



(19) 대한민국특허청(KR)
(12) 공개특허공보(A)

(11) 공개번호 10-2013-0018986
(43) 공개일자 2013년02월25일

- | | |
|---|---|
| <p>(51) 국제특허분류(Int. Cl.)
B81B 3/00 (2006.01) B81C 1/00 (2006.01)</p> <p>(21) 출원번호 10-2013-7000554(분할)</p> <p>(22) 출원일자(국제) 2006년07월20일
심사청구일자 2013년02월06일</p> <p>(62) 원출원 특허 10-2008-7004235
원출원일자(국제) 2006년07월20일
심사청구일자 2011년07월15일</p> <p>(85) 번역문제출일자 2013년01월08일</p> <p>(86) 국제출원번호 PCT/US2006/028342</p> <p>(87) 국제공개번호 WO 2007/014022
국제공개일자 2007년02월01일</p> <p>(30) 우선권주장
60/170,019 2005년08월19일 미국(US)
60/701,655 2005년07월22일 미국(US)</p> | <p>(71) 출원인
켈컴 엠이엠에스 테크놀로지스, 인크.
미국 92121-1714 캘리포니아 샌디에고 모어하우스 드라이브 5775</p> <p>(72) 발명자
츄이, 클래런스
미국 캘리포니아 94402 산 마테오 로스 알토스 드라이브 1954</p> <p>정원석
미국 캘리포니아 95129 산호세 라고 비스타 씨클 4877
(뒷면에 계속)</p> <p>(74) 대리인
특허법인아주양현</p> |
|---|---|

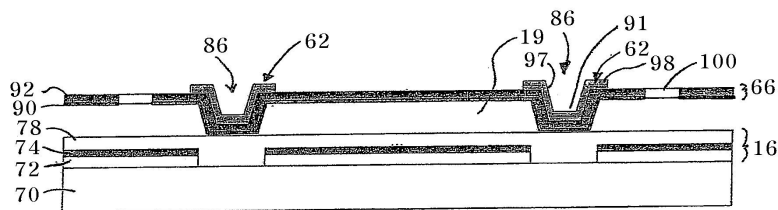
전체 청구항 수 : 총 25 항

(54) 발명의 명칭 지지 구조물들을 가지는 전자기계 장치들 및 그 제조방법들

(57) 요약

MEMS 장치들의 실시예들은 도전성 고정층으로부터 캡을 가지고 이격되는 도전성 이동 가능층을 포함한다. 도전성 이동 가능층은 경한 지지 구조물들, 도전성 이동 가능층 안에 있는 함몰부들 위에 놓이는 리벳들, 또는 도전성 이동 가능층 안에 있는 함몰부들 아래에 놓이는 기둥들에 의해 지지된다. 임의의 실시예들에서, 리벳 구조물들의 일부 영역들은 이동 가능층을 통해서 연장되고 아래에 놓이는 층들과 접촉한다. 다른 실시예들에서, 경한 지지 구조물들을 형성하기 위해 사용되는 물질은, 다른 상황에서 MEMS 장치들과 전기적으로 접촉하도록 노출된 전기적 리드들을 충격이나 다른 간섭으로부터 보호하기 위해 그 전기 리드들을 패시베이팅하는데 또한 사용될 수도 있다.

대표도 - 도9j



(72) 발명자

간티, 수르야, 프라캐쉬

미국 캘리포니아 94089 씨니베일 아파트 넘버 202
모스 애비뉴 1158

코타리, 매니쉬

미국 캘리포니아 95014 쿠퍼티노 팜 애비뉴 22460

마일즈, 마크, 떠블류.

미국 캘리포니아 94123 샌프란시스코 포트 메이슨
빌딩 43

샘프셀, 제프리, 비.

미국 캘리포니아 95110 산호세 넘버 4202 라일랜드
스트리트 190

사사가와, 테루오

미국 캘리포니아 95032 로스 가토스 넘버 18 로스
가토스 블러바드 16345

특허청구의 범위

청구항 1

기판;

상기 기판 위에 위치하는 전극층;

상기 전극층 위에 위치하고 상기 전극층으로부터 일반적으로 에어 갭(air gap)을 가지고 이격되며 지지 영역들 안에 함몰부들을 포함하는 이동 가능층; 및

상기 이동 가능층 안에 있는 상기 함몰부들 사이에 적어도 부분적으로 형성되고 상기 이동 가능층 위에 형성된 강성(rigid) 구조물들을 포함하는 MEMS 장치.

청구항 2

제1항에 있어서, 상기 강성 지지 구조물들은 상기 이동 가능층의 상면 위에 있는 상기 함몰부들 외부에서 연장되는 MEMS 장치.

청구항 3

제1항에 있어서, 상기 지지 구조물은 상기 이동 가능층 안에 있는 구멍을 통해서 아래에 놓이는 층까지 연장되는 MEMS 장치.

청구항 4

제3항에 있어서, 상기 이동 가능층 안에 있는 상기 함몰부들은 실제로 평탄한 바닥부를 포함하고, 상기 이동 가능층 안에 있는 상기 구멍은 상기 실제로 평탄한 바닥부를 통해서 연장되는 MEMS 장치.

청구항 5

제3항에 있어서, 상기 이동 가능층 안에 있는 상기 함몰부들은 측벽들을 포함하고, 상기 이동 가능층 안에 있는 상기 구멍은 상기 이동 가능층의 측벽을 통해서 연장되는 MEMS 장치.

청구항 6

제1항에 있어서, 상기 이동 가능층 아래에 위치하고 상기 이동 가능층 안에 있는 상기 함몰부들 근처에서 연장되는 추가 물질로 이루어진 칼럼들을 더 포함하고, 추가 물질로 이루어진 상기 칼럼들은 상기 위에 놓이는 지지 구조물을 추가적으로 지지하는 MEMS 장치.

청구항 7

제1항에 있어서, 상기 기판 위에 위치하고 상기 이동 가능층과 통신하는 제1리드; 및

상기 기판 위에 위치하고 상기 전극층과 통신하는 제2리드를 더 포함하는 MEMS 장치.

청구항 8

제7항에 있어서, 상기 제1리드 또는 상기 제2리드 중 하나의 적어도 일부 영역 위에 형성된 보호 물질 패치(patch)를 더 포함하고, 상기 보호 물질 패치 및 상기 강성 지지 구조물들은 동일한 물질로 형성되는 MEMS 장치.

청구항 9

제7항에 있어서, 상기 이동 가능층은 기계 부계층을 포함하고, 상기 제1리드는 상기 기계 부계층의 물질과 동일한 물질로 형성되는 MEMS 장치.

청구항 10

제7항에 있어서, 상기 제2리드는 니켈로 이루어진 층과 직접적으로 접촉하는 ITO로 이루어진 층을 포함하는

MEMS 장치.

청구항 11

제1항에 있어서, 상기 전극층과 상기 에어 갭 사이에 위치하는 유전층을 더 포함하는 MEMS 장치.

청구항 12

제1항에 있어서, 상기 지지 구조물들은 알루미늄, AlO_x , 실리콘 산화물, SiN_x , 니켈 및 크롬으로 이루어진 군으로부터 선택된 적어도 하나의 물질을 포함하는 MEMS 장치.

청구항 13

제1항에 있어서, 상기 이동 가능층 위에 위치하고 상기 함몰부들로부터 이격된 적어도 하나의 리브 구조물을 더 포함하고, 상기 리브 구조물은 상기 지지 구조물들과 동일한 물질로 형성되는 MEMS 장치.

청구항 14

제1항에 있어서, 상기 이동 가능층은 반사 부계층 및 기계 부계층을 포함하고, 상기 기계층 안에 있는 상기 함몰부들은 상기 지지 영역들 안에서 적어도 상기 기계 부계층 안에 있는 함몰부들을 포함하는 MEMS 장치.

청구항 15

제1항에 있어서, 상기 지지 구조물들 위에 위치하는 보호층을 더 포함하는 MEMS 장치.

청구항 16

제1항에 있어서, 이미지 데이터를 처리하도록 구성되고, 상기 전극층 및 상기 이동 가능층 중 적어도 하나와 전기적으로 통신하는 프로세서; 및

상기 프로세서와 전기적으로 통신하도록 구성된 메모리 장치를 더 포함하는 MEMS 장치.

청구항 17

제16항에 있어서, 적어도 하나의 신호를 상기 전극층 및 상기 이동 가능층 중 적어도 하나에 보내도록 구성된 드라이버 회로를 더 포함하는 MEMS 장치.

청구항 18

제17항에 있어서, 상기 이미지 데이터의 적어도 일부를 상기 드라이버 회로에 보내도록 구성된 제어기를 더 포함하는 MEMS 장치.

청구항 19

제16항에 있어서, 상기 이미지 데이터를 상기 프로세서에 보내도록 구성된 이미지 소스 모듈(image source module)을 더 포함하는 MEMS 장치.

청구항 20

제19항에 있어서, 상기 이미지 소스 모듈은 수신기, 트랜시버(transceiver) 및 송신기 중 적어도 하나를 포함하는 MEMS 장치.

청구항 21

제16항에 있어서, 입력 데이터를 받고 상기 프로세서에 상기 입력 데이터를 전달하도록 구성된 입력 장치를 더 포함하는 MEMS 장치.

청구항 22

제1 전기적 도전 수단;

제2 전기적 도전 수단; 및

상기 제1도전 수단 위에 있는 상기 제2도전 수단을 지지하기 위한 수단을 포함하되,

상기 지지 수단은 상기 제2도전 수단의 일부 영역들 위에 놓이고, 상기 제2도전 수단은 상기 제1도전 수단과 상기 제2도전 수단 사이에서 정전기 전위를 생성하는 것에 응답하여 상기 제1도전 수단에 대하여 이동 가능한 MEMS 장치.

청구항 23

제22항에 있어서, 상기 제1도전 수단은 기판에 의해 지지되는 전극층을 포함하는 MEMS 장치.

청구항 24

제22항에 있어서, 상기 제2도전 수단은 이동 가능층을 포함하고, 그 일부 영역들은 캐비티에 의해 상기 제1도전 수단으로부터 이격되어 있는 MEMS 장치.

청구항 25

제24항에 있어서, 상기 지지 수단은 상기 제2도전 수단 위와 상기 제2도전 수단 안에 있는 함몰부들 사이에서 적어도 부분적으로 형성된 적어도 하나의 지지 구조물을 포함하는 MEMS 장치.

명세서

기술분야

[0001] 관련 출원들의 상호 참조

[0002] 본 출원은, 35 U.S.C. § 119(e)에 따라서, 2005년 7월 22일자로 출원된 미연방 가출원 일련 번호 60/701,655 및 2005년 8월 19일자로 출원된 미연방 가출원 일련 번호 60/710,019의 우선권을 주장하며, 그 각각의 전문은 상호 참조로서 여기에 포함된다.

[0003] 기술분야

[0004] 본 발명은 지지 구조물들을 가지는 MEMS 장치들 및 그 제조 방법들에 관한 것이다.

배경 기술

[0005] 마이크로 전자 기계 시스템들(MEMS)은 마이크로 기계 부품들, 액츄에이터들 및 전자 기기들을 포함한다. 마이크로 기계 부품들은 기판들 및/또는 증착된 물질층들의 일부를 에칭해 내거나 층들을 추가하여 전기 및 전자 기계 장치들을 형성하는 증착, 에칭 및/또는 다른 마이크로 머시닝(micromachining) 공정들을 이용하여 형성될 수도 있다. MEMS 장치의 한 형태로는 간섭계 변조기(interferometric modulator)가 있다. 본 명세서에서 사용된 것처럼, 간섭계 변조기 또는 간섭 광 변조기(interferometric light modulator)라는 용어는 광학적 간섭 원리들을 이용하여 빛을 선택적으로 흡수 및/또는 반사하는 장치를 의미한다. 어떤 실시예들에 있어서, 간섭계 변조기는 한 쌍의 도전판들을 포함할 수도 있는데, 상기 한 쌍의 도전판은 적어도 하나가 전체 또는 부분적으로 투과형 및/또는 반사형일 수도 있고 적절히 인가된 전기 신호에 의해 상대 운동을 할 수 있다.

발명의 내용

해결하려는 과제

[0006] 특별한 실시예에서, 하나의 도전판은 기판에 증착된 고정층을 포함할 수도 있고, 다른 하나의 도전판은 에어 갭(air gap)에 의해 고정층과 분리된 금속막을 포함할 수도 있다. 본 명세서에서 보다 더 상세히 설명하는 바와 같이, 도전판들의 상대적 위치에 의해서 간섭계 변조기로 입사되는 빛의 광학적 간섭은 변경될 수 있다. 이러한 장치들의 사용 범위는 광범위한데, 기존의 제품들을 향상시키는데 있어서, 그리고 아직 개발되지 않은 새로운 제품들을 만들어 내는데 있어서 이러한 유형의 장치 특성들이 사용될 수 있도록 이들 장치들의 특징들을 이용 및/또는 변경하는 것은 해당 기술 분야에서 유용할 것이다.

과제의 해결 수단

[0007] 일 실시예에서, 기판을 제공하는 단계; 기판 위에 전극층을 증착하는 단계; 전극층 위에 희생층을 증착하는 단

계; 구멍들을 형성하기 위해 희생층을 패터닝하는 단계; 희생층 위에 이동 가능층을 증착하는 단계; 희생층 안에 있는 구멍들 사이에서 적어도 부분적으로 놓이고 이동 가능층 위에 놓이는 지지 구조물들을 형성하는 단계; 및 희생층을 제거하여 이동 가능층과 전극층 사이에 캐비티(cavity)를 형성하도록 희생층을 에칭하는 단계를 포함하는 MEMS 장치 제조 방법이 제공된다. 다른 실시예에서, 기판; 기판 위에 위치하는 전극층; 전극층 위에 위치하고 에어 갭(air gap)에 의해 전극층으로부터 일반적으로 이격되며 지지 영역들 안에서 함몰부들을 포함하는 이동 가능층; 및 이동 가능층 안에 있는 함몰부들 사이에서 적어도 부분적으로 형성되고 이동 가능층 위에 형성된 강성(rigid) 지지 구조물들을 포함하는 MEMS 장치가 제공된다.

[0008] 다른 실시예에서, 제1도전 수단; 제2도전 수단; 및 제1도전 수단 위에 제2도전 수단을 지지하기 위한 수단을 포함하고, 지지 수단은 제2도전 수단의 일부 영역들 위에 놓이고, 제2도전 수단은 제1도전 수단과 제2도전 수단 사이에서 정전기 전위를 생성하는 것에 응답하여 제1도전 수단에 대하여 이동 가능한 MEMS 장치가 제공된다.

[0009] 다른 실시예에서, 기판을 제공하는 단계를 포함하고; 기판 위에 전극층을 증착하는 단계를 포함하고; 전극층 위에 희생층을 증착하는 단계를 포함하고; 구멍들을 형성하기 위해 희생층을 패터닝하는 단계를 포함하고; 희생층 위에 지지 구조물들을 형성하는 단계를 포함하고, 여기서 지지 구조물들은 희생 물질 안에 있는 구멍들 사이에서 적어도 부분적으로 형성되고 희생 물질의 실제적으로 평탄한 일부 영역 위로 연장되는 실제적으로 수평한 날개부를 포함하고; 그리고 지지 구조물들 및 희생층 위에 이동 가능층을 증착하는 단계를 포함하는 MEMS 장치 제조 방법이 제공된다.

[0010] 다른 실시예에서, 기판; 기판 위에 위치하는 전극층; 전극층 위에 위치하고 전극층으로부터 일반적으로 갭을 가지고 이격되는 이동 가능층; 및 이동 가능층의 적어도 일부 영역 아래에 놓이는 지지 구조물들을 포함하고, 지지 구조물들은 전극층으로부터 갭을 가지고 이격되는 실제적으로 수평한 날개부를 포함하는 MEMS 장치가 제공된다.

[0011] 다른 실시예에서, 제1도전 수단; 제2도전 수단; 및 제1도전 수단 위에 제2도전 수단을 지지하기 위한 수단을 포함하고, 제2도전 수단은 지지 수단 위에 놓이고, 제2도전 수단은 제1도전 수단과 제2도전 수단 사이에서 정전기 전위를 생성하는 것에 응답하여 제1도전 수단에 대하여 이동 가능하고, 지지 수단은 제1도전 수단으로부터 이격되고 실제적으로 수평한 날개부를 포함하는 MEMS 장치가 제공된다.

도면의 간단한 설명

[0012] 도 1은 제1간섭계 변조기의 이동 가능한 반사층이 이완(relaxed) 위치에 있고, 제2간섭계 변조기의 이동 가능한 반사층이 작동 위치에 있는 간섭계 변조기 표시기의 일 실시예의 일부를 도시하는 등각 투상도이다.

도 2는 3×3 간섭계 변조기 디스플레이를 결합한 전자 장치의 일 실시예를 도시하는 시스템 블록도이다.

도 3은 도 1의 간섭계 변조기의 예시적 일 실시예에 대해 이동 가능한 미러(movable mirror)의 위치 대 인가된 전압을 도시하는 도면이다.

도 4는 간섭계 변조기 디스플레이를 구동하는데 사용될 수도 있는 로우(row) 전압들 및 칼럼(column) 전압들의 세트를 도시하는 도면이다.

도 5a는 도 2의 3×3 간섭계 변조기 디스플레이에서 디스플레이 데이터의 예시적 일 프레임(frame)을 도시하는 도면이다.

도 5b는 도 5a의 프레임을 쓰기(write)에 이용할 수도 있는 로우 신호들과 칼럼 신호들에 대한 예시적인 타이밍 도면을 도시한다.

도 6a 및 도 6b는 복수개의 간섭계 변조기들을 포함하는 비주얼 디스플레이(visual display) 장치의 일 실시예를 도시하는 시스템 블록도들이다.

도 7a는 도 1의 장치를 도시하는 단면도이다.

도 7b는 간섭계 변조기의 대안적인 실시예를 도시하는 단면도이다.

도 7c는 간섭계 변조기의 다른 대안적인 실시예를 도시하는 단면도이다.

도 7d는 간섭계 변조기의 또 다른 대안적인 실시예를 도시하는 단면도이다.

도 7e는 간섭계 변조기의 추가적이고 대안적인 실시예를 도시하는 단면도이다.

도 8은 각각의 요소들이 지지 구조물들을 포함하는 간접계 변조기 요소들의 어레이를 도시하는 평면도이다.

도 9a 내지 도 9j는 이동 가능층 위에 위치한 지지 구조물들을 포함하는 간접계 변조기 요소 제조 방법을 개략적으로 도시하는 단면도들이다.

도 10은 도 9a 내지 도 9j의 방법에 의해 제조되고 그 지지 구조물들이 좀 더 두꺼운 간접계 변조기 요소를 개략적으로 도시하는 단면도들이다.

도 11a 내지 도 11g는 무기질(inorganic) 기둥 지지 구조물들을 가진 간접계 변조기 제조 공정에서 임의의 단계들을 개략적으로 도시하는 단면도들이다.

도 12a 내지 도 12d는 이동 가능층 위와 아래 모두에 위치하는 지지 구조물들을 포함하는 간접계 변조기 제조 공정에서 임의의 단계들을 개략적으로 도시하는 단면도들이다.

도 13a 내지 도 13e는 이동 가능층이 제조되는 실제적으로 평탄한 표면을 형성하기 위해 이용되는 포토레지스트 마스크의 일부 영역이 있는 간접계 변조기 제조 공정에서 임의의 단계들을 개략적으로 도시하는 단면도들이다.

도 14a 내지 도 14c는 이동 가능 구조물들 및 지지 구조물들을 형성하기 이전에 반사층의 일부 영역들을 선택적으로 제거하도록 수행될 수도 있는 단계들을 개략적으로 도시하는 단면도들이다.

도 15a 내지 도 15c는 이동 가능 구조물들 및 지지 구조물들을 형성하기 이전에 반사층의 일부 영역들을 선택적으로 제거하도록 수행될 수도 있는 대안적인 단계들을 개략적으로 도시하는 단면도들이다.

도 16a 및 도 16b는 무기질 기둥들을 형성하는 희생 물질을 에칭 공정으로부터 보호하는 에칭 배리어 층을 가지는 간접계 변조기 제조 공정에서 임의의 단계들을 개략적으로 도시하는 단면도들이다.

도 17a 및 도 17b는 희생 물질로부터 무기질 기둥들을 분리하는 에칭 배리어 층을 가지는 간접계 변조기 제조 공정에서 임의의 단계들을 개략적으로 도시하는 단면도들이다.

도 18은 희생 물질로부터 무기질 기둥들을 분리하는 에칭 배리어 층이 부분적으로 제거되는, 부분적으로 제조된 간접계 변조기를 개략적으로 도시하는 단면도이다.

도 19는 에칭 배리어 층의 일부 영역을 제거하기 위해 기둥 구조물이 하드 마스크(hard mask)로서 사용되는, 부분적으로 제조된 간접계 변조기를 개략적으로 도시하는 단면도이다.

도 20은 부착층이 이동 가능층에 지지 구조물을 고정하는, 간접계 변조기의 제조에서의 일 단계를 개략적으로 도시하는 단면도이다.

도 21은 보호층이 리벳 구조물을 분리하는, 간접계 변조기 제조에서의 일 단계를 개략적으로 도시하는 단면도이다.

도 22는 아래에 놓인 광학 스택에 리벳 구조물이 직접적으로 고정되는, 간접계 변조기의 제조에서의 일 단계를 개략적으로 도시하는 단면도이다.

도 23a 내지 도 23e는 무기질 기둥을 형성하기 위해 도금 공정이 사용되는, 간접계 변조기의 제조에서 임의의 단계들을 개략적으로 도시하는 단면도들이다.

도 24a 및 도 24b는 아노다이징된(즉, 양극화성된: anodized) 재질로 형성된 지지 기둥들을 가지는 간접계 변조기의 제조에서 임의의 단계들을 개략적으로 도시하는 단면도들이다.

도 25a 내지 도 25h는 이동 가능층 위에 위치한 지지 구조물들 및 이동 가능층 아래에 위치한 희생 물질을 포함하는 추가적인 지지 구조물을 포함하는 간접계 변조기 요소의 제조 방법을 개략적으로 도시하는 단면도들이다.

도 26a, 도 26b 및 도 26d 내지 도 26e는 스핀 온 물질로 만들어진 대안적인 지지 구조물을 가지는 간접계 변조기의 제조에서 임의의 단계들을 개략적으로 도시하는 단면도들이다. 도 26c는 도 26b에서 부분적으로 제조된 간접계 변조기를 도시하는 평면도이다.

도 27은 지지 구조물의 일부 영역이 이동 가능층 아래에 놓이는, 간접계 변조기를 개략적으로 도시하는 단면도인데, 아래에 놓이는 지지대 구조물의 일부 영역은 위에 놓이는 지지대 구조물의 일부 영역과 동시에 형성된다.

도 28a 및 도 28b는 리벳 구조물을 형성하기 위해 도금 공정이 사용되는, 간접계 변조기의 제조에서 임의의 단계들을 개략적으로 도시하는 단면도들이다.

도 29는 간접계 변조기들로 이루어진 어레이의 일부 영역 및 어레이 안에 있는 스트립(strip) 전극들에 연결된 임의의 외부 구성 요소들을 도시하는 평면도이다.

도 30a 및 도 30b는 도 29의 30-30 라인을 따라 절단한, 스트립 전극에 연결된 리드의 형성에 있어서 임의의 단계들을 개략적으로 도시하는 단면도들이다.

도 31a 내지 도 31d는 도 29의 31-31 라인을 따라 절단한, 스트립 전극에 연결된 리드의 형성 및 패시베이팅(passivating)에 있어서 임의의 단계들을 개략적으로 도시하는 단면도들이다.

도 32는 도 29의 31-31 라인을 따라 절단한, 스트립 전극에 연결된 리드를 형성하고 패시베이팅하는 대안적인 방법에 있어서 일 단계를 개략적으로 도시하는 단면도이다.

도 33a 및 도 33b는 지지부 물질의 잔류 패치들(patches)에 의한 다양한 강직성(stiffness)을 가진 이동 가능층을 가지는 간접계 변조기를 제조하기 위한 방법에 있어서 여러 단계들을 개략적으로 도시하는 단면도들이다.

도 34는 도 33a 및 도 33b의 단계들을 이용하여 형성한 간접계 변조기 요소를 도시하는 평면도이다.

도 35a 내지 도 35h는 기계층으로부터 부분적으로 분리된 반사층을 포함하는 이동 가능층 및 이동 가능층의 일부 영역 아래에 놓이는 기둥 구조물을 가진 간접계 변조기를 제조하기 위한 방법에 있어서 여러 단계들을 개략적으로 도시하는 단면도들이다.

도 36a 내지 도 36c는 기계층으로부터 부분적으로 분리된 반사층의 상부면 상에 강직성 구조물들을 가지는 간접계 변조기를 제조하기 위한 방법에 있어서 여러 단계들을 개략적으로 도시하는 단면도들이다.

발명을 실시하기 위한 구체적인 내용

[0013] 아래의 상세한 설명은 본 발명의 어떤 특정 실시예들에 관한 것이지만, 본 발명은 다양한 방법들로 구현될 수 있다. 본 설명에서, 전체적으로 동일한 구성 요소들은 동일한 참조 번호들로 표시된다. 아래의 설명을 통해서 분명해지겠지만, 실시예들은 동영상(예를 들어, 비디오) 또는 정지 영상(예를 들어, 스틸 이미지(still image)) 및 문자 영상 또는 그림 영상과 같은 영상을 보여주도록 구성되는 어떠한 장치에서 구현될 수도 있다. 더 상세하게는, 휴대폰, 무선 장치들, PDA(personal data assistant), 초소형 또는 휴대용 컴퓨터, GPS 수신기/네비게이션, 카메라, MP3 플레이어, 캠코더, 게임 콘솔(game consoles), 손목 시계, 시계, 계산기, 텔레비전 모니터, 평면 패널 디스플레이 장치, 컴퓨터 모니터, 자동차 디스플레이 장치(예를 들어, 주행 기록계 디스플레이 장치, 콕핏 제어기(cockpit control) 및/또는 디스플레이 장치, 카메라 뷰 디스플레이 장치(예를 들어, 차량의 리어 뷰(rear view) 디스플레이 장치), 전자 사진, 전자 광고판 또는 사인(sign), 프로젝터, 건축 구조물, 포장물 및 미술 구조물(예를 들어 보석류의 이미지 디스플레이 장치)을 포함하지만 이에 한정되지는 않는 다양한 전자 장치들로 또는 그 다양한 전자 장치들과 관련되어 구현될 수도 있다는 것은 주목할 만하다. 여기에서 설명하는 것들과 유사한 구조체의 MEMS 장치들이 또한 전자 스위치 장치들에서와 같이 디스플레이 장치가 아닌 응용품들에 사용될 수 있다.

[0014]간접계 변조기 요소들과 같은 각각의 MEMS 요소들의 모서리들과 그 모서리들 사이에 지지 구조물들이 제공될 수도 있다. 임의의 실시예들에서, 이러한 지지 구조물들은 이동 가능층 안에 있는 함몰부들 위에 지지층들을 포함할 수도 있다. 알루미늄 또는 산화물들과 같은 강성 물질로 이러한 구조물들을 형성함으로써, 다소 경도가 낮은 물질로 형성된 구조물에 비해 MEMS 장치의 작동 안정성이 향상될 수 있다. 또한, 강성 물질을 사용하여 시간에 따른 지지 구조물들의 점진적인 열화 또는 변형과 관련된 문제를 완화하는데, 이러한 문제는 주어진 화소에 의해 반사된 색상에 있어서 점진적인 변이를 초래할 수 있다. 또한, 이러한 지지 구조물들은 MEMS 장치 위에 놓이기 때문에, MEMS 장치의 작동에 간섭되지 않고 필요한 만큼 두껍게 만들 수 있다. 임의의 실시예들에서, 위에 놓이는 지지 구조물들은 아래에 놓이는 고정층들과 접촉하도록 이동 가능층을 통해서 연장될 수도 있는데, 위에 놓이는 지지 구조물은 아래 놓이는 층들에 고착 및/또는 지지된다. 다른 실시예들에서, 이동 가능층의 일부 영역들에 강직성을 부여하기 위해 그리고, MEMS 장치 안이나 주위에 노출된 리드들을 패시베이팅하기 위해 지지 물질로 이루어진 잔류 패치들이 사용될 수도 있다.

