



(19) 대한민국특허청(KR)
(12) 등록특허공보(B1)

(45) 공고일자 2009년10월14일
(11) 등록번호 10-0921434
(24) 등록일자 2009년10월06일

(51) Int. Cl.

G02B 26/08 (2006.01) B81C 1/00 (2006.01)

(21) 출원번호 10-2008-0127049

(22) 출원일자 2008년12월15일

심사청구일자 2008년12월15일

(56) 선행기술조사문헌

KR1020070105876 A*

US6487001 B2

*는 심사관에 의하여 인용된 문헌

(73) 특허권자

이화여자대학교 산학협력단

서울 서대문구 대현동 11-1 이화여자대학교내

(72) 발명자

박일홍

경기 성남시 분당구 수내동 양지마을금호3단지아파트 306-1604

박재형

서울 관악구 봉천동 해태보라매주상타운 1607

(뒷면에 계속)

(74) 대리인

특허법인태동

전체 청구항 수 : 총 3 항

심사관 : 박승배

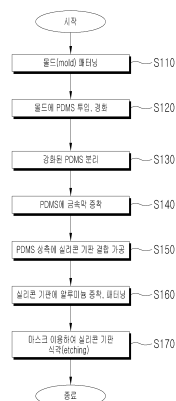
(54) 피디엠에스를 이용한 경사진 바닥 전극을 갖는 마이크로미러 제작 방법

(57) 요약

본 발명은 PDMS를 이용한 경사진 바닥 전극을 갖는 마이크로미러 제작 방법에 관한 것으로서, 보다 구체적으로는 마이크로미러 제작 방법에 있어서, (1) 상층을 향하여 경사지며, 중심부가 소정 거리 이격되어 마주보게 배치되도록 몰드(mold)를 패터닝(patterning)하는 단계, (2) 상기 패터닝된 몰드에 PDMS(poly dimethyl siloxane stamp)를 투입하여 경화시키는 단계, (3) 경사진 바닥 전극을 형성하기 위하여 상기 경화된 PDMS를 상기 패터닝된 몰드로부터 분리하는 단계, (4) 상기 경사진 바닥 전극이 형성된 PDMS에 금속 막을 증착하는 단계, (5) 상기 PDMS 상층으로 이격된 위치에 상기 PDMS와의 전압 차에 따른 정전력을 형성하기 위한 실리콘 기판을 결합하여 가공하는 단계, (6) 상기 가공된 실리콘 기판에 알루미늄을 증착하고 패터닝하는 단계, 및 (7) 상기 패터닝된 알루미늄을 마스크로 하여 상기 실리콘 기판을 식각(etching)하는 단계를 포함하는 것을 그 구성상의 특징으로 한다.

본 발명의 PDMS를 이용한 경사진 바닥 전극을 갖는 마이크로미러 제작 방법에 따르면, 바닥 전극의 형태를 PDMS를 이용하여 경사진 구조로 형성함으로써 구동전압이 감소하고, 바닥 전극과의 간격을 구동전압의 상승 없이 증가시킬 수 있게 함으로써 제어 가능한 구동각도의 범위를 크게 키울 수 있는 마이크로미러를 제작할 수 있다. 뿐만 아니라, 구동전압의 상승 없이 마이크로미러 스프링의 강도를 증가시켜 복원력을 키울 수 있게 됨으로써 마이크로미러가 바닥에 점착되는 현상을 현저히 줄일 수 있음과 동시에 외부 충격 및 진동에도 더 강인한 마이크로미러를 구현할 수 있다. 또한, 경사진 바닥 전극의 형태를 1축 구동 마이크로미러뿐만 아니라 2축 구동이 가능한 마이크로미러에 적합하게 제작할 수 있게 됨으로써 평판 전극을 이용한 정전력 구동 마이크로미러에 비하여 제어 가능한 구동각도를 증가시키는 동시에 마이크로미러의 구동에 필요한 인가전압을 줄일 수 있다.

