 경로(202)의 요구되는 형상을 도시한다. 삼각형 신호가 박스(206) 내에 도시된 바와 같이, 전후 주사를 위해 필요하고, 톱니형 신호(208)가 박스(210) 내에 도시된 바와 같이, 일방향 주사를 위해 필요하다. 1>2>3>4>5>6은 시간 도메인 내에서의 주사를 나타낸다. 이러한 종류의 용도에서, 공간적 및 시간적 왜곡이 없는 영상을 생성하기 위한 필요성은 주사 미세 거울 운동에 대해 특수한 요건을 부여한다. 이는 장기 간 진동수 안정 및 (작은 회전에 대한) 일정한 각속도를 포함한다 (제이.에이치. 리(J.H. Lee) 등, *센서 및 액추에이터 A-물리(Sensor and Actuators A-Physical)* 96 (2-3) pp. 223-230, 2002 참조). 이러한 유형의 거울

은 가상 망막 디스플레이 내에서 최근에 실시되었다 (마이크로비전 인크.(Microvision Inc.)®, http://www.mvis.com/pdfs/sid_auto.pdf에서 얻을 수 있는, 티.엠. 리퍼트(T.M. Lippert) 등, "자동차 프로젝션 디스플레이를 위한 광선 주사 기술의 개요" 참조).

[0004] 경사 거울은 또한 통신 시스템 내에서 실시되는 광학 스위치 및 가변 광학 감쇠기 내에서 그리고 프로젝션 기술에서 사용되는 광 처리 장치 내에서 사용된다. 매우 다양한 설계 및 작동 모드가 특정 용도에 의해 부여되는 요건에 따라 보고되었다. 예를 들어, 광통신 용도에서, 높은 광학 품질 및 낮은 열 민감도와 조합된 장기간 위치 설정 정확성의 요건이 가장 문제되는 것이다. 대조적으로, 가시광의 디지털 처리를 위해 프로젝션 장치 내에서 사용되는 미세 거울은 높은 반사율, 짧은 전환 시간 및 높은 신뢰성의 요건을 충족시켜야 하지만, 위치 설정 문제는 보통 덜 중요하다.

[0005] 선형 운동이 모든 미세 거울 내에서 매우 바람직하지만, 이를 제공하는 것은 어렵다. 어려움은 주로 MEMS 액추에이터에 의해 발생하는 작동력의 본질적인 비선형성 및 높은 수준의 불확실성의 결과이다. 매우 다양한 미세 장치 구동 원리 및 방법이 공지되어 있다. 이는 정전기, 자력, 열, 압전, 레이저, 및 유동 유도식 구동과, 형상 기억 합금에 기초한 구동을 포함한다. 정전기 구동 및 자력 구동은 가장 널리 사용되는 방법으로 남아있다. 자력 구동의 주된 장점은 입력 신호(전류)와 구동력 사이의 선형 관계이다. 그러나, 지불되는 대가는 보통 높은 발열을 일으키는 높은 전력 소비, 설계의 복잡성, 및 비교적 복잡한 제조 공정이다. 또한, 자력 액추에이터의 규모의 법칙은 정전기 액추에이터보다 덜 유리하다.

[0006] (수백 마이크로미터부터 밀리미터까지의) 망막 디스플레이 내에서의 주사 용도를 위한 미세 거울의 요구되는 전형적인 크기 및 (수십 kHz인) 요구되는 작동 진동수는 정전기 구동을 이러한 사용에 대해 매력적으로 만든다. 또한, 정전기 구동의 장점은 정전기 장치의 제조를 위해 사용되는 단순하고 잘 확립된 공정과, 낮은 전력 소비와, 개발된 모델링 도구 및 문헌에 보고된 매우 다양한 설계 개념을 포함한다. 그러나, 정전기 구동의 주요한 어려움은 정전기력의 본질적인 비선형성이다. 주사 거울의 경우에, 이는 경사각에 대한 구동 비틀림 모멘트의 비선형 의존성 및 작동 전압에 대한 비선형 (2차) 의존성이다. 또한, 탄성 복원되는 기계적 힘의 선형성과 조합된 정전기력의 비선형성은 또한 장치의 작동 범위를 제한하는 당김(pull-in) 불안정성으로 이어진다.

[0007] 이러한 어려움을 극복하기 위해, 상이한 해결책들이 종래 기술에서 제안되었다. 구체적으로, 발생된 (전압의) 제공된 입력 신호가 파라메트릭 공진 부근에서의 미세 공진기의 작동을 위해, 더블유 장(W Zhang) 등, *어플라이드 피직스 레터스(Applied Physics Letters)* 82(1) pp. 130-132, 2003에 의해 사용되었다. 수직 콤 드라이브(comb drive)의 사용은 경사각에 대한 구동 모멘트 의존성의 제거 및 전압에 대한 제곱 의존성의 감소 또는 제거를 가능케 한다 (제이.에이치 리 등, *센서 및 액추에이터 A-물리* 96 (2-3) pp.223-230, 2002, 에이치. 와다(H. Wada) 등, *일본 응용물리학회지* 41(10B) pp.1169-1171, 2002, 및 에이치 쉐нк(H Schenk) 등, *센서 및 액추에이터 A-물리* 89 (1-2) pp.104-111, 2001 참조). 비디오 용도에 대해 요구되는 삼각형 신호를 제공하기 위한 필요성은 매우 높은 구동 전압, 또는 자력 구동의 경우에는 매우 큰 전류로 이어진다. 이러한 어려움은 운동의 선형성에 관련되지 않고, 속도 반전 중의 높은 각속도의 결과이다. 진동수에 관한 이러한 어려움을 극복하기 위해, 아이, 부커(I. Bucher: 이스라엘 하이파의 테크니온(Technion))는 제29차 이스라엘 기계 공학 학술대회(2003년 5월 12-13일)에서, 요구되는 삼각형 응답을 사인파형 성분의 푸리에 급수로서 나타내고, 각각의 이러한 성분을 공진에서 여기시키는 것을 제안했다.

[0008] 그러한 엄청난 해결책에서의 문제점은 고도의 복잡성과, 공진 진동수를 높은 정확성으로 제공하는데 있어서의 어려움과, 결과적으로 제조 공차에 대한 높은 민감도 및 공진 진동수를 조정하는데 있어서의 고도의 어려움을 포함한다.

[0009] 그러므로, 높은 작동 진동수 및 낮은 감쇠 전압과 조합된 최적화된 운동 선형성을 갖는 주사 미세 거울에 대한 필요성이 널리 인식되어 있으며, 그러한 주사 미세 거울을 갖는 것이 매우 유리할 것이다.

발명의 상세한 설명

[0010] 본 발명은 우수한 주사 성능을 달성하기 위해 (본 설명 전반에 걸쳐 "반발기"로도 불리는) 추가의 강성 요소 또는 미리 만곡된 비선형 강성 요소를 사용하는 경사식 "반발 모드" 미세 거울을 개시한다. 본 발명은 또한 주기적인 비선형 각도 궤적 내의 축을 따라 하중(예를 들어, 거울)을 운반하는 부재를 이동시키도록 사용되는 미세 기계식 액추에이터를 개시한다. 본 발명은 또한 본질적으로 비선형인 힘에 의해 작동되는 미세 거울 장치의 구분적으로 선형인 응답의 달성을 가능케 하는 신규한 경사식 미세 거울 작동 모드를 개시한다. 일 실시예에서, 본 발명에 따른 작동의 "반발 모드"는 거울이 소정의 회전각에 도달할 때마다 발생하는, 거울과 탄성 구속체 사

이의 접촉 발생을 포함한다. 이러한 접촉 발생은 거울의 반발 및 각운동의 반전이 뒤따르고, 따라서 명칭이 "반발 모드"이다. 다른 실시예에서, "반발 모드"는 일 단부에서 액추에이터에 그리고 타 단부에서 거울에 결합된 미리 만곡된 비선형 강성 요소의 작용에 의해 달성된다. 평행판 전극 및 수평 또는 수직 콤 드라이브에 의해 정전기적으로 구동되는 반발 모드 주사 미세 거울의 예시적인 예가 상세하게 제시된다. 모든 실시예에서, 응답 진동수가 구동 전압의 제어를 통해 조정될 수 있다는 것이 보여진다. 이러한 특징은 미세 제조된 장치의 파라미터 내의 불확실성을 보상하고 응답 진동수를 비디오 용도에 대해 충분한 정밀도와 동기화하는 것을 허용한다. 공진 모드 작동 및 접촉 발생 중의 구동력의 인가는 거울이 (반발기 + 평행판 구동 예에서) 전극에 가까이 있을 때, 극도로 낮은 전력 및 전압에서의 작동을 가능케 하고, 콤팩트한 저비용의 액추에이터를 제공한다. 선형성의 추가의 개선은 반발 발생들 사이에서의 거울 운동 중에 교정 전압의 인가를 통해 달성될 수 있다.

[0011] 본질적으로, 본 발명은 출력 신호의 정형을 위해, 비선형 오실레이터, 구체적으로 충돌 오실레이터와 유사한 방식으로 반발기 또는 비선형 강성 요소를 사용한다. 반발을 포함하는 충돌 오실레이터가 공지되어 있으며 비선형 동역학 문헌에서 집중적으로 연구되지만, 본 명세서에서 개시되는 바와 같은 그리고 본 명세서에서 설명되는 목적의 반발기 또는 미리 만곡된 비선형 강성 요소의 사용은 공지되지 않았다.

[0012] 유리하게는, 본 명세서에서 개시되는 반발기를 사용하는 반발 모드에서, 구동력은 거울(수동 장벽)로 또는 직접 반발기(능동 장벽)로 인가될 수 있다. 많은 MEMS 용도에서, 미세 장치의 구조가 기계적으로 선형이고, 비선형성은 구동력에 의해서만 발생하는 전형적인 상황이 존재한다는 것을 알아야 한다. 예를 들어, 주사 거울의 경우에, 비틀림 축의 강성은 일정하다. 결과적으로, 반발 발생들 사이의 시간 간격 중의 구동력의 부재 시의 거울의 운동은 실제로 선형 시스템의 자유 운동이다. 그러한 운동의 각속도는 시스템의 초기 운동 및 위치 에너지를 정의하는 초기 조건과, 비틀림 스프링의 강성에 의존한다. 운동 에너지가 시스템의 전체 에너지 중 우세한 부분인 경우에, 자유 운동 중의 속도의 변동은 미미하고, 바람직한 수준의 운동 선형성이 달성될 수 있다. 이러한 상황은 비틀림 스프링의 강성이 장벽의 강성에 비해 작을 때 실현될 수 있다.

[0013] 본 명세서에서 개시되는 장치 및 방법의 다른 중요한 장점은 출력 신호의 진동수 및 형상의 시스템 파라미터에 대한 낮은 민감도와, 양호한 진동수 제어성을 포함한다. 이러한 장점은 거울의 진동수가, 장벽 측에서 각각의 반발 발생 중에 공급되는 에너지의 수준에 의존하는 장벽의 변형에 의해 한정되는 사실로부터 발생한다. 자유 운동 중의 점성 손실과, 시스템 파라미터의 불확실성은 구동 전압을 통해 이러한 에너지 보충을 제어함으로써 쉽게 보상될 수 있다. 거울의 공진 진동수의 불확실성은 계산치와 측정치 사이의 25 - 30%의 차이를 보고한, 상기 에이치. 와다 등에서 언급된 바와 같이, 중요할 수 있다는 것을 알아야 한다. 구동 전압을 사용하여 고유 진동수를 조정하는 이러한 능력은 응답 진동수의 장기간 안정화 및 거울 이동의 비디오 입력과의 정밀한 동기화를 가능케 한다.

[0014] 본 발명에 따르면, 거울 회전 축에 대한 최대 회전각으로의 회전 운동을 수행하도록 작동하는 거울과, 반발 발생을 제공하고 회전 운동을 역전시키도록 작동하는 반발 메커니즘을 포함하는 광학 빔을 주사하기 위한 MEMS 장치가 제공되고, 반발 메커니즘은 적어도 하나의 제1 콤 드라이브 스테이터를 포함하고, 반발 발생은 거울에 본질적으로 비선형인 힘에 의한 구동에 대한 구분적으로 선형인 응답을 제공한다.

[0015] 본 발명에 따르면, 광학 빔을 주사하기 위한 MEMS 장치는 구동을 제공하도록 작동하는 액추에이터를 더 포함하고, 액추에이터는 기관에 연결된다.

[0016] 본 발명의 광학 빔을 주사하기 위한 MEMS 장치 내의 하나의 특징에 따르면, 액추에이터는 제1 콤 드라이브 스테이터의 평면과 다른 평면 내에서 적어도 하나의 제2 콤 드라이브 스테이터를 갖는 수직 콤 드라이브 액추에이터를 포함한다.

[0017] 본 발명의 광학 빔을 주사하기 위한 MEMS 장치 내의 다른 특징에 따르면, 기관은 이중 활성 층 실리콘 온 인슐레이터(silicon on insulator: SOI) 기관을 포함하고, 각각의 제1 콤 드라이브 스테이터는 각각의 제2 콤 드라이브 스테이터와 다른 활성 층 내에서 제조된다.

[0018] 본 발명의 광학 빔을 주사하기 위한 MEMS 장치 내의 또 다른 특징에 따르면, 수직 콤 드라이브 액추에이터는 거울과 동일 평면이며 거울에 견고하게 연결된 적어도 하나의 로터를 포함한다.

[0019] 본 발명에 따르면, 거울 회전 축에 대한 최대 경사각으로의 경사 운동을 수행하도록 작동하는 거울을 포함하는 광학 빔을 주사하기 위한 MEMS 장치가 제공되고, 장치는 이중 활성 층 SOI 기관 내에서 형성된다.

[0020] 본 발명에 따르면, 광학 빔을 주사하기 위한 MEMS 장치는 경사 운동을 제공하도록 작동하는 수직 콤 드라이브

액추에이터를 더 포함한다.

- [0021] 본 발명의 광학 빔을 주사하기 위한 MEMS 장치 내의 다른 특징에 따르면, 수직 콤 드라이브는 하나의 활성 층 내의 거울과 공통 평면이며 거울에 견고하게 연결된 적어도 하나의 로터와, 다른 활성 층 내에서 형성되는 적어도 하나의 스테이터를 포함한다.
- [0022] 본 발명에 따르면, 광학 빔을 주사하기 위한 MEMS 장치는 기판에 대한 대향 측면들 상에 거울과 연결되는 적어도 한 쌍의 스프링을 더 포함한다.
- [0023] 본 발명의 광학 빔을 주사하기 위한 MEMS 장치 내의 다른 특징에 따르면, 거울 및 적어도 하나의 로터가 형성되는 활성 층은 SOI 기판의 상부 활성 층이고, 적어도 하나의 스테이터가 형성되는 다른 활성 층은 SOI 기판의 하부 활성 층이다.
- [0024] 본 발명에 따르면, 이중 활성 층 SOI 기판 내에서 형성되며, 동일한 기판 내에서 형성되는 수직 콤 드라이브에 의해 구동되는 경사식 미세 거울이 제공된다.
- [0025] 본 발명의 경사식 미세 거울 내의 하나의 특징에 따르면, 수직 콤 드라이브는 SOI 기판의 하나의 활성 층 내에서 형성되는 적어도 하나의 로터와, SOI 기판의 다른 활성 층 내에서 형성되는 적어도 하나의 스테이터를 포함한다.
- [0026] 본 발명의 경사식 미세 거울 내의 다른 특징에 따르면, 거울은 적어도 하나의 로터와 동일한 활성 층 내에서 형성된다.
- [0027] 본 발명에 따르면, 이중 활성 층 SOI 기판 내에서 형성되는 반사 요소에 의해 반사되는 광선의 경로를 제어하기 위한 방법이 제공되고, 방법은 SOI 기판 내에서 형성되는 적어도 하나의 수직 콤 드라이브를 제공하는 단계와, 반사 요소를 경사지게 하여, 광선 경로를 제어하도록, 적어도 하나의 수직 콤 드라이브를 사용하는 단계를 포함한다.
- [0028] 본 발명의 방법 내의 하나의 특징에 따르면, 이중 활성 층 실리콘-온-인슐레이터(SOI) 기판 내에서 형성되는 적어도 하나의 수직 콤 드라이브를 제공하는 단계는 반사 요소에 견고하게 연결되며 하나의 활성 층 내에서 형성되는 적어도 하나의 가동 콤 드라이브 요소를 제공하는 단계와, 다른 활성 층 내에서 형성되는 적어도 하나의 고정 콤 드라이브 요소를 제공하는 단계를 포함하고, 가동 및 고정 콤 드라이브 요소는 경사를 제공하도록 정전기적으로 구동된다.
- [0029] 본 발명에 따르면, 방법은 거울 및 가동 콤 드라이브 요소와 동일한 활성 층 내에서 형성되는 적어도 하나의 추가의 고정 콤 드라이브 요소를 제공하는 단계를 더 포함하고, 적어도 하나의 추가의 고정 콤 드라이브 요소는 반사 요소에 반발 발생을 제공하도록 작동한다.
- [0030] 본 발명의 방법 내의 다른 특징에 따르면, 반사 요소에 견고하게 연결되며 하나의 활성 층 내에서 형성되는 적어도 하나의 가동 콤 드라이브 요소를 제공하는 단계는 적어도 하나의 가동 콤 드라이브 요소, 반사 요소, 및 적어도 하나의 추가의 고정 콤 드라이브 요소를 SOI 기판의 상부 활성 층 내에서 형성하는 단계를 포함한다.
- [0031] 본 발명의 양호한 실시예가 상세하게 참조될 것이고, 실시예는 첨부된 도면에 도시될 수 있다. 도면은 예시적이며 제한적이지 않도록 의도된다. 본 발명이 이러한 양호한 실시예의 맥락에서 대체로 설명되지만, 본 발명의 취지 및 범주를 이러한 특정 실시예로 제한하도록 의도되지 않는다는 것이 이해되어야 한다. 본 발명의 본 양호한 실시예의 구조, 작동, 및 장점은 첨부된 도면과 관련하여 취해지는, 다음의 설명을 고려하면 더욱 명백해질 것이다.

