(19)대한민국특허청(KR)
(12) 공개특허공보(A)

(51) 。Int. Cl.
B81C 1/00 (2006.01)
H01L 21/027 (2006.01)
H01L 21/28 (2006.01)

(11) 공개번호 10-2007-0012364
(43) 공개일자 2007년01월25일

(21) 출원번호 10-2006-7018624
(22) 출원일자 2006년09월11일
심사청구일자 없음
번역문 제출일자 2006년09월11일
(86) 국제출원번호 PCT/US2005/004068
국제출원일자 2005년02월09일
(87) 국제공개번호 WO 2005/078772
국제공개일자 2005년08월25일

(30) 우선권주장 60/542,896 2004년02월09일 미국(US)
60/571,133 2004년05월14일 미국(US)

(71) 출원인 마이크로비젼, 인코퍼레이티드
미국 워싱톤주 98011, 보스엘, 노스 크리크 파크웨이 19910

(72) 발명자 닌덴, 켈리, 디.
미국 워싱턴 98036-4937, 린우드, 4애브뉴 웨스트 19420
헬셀, 마크. 피.
미국 워싱턴 98115-2568, 시애틀, 에이피티 210, 35애브뉴노스이스트 9425
브라운, 딘, 알.
미국 워싱턴 98037-4940, 린우드, 11에브뉴 웨스트 18529
스프라규, 랜달, 비.
미국 워싱턴 98014-9715, 카네이션, 317에브뉴 노스이스트 11021
데이비스, 야트, 오.
미국 워싱턴 98021-3527, 보스웰, 33에브뉴 사우스이스트 20821

(74) 대리인 전영일

전체 청구항 수 : 총 30 항

(54) MEMS 스캐너 제조 방법 및 장치

(57) 요약

반도체 웨이퍼상에 엇갈린 관계로 형성되고 심도 반응성 이온 에칭으로 떼어내는 장치. MEMS 스캐너가 주변 프레임 없이 형성된다. 마운팅 패드가 토션 암 바깥으로 연장한다. 주변의 MEMS 스캐너가 하나 또는 그 이상의 주변 장치의 일부와 끼워지지 않고는 일반적인 다각형이 장치 주변에 형성될 수 없도록 엇갈려 있는 마운팅 패드가 있도록 형성된다. MEMS 스캐너는 금속층, 작은 반도체 브리지 또는 조합에 의해 외형이 유지된다.

대표도

도 2a

특허청구의 범위

청구항 1.

반도체 웨이퍼에 다수개의 엇물린(interdigitated) 형상의 외형을 심도 에칭하는 단계; 및

상기 다수개의 엇물린 형상을 상기 반도체 웨이퍼로부터 제거하여 불규칙적인 외형을 가지는 다수의 반도체 장치를 생성하는 단계

를 구비하는 것을 특징으로 하는 반도체 장치 제조 방법.

청구항 2.

청구항 1에 있어서,

상기 다수의 엇물린 형상의 외형 패턴은 포토-마스크의 패턴에 대응하는 것을 특징으로 하는 반도체 장치 제조 방법.

청구항 3.

청구항 2에 있어서,

상기 반도체 웨이퍼에 포토-레지스트를 인가하는 단계;

다수의 엇물린 형상이 형성되어 있는 포토 마스크를 사용하여 상기 포토-레지스트를 선택적으로 노출시키는 단계; 및

상기 반도체 웨이퍼에서 포토-마스크 재료를 선택적으로 제거하는 단계

를 더 구비하는 것을 특징으로 하는 반도체 장치 제조 방법.

청구항 4.

청구항 1에 있어서,

상기 반도체 웨이퍼에 금속배선 층을 인가하는 단계를 더 구비하는 것을 특징으로 하는 반도체 장치 제조 방법.

청구항 5.

청구항 4에 있어서,

상기 금속배선 층은 웨이퍼에서 제거하기 전에 놓여 있는 상기 다수의 엇물린 형상을 유지하는 것을 최소한으로 돕기 위해 가동하는 것을 특징으로 하는 반도체 장치 제조 방법.

청구항 6.

청구항 5에 있어서,

심도 에칭 이후에 상기 반도체 웨이퍼에서 상기 금속배선 층을 제거하는 단계를 더 구비하는 것을 특징으로 하는 반도체 장치 제조 방법.

청구항 7.

청구항 4에 있어서,

상기 금속배선 층은 미러에 대응하는 패턴에 인가되는 것을 특징으로 하는 반도체 장치 제조 방법.

청구항 8.

청구항 1에 있어서,

상기 반도체 장치는 MEMS 스캐너인 것을 특징으로 하는 반도체 장치 제조 방법.

청구항 9.

청구항 8에 있어서,

상기 엇물린 형상의 엇물린 부분이 장착 패드를 포함하는 것을 특징으로 하는 반도체 장치 제조 방법.

청구항 10.

청구항 8에 있어서,

각각의 MEMS 스캐너는 충분히 동일한 두께로 형성되며, 상기 반도체 웨이퍼의 두께와 충분히 동일한 것을 특징으로 하는 반도체 장치 제조 방법.

청구항 11.

청구항 1에 있어서,

상기 반도체 장치는 상기 웨이퍼를 다이싱하지 않고 상기 웨이퍼에서 제거되는 것을 특징으로 하는 반도체 장치 제조 방법.

청구항 12.

청구항 1에 있어서,

상기 다수의 엇물린 형상의 상기 에칭된 외형 각각에는 서로 교차되는 다수의 반도체 브리지가 포함되는 것을 특징으로 하는 반도체 장치 제조 방법.

청구항 13.

청구항 12에 있어서,

상기 반도체 웨이퍼에서 상기 다수의 엇물린 형상을 제거하여 불규칙적인 외형을 가지는 다수의 반도체 장치를 만드는 단계는 상기 브리지를 크랙킹하는 단계를 포함하는 것을 특징으로 하는 반도체 장치 제조 방법.

청구항 14.

청구항 1에 있어서,

반도체 웨이퍼의 다수의 엇물린 형상의 외형을 심도 에칭하는 단계는 심도 반응성 이온 에칭 단계를 포함하는 것을 특징으로 하는 반도체 장치 제조 방법.

청구항 15.

청구항 1에 있어서,

반도체 웨이퍼의 다수의 엇물린 형상의 외형을 심도 에칭하는 단계는 상기 반도체 웨이퍼를 통한 완전한 에칭 단계를 포함하는 것을 특징으로 하는 반도체 장치 제조 방법.

청구항 16.

청구항 1에 있어서,

심도 에칭 이전에 상기 반도체 웨이퍼에 절연층을 접착시키는 단계를 더 구비하고,

상기 다수의 엇물린 형상을 제거하는 단계는 상기 절연층의 적어도 일부를 제거하는 단계를 포함하는 것을 특징으로 하는 반도체 장치 제조 방법.

청구항 17.

다수의 엇물린 형상의 외형을 심도 에칭하는 단계를 구비하는 것을 특징으로 하는 실리콘 웨이퍼.

청구항 18.

청구항 17에 있어서,

상기 다수의 엇물린 형상의 심도 에칭된 외형은 포토 마스크의 패턴에 대응하는 것을 특징으로 하는 실리콘 웨이퍼.

청구항 19.

청구항 18에 있어서,

상기 다수의 엇물린 형상의 심도 에칭된 외형은:

상기 반도체 웨이퍼에 포토-레지스트를 인가하는 단계;

다수의 엇물린 형상이 형성되어 있는 포토 마스크를 사용하여 상기 포토 레지스트를 선택적으로 노출시키는 단계;

상기 반도체 웨이퍼에서 포토 마스크 재료를 선택적으로 제거하는 단계; 및

심도 에칭 처리를 사용하여 상기 심도 에칭된 외형을 만드는 단계

로 형성되는 것을 특징으로 하는 실리콘 웨이퍼.

청구항 20.

청구항 19에 있어서,

상기 심도 에칭 처리는 심도 반응성 이온 에칭을 포함하는 것을 특징으로 하는 실리콘 웨이퍼.

청구항 21.

청구항 17에 있어서,

상기 다수의 엇물린 형상의 대응하는 심도 에칭된 외형 내부에 유지되어 있는 다수의 엇물린 형상을 더 구비하는 것을 특징으로 하는 실리콘 웨이퍼.

청구항 22.

청구항 21에 있어서,

상기 실리콘 웨이퍼의 표면상에 형성된 금속층을 더 구비하는 것을 특징으로 하는 실리콘 웨이퍼.

청구항 23.

청구항 22에 있어서,

상기 금속층은 상기 다수의 엇물린 형상의 상기 대응하는 심도 에칭된 외형 내부의 상기 다수의 엇물린 형상을 유지하는 것을 최소한 돕도록 가동하는 것을 특징으로 하는 실리콘 웨이퍼.

청구항 24.

청구항 22에 있어서,

상기 금속층은 상기 실리콘 웨이퍼의 상기 표면상의 어떤 패턴으로 형성되는 것을 특징으로 하는 실리콘 웨이퍼.

청구항 25.

청구항 24에 있어서,

상기 실리콘 웨이퍼상의 상기 금속 패턴은 다수의 미러의 패턴으로 형성되는 것을 특징으로 하는 실리콘 웨이퍼.

청구항 26.

청구항 21에 있어서,

상기 다수의 엇물린 형상의 심도 에칭된 외형은 MEMS 스캐너 형상에 대응하는 것을 특징으로 하는 실리콘 웨이퍼.

청구항 27.

청구항 26에 있어서,

상기 엇물린 형상의 엇물린 부분은 장착 패드를 포함하는 것을 특징으로 하는 실리콘 웨이퍼.

청구항 28.

청구항 26에 있어서,

상기 MEMS 스캐너의 형상에 대응하는 상기 다수의 엇물린 형상 각각은 충분해 일정한 두께로 형성되며, 상기 반도체 웨이퍼의 두께와 충분히 동일한 것을 특징으로 하는 실리콘 웨이퍼.

청구항 29.

청구항 21에 있어서,

다수의 엇물린 형상의 상기 심도 에칭된 외형 각각에는 상기 엇물린 형상으로부터 상기 엇물린 형상의 대응하는 심도 에칭된 외형까지 연장하는 다수의 실리콘 브리지가 포함되는 것을 특징으로 하는 실리콘 웨이퍼.

청구항 30.

청구항 17에 있어서,

다수의 엇물린 형상의 상기 심도 에칭된 외형은 상기 반도체 웨이퍼를 통해 완전히 에칭되는 것을 특징으로 하는 실리콘 웨이퍼.

명세서

기술분야

(관련출원)

본 출원은 랜달 비. 스프레이그 등이 2004년 5월 14일 출원한 발명의 명칭이 "MEMS DEVICE HAVING SIMPLIFIED DRIVE"인 미국 특허출원 제60/571,133호 및 야트 오. 데이비스 등이 2004년 2월 9일 출원한 발명의 명칭이 "MEMS SYSTEM ADAPTED TO A LASER PRINTER" 인 미국 특허출원 제60/542,896호를 참고문헌으로 통합하며 이들을 우선권 주장하는 출원이다.

본 출원은 또한, 야트 오. 데이비스 등이 2004년 12월 12일 출원한 발명의 명칭이 "HIGH PERFORMANCE MEMS SCANNER" 인 미국 특허출원 제10/986,640호와 관련되어 있으며 이를 참고문헌으로 통합하는 출원이다.

본 출원은 또한, 그렉 깁슨 등이 2004년 12월 12일 출원한 발명의 명칭이 "METHOD AND APPARATUS FOR SCANNING A BEAM OF LIGHT" 인 미국 특허출원 10/988,155호와 관련되어 있으며 이를 참고문헌으로 통합하는 출원이다.

본 출원은 또한, 랜달 비. 스프레이그 등이 2004년 11월 9일 출원한 발명의 명칭이 "MEMS DEVICE HAVING SIMPLIFIED DRIVE" 인 미국 특허출원 제10/984,327호와 관련되어 있으며 이를 참고문헌으로 통합하는 출원이다.

(발명의 분야)

본 발명은 미소전자기계시스템(MEMS) 빔 스캐너에 관한 것으로, 특히 고해상, 고 픽셀율 애플리케이션에 관한 것이다.

배경기술

빔 스캐닝(beam scanning)은 스캔된 빔 디스플레이, 바코드 스캐너 및 전자사진 프린터를 포함한 다양한 애플리케이션에 있어서 중요해지고 있다. 종래 빔 스캐닝 애플리케이션, 특히 고성능 애플리케이션에서는, 회전 다각형 스캐너(rotating polygon scanner)가 일반적으로 사용되어 오고 있다.

예를 들어, 빔 스캐닝 시스템에서의 회전 다각형 스캐너의 동작을 설명한다. 도 1은 전형적인 회전 다각형-기반 빔 스캐닝 시스템(101)의 기본 특성을 설명하고 있다. 애플리케이션의 요구사항에 맞는 파장을 가지는 레이저 다이오드(102)가 필요한 경우에는 이미지 데이터 신호로 선택적으로 변조되기도 한다. 빔-형성 광학장치(104)가 원하는 모양과 궤적을 가지는 레이저 빔을 만든다. 레이저 빔은 회전 다각형 미러(106)에서 반사되는데, 특히 그 마면(facet)(108)에서 반사되며, 간략화를 위해 두 개의 마면(108a,108b)만 표시하였다. 빔 스캐닝 시스템(101)의 디자인은 회전 다각형(106)의 반사면이 회전 중심의 전면에 놓이도록 하여 도달하는 빔이 미러 표면이 회전함에 따라 각각의 미러 표면을 스윕하도록 하는 것이 중요하다. 상기 빔은 굴절 각도에서 굴절되어 스캔된(선택적으로, 변조된) 빔(110)을 형성한다.