대 표 도 - 도5



(72) 발명자

김용권

서울 강남구 대치동

유병욱

서울 관악구 신림동 1694 신림현대@ 102-1204

진주영

경기도 성남시 분당구 서현동 시범단지 우성아파트
218동 610호

이 발명을 지원한 국가연구개발사업

과제고유번호 R16

부처명 과학기술부

연구사업명 창의적 연구진흥 지원연구

연구과제명 MEMS 기반 차세대 우주망원경 개발을 통한 극한에너지 우주현상 연구

주관기관 MEMS 우주망원경 연구단

연구기간 2006년 04월 01일 ~ 2015년 02월 28일

특허청구의 범위

청구항 1

마이크로미러 제작 방법에 있어서,

- (1) 경사진 바닥 전극이 삼각형 형태로 상향으로 경사지며, 상향으로 경사진 상기 삼각형의 중심부가 소정 거리 이격되어 마주보게 배치되도록 몰드(mold)를 패터닝(patterning)하는 단계;
- (2) 상기 패터닝된 몰드에 PDMS(poly dimethyl siloxane stamp)를 투입하여 경화시키는 단계;
- (3) 경사진 바닥 전극을 형성하기 위하여 상기 경화된 PDMS를 상기 패터닝된 몰드로부터 분리하는 단계;
- (4) 상기 PDMS에 의해 형성된 경사진 바닥 전극에 전압을 인가하기 위하여 상기 PDMS의 표면에 금속 막을 증착하는 단계;
- (5) 상기 PDMS 상층으로 이격된 위치에, 상기 PDMS에 의해 형성된 경사진 바닥 전극과의 전압 차에 따른 정전력을 형성하기 위하여 실리콘 기판을 결합하여 가공하는 단계;
- (6) 상기 가공된 실리콘 기판에 알루미늄을 증착하고 패터닝하는 단계; 및
- (7) 상기 패터닝된 알루미늄을 마스크로 하여 상기 실리콘 기판을 식각(etching)하는 단계를 포함하는 것을 특징으로 하는 PDMS를 이용한 경사진 바닥 전극을 갖는 마이크로미러 제작 방법.

청구항 2

제1항에 있어서, 상층을 향하여 경사지며, 중심부가 소정 거리 이격되어 마주보게 배치되도록 몰드(mold)를 패터닝(patterning)하는 상기 단계 (1)는,

제작하고자 하는 경사진 바닥 전극의 기울기와 높이에 일치하도록 상기 몰드를 패터닝하는 것을 특징으로 하는 PDMS를 이용한 경사진 바닥 전극을 갖는 마이크로미러 제작 방법.

청구항 3

제1항에 있어서, PDMS 상층으로 이격된 위치에 상기 PDMS와의 전압차에 따른 정전력을 형성하기 위한 실리콘 기판을 결합하여 가공하는 상기 단계 (5)는,

마이크로미러판과 상기 경사진 바닥 전극 사이의 미리 설정된 간격에 맞추어 이방성 식각 공정에 의해 상기 실리콘 기판을 가공하는 단계;

가공된 상기 실리콘 기판을 상기 PDMS와 웨이퍼 접합 공정에 의해 결합하는 단계; 및

상기 실리콘 기판을 미리 설정된 마이크로미러의 두께로 가공하는 단계를 포함하는 것을 특징으로 하는 PDMS를 이용한 경사진 바닥 전극을 갖는 마이크로미러 제작 방법.

명세서

발명의 상세한 설명

기술 분야

- <1> 본 발명은 마이크로미러 제작 방법에 관한 것으로서, 보다 구체적으로는 PDMS를 이용한 경사진 바닥 전극을 갖는 마이크로미러 제작 방법에 관한 것이다.

배경 기술

- <2> 평판 전극을 이용하는 정전력 구동 마이크로미러의 설계는 전극 간의 정전기적 토크와 미러를 지지하는 스프링의 기계적 토크의 균형으로부터 구동 전압과 구동각을 고려하여 이루어진다. 토션 스프링을 이용하는 마이크로미러의 경우, 토션 스프링 상수는 다음 수학식 1과 같고 미러가 회전하였을 때 그와 비례한 스프링의 기계적 복원 토크는 다음 수학식 2와 같다.

수학식 1

$$2c = \frac{\kappa E t_s w_s^3}{(1+\nu)l_s}$$

<3>

<4> 여기서, k 는 스프링 단면의 형태에 의존하는 상수로서 스프링의 폭과 두께에 의존적이며, 두께가 두꺼울수록 $1/3$ 에 근사하게 된다. 또한, E 는 영률(Young's modulus)을, ν 는 Poisson's ratio를 각각 나타낸다.

수학식 2

$$T_m = -2c \cdot \theta = -2c \cdot \alpha \left(\frac{Z_0}{L} \right)$$

<5>

<6> 여기서, θ 는 미러의 회전각, α 는 정규화된 회전각도(최대 회전할 수 있는 각도 대비 미러의 실제 회전각 비율), Z_0 은 미러판과 바닥 전극 사이의 초기 간격을 나타낸다. 또한, L 은 회전축 중심에서 미러 끝 부분까지의 길이를 의미한다.

<7>

도 1은 정전력을 이용한 양방향 구동 마이크로미러의 정전력에 의한 토크를 계산하기 위한 개략도이다. 도 1에서 마이크로미러판의 크기를 a 라 두자. 양 전극 간의 간격을 Z_0 , 미러 끝 부분의 변위를 Z_1 로 두면, 정전력에 의한 힘은 다음 수학식 3과 같이 나타낼 수 있다.

수학식 3

$$F = -\frac{\partial}{\partial x} \left\{ \frac{1}{2} C(x) V_a^2 \right\} = \frac{1}{2} \epsilon_0 \frac{\partial}{\partial x} \left\{ \frac{A}{Z_0 - Z(x)} \right\} V_a^2$$

<8>

<9> 여기서, A 는 미러의 면적, 유전율 ϵ_0 은 8.85 pF/m , V_a 는 인가된 바이어스 전압, $Z(x)$ 는 각 x 위치에서의 전극 간 간격을 의미한다.

<10>

도 1과 같은 구조의 마이크로미러에 전압이 인가될 경우 정전력에 의한 토크는 다음과 같이, α , β , 로 정의된 상수를 이용하여 다음 수학식 4와 같이 정리된다.