[0015]다른 실시예들에서, 이러한 지지 구조물들은 MEMS 요소 내에서 이동 가능층 아래에 놓이는 구조물들을 포함할 수도 있다. 금속 또는 산화물들과 같은 강성 무기 물질을 사용하여 이러한 구조물들을 형성함으로써, 덜 강성인 물질로 형성된 구조물에 비해 MEMS 장치의 작동 안정성이 향상될 수 있다. 또한, 강성 물질을 사용하여 시간에 따른 지지 구조물들의 점진적인 열화 또는 변형과 관련된 문제를 완화하는데, 이러한 문제는 주어진 화소에 의해 반사된 색상에 있어서 점진적인 변이를 초래할 수 있다. 다른 실시예들은 위에 놓이는 지지 구조물 및 아래

에 놓이는 지지 구조물 모두를 포함할 수도 있다. MEMS 장치 내에 있는 다른 구성 요소들과 관련하여 선택적으로 에칭 가능하지 않은 지지 구조물들을 형성하는데 있어서 물질들의 사용을 용이하게 하기 위해 에칭 배리어들이 또한 증착될 수도 있다. MEMS 장치의 다양한 구성 요소들 상호 간의 부착을 향상시키기 위해 지지 구조물들과 다른 층들 사이에서 추가적인 층들이 또한 증착될 수도 있다.

[0016] 간접계 MEMS 디스플레이 소자를 포함하는 간접계 변조기 디스플레이의 일 실시예가 도 1에 도시된다. 이들 장치들에서 화소들은 밝은 상태나 어두운 상태이다. 밝은("온(on) 또는 "열린") 상태에서, 디스플레이 구성 소자는 입사되는 가시 광선의 많은 부분을 사용자에게 반사한다. 어두운("오프(off)" 또는 "닫힌") 상태에서, 디스플레이 소자는 입사되는 가시 광선을 사용자에게 거의 반사하지 않는다. 실시예에 따라서, "온" 및 "오프" 상태의 빛의 반사 특성들은 역전될 수도 있다. MEMS 화소들은 선택되는 색깔에서 주로 반사하도록 구성되어 흑백 디스플레이 외에도 컬러 디스플레이가 가능하다.

[0017] 도 1은 비주열 디스플레이의 화소들의 집합에 있어서, 두 개의 인접하는 화소들을 도시하는 등각 투상도인데, 여기서 각 화소는 MEMS 간접계 변조기를 포함한다. 몇몇 실시예에서, 간접계 변조기 디스플레이는 이러한 간접계 변조기들의 로우/칼럼 어레이(array)를 포함한다. 각각의 간접계 변조기는 서로간에 가변적이고 제어 가능한 거리에 위치한 한 쌍의 반사층들을 포함하여 적어도 하나의 가변 치수로 공진 광학 캐비티(resonant optical cavity)를 형성한다. 일 실시예에서, 반사층들 중 하나는 두 위치들 사이에서 움직일 수도 있다. 이완 위치를 의미하는 제1위치에서, 이동 가능한 반사층은 고정된 부분 반사층으로부터 상대적으로 먼 거리에 위치한다. 작동 위치를 의미하는 제2위치에서, 이동 가능한 반사층은 고정된 부분 반사층에 더 가까이 인접하여 위치한다. 두 반사층에서 반사된 입사광은 이동 가능한 반사층의 위치에 따라서 보강 간섭 또는 소멸 간섭하여 각 화소에 대해 전체 반사 상태 또는 비반사 상태를 생성한다.

[0018] 도 1의 화소 어레이의 묘사된 부분은 두 개의 인접하는 간접계 변조기들(12a, 12b)을 포함한다. 왼쪽에 위치한 간접계 변조기(12a)에는 광학 스택(optical stack)(16a)에서 소정 거리 이격되고 이완 위치에 있는 이동 가능한 반사층(14a)이 도시되는데, 광학 스택(16a)은 부분 반사층을 포함한다. 오른쪽에 위치한 간접계 변조기(12b)에는 광학 스택(16b)에 인접한 작동 위치에 있는 이동 가능한 반사층(14b)이 도시된다.

[0019] 여기서 참조기호로 표시된 광학 스택(16a, 16b)(합쳐서 광학 스택(16))은 몇 개의 퓨즈 층들(fused layers)을 일반적으로 포함하는데, 퓨즈 층들은 인듐 주석 산화물(indium tin oxide(ITO))과 같은 전극층, 크롬과 같은 부분 반사층 및 투명 유전체를 포함할 수 있다. 따라서, 광학 스택(16)은 전도성이고, 부분적으로 투명하며, 부분적으로 반사한다. 그리고, 예를 들어 하나 이상의 상기 층들을 투명 기판(20)에 증착함으로써 제조할 수 있다. 부분 반사층은 다양한 금속류, 반도체류 및 유전체류와 같은 부분 반사적인 다양한 물질들로 형성될 수 있다. 부분 반사면은 하나 이상의 층으로 형성될 수 있는데, 각각의 층은 단일 물질 또는 조합된 물질로 형성될 수 있다.

[0020] 아래에 설명되는 바와 같이, 몇몇 실시예에서, 광학 스택(16)의 층들은 패터닝되어 평행 스트립(strip)들이 되고 디스플레이 장치 내에서 로우 전극들을 형성할 수도 있다. 이동 가능한 반사층들(14a, 14b)은 기둥들(18) 사이에 증착되는 중재 희생 물질 및 기둥들(18)의 상면에 증착된 증착 금속층 또는 증착 금속층들(광학 스택(16)의 전극칼럼에 직교)로 이루어진 일련의 평행 스트립들로 형성될 수도 있다. 희생 물질을 에칭하여 제거했을 때, 이동 가능한 반사면들(14a, 14b)은 광학 스택들(16b, 16b)로부터 정의된 갭만큼 분리된다. 알루미늄과 같은 고 전도성 및 반사 물질이 반사층들(14)로 사용될 수 있고, 이들 스트립들은 디스플레이 장치에서 칼럼 전극들을 형성할 수도 있다.

[0021] 도 1에 도시된 화소(12a)에서와 같이, 이동 가능한 반사층(14a)은 인가된 전압 없이 기계적으로 이완 상태인 채로, 캐비티(19)는 이동 가능한 반사층(14a)과 광학 스택(16a) 사이에서 유지된다. 그러나, 전위차가 선택된 로우 및 칼럼에 인가될 경우, 대응하는 화소의 로우 전극과 칼럼 전극의 교차점에 형성된 캐패시터는 충전되고 대응하는 화소의 정전기력은 전극들을 함께 당긴다. 전압이 충분히 높다면, 이동 가능한 반사층(14)은 변형이 일어나고 광학 스택(16)에 힘을 가한다. 도 1의 오른쪽에 위치한 화소(12b)에 도시된 바와 같이, 광학 스택(16) 사이의 유전층(미도시)은 단락을 방지하고 층들(14, 16)간의 이격 거리를 조절한다. 상기 거동은 인가된 전위차의 극성에 상관없이 동일하다. 이와 같이, 반사 화소 상태 대 비 반사 화소 상태를 조절할 수 있는 로우/칼럼 작동은 종래의 LCD 및 다른 디스플레이 기술들에서 사용되는 것과 여러 면에서 유사하다.

[0022] 도 2 내지 도 5b는 디스플레이 적용에 있어서 간접계 변조기들의 어레이를 사용하기 위한 하나의 예시적 과정 및 시스템을 도시한다.

[0023] 도 2는 본 발명의 측면들을 포함할 수도 있는 전자 장치의 일 실시예를 도시하는 시스템 블록도이다. 예시적 실시예에서, 전자 장치는 프로세서(21)를 포함하는데, 상기 프로세서(21)는 ARM, Pentium®, Pentium II®, Pentium III®, Pentium IV®, Pentium® Pro, 8051, MIPS®, Power PC®, ALPHA®와 같은 범용 단일 칩 프로세서 또는 멀티 칩 마이크로 프로세서, 또는 디지털 신호 프로세서, 마이크로 제어기와 같은 특수 목적의 마이크로 프로세서, 또는 프로그램 가능한 게이트 어레이일 수도 있다. 종래 기술에서와 같이, 상기 프로세서(21)는 하나 이상의 소프트웨어 모듈을 실행하도록 구성될 수도 있다. 오퍼레이팅 시스템(operating system)의 실행과 더불어, 프로세서는 웹 브라우저(web browser), 전화 애플리케이션(application), 이메일 프로그램, 또는 다른 어떤 소프트웨어 애플리케이션을 포함하는 하나 이상의 소프트웨어 애플리케이션들을 실행하도록 구성될 수도 있다.

[0024] 일 실시예에서, 프로세서(21)는 또한 어레이 드라이버(22)와 통신하도록 구성된다. 일 실시예에서, 어레이 드라이버(22)는 디스플레이 어레이 또는 패널(30)에 신호들을 제공하는 로우 드라이버 회로(24) 및 칼럼 드라이버 회로(26)를 포함한다. 도 1에 도시된 어레이의 단면이 도 2의 1-1 라인들을 통해 도시된다. MEMS 간섭계 변조기들에 대해서, 로우/칼럼 작동 프로토콜은 도 3에 도시된 이러한 장치들의 히스테리시스(hysteresis) 특성을 이용할 수도 있다. 예를 들어, 이완 상태에서부터 작동 상태로 이동 가능층을 변화시키기 위해 10 볼트 전위차가 요구될 수도 있다. 그러나, 이러한 값에서 전압이 줄어들어, 전압이 10 볼트 미만으로 다시 떨어질 때에 이동 가능층의 상태는 유지되고, 도 3의 예시적 실시예에서, 전압이 2 볼트 미만으로 떨어진 이후에야 이동 가능층은 완전히 이완된다. 따라서, 도 3에 도시되는 예에서 약 3 볼트 내지 7 볼트의 인가 전압 창이 존재하는데, 이 범위 사이에 있는 장치는 이완 또는 작동 상태에서 안정적이다. 이것을 여기서는 "히스테리시스 창" 또는 "안정성 창"이라고 칭한다. 도 3의 히스테리시스 특성들을 가지는 디스플레이 어레이에 대해서, 로우 스트로빙(strobing)동안 스트로빙되는, 로우에 있는 작동될 화소들이 약 10 볼트의 전압차에 노출되고, 이완될 화소들이 제로 볼트에 근접한 전압차에 노출되도록 로우/칼럼 작동 프로토콜을 설계할 수 있다. 스트로빙 후에, 화소들은 약 5 볼트의 정상 상태 전압차에 노출되고 로우 스트로빙이 화소들을 어떤 상태에 두었던지 그 상태를 유지하게 된다. 이러한 예에서, 쓰기(writing) 후에, 각 화소는 3 볼트 내지 7 볼트의 "안정성 창" 내에서 전위차를 보인다. 이러한 특성으로 작동 또는 이완의 기존 상태에서 동일한 인가 전압 조건들에서 도 1에 도시된 화소 설계는 안정된다. 작동 상태나 이완 상태에서, 본질적으로, 간섭계 변조기의 각 화소는 고정된 이동 가능한 반사층에 의해 형성된 캐패시터이기 때문에, 이러한 안정한 상태는 전력 손실이 거의 없이 히스테리시스 창 안의 전압에서 유지될 수 있다. 본질적으로, 인가된 전위가 고정되어 있다면 화소로 들어가는 전류 흐름은 없다.

[0025] 전형적인 응용들에서, 제1로우(row)에 있는 원하는 작동 화소들의 세트에 따라 칼럼(column) 전극들의 세트를 어서트(assert)함으로써 디스플레이 프레임을 생성할 수도 있다. 다음으로 로우(row) 펄스가 로우 1(row 1) 전극에 인가되어 어서트된 칼럼 라인들에 대응하는 화소들을 작동시킨다. 이후 로우 전극들 중 어서트된 세트는 제2로우에 있는 작동 화소들의 원하는 세트에 대응하도록 변경된다. 다음으로 펄스가 제2로우 전극에 인가되어, 어서트된 칼럼 전극들에 따라서 제2로우에 있는 적절한 화소들을 작동시킨다. 로우 1 화소들은 로우 2 펄스들의 영향을 받지 않고 로우 1 펄스 동안 그것들이 설정되었던 상태로 유지된다. 이는 프레임을 생성하기 위하여 일련의 전체 로우들에 대해서 순차적으로 반복될 수도 있다. 일반적으로, 이러한 과정을 초 당 원하는 프레임 수 만큼 끊임없이 반복함으로써 프레임들은 새로운 디스플레이 데이터로 업데이트 및/또는 리프레시(refresh)된다. 더불어, 디스플레이 프레임들을 생성하는 화소 어레이들의 로우 전극들 및 칼럼 전극들을 구동하기 위한 매우 다양한 프로토콜들은 잘 알려져 있고 본 발명과 관련하여 사용될 수도 있다.

[0026] 도 4, 도 5a 및 도 5b는 도 2의 3×3 어레이 위에 디스플레이 프레임을 생성하기 위한 가능한 작동 프로토콜을 도시한다. 도 4는 도 3의 히스테리시스 곡선들을 나타내는 화소들을 위해 사용될 수도 있는, 가능한 로우 전압 레벨들 및 칼럼 전압 레벨들의 세트를 도시한다. 도 4의 실시예에서, 화소를 작동시키기 위해서는 적절한 칼럼을 $-V_{bias}$ 로 설정하고 적절한 로우를 $+\Delta V$ 로 설정하는 것이 필요한데, $-V_{bias}$ 및 $+\Delta V$ 는 -5 볼트 및 +5 볼트에 각각 대응한다. 화소에 대한 볼트 전위차가 제로가 되는 동일한 $+\Delta V$ 로 적절한 로우를 설정하고 $+V_{bias}$ 로 적절한 칼럼을 설정함으로써 화소를 이완한다. 로우 전압이 제로 볼트로 유지되는 이러한 칼럼들에서, 칼럼이 $-V_{bias}$ 이거나 $+V_{bias}$ 인 것에 상관없이, 화소들은 그것들의 원래 상태가 어떠한 그 상태에서 안정하다. 도 4에 또한 도시된 바와 같이, 앞서 설명한 것과 반대 극성의 전압이 사용될 수 있다는 것을 이해할 것이다. 예를 들어, 화소를 작동시키는 것은 적절한 칼럼을 $+V_{bias}$ 로 설정하고 적절한 로우를 $-\Delta V$ 로 설정하는 것을 수반한다. 본 실시예에서, 화소에 대한 제로 볼트 전위차를 생성하는 동일한 $-\Delta V$ 로 적절한 로우를 설정하고 $-V_{bias}$ 로 적절한 칼럼을 설

정함으로써 화소를 이완한다.

- [0027] 도 5b는 도 2의 3×3 어레이에 인가되는 일련의 로우 신호들 및 칼럼 신호들을 도시하는 타이밍도로서, 여기서 작동 화소들은 비반사적이다. 도 5a에 도시된 프레임을 쓰기에 앞서, 화소들은 어떤 상태에 있을 수 있고, 이 예에서, 모든 로우들은 제로 볼트이고 모든 칼럼들은 +5 볼트이다. 이러한 인가 전압들로, 모든 화소들은 그것들의 현재 작동 또는 이완 상태에서 안정하다.
- [0028] 도 5a의 프레임에서, (1,1), (1,2), (2,2), (3,2) 및 (3,3) 화소들이 작동된다. 이렇게 하기 위해서, 로우 1에 대한 "라인 시간(line time)"동안 칼럼 1과 2는 -5 볼트로 설정된다. 이러한 설정은 화소들의 상태를 변화시키지 않는데, 이는 모든 화소들이 3 볼트 내지 7 볼트 안정성 창에 유지되기 때문이다. 다음으로 로우 1은 0 볼트에서 5 볼트로 가서 다시 0 볼트로 가는 펄스로 스트로빙된다. 이는 (1,1) 화소 및 (1,2) 화소를 작동시키고 (1,3) 화소를 이완시킨다. 어레이의 다른 화소들은 영향을 받지 않는다. 원하는 로우 2를 설정하기 위하여, 칼럼 2를 -5 볼트로 설정하고 칼럼 1 및 칼럼 3을 +5 볼트로 설정한다. 다음으로 로우 2에 동일한 스트로빙을 적용하여 (2,2) 화소를 작동시키고 (2,1) 및 (2,3) 화소를 이완시킬 것이다. 어레이의 다른 화소들은 또한 영향을 받지 않는다. 로우 3은 칼럼 2 및 칼럼 3을 -5 볼트로 설정하고 칼럼 1을 +5 볼트로 설정함으로써 유사하게 설정된다. 도 5a에 도시된 바와 같이, 로우 3 스트로브(strobe)는 로우 3 화소들을 설정한다. 프레임을 쓴 후에, 로우 전위들은 제로이고 칼럼 전위들은 +5 볼트 또는 -5 볼트로 유지될 수 있게 되어 디스플레이는 도 5a의 배열에서 안정하다. 수십 수백 개의 로우와 칼럼들을 가진 어레이들에 대해서 동일한 과정을 이용할 수 있다는 것을 인지할 것이다. 로우 및 칼럼을 작동시키는데 사용되는 타이밍, 순서(sequence) 및 전압 레벨들은 상기의 일반적인 원리 범위 안에서 매우 다양할 수 있고, 상기 예는 다만 예시적인 것에 불과하며, 여기에서 설명되는 시스템들 및 방법들을 이용하여 다른 작동 전압 방법이 사용될 수 있다는 것을 또한 인지할 것이다.
- [0029] 도 6a 및 도 6b는 디스플레이 장치(40)의 실시예를 도시하는 시스템 블록도이다. 예를 들어, 디스플레이 장치(40)는 이동 전화기 또는 휴대 전화기일 수 있다. 그러나, 텔레비전 및 휴대용 미디어 플레이어와 같은 디스플레이 장치(40)의 동일한 구성 요소들 또는 그것의 약간의 변형들이 다양한 유형으로 또한 예시된다.
- [0030] 디스플레이 장치(40)는 하우징(housing)(41), 디스플레이(30), 안테나(43), 스피커(45), 입력 장치(48) 및 마이크(46)를 포함한다. 일반적으로 하우징(41)은 사출 성형 및 진공 성형을 포함하는 해당 기술 분야의 당업자들에게 잘 알려진 다양한 제조 과정들 중의 어떤 것으로 형성된다. 또한 하우징(41)은 플라스틱, 금속, 유리, 고무 및 세라믹, 또는 이들의 조합을 포함하지만, 이에 한정되지 않는 다양한 재질들 중의 어떤 것으로 만들어질 수도 있다. 일 실시예에서, 하우징(41)은 다른 색깔을 가지거나 다른 로고, 그림 또는 심볼을 포함하는 분리 가능한 부분들과 상호 교환할 수도 있는 분리 가능한 부분(미도시)을 포함한다.
- [0031] 예시적인 디스플레이 장치(40)의 디스플레이(30)는 여기에서 설명되는 바와 같이, 쌍안정(bi-stable) 디스플레이를 포함하는 다양한 디스플레이들 중의 어떤 것일 수도 있다. 다른 실시예들에서, 해당 기술 분야의 당업자들에게 잘 알려진 바와 같이, 디스플레이(30)는 앞서 설명한 바와 같은 TFT LCD, 플라즈마, EL, OLED, 또는 STN LCD와 같은 평면 패널 디스플레이, 또는 CRT나 다른 종류의 튜브(tube) 장치와 같은 비평면 패널 디스플레이를 포함한다. 그러나, 본 실시예를 설명하기 위해서, 상기 디스플레이(30)는 여기에서 설명하는 바와 같이, 간섭계 변조기를 포함한다.
- [0032] 예시적 디스플레이 장치(40)의 일 실시예에 포함되는 구성 요소들이 도 6b에 개략적으로 도시된다. 도시된 예시적 디스플레이 장치(40)는 하우징(41)을 포함하고 적어도 여기에서 부분적으로 개시된 추가적인 구성 요소들을 포함할 수 있다. 예를 들어, 일 실시예에서, 예시적 디스플레이 장치(40)는 트랜시버(transceiver)(47)에 결합된 안테나(43)를 포함하는 네트워크 인터페이스(27)를 포함한다. 트랜시버(47)는 컨디셔닝 하드웨어(conditioning hardware)(52)에 연결된 프로세서(21)에 연결된다. 컨디셔닝 하드웨어(52)는 신호를 조절(예를 들어, 신호를 필터링)하도록 구성될 수도 있다. 컨디셔닝 하드웨어(52)는 스피커(45) 및 마이크(46)에 연결된다. 프로세서(21)는 입력 장치(48) 및 드라이버 제어기(29)에도 연결된다. 드라이버 제어기(29)는 프레임 버퍼(frame buffer)(28) 및 어레이 드라이버(22)에 결합된다. 어레이 드라이버(22)는 디스플레이 어레이(30)에 교대로 결합된다. 전력 공급 장치(50)는 특정한 예시적 디스플레이 장치(40) 설계에 요구되는 바와 같이 모든 구성 요소들에게 전력을 제공한다.
- [0033] 예시적 디스플레이 장치(40)가 네트워크를 통해 하나 이상의 장치와 통신할 수 있도록 네트워크 인터페이스(27)는 안테나(43) 및 트랜시버(47)를 포함한다. 일 실시예에서, 네트워크 인터페이스(27)는 프로세서(21)의 요구 사항들을 분담할 수 있는 몇몇 프로세싱 성능들을 또한 가질 수도 있다. 안테나(43)는 신호들을 전송하거나 수신하기 위해, 해당 기술 분야의 당업자들에게 알려진 어떤 안테나이다. 일 실시예에서, 안테나는 IEEE

802.11(a), (b), 또는 (g)를 포함하는 IEEE 802.11 표준에 따라서 RF 신호들을 전송하거나 수신한다. 다른 실시예에서, 안테나는 블루투스(BLUETOOTH) 표준에 따라서 RF 신호들을 전송하고 수신한다. 이동 전화기의 경우, 안테나는 CDMA, GSM, AMPS, 또는 무선 이동 전화 네트워크 안에서 통신하기 위해 사용되는 다른 기존의 신호들을 수신하도록 설계된다. 트랜시버(47)는 안테나(43)로부터 수신된 신호들을 미리 처리하여 신호들이 프로세서(21)에 의해 수신되고 나아가 조작될 수도 있다. 트랜시버(47)는 프로세서(21)로부터 수신된 신호들도 처리하여 신호들이 안테나(43)를 경유하여 예시적 디스플레이 장치(40)로부터 전송될 수 있게 한다.

[0034] 대안적인 실시예에서, 트랜시버(47)는 수신기로 대체될 수 있다. 또 다른 대안적인 실시예에서, 네트워크 인터페이스(27)는 프로세서(21)에 보내질 이미지 데이터를 저장하고 생성할 수 있는 이미지 소스(image source)로 대체될 수 있다. 예를 들어, 이미지 소스는 이미지 데이터를 포함하는 디지털 비디오 디스크(digital video disc (DVD))나 하드 디스크 드라이브 또는 이미지 데이터를 생성하는 소프트웨어 모듈일 수 있다.

[0035] 일반적으로 프로세서(21)는 예시적 디스플레이 장치(40)의 전체적인 동작을 제어한다. 프로세서(21)는 네트워크 인터페이스(27) 또는 이미지 소스에서 나온 압축된 이미지 데이터와 같은 데이터를 수신하고 데이터를 원천 이미지 데이터(raw image data) 또는, 원천 이미지 데이터로 즉시 처리할 수 있는 포맷으로 처리한다. 이후 프로세서(21)는 처리된 데이터를 드라이버 제어기(29) 또는 저장을 위해 프레임 버퍼(28)로 보낸다. 일반적으로 원천 데이터는 이미지 안의 각각의 위치에서 이미지 특성들을 식별하는 정보를 의미한다. 예를 들어, 이러한 이미지 특성들은 색깔, 순도(saturation), 계조 레벨(gray scale level)을 포함할 수 있다.

[0036] 일 실시예에서, 프로세서(21)는 마이크로 제어기, CPU, 또는 예시적 디스플레이 장치(40)의 동작을 제어하는 제어부를 포함한다. 일반적으로 컨디셔닝 하드웨어(52)는 신호들을 스피커(45)에 전송하기 위해, 그리고 마이크(46)로부터 신호들을 수신하기 위해 증폭기들 및 필터(filter)들을 포함한다. 컨디셔닝 하드웨어(52)는 예시적 디스플레이 장치(40) 안에 있는 별도의 구성 요소일 수도 있거나 프로세서(21) 또는 다른 구성 요소들 안에서 결합되어 있을 수도 있다.

[0037] 드라이버 제어기(29)는 프로세서(21)에서 생성된 원천 이미지 데이터를 프로세서(21)에서 직접 받거나 프레임 버퍼(28)로부터 받고 어레이 드라이버(22)로 고속 전송하기 위해 원천 이미지 데이터를 적절히 재포맷한다. 특히, 드라이버 제어기(29)는 유사 래스터 포맷(raster like format)을 가진 데이터 흐름으로 원천 이미지 데이터를 재포맷하여 디스플레이 어레이(30)에 걸쳐 스캐닝하기에 적합한 시간 순서를 가진다. 다음으로 드라이버 제어기(29)는 포맷된 정보를 어레이 드라이버(22)에 보낸다. 비록 LCD 제어기와 같은 드라이버 제어기(29)가 독립형 집적 회로(stand-alone Integrated Circuit (IC))로서 시스템 프로세서(21)와 종종 관련되지만, 이러한 제어기들은 다양한 방법들로 구현될 수도 있다. 이러한 제어기들은 프로세서(21) 안에 하드웨어로서 끼워질 수도 있고, 소프트웨어로서 프로세서 안에 넣어질 수도 있거나 어레이 드라이버(22)와 함께 하드웨어에 완전 일체형으로 결합될 수도 있다.

[0038] 일반적으로, 어레이 드라이버(22)는 포맷된 정보를 드라이버 제어기(29)로부터 받고 디스플레이의 x-y 매트릭스 화소들로부터 나온 수 백 리드들(leads), 때에 따라서는 수 천 리드들에 초당 여러번 인가되는 병렬 세트의 파형들로 비디오 데이터를 재포맷한다.

[0039] 일 실시예에서, 드라이버 제어기(29), 어레이 드라이버(22) 및 디스플레이 어레이(30)는 여기서 설명하는 디스플레이들의 유형 중 어느 것에나 적합하다. 예를 들어, 일 실시예에서, 드라이버 제어기(29)는 종래의 디스플레이 제어기 또는 쌍안정 디스플레이 제어기(예를 들어, 간섭계 변조기 제어기)이다. 다른 실시예에서, 어레이 드라이버(22)는 종래의 드라이버 또는 쌍안정 디스플레이 드라이버(예를 들어, 간섭계 변조기 드라이버)이다. 일 실시예에서, 드라이버 제어기(29)는 어레이 드라이버(22)와 일체형이다. 이러한 일 실시예는 이동 전화기, 시계 및 다른 소형 디스플레이와 같은 고집적 시스템에 일반적이다. 또 다른 실시예에서, 디스플레이 어레이(30)는 일반적인 디스플레이 어레이 또는 쌍안정 디스플레이 어레이이다(예를 들어, 간섭계 변조기들의 어레이를 포함하는 디스플레이).

[0040] 입력 장치(48)는 사용자로 하여금 예시적 디스플레이 장치(40)의 동작을 제어하도록 한다. 일 실시예에서, 입력 장치(48)는 QWERTY 키보드 또는 전화기 키패드와 같은 키패드, 버튼, 스위치, 터치 센스 스크린, 또는 압력 또는 열 센스 막을 포함한다. 일 실시예에서, 마이크(46)는 예시적 디스플레이 장치(40)에 대한 입력 장치이다. 장치에 데이터를 입력하기 위해 마이크(46)가 사용되는 경우, 음성 명령들이 사용자들에 의해 제공되어 예시적 디스플레이 장치(40)의 동작들을 제어할 수도 있다.

[0041] 전력 공급 장치(50)는 해당 기술 분야에서 잘 알려져 있는 다양한 에너지 저장 장치들을 포함할 수 있다. 예를

들어, 일 실시예에서, 전력 공급 장치(50)는 니켈-카드뮴 배터리 또는 리튬 이온 배터리와 같은 충전용 배터리이다. 다른 실시예에서, 전력 공급 장치(50)는 재생 가능 에너지 원, 캐패시터, 또는 플라스틱 태양 전지와 태양 전지 페인트를 포함하는 태양 전지이다. 다른 실시예에서, 전력 공급 장치(50)는 벽에 붙은 콘센트에서 전력을 받도록 구성된다.