회전 다각형-기반 빔 스캐닝 시스템에서 마주치게 되는 한가지 문제점은 회전 다각형 그 자체와 관련된 것이다. 회전 다각형 미러는 상대적으로 질량이 크고, 램-업(ram-up) 속도가 느리며, 크기가 크고, 잡음이 있으며, 신뢰성 문제가 있고, 상대적으로 높은 전력소비를 가지는 등의 단점이 있다.

앞서 언급한 바와 같이, 고속 바코드 스캐너는 회전 다각형 미러를 사용하여 스캔율(scan rate)을 만들고 소매점에서의 체크-아웃 및 고속 포장 분류에서의 인카운터(in-counter) 스캐닝과 같은 스루풋-센서티브(throughput-sensitive) 애플리케이션을 위해 충분한 해상도를 만들어 낸다. 그러한 스캐너의 한 예가 폴 오. 데트윌러의 미국 특허 제6,045,046호인 발명의 명칭이 "FULL COVERAGE BARCODE SCANNER" 인 특허에 개시되어 있으며, 이는 참고문헌으로 통합된다. 더 다른 그러한 스캐너들은 제2 축에 대해 진동하는 수직 스캔 미러를 제2 경로에 포함시키는 대신 다각형 마면의 각도를 변화시키기 않고 평행한 스캔 경로를 만들어 낸다는 점에 주목하라.

앞서 언급한 바와 같이, 스캔된 빔 디스플레이는 빔 스캐너를 사용하기도 한다. 다양한 스캔된 빔 디스플레이 실시예들이 종래 기술에 개시되어 있다. 그러한 예 중 하나로서 휴네스 등의 미국 특허 제5,467,104호인 발명의 명칭이 "VIRTUAL RENTAL DISPLAY" 에 개시되어 있으며, 이는 참고문헌으로 통합된다. 비슷하게, 전자사진 프린터(보통은 "레이저 프린터"로 언급됨), LIDAR 시스템, 회전 레이저 레벨, 도큐먼트 스캐너, 및 다른 빔 스캐닝 시스템들이 회전 다각형 빔 스캐너를 사용하여 만들어졌다. 급을 높이거나 낮추기 위해서, 여러 애플리케이션들은 회전 다각형 스캐너를 사용하면서, 그 고유 결점을 경험해 오고 있다.

다른 애플리케이션에서, 빔 스캐너 성능은 스캔 주파수의 함수로서, 스캔 각도와 미러 크기의 곱으로 쉽게 특성화 된다. 일반적인 사용에 따르면, 제품에 "세타-D"(ΘD)라는 표시가 있는데, 여기서 세타는 기계적인 스캔 각도의 반을 의미하며, "D"는 미러 크기를 의미한다. 이러한 용어에 내재된 뜻은 스캔 미러 표면의 정적이고 동적인 변형이 허용가능한 한도 내에 있다는 가정으로서, 빛의 가장 짧은 파장의 1/5 미만(λ/5)이 반사된다는 의미가 되곤 한다. 크기가 더 큰 미러는 보다 작은 회절 제한 빔 스폿(spot)을 가능하게 하며, 크기다 더 큰 굴절 각도는 스폿 열의 라인상에서 주어진 거리에서 보다 큰 필드

폭(field width)을 가능하게 하는데, ΘD가 스캔 라인 내에서 분해되는(예를 들어, 디스플레이되거나 검출되는) 스폿의 개수에 비례하게 된다. 물론, 단위 시간당 만들어지는 스캔 라인의 개수를 나타내기도 한다. 여기서, ΘD 보다 더 큰 스캐너가 일반적으로 고성능 스캐너이다.

종래 기술에 따르면, 충분한 미러 평탄도를 유지하면서 높은 스캔 주파수에서 높은 ΘD 를 얻는 것이 상대적으로 어렵다는 것이 확인되고 있다. 스캔 미러상에서의 동적 스트레스는 상대적으로 큰 스캔 각도, 높은 주파수 및 큰 미러 크기의 조합으로 동작하는 경우 미러를 평평하게 유지하는 것에는 불리하게 작용한다.

발명의 상세한 설명

본 발명의 일 측면에 따르면, 고성능을 얻는 MEMS 빔 스캐너가 제공된다. 특히, 다양한 실시예는 모든 경우에 있어서 시스템 요구사항을 만족시키는 충분히 미러 평탄도를 유지하면서, 상대적으로 높은 스캔 주파수에서 상대적으로 큰 ΘD 생성으로 가동할 수 있다.

더 다른 측면은 지금까지 회전 다각형 스캐너 분야였던 애플리케이션에서의 사용에 적합한 성능 및 특성을 가지는 MEMS 빔 스캐너가 제공된다. 그러한 접근의 사용은 회전 다각형 미러에 비해, 감소된 질량 및 크기, 더 빠른 램-업, 감소된 잡음, 더 높아진 안정성, 및 다른 장점들이 있게 된다.

본 발명의 일 측면에 따르면, 애플리케이션 범위에서 회전 다각형 미러를 대체하기에 적합한, 미러 크기, 스캔 각도, 스캔 주파수, 및 미러 평판도를 포함하는 물리적인 그리고 조작상의 특성을 가지는 MEMS 빔 스캐너가 형성된다. 일부 애플리케이션을 위해서, 스캐닝 축을 가로지르는 연장된 길이를 가지는 MEMS 미러를 현재의 광학 디자인에 충분한 수정 없이 회전 다각형을 대체할 수 있다.

다른 측면에 따르면, MEMS 스캐너는 큰 스캔 각도에 적합한 비틀림 아암 외형을 가지게 형성된다. 상기 비틀림 아암은 상기 미러 표면의 길이방향 치수보다 수 배 더 길다.

다른 측면에 따르면, 비틀림 아암의 말단의 끝(스캔 미러에서 멀리 떨어진)에 지렛대 부재가 형성된다. 상기 지렛대 부재는 스트레스 집중을 감소시키고, 스캔 각도를 크게 하고, 측면으로 배치된 장착 패드에 연결을 제공하고, 그리고 오프-칩(off-chip) 액추에이터로부터 스캐너를 구동시키기 위한 순간적 힘(moment arm)을 생성하는 역할을 한다.

본 발명의 더 다른 측면에 따르면, 장착 패드를 선형 액추에이터와 충분히 일정하게 접촉시키는 클램핑 압력을 사용하여 MEMS 스캐너를 액추에이터 조립체에 형성한다. 상기 선형 액추에이터라 압전 액추에이터 스택인 경우를 예로 들면, 이 포지티브 압력(positive pressure)은 압축력을 유지하거나 또는 상기 압전 액추에이터 스택 내의 장력을 최소화하여 안정성, 견고성 및/또는 수명을 향상시킨다.

다른 측면에 따르면, 히터가 MEMS 비틀림 아암의 스프링 상수를 변화시켜서 그로부터 지지되는 스캐닝 미러의 공진 주파수를 변화시킨다. 따라서, 정밀한 공진 주파수 제어가 되어 MEMS 스캐너의 동작을 그 공진 주파수에 맞출 수 있다. 가열은 상기 MEMS 스캐너 자체의 적어도 일부 내부의 실리콘 같은 벌크(bulk) 반도체 재료의 주울 가열에 의해 진행된다. 도우핑(doping) 처리는 등급 차이가 있는 저항 대 깊이를 가지는 전하 캐리어 채널을 선택적으로 형성한다. 금속층을 MEMS 스캐너의 영역에 인가하여 그러한 영역 내부의 아래의 주울 가열을 감소시킨다.

다른 측면에 따르면, MEMS 스캐너는 포토리소그래픽식으로 형성된 프레임과 같은 외부 프레임이 전혀 없이 형성된다. 대신에, 다수의 장착 패드가 형성된다.

다른 측면에 따르면, 다수의 MEMS 스캐너가 다수의 장착 패드가 있는 실리콘 웨이퍼상에 형성된다. 불규칙한 형상의 장치가 상기 웨이퍼상에 장착 패드가 겹치면서, 예를 들어, 지금까지 프레임이 점유하고 있던 이웃하는 다이 영역으로 침범하면서 서로 얽혀 형성된다. 장치들은 심도 반응성 이온 에칭(DRIE)과 같은 심도 에칭 처리를 사용하여 실리콘 웨이퍼로부터 거의 떨어진다. 하나 또는 그 이상의 "랜드(land)" 또는 "브리지(bridge)" 가 상기 일부분과 웨이퍼 사이 또는 인접하는 패드 사이에 접속을 유지하여 웨이퍼를 기계적으로 안정화시킨다. 그 다음으로 상기 브리지를 잘라서 상기 일부분들을 제거한다.

다른 측면에 따르면, 스캐너 제어기가 시스템 가동 주파수에 매치되는 스캐너 공진 주파수를 유지하기 위한 프로비젼(provision)을 포함한다. 예시적 실시예에서, 이것은 위상차 구동 서보 제어 루프로 구현된다.

다른 측면에 따르면, 스캐너 제어기에는 전류를 스캐너 히터로 공급하는 히터 증폭기라 포함된다.

다른 측면에 따르면, MEMS 스캐너 제어기에는 스캐너 위상을 시스템 위상에 로크(lock) 시키는 위상 서보 제어 루프가 포함된다.

다른 측면에 따르면, 스캐너 제어기에는 시스템 아이들(idle) 과정 동안 의사-로크된(pseudo-locked) 상태로 동작하여 시작을 더 빨리 할 수 있게 하는 하나 또는 그 이상의 서보 루프가 포함된다.

다른 측면에 따르면, MEMS 스캐너 제어기는 시동시에 가동중에 사용되는 구동 전압보다 충분히 더 높은 구동 전압을 인가한다. 이 더 높은 구동 전압은 더 빠른 시동을 위해서 유용하다.

독자에게는 더 다른 측면들은 첨부한 도면의 간단한 설명, 상세한 설명 청구의 범위 및 도면을 참고하면 분명해질 것이다.

실시예

이하, 첨부한 도면과 상세한 설명, 청구항 들을 참조하면서 이 발명을 더욱 상세히 설명한다.

도 2A는 고성능 MEMS 스캐너(202)의 한 실시예를 도시한다. MEMS 스캐너(202)는 예컨대 고속, 고해상 LBP, 고속 바코드 스캐너, 주사 빔 디스플레이, LIDAR 시스템, 스캐너 레이저 레벨 등의 애플리케이션을 포함하여 다양한 애플리케이션들에 사용될 수 있다. MEMS 스캐너(202)는 종래기술로 알려져있는 벌크 미소기계가공(bulk micromachining)을 사용하여 단결정 실리콘으로 사진 석탄식으로 형성된다. 미러 표면을 지닌 스캔 플레이트(204)는 각자의 현가장치(suspensions)를 통해 1쌍의 토션 암(206a)(206b)에 결합되고, 이 현가장치는 현가 빔(208a),(208b),현가 중심 커넥터(218a)(218b), 및 현가 외측 커넥터(216a)(216b)(216c)(216d)로 구성된다. 토션 암(206a)(206b)은 스캔 플레이트(204)와 현가 빔(208a)(208b)이 돌아가는 회전축선(210)을 형성한다. 이 출원과 함께 양도되고 이 출원에 원용되며 2004년 5월 14일자 Randall B. Sprague 외가 발명출원한 미국 예비특허출원 제 60/571,133 호 「MEMS DEVICE HAVING SIMPLIFIED DRIVE」에 설명한 대로, 스캔 플레이트(204)의 표면에 걸쳐 토션 암(206a)(206b)에 의해 유도된 토크 부하를 분산시킴으로써 현가장치는 미러표면을 ¼파장 범위내에서 비교적 편평하게 유지시키는데 도움을 준다.

현가 빔들(208)은 각자의 외측(측방) 커넥터들(216a,216b,216c,216d)와 각자의 축방향 커넥터 (218a,218b)에 의해 스캔 플레이트(204)에 각각 결합된다. 모아 놓으면 현가장치 요소들(208a,216a,216b 및 218a)은 제 1 토션 암(206a)와 스캔 플레이트(204) 사이에 제 1 현가 커플링을 형성한다. 마찬가지로 현가장치 요소들(208b,216c,216d 및 218b)는 제2 토션 암(206b)와 스캔플레이트(204) 사이에 제 2현가 커플링을 형성한다.

토션 암(206a,206b)는 각자의 "지렛대 부재"(212a,212b)로 마감된다. 지렛대 부재(212a)(212b)는 표시된 바와 같이 각자의 측방 지점들에서 각자의 마운팅 패드를(214a,214b)(214c,214d)에 연결된다. 전체적으로 보면, 지렛대 부재(212a)와 마운팅 패드를(214a,214b)는 토션 암(206a)을 지지구조물(도시안됨)에 결합시키는 제 1 마운팅 구조물을 구성한다. 마찬가지로, 지렛대 부재(212b)와 마운팅 패드들(214c,214d)는 토션 암(206b)을 지지구조물(도시안됨)에 결합시키는 제 2 마운팅 구조물을 구성한다. 대안의 실시예에서, 마운팅 구조물들은 각자의 토션 암에 직접 연결된 1쌍의 장방형 장착패드들, 스캔 플레이트(204)와 토션 암들(206a,206b)의 주변에 형성된 단일 프레임등의 다른 형태를 취할 수 있다. 도 2A의 실시예는 예컨대 웨이퍼당 더 많은 소자들을 채우거나, 동적응력을 저감시키거나, 개별 장착 패드들이 액추에이터에 결합되도록 하거나, 장착 패드들(214)이 서포에 대해 "떠있게"(float)하여 MEMS 스캐너의 잔류 응력을 저감시키는 등의 잇점을 갖게할 수 있다.