수학식 4

$$\alpha = \frac{\theta}{Z_0/L}, \quad \beta = \frac{l_2}{L}, \quad \gamma = \frac{l_1}{L} \quad \text{라고 할 경우,}$$

<11>

$$T_e = \int_{l_1}^{l_2} x dF$$

$$= \frac{1}{2} \epsilon_0 a L^2 \frac{V_a^2}{Z_0^2} \frac{1}{\alpha^2} \left\{ \frac{1}{1-\alpha\beta} - \frac{1}{1-\alpha\gamma} + \ln \frac{1-\alpha\beta}{1-\alpha\gamma} \right\}$$

<12>

<13>

토션 스프링에 의해 주어지는 기계적인 복원 토크는 앞서 설명한 수학식 2와 같다. 스프링에 의한 기계적인 복원력과 상기 수학식 4로 표현되는 정전력에 의한 전기적 토크가 평형 상태가 되는 지점에서 미러의 구동각이 결정된다. 따라서 수학식 2와 수학식 4를 양 변에 두고 정리를 하면 구동 전압과 구동각에 의한 식으로 나타낼 수 있다. 마이크로미러가 $210 \mu\text{m} \times 210 \mu\text{m}$ 의 크기를 가지며 스프링이 $1.2 \mu\text{m} \times 8 \mu\text{m} \times 42 \mu\text{m}$ 의 크기로 마이크로미러의 정중앙에 축을 이루고 있는 경우, 도 2와 같은 구동 전압 대비 구동각의 그래프를 얻을 수 있게 된다. 도 2에서 확인할 수 있는 바와 같이, 인가전압이 증가함에 따라 미러의 구동각이 증가하다가 어느 임계 전압 이상이 인가되면 미러는 바닥 전극에 갑자기 달라붙게 된다. 이를 풀인 현상이라고 부르며 풀인이 일어나는 인가 전압을 풀인 전압, 풀인 현상이 일어나는 순간의 회전 각도를 풀인 임계각이라고 한다.

<14> 도 2는 인가전압에 따른 마이크로미러의 회전각을 나타낸 도면이다. 도 2 (a)는 인가전압의 증가에 따른 구동각의 증가와 풀인 전압을 보여주고 있다. 풀인된 미러의 인가전압을 서서히 감소시키면 다시 미러가 원래의 상태로 되돌아가는데 풀인 전압에서 미러가 바닥 전극으로부터 떨어지는 것이 아니라 더 낮은 인가전압에서 떨어지게 된다. 도 2(b)는 풀인된 미러의 인가전압을 감소시킴에 따른 미러의 상태를 나타낸다. 풀인 전압보다 더 낮은 전압에서 미러가 바닥에서 분리됨을 보여준다. 이와 같은 원리를 이용하여 정전력으로 구동하는 마이크로미러의 구동 전압과 회전각도, 풀인 전압, 풀인 임계각 등을 설계할 수 있다. 두 평판 사이의 전압 차에 따른 정전력으로 구동하는 마이크로미러에 있어서, 바닥 전극을 미러판과 평행하게 제작하는 평판 바닥 전극은 기존의 정전력 구동 마이크로미러의 제작에 있어서 일반적인 방법이었으며 다양한 응용분야에 적용되어 왔다.

<15> 그러나 이와 같이 평판 전극을 이용하여 마이크로미러를 제작하는 경우에, 풀인 현상으로 인해 제어할 수 있는 미러판의 구동 각도가 제한된다는 문제점이 있다. 즉, 미러판과 바닥 전극과의 간격이 고정되어 있을 때 미러판의 회전 각도는 풀인 임계각 내에서만 제어할 수 있으며, 이는 일반적으로 연속적인 구동 각도 제어를 요구하는 응용에 있어서 평판 전극을 이용한 정전력 구동 마이크로미러의 사용이 제한되는 중요한 원인이 된다. 일반적으로 평판 전극을 이용한 마이크로미러의 제어 가능한 구동 각도를 증가시키기 위해서는 미러판과 평판 바닥 전극 사이의 간격을 증가시켜야 한다. 그러나 이 경우 상기 수식식들에서 알 수 있듯이 증가된 전극 간의 간격으로 인해서 미러의 구동 전압이 상승하게 된다. 연속적인 구동 각도의 제어가 필요하지 않은 응용에 있어서도, 예를 들어 TI 사에서 개발된 디지털 마이크로미러의 경우에서처럼 미러가 회전하지 않은 초기 상태와 미러판이 바닥전극에 달라붙은 풀인된 상태 두 가지의 회전각도만을 이용하는 디지털 방식의 경우에서도, 미러를 풀인 시키기 위한 구동 전압을 회로의 조건에 맞게 줄여야 할 필요성이 있다.

<16> 또한, 마이크로미러가 바닥 전극에 달라붙은 이후에 미러판과 바닥 전극 표면 사이에는 오염이나 수분 및 분자 간에 작용하는 힘 등으로 인해 점착 현상(stiction)이 쉽게 발생할 수 있으며, 이로 인하여 미러가 바닥과 점착하게 되면 인가된 전압을 제거한 후에도 미러가 원래의 상태로 복원되지 않아 소자의 정상적인 동작이 불가능해진다. 따라서 이와 같은 점착 현상을 줄이기 위해서는 스프링의 복원력을 증가시켜 미러가 원상태로 복원되는 힘을 증가시켜야 하며 이와 동시에 증가된 스프링의 강도에도 불구하고 구동 전압은 상승되지 않도록 하는 새로운 구조가 필요하다는 문제점이 있다.