실시예

- [0057] 본 발명은 우수한 주사 성능을 달성하기 위해 추가의 강성 요소("반발기") 또는 미리 만곡된 비선형 강성 요소를 사용하는 경사식 반발 모드 미세 거울을 개시한다. 외팔보 또는 빔과 같은 반발기가 선형 강성을 구비한 요소이지만, 상이한 강성을 갖는 시스템(구체적으로, 비틀림 스프링)의 다른 요소들과의 그의 협동식 작용은 조합된 "비선형 강성 요소" 효과를 생성한다는 것이 신규하고 유리하게 발견되었다. 반발 모드는 특수한 비선형 구동 및 제어 원리에 기초한 구동 작동 모드를 사용한다. 거울을 구동하는 "반발 모드" 액추에이터는 자동 여기 모드로 작동되고, 그의 운동은 실제로 제한 사이클이다. 액추에이터는 거울을 구분적으로 선형인 궤적 내에서 이동시킨다. 비선형 구동 및 제어 원리는 작은 크기 및 중량, 낮은 전력 및 낮은 열 발산, 세밀하고 정확한 피드백 제어성을 구비한 높은 진동수 사이클, 준선형 궤적 간격, 낮은 음향 소음 등과 같은 바람직한 특징들의 세

트를 제공한다. 본 발명의 반발 모드를 제공하는 비선형 구동 및 제어를 설명하는 이론 및 시뮬레이션의 완전한 설명은 *지능형 재료 및 구조물(Smart Material and Structures)*, 2004년 3월호에 발간되도록 제출된, 브이. 크릴로프(V. Krylov) 및 디.아이. 바네아(D.I. Barnea)의 "비디오 용도를 위한 반발 모드 정전기 구동식 주사 미세 거울"에서 찾을 수 있고, 이는 본 명세서에서 모든 목적으로 참조되어 통합되었다.

[0058] 본 발명은 비선형 공진기의 특성의 이용에 기초한 루프 형성 방법을 사용한다. 방법은 다른 형상의 입력 신호(예를 들어, 사인파형 또는 직사각형)로부터 요구되는 형상(예를 들어, 삼각형 또는 톱니 형태)으로의 출력 신호의 정형을 가능케 한다.

[0059] 예를 들어 사인파 신호에 의해 여기되는, 일반적인 비선형 오실레이터의 운동은 다음의 수학식에 의해 설명될 수 있다.

[0060] [수학식 1]

$$\ddot{\theta} + c\dot{\theta} + \sum_k \varepsilon_k \theta^k = A \sin(\omega t)$$

[0062] 여기서, θ , $\dot{\theta}$, 및 $\ddot{\theta}$ 는 각각 각도와 그의 제1 및 제2 시간 도함수이고, c 및 A 는 상수이고, ω 는 진동수이고, t 는 시간이고, ε_k 는 비선형성의 파라미터를 나타낸다. 수학식이 비선형이므로, 주기적인 출력 신호는 (존재할 다면) 사인파형이 아니고, 더 높은 고조파를 포함한다.

[0063] [수학식 2]

$$\theta = \sum_k a_k \sin(k\omega t) + b_k \cos(k\omega t)$$

[0065] 비선형성의 파라미터(ε_k)는 출력 신호의 형상을 한정하는 파라미터, 즉 a_k , b_k 가 출력 신호의 요구되는 형상을 생성하는 값을 취하는 방식으로 선택될 수 있다. 공진 진동수의 조정도 시스템의 비선형성으로 인해 가능하다. 이러한 유형의 트랜스듀서는 단일 요소에 기초하므로, 콤팩트한 장점을 갖는다.

[0066] 왜곡이 없는 영상의 형성은 주사 장치의 각속도에 대한 특수한 요건을 부여한다. 더욱 구체적으로, 각도-시간 의존성은 삼각형 또는 톱니형 신호에 가능한 한 가까워야 한다. 환언하면, 각속도는 구분적으로 일정해야 한다. 각속도의 반전, 즉 각각의 반주기의 종료 시의 그의 부호의 변환은 매우 높은 각속도를 포함한다. (단순하게 하기 위해, 스프레이 없는 것으로 고려되는) 경사식 장치의 운동의 가장 단순한 수학식은 다음과 같다.

[0067] [수학식 3]

$$I \frac{d^2 \theta}{dt^2} = M(t)$$

[0069] 여기서, $\theta(t)$ 는 경사각이고, t 는 시간이고, I 는 관성 모멘트이고, $M(t)$ 는 외부에서 인가되는 구동 모멘트이다. 이러한 수학식을 시간 간격 $[t_1, t_2]$ 내에 통합시키면, t_1 은 속도 반전 이전의 시간이고 t_2 는 반전 이후의 시간일 때, 다음이 얻어진다.

[0070] [수학식 4]

$$H_2 - H_1 = \int_{t_1}^{t_2} M(t) dt$$

[0072] 여기서, $H = I \cdot d\theta/dt$ 는 각 운동량이다. 각속도가 반전 전후에 일정하므로, 각 운동량의 변화는 t_1 및 t_2 에 대해 독립적이다. $H_2 = -H_1$, $\Delta H = 2H_1$ 인 경우에, 속도의 반전은 에너지의 손실이 없는 탄성 반발 발생으로서 간주될 수 있다. $|H_2| < |H_1|$ 이면, 속도의 반전은 손실을 수반하고, 소성 충돌로서 간주될 수 있다. 주기적인 운동을 찾고 있으므로, 이러한 경우에, 반발은 탄성이어야 한다는 것을 알아야 한다. 운동량의 변화가 수학식의 우변의 적분과 동일하다는 것이 관찰된다. 적분이 운동량의 변화와 동일하도록 모멘트가 인가되면, 주기적인 운동이 지속된다. 모멘트는 매우 짧은 시간 동안 인가될 수 있다 (펄스형). 이러한 경우에, 모멘트 자체는 커야 한다. 대안적으로, 더 낮은 모멘트가 더 긴 시간 동안 인가될 수 있다. 모멘트의 인가에 대한 가장

긴 허용 가능한 시간과, 가장 낮은 허용 가능한 모멘트는 시스템 요건에 의해 부여된다.

[0073] 효과적인 속도 반전을 제공하기 위해, 모멘트의 인가는 거울의 운동과 동기화되어야 한다. 가장 단순한 위치 제어가 사용되는 경우에, 모멘트는 거울이 특정 각도에 도달할 때 인가된다. 이러한 경우에, 이러한 제어 모멘트는 각도의 함수이고, 시간의 함수는 아니다. 운동의 수학적식은 다음의 형태로 다시 쓰여질 수 있다.

[0074] [수학식 5]

$$I \frac{d^2\theta}{dt^2} + k\theta = m(t) + M(\theta)$$

[0075]

[0076] 여기서, $m(t)$ 는 거울 운동을 지속하기 위해 인가되는 구동 모멘트이고, $M(\theta)$ 는 제어 모멘트이다. 이러한 제어 모멘트가 단지 각도의 함수이므로, 이는 특정 경사각에서만 부하를 받는 비선형 스프링의 모멘트로서 효과적으로 간주될 수 있다. "스프링"의 이러한 부하는 기계적 반발과 완전히 유사하다. 한 가지 차이점은 고려되는 경우에서, 이러한 "스프링"이 피드백 제어 메커니즘을 사용하여 실현되는 것이다. 이러한 계획은 짧은 "접촉" 시간 중에 높은 구동 모멘트를 인가하는 능력이 있는 경우에 실현될 수 있다.

[0077] 반발 모드 액추에이터의 매우 특수한 특성은 (입력 신호에 의한) 액추에이터의 하중 강제식 이동이 (예를 들어, 사인파형으로부터 삼각 톱니형으로의) 새로운 형상 및 진동수로 변환되는, 전기적 및 광학적 파형 정형의 용도의 세트를 가능케 한다. 예시적인 용도는 비디오 디스플레이의 망막 주사 주입을 달성하기 위한 미세 거울의 이동을 포함할 수 있다. 거울의 이동은 디스플레이 시스템을 활성화하는 시그널링 내로의 표준 비디오 스트림들 사이의 비교적 단순한 전자 인터페이스를 용이하게 한다. 다른 용도는 예를 들어 단일 요소에 의한 다양한 신호들의 생성을 위해 사용되는 RF 장치일 수 있다.

[0078] 다음의 설명은 예시적인 구동 수단으로서 정전기 경사를 사용한다. 본 명세서에서 설명되는 정전기적으로 경사지는 미세 거울은 레이저 디스플레이 용도에 의해 부여되는, 운동 선형성, 높은 작동 진동수, 및 낮은 구동 전압의 요건을 충족시킨다. 설명되는 정전기 구동은 열, 자력, 또는 압전 구동과 같은 다른 구동 방법에 의해 대체될 수 있다는 것이 이해된다.

[0079] 도3은 평행판 정전기 액추에이터를 사용하는 종래 기술의 경사식 거울 장치(300)를 개략적으로 도시한다. 장치(300)는 기판(308) 상에서 거울 아래에 위치된 2개의 평행판 전극(306a, 306b)으로부터의 거리(d)에서 비틀림 축(304)에 의해 현수된 거울(302)을 포함한다. 전극과의 접촉각에 가까운 회전각에서의, 축(304)에 대한 거울의 회전에 의해, 거울 모서리(310)와 전극(예를 들어, 306b) 사이의 거리(d')가 초기 거리(d)보다 훨씬 더 작다. 외팔보, 이중 모서리 클램핑 빔 등의 형태의 적어도 한 쌍의 추가의 강성 요소(반발기)의 이러한 장치 내로의 통합이 도14a 내지 도14c에 도시되어 있다.

[0080] 도4 내지 도13d는 본 발명을 개념적인 측면에서 개략적으로 설명한다. 도14a 내지 도19e, 도22a 및 도22b는 본 발명을 예를 들어 실리콘 또는 실리콘 온 인슐레이터(SOI) MEMS 공정에 적용될 수 있는, 특수한 MEMS 기하학적 특징 및 설계에서 설명한다. 도20, 도21a 및 도21b는 본 발명의 반발 모드 미세 거울 장치의 양호한 실시예를 제조하는데 사용되는 실리콘 MEMS 공정의 단계들을 개략적으로 도시한다.

[0081] 도4는 본 발명에 따른 반발 모드 미세 거울 장치(400) 및 그의 작동 원리의 개념을 개략적으로 도시한다. 장치(400)는 (상태 a에서) 기부 평면(406) 위에서 비틀림 (경사) 축(404) 상에 현수된 거울(402)을 포함한다. 구동 하에서, 거울은 축(404)에 대해 경사각(θ)을 통해 경사진다 (회전한다). 신규하며 종래 기술의 경사 거울과 대조적으로, 장치(400)는 경사각(θ)이 일정한 소정의 접촉각 값(θ_c)보다 더 클 때, 거울과 접촉하게 되는 적어도 한 쌍의 비선형 강성 요소(408', 408"): 예를 들어 도12 및 도18에서 예시적으로 도시된 외팔보, 빔 또는 스트립 또는 미리 만곡된 비선형 강성 요소로 이루어진 탄성 "반발기")를 포함한다. 도4 내지 도11의 다음의 설명은 반발기를 구체적으로 참조한다. 쌍을 이루면, 반발기는 양호하게는 (필수적이지는 않지만) 경사 축(404)에 대해 대칭으로 (즉, 경사 축의 양 측면 상에) 위치된다. 거울에 의해 접촉될 때 (상태 b), 요소(408', 408")는 도5에 도시된 바와 같이, 증가된 비틀림 강성 때문에 거울 이동을 반전시킨다. (특정 재료, 예를 들어 실리콘으로 제조된) 비선형 강성 요소는 공지된 법칙을 사용하여, 인가되는 구동력에 응답하여 특정 특징(반발 효과)을 달성하도록 설계 및 최적화될 수 있다.

[0082] 도5는 도4의 장치 내에서의 경사각(θ)에 대한 비틀림 강성(모멘트)(M)의 의존성을 개략적으로 도시한다. 비틀림 강성은 비틀림 축(404)의 강성 및 경사각(θ) 상에서의 반발기(408' 또는 408")의 추가의 강성으로 구성된다. 거울이 반발기와 접촉할 때, 즉 $\theta > \theta_c$ 일 때, (M 대 θ 곡선의 기울기에 의해 정의되는) 강성은

현저하게 증가한다. 이는 삼각형 신호의 형성을 위해 필요한 포화형의 가파른 비선형성을 제공한다.

[0083] 도6은 도3의 장치 내에서와 같은 반발 모드 거울의 (경사각(θ) 대 시간(t))을 도시하는 곡선(602)에 의해 표현되는 바와 같은) 운동 단계들을 개략적으로 도시한다. 곡선(602)은 3개의 단계를 포함한다: 해제 시간(T_{REL})에 의해 정의되는 지점(A, B)들 사이의 제1 고속 단계, 시간(T_{SLOW})에 의해 정의되는 지점(B, C)들 사이의 제2 저속 단계, 및 시간(T_{LOAD})에 의해 정의되는 지점(C, D)들 사이의 제3 고속 부하 단계. (거울이 반발기와 접촉하지 않는) 저속 단계 중에, 거울은 반발기 및 액추에이터에 의해 제공되는 에너지에 의해 결정되는 거의 일정한 각속도로 회전한다. 변형된 반발기 내에 저장된 스트레인 에너지는 거울의 운동 에너지로 변환된다. 고속 단계 중에 (즉, $\theta > \pm \theta_c$ 일 때), 거울은 반발기와 접촉하고, 거울의 운동 에너지는 반발기의 스트레인 에너지로 다시 변환된다. 반발기의 강성이 비틀림 축의 강성보다 훨씬 더 크므로, 반발기의 변형에 대응하는 추가의 각도($\theta_{MAX} - \theta_c$)는 거울의 전체 경사각(θ_{MAX})보다 훨씬 더 작다.

[0084] 요약하자면, 반발 모드 거울의 작동 모드는 도4 내지 도6에 도시되고 상기 크릴로프 및 바네아 참조 문헌에서 상세하게 설명된 바와 같이, 거울과 탄성 구속체 사이의 접촉 발생 및 이에 뒤이은 반발 발생과 운동의 반전을 포함한다. 도5에 도시된 바와 같이, 시스템의 강성은 각도 의존적이다.

[0085] 도7a는 시뮬레이션에 의해 얻어진 반발 모드 거울 운동의 시간 이력(경사각(θ) 대 시간(t))의 의존성을 도시한다. 상세 내용은 크릴로프 및 바네아 참조 문헌에서 찾을 수 있다. 시뮬레이션은 (점선) V에 의해 표시되며 전극에 인가되는 구분적으로 시간에 있어서 일정한 전압 구동 신호를 사용하고, 결과(실선)는 삼각형 각도-시간 의존성이다. 각속도는 실질적으로 일정하다. 도7b는 좌측에서, 반발기의 변형에 대한 거울의 고유 진동수(ω)의 의존성을 도시한다. 일정 값으로부터 시작하여, 진동수는 반발기 변형의 선형 함수이다. 이러한 특성은 거울 진동수의 제어에 대해 매우 유용하고, 매우 큰 범위 내에서의 거울 고유 진동수의 조정을 가능케 한다. 도7b의 우측 박스 내의 "응답 진동수 대 전압" 그래프에 의해 도시된 바와 같이, 응답 공진 진동수는 전압 제어에 의해 조정될 수 있다. 인가되는 전압의 제어를 통한 공진 진동수의 조정은 미세 제조된 장치의 응답의 비디오 신호와의 동기화를 가능케 한다.

[0086] 도7a에 도시된 응답의 "품질", 즉 시간에 있어서의 회전각의 선형성은 탄성 반발기의 강성(M_B)과 거울의 비틀림 축의 강성(M_{TA}) 사이의 비율(M_B/M_{TA})에 의해 정의된다. 이러한 비율의 증가는 반발기의 경화 또는 대안적으로 비틀림 축의 연화에 의해 달성될 수 있다. 거울의 고유 진동수는 주로 탄성 반발기의 변형 및 결과적으로 구동 전압에 의해 정의되고, 비틀림 축의 강성(M_{TA})과 실질적으로 독립적이다. 이는 M_{TA} 가 최소로 감소되어야 한다고 제안한다. 이러한 감소는 설계 수단에 의해 달성될 수 있고, 축의 최소 평면외(out-of-plane) 강성의 요건에 의해서만 제한된다.