대안의 실시예에서, 지렛대 부재들(212a,212b)이 측방지점들에서 주변의 장착프레임에 연결되고, 이 주변 프레임은 통상의 MEMS 배열에 따라 스캔 플레이트, 토션 암, 및 지렛대 부재들을 둘러싸고 있다.

스캔 플레이트(204)와 그 위의 미러는(회전축선(210)에 평행한 방향의) 종방향 길이보다 실질적으로 더 큰 (회전축선(210)에 수직한 방향의) 측방향 길이를 갖도록 구성될 수도 있다. 기타 고려사항들 중에, 이것은 회전 다각형 미러의 반사면을 흉내내도록 하는데 유리하게 사용되어, 다양한 애플리케이션들에서 스캐너(202)가 회전 다각형 스캐너 대신에 사용될 수 있게 한다. 이와 달리, 스캔 플레이트(204)는 주어진 애플리케이션에 적합하게 더 낮은 종횡비의 장방형, 정사각형, 원형, 다원형 등으로 구성될 수 있다.

도 2A에 표시한 대로, MEMS 스캐너(202)는 2개의 토션 암들(206a),(206b)을 포함하며, 각 토션 암은 필릿(fillet)을 포함해서 길이가 18.76mm이고, 기단부의 현가장치, 특별히 현가 빔들(208a,208b)은 400 미크론 × 200 미크론의 타원형 필릿으로 마무리 되고, 말단부의 지렛대 부재(212a,212b)는 400 미크론 × 200 미크론 타원형 필릿으로 마무리된다. 토션 암(206a,206b)의 폭은 384 미크론이다. MEMS 스캐너(202)의 나머지와 마찬가지로 토션 암들은 DRIE 프로세싱을 사용하여 전체 웨이퍼 두께 700 미크론까지 부식된다. 주어진 미러 질량에 대하여 토션 암과 지렛대 부재의 폭, 깊이 및 길이는 선택적인 공진 스캔 주파수와 각도를 생성하도록 조정될 수 잇다.

현가 빔들(208a)(208b)은 폭이 396 미크론이고, 약간 구부러져 있어 각자의 토션 암들(206a)(206b)와 91.6°의 약간 둔각을 이루며 스캔 플레이트(204)의 측방길이와 같은 정도로 측방으로 연장된다. 각자의 현가 중심 커넥터(218a)(218b)는 현가 빔(208a)(208b)의 중심선에서 스캔플레이트(204)의 중심선까지 (필릿을 포함해서) 500 미크론 정도 연장한다. 중심 커넥터(218a)(218b)는 각각 폭이 164 미크론이고, 양끝에 100 미크론 반경의 필릿을 포함한다. 4개의 현가외측 커넥터(216a),(216b),(216c) 및 (216d)가 현가 빔(208a)(208b)의 끝에서 스캔 플레이트(204)까지 뻗어있고 도시한 대로 각 현가 빔의 끝에 하나씩 있다. 외측 커넥터(216a)(216b)(216c)(216d)는 각각 250 미크론 폭(측방향) X 400 미크론 길이(종방향)이고 필릿을 갖지 않는다. 그래서 각자의 현가장치들은 현가 빔(208), 중심현가 커넥터(218), 및 2개의 외측 현가 커넥터들(216)를 포함하며, 응력집중을 저감시키고 토크 부하를 분산기키며 작동중에 스캔 플레이트의 동적 변형을 저감시키도록 토션 암들(206a,206b)을 스캔 플레이트(204)에 연결한다. 다른 방식의 현가장치 구성도 가능하며 당업자들이 구현시킬 수도 있다.

도 2A 실시예의 스캔 플레이트는 6mm × 6mm 정사각형이다. 지렛대부재(212a,212b)는 1.8mm길이 (필릿포함 총 측방향치수) × 400 미크론 폭(종방향치수)이고, 도 2A의 실시예에서는 토션 암(206a)(206b)에 의해 형성된 축선에 수직하게 대칭적으로 뻗어있다. 지렛대 부재(212a)(212b)의 외측 단부들은 도시된 바와 같이 반경 200 미크론 필릿으로 각자의 장착패드 (214a,214b,214c,214d)에 연결된다. 장착패드들은 각각 5mm 정사각형이다.

장착패드를(214a),(214b),(214c) 및 (214d)위와 (220a)와 (220b)에는 도핑된 채널들이 형성된다. 도핑 채널들 밑에있는 장착 패드들(214a)(214b)(214c) 및 (214d)에 금속이 침착되어 있다. 스캔 플레이트(204) 위에도 금속이 침착되어 있어 중심 현가 커넥터들(218a)(218b)위를 지나 도핑된 채널들(220a)(220b)과 겹치는 지점까지 뻗어있다. 후술하는 바와 같이, 도핑 채널들은 비금속 영역과 금속층 사이에 전류가 흐를 수 있게 비교적 낮은 등급의 저항을 갖는 영역들을 형성한다. 예컨대 금이나 알루미늄과 같은 금속으로 스캔 플레이트(204)위에 미러면을 형성한다.

지렛대 부재의 형상이 바뀔 수 있다. 마찬가지로 장착 패드의 형상, 크기, 모양, 지렛대 부재와의 연결 방향등이 애플리케이션 조건에 따라 조정될 수 있다. 부가적으로 MEMS 스캐너(202)의 지렛대 부재, 장착 패드, 기타 부품들이 애플리케이션 조건들에 따라 비대칭적으로 성형될 수 있다. 예컨대. 도 2B와 연관하여 보이듯이 두 장착패드들, 두 지렛대 부재들, 그리고 하나의 토션 암으로 된 전체 조합이 제거될 수도 있다.

스캔 플레이트(204), 소자들(208a,216a,216b,218a)와 (208b,216c,216d,218d)에 각각 대응하는 현가 장치들의 형상이 마찬가지로 변경될 수 있다. 예컨대, 4mm × 4mm 스캔 플레이트(204)가 도 2A의 6mm × 6mm 스캔 플레이트로 대체되면 토션 암 길이가 각각 12mm 씩 단축될 수 있지만 거의 일정한 공진주파수와 소재응력한계를 유지한다. 스캔 플레이트 동적 변형을 저감하는 잇점을 유지하면서 현가 장치들도 변경될 수 있다.

장착 패드들(214a,214b,214c 및 214d) 또는 다른 주변 프레임이 하우징에 장착될 경우, 액추에이터(도시안됨)에 주기적으로 전원을 인가하면, 토션 암들(206a,206b)이 그리는 회전축선(210)을 중심으로 스캔 플레이트(204)가 주기적으로 정회전하고 역회전한다. 한 실시예에서 (4개 액추에이터 실시예의 경우 0과 25-30 사이에서 변하는 5㎑ 정현파와 같은) 적절한 신호로 구동될 때 스캔플레이트(204)는 5㎑ 주파수에서 ±20° 기계적 주사각으로 응답한다.

±20°의 기계적 스캔각도에서 스캐너(202)는 9변 회전다각형과 거의 동등한 스캔각을 나타낸다. 다른 다각형상과 일치 하도록 다른 스캔각이 선정될 수 있다. 5㎑의 전주기 스캔 속도에서 스캐너(202)는 10㎑의 속도로 이방향 스캔 (각 사이클당 1회의 순방향 주사와 1회의 역방향 주사)를 생성한다. 이는 66,667 RPM으로 회전하는 9변 다각형 미러와 거의 등등하다. 그래서 스캐너(202)는 비교적 정교한 회전 다각형 스캐너의 스캐닝 성능을 달성하여 고속 애플리케이션에 적합하게 된다. 대안으로 스캐너는 일방향으로 주사하는데 사용될 수 있어 33,333RPM 9변 회전 다각형 스캐너와 거의 동등하게 된다. 미러가 순방향 또는 역방향 주사 반사이클 중 어느 하나일 때만 영상 데이터를 변조하거나 영상 데이터를 포획함으로써 일방향 조작이 간단히 이루어진다. 이방향으로 사용될 때 역방향 주사중에 데이터 판독을(레이저 방향으로 또는 검출기로 부터) 역전시키는데 적절한 제어전자 장치가 사용된다.

도 2B는 MEMS 스캐너(202)의 대안적 실시예를 나타낸다. 도 2A와 관련하여 설명한대로, 단일 토션 암이 현가장치를 통해 스캔 플레이트(204)를 지지한다. 다양한 모드의 공진 주파수를 적절히 제어하거나, 후술하는 바와 같이 공진 주파수나 그 주변주파수로 스캔 플레이느를 구동시킴으로써 스캔 플레이트가 축선(210)을 중심으로 회전할 수 있다.

도 3은 MEMS 스캐너(202)의 또 다른 실시예를 나타낸다. 도 3의 실시예에서, 지렛대부재(212a)(212b)는 뱀처럼 구부러진 형상으로 만들어진다. 지렛대 부재의 밑단부들은 전술한 대로 보통 장착 패드들에 연결되거나 주변 프레임 부재에 연결된다. 아시다시피 지렛대 부재의 형상도 실질적으로 변경될 수 있다.

도 4는 주기적인 구동신호가 인가될 때 도 2A의 MEMS 스캐너의 동작응답을 예시하는 그래프이다. 곡선(402)는 주기적 구동주파수(406)의 함수로서 진폭응답(404)을 나타낸다. 곡선(408)호 동일한 구동 주파수 축선(406)에 대하여 그려진 스캐너 대 구동위상(410) 예시한다. 곡선(402)을 점검해보면 회전모드에서 MEMS 스캐너의 공진 주파수에 대응하는 약 5㎑에서 피크응답치를 나타낸다. 피크값의 크기는 상대적 기준을 두고 도시되어 있지만, 허용가능한 구동력에서 ±20°기계적 스캔각의 공진 응답을 생성하도록 도시된 실시예에서는 충분히 높게 되어있다. 액추에이터 실시예에서, 0(제로) 내지 25-30 볼트 진폭을 지닌 5㎑ 정현파에 근접한 구동 파형이 ±20° 기계적 주사각을 나타낸다.

65와 70 ㎑ 사이의 2차 피크값은 압전 스택 액추에이터의 공진 특성에 대응한다.

곡선(408)은 MEMS 스캐너 응답에 대한 구동 신호의 위상관계가 공진지점에서 어떻게 반전하는지를 보여준다. 5㎑ 미만에서 위상관계(구동신호 대 응답)는 0°이다. 5㎑이상이지만 2차 피크값 미만에서 위상관계는 -180°이다. 1차 공진 피크값에서 위상관계는 반전되고, 도시한 대로 -90°(응답지연 구동)를 지나간다. 2차 피크값 이상에서 시스템의 응답은 떨어지고 위상응답은 다시 반전하여, 피크값 아래서 -180°를 지나, 2차 피크값에서 -270°(+90°), 2차 공진 피크값 이상의 주파수에서 -360°(0°)를 통과한다. 효과를 극대화시키기 위하여 1차 공진 피크값이나 바로 부근에서 MEMS 스캐너를 조작하는 것이 유리하다고 밝혀졌다.

5㎑ 운전에서 MEMS 스캐너의 공진 주파수는 5㎑ 이상의 수 ㎐, 보통 실온에서 5.001 내지 5.005 범위로 조정된다. 그러한 조정은 이 출원과 함께 양도되고 이 명세서에 원용되는 미국특허 제 6,245,590 호 "FREQUENCY TUNABLE RESONANT SCANNER AND METHOD OF MAKING"에 서술된 방법들을 사용하여 달성된다. 소량의 에폭시 형태로 스캔 플레이트에 하중을 더하는 방법을 사용하여 공진주파수를 공장조정(fuctory trim) 하는 것이 유리한 것으로 알려져 있다. 공진주파수의 활성 열튜닝(active thernal tunning)을 사용하여 공진주파수를 실질적으로 5.000㎑가 되게한다.

도 5A는 100mm 실리콘 웨이퍼(502)위에 MEMS 스캐너들(202a,202b,202c,202d, 202e 및 202f)을 표준배치한 것을 나타낸다. 도시한 대로 MEMS 스캐너들은 손바닥 모양의 장착 패드들과 미러들로 빼곡이 채워져 있다. 그러한 배치를 한 이유는 웨이퍼당 산출량을 극대화하기 위함이다. 도 5A에 도시된 스캐너(202)의 스캔 플레이트는 짧고 넓은 종횡비로 형성되어 있다.

도 5B는 100㎜ 실리콘 웨이퍼에서 제작된 MEMS 스캐너의 다른 배치도를 나타낸다. 스캐너들의 치수, 특히 토션 암의 길이는 도 5A의 배치에 비하여 더 효율적인 손가락 모양의 패킹이 되도록 조정될 수 있다. 웨이퍼가 클수록 소자들이 더 고밀도로 패킹된다.

여기서 " 손가락 모양(interdigitated)"이란 용어는 하나이상의 인접한 반도체 소자들의 일부를 절개하지 않고서 한 반도체 소자 둘레에 정사각형을 그릴 수 없다는 것을 의미한다. 즉, 하나이상의 인접하는 반도체 소자들은 다이싱 돕(dicing saw)을 사용하여 그 반도체 소자 주위에 형성될 수 있는 형상의 윤곽안으로 침입한다. 심층 반응이온부식(DRIE)와 같은 에칭단계나 다른 프로세스 단계를 사용하여 웨이터로부터 스캐너들을 거의 완벽하게 떼어낼 수 있다. 각 소자 주위에 형성된 이 중선은 이 소자 주위에 형성된 "해자(moat)"의 가장자리를 나타낸다. 매우 미세한 실리콘 "브리지들(bridges)"이 일전간격을 두고 스캐너들을 웨이퍼에 연결하는 것으로 보일 수 있다. 스캐너들을 떼어내기 위해 이 브리지들을 간단히 깨뜨려 스캐너들이 튀어나오게 한다. 소자를 가로질러 균열이 퍼지지 않도록 브리지의 폭이 좁게 설정되어 있다.