발명의 내용

해결 하고자하는 과제

<17> 본 발명은 기존에 제안된 방법들의 상기와 같은 문제점들을 해결하기 위해 제안된 것으로서, 바닥 전극의 형태를 PDMS를 이용하여 경사진 구조로 형성함으로써 구동전압이 감소하고, 바닥 전극과의 간격을 구동전압의 상승 없이 증가시킬 수 있게 함으로써 제어가 가능한 구동각도의 범위를 크게 키울 수 있는 PDMS를 이용한 경사진 바닥 전극을 갖는 마이크로미러 제작 방법을 제공하는 것을 그 목적으로 한다. 뿐만 아니라, 구동전압의 상승 없이 마이크로미러 스프링의 강도를 증가시켜 복원력을 키울 수 있게 됨으로써 마이크로미러가 바닥에 점착되는 현상을 현저히 줄일 수 있음과 동시에 외부 충격 및 진동에도 더 강인한 마이크로미러를 구현할 수 있는 PDMS를 이용한 경사진 바닥 전극을 갖는 마이크로미러 제작 방법을 제공하는 것을 다른 목적으로 한다. 또한, 경사진 바닥 전극의 형태를 1축 구동 마이크로미러뿐만 아니라 2축 구동이 가능한 마이크로미러에 적합하게 제작할 수 있게 됨으로써 평판 전극을 이용한 정전력 구동 마이크로미러에 비하여 제어 가능한 구동각도를 증가시키는 동시에 마이크로미러의 구동에 필요한 인가전압을 줄일 수 있는 PDMS를 이용한 경사진 바닥 전극을 갖는 마이크로미러 제작 방법을 제공하는 것을 그 또 다른 목적으로 한다.

과제 해결수단

<18> 상기한 목적을 달성하기 위한 본 발명의 특징에 따른 PDMS를 이용한 경사진 바닥 전극을 갖는 마이크로미러 제작 방법은, 마이크로미러 제작 방법에 있어서,

<19> (1) 상층을 향하여 경사지며, 중심부가 소정 거리 이격되어 마주보게 배치되도록 몰드(mold)를 패터닝(patterning)하는 단계;

<20> (2) 상기 패터닝된 몰드에 PDMS(poly dimethyl siloxane stamp)를 투입하여 경화시키는 단계;

<21> (3) 경사진 바닥 전극을 형성하기 위하여 상기 경화된 PDMS를 상기 패터닝된 몰드로부터 분리하는 단계;

<22> (4) 상기 경사진 바닥 전극이 형성된 PDMS에 금속 막을 증착하는 단계;

- <23> (5) 상기 PDMS 상층으로 이격된 위치에 상기 PDMS와의 전압 차에 따른 정전력을 형성하기 위한 실리콘 기판을 결합하여 가공하는 단계;
- <24> (6) 상기 가공된 실리콘 기판에 알루미늄을 증착하고 패터닝하는 단계; 및
- <25> (7) 상기 패터닝된 알루미늄을 마스크로 하여 상기 실리콘 기판을 식각(etching)하는 단계를 포함하는 것을 그 구성상의 특징으로 한다.
- <26> 바람직하게는, 상층을 향하여 경사지며, 중심부가 소정 거리 이격되어 마주보게 배치되도록 몰드(mold)를 패터닝(patterning)하는 상기 단계 (1)는, 경사진 바닥 전극의 기울기와 높이를 고려하여 상기 몰드(mold)를 패터닝(patterning)할 수 있다.
- <27> 바람직하게는, PDMS 상층으로 이격된 위치에 상기 PDMS와의 전압 차에 따른 정전력을 형성하기 위한 실리콘 기판을 결합하여 가공하는 상기 단계 (5)는,
- <28> 마이크로미러판과 상기 경사진 바닥 전극 사이의 미리 설정된 간격에 맞추어 이방성 식각 공정에 의해 상기 실리콘 기판을 가공하는 단계;
- <29> 가공된 상기 실리콘 기판을 상기 PDMS와 웨이퍼 접합 공정에 의해 결합하는 단계; 및
- <30> 상기 실리콘 기판을 미리 설정된 마이크로미러의 두께에 따라 얇게 가공하는 단계를 포함할 수 있다.

효 과

- <31> 본 발명의 PDMS를 이용한 경사진 바닥 전극을 갖는 마이크로미러 제작 방법에 따르면, 바닥 전극의 형태를 PDMS를 이용하여 경사진 구조로 형성함으로써 구동전압이 감소하고, 바닥 전극과의 간격을 구동전압의 상승 없이 증가시킬 수 있게 함으로써 제어가 가능한 구동각도의 범위를 크게 키울 수 있는 마이크로미러를 제작할 수 있다. 뿐만 아니라, 구동전압의 상승 없이 마이크로미러 스프링의 강도를 증가시켜 복원력을 키울 수 있게 됨으로써 마이크로미러가 바닥에 접촉되는 현상을 현저히 줄일 수 있음과 동시에 외부 충격 및 진동에도 더 강인한 마이크로미러를 구현할 수 있다. 또한, 경사진 바닥 전극의 형태를 1축 구동 마이크로미러뿐만 아니라 2축 구동이 가능한 마이크로미러에 적합하게 제작할 수 있게 됨으로써 평판 전극을 이용한 정전력 구동 마이크로미러에 비하여 제어 가능한 구동각도를 증가시키는 동시에 마이크로미러의 구동에 필요한 인가전압을 줄일 수 있다.