[0087] 도8은 결과적인 구동 모멘트(M_A)의 시간 이력을 도시한다. 거울 모서리의 전극에 대한 근접성은 구동 모멘트의 증가를 일으킨다. 충분히 큰 정전기 인력은 반발기를 변형시키고 속도를 반전시키도록 사용된다. 반발기 내에 저장된 탄성 에너지는 거울에 대해 작용하는 반발력으로 변환된다. 근접 모드에서 작용하는 추가의 강성 요소 및 평행판 전극의 조합은 정전기 액추에이터 내에서의 매우 큰 반발력의 달성을 가능케 한다.

[0088] 도9는 본 발명에 따른 반발 모드 미세 거울 장치(900)의 또 다른 실시예를 개략적으로 도시한다. 도9에서, 적어도 한 쌍의 반발기(902', 902'')가 기관(906) 대신 거울(904)에 부착된다. 반발기(902)는 이제 기관에 부착되어 이동 불가능한 반발기(408: 도4)와 대조적으로 이동 가능하다. 이러한 구성의 장점은 더 단순한 제조 공정이고, 이는 반발기(902)가 거울과 동일한 층(예를 들어, SOI 기관 내의 활성 Si 층) 내에서 제조될 수 있기 때문이다. 도4에서와 같이, (a)는 반발기를 통해 기관과 접촉하기 전의 거울을 도시하고, (b)는 반발기를 통해 기관과 접촉하는 거울을 도시한다.

[0089] 도10은 (a)에서, 반발 모드 미세 거울 장치(1000)의 또 다른 실시예를 개략적으로 도시한다. 구성은 장치가 적어도 하나의 추가 쌍의 (제1 쌍에 대해) "더 유연한" 반발기(1002', 1002'')를 포함하는 것을 제외하고는, 도4와 유사하다. 상이한 유연성을 구비한 더 많은 쌍의 반발기가 당연히 "적어도 하나의 추가 쌍"의 정의 내에 포함된다. 반발기(1002', 1002'')는 신뢰성을 개선하고 충격을 완화시키기 위해 접촉 속도를 관리하도록 작동한다. 도4와 유사한 강성-각도 의존성 그래프가 이러한 구성에 대해 (b)에 도시되어 있다. "저속" 섹션 및 2개의 "고속" 섹션의 기울기에 대한 중간 기울기를 구비한 2개의 추가된 섹션(1004, 1006)을 볼 수 있다. 이러한 섹션들은 충돌 속도가 더 낮다는 것을 보여준다.

- [0090] 도11은 적어도 2개의 능동의 독립 변형 가능한 반발기(1102)를 포함하는 반발 모드 미세 거울 장치(1100)의 또 다른 실시예를 개략적으로 도시한다. 능동 반발기(1102)는 거울이 아닌, 거울 운동과 독립적으로 반발기에 직접 인가되는 추가의 힘(P_A)에 의해 변형된다 ($\theta < \theta_c$ 일 때의 단계 a). 이는 거울의 운동 에너지가 반발 변형을 위해 더 이상 요구되지 않으므로, 비대칭 톱니형 신호를 제공하고 충돌 속도를 0으로 감소시키기 위해 반발기 내에 더 큰 에너지를 저장하는 것을 가능케 한다. $\theta > \theta_c$ 일 때의 단계 b에서, 힘에 의해 이전에 변형된 반발기는 그의 에너지를 거울로 복귀시킨다.
- [0091] 도12는 본 발명의 반발식 미세 거울 장치 내에서 유리하게 사용될 수 있는 2개의 단부(1102, 1104)를 구비한 개념적인 미리 만곡된 비선형 강성 요소(1200: 예를 들어, 빔, 스트링 등)를 개략적으로 도시한다. 본 발명의 "미리 만곡된" 요소는 무한하지 않은 곡률 반경을 갖는 적어도 하나의 섹션을 구비한 요소이다. 요소(1200)는 그의 두 단부들 사이의 거리인, 원래의 (응력을 받지 않은) 미리 만곡된 상태가 L_0 가 되는 방식으로 미리 만곡된다. P_1 의 시작값을 갖는 힘(P)이 단부(1102, 1104)에 인가된다. 길이(L_0)는 힘이 값(P_2)에 도달할 때, 신장(ΔL)만큼 증가한다. 도12b는 인가된 힘(P)과 요소(1200)의 신장(L) 사이의 의존성을 도시한다. 힘에 대한 신장의 의존성은 고도로 비선형이고, 요소(1200)의 초기 형상의 함수이다. 요소를 완전하게 직선화하기 위해, 이론적으로 무한한 힘이 인가될 필요가 있다. 요소의 높은 비선형성으로 인해, 요소 특징은 이상적인 반발기의 특징에 가깝다. 본 발명의 미리 만곡된 요소의 치수는 인가되는 힘에 응답하여 특정 특징(반발 효과)을 달성하도록 설계 및 최적화될 수 있다. 비선형 강성 요소로서의 요소(1200)의 실시예가 도15a 내지 도17c의 시스템 내에 도시되어 있다.
- [0092] 도13a 내지 도13d는 거울에 연결된 본 발명의 반발기(반발기)를 포함하는 평행판 구동식 반발 모드 거울 장치(1300)의 일 실시예를, 도13a는 등각도 및 도13b는 평면도로 도시한다. 이러한 실시예는 도9에 도시된 개념을 실시한다. 장치(1300)는 XY 평면 내에 위치되고 2개의 비틀림 바아(1304', 1304")에 의해 기관(1306)에 연결된 거울(1302)을 포함한다. 거울(1302)은 (거울 평면으로부터 분리되어 아래에 있는) 하위 XY 평면 내에 위치한 2개의 전극(1308', 1308") 중 하나에 의해 -Z 방향 내로 당겨질 수 있도록 (예를 들어, 적층된 금속화물에 의해) 전기 전도성이 된다. 장치(1300)는 비틀림 바아(1304)에 고정식으로 연결되고 (사실상 양호하게는 비틀림 바아와 동일한 층의 일부인) 적어도 한 쌍의 스프링 빔(1310', 1310")을 더 포함한다. 빔(1310', 1310")은 충돌 비선형 강성 스프링으로서 역할한다. 장치(1300)는 거울이 비틀림 바아(1304)에 대해 회전할 때, 스프링 빔(1310)과 접촉함으로써 거울의 이동을 정지시키는 적어도 한 쌍의 스톱퍼(1312', 1312")를 더 포함한다. 본질적으로, 이러한 실시예의 반발기는 일 단부에서 거울 (또는 거울의 비틀림 바아)에 연결되고 타 단부는 자유로운 빔이다. 빔은 스톱퍼와의 접촉 시에 구부러져서, 결국 거울 회전을 역전시켜서 거울을 다시 반발시키는 에너지를 축적한다. (비틀림 바아에 연결되었을 때의) 반발기의 위치는 거울에 높은 회전각을 제공하도록 최적화될 수 있다. 빔(1310)과 스톱퍼(1312) 사이의 접촉 영역의 확대도가 도13c 및 도13d에 도시되어 있다. 도13c는 스톱퍼와 접촉하지 않은 스프링 빔을 도시한다. 도13d는 스톱퍼(1312')와 접촉 중인 스프링 빔을 도시한다. 접촉 중인 빔의 굽힘은 단지 예시의 목적으로, 매우 과장되게 도시되어 있다.
- [0093] 도14a 내지 도14c는 기관(1406)에 연결되고 평행판 정전기 액추에이터에 의해 구동되는 적어도 한 쌍의 반발기(112: 스프링 빔)를 구비한 거울 장치(1400)의 일 실시예를, 도14a는 평면도, 도14b 및 도14c는 도14a의 단면 A-A를 따라 취한 등각도로 도시한다. 이러한 실시예는 도4 또는 도10에 도시된 개념을 실시한다. 단지 한 쌍의 스프링 빔이 (b) 및 (c)에 도시되어 있지만, 상이한 강성 특징을 구비한 2개 이상의 스프링이 도14a에 예시적으로 도시된 바와 같이, 각 측면 상에서 기관에 (쌍으로) 부착될 수 있다는 것이 이해된다. 장치(1400)는 평면(x-y) 내에서 적어도 한 쌍의 비틀림 빔(1404)에 의해 기관(1406)에 연결되고, 하위 x-y 평면 층 내에 위치한 2개의 전극(1410a, 1410b) 중 하나에 의해 -z (지면 내로의) 방향으로 당겨지는 거울(1402)을 포함한다. 거울은 그의 모서리에서, 전극 수준(평면)에서 기관(1406)에 클램핑된 적어도 하나의 스프링 빔(1412)과 접촉할 때까지 회전한다. 하나 이상의 빔이 사용될 때, 각각의 빔은 도14a에 도시된 바와 같이, 상이한 탄성 특성, 예를 들어 동일한 단면이지만 상이한 길이를 가질 수 있다. 거울은 스프링을 편향시키고 후방으로 반발한다. 환언하면, 이러한 실시예에서, 굽힘 빔은 일 단부에서, 거울 대신 기관에 고정식으로 부착된다. 스프링의 편향은 도14c에서 매우 과장되게 도시되어 있다.
- [0094] 도15는 미리 만곡된 비선형 강성 요소를 구비한 회전식 평행판 구동식 반발 모드 거울 장치(1500)의 일 실시예를, 도15a는 평면도 및 도15b는 등각도로 도시한다. 이러한 실시예는 도12 및 도18a에 도시된 유형의 미리 만곡된 C-형 요소를 사용한다. 장치(1500)는 이러한 경우에는 직사각형이지만 일반적으로는 임의의 정대칭 형상 (예를 들어, 원형)인 거울(1502)을 포함한다. 거울(1502)은 XY 평면 내에 위치되고, 공통 비틀림 축(1505)을

따라 정렬되어 기관(1508)의 상부 상의 상승부(또는 "패드")(1507) 내에서 각각 종료되는 2개의 비틀림 바아(1504', 1504")에 의해 연결된다. 장치(1500)는 상부 표면으로부터의 오프셋(b)에서, 거울의 하부 내에 위치한 두 쌍의 짧은 "오프셋" 빔(1510a, 1510d; 1510b, 1510c)을 더 포함한다(도15c의 A-A 단면도 참조). 오프셋 빔들은 각각 적어도 한 쌍(이러한 경우에, 두 쌍)의 양호하게는 C-형상인 스프링 빔(1512a, 1512d; 1512b, 1512c)에 의해 기관(1508)에 연결된다. 장치(1500)는 거울 아래에 위치한 2개의 전극(1520a, 1520b)을 더 포함한다. 원칙적으로, 적어도 한 쌍의 C-형(더욱 일반적으로는 "미리 만곡된") 빔은 빔(1512a, 1512c; 1512b, 1512d; 1512a, 1512d; 또는 1512b, 1512c)만을 포함할 수 있다는 것을 알아야 한다. 도15d 및 도15e는 (d) 정 전기력에 의한 변형 이전의 C-형 빔 및 (e) 변형 이후의 빔을 도시하는 단면 A-A의 측면도를 도시한다.

[0095] 거울 및 전극(1520)들 중 하나가 대전되면, (편심 길이(b)를 갖는) 당김 스프링 빔(1512)들은 비틀림 바아(1504) 및 공통 축(1505)에 대해 대향 방향으로의 거울의 회전을 일으키는 모멘트를 생성한다. 직선화로 인해, C-형 빔들은 "반발 효과"를 생성하기 위해 요구되는 강화식 비선형 특징을 갖는다. C-형 스프링은 단지 예로서 사용되고, 다른 미리 만곡된 비선형 강성 요소, 예를 들어 V-형, S-형, 또는 Z-형이 본 명세서에서 설명되는 목적에 대해 동일하게 유용할 수 있다는 것이 강조된다.

[0096] 도16a 및 도16b는 수평 콤 드라이브에 의해 구동되는 미리 만곡된 비선형 강성 구동 요소를 구비한 수평 콤 드라이브 구동식 반발 모드 거울 장치(1600)의 일 실시예를, 도16a는 평면도, 도16b는 등각도로 도시한다. 장치(1600)는 도15a 내지 도15e의 각각의 요소(1502 내지 1510)와 동일한 요소(1602 내지 1610)를 갖는다. 이들은 거울(1602), 2개의 비틀림 바아(1604', 1604"), 상승부(1606', 1606"), 기관(1608), 및 상부 표면으로부터의 오프셋(b: 도16b)에서 거울의 하부 내에 위치한 두 쌍의 짧은 "오프셋" 빔(1610a, 1610d; 1610b, 1610c)을 포함한다. 오프셋 빔들은 각각 두 쌍의 양호하게는 C-형상인 스프링 빔(1612a, 1612d; 1612b, 1612c)에 의해, 패드(1622) 상의 보유 빔 스프링(1620)을 통한 기관(1608)에 대한 연결에 의해 Y-방향 자유도를 갖는 2개의 수평 콤 드라이브 로터(1614a, 1614b)에 연결된다.

[0097] 치형부(1620)를 구비한 콤 드라이브 스테이터(1624a) 및 치형부(1616)를 구비한 콤 드라이브 로터(1614a)가 전기 전도체(1630a, 1632a)를 통해 대전되면, (편심 길이(b)를 갖는) 편심 당김은 비틀림 바아(1604)에 대한 거울(1602)의 반시계 방향 회전 모멘트를 생성한다. 콤 드라이브 스테이터(1618b) 및 콤 드라이브 로터(1614b)는 유사하게 거울의 시계 방향 회전을 생성한다. C-스프링 빔은 콤 드라이브에 의해 유도된 이동을 거울의 선형 이동으로 변환시키도록 설계된 비선형 강성을 갖는다(반발 효과). C-형 스프링이 단지 예로서 사용되고, 다른 형상의 비선형 강성 요소, 예를 들어 V-형, S-형, 또는 Z-형이 본 명세서에서 설명되는 목적에 대해 동일하게 유용할 수 있다는 것이 강조된다.

[0098] 도17a 내지 도17c는 미리 만곡된 평면내 비선형 강성 요소를 구비한 수평 콤 구동식 반발 모드 거울 장치(1700)의 다른 실시예를 도시한다. 도17a는 전체 장치를 도시하고, 도17b는 X 방향으로의 당김력으로부터 생성되는 Y 방향으로의 벡터 힘을 도시한다. 도17c는 비틀림 축에 대한 회전 모멘트가 (b)에서 설명된 바와 같은 기하학적 특징에 의해 발현된 힘으로부터, 비틀림 축에 대한 이러한 힘의 편심(b)과 조합되어 생성되는 것을 도시한다. 장치(1700)는 XY 평면 내에 위치되고, X 방향으로 공통 비틀림 축을 따라 정렬된 2개의 비틀림 바아(1704', 1704")에 의해 기관(1710)에 연결된 거울(1702)을 포함한다. 거울은(각각 힘(1708a, 1708b)에 의해) 한 쌍의 만곡된 빔(1706a, 1706b)을 통해 드라이버(1730a, 1730b)에 의해 또는(각각 힘(1708c, 1708d)에 의해) 한 쌍의 만곡된 빔(1706c, 1706d)을 통해 드라이버(1730c, 1730d)에 의해, X(및 -X) 방향으로 당겨진다. 당겨질 때, 빔(1706)은 만곡된 단차 형상(도18의 1802b 참조)을 구비한 비선형 강성 요소(빔)의 편심 거리('a')와 조합된 작용을 갖는다. 이러한 편심은 수직력 벡터 효과를 제공한다. 또한, 대향된 쌍의 만곡된 빔들의 당김은 당김력 벡터(예를 들어, 1708bx)에 대해 수직인 평면(XY) 내의 힘(예를 들어, 1708by)을 생성한다. 환언하면, Y 방향 힘 벡터는 Z 방향으로 회전 축(1704)에 대해 거리('b')만큼 편심이어서, 회전 축에 대한 비틀림 모멘트를 생성한다.

[0099] 드라이버(예를 들어, 1730a)는 스테이터(1750)에 의해 당겨지는 로터(1732)를 포함한다. 로터는 그가 캐리어 빔(1734)에 고정되므로, X-방향 자유도를 갖는다. 캐리어 빔은 패드(1738)에서 기관(1710)에 고정된 2개의 4-빔 가요체(1736)에 연결된다. 로터 및 스테이터는 각각 전도체(1742, 1752)에 의해 대전된다.

[0100] 도18은 도15a 내지 도15e, 도16a, 도16b, 및 도17a 내지 도17c의 실시예에서 사용될 수 있는 비선형 강성 빔의 다양한 형상을 도시한다. 이들은 (a)에 도시된 C-형 빔(1802), (b)에 도시된 S-형 빔(1804), (c)에 도시된 V-형 빔(1806), 및 (d)에 도시된 Z-형 빔(1808)을 포함하지만(그에 제한되지 않는다). 각각의 그러한 빔에서, (화살표에 의해 도시된) 힘의 인가는 빔 곡률 및 형상을, (간단하게 하기 위해, C 및 S-형 곡선에 대해서만

1802a, 1802a" 및 1804a', 1804a"로 도시된) 상태(a')로부터 상태(b')로 변화시킨다.