다른 실시예에서, DRIE 전에 실리콘 웨이퍼의 배면에 금속층이 입혀지거나 절연체 웨이퍼가 접착된다. DRIE는 실리콘 웨이퍼를 통과해 에칭하는데 쓰인다. 그러면 금속층이나 절연체가 스캐너들을 웨이퍼에 잡아둔다. 이 금속을 잘래내어 스캐너들을 제거할 수 있다. 그와 달리, 금속이나 절연체를 부식시켜 파트들을 제거할 수도 있다. 한 실시예에서 금속 안정화층으로 알루미늄이 사용된다. 그러한 안정화층이 사용될 경우 형상을 적소에 유지시키도록 실리콘 브리지들이 사용될 수도 있다. 그와 달리 실리콘 브리지들이 제거될 수도 있다.

도 5A는 다른 지렛대부재(212)를 예시하며, 여기서 "T"의 단부들은 미러를 향해 치우쳐있다.

몇가지 실시예들에 의하면 MEMS 스캐너(202)의 제작에는 전술한 바와 같은 도핑채널이나 전하캐리어층의 형성이 포함될 수 있다. 1-10 오옴의 벌크저항을 가진 인도핑된 실리콘 웨이퍼들이 사용된다. 인도핑처리된 실리콘 웨이퍼들에는 최대전류4㎃에서 30KeV로 가속화된 5×10^{15} 인 31원자/㎠의 조사량이 주입된다. 인 분량은 1000℃에서 45분간 구동된다. 최종 도핑채널은 약 0.5 미크론의 깊이까지 강하게 도핑되어 갱신된 채널을 형성하고, 여기서 도핑 농도와 최종 저항은 깊이에 따라 변화한다. 이런 조건하에서 웨이퍼 표면은 약 1×10^{20} 인 31원자/㎠의 도핑농도를 갖고 약 0.001Ω-㎝의 저항을 나타내며, 이는 0.5 미크론의 깊이에서 약 1×10^{15} 원자/㎠(또는 1-10 Ω-㎝)의 웨이퍼 배경이 된다.

도핑 처리된 채널은 전하 캐리어가 금속층에서 실리콘 안으로 들어가는 도관을 만들어낸다. 후술하는 바와 같이, MEMS 스캐너(202)에 전류가 인가되어 주울 가열을 일으킨다. 도 2A 스캐너의 실시예에서, 예컨대 히터 증폭기에 의해 장착 패드들(214a, 214b)에 양전압이 걸릴 수 있다. 히터 리드선들이 장착 어셈블리에 결합되거나 장착 패드 자체위에 있는 금속화층에 결합될 수 있다. 예시된 실시예에서, 장착패드들(214a, 214b)을 덥는 금속층을 따라 전류가 흘러, 금속 밑에 형성된 도핑 채널을 거쳐 실리콘 안으로 이동한다. 그 다음에 전류가 실리콘 내부에서 지렛대 부재(212a)와 토션 암(206a)을 통해 흘러 주로 토션 암(206a)에 국부적 가열을 형성한다. 전류흐름이 지렛대 부재(212a)의 양쪽 팔들을 따라 분할되기 때문에 지렛대 부재안의 주울 가열이 저감된다. 토션 암(206a)이 도핑채널(220a)과 만나는 곳에서, 전류가 실리콘에서 흘러나와, 도핑채널(220a)에 겹쳐져 형성된 금속층 안으로 흘러 들어간다. 전류는 중심 현가 커넥터(218a)를 지나, 스캔 플레이트(204)에 형성된 미러의 금속을 지나, 그리고 중심 현가 커넥터(215b)를 지나서 이런 구조물안의 주울 가열을 회피한다. 금속층이 도핑채널(220b)과 겹치는 곳에서, 전류가 금속에서 흘러내려 실리콘 안으로 흐른다. 전류가 토션 암(206b)과 지렛대부재(212b)를 통해 흘러, 다시 주로 토션 암 내부에서 주울 가열을 야기한다. 전류는 장착패드들(214c, 214d)에 형성된 토핑 채널을 통해 흘러 그 위에 형성된 금속층들 안으로 흐르며, 여기서 접지 근처에 고정된 제 2 조의 히터 리드들에 의해 수집된다. 종래기술에 알려진 대로 도시된 방향으로의 정공(hole) 이동이나 반대방향으로의 전자이동이 그러한 전류흐름을 형성할 수 있다.

몇가지 경우에 있어서, 도 2A, 2B, 3, 5A 및 5B에 의해 도시된 스캐너 디자인의 유리한 측면은 최소한의 프로세스 단계들이 제작에 사용될 수 있다는 것이다. 일정영역의 두께를 낮추거나 높아진 리브들(raised ribs)을 생성하는 부분적인 에칭없이 실리콘 웨이퍼의 전두께에 걸쳐 스캐너들이 형성될 수 있다. 미러에 대응하는 금속화 패턴이 웨이퍼(502)의 정면에 형성된다. 한 실시예에 의하면 미러에 금 금속화가 사용된다. 웨이퍼(502)의 배면에는 배면 금속화가 성형된다. 한 실시예에 의하면, 배면 금속화층에 알루미늄이 사용된다. 다음에 반도체 소자들과 그 사이의 비에칭 영역들에 대응하는 포토레지스트 패턴이 웨이퍼의 정면에 형성되고, 노출된 영역은 딥에칭된다. 한 실시예에서, 웨이퍼를 통해 수직벽들을 에칭하는데 DRIE가 사용된다. 에칭도중에 웨이퍼의 배면이 저온냉각되고, 알루미늄 배면 금속화층의 높은 열전도성으로 인하여 DRIE 에칭이 실리콘 웨이퍼의 배면에 도달하면 정지된다. 어떤 실시예들에서, 에칭된 윤곽선들의 배면을 잇는 알루미늄층에 의해 웨이퍼에 스캐너 형상들이 유지된다. 다른 실시예들에서 실리콘의 얇은 브리지들이 파트들을 적소에 보지하는데 도움을 준다. 알루미늄 배면 금속화층이 에칭되어 없어지고 포토레지스가 제거된다. 이때 스캐너들이 떨어져 나오거나, 실리콘 브리지들이 사용되는 경우 딥에칭 지역을 가로질러 브리지들을 끊어버림으로써 스캐너들이 웨이퍼에서 제거되어 단일화된다. 파트들을 분리시키는데 딥에칭을 사용함으로써 다이싱(dicing)을 피할 수 있다.

도 6은 MEMS 스캐너의 액추에이터 배열을 예시한다. 1쌍의 사용화된 압전 스택들(602a)와 (602b)는 공동 장착베이스(604)위에 얹혀 각자의 제 1 절연체들(606a)(606b)를 거쳐 MEMS 스캐너(202)의 장착 패드들(214a)(214b)을 지지한다. 각자의 위치들에서 압전 스택들(602a)(602b)은 전기적으로 압축과 팽창을 교대적으로 받으면서, 토션 암들(206a)(206b)이 정의하는 회전축선(210)을 중심으로 장착패드들(214a)(214b)의 주기적 회전을 일으킨다. 마찬가지로, 압전 스택(602a)(602b)의 공통모드 활성화를 이용하여, 스캔 플레이트(204)의 가로 축선에 실질적으로 평행하는 가로축선을 중심으로 MEMS 스캐너(202)를 회전시킨다.

MEMS 스캐너(202)와 압전 액추에이터 스택들(602a, 602b)사이의 접촉을 유지시키기 위하여 각각의 클램프 또는 누름 어셈블리들(608a)(608b)(608b는 도시안됨)가 장착패드들(214a, 214b)을 액추에이터 스택들에 대고 누른다. 간단히 보이도록 도 6에서 클램프(608b)가 생략되어 있다. 도시한 대로 장착패드(214)와 접촉하여 있는 어셈블리의 바닥부터 시작해서 클램프들(608)은 제 1 누름판(610), 선택적인 시리즈 디스크 스프링(612), 제 2 누름판(614), 제 2 절연체(616), 그리고 제 3 누름판(618)을 포함한다. 한 실시예에서, 제 1 누름판(610)의 가장자리가 도시한 바와 같이 누름 어셈블리에서 밖으로 뻗어나온다. 후술하는 바와 같이, 이것은 히터선이나 리드에 대한 선택적인 접착위치를 제공한다. 시리즈 디스크 스프링(612)는 SPRINGMASTERS#D 63203과 같은 상용타입이고, 강직성은 비교적 낮지만 고유공진주파수는 높은(775㎑)것이 되도록 선택된다. 애플리케이션 조건에 따라 직렬스프링 2개, 다른 개수의 스프링이 사용되거나 아예 스프링이 전

혀 사용되지 않을 수도 있다. 제 1 및 제 2 누름판(610)과 (614)는 시리즈 디스크 스프링(612)이 눌러대는 튼튼한 표면을 제공한다. 제 2 절연체(616)는 MEMS 스캐너(202)의 전기적 절연을 제공한다. 제 1 및 제 2 절연체(606)(614)는 DYREX 유리와 같이 적절한 밀도, 전기절연성 및 압축강도를 갖는 소재로 형성된다. 제 1 및 제 2 누름판(610)(614)는 적절하게 전기전도성이 있고 강철과 같이 압축강도, 조도 및 밀도를 포함한 물리적 성질을 갖는 소재로 형성된다. 제 3 누름판(618)은 제 2 절연체(616)를 위한 장착표면을 제공하고, 어셈블리를 하우징(도시안됨)에 연결시킨다. 바람직하게는 강철로 형성된 제 3 누름판(618)은 장착 및 조정 나사(도시안됨)를 수용하는 보어(620)를 포함한다. 당업자라면 알 수 있듯이 대안의 변형된 클램프들이 사용될 수도 있다.

대안의 실시예에서 시리즈 디스크 스프링(612)이 누름 어셈블리(608)에서 제외될 수 있다고 알려졌다. 그러한 변형이 조립의 용이성과 비용면에서 유리하지만 어느정도 구동효율을 손상시킬 수도 있을 것이다.

누름 어셈블리(608)의 한두개 부품들이 선택적으로 하우징에 키 고정되거나, 그렇지 않으면 실질적으로 고정된 회전관계로 보지될 수 있다. 이렇게 되면 장착 및 조정나사의 조정중에 어셈블리를 통해 전달된 토크부하를 저감시키거나 제거할 수 있을 것이다. 누름 어셈블리들(608)을 통한 토그부하를 실질적으로 저감시키거나 제거함으로써, 조립중에 MEMS 스캐너의 장착패드들(214)에 인가되는 토크부하가 사실상 제로가 되어, 장착패드들(214)이 약간 회전하여 생기는 공진주파수 및/또는 주사각 범위의 불리한 변동이 생기지 않도록 MEMS 스캐너(202)를 보호한다.

도 7은 압전 스택 액추에이터(602)의 도면이다. 그러한 액추에이터는 http://www.physikinstrumente.de model PICMA 885.10을 포함한 몇개의 소스들로부터 구입할 수 있다.

도 8과 도 9는 LBP, 바코드 스캐너, LIDAR, 스캔 레이저 레벨등에 사용할 MEMS 스캐너 하우징(802)의 도면들이다. 2개의 정면판(804a)(804b)가 장착 나사들(808a, 808b, 808c, 808d)에 의해 배면 하우징(806)에 조여진다. MEMS 스캐너(202)는 적절한 회전량만 허용되는 공동안에 보지된다. 나사홈이 있는 조정나사구멍(810a, 810b, 810c 및 810d)는 해당 조정나사 수용공(620)(도 6에 도시됨)안으로 돌출하는 조정나사(도시안됨)를 수용한다. 조립중에 조정나사를 돌려 시리즈 디스크 스프링(612)(도시안됨)에 적절한 양의 예비부하를 제공한다. 배면 하우징(806)의 맨위에 형성된 MEMS 관찰구(812)를 통해 작동중인 MEMS 스캐너의 거동을 관찰할 수 있다. MEMS 스캐너 에셈블리(802)는 하우징(806)에 형성된 장착탭(814a, 814b)를 거쳐 LBP의 노출장치에 고정된다.

하우징(802)에 MEMS 스캐너(202)를 고정시키는데 클램프(608)를 사용하는 것은 "부동하는(float)"는 마운트가 되어 장착패드들(214)이 서로 약간씩 이동하게끔 한다. 몇 실시예들에서 조립중에 클램프들(608)을 약간 비틀면 장착패드들(214)이 동일 평면내에서 약간 비틀리게 된다. 이로써 MEMS 스캐너의 지렛대 부재 및/또는 토션 암들에 원치않는 잔류응력이 생길 수 있다. 저감된 스캔각도로 수시간동안 고정된 스캐너를 가동시키거나 "소진"(burning-in)시킴으로써 이러한 비틀림(twisting)이 제거되거나 저감될 수 있다. 예시된 실시예에서 스캐너는 거의 4시간 동안 절반의 진폭으로 가동된다. 이러한 소진 과정은 지렛대 부재들 및/또는 토션 암들의 기계적 고장과 관련된 "유치한" 고장의 발생율을 저감시킬 수 있다. 대안으로써 스캐너 어셈블리 소진의 필요성을 없애거나 줄이기 위해서 비틀림 감소 클램프 어셈블리 디자인으로 대체될 수도 있다.