발명의 실시를 위한 구체적인 내용

- <32> 이하에서는 첨부된 도면들을 참조하여, 본 발명에 따른 실시예에 대하여 상세하게 설명하기로 한다.
- <33> PDMS(Poly DiMethyl Siloxane; 이하 PDMS)란 뼈대가 탄소가 아닌 실리콘(Si)으로 이루어진 고분자로서 화학적으로 안정하므로 낮은 표면 에너지(21.6 mJ/m²)값을 가지고 있어 다른 물질과 반응하지 않고 쉽게 분리되며, 물을 머금어 휘는 swelling 현상을 일으키지 않는다. 또한, 가스를 쉽게 통과시키며 열에 안정하고(~186℃) 300nm 파장의 빛까지 통과시킬 수 있어 자외선에 의해 경화되는 고분자를 성형할 수 있으며, 결정 구조상으로는 등방성을 지니며 계면 특성을 쉽게 조절할 수 있어 금형으로서 적합한 물질이라고 할 수 있다. 이러한 PDMS가 갖는 탄성 중합체로서의 가장 큰 장점으로서는 회로 기판(substrate)의 상대적으로 넓은 영역에 안정적으로 점착할 수 있을 수 있다는 것이며, 이는 평탄하지 않은 표면에 대해서도 동일하게 만족한다. 따라서 본 발명에서는 이러한 PDMS의 특성을 이용하여 보다 손쉽게 경사진 바닥 전극을 형성할 수 있고, 이로써 구동전압이 감소하고, 제어가 가능한 구동각도의 범위를 크게 키울 수 있는 마이크로미러를 제작할 수 있게 된다.
- <34> 도 3과 도 4는 본 발명의 일실시예에 따른 PDMS(poly dimethyl siloxane stamp)를 이용한 경사진 바닥 전극을 갖는 마이크로미러 제작 방법을 단계별로 나타낸 도면이다. 도 3과 도 4에 도시된 바와 같이, 본 발명의 일실시예에 따른 PDMS를 이용한 경사진 바닥 전극을 갖는 마이크로미러 제작 방법은, 먼저, 경사진 바닥 전극의 기울기와 최종 높이를 고려하여 기판을 3(a)과 같은 형태로 가공한다. 제작하고자 하는 경사진 바닥 전극의 형태를 가진 mold에 PDMS(100)를 투입하여 경화시킨다. 액상으로 된 PDMS는 소정 온도 이상에서 일정 시간이 경과하면 3(b)과 같이 경화되며, 경화된 PDMS를 mold로부터 떼어내면 3(c)과 같이 경사진 형태의 모양이 나오게 된다. 그 후, 전압 인가를 위한 전극으로 사용하기 위해서 사출된 PDMS 표면에 shadow mask(120)를 이용한 금속막(110)을 증착하면(3(d)) 원하는 부분에만 금속막이 패터닝되어 경사진 바닥 전극이 완성된다. 이렇게 제작된 바닥 전극 위에 실리콘 기판을 이용하여 마이크로미러를 제작하게 되는데, 이는 도 4를 통해 설명한다. 일단, 4(e)와 같이 제작하고자 하는 마이크로미러판과 바닥 전극 사이의 설계 간격에 맞게 실리콘 기판(200)을 이방성

식각 공정을 이용하여 가공하는데, 이 공정을 통해 마이크로미러의 구동 공간이 형성된다. 이때 가공된 실리콘 기판(200)을 바닥 전극이 형성된 PDMS(100)와 웨이퍼 접합 공정(bonding)을 통해 결합한 다음 실리콘 기판(200)의 다른 면을 제작하고자 하는 마이크로미러 두께만큼 CMP(chemical mechanical polishing) 공정을 이용하여 얇게 가공한다. 이렇게 얇게 가공된 실리콘 기판 위에 4(f)와 같이 알루미늄(205)을 증착하고, 제작하고자 하는 마이크로미러의 모양에 맞게 알루미늄을 패터닝한 후, 패터닝된 알루미늄(205)을 마스크로 하여 마이크로미러의 모양대로 실리콘 기판을 식각(etching)하면 최종적인 마이크로미러가 완성되는 것이다. 이때 최종적으로 식각된 실리콘 기판이 마이크로미러판(미러판)이 된다.