[0101] 도19a 내지 도19e는 수직 콤 드라이브 구동식 반발 모드 미세 거울 장치(1900)의 일 실시예를 도시한다. 도19a는 등각도를 도시하고, 도19b는 상기 도면의 세부부를 도시한다. 장치(1900)는 비틀림 스프링(축)(1904)을 통해 거울이 제조되는 층(1906)에 연결된 거울(1902)을 포함한다. 거울은 각각의 치형부(1910)와 함께 콤 드라이브 로터를 형성하는 4개의 아암(1908a - 1908d)을 갖는다. 장치는 스테이터 콤 드라이브(1914a - 1914d)를 더 포함한다. 간단하게 하기 위해, 세트(d)만이 도19b에 도시되어 있다. 사용 시에, 각각의 스테이터(1914a, 1914b) 상의 전도성 패드(1925a, 1925b)를 통한 콤 드라이브 로터(1908a, 1908b)의 활성화는 비틀림 축(1904)에 대한 거울의 회전을 일으킨다. 방향을 역전시키기 위해, 콤 드라이브 로터(1908c, 1908d)는 스테이터(1914c, 1914d) 상의 전도성 패드(1925c, 1925d)에 의해 활성화된다. 로터 자체는 전도성 패드(1927)를 통해 대전된다. 장치(1900)는 각각의 로터 아암(1908a, 1908b)에 (그리고 아암을 통해 거울에) 각각 연결된 적어도 한 쌍의 반발 스프링 빔(1916a, 1916b)을 더 포함한다. 추가 쌍의 반발 스프링(예를 들어, 1916c, 1916d)이 로터 아암(1908c, 1908d)에 연결될 수 있다. 거울이 비틀림 축(1904)에 대해 회전될 때, 빔(1916)은 거울 회전의 종료 시에 (도시되지 않았지만, 예를 들어 취급 층 상에 위치된) 스톱퍼와 접촉하여, 반발 효과를 일으킨다. 원칙적으로, 이러한 실시예의 작동 및 반발 효과는 도13a 내지 도13d의 실시예와 유사하다. 거울은 해제 구멍(1929) 위에 실질적으로 위치된다.

[0102] 도19c 내지 도19d는 본 발명에 따른 수직 콤 드라이브 구동식 반발 모드 미세 거울 장치의 또 다른 실시예를 도시한다. 이러한 실시예는 두 세트의 고정 (스테이터) 콤 (스테이터)를 사용하고, 하나는 반발 메커니즘으로서 기능한다. 도19c는 하부 장치 층(아래의 "제2 활성 층"(2006) 참조, 도20) 내에 위치한 스테이터(1952)의 제1 세트를 구비한 미세 거울 장치(1950)를 도시한다. 고정 스테이터 콤(1954)의 제2 세트가 상부 장치 층(아래의 "제1 활성 층"(2002) 참조, 도20) 내에 형성된다. 가동 로터 콤(1956)이 제2 스테이터 콤(1954) 및 거울(1958)과 동일한 평면(제1 활성 층) 내에 형성된다.

[0103] 도19d 및 도19e에 도시된 바와 같이, 스테이터 콤(1952)에 의해 거울에 인가되는 정전기력(모멘트)은 거울을 최대 각도(예를 들어, 10°)까지 경사지게 한다. 거울이 최대 각도 위치에 있을 때, 거울에 부착된 로터 콤은 하부 층 고정 콤(1952)의 영역 내에 위치된다 (도19d의 우측). 거울 축(1960)의 대향 측면 상에서, 가동 콤은 상부 장치 층 바로 위에 또는 그와 (즉, 스테이터 콤(1954)과) 일부 중첩하여 위치되는 방식으로 상승된다 (도19d의 좌측 참조). 상부 장치 층 내에 예칭된 고정 콤(1954)의 추가의 세트는 이제 거울이 최대 각도 위치에 있을 때, 거울의 경사에 대향한 방향으로 모멘트를 인가할 수 있는 반발 메커니즘으로서 작용한다. 이러한 모멘트는 삼각형 신호의 달성을 위해 필요한 거울의 높은 각속도로 이어진다. 전통적인 수직 콤 드라이브 구성에서, 거울이 최대 각도 위치에 있을 때, 콤들은 콤 영역의 외부에 멀리 위치되고, 대향 방향으로의 모멘트의 인가는 매우 높은 전압을 요구한다. 본 발명에서, "이중 활성 층 스테이터" 구조는 거울에 대해 필요한 "반발 효과"를 제공하여, 완전한 이동의 선형 범위에 기여한다.

[0104] 제조 공정

[0105] 미세 거울은 함께 결합 또는 용융된 2개의 SOI 웨이퍼, 표준 Si 웨이퍼에 결합 또는 용융된 SOI 웨이퍼를 사용하여, 또는 특수한 이중-활성-층 SOI 웨이퍼를 사용하여 제조될 수 있다. 이중-활성-층 SOI 웨이퍼를 사용한 반발 모드 경사식 미세 거울의 예시적인 제조 공정이 도20에 도시되어 있다.

[0106] 신규하게, 본 발명은 웨이퍼 결합을 요구하지 않는 정확한 제조 공정에서 "이중-활성-층" SOI 웨이퍼를 사용한다. 후면 예칭은 도21a 및 도21b에서 설명되는 바와 같이, 초기의 경질 마스크 예칭에 대해 정렬된다. 처리 단계 및 층 특징부들 사이의 정렬이 정확할수록, 최종 장치의 정밀한 기능성이 더 높다.

[0107] 도20은 처리 이전의 초기의 이중-활성-층 SOI 웨이퍼의 도면을 도시한다. 도면은 제1 활성 층(2002), 제1 희생 층(2004), 제2 활성 층(2006), 제2 희생 층(2008), 실리콘 기판(2010), 및 제3 희생 층(2012)을 도시한다. 제3 희생 층(2012)은 거울 및 액추에이터 아래의 제거될 영역을 패턴화하기 위해 사용된다. 3개의 반도체 층, 제1 활성 층(2002), 제2 활성 층(2006), 및 기판(2010)은 희생 재료(이산화규소)의 층에 의해 서로로부터 전기적으로 격리된다. 제1 희생 층(2004)은 제1 및 제2 활성 층들 사이에 위치되고, 제2 희생 층(2008)은 제2 활성 층과 기판 사이에 위치된다. 각각의 활성 층은 수 내지 수십 마이크론의 두께를 가질 수 있다.

[0108] 도21a 및 도21b(단계 a - y)는 도20에 도시된 웨이퍼 구성을 사용하여 반발 모드 정전기 경사식 미세 거울을 제조하기 위해 사용되는 공정의 세부부를 도시한다. 공정은 (a)에서 블랭크 금속 층(2102)의 적층과 함께 시작된다. 금속은 그 다음 (b)에서 포토레지스트 마스크(2104)를 사용하여 패턴화되고, 습식 예칭이 (c)에서

정전기 액추에이터의 로터 핑거를 위한 거울 금속(2106) 및 전기 접속 패드(2108)를 형성하도록 사용된다. 저압 화학 증착(LPCVD) 이산화규소 층(2110)이 그 다음 (d)에서 웨이퍼의 상부면 상의 금속 위에 적층된다. 이러한 산화물 층은 금속을 보호하고 실리콘 활성 층을 위한 경질 마스크를 형성하도록 사용된다. 산화물 층은 그 다음 (e)에서 패턴화되고 에칭된다. 웨이퍼가 뒤집히고, 포토레지스트 층(2112)이 (f)에서 후면 상에 패턴화되어, (e)에서의 패턴에 대해 정렬된다. 제3 회생 층은 (g)에서 반응성 이온 에칭(RIE)에 의해 에칭되고, (h)에서, 포토레지스트는 박리되고, 포토레지스트의 새로운 층(2114)이 적층되고 패턴화된다. (i)에서, 제3 회생 층은 앞서 패턴화된 포토레지스트를 사용하여 두 번째로 에칭된다. 기판은 그 다음 (j)에서 50 마이크론의 전형적인 깊이로 딥(deep) RIE(DRIE) 공정에 의해 에칭된다. 도21b의 (k) 및 (l)은 각각 박리되는 후면 포토레지스트 및 도포되는 다른 포토레지스트(2116) 층을 도시한다. 레지스트(2116)는 (m)에서 패턴화되고, 기판은 (n)에서 제2 회생 층이 도달될 때까지 DRIE를 사용하여 에칭된다. 제2 회생 층은 (o)에서 RIE에 의해 에칭되고, DRIE는 제2 및 제3 회생 층이 도달될 때 완료된다. 도21b의 (q)에서, 웨이퍼는 다시 뒤집히고, 캐리어 웨이퍼(2130) 상에 선택적으로 위치된다. 또한, 거울 이동을 허용하는 단계(p, q)에서 형성된 후방 에칭(2132)이 밝게 표시되어 있다. 포토레지스트 층(2140)이 (r)에서 상부면 상에 회전 성형되고, (s)에서 패턴화되어 도시되어 있다. 제1 활성 층은 그 다음 (t)에서 제2 회생 층이 도달될 때까지 DRIE에 의해 에칭된다. 도21b의 (u)에서, 제2 회생 층이 RIE에 의해 에칭된다. DRIE 에칭이 그 다음 (v)에서 제2 활성 층을 통해, 약 절반, 즉 전형적으로 25 마이크론을 에칭하도록 사용된다. 이 때, (w)에 도시된 바와 같이, 포토레지스트 층(2140)은 박리되고, DRIE 에칭이 각각 마스크가 없는 위치 내에서 제1 및 제2 회생 층이 도달될 때까지 에칭하도록 사용된다. 최종 단계, 도21b의 (x)에서, 캐리어 웨이퍼는 웨이퍼의 후면으로부터 제거되고, 웨이퍼는 다이싱되고, 회생 층은 적층된 LPCVD 산화물 경질 마스크와 함께, 불화수소산(HF) 내에서 에칭된다. 이 때, 로터 핑거(2142) 및 반발기 스프링(2144), 스테이터 핑거(2146), 및 거울(2150)은 더욱 깨끗하게 볼 수 있다. HF가 제1 회생 층을 에칭할 때, 로터 핑거 아래에 남아있던 제2 활성 층 섹션(2148)은 스테이터 핑거들 사이에서 장치로부터 떨어져 나간다.

[0109] 전술한 본 발명은 강성 비선형성(반발기의 경우에, 시스템의 잔여부와 조합된 비선형 강성)을 갖는 단일 요소(반발기 또는 미리 만족된 비선형 강성 요소)에 의해 주사 거울 및 다른 장치에 대한 삼각형 출력 신호의 형성을 용이하게 한다. 신호 진폭 (및 전압)에 대한 공진 진동수의 의존성은 매우 큰 범위 내에서의 그의 조정을 가능케 한다. 평행판 구동식 실시예에서, 거울은 반발기의 강성이 매우 높으므로, 당김을 보이지 않고서 반발기와 접촉할 때 전극에 매우 가까워질 수 있다. 전극의 근접성은 매우 큰 힘을 발현하는 것을 가능케 한다. 반발기는 정전기 인력을 반발력으로 전환하여, 거울은 실제로 필스에 의해 구동된다.

[0110] 이중 SOI 기판 내에서 실시되는 정전기 경사식 거울

[0111] 도20의 이중 활성 층 SOI 기판은 또한 본 명세서에서 참조되어 통합된, 2004년 3월 8일자로 출원된 미국 특허출원 제60/550,850호에서 명확하게 설명된 바와 같이, 반발 메커니즘이 없는 거울을 포함한, "표준" 범용 MEMS 기반 정전기 경사식 미세 거울을 제조하는데 신규하게 사용될 수 있다. 경사 메커니즘은 수직 콤팩트 드라이브를 사용한다. 이중-활성 층 SOI 웨이퍼의 사용은 웨이퍼 결합을 요구하지 않는 정확한 제조 공정을 가능케 한다. 후면 에칭은 도21a 및 도21b를 참조하여 전술한 바와 같이, 초기의 경질 마스크 에칭에 대해 정렬된다. 더 정확한 처리 단계 및 층 특징부들 사이의 정렬은 반드시 최종 장치의 더 높은 정밀한 기능성을 의미한다.

[0112] 이중 SOI 기판 내에서 실시되는 정전기 경사식 거울 장치(2200)의 등각도가 도22a에 도시되어 있다. 장치(2200)는 도19a 내지 도19e의 장치(1900)와 공통된 많은 요소를 포함하고, 그의 프로세스는 반발 메커니즘/강성 요소 프로세스를 제외하고는, 도21a 및 도21b에서 설명된 것과 중복된다. 그러므로, 본질적인 차이점만이 본 명세서에서 상세하게 설명된다. 장치(2200)는 기판(2206)에 고정된 2개의 기계식 비틀림 스프링(2204) 사이에 현수된 거울(2202)을 포함한다. 스프링(2204) 고정구들 중 적어도 하나는 도포된 금속 영역(2208)을 구비한 전기 접속 패드에 결합된다. 거울(2202) 아래의 (후면의) 재료는 제거(예를 들어, 에칭)되어, 거울의 경사를 허용하는 공간(2210)을 제공한다. 거울을 경사지게 하는 정전기 액추에이터는 거울에 결합된 로터 핑거(2212) 및 기판(2206)에 고정된 스테이터 핑거(2214)를 포함한다. 로터 핑거와 스테이터 핑거 사이의 수직 오프셋은 도22b에서 더욱 명확하게 보인다. 액추에이터에 구동 전력을 공급하기 위한 전기 접속 패드(2216)가 고정된 스테이터 핑거에 부착된다. 거울 및 스프링(2204)에 대한 로터(2212) 및 스테이터(2214)의 서로 끼워진 핑거들의 위치가 참조되어야 한다. 거울 및 로터(2212)는 제1 활성 층(도20의 2002) 내에서 제조된다. 스테이터는 제2 활성 층(도20의 2006) 내에서 제조된다. 제3 회생 층(도20의 2012)은 거울 및 액추에이터 아래에 해체 구멍을 형성하기 위해 제거될 필요가 있는 영역을 패턴화하기 위해 사용된다.

[0113] 강조하자면, 이중 활성 층 SOI 웨이퍼가 정전기적으로 구동되는 수직 콤팩트 드라이브에 의해 구동되는 경사식 거울 장치를 실시하기 위해 사용된다. 콤팩트 핑거는 거울을 그의 초기 위치로 복귀시키기 위해 이중으로 작용하는 기계

식 스프링에 의해 안정화되고 제한되는 운동을 갖는 거울에 결합된다. 거울 및 결합된 로터 핑거는 방해받지 않는 운동을 허용하도록 공동 위에 현수된다. 이러한 MEMS 장치의 제조를 위해 단일 웨이퍼를 이용하는 것은 요구되는 공정 단계의 다중성에 의해 발생하는 정렬 오차의 기회를 감소시킨다.

[0114] 본 명세서에서 언급된 모든 간행물, 특허, 및 특허 출원은 각각의 개별 간행물, 특허, 또는 특허 출원이 본 명세서에서 참조되어 통합되도록 구체적이며 개별적으로 표시된 바와 동일한 정도로, 본 명세서 내로 전체적으로 참조되어 통합되었다. 또한, 본 출원에서의 모든 참조 문헌의 언급 또는 식별은 그러한 참조 문헌이 본 발명에 대한 종래 기술로서 이용될 수 있다는 승인으로서 해석되지 않아야 한다.

도면의 간단한 설명

[0032] 도1은 주사를 위해 사용되는 경사식 미세 거울의 요소 및 작동 원리를 도시한다.

[0033] 도2는 주사 거울의 회전각의 요구되는 시간 의존성을 도시한다.

[0034] 도3은 평행판 정전기 액추에이터를 사용하는 종래 기술의 경사식 거울을 개략적으로 도시한다.

[0035] 도4는 본 발명에 따른 반발 모드 거울 및 그의 작동 원리의 개념을 도시한다.

[0036] 도5는 도4의 장치 내에서의 경사각에 대한 비틀림 강성(모멘트)의 의존성을 개략적으로 도시한다.

[0037] 도6은 도4에서와 같은 반발 모드 거울의 운동 단계들을 개략적으로 도시한다.

[0038] 도7a는 시뮬레이션에 의해 얻어진 반발 모드 거울 운동의 시간 이력(각도-시간 의존성)을 도시한다.

[0039] 도7b는 반발기의 변형에 대한 거울의 고유 진동수의 의존성을 도시한다.

[0040] 도8은 반발 발생으로부터 생성되는 구동 모멘트(M_A)의 시뮬레이팅된 시간 이력을 도시한다.

[0041] 도9는 반발기가 거울에 연결된 반발 모드 미세 거울 장치의 또 다른 실시예를 개략적으로 도시한다.

[0042] 도10은 기관에 연결된 한 쌍의 추가의 더 유순한 반발기를 구비한 반발 모드 미세 거울 장치의 또 다른 실시예를 개략적으로 도시한다.

[0043] 도11은 능동의 독립적으로 변형 가능한 반발기를 포함하는 반발 모드 미세 거울 장치의 또 다른 실시예를 개략적으로 도시한다.

[0044] 도12는 본 발명의 반발식 미세 거울 장치 내에서 유리하게 사용될 수 있는 미리 만곡된 비선형 강성 요소를 개략적으로 도시한다.