MEMS 스캐너(202)가 4개의 압전스택들(602)로 구동될 수 있고, 각 스택은 마운팅패드(214a)(214b)(214c) 및 (214d) 밑에 하나씩 설치된다. 대안으로 MEMS 스캐너의 일단부는 고정위치에 보지될 수 있다. 즉 마운팅 패드들(214c)(214d)이 견고한 마운팅 지점에 체결되고, MEMS 스캐너의 타단부는 압전 액추에이터들에 의해 구동될 수 있다. 즉 마운팅 패드들(214a)(214b)가 도 6에 도시된 대로 압전스택들에 체결될 수 있다. 세번째 대안으로서, 세개의 마운팅 패드들이 고정된 견고한 마운팅 지점에 체결되고 하나의 압전 스택 액추에이터가 사용된다. 전형적으로 비용대 액추에이터 전력 조건에 따라 선택이 갈린다. 아시다시피 도 2B 또는 도 3에 제시된 바와 같은 MEMS 스캐너(202) 디자인에 유사한 고려를 할 수도 있다.

전술한 대로, 원하는 동작 주파수의 수 Hz 범위내에서 공진주파수를 갖도록 MEMS 스캐너가 조정된다. 도 4의 곡선(402)에서 알 수 있듯이, 공진주파수의 변화가 조금만 있어도, 주어진 주기적 작동전압에 대해 회전진폭에 상당한 변동이 있게 된다. 발명자들이 발견한 바에 의하면, 예시된 실시예에서 MEMS 스캐너가 외측 프레임을 갖지 않더라도 MEMS 장치의 가열을 제어하면 공진주파수와 작동진폭이 조정되었다. 다시 도 6을 참조하면, 클램프(608a)의 제 1 누름판(610)위에 뻗어있는 태브(tab)는, (도시안됨) 클램프(608b)의 해당 누름판이 그러하듯이, 히터 와이어를 수용한다. 마찬가지로, 마운팅 패드들(214c)(214d)(역시 도시되어 있지 않음)에 인접해 있는 해당 누름판들도 히터 와이어들을 수용한다. 이 히터 와이어들은 제 1 누름판의 튀어나온 금박 태브에 납땜하거나, 예컨대 마운팅 패드(214)위에 형성된 금속화 시리콘본드 패드에 납땜하거나, 당업자들에게 알려진 다른 방법들에 의해 부착될 수 있다.

MEMS 스캐너의 일단부에 있는 두 마운팅 패드들 또는 클램프들에 히터 리드선들이 부착될 경우 인접한 리드선들 사이에 전류가 흐르지 않도록 리드선들의 전위가 동일하게 유지되는 것이 바람직하다. 반대로, MEMS 스캐너의 타단부에 있는 히터 리드선이나 리드선들은 토션 암들을 따라 전류흐름을 일으키도록 다른 전압으로 구동될 수도 있다.

사용시에, 센서들이 스캔 크기를 감시하고, 스캐너(202)의 두 단부들(마운팅 패드(214a)(214b)가 일단부을 형성하고 마운팅 패드(214c)(214d)가 타단부를 형성한다)사이의 전위가 조정된다. 전류가 흐르도록 전술한 실리콘 소재 자체와 도핑 채널, 특히 토션 암들(206a)(206b)의 저항에 의해 가열된다. 온도가 높을수록 토션 암들의 "연화"(softening)와 공진주파수의 대응하는 감소가 일어난다. 그래서 공진주파수가 주기적인 구동신호 주파수 위에 있을 경우 가열이 증가되어 MEMS 스캐너의 온도가 증가되고, 그래서 이 구동신호 주파수에 일치하도록 공진주파수를 조정한다. 마찬가지로, MEMS 스캐너의 공진주파수가 구동신호 주파수 아래로 떨어질 경우 가열이 감소되어 장치를 냉각시키며 공진주파수를 구동신호 주파수에 일치하게 상승시킨다. 다른 실시예에서, 주어진 시스템 디자인에 대해 스캐너가 공진주파수에서 정확하게 작동하지 않는 경우라도 스캐크기를 변화시키기 위해 열 조정(thermal trimming)이 사용될 수 있다.

실험에 의하면 0～1.5W의 튜닝전력이 약 8㎐의 공진주파수 튜닝범위을 제공한다고 알려졌다. 아마도 동작중에 스캐너 위로 흐르는 공기흐름이 냉각효과를 주는 결과, 위와 같은 범위는 스캐닝 주파수가 높을 수록 약간 더 낮고, 스캐닝 주파수가 더 낮을 수록 약간 더 높다.

도 10으로 다시 돌아가면, MEMS 스캐너를 구동시키기 위한 제어시스템(1002)를 보여주는 블록 다이어그램이다. 많은 애플리케이션들에 있어서 MEMS 스캐너의 위상과 진폭을 정확하게 제어하는 것이 유리하다. 바코드 스캐너, 레이저 카메라, 주사빔 디스플레이, 전자사진식 프린터 등을 포함하는 주사빔 애플리케이션들은 MEMS 스캐너 위상 및/또는 진폭의 정밀한 제어를 통해 이득을 볼 수 있다.

마찬가지로, 스캐너 공진주파수의 정밀한 제어를 통해 전력소모를 최소화시킬 수 있고, 지금까지 흔히 시행되어오던 다소간의 공진 이탈이 아니라 스캐너의 동작을 바로 공진주파수에서 가능하게 함으로써 어떤 애플리케이션들이 가능하게 되었다.

도 10의 제어시스템(1002)의 블록도는 MEMS 스캐너를 구동시키고 제어하는 3개의 중첩되는 서보루프들을 포함하는데, 즉 진폭제어 서보루프(1004), 위상제어 서보루프(1006), 그리고 주파수제어 서보루프(1008)이 각각 중간 쇄선, 짧은 쇄선, 긴 쇄선으로 표시되어 있다.

우선 진폭제어 서보루프(1004)를 보면, 저전압 구동신호(1009)가 고전압 증폭기(1010)에 의해 증폭되어, 압전 드라이버 스택들(602) 형태로 하나이상의 액추에이터들을 구동시키는 주기적인 고전압 구동신호(1011)를 생성하여 공진 MEMS 스캔 미러(202)에 주기적인 발진을 유도한다. 아시다시피, 액추에이터의 자기, 정전기, 열 등의 타입들과 같은 다른 액추에이터 기술들이 압전 액추에이터(602)를 대신할 수 있다.

MEMS 스캔 미러(202)의 위상, 진폭, 위치 및/또는 속도를 모니터링하는데 다양한 기술들이 사용될 수 있다. 예시된 실시예에서 미러에 의해 편향된 광빔은 약 20% 오버스캔을 포함하며, 그래서 화상영역의 가장자리는 80% 스캔으로 끝난다. 1쌍의 인접한 센서영역들로 이루어진 광검출기(1012)는 그 중앙지점(센서 영역들 사이 영역의 중심)이 스캔범위의 85%에 있도록 위치조정된다. 한 센서 영역의 출력은 컨버터(1014)에 의해 다른 센서영역의 출력에서 차감된다. 컨버터(1014)는 빔이 스캔범위의 중심 85%를 넘는 시간양에 비례하는 부전압을 스캔진폭신호(1016)으로 출력하는 차이 및 펄스폭 대 전압 컨버터이다.

마이크로프로세서(1018)는 가산기(1022)에서 스캔진폭신호(1016)에 가산되는 진폭 설정점 전압신호(1020)를 설정하여 기본(raw) 진폭에러신호(1024)를 발생시킨다. 그래서 스캔진폭이 원하는 값보다 더 크면 부 스캔진폭신호(1016)의 절대값이 설정점 신호(1020)의 절대값 보다 클 것이고 기본 진폭에러신호(1024)가 음수가 될 것이다. 역으로, 스캔진폭이 원하는 값보다 작으면 부 스캔진폭신호(1016)의 절대값이 설정점 신호(1020)의 절대값 보다 작고, 기본 진폭에러신호(1024)가 양수가 될 것이다.

기본 진폭에러신호(1024)가 비례적분 제어장치(proportional integral controller : PIC)(1026)에 공급된다. PIC(1026)는 조정된 진폭에러신호(1028)를 발생시킨다. PIC(1026)는 스캔진폭의 변동에 의한 시스템 응답을 감쇠시키는 역할을 한다. PIC는 기본 진폭에러신호(1024)의 변동치들을 평균화시키고, 고전압 구동신호에 영향을 주도록 진폭에러의 변화를 피드백시키는 속도를 제어하는 기능을 함으로써 진폭 제어 서보루프(1004)의 안정성과 성능를 높인다.

기본 구동신호(1030)은 MEMS 스캐너를 구동시키는 명목상 위상보정 신호인 주기적 저전압 신호이다. 기본 구동신호(1030)은 이득회로(1032)에 의해 수신되고 증폭되어 저전압 구동신호(1009)를 생성한다. 그래서 MEMS 스캐너(202)의 진폭이 너무 낮다고 보이면, 이득회로(1032)의 기본 구동신호(1030)와 곱해져서 비교적 큰 진폭 저전압 구동신호(1009)를 발생시키는 조정된 진폭에러신호(1028)은 비교적 높은 전압이다. MEMS 스캐너(202)의 진폭이 너무 높다고 보이면, 이득회로(1032)의 기본구동신호(1030)과 곱해져서 비교적 낮은 저전압 구동신호(1009)를 발생시키는 조정된 진폭에러신호(1028)는 비교적 낮은 전압이다. 어느 경우이든 설정점 전압신호(1020)로서 마이크로프로세서(1018)에 의해 설정된 소망값으로 진폭크기를 되돌려놓는 역할을 한다.

위상 제어 서보루프(1006)는 위상고정루프로서 작동한다. 진폭제어 서보루프(1004)와 연관되어 전술한 컨버터(1014)는 수평등기화 신호(1035)로서 호스트 컨트롤러에 다시 보내지는 위상마크신호(1034)를 발생시킨다. 위상마크신호(1034)는 하나의 에지, 즉 하나의 스캔방향을 사용하여 상기 차감된 디텍터 쌍 신호들에서 발생된다. 기준신호(1036)과 위상마크신호(1024)의 유사한 에지들이 제 1 위상주파수 디텍터(1038)에 의해 비교된다. 제 1 위상주파수 디텍터(1038)는 기본 위상에러신호(1040)들 상에 주기적인 스파이크들을 발생시키고, 이 스파이크들의 폭은 위사에러에 비례하며, 스파이크들의 부호는 위상마크신호(1034)가 기준 신호(1036)에 대해 빠른지 또는 느린지를 나타낸다.

제 1 로패스필터(1042)는 기본 위상에러신호(1040)상의 주기적인 스파이크들을 제 1 조정된 위상에러신호(1044)로서 dc전압으로 변환한다. 위상마크(1034)가 기준신호(1036)에 대해 빠르면 제 1 로패스필터(1042)는 제 1 조정된 위상에러신호(1044)를 비교적 낮은 값으로 설정한다. 역으로 위상마크(1034)가 기준신호(1036)에 대해 느리면 제 1 로패스필터(1042)는 제 1 조정된 위상에러신호(1044)를 비교적 높은 값으로 설정한다.

제 1 조절된 위상에러신호(1044)가 전압제어식 구동파형 발생기(1046)에 보내진다. 제 1 조절된 위상에러신호(1044)의 전압은 상기 전압제어식 구동파형 발생기(1046)이 출력한 기본 구동신호(1030)의 주파수를 결정한다.

그래서, 위상마크신호(1034)가 기준신호(1036)에 대해 빠르면 제 1 위상주파수 디텍터(1038)가 기본위상 에러신호(1040)에 부 스파이크(negutive spike)를 출력하고, 이 스파이크의 폭은 위상마크신호(1034)와 기준신호(1036) 사이의 에러크기에 비례하고, 기본 위상에러신호(1040)에 나타난 일련의 부 스파이크들이 제 1 로패스필터(1042)를 구동시켜 제 1 조절된 위상에러신호(1044)상에 비교적 낮은 전압을 출력하고, 이 전압은 기본 위상에러신호(1040)상의 스파이크 폭들이 좁으면 적당하게 낮고 스파이크 폭들이 더 넓으면 더 많이 낮아지며, 제 1 조절된 위상에러신호(1044)에 낮은 전압이 나타나면 전압제어식 구동파형 발생기(1046)가 더 낮은 주파수 기본 구동신호(1030)을 출력하게 하고, 위상에 있어서 작은 편차(제 1 조절된 위상에러신호(1044)상에 적당히 낮은 전압)가 주파수의 적당한 감소를 일으키고, 위상에 있어서 비교적 더 큰 편차(제 1 조절된 위상에러신호(1044)상에 더 낮은 전압)가 주파수의 더 큰 감소를 일으키며; 주파수가 낮아지면 MEMS 미러의 위상을 지연시키는 역할을 해서 위상마크신호(1034)가 다소 더 늦게 출력되어 위상마크신호(1034)를 되돌려보내 기준신호(1036)에 동기화 시키며, 결국 기준신호(1036)에 위상고정시킨다.

위상마크신호(1034)가 기준신호(1036)에 대해 늦으면 제 1 조절된 위상에러신호(1044)의 전압이 증가되어 기본 구동신호(1030)의 구동주파수가 증가하게 되고, 마찬가지로 위상마크신호(1034)를 되돌려보내 기분신호(1036)에 동기화시킨다. 로패스 필터(1042)의 시간상수는 위상서보제어시스템(1006)에 감쇠(damping)를 제공하는 역할을 한다.

공진주파수 서보제어루프(1008)를 참조하면, 구동신호와 스캐너 응답의 상대적 위상들을 사용하여 MEMS 스캐너 공진주파수를 조절한다. 도 4와 관련하여 설명했듯이, MEMS 스캐너 응답위상은 곡선(408)로 예시한 주파수를 가지고 구동위상에 대해 변화한다. 스캐너 진폭응답곡선(402)내 1차 스파이크에서, 구동신호와 스캐너 응답간의 위상관계는 1차 공진피크 아래 위상일치 (0°)에서 1차 공진피크 위 위상불일치(-180°)로 빠르게 전환되며 1차 공진피크에서 90°를 통과한다. 공진주파수 서보제어루프(1008)는 이와 같은 위상응답변화를 이용하여 MEMS 스캐너의 공진응답을 구동주파수에 일치하도록 계속 동조시킨다.