- <35> 도 5는 본 발명의 일실시예에 따른 PDMS를 이용한 경사진 바닥 전극을 갖는 마이크로미러 제작 방법의 흐름도이다. 도 5에 도시된 바와 같이, 본 발명의 일실시예에 따른 PDMS를 이용한 경사진 바닥 전극을 포함한 마이크로미러 제작 방법은, 몰드를 패터닝 하는 단계(S110), 몰드에 PDMS를 투입하여 경화시키는 단계(S120), 경화된 PDMS를 분리하는 단계(S130), PDMS에 금속 막을 증착하는 단계(S140), PDMS 상층에 실리콘 기판을 결합 가공하는 단계(S150), 실리콘 기판에 알루미늄을 증착하고 패터닝 하는 단계(S160), 및 마스크를 이용하여 실리콘 기판을 식각하는 단계(S170)를 포함한다.
- <36> 단계 S110은, 몰드를 패터닝하는 과정으로서, 이때 몰드는 상층을 향하여 경사지며, 중심부가 소정 거리 이격되어 마주보게 배치되도록 형성된다. 즉, 이는 제작하고자 하는 경사진 바닥 전극의 기울기와 최종 높이를 고려한 경사진 바닥 전극의 형상으로 패터닝하는 것이다.
- <37> 단계 S120은, 몰드에 PDMS를 투입하여 경화시키는 역할을 하며, 단계 S110에서 패터닝 된 몰드에 액상으로 된 PDMS를 투입하고, 소정 온도 이상에서 일정 시간이 경과되면 경화된다.
- <38> 단계 S130은, 경화된 PDMS를 분리하는 단계로서 마이크로미러에 사용될 경사진 바닥 전극을 형성하기 위하여 경화된 PDMS를 상기 패터닝된 몰드로부터 분리하는 과정이다.
- <39> 단계 S140은, PDMS에 금속 막을 증착하는 단계로서 이는 마이크로미러로 구동 시 PDMS로 형성된 경사진 바닥 전극에 전압을 인가하기 위한 전극, 즉 어드레싱 라인으로 사용될 금속 막을 증착하는 과정이다. 이를 위하여 사출된 PDMS 표면에 shadow mask를 이용한 금속 막을 증착하면 원하는 부분에만 금속 막이 패터닝될 수 있는데, 금속 막으로는, 예컨대, 니켈 박막 또는 알루미늄 등이 사용될 수 있다.
- <40> 단계 S150은, PDMS 상층에 실리콘 기판을 결합 가공하는 역할을 한다. 이는 PDMS(100) 상층으로 이격된 위치에 PDMS와의 전압 차에 따른 정전력을 형성하기 위한 실리콘 기판(200)을 결합하여 가공하는 단계로서 이 과정을 통해 마이크로미러의 구동 공간이 형성되게 된다. 이러한 단계 S150은 다음과 같은 세부 과정으로 나누어질 수 있다. 우선, 제작하고자 하는 마이크로미러의 미러판과 경사진 바닥 전극 사이의 미리 설정된 간격에 맞추어 이방성 식각 공정에 의해 실리콘 기판을 가공하는 과정, 가공된 실리콘 기판을 경사진 바닥 전극이 형성된 PDMS와 웨이퍼 접합 공정에 의해 결합하는 과정, 실리콘 기판을 미리 설정된 마이크로미러의 두께에 따라 얇게 가공하는 과정으로 각각 나눌 수 있으며, 실리콘 기판을 얇게 가공하는 과정은 CMP 공정에 의해 이루어질 수 있다.
- <41> 단계 S160은, 실리콘 기판에 알루미늄을 증착하고 패터닝하는 역할을 하며, 제작하려고 하는 마이크로미러의 형상에 맞게 알루미늄을 패터닝하는 과정이다.
- <42> 단계 S170은, 마스크를 이용하여 실리콘 기판을 식각하는 역할을 한다. 이는 단계 S160에서 패터닝된 알루미늄을 마스크로 하여 제작하고자 하는 마이크로미러의 모양대로 실리콘 기판을 식각하는 과정인데, 이렇게 식각 과정이 끝나면 최종적인 경사진 바닥 전극을 갖는 마이크로미러가 완성된다.
- <43> 도 6은 본 발명의 일실시예에 따른 PDMS를 이용한 경사진 바닥 전극을 갖는 마이크로미러 제작 방법에 의해 제작된 마이크로미러의 개략도이다. 도 6에 도시된 바와 같이, 본 발명의 일실시예에 따른 경사진 바닥 전극을 갖는 마이크로미러는, 마이크로미러의 미러판과 지지 구조물이 형성된 실리콘 기판(200), 및 미러판과 경사진 형태로 형성된 바닥 전극과 어드레싱 라인이 형성된 PDMS(100)를 포함하여 이루어지며, PDMS(100)와 실리콘 기판(200)은 웨이퍼 접합 공정에 의해 결합되어져 마이크로미러를 구성하게 된다.
- <44> 실리콘 기판(200)에 형성된 미러판은, 하나의 구동축을 기준으로 구동되는 내부 미러판(210)과 내부 미러판의 외부를 둘러싼 형태로 구성되며, 내부 미러판의 구동축과 수직한 방향의 구동축을 갖는 외부 프레임(220)을 포함하여 이루어진다. 이러한 미러판을 내부 미러판(210)과 이와 수직한 방향의 구동축을 갖는 외부 프레임(220)으로 구성하고 각각이 그 구동축에 맞는 경사진 바닥 전극에 의해 구동되도록 함으로써 2축 구동 마이크로미러 구조가 가능하게 된다.