[0042] 몇몇 실시예에서, 앞서 설명한 바와 같이, 전자 디스플레이 시스템 안의 몇몇 장소에 위치될 수 있는 드라이버 제어기 안에서 제어 프로그램이 가능하다. 몇몇 실시예들에서는 어레이 드라이버(22) 안에서 제어 프로그램이 가능하다. 해당 기술 분야의 당업자들은 앞서 설명한 최적화들을 다양한 하드웨어 및/또는 소프트웨어 구성 요소들 및 다양한 구성물들 안에서 구현할 수도 있음을 인식할 것이다.

[0043] 앞서 설명한 원리들에 따라서 작동되는 간접계 변조기의 상세한 구조는 매우 다양할 수 있다. 예를 들어, 도 7a 내지 도 7e는 이동가능한 반사층(14) 및 그의 지지 구조물들에 대한 다섯 개의 서로 다른 실시예들을 도시한다. 도 7a는 도1의 실시예에 대한 단면도인데, 여기서 금속물질(14)의 스트립은 직교하게 연장된 지지부들(18) 상에 증착된다. 도 7b에서, 이동 가능한 반사층(14)은 지지부들(18)의 가장자리에 있는 줄(32)에 부착된다. 도 7c에서, 이동 가능한 반사층(14)은 연성 금속을 포함할 수도 있는 변형 가능층(34)에서 나와 이격되어 있다. 변형 가능층(34)은 변형가능층(34) 주변의 기관(20)에 직접적으로나 간접적으로 연결된다. 여기서, 이러한 연결부들을 지지 구조물들이라 칭하는데, 분리된 지주들이나 기둥들 및/또는 연속적인 벽들이나 레일(rail)들의 형식을 가진다. 도 7d에 도시된 실시예는 변형 가능층(34)이 안착되는 지지 플러그들(42)을 포함하는 지지 구조물들(18)을 가진다. 도 7a 내지 도 7c에 도시된 바와 같이, 이동 가능한 반사층(14)은 캐비티 위에 떠있지만, 변형 가능층(34)은 변형 가능층(34)과 광학 스택(16) 사이의 홈들을 채움으로써 지지 기둥들을 형성하지 않는다. 오히려, 지지 기둥들(18)은 지지 기둥 플러그들(42)을 형성하는데 사용하기 위한 평탄화 물질들로 형성된다. 도 7e에 도시된 실시예는 도 7d에 도시된 실시예를 기초로 하지만, 도시되지 않은 추가적인 실시예들 뿐만 아니라 도 7a 내지 도 7c에 도시된 다른 실시예들 중 어느 것과 함께 기능하도록 적용할 수도 있다. 도 7e에 도시된 실시예에서, 버스 구조(bus structure)(44)를 형성하기 위해 금속 또는 다른 전도성 물질로 이루어진 별도층이 사용되었다. 이 버스 구조(44)로 인해 신호는 간접계 변조기들의 뒤쪽을 따라 흐르는데, 버스 구조(44)가 없었던 면 기관(20) 상에 형성되었을 많은 전극들이 필요없게 된다.

[0044] 도 7에 도시된 것들과 같은 실시예들에서, 간접계 변조기들은 직시형(direct-view) 장치들로 기능하는데, 직시형 장치들에서 이미지들은 투명 기관(20)의 앞면에 나타나고 반대편에는 조절 장치들이 배열된다. 이러한 실시예들에서, 반사층(14)은 변형 가능층(34)을 포함하는 기관(20)의 반대편 반사층 면 상에 있는 간접계 변조기의 일부를 광학적으로 차단한다. 이렇게 해서 차단된 영역은 화질에 나쁜 영향을 미치지 않게 구성되고 작동된다. 어드레싱(addressing) 및 어드레싱에 기인한 움직임과 같은 조절 장치의 전자 기계적 특성들과 광학적 특성들을 분리할 수 있는 도 7e의 버스 구조(44)에도 이러한 차단 방법이 적용된다. 이러한 분리 가능한 구조로 조절 장치의 광학적 측면들 및 전자 기계적 측면들에 대해 사용되는 재질들 및 구조 설계가 선택되어 서로 독립적으로 기능하게 된다. 더욱이, 도 7c 내지 도 7e에 도시된 실시예들은 변형 가능층(14)에 의해 수행되는, 기계적 특성들로부터 반사층(14)의 광학적 특성들을 분리함으로써 얻어지는 추가적인 장점들을 가진다. 이로 인해 반사층(14)을 위한 구조 설계 및 재질들이 광학적 특성들과 관련되어 최적화되고, 변형 가능층(34)을 위한 구조 설계 및 재질들이 원하는 기계적 특성들과 관련되어 최적화된다.

[0045] 임의의 몇몇 실시예들에서, 도 7a에 도시된 이동 가능 반사층(14) 또는 도 7c 내지 도 7e의 이동 가능 반사층(14)과 기계층(34)의 조합물과 같은 이동 가능층에 추가적인 지지부를 제공하는 것이 바람직할 수도 있다. 이동 가능층은, 아래에서 보다 더 상세하게 설명될 반사 부계층(sublayer) 및 기계 부계층을 포함할 수도 있다. 이러한 지지부는 개별 변조기 요소의 모서리들을 따라서 위치할 수도 있고 이러한 요소의 내부에 위치할 수도 있는 일련의 지지 구조물에 의해 제공될 수도 있다. 다양한 실시예들에서, 이러한 지지 구조물들은 이동 가능층의 위나 아래에 위치할 수도 있다. 대안적인 실시예들에서, 지지 구조물들은 지지물이 기계층 아래와 위에서부터 제공되도록 기계층 안에 형성된 구멍들을 통해서 연장될 수도 있다. 본 명세서에서 사용되는 "리벳"이라는 용어는 MEMS 장치 안에 있는 기계층 아래에 놓여진 패터닝되어진 층을 일반적으로 의미하는데, 이것은 기둥 또는 지지부 영역 안에 있는 오목부 또는 함몰부 안에 일반적으로 위치하여 기계층을 위한 기계적 지지부를 제공한다. 항상 그런것은 아니지만, 바람직하게는 리벳은 기계층의 상부면 위에 놓이는 날개들을 포함하여 기계층의 움직임에 안정성 및 예측 가능성을 더한다. 유사하게는, 기계층을 위한 기계적 지지부를 제공하는 MEMS 장치 안의 기계층 아래에 놓이는 지지 구조물들은, 본 명세서에서 지지 "기둥들"을 일반적으로 의미한다. 본 명세서의 많은 실시예들에서, 바람직한 물질들은 유기 레지스트 물질들에 대하여 안정적인 무기물이다.

[0046] 이러한 지지 구조물들의 예시적인 레이아웃(layout)이 도 8에 도시되는데, 이것은 MEMS 요소들의 어레이를 나타

낸다. 몇몇 실시예들에서, 어레이는 간접계 변조기들의 어레이를 포함할 수도 있지만, 대안적인 실시예들에서 MEMS 요소들은 이동 가능층을 가지는 임의의 MEMS 장치들을 포함할 수도 있다. 예시된 실시예에서, 위에 놓인 리벳 구조물들(62)인 지지 구조물들(62)은 이동 가능층(66)의 모서리들을 따라서 위치하고, 본 예에서는 간접계 변조기 요소인 MEMS 요소의 내부에 위치함을 알 수 있다. 임의의 지지 구조물들은 레일(rail) 구조물(64)을 포함할 수도 있는데, 이것은 두 개의 인접하는 이동 가능층들(66) 사이에 있는 갭(65)을 가로질러 연장된다. 이동 가능층(66)은 동일한 칼럼 내에 위치한 다수개의 인접 요소들(60)을 통해 연장되는, 변형 가능 물질로 이루어진 스트립을 포함한다는 것을 알 수 있다. 지지 구조물들(62)은 요소들 또는 픽셀들(60) 안에 있는 이동 가능층(66)에 강직성을 제공하는 기능을 한다.

[0047] 유리하계는, 이러한 지지 구조물들(62)은 변조기 요소(60)의 주변 지역과 관련하여 작게 만들어진다. 지지 기둥들은 이동 가능층(66)의 휘어짐을 억제하고 일반적으로 불투명할 수도 있기 때문에, 지지 구조물들(62)을 직접적으로 둘러싸고 그 아래에 위치하는 영역은 디스플레이에서 활성 구역으로 사용 가능하지 않다. 그리고, 이러한 영역들에서의 이동 가능층은 완전 작동 위치(예를 들어, 이러한 것들 중 하나에서 도 7a의 이동 가능층(14)의 하부면 일부 영역은 광학 스택(16)의 상부면과 접한다)로 이동 가능하지 않다. 이것은 기둥을 둘러싸고 있는 구역들에서 바람직하지 않은 광학적 효과들을 야기할 수도 있기 때문에, 의도하는 색상을 손상시킬 수도 있는 이러한 영역들에서의 과도한 반사를 피하기 위해, 유리하계는 지지 구조물들과 뷰어(viewer) 사이에 마스크 층이 제공될 수도 있다.

[0048] 임의의 실시예들에서, 이러한 지지 구조물들은 그 모양을 유지하도록 도와주는 실제로 강성을 가진 구조물과 더불어 이동 가능층 안에 함몰부를 포함할 수도 있다. 이러한 지지 구조물들이 폴리머 물질로 형성될 수도 있는 반면에, 바람직하게는 보다 큰 강도를 가지는 무기 물질이 사용되어, 폴리머 물질들을 포함하는 유사한 구조물들을 능가하는 장점을 제공한다.

[0049] 예를 들어, 폴리머 지지 구조물은 넓은 범위의 작동 온도에 걸쳐서 바람직한 레벨의 강도로 유지되지 않을 수도 있고 장치의 전체 수명동안 점진적인 변형 또는 기계적인 결함이 발생할 수도 있다. 이러한 결함들이 이동 가능층과 광학 스택 사이의 거리에 영향을 미칠 수도 있고, 이러한 거리는 적어도 부분적으로 간접계 변조기 요소에 의해 반사되는 파장을 결정하기 때문에 이러한 결함들은 작동 온도들의 변화 또는 시간 경과성 마모에 의한 반사된 색깔의 변화를 초래할 수도 있다. 지지부들이 폴리머 물질로 형성된 경우 다른 MEMS 장치들도 유사한 시간 경과성 열화를 겪게 된다.

[0050] 위쪽에 놓이는 리벳 지지 구조물을 포함하는 간접계 변조기 요소를 형성하기 위한 일 공정을 도 9a 내지 도 9j를 참조하여 설명한다. 도 9a에서, 유리 또는 투명 폴리머 물질과 같은 것을 포함할 수도 있는 투명 기판(70)이 제공됨을 알 수 있다. 다음으로 인듐 주석 산화물(indium-tin-oxide:ITO)을 포함할 수도 있는 도전층(72)이 투명 기판 위에 증착되고, 크롬을 포함할 수도 있는 부분 반사층(74)이 도전층(72) 위에 증착된다. 일 실시예에서 도전층(72)은 ITO를 포함할 수 있고, 아래에서 설명되는 여러 곳에서 그렇게 불릴 수 있음에도 불구하고, 도전층(72)은 임의의 적당한 도전 물질을 포함할 수도 있고, 비광학적 MEMS 구조물들에 대해서는 투명할 필요가 없다는 것이 이해될 것이다. 유사하게는, 크롬층으로 불릴 수도 있음에도 불구하고, 부분 반사층(74)은 임의의 적당한 부분 반사층을 포함할 수도 있고 비광학 MEMS 구조물들에 대한 용도로 사용하기 위해서 생략될 수도 있다.

[0051] 다음으로 도전층(72) 및 부분 반사층(74)이 패터닝되고 에칭되어 하부 전극들을 형성하는데, 로우 전극(row electrode)이라고도 한다. 이것은 도 8의 이동 가능층(66)에 직교하여 뺏어 나간다. 또한, 임의의 실시예들에서, 도전층(72) 및 부분 반사층(74)은 유리하계는 패터닝되고 에칭되어 지지 기둥 구조물들이 위치할 영역들 아래에 놓이는 크롬 및 ITO를 제거하고, 도 9b에 도시되는 구멍들(76)을 형성한다. 바람직하게는, 이러한 패터닝 및 에칭은 로우 전극들을 형성하는 동일한 공정에 의해 수행된다. 지지 구조물 아래에 놓이는 ITO 및 크롬(또는 다른 도전 물질들)의 제거에 의해 이동 가능층과 하부 전극 사이의 단락을 방지하기가 용이해진다. 따라서, 도 9b 이하 도면들은 도전층(72) 및 부분 반사층(74)에 의해 형성된 연속적인 로우 전극의 단면을 도시하는데, 여기서 구멍들(76)은 에칭되어 있고 이러한 구멍들을 통해서 연장된 라인을 통해서 단면이 얻어진다. 구멍들(76)을 형성하기 위해 도전층(72) 및 부분 반사층(74)을 에칭하지 않는 다른 실시예들에서, 아래 논의되는 유전층은 하부 전극 및 이동 가능층 사이의 단락을 충분히 방지할 수 있다.

[0052] 도전층(72) 및 부분 반사층(74)은 포토리소그래피를 통해 패터닝될 수도 있고, 상용화된 습식 에칭들과 같은 것을 이용해 에칭될 수도 있다. 크롬 습식 에칭들은 아세트산($C_2H_4O_2$) 및 세륨 암모늄 질산염(Cerium Ammonium Nitrate [$Ce(NH_4)_2(NO_3)_6$])의 용제들을 포함한다. ITO 습식 에칭들은 HCl, HCl과 HNO_3 의 혼합물, 또는 75%/3%/22%

비의 $\text{FeCl}_3/\text{HCl}/\text{DI}$ 와 H_2O 의 혼합물을 포함한다. 구멍들(76)이 형성되었을 때, 도 9c에서 알 수 있는 바와 같이 유전층(78)은 도전층(72) 및 부분 반사층(74) 위에 증착되고, 광학 스택(16)을 형성한다. 매우 다양하고 적절한 물질들을 사용할 수 있음에도 불구하고, 임의의 실시예들에서, 유전층은 SiO_2 또는 SiN_x 를 포함할 수도 있다.

[0053] 간접계 변조기 요소가 작동하여(내려가서) 이동 가능층(66)이 광학 스택과 접촉할 때, 광학 스택(16)을 형성하는 층들의 두께 및 위치는 간접계 변조기 요소에 의해 반사되는 색깔을 결정한다. 임의의 실시예들에서, 이동 가능층이 작동 위치에 있을 때 간접계 변조기 요소는 실제적으로 어떤 가시 광선도 반사하지 않도록(검게 보이도록) 광학 스택이 구성된다. 일반적으로, 유전층(78)의 두께는 약 450 Å이다. 평판형(유전층(78)이 스핀 온 글라스(spin-on glass)인 경우 얻을 수 있음)으로 도시되었음에도 불구하고, 유전층(78)은 일반적으로 도전층(72) 및 부분 반사층(74)로부터 형성된 패터닝된 하부 전극 위에 컨포말(conformal)하다.

[0054] 다음으로, 도 9d에서 알 수 있는 바와 같이, 희생 물질로 이루어진 층(82)은 유전층(78) 위에 증착된다. 임의의 실시예들에서, 이러한 희생층(82)은 XeF_2 에 의해 에칭 가능한 물질로 형성된다. 예를 들어, 희생층(82)은 폴리브덴 또는 비정질 실리콘(amorphous silicon:a-Si)으로 형성될 수도 있다. 다른 실시예들에서, 희생층은 탄탈 또는 텅스텐을 포함할 수도 있다. 희생 물질들로 사용 가능한 다른 물질들은 실리콘 질화물, 임의의 산화물 및 유기 물질들을 포함한다. 증착된 희생층(82)의 두께는 광학 스택(16)과 이동 가능층(66) 사이의 거리를 결정할 것이고, 따라서 간접계 갭(19)의 치수를 정의한다(도 7a 참조). 간접계 갭(19)의 높이가 비작동 위치에서 간접계 변조기 요소에 의해 반사되는 색깔을 결정하기 때문에, 희생층(82)의 두께는 간접계 변조기의 목적하는 특성들에 따라 다양할 것이다. 예를 들어, 비작동 위치에서 초록색을 반사하는 변조기 요소가 형성되는 일 실시예에서, 희생층(82)의 두께는 대략 2000 Å일 수도 있다. 다른 실시예들에서, 희생층은 상이한 색깔들을 생성하기 위해 상이한 간접계 갭 사이즈들이 사용되는 다색 디스플레이 시스템에서와 같이 MEMS 장치들의 어레이에 걸쳐서 다양한 두께를 가질 수도 있다.

[0055] 도 9e에서, 희생층(82)은 패터닝되고 에칭되어 테이퍼진 구멍들(86)을 형성하였음을 알 수 있다. 테이퍼진 구멍들(86)은 ITO 및 크롬으로 이루어진 도전층(72) 및 부분 반사층(74)을 잘라낸 구멍들(76) 위에 놓인다. 이러한 구멍들(86)은 포토리소그래피를 이용하여 희생층을 마스킹하고 다음으로 습식 또는 건식 에칭을 수행하여 희생 물질의 일부 영역들을 제거함으로써 형성될 수도 있다. 적당한 건식 에칭들은 SF_6 , CF_4 , Cl_2 , 또는 He이나 Ar과 같은 불활성 기체 또는 O_2 를 가진 이러한 기체들의 임의의 혼합물을 포함한다. Mo를 에칭하기에 적당한 습식 에칭 공정들은 PAN 에칭 공정을 포함하는데, 이것은 16:1:1:2 비의 인산, 아세트산, 질산 및 탈이온수(deionized water)의 혼합물일 수 있다. 비정질 실리콘은 KOH 및 HF 질산염을 포함하는 습식 에칭들에 의해 에칭될 수 있다. 그러나, 건식 에칭들이 테이퍼진 구멍들(86)의 모양을 더 잘 조절하기 때문에 희생층(82)을 에칭하기 위해서, 바람직하게는 건식 에칭이 사용된다.

[0056] 다음으로 도 9f에서, 이동 가능층(66)(예를 들어, 도 7a의 이동 가능 반사층(14) 참조)을 형성하게 될 구성 요소들이 에칭된 희생층(82) 위에 증착되고 테이퍼진 구멍들(86)은 줄지어 배열된다는 것을 알 수 있다. 도 9f의 실시예에서, 미러 또는 미러층으로도 불리는 고반사 층(90)이 기계층(92)에 앞서 먼저 증착된다. 고반사 층(90)은 넓은 스펙트럼의 파장들에 걸친 고풍택성 때문에, 알루미늄 또는 알루미늄 합금으로 형성될 수도 있다. 기계층(92)은 Ni 및 Cr과 같은 금속을 포함할 수도 있고, 바람직하게는 기계층(92)이 잔류 인장 응력을 포함하도록 형성될 수도 있다. 변조기가 작동되지 않거나 "이완"되어 있을 때, 잔류 인장 응력은 이동 가능층(66)을 광학 스택(16)으로부터 떼어 놓는 기계적 힘을 제공한다. 편의상, 본 명세서에서 사용되는 이동 가능층이라는 용어가 도 7c의 이동 가능 반사층(14) 및 기계층(34)과 같은 부분적으로 분리된 기계층 및 반사층을 또한 포함하는 것으로 이해될 것임에도 불구하고 고반사 층(90)과 기계층(92)의 조합물은 집합적으로 이동 가능층(66)으로 불릴 수도 있다. 지지 구조물들과 관련되는 분리된 기계층 및 반사층의 제조는 도 35a 내지 35h 및 36a 내지 36c와 관련하여 아래에서 논의된다.

[0057] XeF_2 에칭에 의해 희생층이 에칭될 일 실시예에서, 반사층(90) 및 기계층(92) 모두는 XeF_2 에칭에 바람직하게는 저항성을 가진다. 이러한 층들 중 어떤 것이 저항성을 가지지 않는다면, 에칭 정지층이 비 저항성 층을 보호하도록 사용될 수도 있다. 테이퍼진 구멍들(86)의 테이퍼는 반사층(90) 및 기계층(92)의 컨포말 한 증착을 용이하게 한다는 것을 또한 알 수 있다. 왜냐하면 이것들은 비평탄화 물질들을 포함할 수도 있기 때문이다. 이러한 테이퍼가 없다면, 이러한 층들은 테이퍼진 구멍들(86) 사이에서 실제적으로 균일한 두께를 가지도록 증착되는 것이 어려울 수도 있다.

[0058] 대안적인 실시예에서, 이동 가능층(66)은 고반사성이고 원하는 기계적 특성을 가지는 단층을 포함할 수도 있다.

그러나, 두 개의 별개 층들의 증착은 이동 가능층(66)에서 단일 물질로 사용되는 경우 적당하지 않을 수도 있는 고반사 물질을 선택 가능하게 하고, 유사하게는 그 반사적 특성들에 상관없이 적당한 기계층의 선택을 허용한다. 또 다른 실시예들에서, 이동 가능층은 반사층이 굽혀지지 않고 수직으로 이동하도록 기계층으로부터 주로 분리되는 반사 부계층을 포함한다(예를 들어, 도 7c 내지 도 7e 및 이에 따른 설명 참조). 이러한 실시예를 형성하는 한 방법은 희생층 위에 반사층을 증착하는 단계를 포함하는데, 이 반사층은 이후 패터닝되어 개별 반사 부계층들을 형성한다. 다음으로 희생 물질의 제2층은 반사층 위에 증착되고 패터닝되어, 지지 구조물들을 위한 테이퍼진 구멍들을 형성하는 것뿐만 아니라 기계 부계층과 반사 부계층들 사이에 있는 제2희생층을 통해 연결되도록 허용한다.

[0059] 형성되는 MEMS 장치들이 비광학 MEMS 장치들(예를 들어, MEMS 스위치)을 포함하는 다른 실시예들에서, 이동 가능층(66)은 반사 물질을 포함할 필요가 없다는 것이 이해될 것이다. 예를 들어, MEMS 스위치들과 같은 MEMS 장치들이 본 명세서에 논의되는 지지 구조물들을 포함하여 형성되는 실시예들에서, 이동 가능층(66)의 하층은 반사될 필요가 없고, 유리하게는 기계적 특성들 또는 다른 원하는 특성들에 기초하여 단독으로 선택된 단층을 포함할 수도 있다.

[0060] 도 9g에서, 리벳층으로도 불리는 강성층(96)이 기계층(92) 위에 증착된다. 리벳층(96)은 아래에 놓이는 기계층(92)을 지지하는 구조물을 형성할 것이지만 변조기의 작동 동안 실제적으로 변형되지 않을 것이기 때문에, 리벳층(96)을 형성하는 물질은 기계층(92)을 형성하는 물질만큼 연성을 가질 필요는 없다. 리벳층(96)으로 사용하기에 적당한 물질들은 알루미늄, AlO_x , 실리콘 산화물, SiN_x , 니켈 및 크롬을 포함하지만 이에 제한되지는 않는다. 리벳 구조물을 형성하는데 사용될 수도 있는 대안적인 물질들은 다른 금속류, 세라믹류 및 폴리머류를 포함한다. 리벳층(96)의 두께는 사용되는 재료의 기계적 특성들에 따라서 다양할 수도 있다.

[0061] 기계층 및 반사층과 관련하여 논의된 바와 같이, 리벳층(96)을 위해서는 XeF_2 에칭에 저항성을 가지는 재질을 선택하는 것이 바람직할 수도 있는데, 여기서 XeF_2 에칭은 임의의 실시예들에서 희생층을 에칭하기 위해 사용될 수도 있다. 또한, 바람직하게는 기계층(92)이 영향을 받지 않으면서 리벳층(96)의 에칭을 허용하기 위해, 리벳층(96)은 아래에 놓이는 기계층(92)과 관련하여 선택적으로 에칭 가능하다. 그러나, 리벳층(96)이 기계층(92)과 관련하여 선택적으로 에칭 가능하지 않다면, 에칭 정지층(미도시)이 리벳층(96)과 기계층(92) 사이에 제공될 수도 있다.

[0062] 도 9h에서, 리벳층(96)은 포토리소그래피를 통해서 패터닝되고 에칭되어 테이퍼진 구멍들(86)로부터 떨어져서 위치한 리벳층(96)의 일부 영역들을 제거하여 지지 구조물들(62)을 형성하는데, 이것은 리벳 구조물로도 불린다. 리벳층(96)의 에칭은 습식 에칭 또는 건식 에칭에 의해 수행될 수도 있다. 리벳층(96)이 알루미늄을 포함하는 실시예들에서, 적당한 습식 에칭들은 인산, 또는 KOH, TMAH 및 NaOH와 같은 염기들을 포함하고, 적당한 건식 에칭은 Cl_2 를 이용한다. 리벳층(96)이 SiO_2 를 포함하는 다른 실시예들에서, 불소 염기들의 기체들과 O_2 나 불활성 기체들의 혼합물은 건식 에칭으로서 사용될 수 있고 HF 또는 BOE는 적당한 습식 에칭이다.

[0063] 도 9h를 계속해서 참조하여, 지지 구조물들(62)은 립(lip) 영역을 포함할 수도 있다는 것을 알 수 있다. 립 영역에서 지지 구조물(62)은 테이퍼진 구멍(86) 밖 기계층(92)의 상부면 위로 연장된다. 유리하게는, 립은 아래에 놓이는 기계층의 변형을 억제하여 간접계 변조기 요소의 작동 구역을 줄이기 때문에 이러한 립의 크기는 최소화될 수 있다. 예시된 실시예에서 알 수 있는 바와 같이, 지지 구조물들(62)은 또한 경사진 측면 일부 영역(97) 및 실제적으로 평탄한 바닥 영역(99)을 포함할 수도 있다.

[0064] 다음으로, 도 9i에서, 기계층(92)을 패터닝하고 기계층(92) 및 반사층(90)을 에칭하여 에칭 홀들(100)을 형성하기 위해 포토리소그래피가 사용된다는 것을 알 수 있다. 여기서, 에칭 홀들(100)은 희생층의 에칭을 증진시키기 위해 희생층(82)의 일부 영역들을 노출시킨다. 임의의 실시예들에서, 희생층을 노출시키기 위해 다양한 에칭 방법들이 이용된다. 예를 들어, 기계층(92)이 니켈을 포함하고 반사층(90)이 알루미늄을 포함한다면, HNO_3 는 기계층을 에칭하는데 사용될 수도 있고, 인산 또는 H_4OH , KOH, THAM, 또는 NaOH와 같은 염기는 반사층(90)을 에칭하는데 사용될 수도 있다. 또한, 이러한 패터닝 및 에칭은 이동 가능층(66)(도 8참조)의 스트립들 사이에서 갭들(65)을 에칭하여 MEMS 장치들의 칼럼들을 서로 분리함으로써 도 8에 도시된 스트립 전극들을 정의하는데 사용될 수도 있다.

[0065] 마지막으로, 도 9j에서, 희생층을 제거하기 위해 릴리스(release) 에칭이 수행되어 간접계 갭(19)을 생성한다는 것을 알 수 있는데, 간접계 갭(19)을 통해 이동 가능층(66)이 움직일 수 있다. 임의의 실시예들에서, 희생층

(82)를 제거하기 위해 XeF_2 를 사용할 수 있다. XeF_2 는 희생 물질들을 만족스럽게 에칭하고 앞서 논의된 공정들에서 사용된 다른 물질들과 관련해서 대단히 선택적이기 때문에, XeF_2 의 사용으로 유리하게는 주변 구조물들에 거의 영향을 주지 않고 희생 물질이 제거된다.

[0066] 따라서, 도 9j는 9j-9j 라인을 따라 절단한 도 8의 간접계 변조기 요소들(60)의 하나와 같은 간접계 변조기 요소의 일부 영역을 도시한다. 이러한 실시예에서, 이동 가능층(66)은 이동 가능층(66) 안의 함몰부들(86) 위에 형성된 지지 구조물들(62)에 의해 간접계 갭(19) 전체에 걸쳐 지지된다. 앞서 논의된 바와 같이, 광학 스택(16)의 일부 도전 영역들과 이동 가능층(66) 안의 도전층들 사이의 단락을 막도록 아래에 놓인 광학 스택(16)의 일부 영역들은 유리하게는 에칭되어 있는데, 이러한 단계가 모든 실시예들에서 수행될 필요는 없다.