공진응답의 1차 피크에서 구동신호에 대한 MEMS 소자 위상응답은 0°에서 -180°로 급속히 전환되고 공진피크에서 -90°를 통과한다. 이런 전환은 도표의 넓은 주파수 범위때문에 도 4에서 사실상 순간적으로 보이지만, 실제로는 몇 ㎐에 걸쳐 일어난다. 그래서 공진피크에서 MEMS 스캐너의 동작을 나타내면서 -90°에서 위상마크신호(1034)와 구동신호(1030)사이의 위상 오프셋을 유지시키는 것이 바람직하다.

예시된 실시예에 의하면, MEMS 스캐너 공진주파수의 시간 종속성을 이용하는 것이 유익하다. 위상마크신호(1034)는 제 2 위상주파수 디텍터(1048)에 의해 기본 구동신호(1030)에 비교되고, 디텍터(1048)은 제 2 로패스필터(1050)와 협동하여 제 2 조절된 위상에러신호(1052)를 발생시킨다. 제 2 위상주파수 디텍터(1048)은 위상마크신호(1034)와 구동신호

(1030) 사이의 위상차가 -90°일때 제 2 조절된 위상에러신호에 명목전압을 출력시키고 상대위상이 -90°와 -180°사이일 때 그 전압을 증가시키고, 상대위상이 0°와 -90°사이일때 그 전압을 감소시키도록 설정되어 있다. 이 명목전압이란 공진주파수를 구동주파수에 일치시키도록 MEMS 스캐너(202)를 통해 흐르는 전류를 설정하는데 적절한 전압이다. 전술한 실시예에 의하면, MEMS 스캐너는 실온에서 명목 동작전압보다 수 Hz 높게 1차 공진피크를 실온에서 명목 동작전압보다 수 Hz 높게 1차 공진피크를 갖도록 제작과정에서 마무리된다. 공진주파수 서보제어루프(1008)에 의해 전류가 공급되어, 도시된 바와 같이 MEMS 스캐너(202)의 공진주파수를 구동주파수(1030)에 일치하게 저감시킨다.

시스템이 작동중에 있을때 (시동후) 스위치(1054)는 통상적으로 닫혀있다. 그래서 제 2 조절된 위상제어신호(1052)상의 전압이 히터증폭기(1056)에 보내진다. 위상마크신호(1034)와 구동신호(1030) 사이의 위상치가 -90°와 -180°사이에 있을때 제 2 위상주파수 디텍터(1048)와 제 2 로패스 필터(1050)가 협동하여 -90°에서 벗어난 각도에 비례하여 제 2 조절된 위상에러신호(1052)상의 전압을 증가시킨다. 그래서 미러응답의 위상 구동신호의 위상보다 늦은 경우 히터 증폭기(1056)를 구동시켜 MEMS 스캐너(202) 양단에 전압을 설정한다. 이러한 조건은 구동주파수보다 더 높은 미러의 공진피크에 대응한다.

전술한 바와 같이, 반도체성 MEMS 스캐너(202)에 걸린 전위를 높이면 스캐너 내부의 주울열이 늘어나 온도상승이 된다. MEMS 스캐너(202)의 온도가 올라가면 그 피크공진 주파수가 낮아진다. 그래서 MEMS 스캐너(202)의 피크공진 주파수가 구동신호 주파수보다 높은 경우 그 위상은 구동신호의 위상보다 약 90°아래로 늦어지는 경향이 있고, 공진주파수 서보제어루프(1008)는 스캐너의 온도를 증가시켜 위상차가 적절한 관계에 있도록 해서 MEMS 스캐너(202)의 피크공진 주파수를 구동신호 주파수와 일치하게 저감시킨다. 반대로 MEMS 스캐너(202)가 충분히 가열되어 그 피크공진주파수를 구동주파수 아래로 낮추면, 그 위상은 구동신호보다 약 90°이상 늦어지는 경향이 있고, 그러면 제어루프가 히터전류 흐름을 저감시켜 위상차가 다시 -90°로 될 때까지 피크공진주파수를 약간 올려 구동주파수와 일치하게 한다. 이러한 제어루프에 의해 스캐너는 자신의 피크공진주파수에서 작동하게 되어 액추에이터 전력조건을 최소화시킨다.

도 10을 참조하면, 마이크로프로세서(1018)는 통신장비(1058)와 주변온도센서(1060)을 포함한다. 제 2 조절된 위상에러신호(1052)와 주변온도센서(1060)을 포함한다. 제 2 조절된 위상에러신호(1052)와 위상마크신호(1034)가 마이크로프로세서(1018)에 보내지고 제어라인들(1062)(1064)이 각자 스위치(1054)와 히터 증폭기(1056)에 연결된다. 이런 특징들이 시스템 시동과정에서 사용된다.

도 11은 도 10에 도시한 시스템(1002)이 사용한 시동방법을 보여주는 흐름도이다. 프로세스(1102)에 대응하는 아이들 상태중에 파워가 켜지면, 가상조작된 피드백을 사용하여 위상제어루프(1006)와 공진주파수 제어루프(1008)이 둘다 가동된다. 무선, 마이크로프로세서(1018)가 라인(1044)상에 전압을 설정하여 전압제어방식 파형발생기(1046)에 보낸다. 그다음에 기본구동신호라인(1032)는 (도시안됨) 컨버터에 대한 입력으로 작용하고, 컨버터는 제 1 위상주파수 디텍터(1038)에 모의 위상마크신호(1034)를 출력한다. 제 1 위상주파수 디텍터(1038)은 상기 모의 위상마크신호(1034)를 기준신호(1036)과 비교하여 제 1 로패스필터(1042)에 기본위상에러신호(1040)을 출력하고, 이어서 필터는 조절된 위상에러신호(1044)에 전압을 설정한다. 그래서 위상 서보제어루프(1006)은 MEMS 스캐너 운동과 검출에 무관하게 계속 돌아간다.

공진주파수 서보제어루프(1008)를 돌리기 위해 마이크로프로세서(1018)는 주위온도센서(1060)에서 주위온도를 읽는다. 이 온도센서값은 디지털 값으로 변환되어 공진주파수 룩업테이블(LUT)(도시안됨)에 대한 지수(index)로서 작용한다. 최종 공진주파수 LUT값은 D/A 컨버터(DAC)를 구동시켜 합성된 공진주파수 전압신호(1064)를 구동히터증폭기(1056)에 출력시킨다.

동작중인 경우와 마찬가지로, 히터 증폭기(1056)가 MEMS 스캐너(202) 양단에 전압을 설정하고, 주울가열은 공진주파수 LUT값에 대응하는 온도까지 MEMS 스캐너의 온도을 상승시킨다. 몇가지 실시예에서, 스캐너 공진주파수를 목표동작주파수, 예컨대 5㎑에 마무리하는데 필요한 스캐너 온도를 결정함으로써, 각 MEMS 스캐너(202)에 대한 공진주파수 LUT가 공장계수조정단계에서 유도된다. 다른 실시예에서, LUT는 한조의 MEMS 스캐너들에 대해서 또는 모든 MEMS 스캐너들에 대해서 설정될 수 있다. 그래서 프로세스(1102)에 대응하는 아이들 상태에서 공진주파수를 기준신호(1036) 주파수에 일치시키도록 설정된 명목 동작온도에서 MEMS 스캐너(202)를 유지시키도록 공진주파수 서보제어 루프(1008)이 조작된다.

주위온도를 감지하는 대신에, 온도센서(1060)가 MEMS 스캐너(202)에 열결합되어 그 온도를 측정할 수 있다.

파워온 아이들 프로세스(1102)에 있는 동안, 마이크로프로세서(1018)는 조건부 스텝(1104)으로 표시된 대로 시동신호가 인터페이스(1052)를 거쳐 호스트 컨트롤러에서 수신되었는지를 판정하도록 점검한다. "아니오"라는 판단으로 표시되듯이 시동신호가 호스트 컨트롤러에서 접수될때까지 파워온 아이들 프로세스(1102)는 계속된다. 시동신호가 접수되면 임베디

드 소프트웨어가 시동진폭제어프로세스(1106)로 진행한다. 시동 진폭제어 프로세스(1106)에 들어가면, 마이크로프로세서(1018)는 저전압 구동신호(1009)가 고전압 증폭기(1010)를 구동시키도록 설정하여 고전압 구동신호(1011)를 최대 진폭으로 발생키겨, 압전 스텍 액추에이터(602)를 과구동시키면 스캔진폭이 급증가하게 된다. 하나의 시동실시예에 의하면, 고전압 구동신호(1011)는 6~60 볼트의 크기를 갖는 5㎑ 기준주파수의 정현파로 되어있다. 이 실시예에서 MEMS 스캐너는 단지 20㎳동안에 명목 스캔각도의 90%에 도달하도록 구동되어, 그 결과 약 0~20볼트의 더 낮은 명목 정상 구동전압을 인가한 경우보다 시스템 시동이 더 빨라졌다.

다른 실시예에서, 고전압 구동신호는 액추에이터(602)의 유전 항복 전압(dielectric breakdown voltage) 가까이까지 훨씬 더 크게 설정될 수도 있다. 높은 시동 구동전압들은 너무 인가시간이 짧아 액추에이터의 열 한계값을 넘지 않을 정도로 비교적 짧은 시간에 걸쳐 인가되기 때문에 가능한 것이다.

시동 진폭제어 프로세스(1106)동안에 시스템은 판단프로세스(1108)에 표시한 대로 안정된 위상마크신호(1034)를 구한다. 몇개의 연속적인 위상마크들을 평균하여 이들이 진폭제어 서보루프(1004) 조건에 맞다고 판정하는 회로(도시안됨)를 모니터링함으로써 안정된 위상마크신호가 판정된다. 일단 안정된 위상마크신호가 존재하면, 스캔빔이 광학 진폭 센서들(1012)를 교차하도록 비교적 일정한 주파수에서 충분한 진폭으로 MEMS 스캐너(202)가 작동하는 것이고, 프로세스가 폐쇄로프 진폭제어 프로세스(1110)으로 진행하고, 여기서 스태너 진폭이 진폭제어 서보루프(1004)에 의해 제어된다. 폐쇄루프 진폭제어 프로세스(1110)에 진입하면 PIC(1026)는 전술한 바와 같이 안정된 동작에 일치하는 속도로 구동진폭에 변화를 준다.

"대기(wait)" 프로세스(1112)에서, 시스템이 시스템 안정화를 확신하도록 대기하는 동안 폐쇄루프 진폭제어 프로세스(1110)가 계속된다. 한 실시예에 의하면, 폐쇄루프 위상제어 프로세스(1114)로 진행하기 전에 시스템은 100㎳ 정도 대기하며, 여기서 컨버터(1014)에 의해 생생된 위상마크 신호(1034)가 1차 위상주파수 디텍터(1038)에 결합되고, 기본 구동신호(1030)에서 발생된 합성 위상마크신호가 분리된다. 프로세스91114)는 MEMS 스캐너(202) 주파수를 기분 신호(1036) 주파수에 교정시켜서, 전술한 대로 위상제어 서보루프(1006)를 위상잠금루프로서 사용한다.

폐쇄루프 위상제어 프로세스(1114)가 진행되는 동안, 프로세스(1116)에 표시한 대로 시스템은 예컨대 30㎳동안 중단된다. 대기 프로세스(1116)이 완료된 후 시스템은 폐쇄루프 진공주파수 제어 프로세스(1118)에 진입하고, 여기서 공진주파수 서보루프(1008)가 개입한다. 스위치(1062)를 닫고 그와 거의 동시에 마이크로프로세서(1018)에서 DAC신호(1064)의 출력을 중단시킴으로써 공진주파수 서보루프(1008)이 개입된다. 이로써 도 10과 연관하여 설명한 방법에 따라 제 2 조건부 위상제어신호(1052)가 히터 증폭기(1056)를 구동시킨다.

예시된 실시예에 의하면, 도 11의 시동 프로세스는 호스트 컨트롤러에서 시동명령을 받은 후 2초 미만의 시간내에 스캐닝 시스템의 안정된 동작을 끌어낸다.

전술한 본 발명의 개관, 도면의 간단한 설명, 상세한 설명은 당업자가 용이하게 이해할 수 있도록 예시적 실시예들로 설명되었지만 본 발명의 구조, 방법등은 청구항들에 의해서만 제한되며 균등한 사항은 발명의 범위는 포함된다.