[0045] 도12b는 인가되는 힘과 도12의 비선형 강성 요소의 신장 사이의 의존성을 도시한다.

[0046] 도13a는 반발기를 구비한 평행판 구동식 반발 모드 거울의 일 실시예에 대한 등각도, 도13b는 평면도, 도13c는 비구동시 측면도, 도13d는 구동시 측면도이다.

[0047] 도14a는 평행판 정전기 액추에이터에 의해 구동되는 반발기를 구비한 거울 장치의 일 실시예의 평면도, 도14b 및 도14c는 등각도이다.

[0048] 도15a는 미리 만곡된 비선형 강성 구동 요소를 구비한 회전식 평행판 구동식 반발 모드 거울 장치의 일 실시예의 평면도, 도15b는 등각도, 도15c는 단면 A-A에서의 측면을 강조하는 등각도, 도15d는 변형 이전의 단면 A-A, 도15e는 정전기력에 의한 변형 이후의 단면 A-A를 도시한다.

[0049] 도16a는 미리 만곡된 비선형 강성 요소를 구비한 수평 콤팩트 드라이브 구동식 반발 모드 거울 장치의 일 실시예의 평면도이고, 도16b는 등각도이다.

[0050] 도17a는 미리 만곡된 평면내(in-plane) 비선형 강성 요소를 구비한 반발 모드 거울의 다른 실시예의 장치에 대한 평면도, 도17b는 거울을 구비한 중심 섹션의 평면도, 도17c는 거울 섹션의 등각도이다.

[0051] 도18은 미리 만곡된 비선형 강성 빔의 다양한 형상을 도시한다.

[0052] 도19a는 반발기를 구비한 수직 콤팩트 드라이브 구동식 반발 모드 미세 거울의 상세한 실시예의 전체도, 도19b는 확대도이다.

[0053] 도19c 내지 도19e는 본 발명에 따른 수직 콤팩트 드라이브 구동식 반발 모드 미세 거울 장치의 또 다른 실시예를 도

시한다.

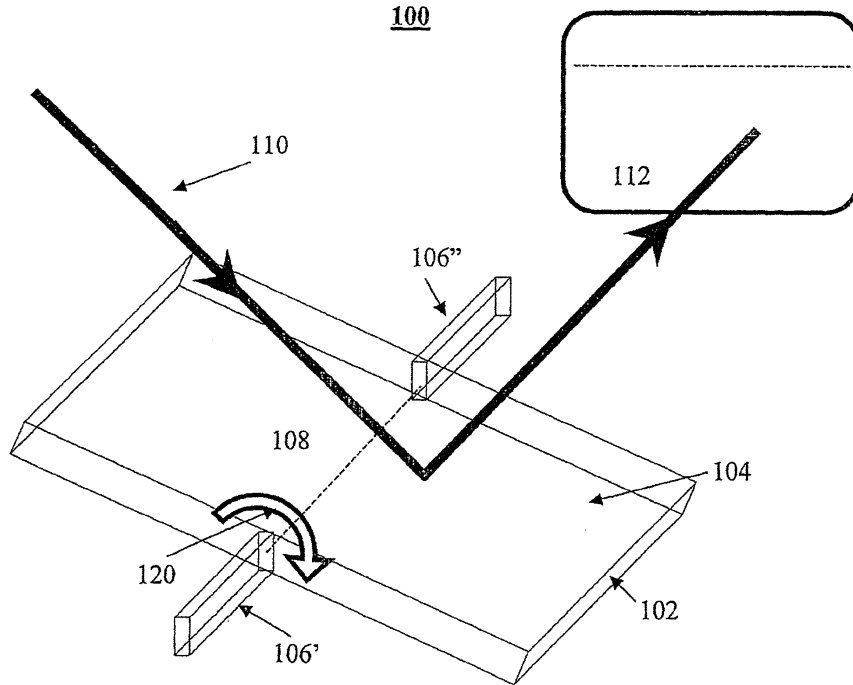
[0054] 도20은 이중-활성-층 실리콘-온-인슐레이터(SOI) 웨이퍼의 다양한 층들을 단면으로 도시한다.

[0055] 도21a 및 도21b는 이중-활성-층 SOI 웨이퍼를 사용한 반발 모드 미세 거울의 제조를 위한 예시적인 공정을 도시한다.

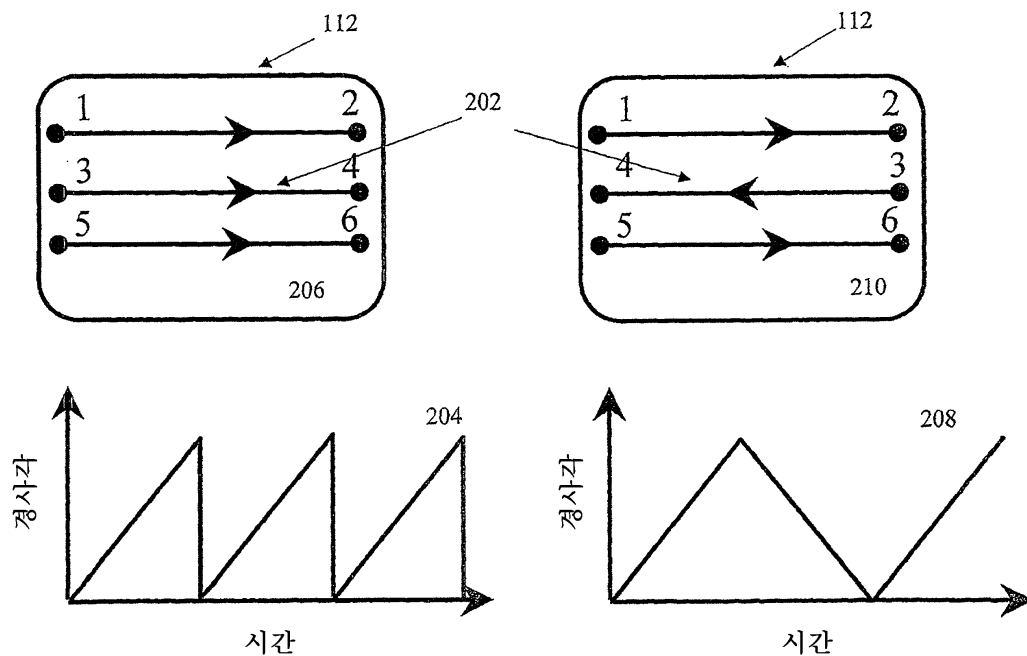
[0056] 도22a는 이중 SOI 기판 내에서 실시되는 정전기 경사식 거울 장치의 등각도이고, 도22b는 수직 콤팩트 드라이브 로터 및 스테이터 핑거들 사이의 수직 오프셋의 상세도이다.