[0067] 도 9g에서 증착된 리벳층(96)의 두께는 대안적인 실시예들에서 사용된 물질들의 기계적 특성들에 기초하여 결정될 수도 있음에도 불구하고, 리벳층(96)은 기계층을 지지하기에만 충분한 두께보다 두껍게 형성될 수도 있다. 도 10은 훨씬 더 두꺼운 리벳층으로부터 지지 구조물들(62)이 형성되어 있는 간접계 변조기의 일부 영역을 도시한다. 이러한 실시예에서는, 간접계 변조기 요소를 이동 가능층(66)과의 기계적 간섭에 의한 손상으로부터 보호하거나 보호 백 플레이트(back plate)를 지지하는 스페이서(spacer)를 제공하는 간접계 변조기의 추가적인 지지 구성 요소들(도 7e 및 이에 따른 설명)과 같이 지지 구조물들(62)이 다른 기능들을 수행하는 것이 가능하다. 임의의 실시예들에서, 리벳층의 두께는 300 Å과 1000 Å 사이일 수도 있다. 다른 실시예들에서, 리벳층의 두께는 1000 Å과 10 μ 사이일 수도 있다. 다른 실시예들에서, 리벳층의 두께는 20 μ 이상일 수도 있다. 임의의 실시예들에서, 리벳층의 두께는 기계층 두께의 0.1 배와 0.6 배 사이일 수도 있다. 다른 실시예들에서, 리벳층의 두께는 기계층 두께의 0.6 배와 1 배 사이일 수도 있다. 다른 실시예들에서, 리벳층의 두께는 기계층 두께의 1 배와 200 배 사이일 수도 있다. 임의의 실시예들에서, 상기 범위의 내측 및 외측 모두가 적당할 수도 있다는 것이 이해될 것이다.

[0068] 이동 가능층(66)이 도전성 반사층(90)을 포함하는 일 실시예에서, 분리된 기계층(92)이 생략될 수 있고 리벳층(96)이 기계층의 기능을 수행할 수도 있는데, 도전성 반사층(90)이 전극들로서 기능하여, MEMS 어레이에 걸쳐서 원하는 전기적 접속성을 제공할 수도 있다. 다른 실시예에서, 도전성 반사층(90)은, 예를 들어 패터닝된 도전성 반사층(90)에서 형성된 스트립 전극들의 저항성을 낮춤으로써 원하는 광학적 특성들을 제공하는데 필요한 것보다 더 두껍게 형성될 수도 있다.

[0069] 다른 변형된 실시예에서, 도 9a 내지 도 9e와 관련하여 설명된 단계들을 수행한 후에 두꺼운 기계층이 증착될 수도 있다. 이어서, 이러한 두꺼운 기계층은 남아 있는 희생층 위에 놓이는 일부 영역들에서 폴리싱(polishing) 또는 에칭되어 원하는 두께를 가지게 된다. 그러나, 기계층은 희생 물질 위에 놓이는 구역들에서, 처음에는 원하는 최종 두께보다 두껍기 때문에, 앞서 설명한 바와 같은 지지 구조물(62)(예를 들어 도 9h 참조)에 의한 것과 유사한 지지부를 제공하는, 폴리싱이 수행되지 않은 보다 더 두꺼운 기계층이 희생층 안의 구멍들 안에 남아 있을 것이다. 임의의 실시예들에서 더 얇은 기계층을 이용하여 충분한 지지가 이루어질 수 있음에도 불구하고, 기계층은 희생층 안의 구멍들을 전체적으로 채우기에 충분한 두께를 유리하게는 가질 수도 있다.

[0070] 다른 실시예에서, 지지 구조물들이 이동 가능층 아래에 놓이는 무기질 기둥들의 형태를 가질 수도 있다. 무기질 지지 기둥들을 포함하는 간접계 변조기를 제조하는 예시적 과정이 도 11a 내지 도 11g와 관련하여 논의되는데, 초기 단계들에서의 공정은 도 9a 내지 도 9j의 공정의 초기 단계들에 일반적으로 대응할 수도 있다. 앞서 논의된 바와 같은 다양한 실시예들에서, 간접계 변조기를 제조하는 단계는 광 투과성 기판을 형성하고, 다른 실시예들에서는 투명 기판인 기판에 광학 스택을 형성하는 단계를 포함한다. 광학 스택은 기판에 인접하거나 기판 상에 전극층을 형성하는 도전층; 일부 광이 간접계 변조기 요소의 다른 구성 요소들에 도달하는 동안 일부 입사광을 반사하는 부분적 반사층; 및 아래에 놓이는 전극층을 간접계 변조기의 다른 구성 요소들로부터 차단하는 유전층을 포함할 수도 있다. 도 11a에서, 투명 기판(70)이 제공되고, 도전층(72) 및 부분 반사층(74)이 기판(70) 위에 증착된다는 것을 알 수 있다. 다음으로, 유전층(78)이 부분 반사층(74) 위에 증착된다.

[0071] 앞서 논의된 바와 같이, 몇몇 실시예들에서, 도전층(72)은 투명하고 ITO를 포함하며, 부분 반사층(74)은 부분 반사 두께를 가진 크롬(Cr)과 같은 금속을 포함하고, 유전층(78)은 실리콘 산화물(SiO_2)을 포함한다. 이러한 공정의 일부 시점에서, 적어도 도전층(72)은 패터닝(도 9b에 도시된 바와 같이)되어 간접계 변조기들의 로우를 어드레싱하기 위해 사용되어질 간접계 변조기들의 로우 전극들을 형성한다. 일 실시예에서, 이러한 패터닝은 도전층(72) 및 부분 반사층(74)의 증착 후, 유전층(78)의 증착 전에 수행된다. 다른 실시예에서, 도전층(72) 및 부분 반사층(74)은 지지 구조물들 아래에 갭들(미도시)을 형성하도록 패터닝되어, 지지 구조물의 아래에서 연장되

거나 일부를 형성하면서 위에 놓이는 도전층과 도전층(72) 및 부분 반사층(74) 사이에서 단락이 일어날 가능성을 최소화한다.

- [0072] 본 명세서에서 도전층(72), 부분 반사층(74) 및 유전층(78)의 조합물은 광학 스택(16)으로 불리고, 이후의 도면들에서는 편의를 위해 단층으로 나타낼 수도 있다. 광학 스택(16)의 구성은 광학 스택(16) 층들의 수와 이러한 층들의 구성 요소들에 따라 다양할 수도 있고, 앞서 논의된 층들은 단지 예시적인 것에 불과하다는 것을 이해할 것이다.
- [0073] 본 명세서에서 설명하는 다양한 실시예들과 관련하여 논의되는 패터닝 과정 및 에칭 과정들을 수행하기 위해 다양한 방법들이 사용될 수 있다. 습식 에칭 또는 건식 에칭이 사용될 수도 있고 등방성 또는 이방성일 수도 있다. 적당한 건식 에칭들은 SF_6/O_2 , CHF_3/O_2 , SF_2/O_2 , CF_4/O_2 및 NF_3/O_2 을 포함하지만 이에 한정되지는 않는다. 일반적으로 이러한 에칭들은 하나 이상의 SiO_x , SiN_x , SiO_xN_y , 스핀 온 글라스, Nissan™ 하드 코팅(hard coat) 및 TaO_x 을 에칭하기에 적당하지만 다른 물질들도 이러한 공정에 의해 또한 에칭될 수도 있다. 하나 이상의 이러한 에칭들에 저항성을 가지고, 따라서 에칭 배리어 층들로 사용될 수도 있는 물질들은 Al, Cr, Ni 및 Al_2O_3 을 포함하지만 이에 한정되지는 않는다. 더욱이, PAD 에칭들, BHF, KOH 및 인산을 포함하지만 이에 한정되지는 않는 습식 에칭들은 본 명세서에서 설명하는 과정들에서 이용될 수도 있고, 일반적으로 금속 물질들을 에칭하는데 사용될 수도 있다. 일반적으로, 이러한 에칭들은 등방성일 수도 있지만 에칭 화학물들을 이온화하고 이온들을 기관에 입사시킴으로써, 반응성 이온 에칭법(reactive ion etch:RIE)을 이용하여 이방성으로 만들어질 수 있다. 패터닝 단계는 마스크를 형성하기 위해 사용되는 포토레지스트(photoresist:PR) 층(포지티브 포토레지스트 또는 네가티브 포토레지스트)을 증착하는 단계를 포함할 수도 있다. 대안적으로, 하드 마스크(hard mask)가 사용될 수 있다. 몇몇 실시예들에서, 하드 마스크는 금속 또는 SiN_x 를 포함할 수도 있지만, 하드 마스크의 구성은 아래에 놓이는 에칭될 물질들 및 사용될 에칭의 선택과 관련이 없을 수도 있다는 것이 이해될 것이다. 하드 마스크는 일반적으로 이후 제거되는 PR 층을 이용하여 패터닝되고 하드 마스크는 아래에 놓이는 층을 에칭하기 위한 마스크로서 이용된다. 특정하게는, 하드 마스크의 이용은 습식 에칭이 사용되는 경우 또는 PR 마스크가 다룰 수 없는 조건들(예를 들어 고온 조건 또는 산소계 에칭을 사용하는 경우)에서 마스크를 이용해서 공정을 수행하는 경우에는 항상 유리할 수도 있다. 애싱 에칭 공정 또는 리프트 오프(lift-off) 공정과 같은 여러 층들을 제거하는 대안적인 방법들이 또한 이용될 수도 있다.
- [0074] 도 11b에서 희생 물질로 이루어진 층(82)이 광학 스택(16) 위에 증착된다는 것을 알 수 있다. 도 11c에서, 희생 층(82)은 패터닝되고 에칭되어 테이퍼진 구멍들(86)을 형성하고 있는데, 이 구멍들(86)은 지지 영역들 또는 기둥의 위치들에 대응한다. 이러한 구멍들(86)은 위에 놓이는 층들의 연속적이고 컨포말한 증착을 용이하게 하기 위해 유리하게는 테이퍼진다.
- [0075] 도 11d에서, 무기 기둥 물질로 이루어진 층(84)이 패터닝된 희생층(82) 위에 증착되어 테이퍼진 구멍들(86)의 바닥 및 측벽들을 또한 코팅한다. 임의의 실시예들에서, 무기질 기둥층(84)은 희생층(82)보다 더 얇고 희생층(82) 위에서 컨포말하다. 다른 실시예들에서, 기둥층(84)은 1000 Å 과 5000 Å 사이의 두께를 가진다. 사용되는 실시예들과 물질들에 따라서, 이러한 범위보다 작고 큰 두께 모두가 사용 가능하다는 것을 이해할 것이다. 임의의 실시예들에서, 무기질 기둥층(84)은 매우 다양한 다른 물질들이 사용될 수 있음에도 불구하고 실리콘 질화물(SiN_x) 또는 SiO_2 를 포함할 수도 있는데, 이것들 중 몇몇은 아래에서 보다 더 상세하게 논의될 것이다. 도 11e에서, 무기질 기둥 층(84)은 패터닝되고 에칭되어 무기질 기둥들(88)을 형성한다. 도 11e에서 무기질 기둥들(88)의 모서리들이 테이퍼진 구멍들(86)의 테이퍼지고 경사진 측벽들과 같이 바람직하게는 테이퍼진다는 것을 인지할 수 있는데, 이것은 위에 놓이는 층들의 연속적이고 컨포말한 증착을 용이하게 한다. 예시된 본 실시예에서, 기둥 구조물(88)은 희생 물질(82)의 두께보다 더 얇은 두께를 가지고 실제적으로 평탄한 바닥부(89), 경사진 측벽부(87) 및 실제적으로 희생 물질의 일부 영역 위로 연장되는 수평한 날개부(85)를 포함한다는 것을 인지할 수 있다. 따라서, 기둥(88)은 위에 놓이는 이동 가능층(66)(도 11g)을 지지하기 위한 기둥의 모서리에 실제적으로 평탄한 표면을 유리하게는 제공하는데, 이렇게 함으로써 이동 가능층(66)이 다소 덜 평탄한 모서리 위에 증착되는 경우 발생할 수도 있는 응력 및 결과적으로 원하지 않는 변형을 최소화한다.
- [0076] 일 실시예에서, 무기질 기둥 층(84) 및 결과적인 기둥(88)은 다이아몬드 유사 탄소(diamond-like carbon:DLC)를 포함한다. DLC 무기질 기둥 층(84)은 매우 경직되고 단단(대략 SiO_2 보다 10 배 단단함)할 뿐만 아니라 O_2 습식 에칭을 이용하여 에칭될 수 있다. 유리하게는, O_2 건식 에칭은 앞서 논의된 다른 희생 물질들뿐만 아니라 Mo 및 a-Si 희생 물질을 포함하지만 이에 한정되지는 않는 매우 다양한 희생 물질들과 관련되어 매우 선택적이다. 따

라서, DLC를 포함하는 무기질 기둥은 다양한 경직성을 지닌 기둥을 제공하는데, 이렇게 하여, 위에 놓이는 이동 가능층 또는 기계층이 MEMS 작동 동안 하방향으로 당겨질 때 지지 기둥(88)의 모서리들에 대한 하방향 굴곡량 및 그 가능성을 줄이게 되고, 매우 다양한 물질들에 상대적으로 순조로운 에칭 사용이 가능하다.

[0077] 도 11f에서, 고 반사층(90)이 무기질 기둥들(88) 및 희생층(82)의 노출부들 위에 증착된다. 다음으로 기계층(92)은 고 반사층(90) 위에 증착된다. 앞서 주지한 바와 같이, 편의를 위해 고 반사층(90) 및 기계층(92)은 일련의 도면들에 이동 가능층(66)(도 11g 참조)으로서 언급되고 도시될 수도 있고, 더 상세하게는 기계층(92)이 고 반사층(90) 위에 직접적으로 증착되는 경우에는 언제나 변형 가능 반사 층으로서 언급되고 도시될 수도 있다. 대안적인 실시예들에서, 이동 가능층(66)은 원하는 광학적 특성 및 기계적 특성을 지닌 단층을 포함할 수도 있다. 예를 들어, MEMS 기계적 스위치들을 위한 기계 또는 이동 층들은 반사층들을 포함할 필요가 없다. 앞서 언급한 바와 같이, 또 다른 실시예들에서, 이동 가능층은 도 7c의 층들(14, 34)과 같은 실제적으로 분리된 기계층 및 반사층을 포함할 수도 있다. 부분적으로 분리된 기계층 및 반사층을 가진 이러한 MEMS 장치들 형성하기 위한 예시적 과정이 도 35a 내지 도 35h 및 도 36a 내지 도 36c를 참조하여 아래에서 더 상세하게 논의된다. 도 11g에서, 릴리스 에칭이 수행되어 희생층(82)을 선택적으로 제거하고 간섭계 겹(19)을 가지는 간섭계 변조기 요소(60)를 형성하는데, 이동 가능층(66)은 간섭계 겹(19)을 통해 간섭계 변조기 요소(60)에 의해 반사된 색깔을 변경시키도록 움직일 수 있다. 릴리스 에칭 이전에, 이동 가능층(66)은 바람직하게는 패터닝되어 칼럼들(미도시)을 형성하고 유리하게는 더 패터닝되어 에칭 홀들을 형성할 수도 있는데(예를 들어 도 9j의 에칭 홀들(100) 참조), 이것은 릴리스 에칭에 의한 희생층의 접근을 용이하게 한다.

[0078] 대안적인 실시예(도 17과 관련하여 아래에서 설명됨)에서, 반사층이 최종 변조기 요소 안에 있는 지지 구조물(88) 아래에 놓이게 되도록 반사층은 지지층(84)의 증착 및 에칭 이전에 증착될 수도 있다.

[0079] 또 다른 실시예에서, 지지 구조물들은 이동 가능층(66)의 위와 아래에 형성될 수도 있다. 도 12a 내지 도 12d는 도 11a 내지 도 11f의 단계들을 포함하는 이러한 실시예를 도시한다. 도 12a에서, 반사층(90) 및 기계층(92)이 아래에 놓이는 지지 구조물(88) 위에 증착되었을 때, 리벳층(96)이 기계층(92) 위에 증착된다는 것을 알 수 있다.

[0080] 이어서 도 12b에서 알 수 있는 바와 같이, 리벳층(96)은 패터닝되고 에칭되어 기계층(92) 위에 위치하는 지지 구조물들(62)을 형성한다. 임의의 실시예들에서, 아래에 놓이는 지지 구조물들(88)을 패터닝하기 위해 도 11e의 단계들에서 사용되는 것과 동일한 마스크가 사용되어 위에 놓이는 지지 구조물들(62)을 패터닝한다. 도 12c는 이러한 층들 안에 에칭 홀들(100)을 형성하여 희생층(82)을 노출시키기 위한, 기계층(92) 및 반사층(90)의 패터닝 과정 및 에칭 과정을 도시한다.

[0081] 최종적으로, 도 12d에 도시된 바와 같이, 희생층(82)은 에칭되어 희생물질이 제거되고 간섭계 변조기가 릴리스 되어 간섭계 겹(19)을 통한 이동 가능층(66)의 움직임이 가능해진다. 따라서, 간섭계 변조기 디스플레이 요소가 형성되고, 이동 가능층(66)의 일부 영역들이 구멍(86)(도 11c)에 의해 처음에 정의된 함몰부에서 지지 구조물들(62, 88) 사이에 개재되어, 추가적인 지지와 강도가 제공되고, 앞서 논의된 바와 같이 임의의 실시예들에서, 다른 목적들(도 7e 및 이에 따른 설명 참조)을 위한 상부 지지 구조물들(62)의 사용을 가능하게 한다.

[0082] 다른 실시예들에서, 실제적으로 평탄한 상부면을 가지고 아래에 위치하는 경한 지지 구조물을 제공하는 것이 바람직할 수도 있다. 간섭계 변조기의 이러한 일 실시예를 제조하기 위한 과정이 도 13a 내지 도 13e를 참조하여 설명된다. 이러한 과정은 도 11a 내지 도 11d의 단계들을 포함한다. 도 13a에서, 마스크를 형성하기 위해 포토레지스트 물질(134)로 이루어진 층이 경한 지지 물질(84)로 이루어진 층 위에 증착된다는 것을 알 수 있는데, 이것은 앞서 도 11d와 관련되어 논의된 바와 같이 지지 구조물들(88)을 형성하는 지지 물질(84)을 에칭하기 위해 사용될 것이다. 증착된 포토레지스트 물질(134)은 경한 지지층(84)의 레벨 위로 연장될 정도로 충분히 두껍고, 아래에 놓이는 테이퍼진 구멍들(86)(도 11b)에 대응하는 지지층(84) 안에 있는 함몰부들(136)을 완전히 채운다는 것을 알 수 있다.

[0083] 도 13b에서, 포토레지스트 물질(134)은 패터닝되어 마스크(140)를 형성하고, 마스크는 아래에 놓인 경한 지지층(84)을 에칭하여 지지 구조물들(88)을 형성하기 위해 사용된다. 도 13c에서, 마스크의 포토레지스트 물질은 에칭되어 남아있는 포토레지스트 물질(134)이 지지 구조물들(88) 안에 있는 함몰부들(136) 내에 위치하도록 한다. 도 13d에서, 반사층(90) 및 기계층(92)은 지지 구조물들(88)의 상단 위에 증착되어, 남아 있는 포토레지스트 물질(134)을 포함하고, 이동 가능층(66)을 형성한다. 인지할 수 있는 바와 같이, 남아 있는 포토레지스트 물질(134)의 사용으로 실제적으로 평탄하거나 평평한 표면이 형성되는데, 이러한 평탄하거나 평평한 표면 위에는 도 11g에 도시된 실시예와 비교되는 이동 가능층(66)이 증착될 수도 있다. 함몰부 안에 추가적인 물질을 제공함으

로써 지지 구조물들의 강도가 또한 증가된다. 도 13e에서, 에칭 홀들(100)이 이동 가능층(66) 안에 형성되고, 릴리스 에칭이 수행되어 희생층(82)을 제거함으로써, 간접계 변조기 요소(60)를 릴리스하게 된다.

[0084] 대안적인 실시예들에서, 지지 구조물들(88)을 형성하기 위해 사용되는 포토레지스트 마스크는 완전히 제거될 수도 있고, 지지 구조물들(88)의 캐비티들(136)을 채우는 필러(filler) 물질이 별도의 단계에서 증착될 수도 있는데, 이것은 스핀 온 유전체와 같은 보다 더 경직된 리벳 물질을 제공하는 장점을 가질 수도 있다. 이러한 일 실시예에서, 앞서 논의된 평탄화 물질들을 포함하지만 이에 한정되지는 않는 임의의 적당한 물질이 사용될 수도 있다. 그러나, 도 13a 내지 도 13e와 관련되어 논의된 과정은 추가 층을 증착하는 별도의 과정을 생략함으로써 이러한 변조기 요소를 제조하기 위해 요구되는 단계들을 최소화한다. 또 다른 실시예들에서, 다른 실시예들 및 도 9j의 경한 지지 구조물들(62)과 유사한 경한 지지 구조물이 추가적인 지지를 제공하기 위해 도 13e의 이동 가능층(66) 위에 추가적으로 형성될 수도 있다.

[0085] 도 14a 내지 도 14c는 반사층(90)이 지지 구조물의 바닥에 놓이지 않게 되도록 수행할 수도 있는 일련의 대안적인 단계들을 도시한다. 이러한 단계들은, 예를 들어 도 9a 내지 도 9d의 단계들 이후에 수행될 수도 있다. 도 14a에서, 반사층(90)은 에칭되지 않은 희생층(82) 위에 증착된다는 것을 알 수 있다. 도 14b에서, 반사층(90) 및 아래에 놓이는 희생층(82) 모두는 패터닝되고 에칭되어 테이퍼진 구멍들(116)을 형성한다는 것을 알 수 있다. 도 14c에서, 기계층(92)이 에칭된 희생층(82) 및 반사층(90) 위에 증착된다. 도 9e의 테이퍼진 구멍들(86)과는 달리, 테이퍼진 구멍들(116)의 측벽들은 반사층(90)으로 코팅되지 않고(도 9f 참조) 기계층(92)으로 코팅되어, 기계층(92)이 아래에 놓이는 유전층(78)과 접촉하도록 한다는 것을 알 수 있다. 간접계 변조기 요소는, 일 실시예에서 리벳 구조물 형성 단계를 포함하는 도 9g 내지 도 9j와 관련되어 설명한 단계들을 이어서 수행함으로써 제조될 수도 있다는 것을 이해할 것이다.

[0086] 도 15a 내지 도 15c는 형성될 지지 구조물의 바닥 아래에 놓이게 되는 반사층의 이러한 일부 영역들을 제거하기 위해 사용될 수도 있는 또 다른 일련의 대안적인 단계들을 도시한다. 이러한 단계들은 도 9a 내지 도 9e의 단계들 이후에 수행될 수도 있다. 희생층(82)이 패터닝되고 에칭되어 테이퍼진 구멍들(86)을 형성했을 때, 반사층(90)은 도 15a에 도시된 바와 같이 희생층(82) 위에 증착된다. 도 15b에서, 반사층(90)은 패터닝되고 에칭되어 아래에 놓이는 유전층(78)과 접촉하는 반사층의 적어도 일부 영역들을 제거한다. 다른 실시예들에서, 테이퍼진 구멍(86)의 측벽들과 접촉하는 반사층(90)의 일부 영역들이 또한 제거될 수도 있다. 도 15c에서, 기계층(92)이 에칭된 희생층(82) 및 반사층(90) 위에 증착된다는 것을 알 수 있다. 다음으로, 도 9g 내지 도 9j와 관련되어 설명한 단계들이 리벳 구조물을 포함하는 간접계 변조기 요소를 제조하기 위해 수행될 수도 있다.

[0087] 도 16a를 참조하여, 기둥 구조물을 포함하는 임의의 실시예들에서, 무기질 기둥들(88)(도 16b 참조)을 형성하는 무기질 기둥 층(84)(도 11d 참조)의 에칭 공정 동안 희생층(82)을 보호하는 에칭 배리어 층(130)이 제공된다. 예시된 실시예들에서, 에칭 배리어 층(130)은 테이퍼진 구멍들(86)을 형성하기 위한 패터닝 공정 및 에칭 공정 이전에(예를 들어, 도 9d와 도 9e의 단계들 사이에서) 희생층(82) 위에 증착된다. 다음으로, 에칭 배리어 층(130)은 테이퍼진 구멍들(86)을 형성하는 단계 이전이나 동시에 패터닝되고 에칭된다(예를 들어, 도 14a 내지 도 14c의 반사층과 동일한 형식으로 증착되어 패터닝될 수도 있다). 도 16a에서 알 수 있는 바와 같이, 에칭 배리어 층(130)은 테이퍼진 구멍(86)으로부터 떨어진 희생층(82)의 일부 영역만 덮는다. 유리하게는, 희생층(82)과 분리하여(예를 들어, 이전에) 에칭 배리어 층(130)을 패터닝하고 에칭하는 단계는 에칭 배리어(130)의 에칭을 더 잘 제어하도록 하여, 에칭 배리어(130)의 밑을 파내는 구멍 에칭으로 인해 에칭 배리어(130)이 구멍(86) 위로 돌출되는 것을 방지한다. 이러한 밑이 파내지는 현상은 기둥 층(84)(도 11d 참조)의 연속적이고 컨포말한 증착에 나쁜 영향을 미칠 것이다. 예를 들어 적당한 에칭 배리어들은 Al, Al₂O₃, Cr 및 Ni를 포함하지만 이에 한정되지는 않는다. 도 17a 내지 도 17b와 관련되어 아래에 더 상세히 설명되는 임의의 실시예들에서, 반사층은 유리하게는 에칭 배리어 층(130)으로서 기능할 수 있다.

[0088] 다음으로, 16b에서 알 수 있는 바와 같이, 무기질 기둥 레이어가 증착되고 에칭되어 무기질 기둥들(88)을 형성한다. 알 수 있는 바와 같이, 희생층(82)은 기둥들을 형성하는 에칭 공정에 노출되지 않는데, 에칭 공정동안 기둥 구조물들(88)을 정의하고 무기질 기둥 층(84)을 보호하기 위해 사용되는 마스크가 테이퍼진 구멍(86) 아래에 놓이는 기둥 층을 보호하고, 무기질 기둥들(88) 사이에서 연장되는 에칭 배리어 층(130)은 희생층(82)의 이러한 일부 영역들을 보호하기 때문이다. 에칭 배리어(130) 때문에, 무기질 기둥과 희생층 사이에서 비선형적인 지지 기둥(88)을 형성하기 위한 에칭 공정이 사용될 수 있다. 이것은 건식 에칭 공정들, 예를 들어 SF₆/O₂, CHF₃/O₂, CF₄/O₂, NF₃/O₂ 같은 화학물 및 다른 모든 불소 함유 화학물을 포함하는 에칭 공정들과 관련하여 특히 유리하지만, 습식 에칭 공정들과 관련해서도 또한 유용하다. 아래에서 더 상세하게 논의되는 바와 같이, 임의의 실시예들에

서 에칭 배리어 층(130)은 유리하게는 최종 장치 안에 남아 있을 수도 있다.