도면의 간단한 설명

도 1은 회전 다각형 스캐너가 있는 빔 스캐닝 시스템을 설명하는 다이어그램,

도 2a는 일 실시예에 따라 만들어진 MEMS 스캐너의 평면도,

도 2b는 더 다른 실시예에 따라 만들어진 MEMS 스캐너의 평면도,

도 3은 더 다른 실시예에 따라 만들어진 MEMS 스캐너의 사시도,

도 4는 도 3의 MEMS 스캐너의 다이내믹 응답을 설명하는 그래프,

도 5a는 제조시 실리콘 웨이퍼상에 다수의 MEMS 장치가 어떻게 배열되는지를 설명하는 그래프,

도 5b는 하나의 웨이퍼상의 MEMS 장치의 선택적인 레이아웃을 설명하는 도,

도 6은 MEMS 장착 클램프,

도 7은 도 6의 액추에이터를 형성하는데 사용되는 압전 스택의 상세도,

도 8은 빔 스캐닝 서브시스템에서의 사용을 위한 MEMS 스캐너 패키지의 전면 사시도,

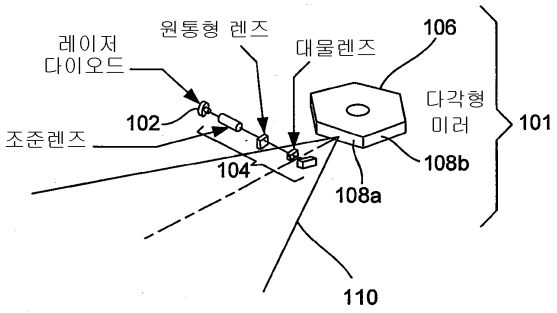
도 9는 도 8의 MEMS 스캐너 패키지의 두 개의 사시도,

도 10은 MEMS 스캐너를 구동하기 위한 제어 시스템의 블럭 다이어그램, 및

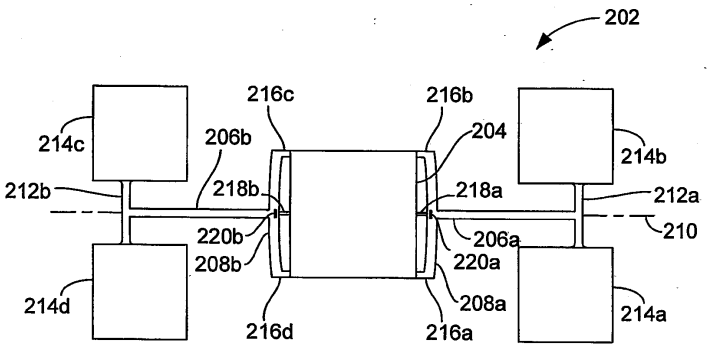
도 11은 MEMS 스캐너를 구동하기 위한 시작 방법을 보여주는 흐름도이다.

도면

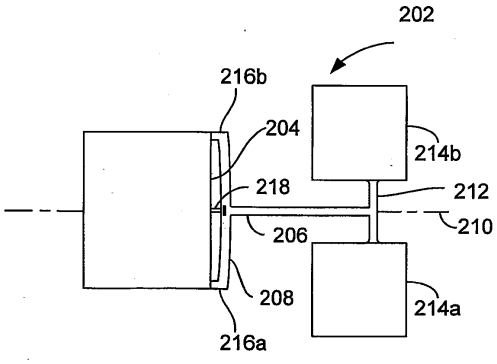
도면1



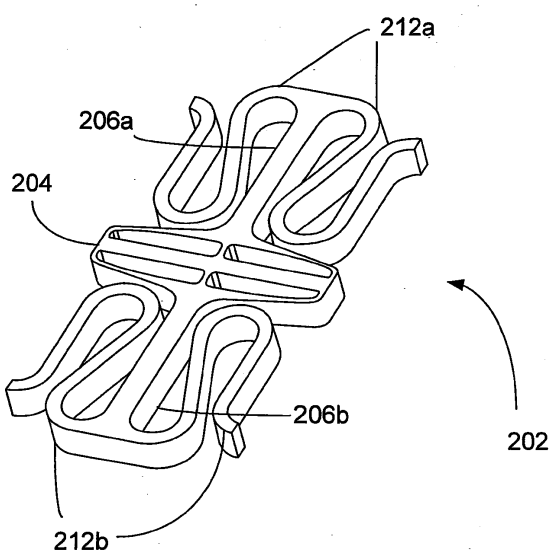
도면2a



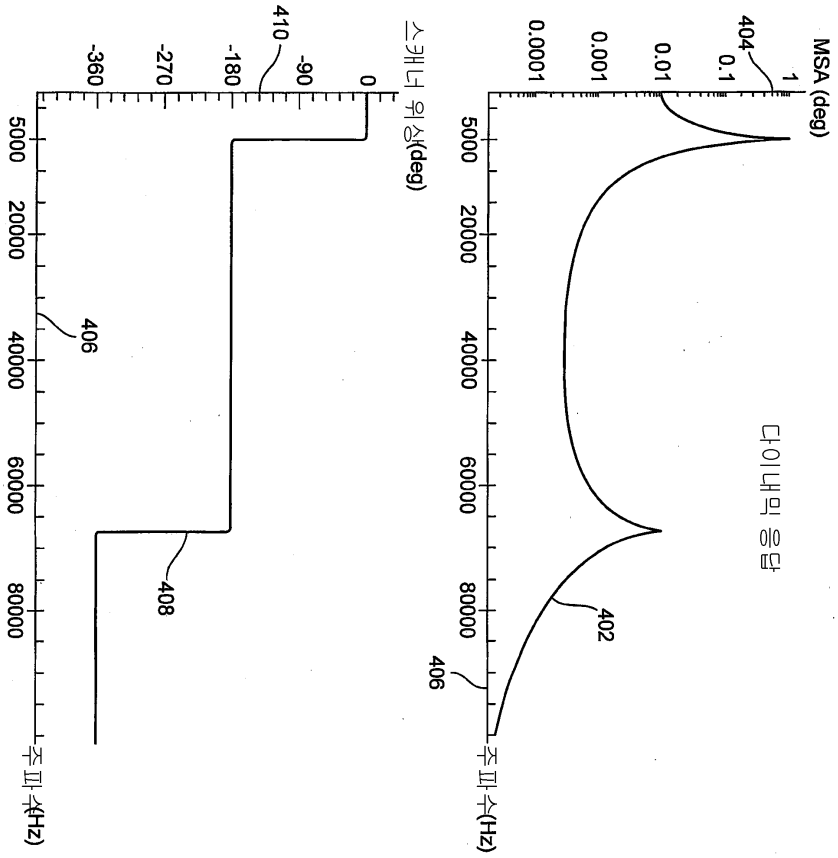
도면2b


202
216b
204
214b
218
212
210
206
208
214a
216a

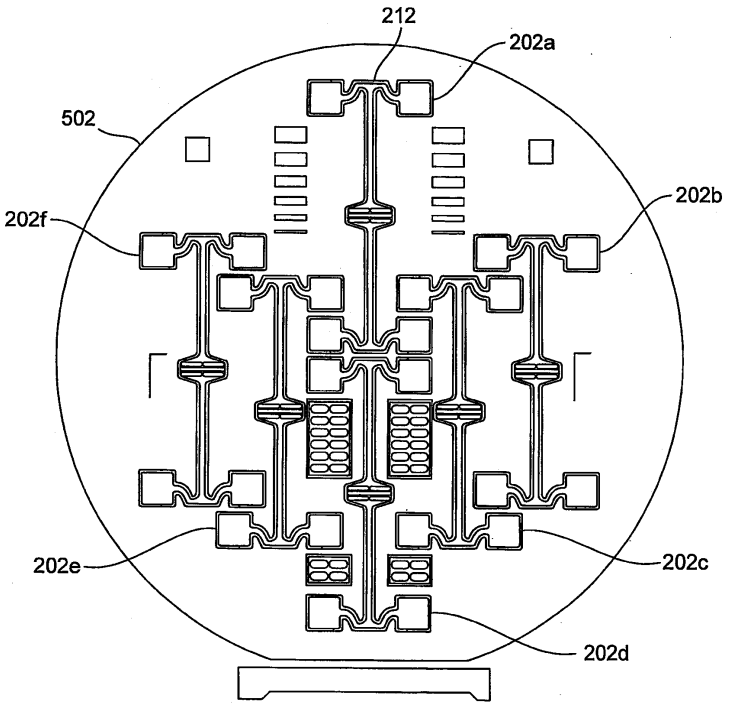
도면3


212a
206a
204
206b
202
212b

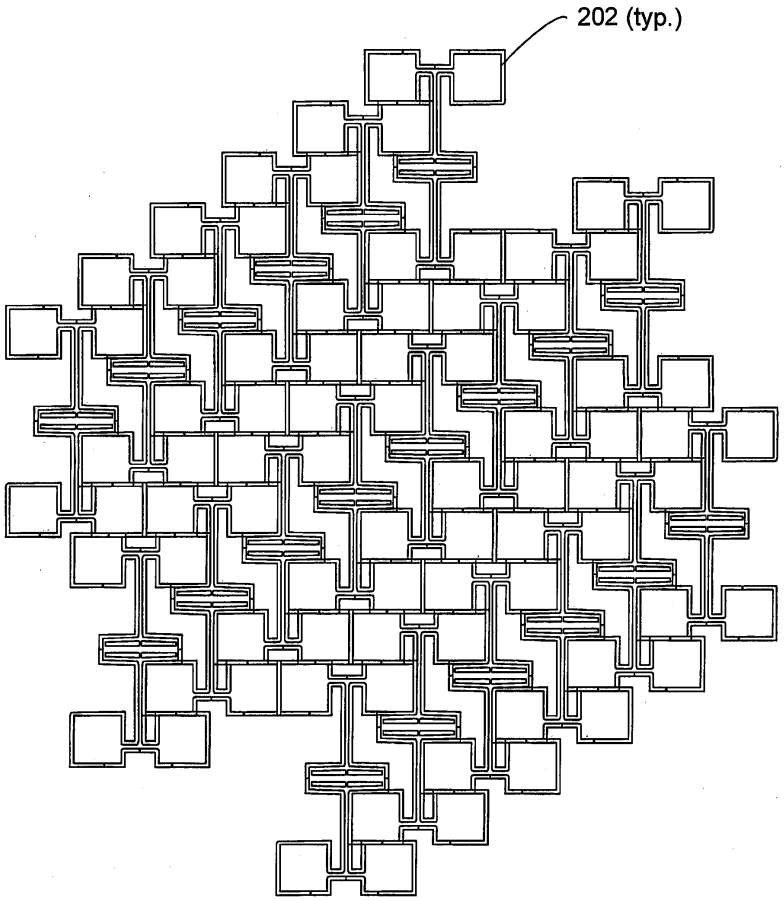
도면4


MSA (deg)
1
0.1
0.01
0.001
0.0001
404
5000
20000
40000
60000
80000
406
402
408
410
0
-90
-180
-270
-360
스캐너 위상(deg)
주파수(Hz)
다이내믹 응답

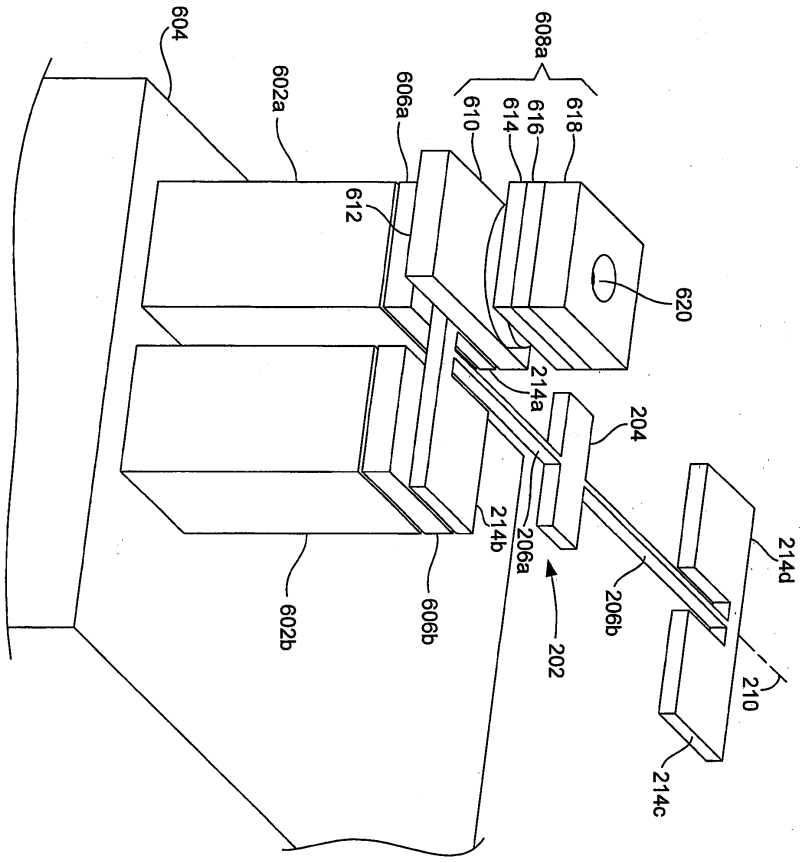
도면5a


212
202a
502
202b
202f
202e
202c
202d

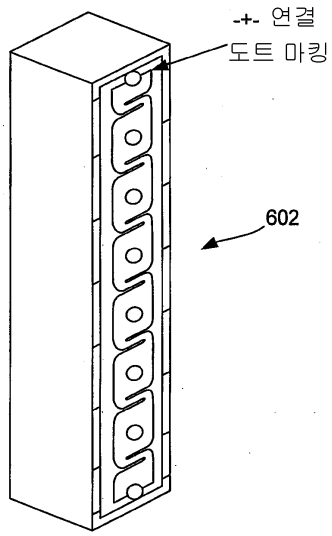
도면5b



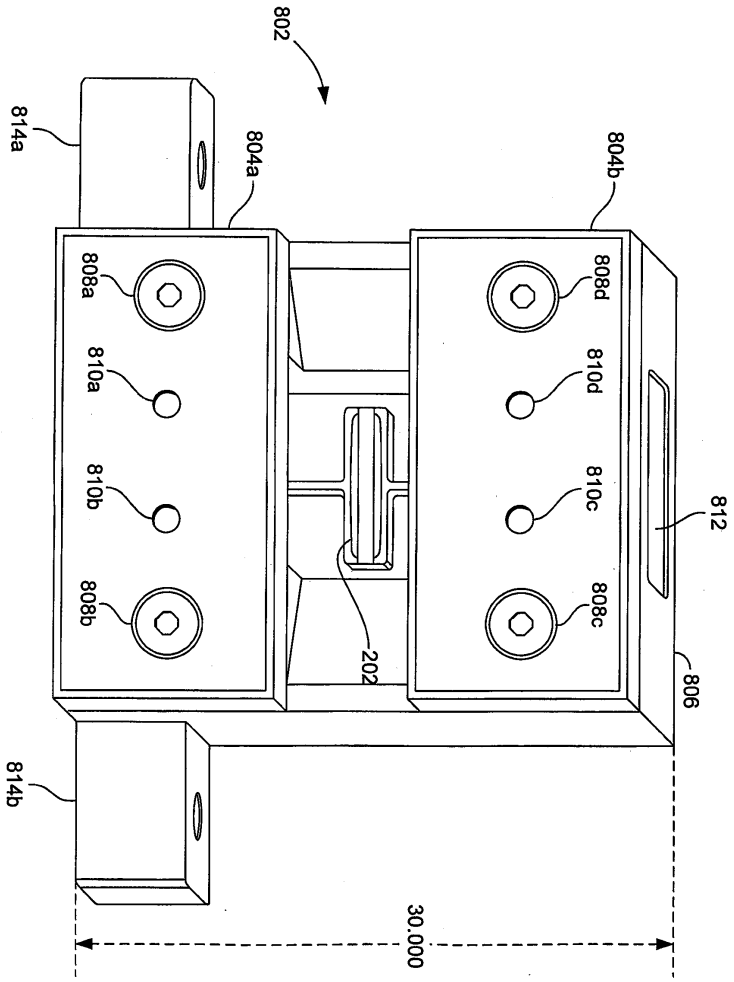
도면6


604
602a
606a
608a
610
614
616
618
612
620
214a
204
214b
206a
206b
214d
210
214c
202
602b
606b