<45>

<46> PDMS(100)에 의해 형성된 바닥 전극은, 내부 미러판(210)을 구동하기 위한 제1 전극과 외부 프레임(220)을 구동하기 위한 제2 전극으로 나눌 수 있는데, 각각의 바닥 전극이 내부 미러판과 외부 프레임의 위치에 맞춰 독립적으로 경사진 바닥 전극을 형성할 수 있도록 구성된다. 이렇게 바닥 전극의 형태를 기존의 평판 형태가 아니라 경사진 구조로 대체함으로써 구동전압이 감소하고, 바닥 전극과의 간격을 구동전압의 상승 없이 증가시킬 수 있게 함으로써 제어가 가능한 구동각도의 범위를 크게 키울 수 있다는 효과를 가지게 된다.

<47> 바닥 전극 중 제1 전극은, 내부 미러판(210)과 경사진 바닥 전극을 형성하기 위한 것으로서, 원뿔 모양으로 구성하여 내부 미러판(210)과 경사진 바닥 전극을 형성하도록 할 수 있으며, 제2 전극은, 쐐기 모양(wedge type)으로 구성하여 외부 프레임(220)과 경사진 바닥 전극을 형성하도록 할 수 있다. 2축 구동이 가능하도록 외부 프레임 구동을 위한 바닥 전극인 제2 전극과 내부 미러판을 구동하기 위한 바닥 전극인 제1 전극이 독립적으로 분리되어 있다. 이때 경사진 바닥 전극의 기울기와 최종 높이는 처음 몰드를 패터닝하여 PDMS를 경화시키는 과정에서 패터닝된 몰드의 폭과 전극 간의 간격에 의해 결정되며, 이를 적절히 조절하여 원하는 높이와 기울기를 갖는 경사진 바닥 전극을 제작할 수 있다.

<48> 도 7은 본 발명의 일실시예에 따른 경사진 바닥 전극을 갖는 마이크로미러와 기존 평판 바닥 전극을 갖는 마이크로미러에 인가된 전압에 따른 마이크로미러의 회전각(d)을 나타낸 도면이다. 도 7에 도시된 바와 같이, 본 발명의 일실시예에 따른 경사진 바닥 전극을 가지는 마이크로미러와 평판 바닥 전극을 가지는 마이크로미러는, 앞서 설명한 수학적 식 1 내지 4에 의해 각각의 마이크로미러에 대한 인가전압에 따른 회전각을 계산할 수 있다. 7(a)은 바닥 전극이 미러판과 평행하게 제작되는 기존의 평판 전극을 나타내며, 7(b)은 경사진 바닥 전극을 가지는 마이크로미러를, 7(c)은 경사진 바닥 전극의 면적이 마이크로미러판에 비해 작게 형성되어 있는 경우를 각각 나타낸다. 7(b)과 7(c)에서와 같이 경사진 바닥 전극은 결국 마이크로미러판과 바닥 전극 사이의 유효 거리를 감소시켜주는 효과를 주어 같은 인가전압에 대해 정전력을 증가시켜주는 역할을 한다. 따라서 바닥 전극을 경사지게 함으로써 평판 전극에 비해 효율적으로 인가전압을 정전력으로 바꾸어 주게 된다. 도 7에 도시된 계산 결과에서 확인할 수 있듯이, 7(a)의 경우에 비해 7(b)의 경우 마이크로미러의 구동 전압이 크게 감소한다. 즉, 같은 각도를 움직이기 위한 전압 및 풀인 전압이 감소하는 효과가 있으며, 그 결과 경사진 바닥 전극을 이용하는 경우 마이크로미러판과 PDMS와의 간격을 증가시키더라도 평판 전극을 이용한 마이크로미러에 비해 구동 전압이 더 작거나 같게 설계를 할 수 있는데, 이는 곧 제어가 가능한 회전각도의 범위를 크게 키울 수 있음을 의미한다. 뿐만 아니라, 앞서 설명한 수학적 식 1 내지 4를 통해 같은 구동 전압을 유지하면서도 스프링의 강도를 증가시켜 점착 현상의 감소 및 충격이나 진동과 같은 외부 환경에서도 더 강인한 마이크로미러를 제작할 수 있는 효과가 있음을 확인할 수 있다. 또한, 도 7로부터, 7(c)의 구조에서와 같이 바닥전극의 면적을 마이크로미러판보다 작게 설계를 하면 마이크로미러판과 PDMS사이의 간격이 같을 경우 더 큰 구동각 제어범위를 가지게 됨을 확인할 수 있다. 즉, 같은 초기 간격에 대해서 풀인 임계각을 크게 키울 수 있는 장점이 있어 더 큰 제어 구동각 범위가 필요한 응용에 사용될 수 있다. 또한, 바닥 전극을 원뿔 모양으로 형성함으로써 경사진 바닥 전극의 역할을 하는 동시에, 임의의 회전각도에 대해서도 마이크로미러판이 바닥에 닿을 때 점착 현상이 일어나는 것을 방지할 수 있다는 효과를 가지게 된다.

<49> 이상 설명한 본 발명은 본 발명이 속한 기술분야에서 통상의 지식을 가진 자에 의하여 다양한 변형이나 응용이 가능하며, 본 발명에 따른 기술적 사상의 범위는 아래의 특허청구범위에 의하여 정해져야 할 것이다.

도면의 간단한 설명

<50> 도 1은 정전력을 이용한 양방향 구동 마이크로미러의 정전력에 의한 토크를 계산하기 위한 개략도.

<51> 도 2는 인가전압에 따른 마이크로미러의 회전각을 나타낸 도면.