- [0089] 도 17a 및 도 17b를 참조하여, 대안적인 실시예에서, 희생층(82)이 패터닝되고 에칭되어 테이퍼진 구멍들(86)을 형성한 이후에 테이퍼진 구멍들(86)의 벽들과 바닥을 코팅하도록 에칭 배리어 층(130)이 증착된다. 다음으로 무기질 기둥 층이, 도 17a에 도시된 바와 같이 에칭 배리어 층(130) 위에서 증착되고 패터닝된 후 에칭되어 기둥들(88)을 형성한다. 도 17a 및 도 17b에서 알 수 있는 바와 같이, 무기질 기둥(88)에 덮이지 않은 희생층(82)을 또한 보호하는 이러한 에칭 배리어 층(130)은 전체 무기질 기둥(88) 아래에 놓인다.
- [0090] 릴리스 에칭이 수행된 이후에 도 17a의 변조기부를 도시하는 도 17b에서 알 수 있는 바와 같이, 무기질 기둥(88)의 상부는 무기질 기둥(88) 위에 증착되는 기계층(92)에 의해 보호된다. 따라서, 무기질 기둥(88)은 릴리스 에칭 공정 동안 에칭 배리어 층(130) 및 기계층(92)의 조합에 의해 완전하게 둘러싸인다. 완전히 둘러싸여 있음으로 해서, 무기질 기둥 물질 및 희생 물질과 관련되어 비선택적인 에칭 화학물들은 무기질 기둥 에칭 및 릴리스 에칭 모두에서 사용될 수도 있다. 특정한 실시예에서, 각각의 층이 다른 층 상에서 수행되는 에칭 공정으로부터 분리되어 있음으로 해서 동일한 물질이 희생 물질(82) 및 기둥(88)을 형성하는 무기질 기둥 물질 모두에 사용될 수도 있다.
- [0091] 도 17b에 도시되는 실시예에서, 패터닝된 무기질 기둥(88)을 넘어 연장되는 에칭 배리어 층(130)의 이러한 일부 영역은 아래 도 18 및 도 19와 관련되어 도시되는 바와 같이 최종 간섭계 변조기에 남아 있을 수도 있거나 제조 공정동안 일부 지점에서 제거될 수도 있다. 일 실시예에서, 에칭 배리어 층(130)은 알루미늄 또는 에칭 배리어 층으로서 기능하는 것이 가능한 다른 고 반사 물질을 포함할 수도 있다. 이러한 실시예에서, 에칭 배리어 층(130)은 변형 가능 반사층 안에서 반사 표면으로서 기능하도록 최종 변조기에 남아 있을 수도 있다. 이러한 일 실시예에서, 기계층(92)만이 무기질 기둥(88) 및 에칭 배리어 층(130) 위에 증착될 필요가 있는데, 에칭 배리어 층(130)을 포함하는 반사 물질은 기계층과 더불어 변형된다. 다른 실시예에서, 에칭 배리어 층은 Al_2O_3 로 이루어진 얇은 층과 같은 실제적으로 투명한 물질을 포함할 수도 있다. 간섭계 변조기들 또는 이러한 유형의 다른 MEMS 요소들에서, 추가적인 반사층(미도시)은 도 11g의 이동 가능층(66)과 같은 변형 가능 반사층을 형성하기 위해 바람직하게는 기계층(92)의 증착 공정 이전에 증착된다.
- [0092] 특정한 일 실시예에서, 에칭 배리어층(130)은 Al을 포함하고 불소계 에칭 공정에 저항성을 가진다. 희생층이 Mo 보다는 a-Si를 포함하는 경우에 특히 사용하기 적당한 다른 실시예에서, 에칭 배리어 층은 Al 또는 Al_2O_3 를 포함하고 대안적으로 Ti 또는 W를 포함할 수도 있다. 다른 적당한 에칭 배리어 물질들은 Cr 및 Ni를 포함하지만 이에 한정되지는 않는다. 일 실시예에서, 에칭 배리어 층은 40 Å 과 500 Å 사이에 있지만 실시예에 따라서 더 두꺼울 수도 있고 더 얇을 수도 있다. 에칭 배리어 층(130)이 도전 물질을 포함하는 일 실시예에서, 지지 구조물(88) 아래에 직접적으로 놓이는 영역안의 광학 스택(16) 내에서 도전층들의 제거는 유리하게는 도전성 에칭 배리어 층과 광학 스택(16) 내의 도전층들 사이에서 단락이 발생하는 위험성을 최소화한다(예를 들어, 도 9b 및 이에 따르는 설명 참조).
- [0093] 도 18과 관련하여 설명되는 대안적인 실시예에서, 에칭 배리어 층(130)이 증착될 수도 있고, 위에 놓이는 기둥 구조물(88)이 도 17a와 관련하여 설명되는 바와 같이 형성된다. 위에 놓이는 기둥 구조물(88)이 형성된 이후, 기둥 구조물(88)에서 떨어져 위치한 에칭 배리어 층(130)의 일부 영역들을 제거하기 위해 패터닝 및 에칭 공정이 사용될 수도 있는데, 이렇게 하여 에칭 배리어 층(130)의 남아 있는 일부 영역들이 기둥 구조물(88) 아래에 위치하게 되고, 이후의 릴리스 에칭으로부터 기둥 구조물(88)을 보호하도록 한다. 유리하게는, 지지 기둥에 매우 근접해 있지 않거나 아래에 놓이지 않은 에칭 배리어 층의 일부 영역들이 제거되기 때문에, 디스플레이의 광학적으로 작동하는 일부 영역들은 실제적으로 에칭 배리어 층에 영향을 받지 않는다. 따라서, 에칭 배리어 층의 구성 및 두께는 에칭 배리어 층의 불투명도를 고려하지 않고 릴리스 에칭으로부터 보호하려는 수준에만 기초하여 선택될 수도 있다.
- [0094] 도 19와 관련하여 설명되는, 앞서의 공정에 대한 다른 개선 과정에 있어서, 기둥 구조물(88)의 구성에 따라서, 기둥 구조물(88) 자체를 에칭 배리어 층(130)의 에칭 공정동안 하드 마스크로서 사용하여 에칭 배리어 층(130)의 노출부가 추가적인 패터닝 공정을 필요로 하지 않고 에칭될 수도 있다는 것을 알 수 있다. 유리하게는, 에칭 배리어 층(130)의 남아 있는 일부 영역은 기둥 구조물(88)의 모서리와 실제적으로 같은 면 상에 위치하도록 하여, 기둥 구조물(88)을 릴리스 에칭으로부터 보호하는데 필요로 하는 것 이상의 에칭 배리어 층(130)이 남아 있지 않도록, 더 나아가 에칭 정지 층(130)의 광학적 효과를 최소화하도록 한다.
- [0095] 도 20과 관련하여, 지지 구조물이 이동 가능층(66)에 인접하여 형성되는 실시예에서, 도시된 바와 같이 리벳 구

구조물(62)이 이동 가능층(66) 위에 놓이는데, 이동 가능층에 지지 구조물(62)을 고정하도록 추가적인 접착을 제공하는 것이 바람직할 수도 있다. 특정하게는, 간접계 변조기의 작동은 이동 가능층(66)을 위에 놓이는 지지 구조물(62)로부터 멀어지는 방향으로 당기는 경향이 있기 때문에, 이동 가능층(66)과 위에 놓이는 지지 구조물(62) 사이의 접착을 개선함으로써 이동 가능층(66)이 리벳(62)으로부터 당겨져 떨어지는 위험성을 최소화하게 된다. 예시된 실시예에서, 기계층(92)(도 9f 참조)의 증착 이후에, 부착 증진 층(136)이 증착될 수도 있다. 도 9f와 같이, 기계층의 증착 이후와 리벳층의 패터닝 이전에 부착 증진 층(136)이 증착되는데, 리벳 구조물(62)을 형성하기 위한 패터닝 공정에서 동시에 패터닝 된다.

[0096] 이동 가능층의 증착 전에 도 11e의 기둥 구조물(88)과 같은 지지 구조물이 형성되는 다른 실시예에서, 지지 기둥들(88)(도 11e 참조)을 형성하는 기둥 층(84)을 패터닝하기 이전에 부착 증진 층이 기둥 층(84)(도 11d) 위에 형성될 수도 있다. 그러나, 지지 구조물(88)의 형성 이후에 부착 증진 층이 대안적으로 증착되고 패터닝될 수도 있어, 부착 증진 층이 지지 기둥(88)의 테이퍼진 모서리들 위에 놓이도록 하는데, 이렇게 함으로써 부착 증진 층의 효력을 향상시키지만 별도의 마스킹 단계 및 에칭 단계를 추가함으로써 공정이 복잡하게 된다는 것이 이해될 것이다.

[0097] 이러한 부착 증진 층들은 지지 구조물들을 형성하는 층들 및 이동 가능층의 구성에 기초한 매우 다양한 물질들 중 어떤 것을 포함할 수도 있는데, 이것은 임의의 물질들이 다른 물질들과 접촉하는 경우 상이한 부착 증진량을 제공할 수도 있기 때문이다. 매우 다양한 기계 물질 및 리벳 물질과 접촉하는데 유용한 부착 증진 물질의 일 예로 Cr이 있지만 다른 많은 물질들이 부착 증진 층들로 사용될 수도 있다.

[0098] 앞서 논의된 바와 같이, 증착된 리벳 구조물을 릴리스 에칭으로부터 보호하기 위해 제조 공정상의 여러 변경이 수행될 수도 있다. 유리하게는, 이러한 것들은 리벳 구조물에 있어서 보다 넓은 범위의 물질들을 이용하는 것을 허용하는데, 이것은 리벳 물질이 릴리스 에칭에 노출되지 않는다면 희생 물질은 리벳 물질과 관련하여 선택적으로 에칭 가능할 필요가 없기 때문이고, 리벳 구조물이 릴리스 에칭에 노출되는 경우 리벳 구조물에 의해 야기될 수도 있는 임의의 손상을 최소화하게 된다.

[0099] 도 21과 관련하여 설명되는 일 실시예에서, 리벳 구조물(62)은 기계층 또는 이동 가능층 위에 형성되어 있다는 것을 알 수 있는데, 예시된 실시예에서 기계층 또는 이동 가능층은 패터닝된 희생층(82) 위에 연장된 반사 이동 가능층(66)이다. 다음으로, 리벳(62)이 보호 물질(104)로 덮이는데, 보호 물질(104)은 적어도 릴리스 에칭이 수행 완료될 때까지 리벳 위에 위치하고 이 시점에서 제거될 수도 있고 제거되지 않을 수도 있다. 일 실시예에서, 보호층(104)은 포토레지스트 물질로 이루어진 층을 포함한다. 다른 실시예에서, 대안적인 에칭 배리어 물질로 이루어진 별개의 층이 보호층(104)을 형성한다. 보호층(104)은 리벳에 대해 원하는 수준으로 보호되도록 릴리스 에칭에 대해 충분한 저항성을 가지는 임의의 물질일 수도 있다. 예를 들어, 일 실시예에서, 리벳(62)은 SiN_x를 포함할 수도 있고, 릴리스 에칭은 XeF₂ 에칭일 수도 있고, 보호층(104)은 리벳(62)이 형성된 이후 포토레지스트 물질로 이루어진 층을 포함할 수도 있다.

[0100] 다른 실시예에서, 리벳 구조물을 변형 가능 반사층 또는 기계층 아래에 놓이는 구조물들에 고정시키거나 고착시켜 리벳 구조물의 안정성을 향상시킬 수도 있다. 도 22에 도시된 일 실시예에서, 이동 가능층(66)(기계층(92) 및 반사층(90)을 포함할 수도 있는, 도 9j 참조)이 패터닝된 희생층(82) 위에 증착되어 테이퍼진 구멍들(86)의 모양을 가지도록 한다. 다음으로, 이동 가능층(66)은 테이퍼진 구멍(86)의 바닥 중 적어도 일부 영역에서 에칭되어 아래에 놓이는 층을 노출시키도록 하는데, 이러한 경우에 있어서 아래에 놓이는 층은 광학 스택(16)의 상단에 위치한 유전층이 된다. 다음으로 리벳층이 앞서 논의된 바와 같이 증착되고 패터닝되어 리벳 구조물(62)을 형성한다. 알 수 있는 바와 같이, 리벳 구조물(62)은 이제 이동 가능층(66)의 실제적으로 평탄한 바닥을 통해 연장되어, 아래에 놓이는 광학 스택(16)에 고정되며, 리벳 구조물에 유리하게는 추가적인 안정성을 제공하는 구멍(106)을 통해서 연장되는데, 아래에 놓이는 유전층에 리벳 물질이 부착되는 것은 기계층(92)에 대한 부착보다 나을 수도 있고 리벳 구조물(62)이 더 이상 리벳 구조물(62)을 제자리에 고정시키는 이동 가능층(66)과 광학 스택(16) 사이의 부착에 의존하지 않는다. 대안적인 실시예들에서, 리벳 구조물(62)은 광학 스택(16)의 상부면과는 다른 어떤 구조물에 고정될 수도 있다는 것이 또한 이해될 것이다. 예를 들어, 이동 가능층(66) 아래에 놓이는 기둥 구조물 및 리벳 구조물(62)이 이동 가능층(66)의 일부 영역을 중간에 개재시키는 대안적인 실시예(미도시)에서, 리벳 구조물은 이동 가능층(66) 안에 있는 구멍을 통해서 아래에 놓이는 기둥 구조물에 고정될 수 있거나, 또는 아래에 놓이는 임의의 층, 예를 들어 임의의 실시예들에서, 이동 가능층(66)의 반사층(90)에 더 강하게 부착 고정될 수 있다.

[0101] 도 23a 내지 도 23e와 관련하여 설명되는 다른 공정에서, 무기질 기둥 구조물들을 형성하기 위해 도금 공정이

사용될 수 있다. 이러한 공정은 도 9a 내지 도 9e의 단계들을 포함한다. 도 23a에서, 얇은 씨드층(seed layer)(208)이 패터닝된 희생층(82) 위에 증착된다는 것을 알 수 있다. 일 실시예에서, 씨드층(208)은 구리로 이루어진 얇은 층을 포함하고 스퍼터링 또는 CVD에 의해 형성될 수 있다. 다른 실시예에서, 씨드층은 알루미늄을 포함할 수도 있고, 도 23e와 관련하여 아래에서 설명하는 제거 단계를 생략함으로써 광학 MEMS 장치에서 반사층으로 기능할 수도 있다. 도 23b에서, 마스크(202)는 씨드층(208) 위에 형성되는데, 도금 공정에 의해 형성될 기둥의 형상을 정의하는 구멍(210)을 가진다. 도시된 구멍(210)의 모서리들은 요입(reentrant)된 윤곽을 가지고 돌출되어(본 명세서에서는 음의 각도를 또한 의미함), 형성될 기둥 구조물이 구멍(210)의 테이퍼진 모서리들에 대응하는 테이퍼를 가지게 하도록 한다는 것을 알 수 있다. 도 23c에서, 기둥 물질로 이루어진 층(212)을 형성하기 위해 도금 공정이 사용된다는 것을 알 수 있다. 도 23d에서, 마스크(202)는 제거되고 씨드층(208) 및 기둥 층(212)만 남게 된다. 다음으로, 도 23e에서, 기둥 층(212)에서 이격된 씨드층(208)의 일부 영역들이 에칭으로 제거되고(예를 들어, 기둥 층(212)을 이러한 에칭을 위해 마스크로서 이용함), 씨드층(208)의 남아 있는 일부 영역들 및 기둥 층(212)을 포함하는 무기질 기둥(214)을 형성한다. 다음으로, 기계층 또는 변형 가능 반사층이 기둥 위에 증착될 수 있는데, 기둥 날개들의 모서리에 있는 테이퍼진 각도는 증착을 용이하게 한다. 앞서 논의된 바와 같이, 씨드층이 알루미늄 또는 다른 반사 물질을 포함하는 일 실시예에서, 도 23e의 제거 단계는 앞서 언급한 공정에서 생략될 수도 있고, 기계층은 반사 씨드층 위에 증착될 수도 있다.

[0102] 또한, 금속 산화물을 형성하기 위해 아노다이징되어 있는 금속이 지지 구조물을 형성하기 위해 사용될 수 있다. 일 실시예에서, 도 24a 및 도 24b와 관련하여 논의되는 바와 같이, 아노다이징된 알루미늄 또는 Ta는 무기질 기둥을 형성하는 과정에서 사용된다. 도 24a에서, Al 또는 Ta일 수 있는 금속층(254)이 패터닝된 희생층(82) 위에 형성되는 것을 알 수 있다. 도 24b에서, 금속층(254)은 무기질 기둥들의 모양을 형성하도록 패터닝되어 있고, Al₂O₃ 또는 Ta₂O₅ 무기질 기둥들(256)을 형성하기 위해 아노다이징되어 있다. 유리하게는, 아노다이징된 Al₂O₃ 또는 Ta₂O₅는 핀홀(pin hole) 결함들이 없는 유전층을 형성하고, 그 위에 증착된 기계층과 광학 스택(16) 사이의 단락 가능성을 현저히 감소시킨다.

[0103] 앞서 논의된 바와 같이, 리벳 물질을 테이퍼진 구멍 위에 연속적이고 컨포말하게 증착하는 것이 보다 용이하다. 그러나, 테이퍼진 형상 때문에, 특정하게는 기계층과 비교하여 리벳층이 얇은 실시예들에서 임의의 리벳 구조물들은 리벳 구조물들의 모서리들에서 하방향 변형이 가능할 수도 있다. 임의의 실시예들에 있어서, 리벳 구조물의 모서리들에서의 이러한 하방향 변형을 억제하기 위해, 리벳 구조물 아래에 놓이는 추가적인 지지부를 제공하는 것이 바람직할 수도 있다. 도 25a 내지 도 25h는 지지 구조물을 변형하여 추가적인 지지부를 형성하는 실시예들을 도시한다.

[0104] 도 25a 내지 도 25h와 관련하여 설명되는 일 실시예에서, 리벳 구조물을 추가적으로 지지하기 위해 릴리스 에칭으로부터 보호되는 희생 물질이 사용될 수도 있다. 이러한 지지부들을 포함하는 간접계 변조기 요소를 제조하는 이러한 공정은 도 9a 내지 도 9d와 관련하여 설명된 단계들을 포함한다. 도 25a에서, 희생층(82)은 패터닝되고 에칭되어 희생 물질로 이루어진 환형부들(120)이 제거되고, 희생 물질(82)의 남아 있는 부분으로부터 분리된 희생 물질로 이루어진 칼럼들(122)이 형성된다.

[0105] 도 25b에서, 보호 물질(124)이 증착되어 환형부들(120)을 채운다. 알 수 있는 바와 같이, 보호 물질은 바람직하게는 환형부들(120)을 완전히 채운다. 유리하게는, 희생층(82)을 포함하는 물질은 보호 물질(124)에 대해서 선택적으로 에칭 가능한데, 이것은, 예를 들어 폴리머 물질 또는 포토레지스트 물질일 수도 있다. 유리하게는, 보호 물질(124)은 위에 놓이는 이동 가능층들을 증착하는 이후의 공정을 위해 평탄한 표면을 제공하도록 스핀 온 디일렉트릭과 같은 자체 평탄화 물질을 포함할 수도 있다. 그러나, 보호 물질(124)을 증착하기 위해 사용되는 방법 및 환형 구조물(120)의 크기에 따라서, 다양한 물질들이 보호 물질(124)로서 사용하기 적당할 수도 있다. 도 25c에서, 희생 물질로 이루어진 분리된 칼럼들(122)의 상부면이 노출되도록 보호 물질은 희생층(82)의 레벨까지 에칭되어 있다는 것을 알 수 있다.

[0106] 도 25d에서, 희생 물질로 이루어진 분리된 칼럼들(122) 사이에서 테이퍼진 구멍들(126)을 형성하기 위해 제2패터닝 및 에칭 공정이 사용된다. 도 25e에서, 반사층(90) 및 기계층(92)이 희생 물질 위에 증착되고, 이어서 기계층 위에 리벳층(96)의 증착 공정이 수행된다. 도 25e에 도시된 바와 같이, 지지 기둥 아래에 놓이게 되는 반사층(90)의 일부 영역을 제거하기 위해 앞서 논의된 바와 같은 제조 공정에서의 변형들이 유리하게는 사용될 수도 있다는 것을 이해할 것이다.

[0107] 도 25f에서, 리벳층(96)은 에칭되어 지지 구조물들(62)을 형성하고, 이어서 기계층(92) 및 반사층(90)이 패터닝되고 에칭되어 에칭 홀들(100)을 형성하고, 도 8에 도시된 바와 같이 선택적으로 이동 가능층(66)의 스트립들을

또한 분리한다. 따라서, 도 25f는 릴리스되지 않는 MEMS 장치를 도시한다. 도 25g에서, 릴리스 에칭이 수행되어 보호 물질(124)로 이루어진 환형 시스(sheath)들에 의해 둘러싸이지 않은 희생층(82)의 일부 영역들을 제거한다 (예를 들어, 칼럼들(122)). 여기서, 간접계 변조기 요소(60)는 이동 가능층(66) 및 에칭되지 않은 희생 물질로 이루어진 칼럼들(122) 위에 놓이는 리벳 구조물들(62)을 가지는데, 이러한 희생물질은 보호 물질(124)로 이루어진 시스들에 의해 둘러싸이고 이동 가능층(66) 안에 있는 함몰부를 아래와 둘레에 위치한다. 선택적으로, 보호 물질(124)의 시스는 애싱 공정 또는 에칭 공정과 같은 후속 단계에 의해 제거될 수도 있어서, 도 25에서 알 수 있는 바와 같이, 노출되어 있지만 에칭되지 않은 희생 물질로 이루어진 기둥들을 포함하는 간접계 변조기를 형성한다.

[0108] 또 다른 실시예에서, 리벳 구조물들을 형성하는데 사용한 것과 동일한 물질을 사용하여 리벳 구조물(62)과 같은 리벳 지지 구조물들을 이용하여 목적에 맞게 추가적으로 지지가 가능할 수도 있다. 도 26a 내지 도 26e와 관련하여 설명되는 일 실시예에서, 대안적인 지지 기둥 및 리벳 구조물은 스핀 온 물질로 형성된다. 도 26a에서, 희생 물질(82)로 이루어진 층은 증착 및 패터닝되어 테이퍼진 구멍들(86)을 형성하고, 이동 가능층(66)은 패터닝된 희생 물질(82) 위에 증착되어 있다는 것을 알 수 있다. 도 26b에서, 홀들(140)은 이동 가능층(66) 안에서 패터닝되어 있고, 희생 물질(82)은 에칭되어, 본 실시예에서의 홀들(140)로부터 아래에 놓이는 광학 스택(16)까지 연장되는 비어홀(via hole)들(142)을 형성한다. 도 26c는 제조 공정 중 이러한 단계에서의 영역을 도시하는 평면도인데, 여기서 다수개의 비어홀들(142)이 테이퍼진 구멍(86)에 대응하여 함몰부를 둘러싸고 있다는 것을 알 수 있다. 임의의 수와 형상을 가지는 비어홀들이 사용될 수도 있고, 테이퍼진 구멍(86)은 다양한 형상들을 가질 수도 있다. 도 26d에서, 스핀 온 물질로 이루어진 층(146)이 증착된다. 스핀 온 물질 또는 다른 자체 평탄화 물질이 흘러 들어가 비어홀들(142)을 채우게 된다. 이러한 실시예에서, 스핀 온 물질은 테이퍼진 구멍(86)을 채우고 홀들(140)을 통해서 흘러 들어가 비어홀(142)을 채운다. 최종적으로, 도 26e에서, 스핀 온 물질은 경화되고 패터닝되어 테이퍼진 구멍(86) 및 비어홀들(142)로부터 이격된 스핀 온 물질을 제거하고, 이동 가능층(66)을 관통해서 유사 리벳 영역으로부터 광학 스택(16)까지 연장된 유사 기둥 구조물들이나 다리들(152) 및 유사 리벳 상부 영역을 포함하는 지지 구조물(150)을 형성한다는 것을 알 수 있다. 간접계 깎(19)을 형성하기 위해 희생층(82)(도 26d 참조)이 릴리스 에칭에 의해 또한 제거되어 있다. 유리하게는, 다리들(152)은 지지 구조물에 안정성을 제공하여, 기계층의 작동 시 그 경사부가 아래에 있는 캐비티 안으로 쉽사리 당겨 내려가지 않도록 하고, 따라서 리벳과 기계층 사이의 부착을 향상시킨다. 또한, 리벳 구조물(150)은 아래에 놓이는 광학 스택에 밀착됨으로써 제자리를 잡고 고착된다.

[0109] 앞서 언급한 공정 흐름에 있어서 다양한 변형이 있을 수 있다는 것이 이해될 것이다. 임의의 실시예들에서, 홀들(140)은 테이퍼진 구멍(86)의 측벽들 위에 놓이는 이동 가능층(66)의 일부 영역들에 형성될 수도 있다. 다른 실시예들에서, 캐비티들(142)은 도 26b에 도시된 바와 같은 수직형 캐비티들일 필요는 없고, 비스듬한 방향으로 연장될 수도 있거나, 또는 희생층을 통해서 광학 스택(16)까지 넓은 범위로 연장되지 않을 수도 있다. 예를 들어, 홀들(140)은 구멍들(86)의 측벽들 내에 있는 이동 가능층(66) 안에 형성될 수도 있고 캐비티들(142)은 광학 스택(16)까지 비스듬한 방향으로 연장될 수도 있다. 도 27은 이러한 일 실시예를 도시하는데, 위에 놓이는 지지 구조물들(150)이 포함하는 다리들(152)은 이동 가능층(66)의 테이퍼진 영역들 안의 홀들을 관통해서 소정의 각도를 가지고 연장된다. 일 실시예에서, 반응성 이온 에칭법(RIE)을 사용하여 이러한 기울어진 에칭이 수행될 수도 있지만, 다른 적당한 기술들이 또한 사용될 수도 있다. 임의의 실시예들에서, 지지 구조물들(150)은 도 26e 및 도 27에 도시된 바와 같이 별도의 다리들(152)을 포함할 수도 있거나, 또는 연속적인 환형 지지 구조물을 포함할 수도 있다.

[0110] 지지 구조물들 및 간접계 변조기의 다른 구성 요소들을 형성하기 위해 다양한 다른 방법들이 사용될 수도 있다. 임의의 실시예들에서, 리벳 및 기둥 지지 구조물들과 같은 간접계 변조기의 구성 요소를 형성하기 위해 도금 공정이 사용될 수 있다. 도 28a 및 도 28b는 리벳 구조물(160)을 형성하기 위해 도금 공정을 사용하기 위한 공정의 일부 영역을 도시한다. 이러한 공정은 도 9a 내지 도 9f의 단계들을 포함한다. 도 28a에서는, 임의의 실시예들에서 포토레지스트 마스크일 수도 있는 마스크(162)가 이동 가능층(66) 위에 증착되고 패터닝되어 원하는 리벳 구조물의 모양을 정의하게 될 구멍(164)을 형성한다는 것을 알 수 있다. 도 28b에서, 구멍들(164) 안에 리벳 구조물(160)을 형성하기 위해 도금 공정이 사용되어졌다는 것을 알 수 있다. 일 실시예에서, 도금 공정은 전기 도금 공정이다. 다양한 실시예들에서, 리벳(160)은 니켈, 구리 및 금을 포함하지만 이에 한정되지는 않는 물질들을 포함할 수도 있지만, 도금될 수 있고 바람직하게는 릴리스 에칭이 허용되지 않는 임의의 물질을 포함할 수도 있다.

[0111] 간접계 변조기들의 다양한 구성 요소들을 형성하는 공정과 더불어, 본 명세서에서 논의되는 제조 공정들에서 증

착되는 여러 층들은 간섭계 변조기 요소들의 어레이에 연결되거나 간섭계 변조기 요소들의 어레이 내에서 다른 구성 요소들을 형성하기 위해 또한 사용될 수 있다. 도 29는 이동 가능층(66)이 스트립 전극(170)을 형성하고, 광학 스택(16)(도 9a 참조) 내의 도전층(72)과 같은 도전층이 제2스트립 전극(172)을 형성하는 간섭계 변조기 요소의 일부 영역을 도시한다. 제2스트립 전극(172)은 제1스트립 전극(170) 밑에서 제1스트립 전극(170)과 직교하여 뻗어 있다. 스트립 전극(170)의 길이에 걸쳐서, 리벳 구조물들(62)과 같은 다수개의 지지 구조물들이 제공될 수도 있다는 것을 또한 알 수 있다. 제1스트립 전극(170) 또는 상부 스트립 전극(170)은 도전성 연결 장치 또는 도전성 리드(174)에 전기적으로 연결되는데, 이것은 범프(bump)와 같은 외부 구성 요소와 전기적으로 연결되는 연결 포인트(176) 또는 랜딩 패드(landing pad)에 교대로 연결될 수도 있다. 유사하게는, 제2스트립 전극(172) 또는 하부 스트립 전극(172)이 리드(178) 및 연결 포인트(180)에 전기적으로 연결된다. 칼럼 전극으로도 불릴 수 있는 제1스트립 전극(170)(상부 전극을 칼럼 전극이라고 명명하는 것은 임의적이고 단지 MEMS 어레이의 방향에 의존한다는 것이 이해될 것으로 간주됨)은 어레이 내부에 있는 간섭계 캐비티 또는 공기 갭에 의해 기관에서 일반적으로 이격되지만, 어레이 내부의 다양한 지점들(예를 들어, 지지부들)에서 칼럼 전극(170)과 기관 사이에 에어 갭이 존재하지 않을 수 있다는 것은 이해될 것이다. 로우 전극으로도 불릴 수 있는 제2스트립 전극(172)은 기관 위에 직접적으로 제조되거나, 또는 개재되는 층들이 있는 경우 제2스트립 전극(172)과 기관 사이에 간섭계 갭이 존재하지 않도록 일반적으로 제조된다.