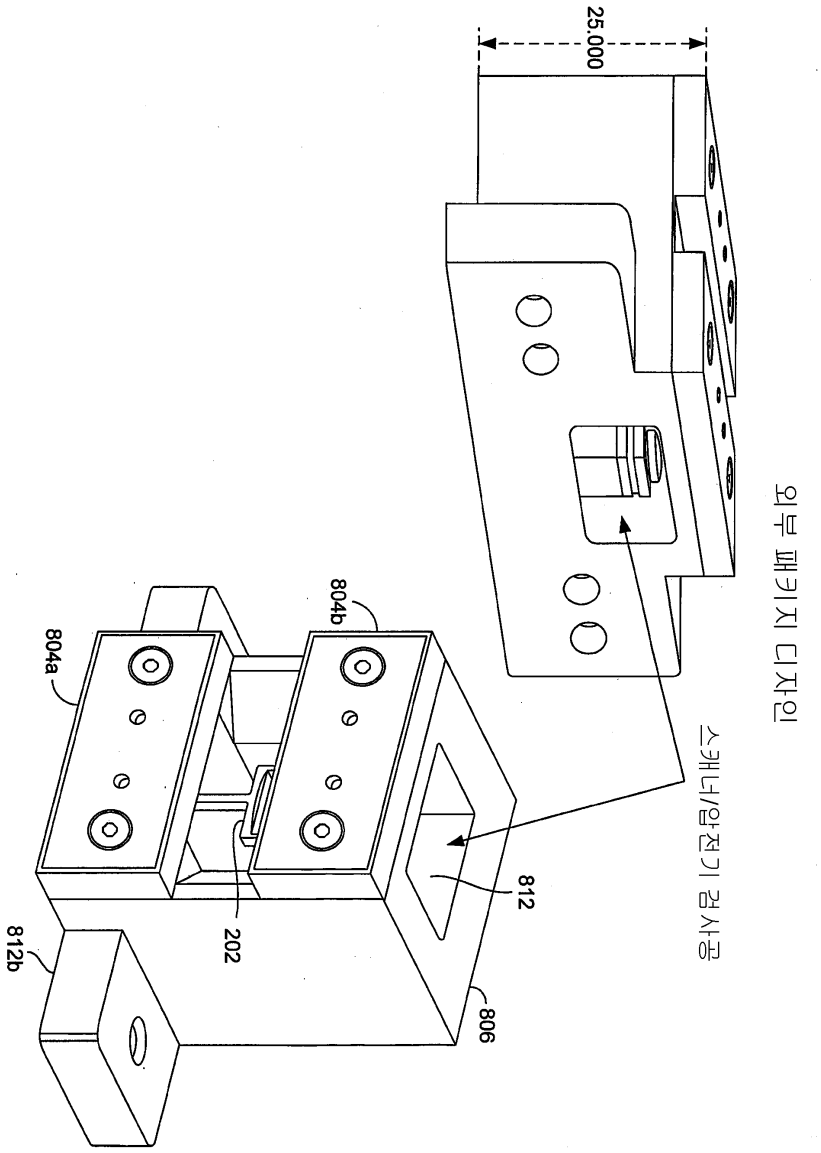
도면7


+- 연결
도트 마킹
602

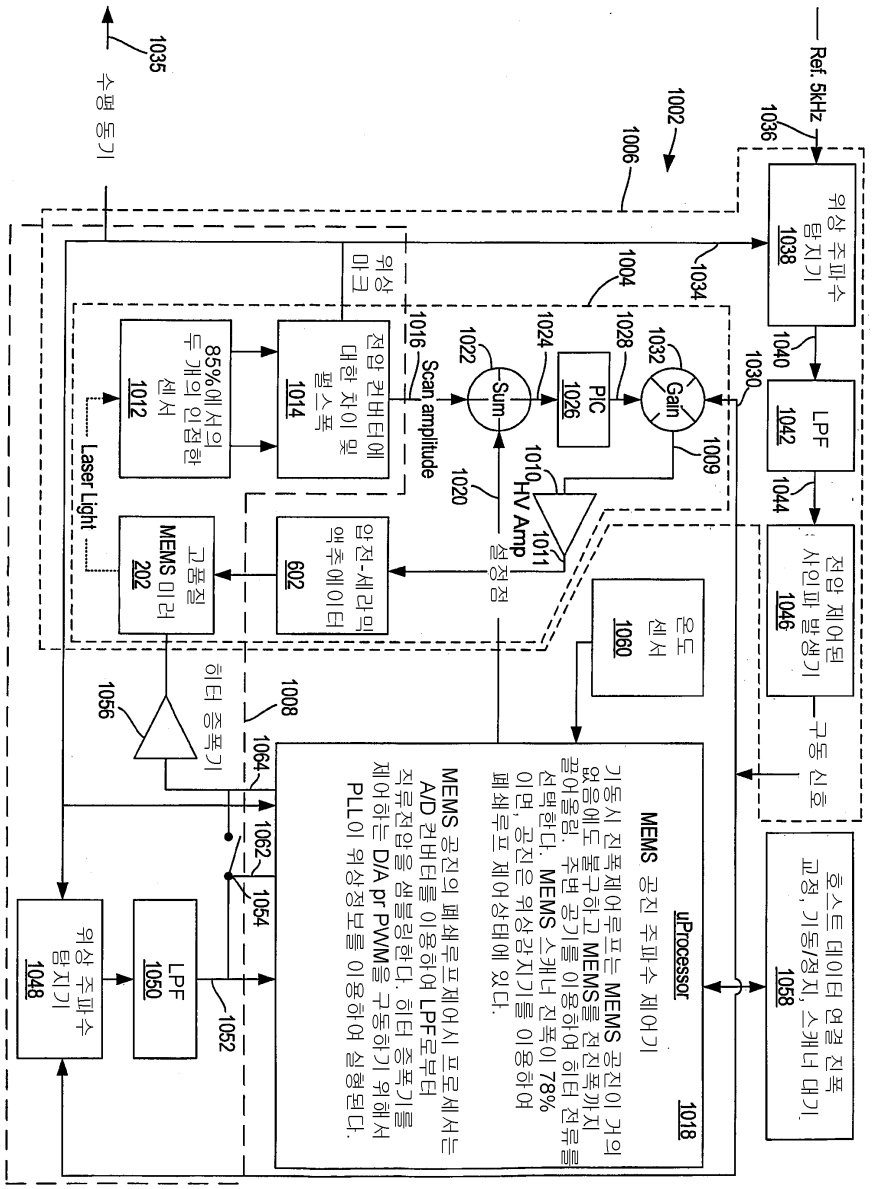
도면8


802
814a
804a
804b
808a
810a
810b
808b
808d
810d
810c
808c
812
202
806
814b
30.000

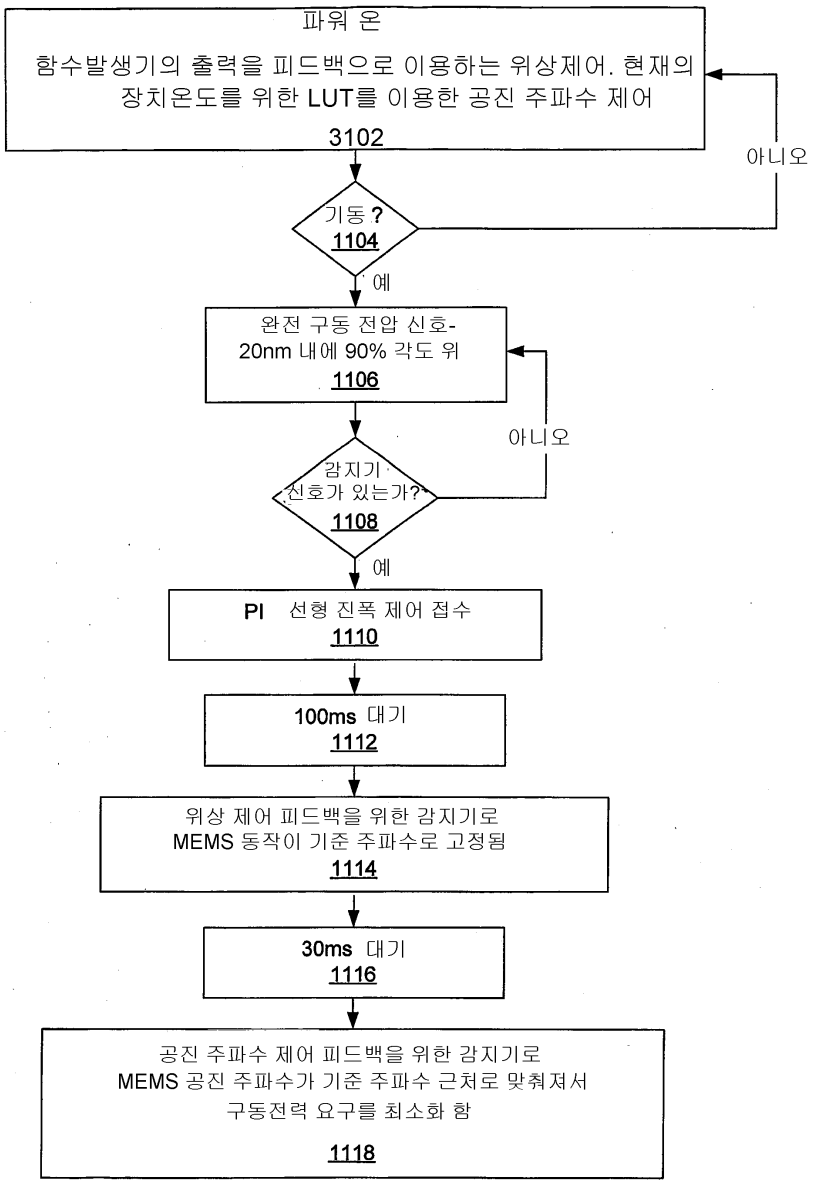
도면9



도면10


Ref. 5kHz
1036
위상 주파수 탐지기 1038
1002
1006
1034
1004
1040
LPF 1042
1044
전압 제어된 사인파 발생기 1046
구동 신호
호스트 데이터 연결 전폭 교정, 기동/정지, 스캐너 대기 1058
uProcessor MEMS 공진 주파수 제어기 1018
기동시 진폭제어루프는 MEMS 공진이 거의 없음에도 불구하고 MEMS를 전 진폭까지 끌어올림. 주변 공기를 이용하여 히터 전류를 선택한다. MEMS 스캐너 진폭이 78% 이면, 공진은 위상감지기를 이용하여 폐쇄루프 제어상태에 있다.
MEMS 공진의 폐쇄루프제어시 프로세서는 A/D 컨버터를 이용하여 LPF로부터 직류전압을 샘플링한다. 히터 증폭기를 제어하는 D/A pr PWM을 구동하기 위해서 PLL이 위상정보를 이용하여 실행된다.
1008
1064
1062
1054
1052
LPF 1050
위상 주파수 탐지기 1048
1056
히터 증폭기
1035
수평 동기
위상 마크
1030
1028
1032
Gain
1024
PIC 1026
1022
Sum
1016
Scan amplitude
1020
1010
HV Amp
1011
설정점
1009
전압 컨버터에 대한 차이 및 펄스폭 1014
85%에서의 두 개의 인접한 센서 1012
Laser Light
고품질 MEMS 미러 202
압전-세라믹 액추에이터 602
온도 센서 1060

도면11


파워 온
함수발생기의 출력을 피드백으로 이용하는 위상제어. 현재의 장치온도를 위한 LUT를 이용한 공진 주파수 제어
3102
아니오
기동 ?
1104
예
완전 구동 전압 신호-20nm 내에 90% 각도 위
1106
아니오
감지기 신호가 있는가?
1108
예
PI 선형 진폭 제어 접수
1110
100ms 대기
1112
위상 제어 피드백을 위한 감지기로 MEMS 동작이 기준 주파수로 고정됨
1114
30ms 대기
1116
공진 주파수 제어 피드백을 위한 감지기로 MEMS 공진 주파수가 기준 주파수 근처로 맞춰져서 구동전력 요구를 최소화 함
1118