도면

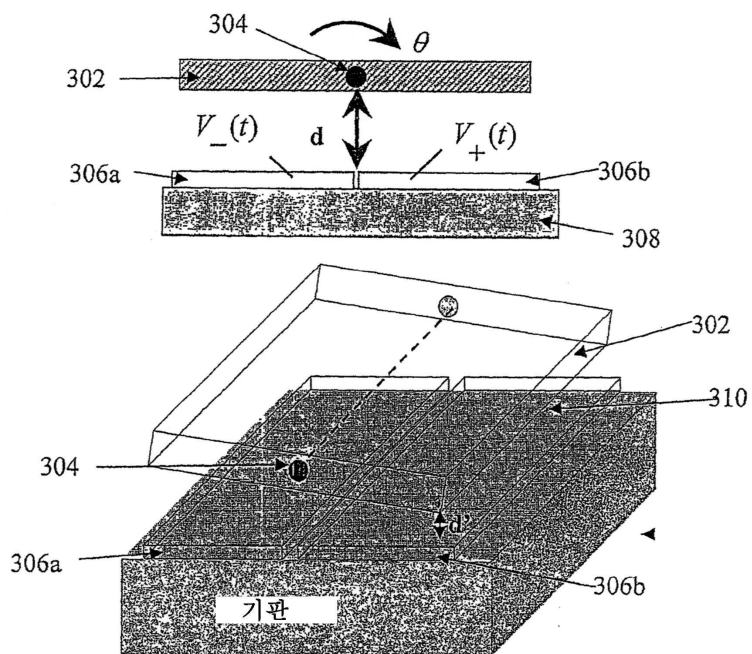
도면1



도면2

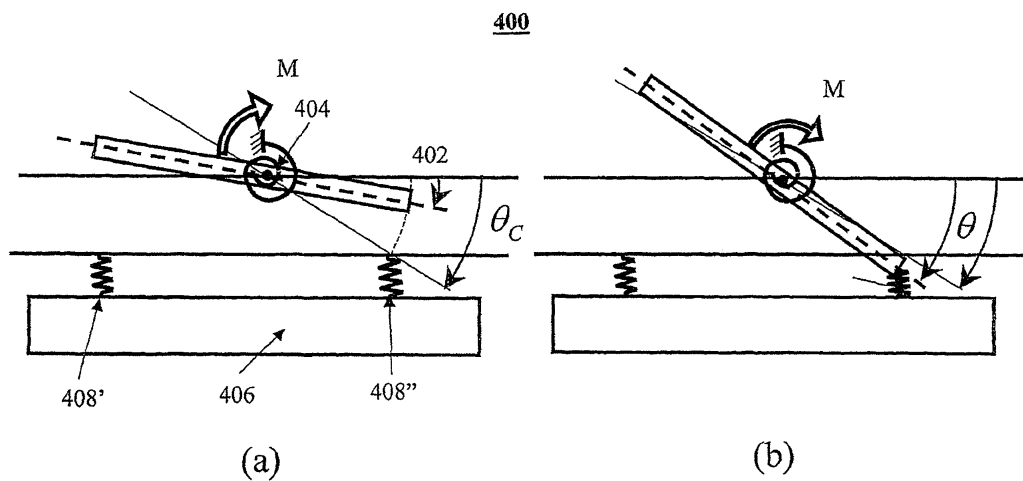


도면3



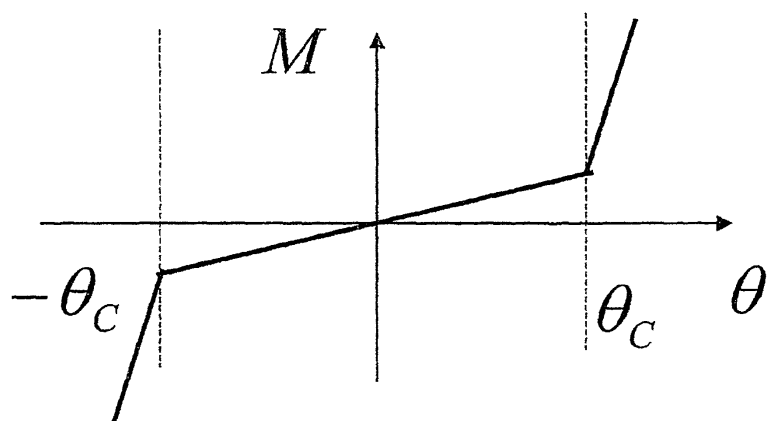
도면4

$\theta < \theta_c$ 접촉전 $\theta > \theta_c$ 접촉중

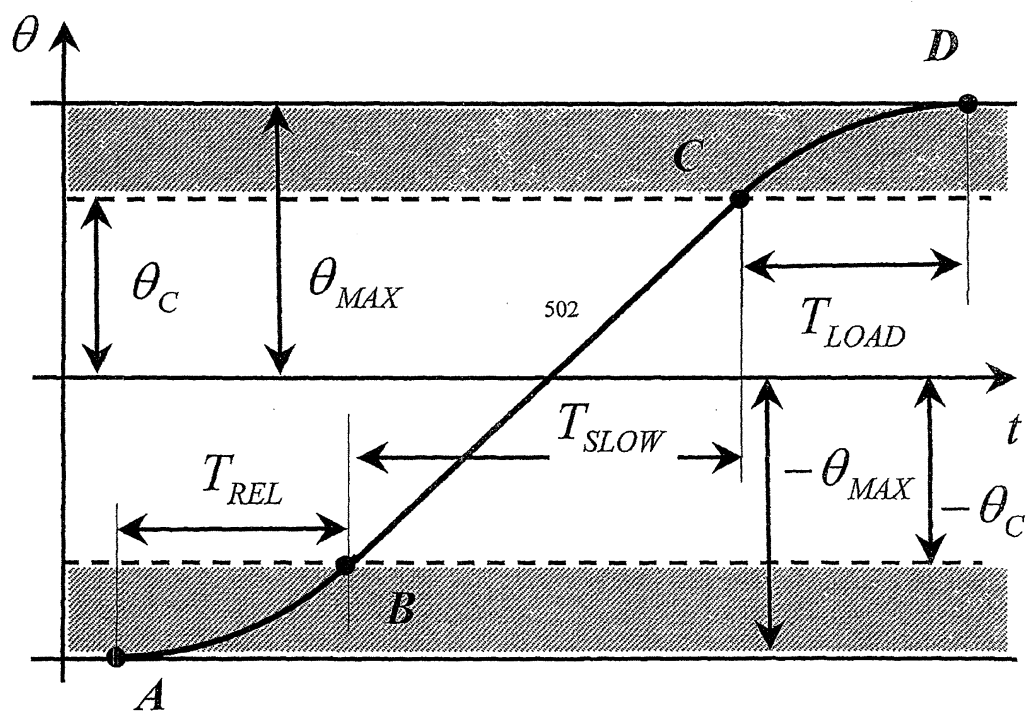


도면5

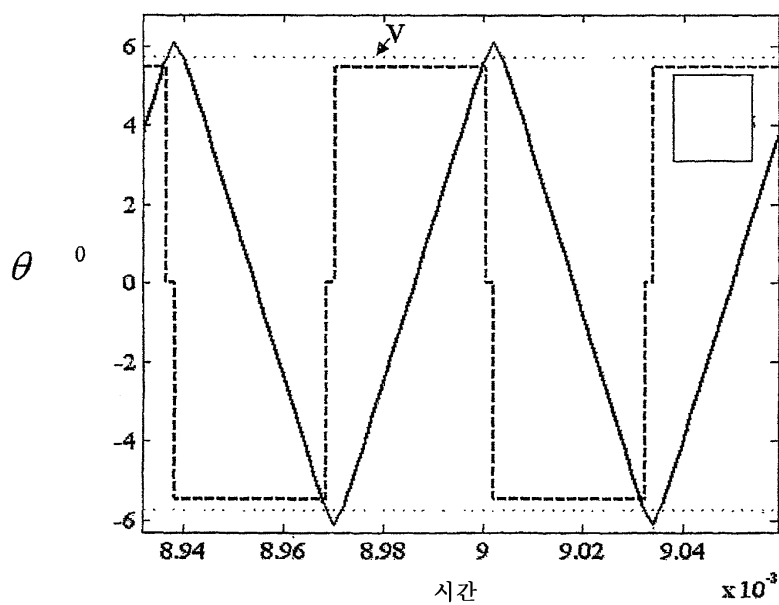
복원 모멘트-충돌 오실레이터



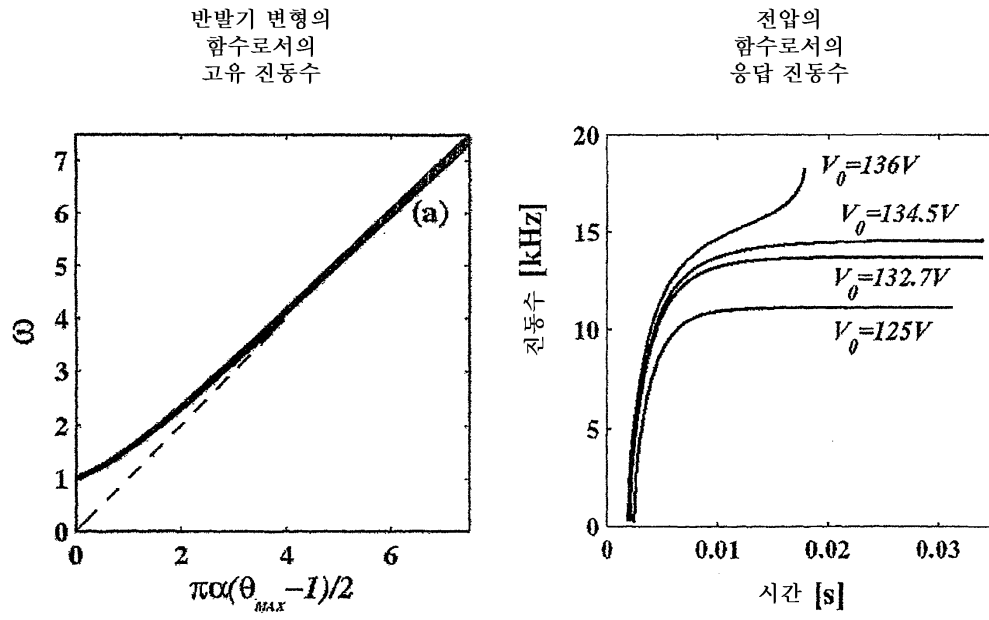
도면6



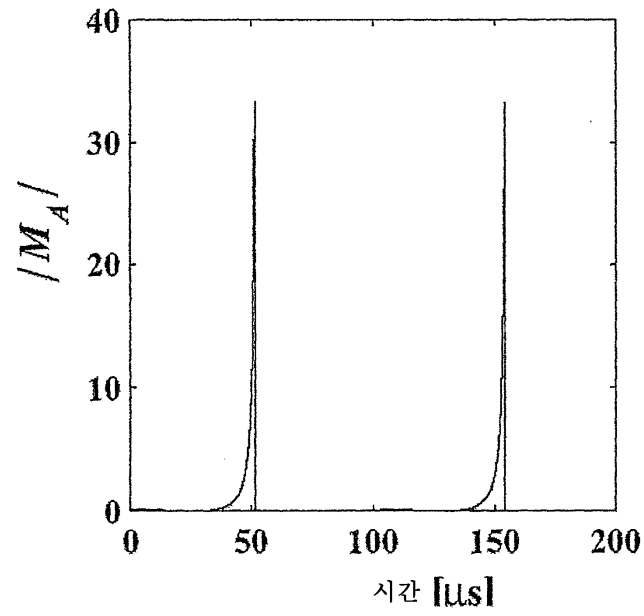
도면7a



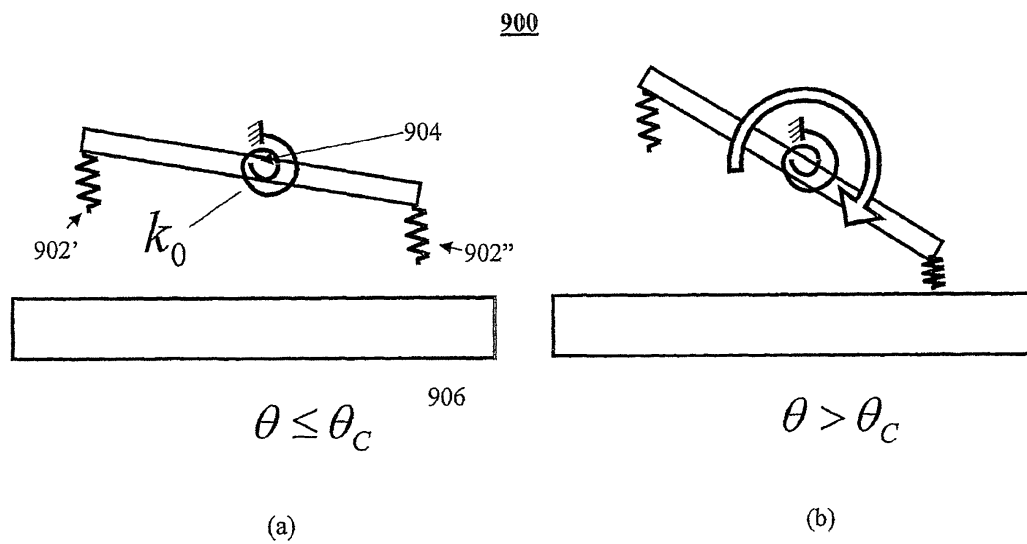
도면7b



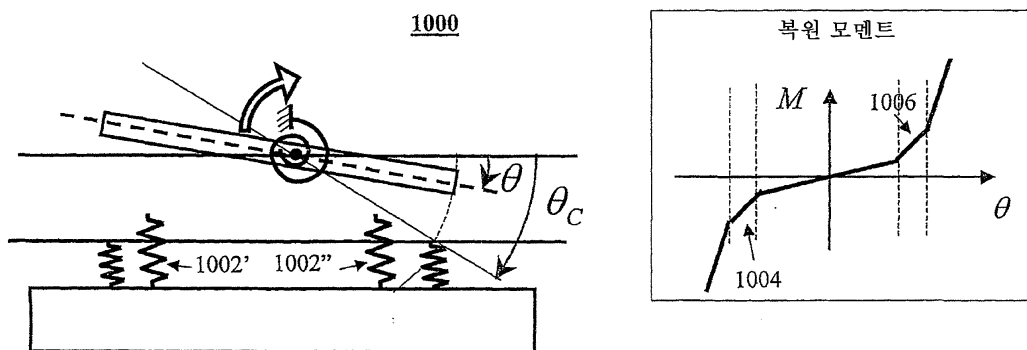
도면8



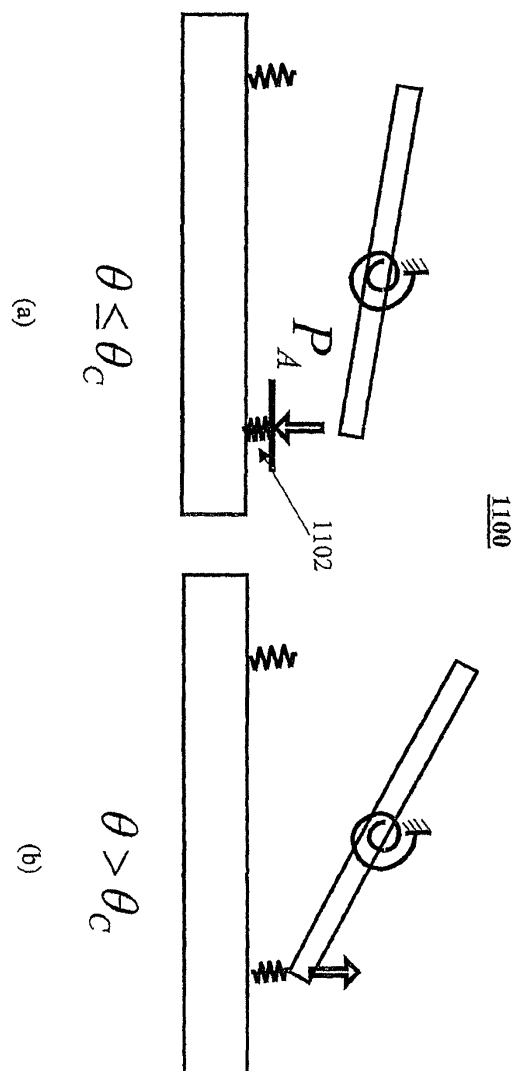
도면9



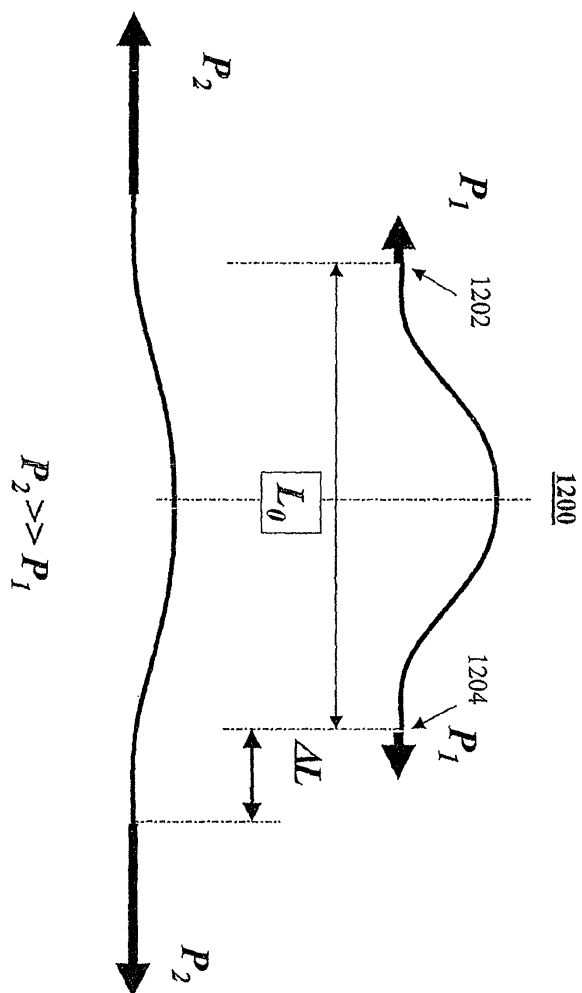
도면10



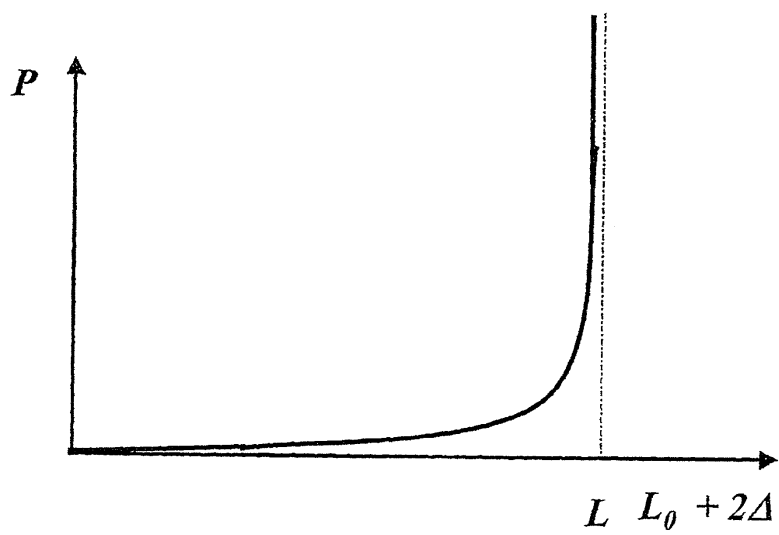
도면11



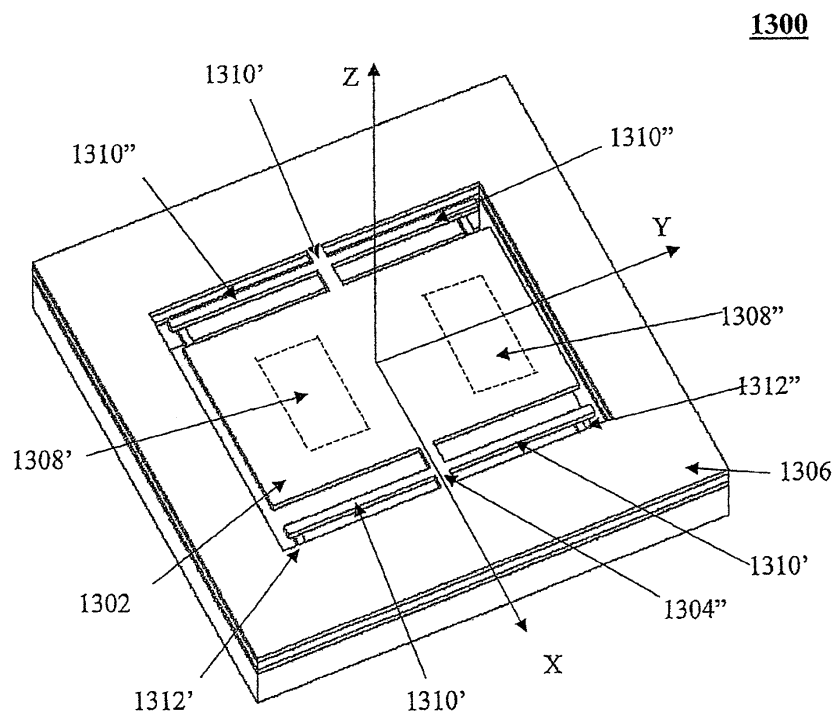