[0112] 위에 놓이는 층이 없이 리드(178) 및 연결 포인트(180)가 ITO로 형성되는 임의의 실시예들에서, 외부 장치와 연결 포인트(180)는 직접적으로 연결될 수도 있다. 그러나, ITO와 관련된 고 저항성 및 접촉 저항으로 인해 이러한 일 실시예는 바람직하지 않게 된다. 다른 실시예에서, 대부분 길이의 연결 포인트(180) 및 리드(178)에 대해서 구조물들의 이러한 일부 영역의 저항성을 줄이기 위하여 이동 가능층(66)을 형성하는 물질과 같은 도전성 물질로 이루어진 층이 ITO 위에 증착될 수도 있다. 그러나, 기계층이 두 개의 층(예를 들어, 도 9f에서 알 수 있는 바와 같이 기계층(92) 및 반사층(90))으로 형성된 변형 가능 반사층을 포함하는 임의의 실시예들에서, 임의의 이러한 층들 사이의 접촉 저항은 리드(178)의 저항에 원하지 않는 영향을 미칠 수 있는데, 특히 이러한 층들 중 하나가 알루미늄일 경우에 그러한다. ITO 층과 접촉하는 알루미늄의 접촉 저항은 좋지 않다.

[0113] 유리하게는, 도전성 물질이 ITO 층 위에 증착될 수도 있는데, 이것은 ITO 층과 접촉하여 원하는 접촉 저항을 가진다. 도 30a 및 도 30b는 도 29의 30-30 라인을 따라 절단한, 이러한 제조 공정에서의 단계들을 도시하는 단면도이다. 도 30a에서는, 제조 공정 중 기계층 증착 이전의 일 단계에서(예를 들어, 도 9e에 대응하는 단계 또는 그 이전 단계), ITO로 이루어진 층(72)만 이러한 영역에 증착되어 있다(또는 도 9a의 부분 반사층(74)과 같은 위에 놓이는 임의의 층들이 선택적으로 제거되어 있는 상태)는 것을 알 수 있다. 그러나, 도 30b에서, 기계층(92)은 간섭계 변조기 요소가 형성될 영역 안에 있는 층들 위에 뿐만 아니라, 연결 포인트(180)(미도시) 및 리드(178) 위에도 증착되어 있어서, ITO 층(72) 위에 직접적으로 놓인다. 반사층(90)(도 9f)이 ITO 층(72) 위에 증착되어 있지 않거나 기계층(92)의 증착 이전 및 증착 후에 선택적으로 제거되어 있다는 것을 또한 알 수 있다. 일 실시예에서, 반사층(90)(도 9f)은 리드(178) 및 연결 포인트(180) 위에 증착되지만 기계층(92)의 증착 이전에 반사층의 이러한 일부 영역들을 제거하기 위해 패터닝되고 에칭된다. 일 실시예에서, 기계층은 Ni를 포함하고 ITO와 접촉하여 유리한 접촉 저항을 가지게 된다. 다음으로 도 30b에 도시된 바와 같이, 기계층(92)은 패터닝되고 에칭되어 리드(178) 또는 연결 포인트(180) 위에 놓이지 않는 층들의 일부 영역들을 제거한다. 또한 도 29와 관련되어 알 수 있는 바와 같이, 기계층(어둡게 도시된)은 바람직하게는 어레이에 근접한 리드의 모서리에서 또한 제거되는데, 이것은 스트립 전극들(170, 172)간의 단락을 피하기 위해서이다.

[0114] 따라서, 일 실시예에서, 기계층은 ITO 리드들 및 연결 포인트들과 접촉하는 도전층으로서 사용된다. 리벳 물질이 도전 물질을 포함하는 다른 실시예에서, 도 30a 및 도 30b의 기계층(92) 대신에 리벳 물질이 ITO 위에 증착되어 ITO 위에 도전층을 형성하기 위해 사용될 수 있다. 특정한 실시예에서, 리벳층은 Ni를 포함한다. 유리하게는, 이러한 실시예는 변형 가능 반사층의 일부 영역(반사층)을 다른 일부 영역(기계층)으로부터 별도로 분리하는 패터닝 단계 및 에칭 단계를 수반하지 않는다.

[0115] 특정한 실시예에서, 기계층(92)은 Ni를 포함하여, 원하는 저항 및 접촉 저항 특성들을 가지지만 매우 다양한 기계층 물질들이 사용될 수도 있다. 다른 실시예에서, ITO 층은 리드(178)를 통해서 연결 포인트(180)까지 넓은 범위에 걸쳐 연장될 필요가 없다. 오히려, 증착된 기계층(92)은 단독으로 연결 포인트(180) 및 리드(178)의 넓은 일부 영역을 형성할 수도 있다. 이러한 구성 요소들의 접촉 저항 또는 저항을 낮추는 것과 더불어, 기계층(92)을 증착하는 것은, 유리하게는 이러한 구성 요소들의 높이를 또한 증가시켜, 외부 구성 요소들과의 연결을 용이하게 한다.

[0116] 유사하게는, 기계층(92)은 리드(174) 및 연결 포인트(176)를 형성할 수도 있다. 일 실시예에서, 임의의 ITO를

포함하고 칼럼 전극(170)과 연결되는 리드(174) 또는 연결 포인트(176)는 필요하지 않고, 기계층(92)이 리드(174)와 스트립 전극(170) 사이를 연결시키기 위하여 리드(174)의 전체 길이로 연장될 수도 있다. 이것은 칼럼 전극(170)이, 기관 상에 형성되어 있는 로우 전극(172)(예를 들어 ITO로 이루어진 패터닝 된 스트립)과는 달리 기관과 분리되어 있기 때문이다.

[0117] 다른 경우에 있어서, 로우 리드 및 칼럼 리드는 노출되어 있고, 따라서 주변 또는 기계적 간섭으로 인해 발생할 수도 있는 단락 및 다른 손상이 발생하기 쉬울 수 있기 때문에, 노출된 로우 리드(174) 및 칼럼 리드(178) 위에 보호층을 증착하는 것이 바람직할 수도 있다. 특정한 실시예에서, 리벳 구조물(62)을 형성하기 위해 사용되는 것과 동일한 물질이 외부의 전기적 간섭 또는 기계적 간섭으로부터 보호하기 위해 리드들(174, 178)을 패시베이션하도록 사용될 수 있다. 이러한 일 실시예가 도 31a 내지 도 31d와 관련하여 설명된다. 도 31a는 다른 실시예에 따라서, 도 29의 31-31 라인을 따라 절단한 부분적으로 제조된 리드(174)를 도시하는 단면도인데, 여기서 기계층(92)은 증착되어 있지만 아직 에칭은 되어 있지 않다는 것을 알 수 있다. 도 31b에서, 리벳 물질로 이루어진 층(96)이 증착되어 있고(예를 들어, 도 9g에서 알 수 있는 바와 같이) 리벳 물질로 이루어진 이러한 층은 간섭계 변조기들의 어레이 외부에 위치하는 기계층(92) 위에 또한 증착되어 있다는 것을 알 수 있다. 도 31c에서, 리벳 물질로 이루어진 층이 패터닝되어 있고(도 9h에서 알 수 있는 바와 같음), 리드(304) 위에 놓이는 스트립(182)을 형성하기 위한 리벳 물질로 이루어진 층이 동시에 패터닝되어 있다는 것을 알 수 있다. 마지막으로, 도 31d에서, 기계층이 패터닝되어서 스트립 전극(170)을 주변의 전극들로부터 분리하고 있고(스트립 전극 안에 필요한 임의의 에칭 홀들을 형성하고), 동시에 패터닝되어 리드(174)를 형성한다. 대안적인 실시예에서, 기계층은 리벳층으로서 동시에 패터닝되고 에칭될 수도 있다. 외부 구성 요소와 연결을 허용하기 위해 이러한 리벳층은 연결 포인트(180) 위에 증착되지 않거나 또는 에칭되어 연결 포인트(180)를 덮는 리벳층의 일부 영역을 제거한다는 것이 이해될 것이다. 로우 전극과 접촉하는 리드(178)(도 29 참조)가 앞서 설명한 공정에 따라서 패시베이션되는 경우 결과적인 리드(178)는 기계층(92) 아래에 놓이는 ITO(72)로 이루어진 층을 포함할 수도 있다는 것이 또한 이해될 것이다.

[0118] 또 다른 실시예에서, 기계층(92)은, 리벳층을 증착하고 리드(174)를 형성하며 이웃하는 스트립 전극들로부터 스트립 전극(170)을 분리하기 이전에 패터닝될 수도 있다. 따라서, 리벳층은, 도 32에 도시될 수 있는 바와 같이 리드(174)의 상부를 덮을 뿐만 아니라 측면들을 보호하도록 이어서 패터닝될 수도 있는데, 도 32는 도 19의 31-31 라인을 따라 절단한, 이러한 공정에 의해 제조된 리드(174)를 도시하는 단면도이다. 유리하게는, 이것은 리드(174)를 더 보호한다. 다른 실시예들에서, 보호 물질은 지지 구조물 층을 증착하는 공정과는 다른 별도의 공정에서 리드들 위에 증착될 수도 있다. 이러한 공정에서, 적당한 임의의 유전층이 리드들을 패시베이션하기 위해 사용될 수도 있지만 지지 구조물 층으로 사용하기에는 적당하지 않을 수도 있다. 예를 들어, 광학 스택 내에 있는 유전층 또는 에칭 정지층으로 사용되는 유전층과 같은 MEMS 장치의 제조에 사용되는 적당한 임의의 유전층이 리드를 패시베이션하기 위해 사용될 수도 있다.

[0119] 임의의 실시예들에서, MEMS 요소의 다른 부분들에 걸쳐서 다양한 강직성을 가지는 이동 가능층(66)을 제공하는 것이 바람직할 수도 있다. 또는 더욱 용이하게는 인접하는 요소들의 강직성이 다른 이동 가능층들을 포함하는 MEMS 요소들의 어레이를 제공하는 것이 바람직할 수도 있다. 예를 들어, 인가된 전압을 변경함으로써 변조기 요소들의 양들을 변화시키고, 작동 전압은 변조기 요소들의 어레이에 걸쳐 다양하게 되면서, 이동 가능층이 영역 별로 다른 작동 전압들을 가지는 변조기 요소가 사용되어 계조(gray scale)를 생성할 수 있다. 다른 실시예들에서, 변조기 요소의 모서리 둘레와 같이, 다소 지지가 미흡한 영역에 대해 추가적으로 강직성을 제공하는 것이 바람직할 수도 있다. 이러한 다양한 강직성을 가지는 간섭계 변조기 요소를 제조하는 방법도 도 33a 및 도 33b와 관련하여 설명되는데, 도 9a 내지 도 9g의 방법들을 포함한다.

[0120] 도 33a에서, 리벳층이 에칭되어 도 9h에서 도시된 바와 같이 지지 구조물들(62)을 형성하고 있다는 것을 알 수 있는데, 본 실시예에서는 리벳층이 실리콘 산화물을 포함할 수도 있다. 그러나, 도 33a의 실시예는 리벳 물질로 이루어진 추가적인 패치들(190) 또는 리브들(ribs)(190)이 에칭되지 않고 남아 있다는 점에서 도 9h와는 다르다. 도 33b에서, 제조 공정이 도 9i 및 도 9j와 관련되어 논의된 바와 같이 완료되어 간섭계 변조기 요소(60)(도 34의 33b-33b 라인을 따라 도시됨)가 이동 가능층(66)의 일부 영역들 위에 놓이는 지지 구조물들(62) 및 리브들(190)을 가진다는 것을 알 수 있다. 리벳 물질을 포함하는 잔류 리브들(190)이 형성된 도 33B의 간섭계 변조기 요소(60)의 평면도가 도 34에 도시된다.

[0121] 앞서 논의된 바와 같이, 이러한 잔류 리브들(190)은 패치 둘레에 있는 영역에서 이동 가능층(66)의 변형을 방지할 수도 있어서, 이동 가능층(66) 영역이 더 높은 작동 전압을 필요로 하게 되도록 한다. 잔류 리브들(190)은 또한 이동 가능층의 모서리들에 인접한 기계적인 영역을 추가적으로 지지하도록 이용될 수도 있다. 임의의 실시

예들에서, 이동 가능층(66)은 원하지 않게 말리는 현상(curling) 또는 휘는 현상(flexure)을 허용할 수도 있다. 이것은 특히 이동 가능층(66)의 스트립 전극들 사이에 있는 갭들(65)에 근접한 이동 가능층(66)의 영역들에서 문제가 된다. 이러한 리브들(190)을 배치시킴으로서 앞서 말한 것과 같은 원하지 않는 휨 현상을 조절할 수도 있고, 간섭계 갭(19)의 높이가 간섭계 변조기에 걸쳐서 더욱 일정하게 유지되는 것을 보장하게 된다(도 33B 참조). 또한, 이러한 리브들의 구조물들(190)을 배치시킴으로 해서 주변 영역에서 이동 가능층(66)의 강직성이 영향을 받기 때문에, MEMS 장치를 작동 상태로 이동시키는데 필요한 작동 전압을 변경하기 위해 이러한 리브 구조물들(190)이 사용될 수도 있다. 이러한 조치를, 예를 들어 요소들에 걸쳐서 작동 전압을 정상 상태로 하기 위해, 또는 대안적으로 MEMS 요소에 걸쳐서, 앞서 논의된 바와 같은 계조를 제공하는 것과 같은 다른 작동 전압을 제공하기 위해 수행할 수도 있다.

[0122] 다른 실시예에서, 예칭되어 지지 구조물들(62) 및 잔류 리브 구조물들(190)을 형성하는 리벳층은 압전성 (piezoelectric) 물질과 같은 전기 활성(electroactive) 물질을 포함할 수도 있다. 기계층(92)의 상부면에 리브 (190) 형태로 압전성 물질을 적용함으로써, 이동 가능층(66)의 거동을 더 잘 조절할 수 있게 된다. 예를 들어, 변조기 요소의 주어진 위치에 인가되는 전압을 변경하기 위해 전기 활성 물질을 사용할 수 있다.

[0123] 앞서 논의된 바와 같은 방법들 및 구조들은 이동 가능층으로부터 부분적으로 분리 가능한 반사층을 구비한 광학 MEMS 장치와 결합하여 사용될 수도 있다. 도 35a 내지 도 35h는 이러한 MEMS 장치, 예시된 실시예에서는 간섭계 변조기 안에서 이동 가능층의 일부 영역 아래에 놓이는 지지 기둥들을 형성하기 위한 예시적인 공정을 도시한다. 이러한 공정은, 예를 들어 도 9a 내지 도 9d와 관련되어 설명되는 단계들을 포함할 수도 있는데, 광학 스택이 증착되고 희생층은 상기 광학 스택 위에 증착된다.

[0124] 도 35a에서, 반사층(90)이 희생층(82) 위에 증착되는 것을 알 수 있다. 임의의 실시예들에서, 반사층(90)은 반사 물질로 이루어진 단층을 포함할 수도 있다. 다른 실시예들에서, 희생 물질로 이루어진 얇은 층 위에 보다 경한 물질(미도시)로 이루어진 층이 놓인 채로, 반사층(90)은 반사 물질로 이루어진 얇은 층을 포함할 수도 있다. 이러한 실시예의 반사층은 위에 놓이는 기계층으로부터 부분적으로 분리 가능하기 때문에, 그렇게 부분적으로 분리 가능할 때조차도 반사층(90)은 광학 스택에 대해서 실제적으로 평탄한 위치에 유지되기 위해, 바람직하게는 충분한 강도를 가진다. 그리고, 원하는 강도를 가지도록 광학 스택으로부터 이격된 반사층의 측면 상에 강직성 층(stiffening layer)을 포함시킬 수 있다.

[0125] 도 35B에서, 도 35a의 반사층(90)은 패터닝되어 미러층(200)을 형성한다. 일 실시예에서, 패터닝된 미러층(200)은 지지 구조물들의 위치들(더 좁거나 더 넓은)에 대응하는 구멍들이 형성되어 있는 인접하는 층을 포함한다. 다른 실시예에서, 패터닝된 미러층(200)은 서로 분리되어 있는 다양한 반사부들을 포함할 수도 있다.

[0126] 도 35c에서, 제2희생층(196)이 패터닝된 미러층(200) 위에 증착된다. 바람직하게는, 제2희생층(196)은 제1희생층(82)과 동일한 물질로 형성되거나 또는 제1희생층(82)과 동일한 예칭 방법에 의해 주변 물질들과 관련해서 선택적으로 예칭 가능하다. 도 35d에서, 테이퍼진 구멍들(86)이 형성되는데, 제2희생층(196) 및 제1희생층(82)을 통해서 연장된다.

[0127] 도 35e에서, 기둥 물질(84)로 이루어진 층이 패터닝된 희생층들(82, 196) 위에 증착되어 도 11d와 관련되어 설명된 바와 같이 구멍들(86)의 측면들을 코팅한다. 도 35f에서, 기둥 물질로 이루어진 층은 패터닝되어 도 11e와 관련되어 설명된 바와 같이 기둥 구조물들(88)을 형성한다. 패터닝된 기둥 구조물들(88)은 미러층(200)의 모서리들과 중첩될 수도 있다. 도 35f에서 구멍(198)이 패터닝된 미러층(200) 위에 놓이는 제2희생층(196)의 일부 영역에 형성되어 패터닝된 미러층(200)의 적어도 일부 영역을 노출시킨다는 것을 또한 알 수 있다.

[0128] 도 35g에서, 기계층(92)이 기둥들(88), 제2희생층(196)의 노출된 일부 영역들 및 패터닝된 미러층(200) 위에 증착된다. 상세하게는, 기계층(92) 및 패터닝된 미러층(200)을 연결하는 연결부(202)를 형성하도록 기계층(92)은 적어도 부분적으로 구멍(198)(도 35f 참조)을 채운다는 것을 알 수 있다.

[0129] 도 35h에서, 제1희생층(82) 및 제2희생층(196) 모두를 제거하는 릴리스 예칭이 수행되어, 패터닝된 미러층(200)과 광학 스택 사이에서 간섭계 갭(19)을 형성한다. 따라서, 광학 MEMS 장치가 형성되는데, 이것은 이동 가능층(66)을 포함하고, 이동 가능층(66)은 패터닝된 미러층(200)이 매달려 있는 기계층(92)을 가지는데, 패터닝된 미러층(200)은 기계층(92)으로부터 부분적으로 분리된다. 예를 들어, 이러한 광학 MEMS 장치는 도 7c 및 다른 응용과 관련되어 설명된 것과 같은 간섭계 변조기를 포함할 수도 있다. 비광학적 MEMS에서는 매달린 상부 전극이 반사 기능을 가질 필요는 없다.

[0130] 앞서 논의된 방법들 및 구조들 중 어느 것을 포함하도록 앞서의 공정이 변경될 수도 있다는 것을 이해할

것이다. 상세하게는, 상기 공정이 기둥 구조물을 형성하는 단계를 대신하거나 기둥 구조물을 형성하는 단계와 결합하여 리벳 구조물을 형성하는 단계를 포함하도록 수정될 수도 있다는 것을 알 수 있을 것이다. 상세하게는, 리벳 구조물들만 형성되는 일 실시예에서, 연결부가 형성되는 미러층의 일부 영역 위에 놓이는 구멍들과 테이퍼진 구멍들을 동시에 형성함으로써, 앞서 언급한 공정을 더 단순화시킬 수도 있다. 리벳층이 증착되는 다른 실시예에서, 도 35g의 공정과 동일한 공정에서 도전성 물질로 이루어진 매우 얇은 층만이 증착될 수도 있고, 이후의 증착된 리벳층(유전체일 수 있음)은 기계층이 기계적 기능을 수행하도록 패터닝되고 에칭될 수도 있는데, 앞서 언급한 도전성 물질로 이루어진 얇은 층은 도전성 기능을 수행한다.

[0131] 다른 실시예에서, 분리 가능한 미러층(200)의 상부면 상에 강직성이 있는 영역들을 형성하기 위해 기둥 구조물들을 형성하고 있는 것과 동일한 물질이 사용될 수도 있다. 도 36a 내지 도 36c는 이러한 일 실시예를 도시하는데, 도 35a 내지 도 35c의 단계들을 포함한다. 도 36a에서, 테이퍼진 구멍들(86)이 형성되는 것과 동시에 추가적인 구멍들(206)이 패터닝된 미러층(200) 위에 형성되어, 패터닝된 미러층(200)의 일부 영역들을 노출시킨다는 것을 알 수 있다. 임의의 실시예들에서, 이러한 구멍들(206)은 유리하게는 패터닝된 이동 가능층(200)의 모서리들에 인접하여 연장된 홈의 형태를 취할 수도 있지만, 환형 또는 실제적인 환형 모양을 포함하는 다양한 모양들이 적절할 수도 있다.

[0132] 도 36b에서, 테이퍼진 구멍들(86)의 모서리들을 코팅할 뿐만 아니라 추가적인 구멍들(206) 내에 있는 패터닝된 거울층(200)의 노출된 일부 영역들 위에 증착되도록 기둥 물질(84)로 이루어진 층이 증착되어 있다는 것을 알 수 있다. 도 36c에서, 도 35f 내지 도 35h와 관련되어 설명한 방식과 유사한 제조 공정이 수행되어 릴리스된 간섭계 변조기가 형성되었다는 것을 알 수 있다. 상세하게는, 패터닝된 미러층(200)은 패터닝된 미러층(200)의 상부면 위에 강직성 구조물(208)(예를 들어 환형 링들)을 포함하는데, 기둥(88)을 이루는 물질과 동일한 물질로 형성된다는 것을 알 수 있다. 강직성 구조물들(208) 위에 놓이는 기계층(92)의 일부 영역은 제거되어 구멍들(210)을 형성한다는 것을 또한 알 수 있다. 미러층(200)은 기계층(92)으로부터 부분적으로 분리되어 있기 때문에, 기계층(92)은 연속적인 물질층을 포함할 필요는 없지만, 예를 들어 기둥들(88)과 같은 지지 구조물들과 연결부들(202) 사이에서 연장되는 기계적 물질로 이루어진 스트립들을 대신 포함할 수도 있다는 것을 이해할 것이다. 따라서, 기계층들로 이루어진 일부 영역들은, 도 36c에 도시된 바와 같이 기계적 스트립들(도 8 참조)을 형성하는 패터닝 단계와 동일한 단계에 의해 제거될 수도 있는데, 이것은 강직성 구조물들(208)과 위에 놓이는 기계층(92) 사이가 연결되지 않도록 하기 위해서이다.

[0133] 앞서 언급한 실시예들의 다양한 조합들이 가능하다는 것이 이해될 것이다. 예를 들어, 임의의 실시예들에서, 본 명세서에 개시된 임의의 지지 구조물들이 본 출원에서 논의되지 않은 다른 적절한 지지 구조물들 뿐만 아니라 본 명세서에 개시된 다른 지지 구조물들과 조합하여 사용될 수도 있다. 앞서 논의된 지지 구조물들의 다양한 조합들이 본 발명의 범위 안에서 깊이 고려된다. 또한, 이러한 지지 구조물들의 강도 및 내구성을 향상시키기 위해 앞서 언급된 임의의 방법들에 의해 형성된 지지 구조물들이 다른 지지 구조물들을 형성하는 방법들과 조합되어 이용될 수도 있다는 것이 이해될 것이다.

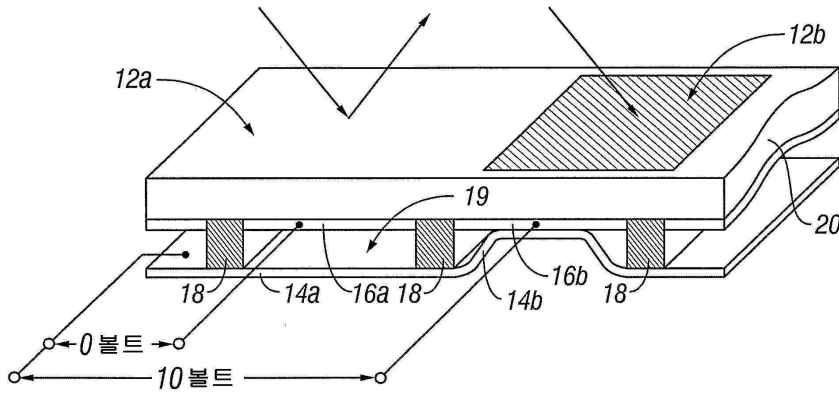
[0134] 앞서 언급한 실시예들에서 층들을 형성하는 이러한 층들과 물질들의 순서는 단지 예시적인 것에 불과하다는 것이 또한 인지될 것이다. 더욱이, 몇몇 실시예들에서, 도시되지 않은 다른 층들이 기관 상에 간섭계 변조기 요소의 일부 영역들을 형성하고 다른 구조물들을 형성하도록 증착되고 수행될 수도 있다. 다른 실시예들에서, 당업자가 인식하고 있는 바와 같이 이러한 층들은 대안적인 증착, 패터닝 및 에칭 물질들 및 공정들을 이용하여 형성될 수도 있거나, 다른 순서로 증착될 수도 있거나, 또는 다른 물질들로 이루어질 수도 있다.

[0135] 또한, 실시예에 따라서, 본 명세서에서 설명된 임의의 방법들로 이루어진 행위들 또는 사건들은 본문 내용이 특정하고 분명하게 다른 것을 언급하지 않는다면, 다른 일련의 과정들로 수행될 수도 있거나, 추가될 수도 있거나, 합쳐질 수도 있거나, 모두 수행되지 않을 수도 있다(예를 들어, 모든 행위들 또는 사건들이 앞서 언급한 방법들의 실행을 위해서 필요하지는 않음)는 것이 인지될 것이다.

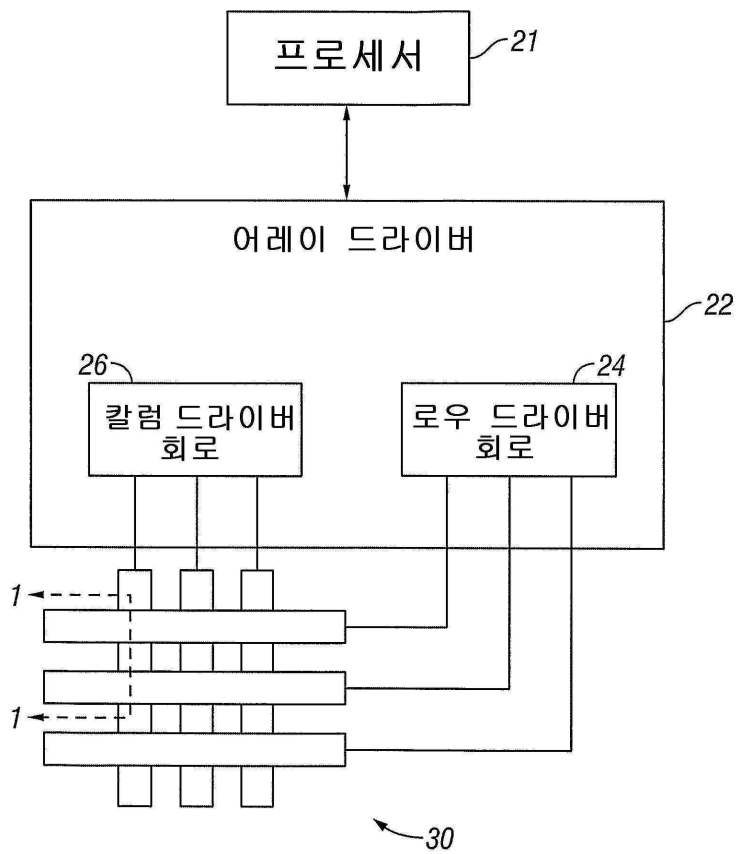
[0136] 앞서의 상세한 설명이 다양한 실시예들에 적용되어 본 발명의 신규한 특징들을 가리키고 나타내며 설명하였음에도 불구하고, 예시된 장치 또는 과정의 형태 및 상세 사항에 있어서 다양한 생략, 대체 및 변경이 본 발명의 사상을 벗어나지 않고 해당 기술 분야의 당업자들에 의해 행해질 수 있음을 이해할 것이다. 본 발명은, 일부 특징들이 다른 특징들과 별도로 사용되고 실시될 수도 있는 바와 같이, 본 명세서에서 설명한 모든 특징들 및 이익들을 제공하지 않는 형태 안에서 구현될 수도 있다는 것을 인지할 것이다.

도면

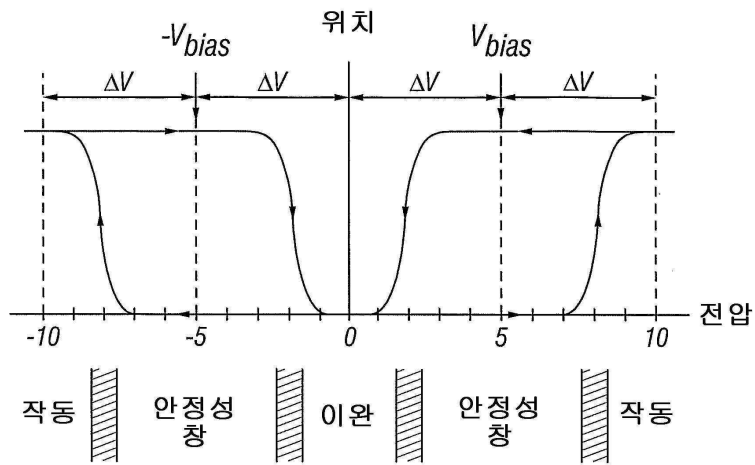
도면1



도면2



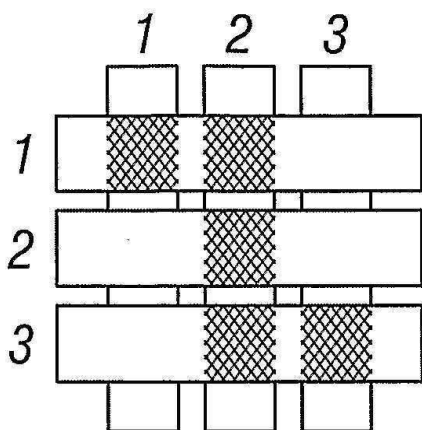
도면3



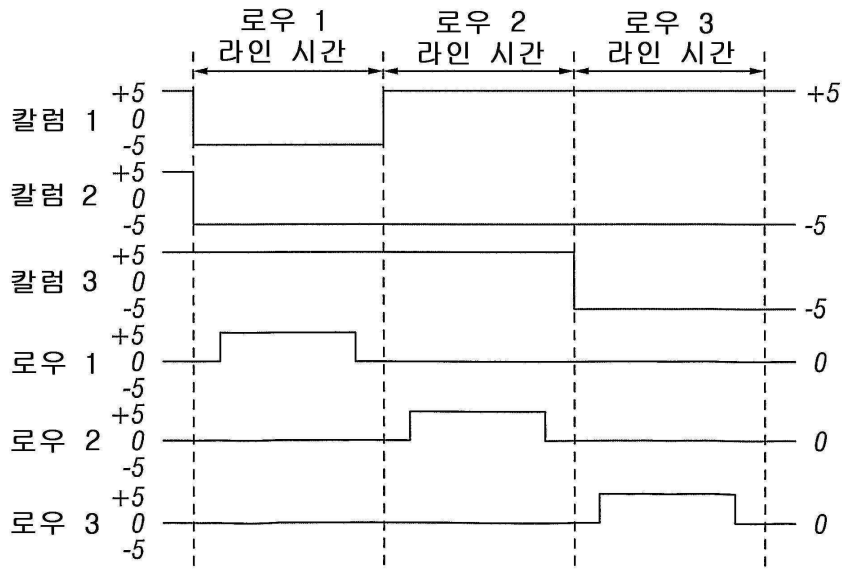
도면4

		칼럼 출력 신호	
		$+V_{bias}$	$-V_{bias}$
로우 출력 신호	0	안정	안정
	$+\Delta V$	이완	작동
	$-\Delta V$	작동	이완