도면12



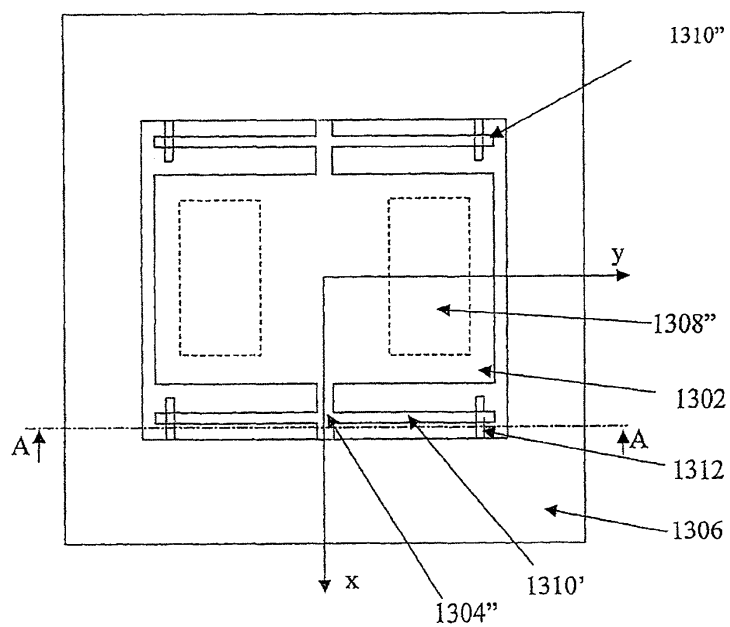
도면12b



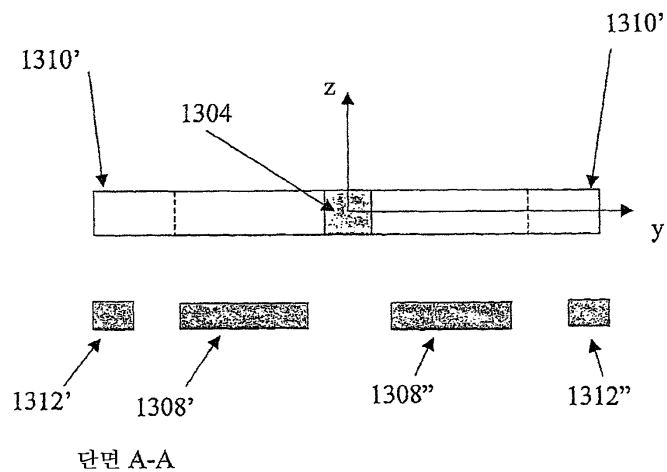
도면13a



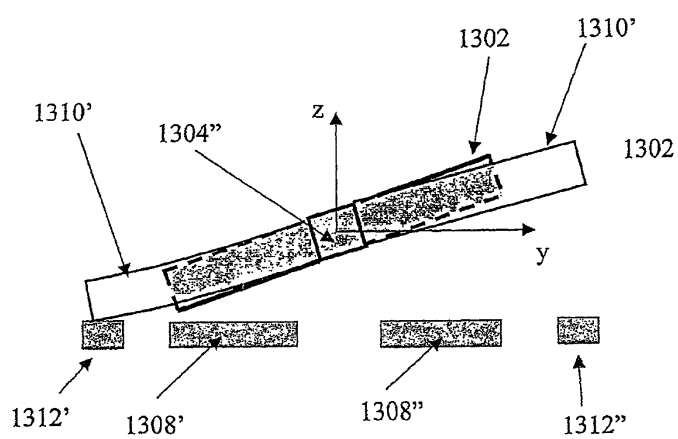
도면13b



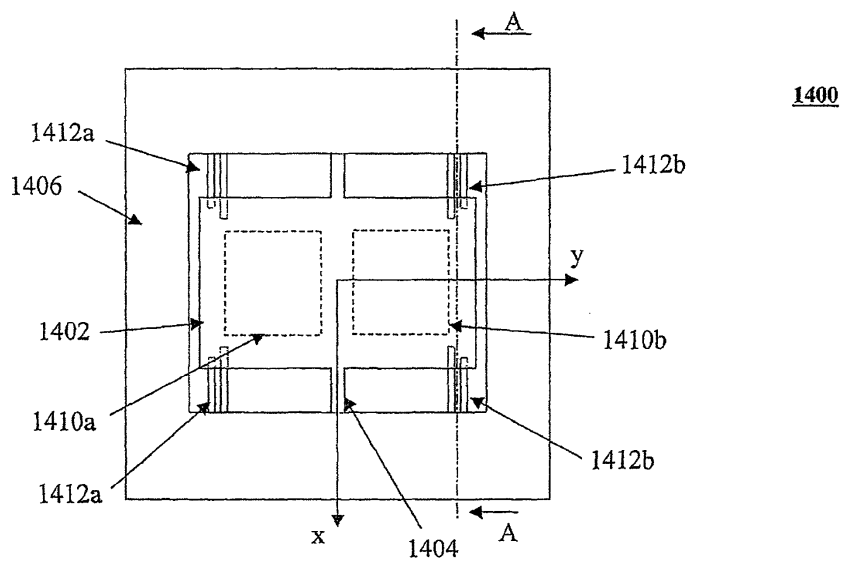
도면13c



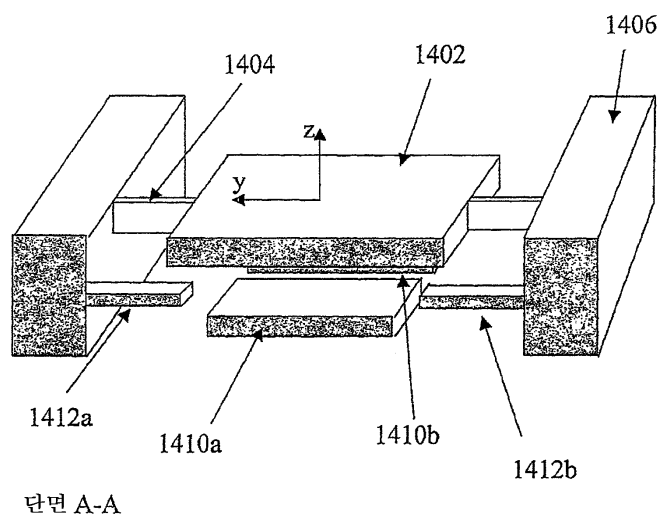
도면13d



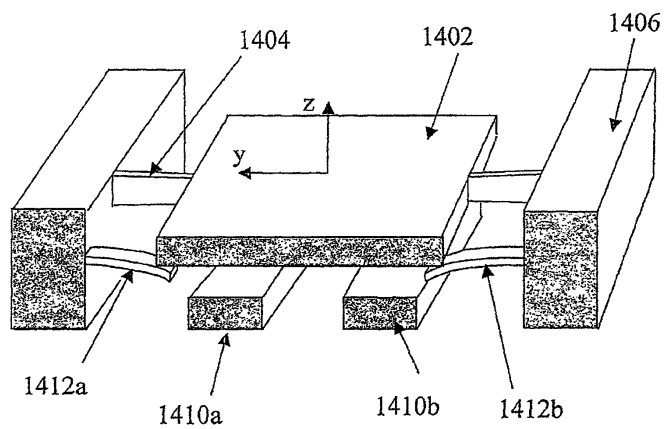
도면14a



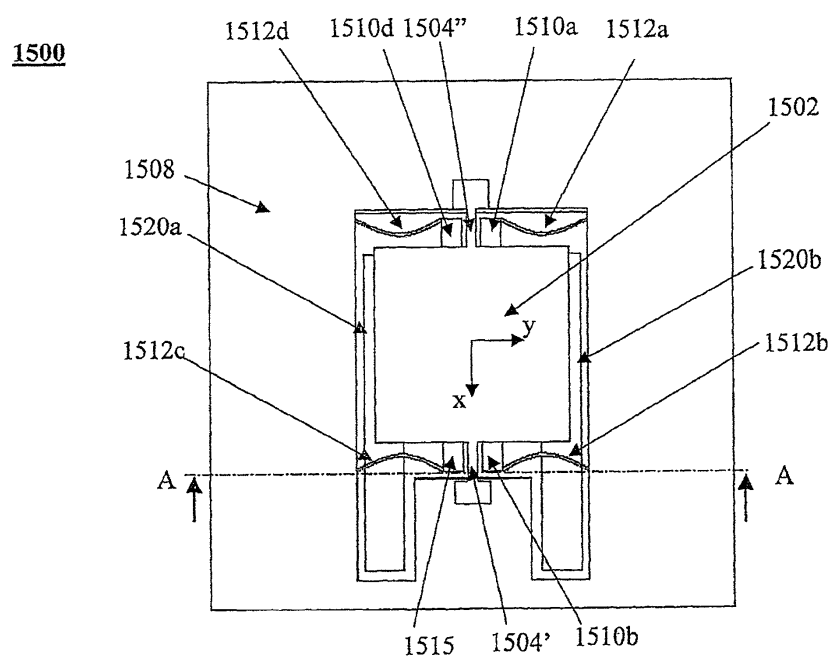
도면14b



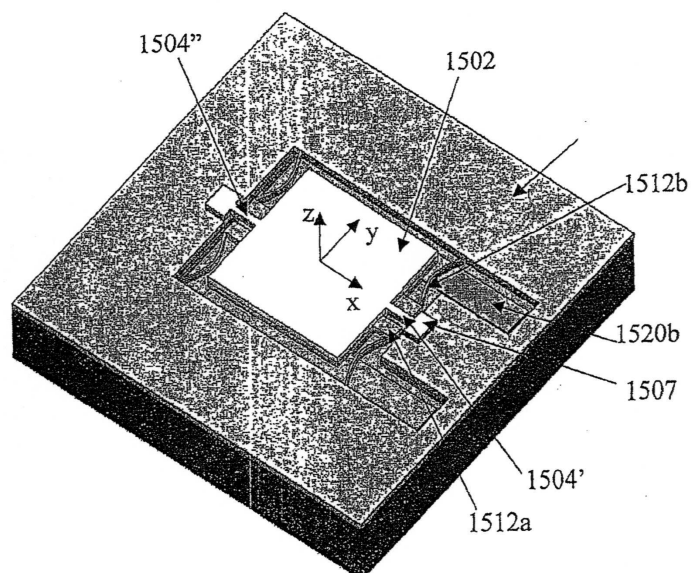
도면14c



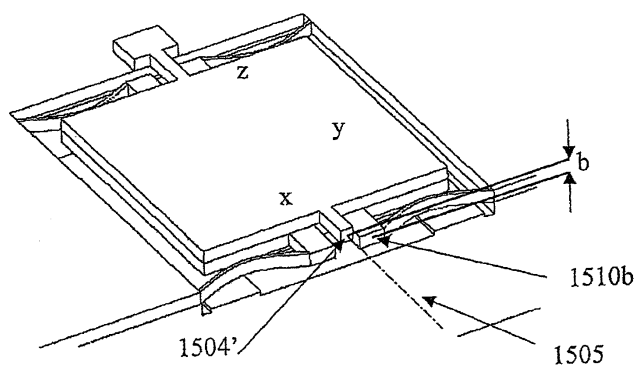
도면15a



도면15b

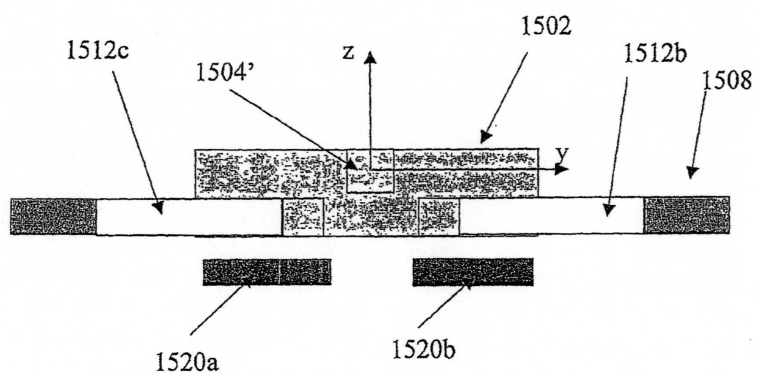


도면15c



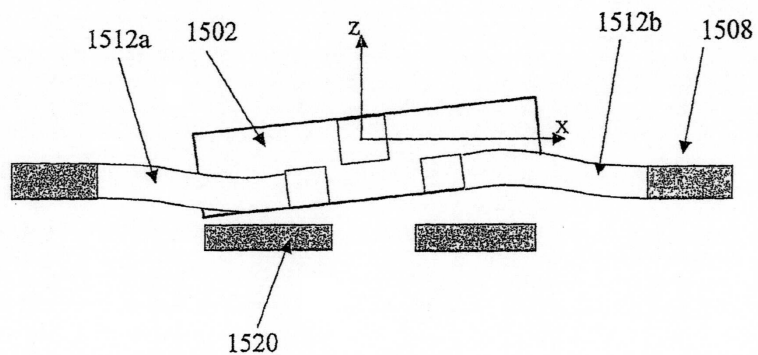
단면 A-A

도면15d

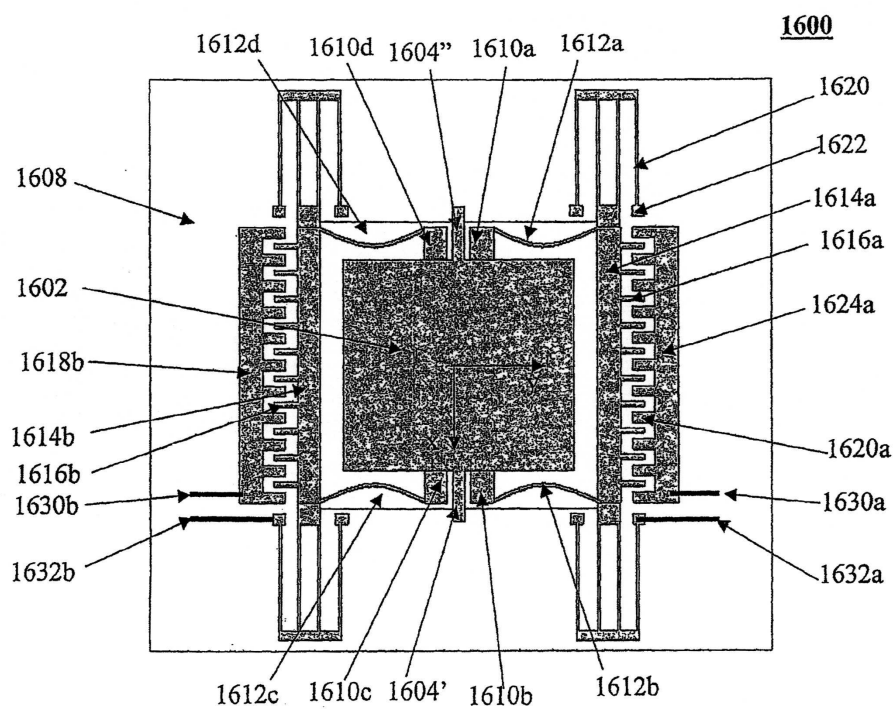


단면 A-A

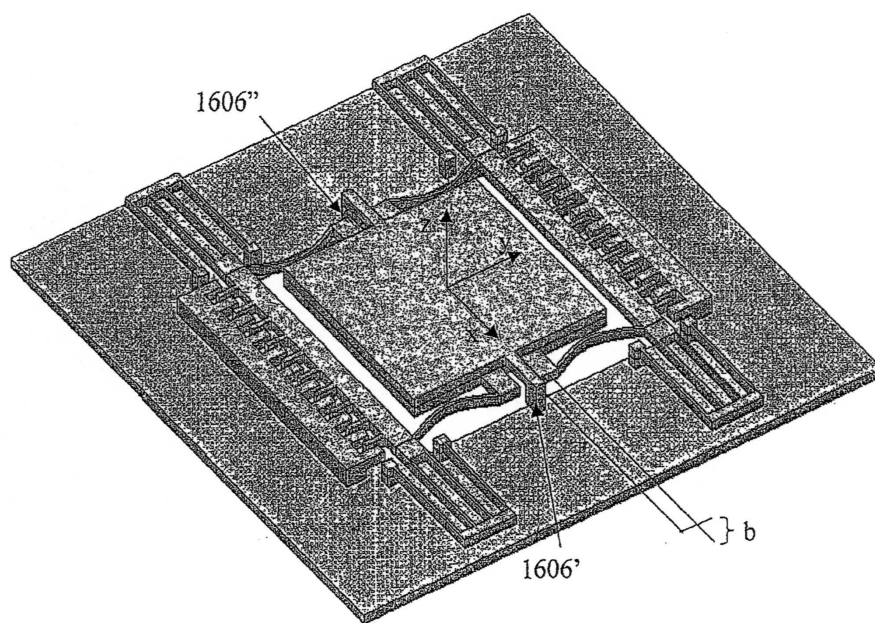