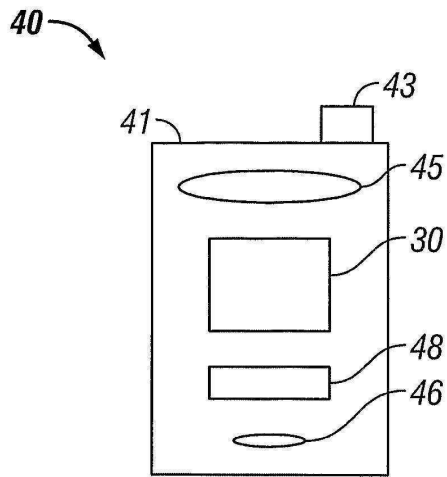
도면5a



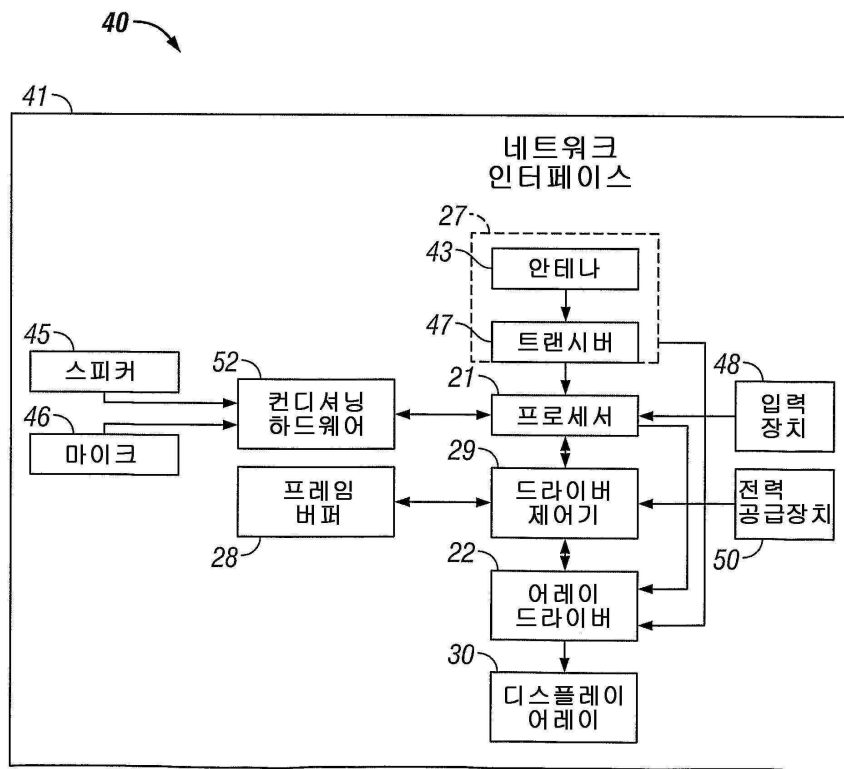
도면5b



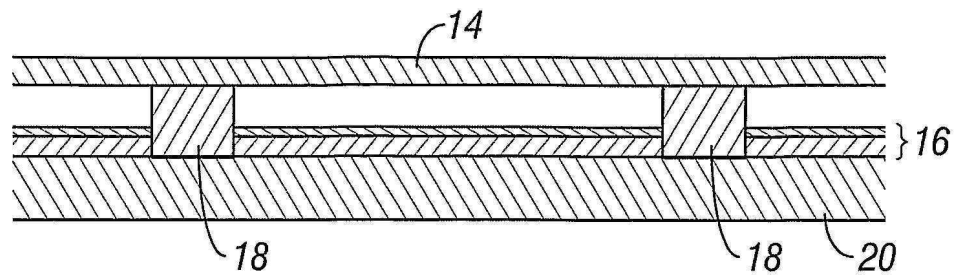
도면6a



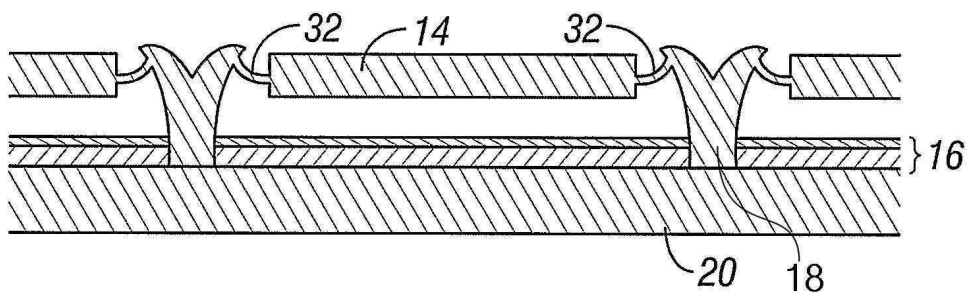
도면6b



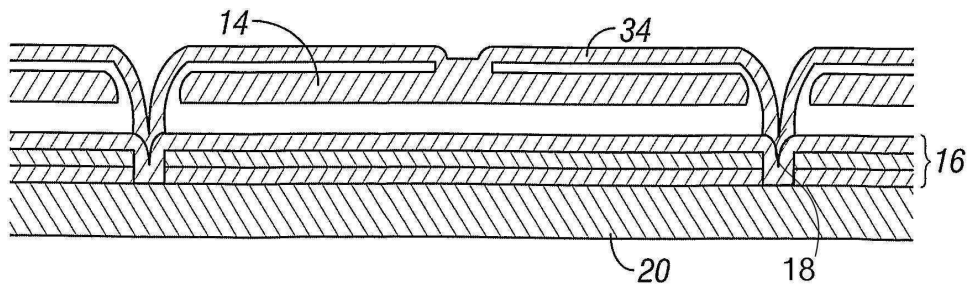
도면7a



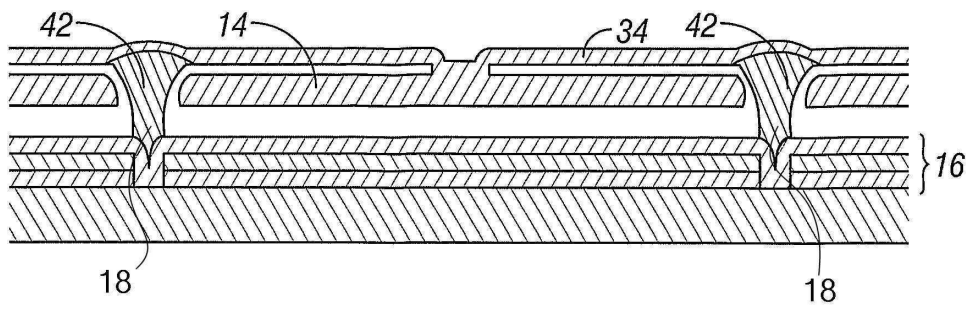
도면7b



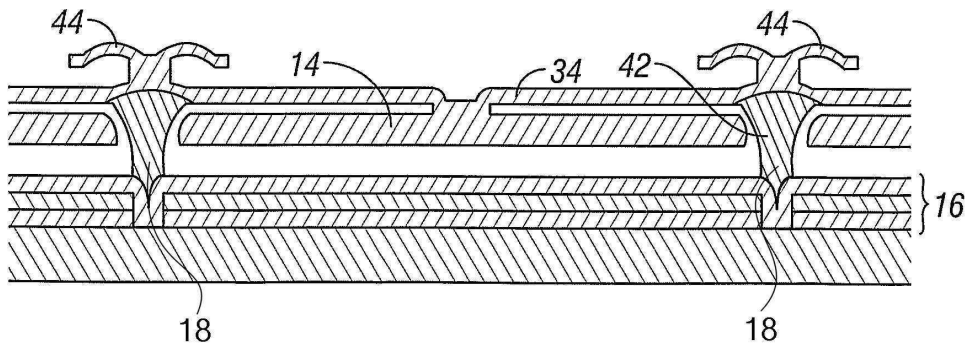
도면7c



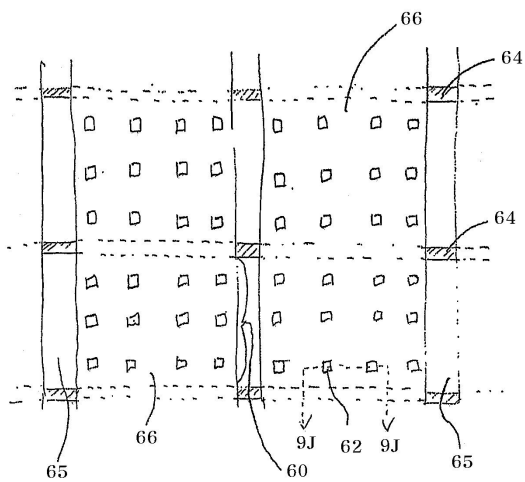
도면7d



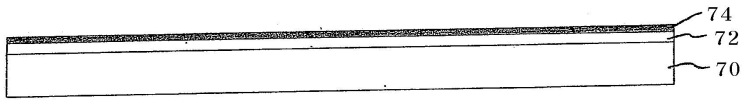
도면7e



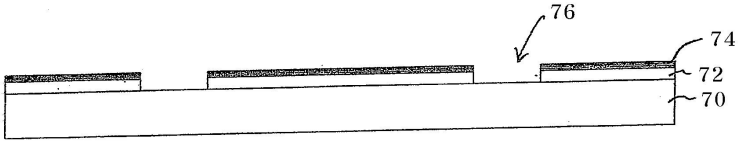
도면8



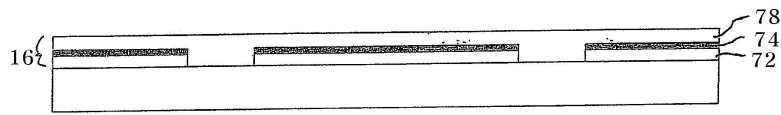
도면9a



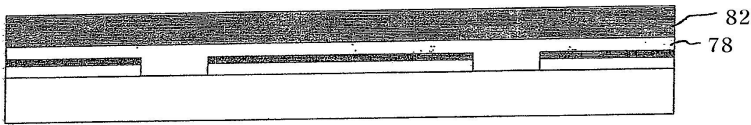
도면9b



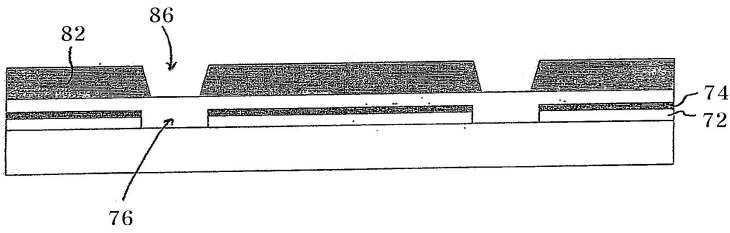
도면9c



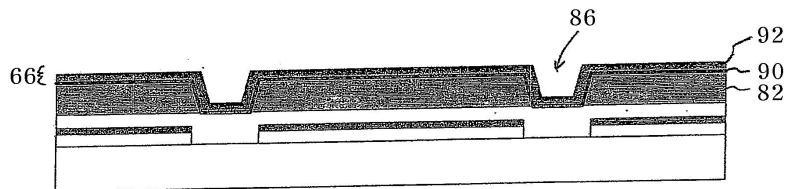
도면9d



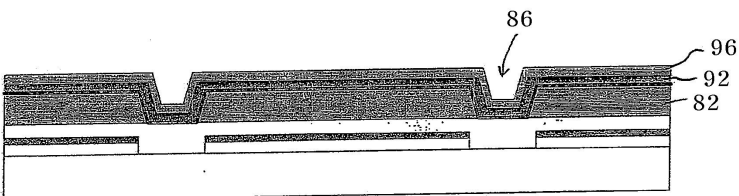
도면9e



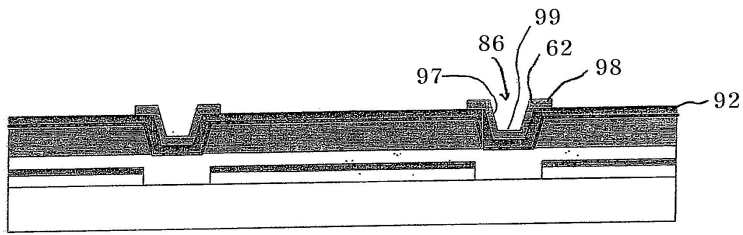
도면9f



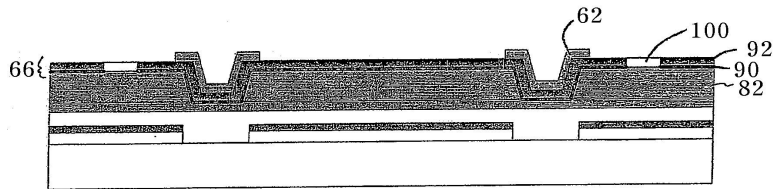
도면9g



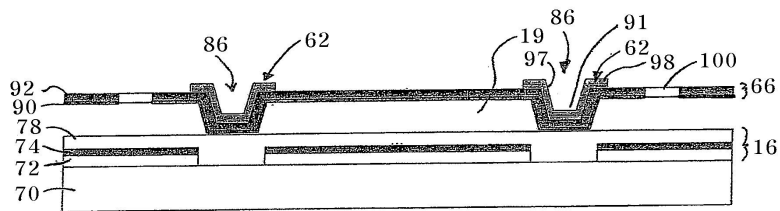
도면9h



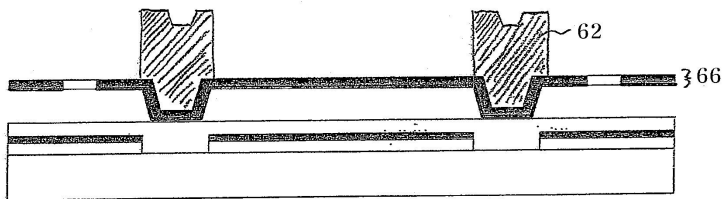
도면9i



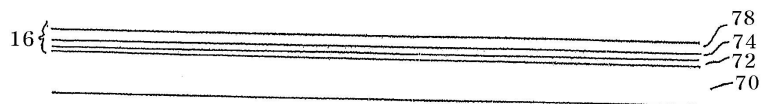
도면9j



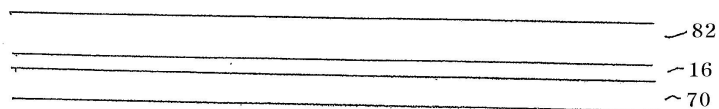
도면10



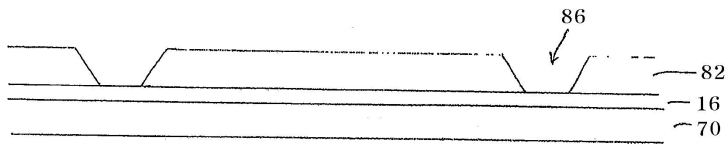
도면11a



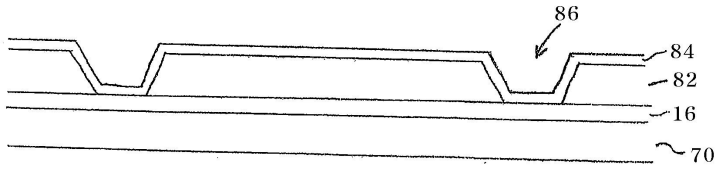
도면11b



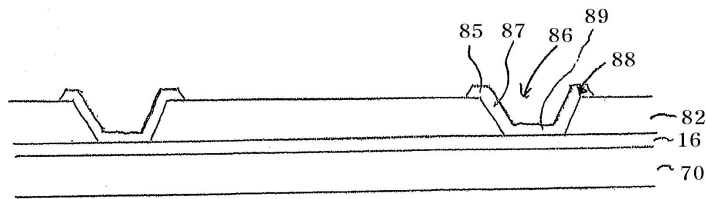
도면11c



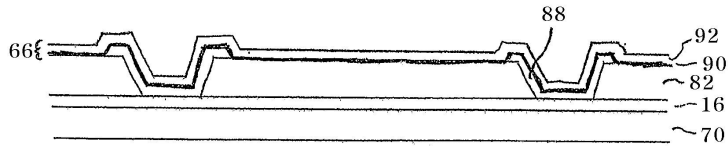
도면11d



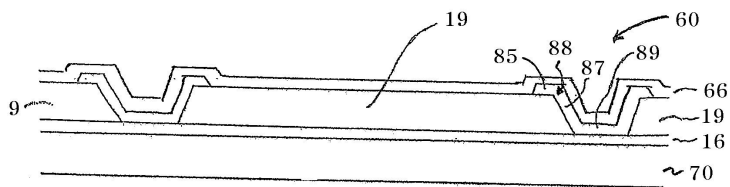
도면11e



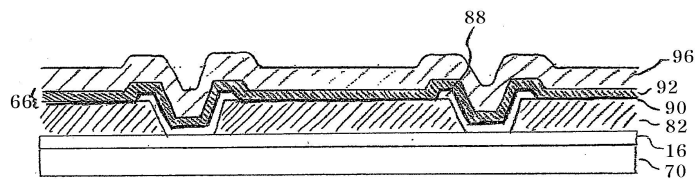
도면11f



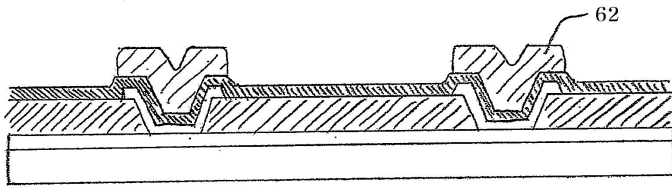
도면11g



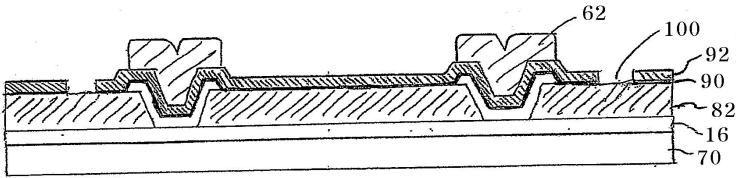
도면12a



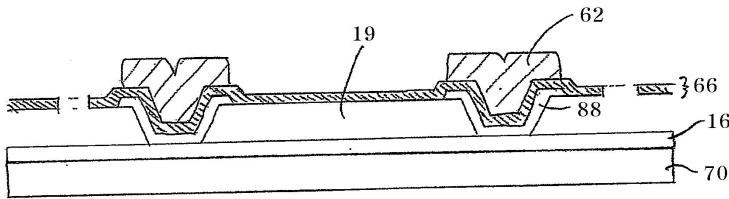
도면12b



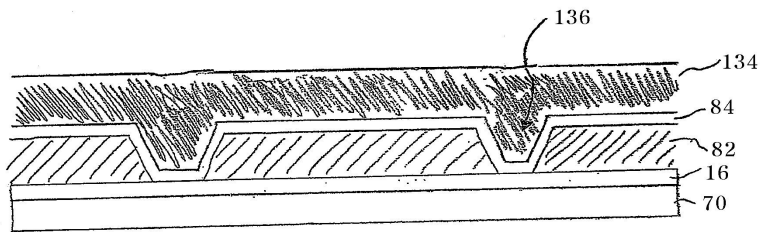
도면12c



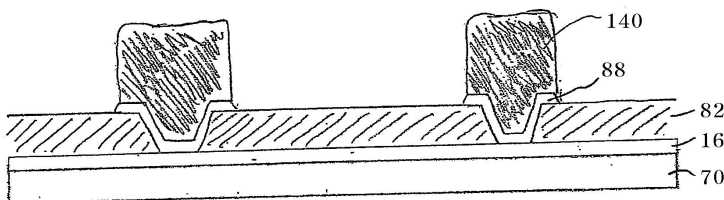
도면12d



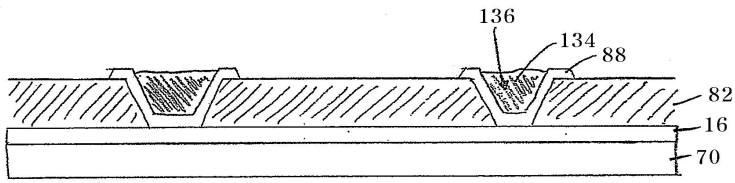
도면13a



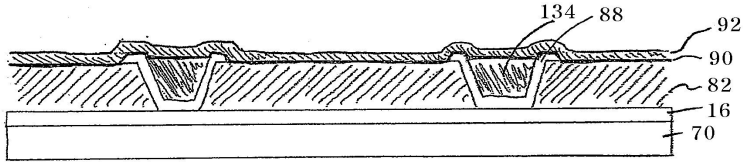
도면13b



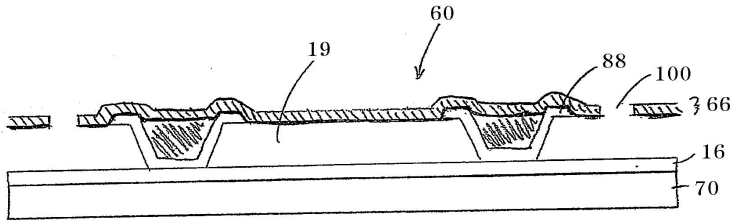
도면13c



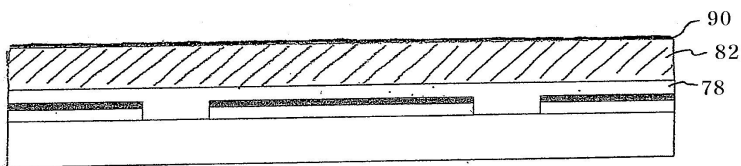
도면13d



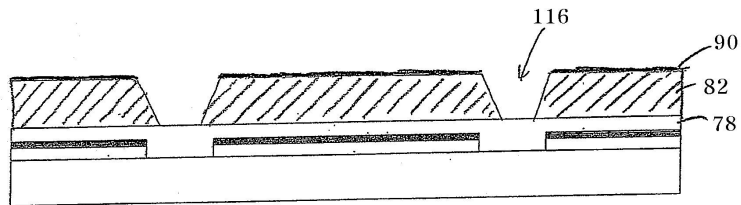
도면13e



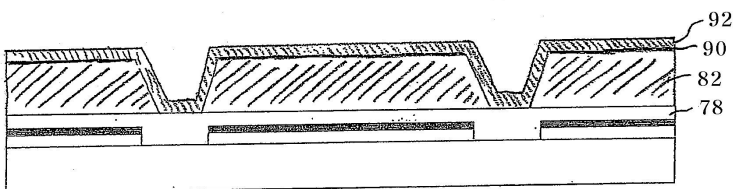
도면14a



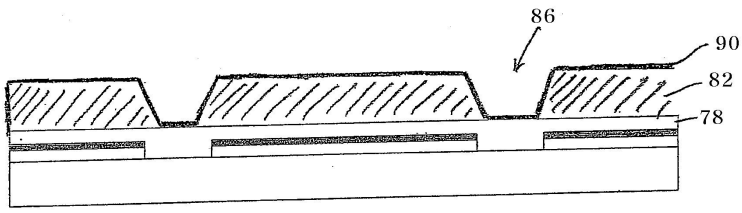
도면14b



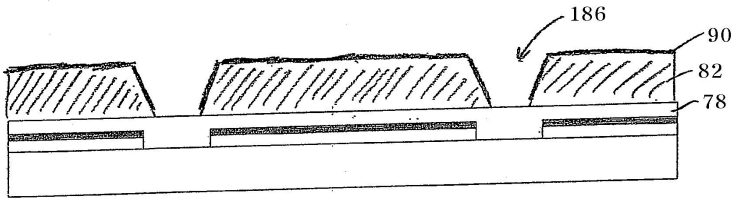
도면14c



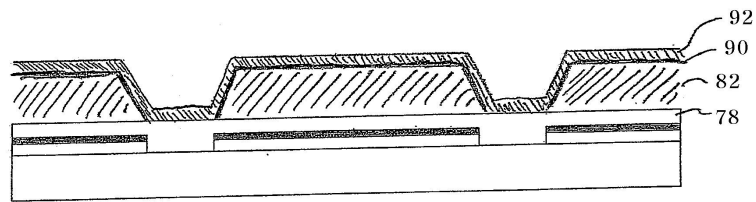
도면15a



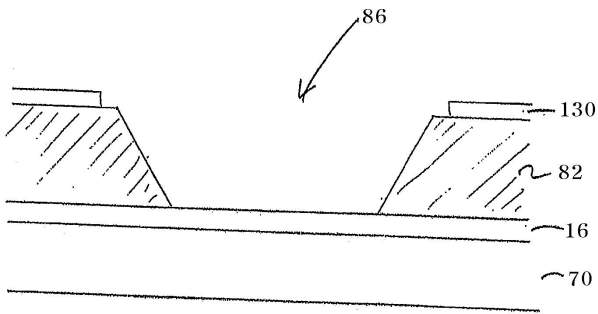
도면15b



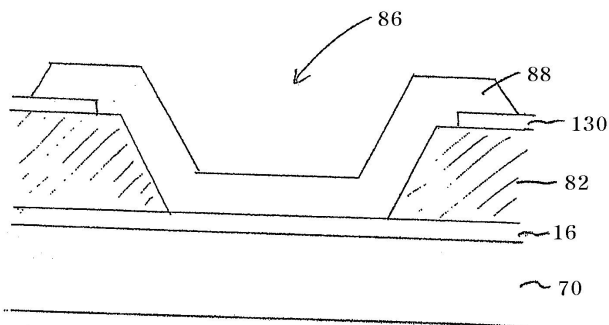
도면15c



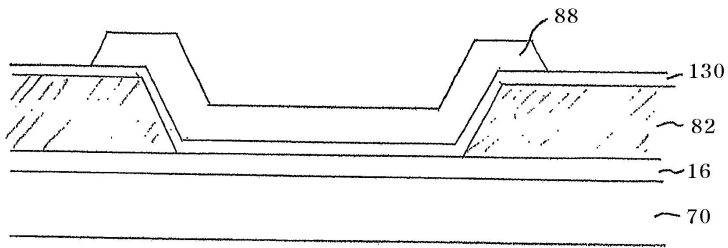
도면16a



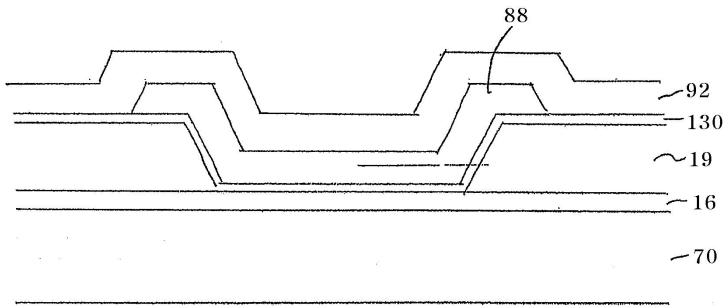
도면16b



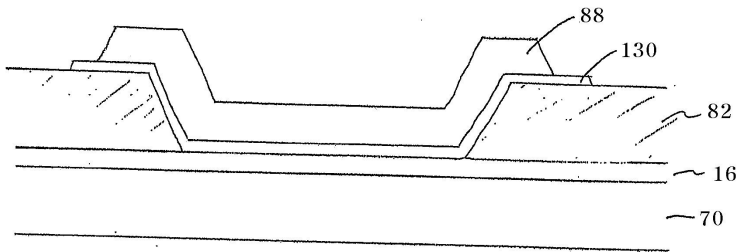
도면17a



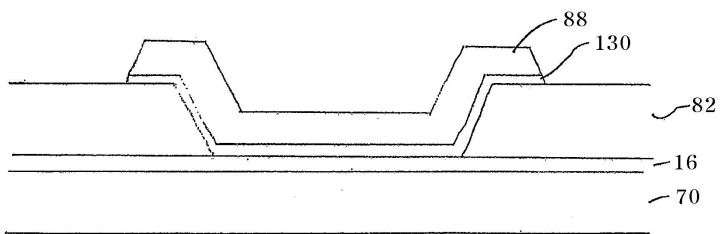
도면17b



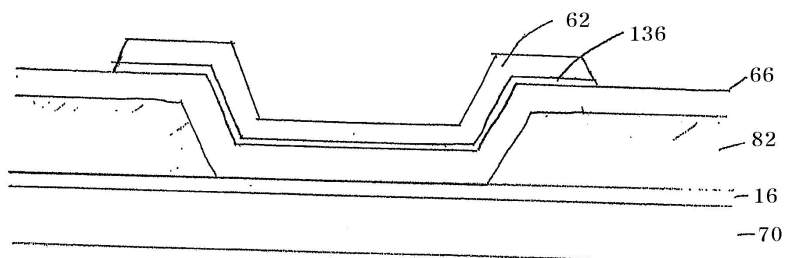
도면18



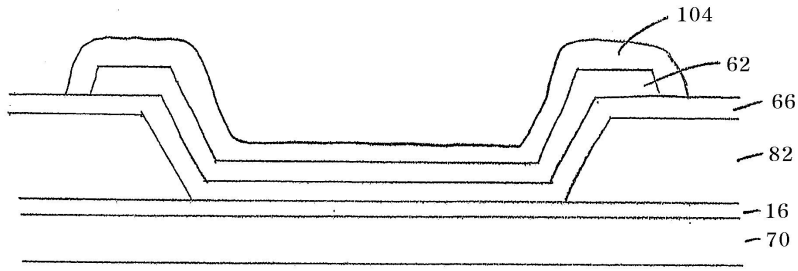
도면19



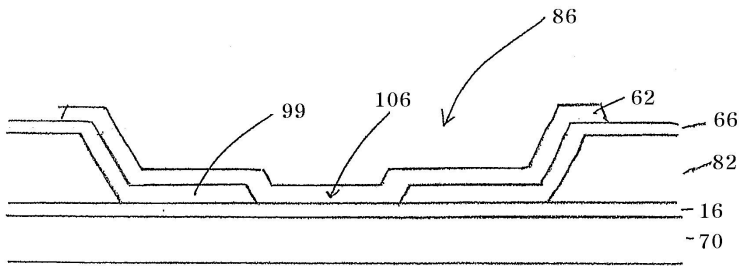
도면20



도면21



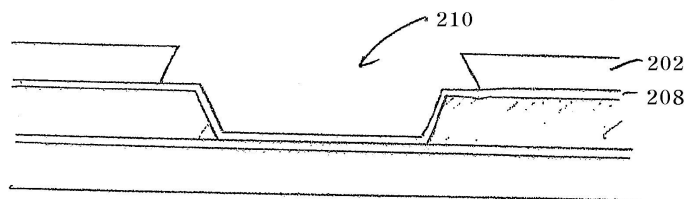
도면22



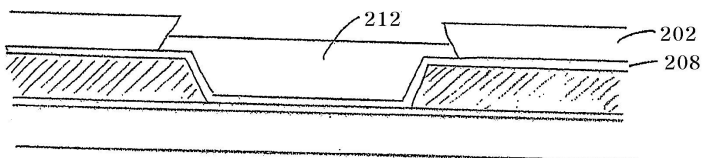
도면23a



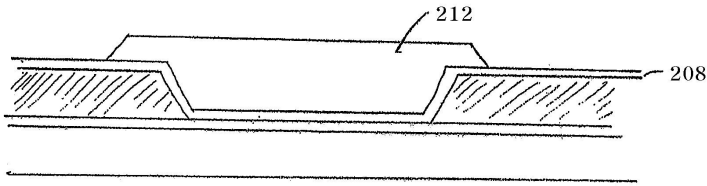
도면23b



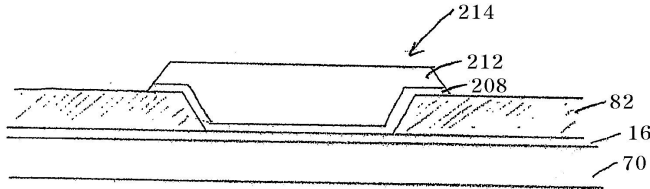
도면23c



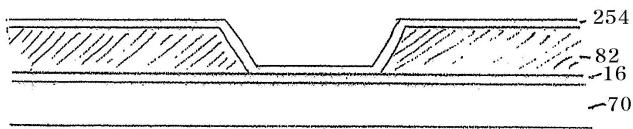
도면23d



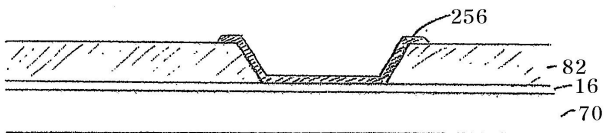
도면23e



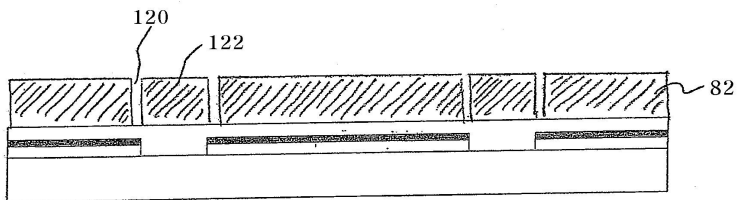
도면24a



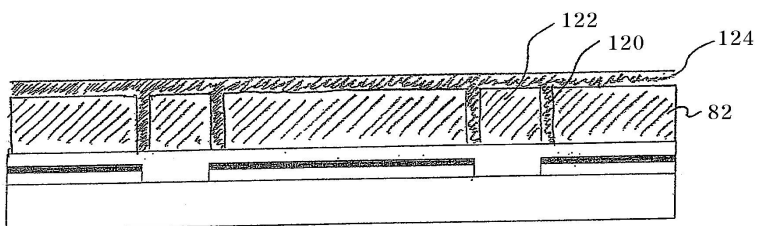
도면24b



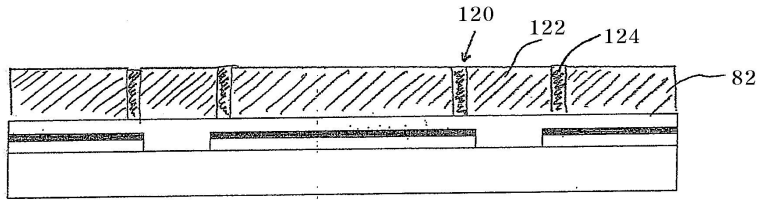
도면25a



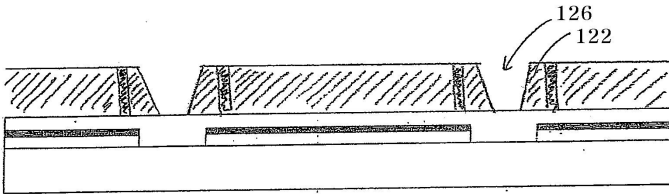
도면25b



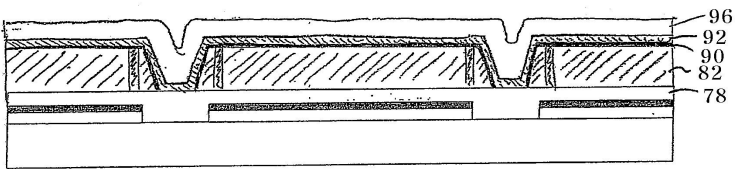
도면25c



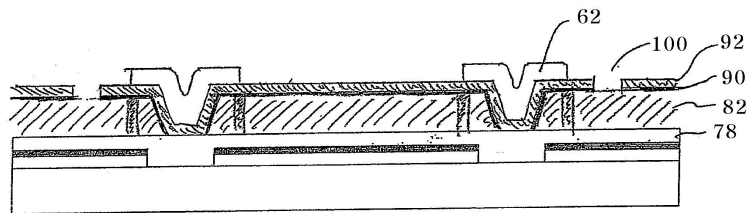
도면25d



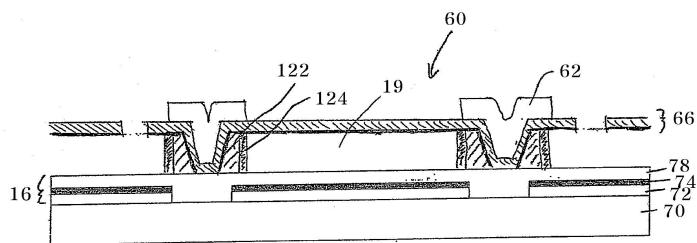
도면25e



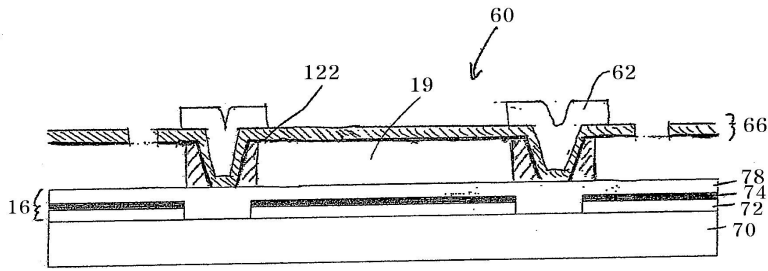
도면25f



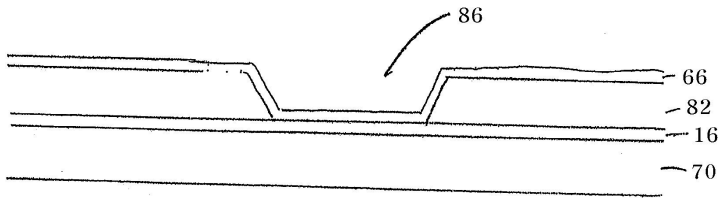
도면25g



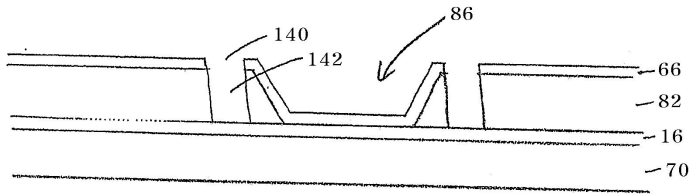
도면25h



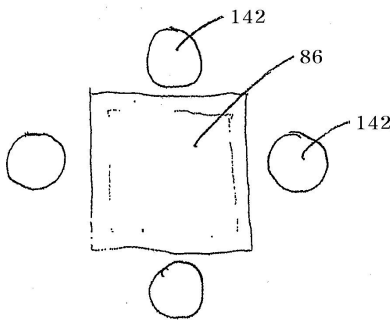
도면26a



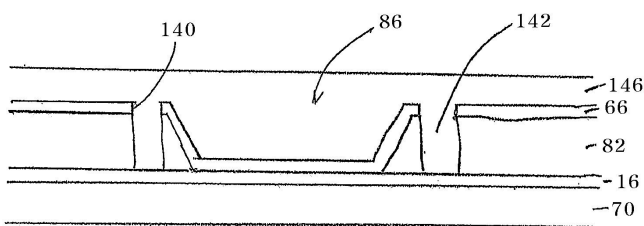
도면26b



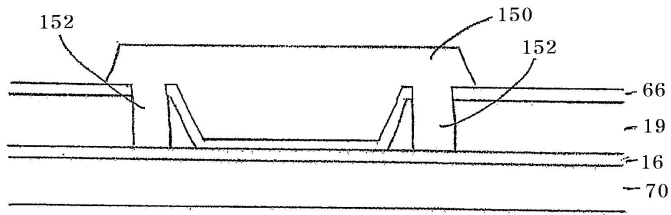
도면26c



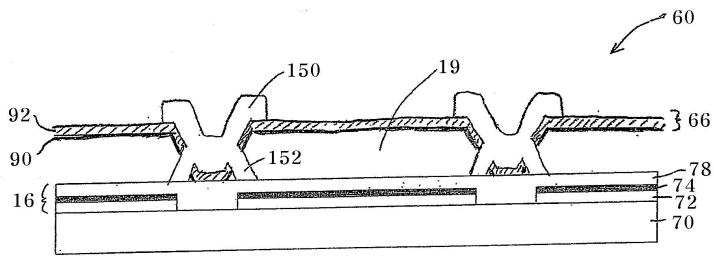
도면26d



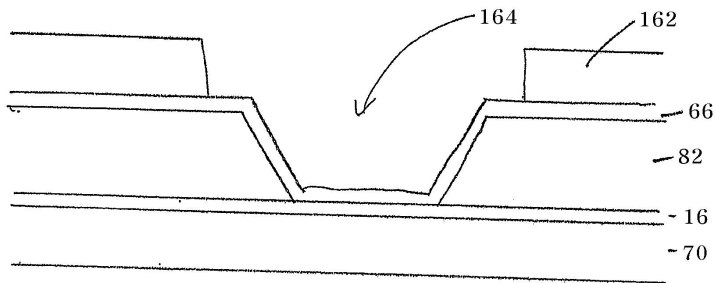
도면26e



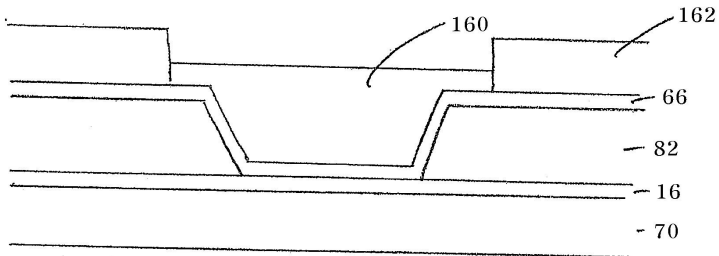
도면27



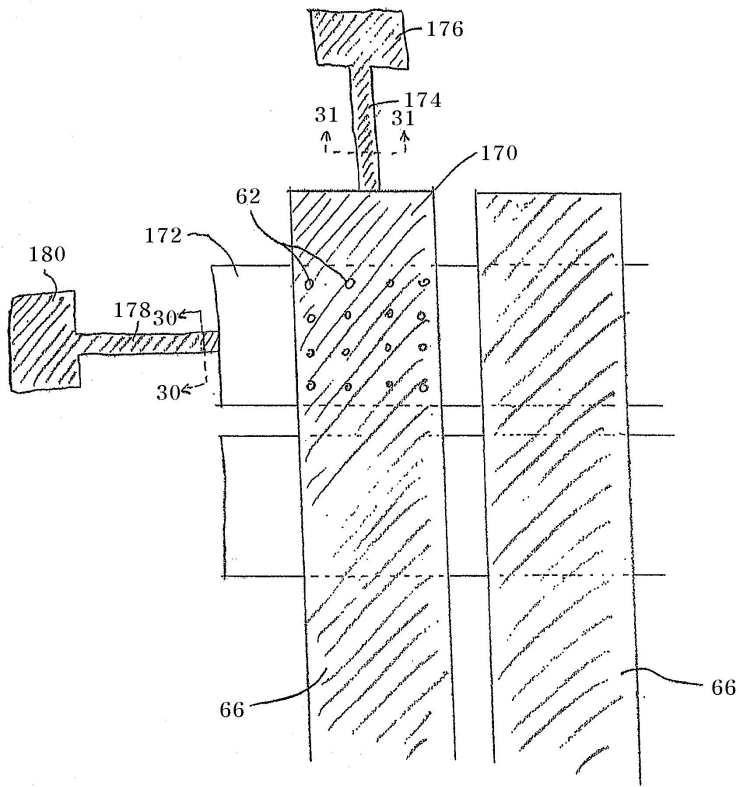
도면28a



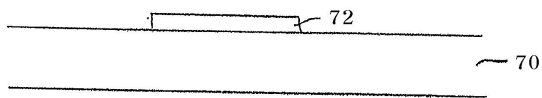
도면28b



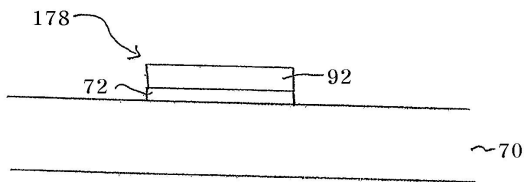
도면29



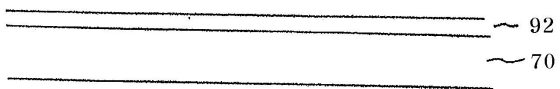
도면30a



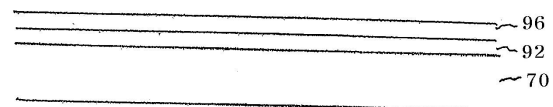
도면30b



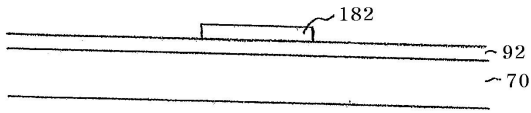
도면31a



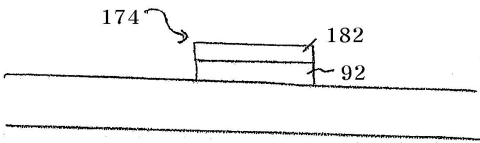
도면31b



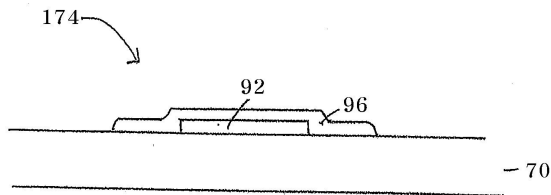
도면31c



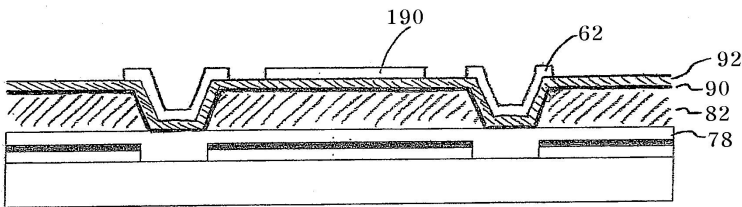
도면31d



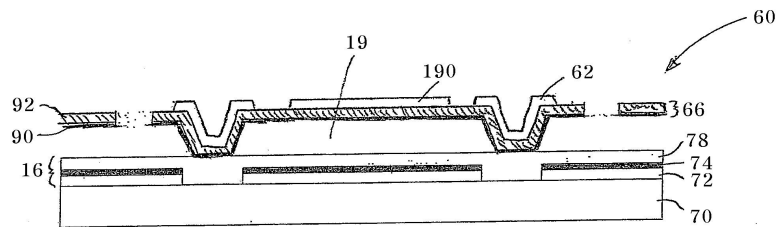
도면32



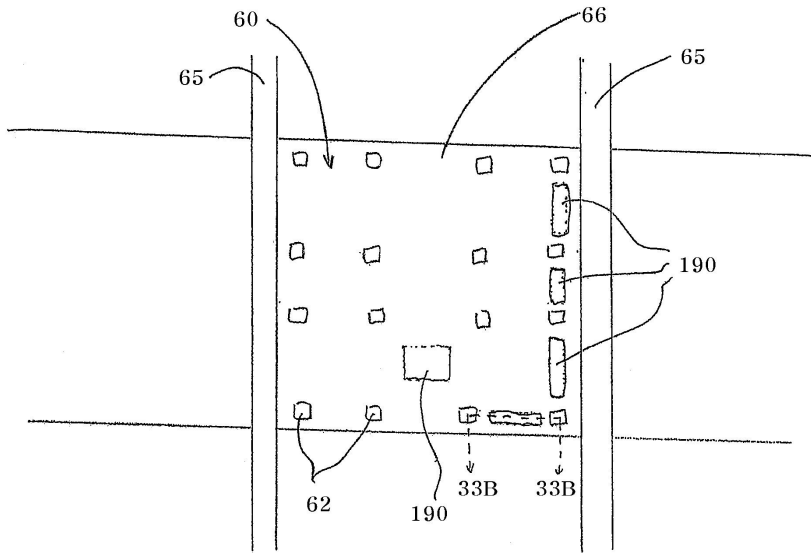
도면33a



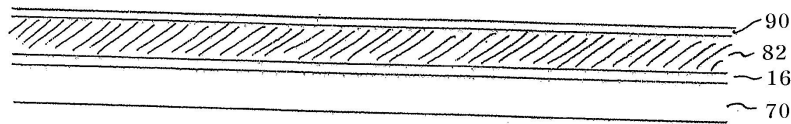
도면33b



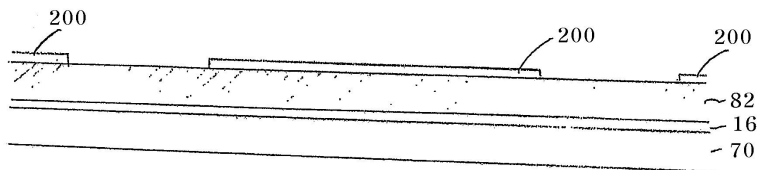
도면34



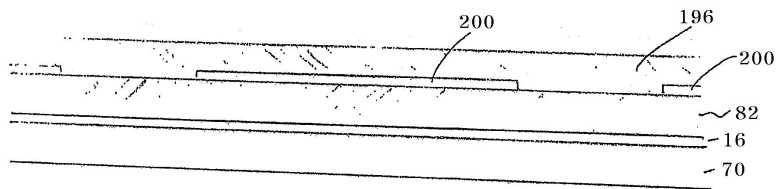
도면35a



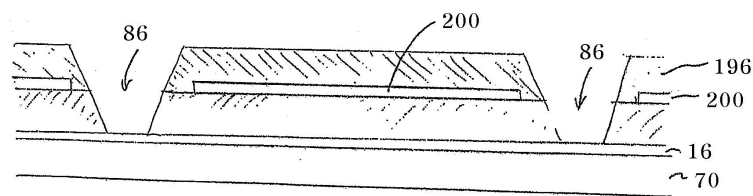
도면35b



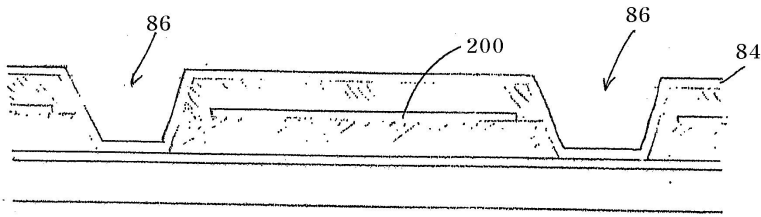
도면35c



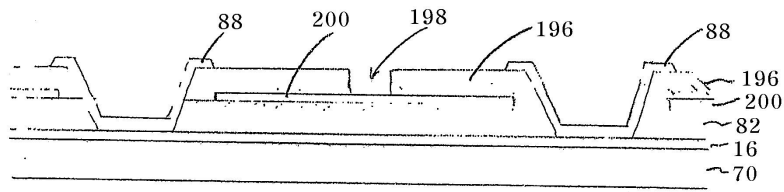
도면35d



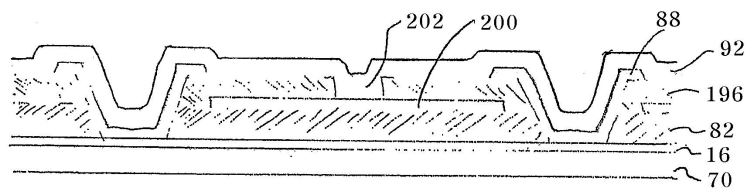
도면35e



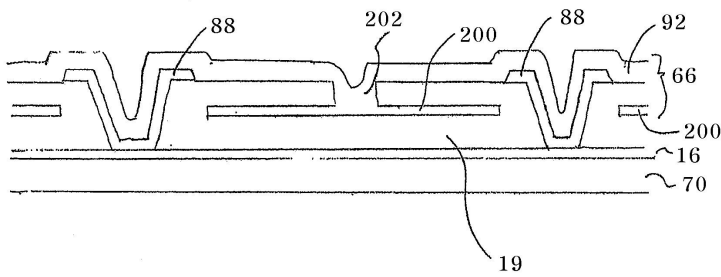
도면35f



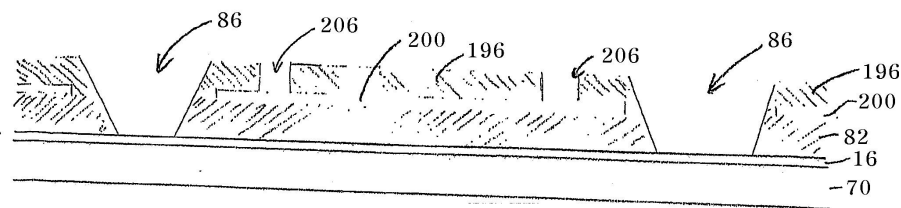
도면35g



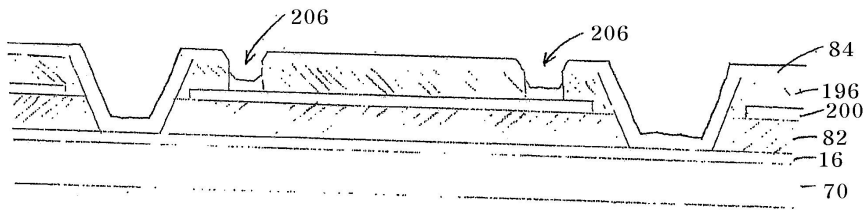
도면35h



도면36a



도면36b



도면36c