도면15e



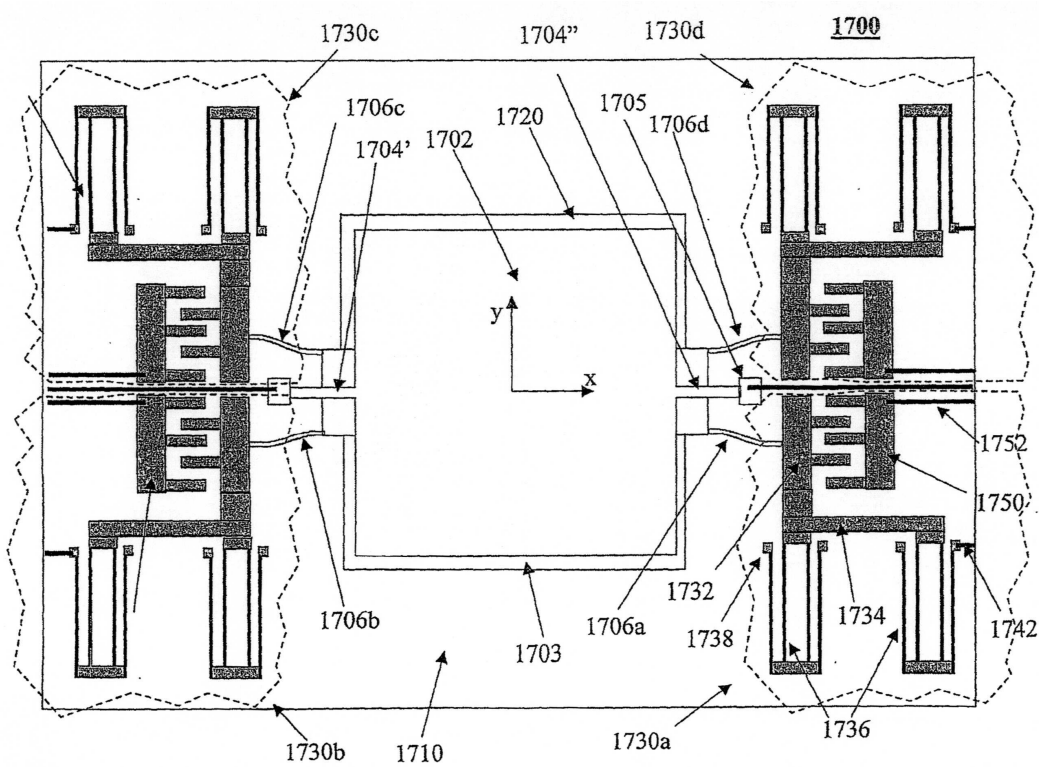
도면16a



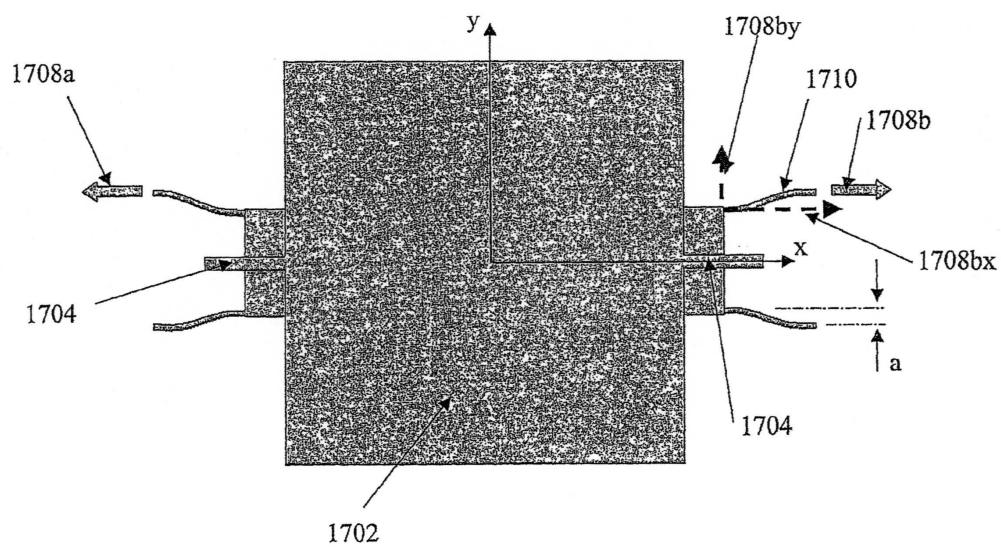
도면16b



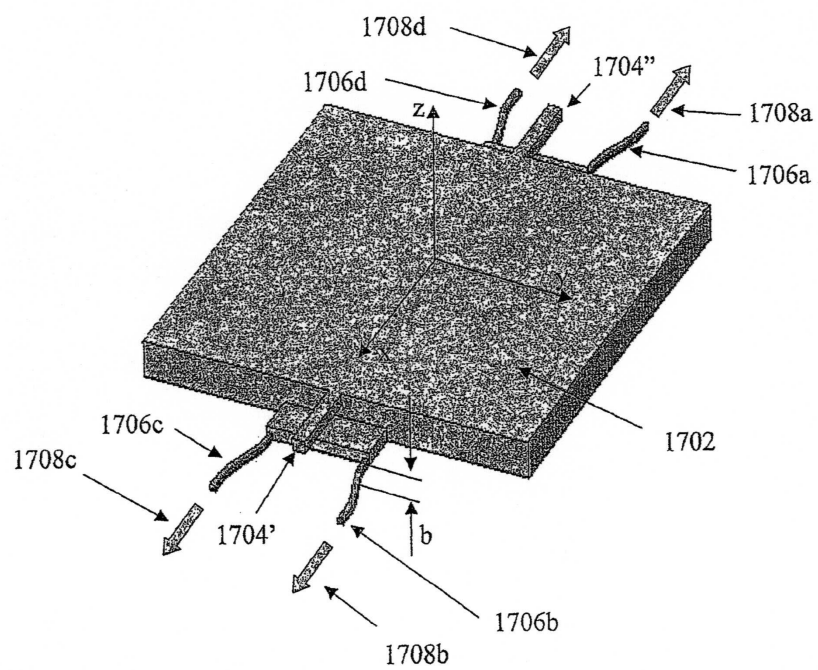
도면17a



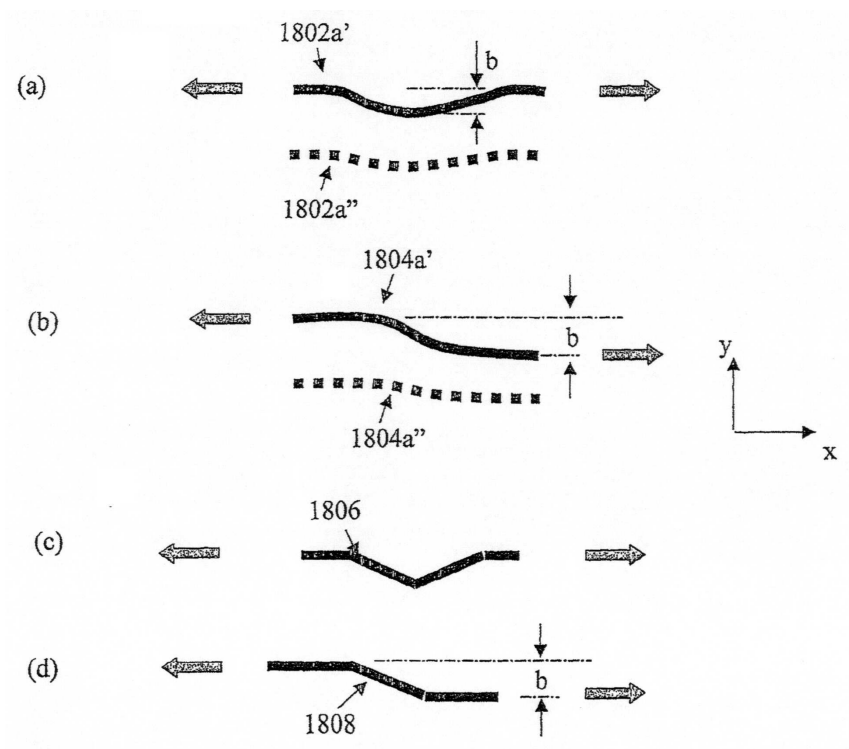
도면17b



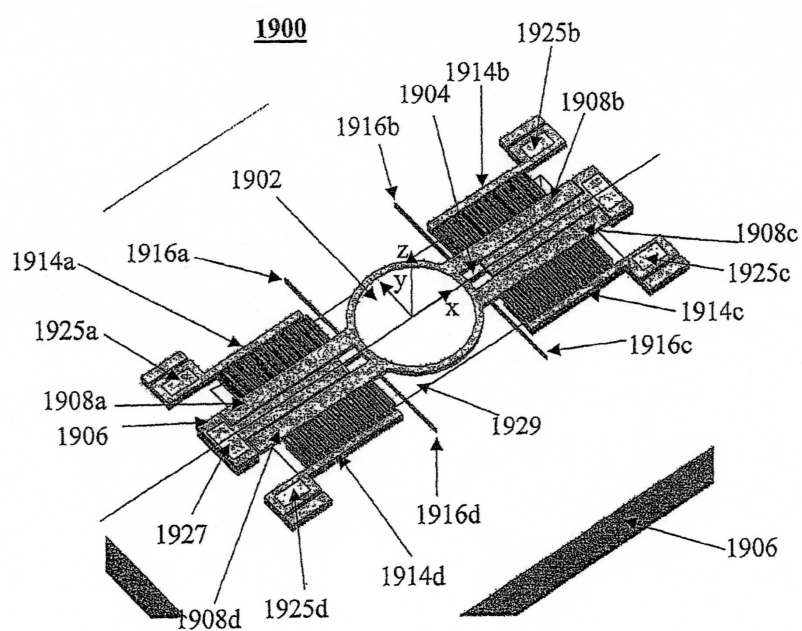
도면17c



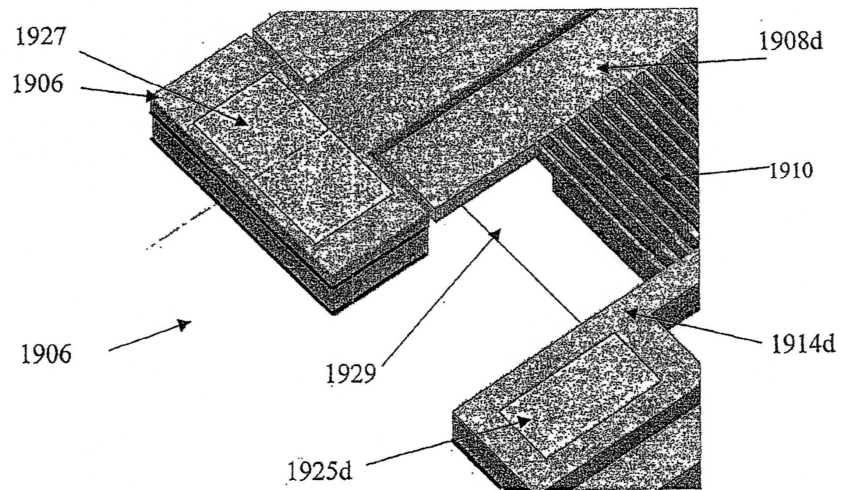
도면18



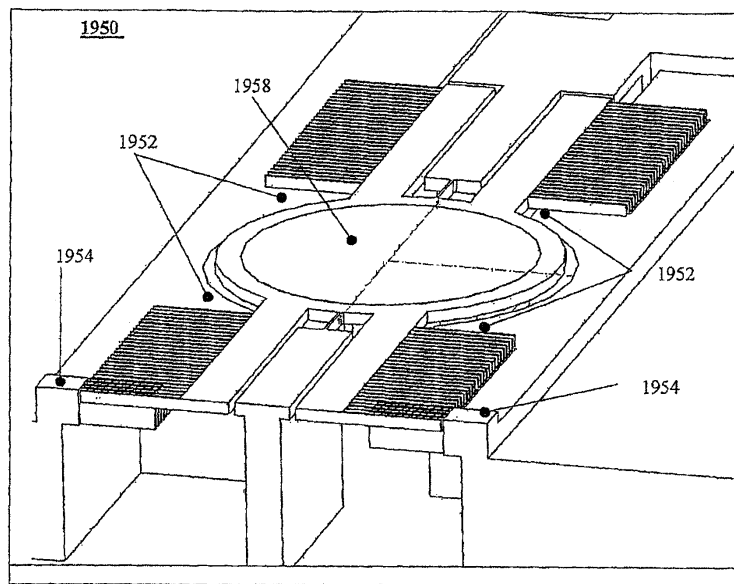
도면19a



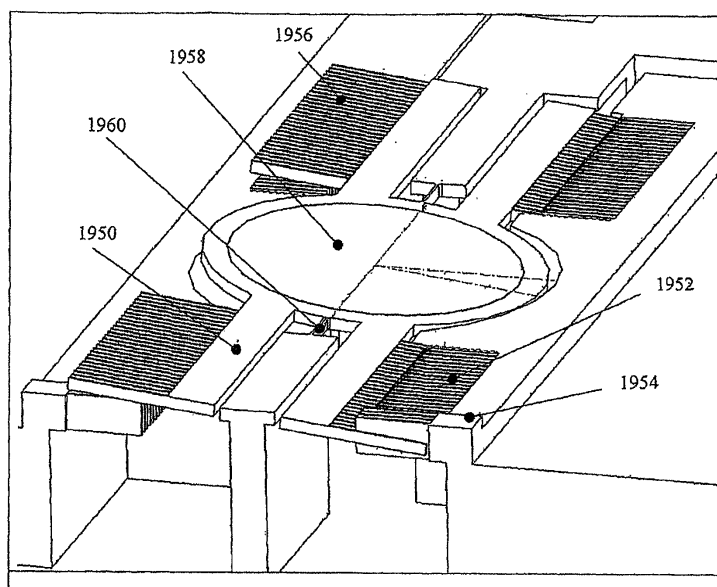
도면19b



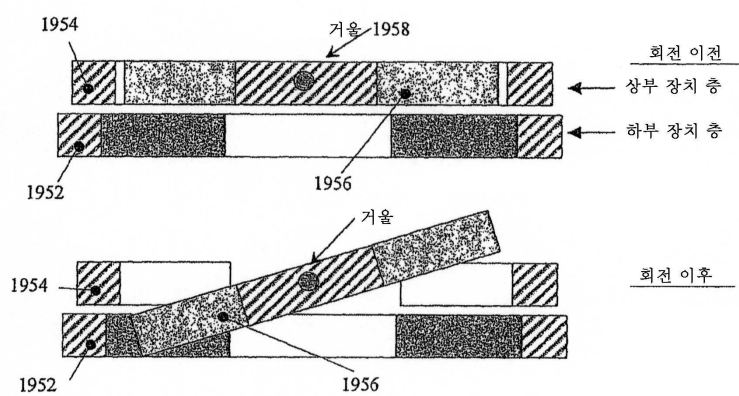
도면19c



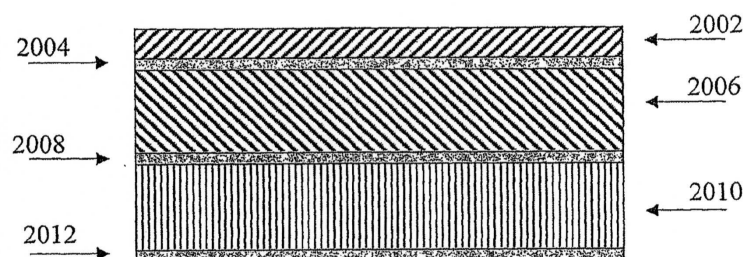
도면19d



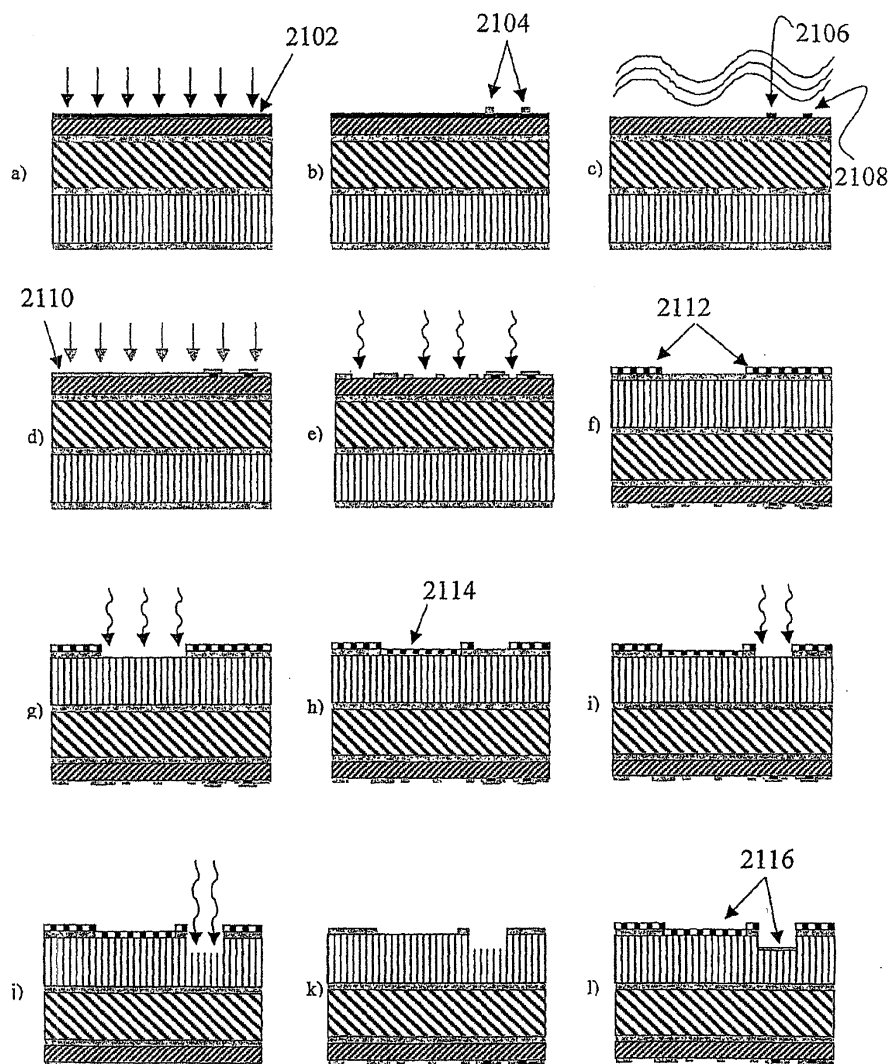
도면19e



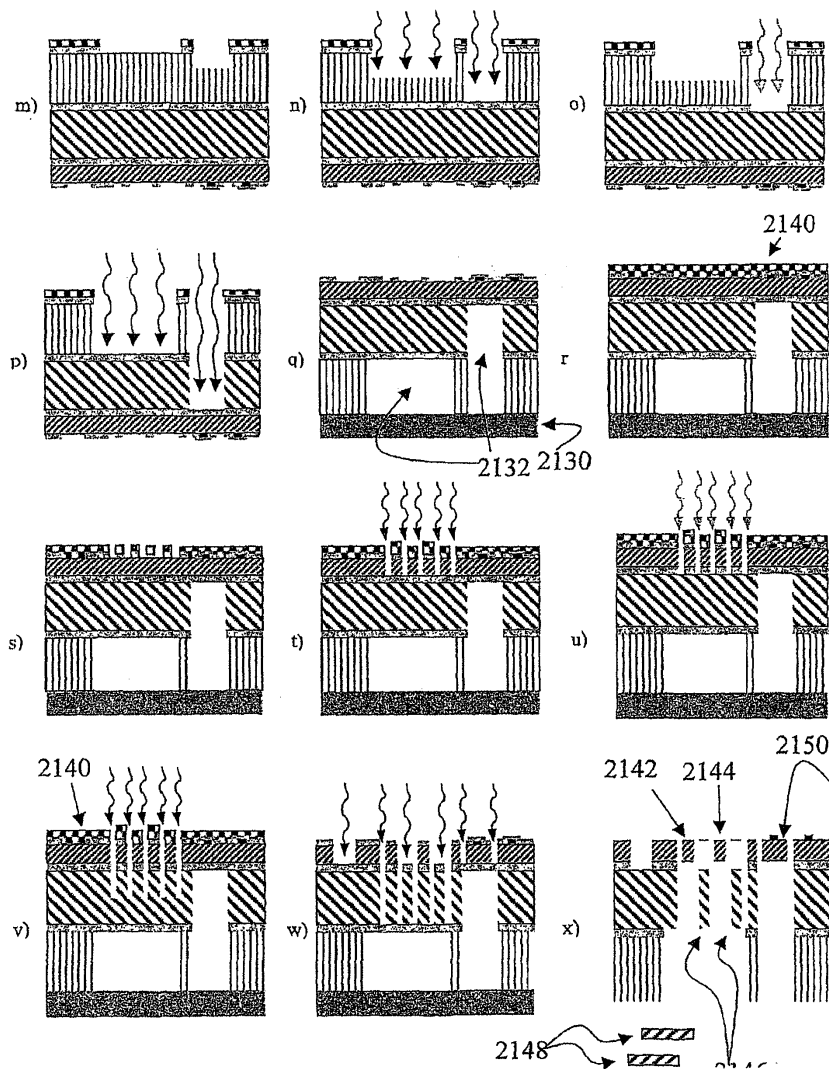
도면20



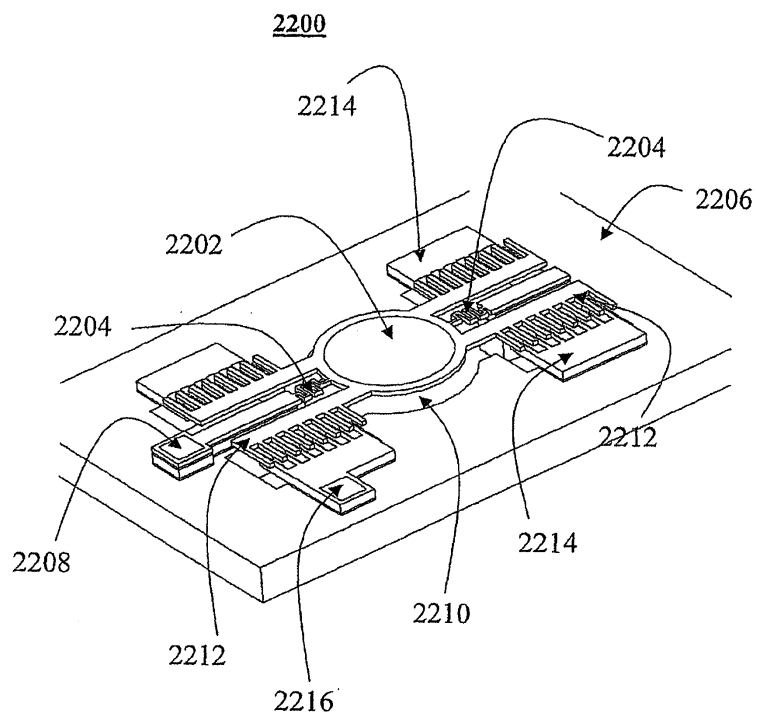
도면21a



도면21b



도면22a



도면22b