<52> 도 3과 도 4는 본 발명의 일실시예에 따른 PDMS를 이용한 경사진 바닥 전극을 갖는 마이크로미러 제작 방법을 단계별로 나타낸 도면.

<53> 도 5는 본 발명의 일실시예에 따른 PDMS를 이용한 경사진 바닥 전극을 갖는 마이크로미러 제작 방법의 흐름도.

<54> 도 6은 본 발명의 일실시예에 따른 PDMS를 이용한 경사진 바닥 전극을 갖는 마이크로미러 제작 방법에 의해 제작된 마이크로미러의 개략도.

<55> 도 7은 본 발명의 일실시예에 따른 경사진 바닥 전극을 갖는 마이크로미러와 기존 평판 바닥 전극을 갖는 마이

크로미러에 인가된 전압에 따른 마이크로미러의 회전각을 나타낸 도면.

<56> <도면 중 주요 부분에 대한 부호의 설명>

<57> 10: 몰드(mold)

<58> 100: PDMS

<59> 110: 금속막

<60> 120: 마스크

<61> 200: 실리콘 기판

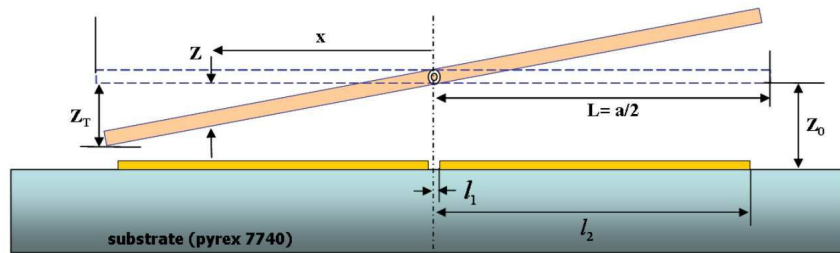
<62> 205: 알루미늄

<63> 210: 내부 미러판

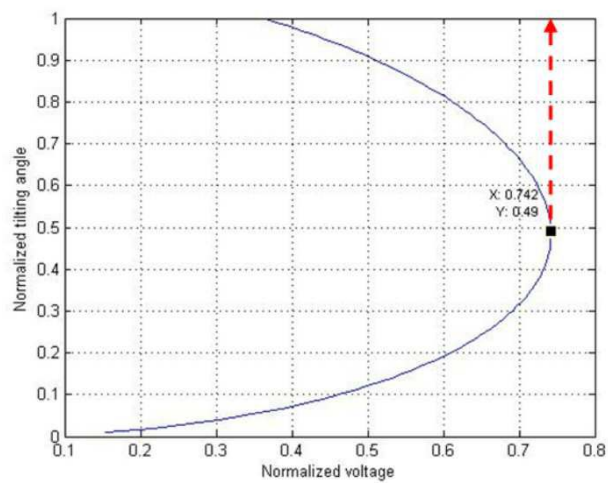
<64> 220: 외부 프레임

도면

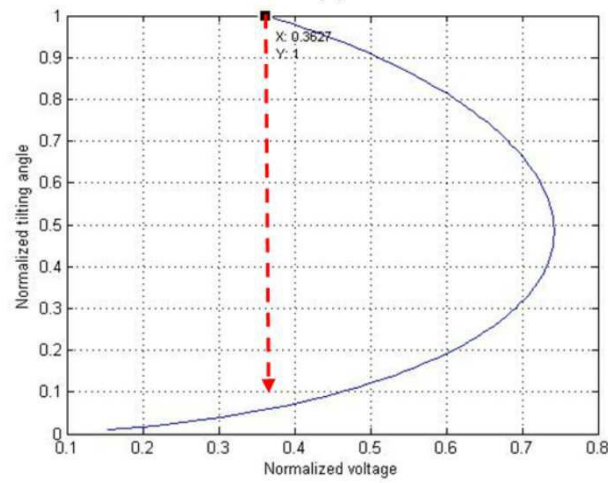
도면1



도면2

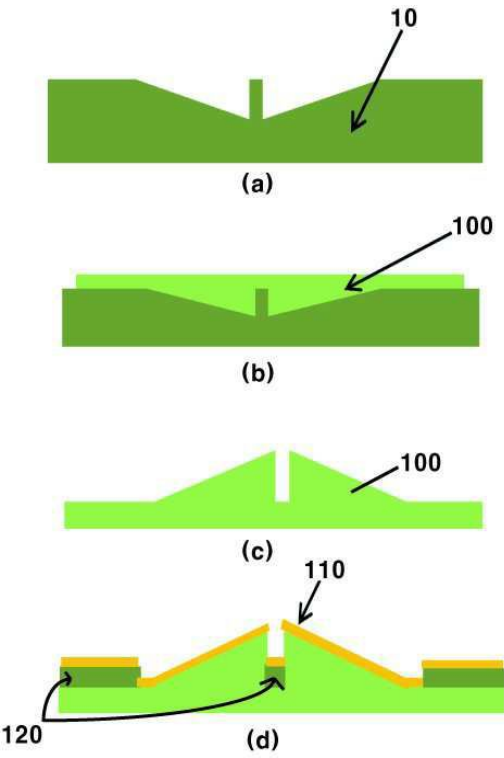


(a)

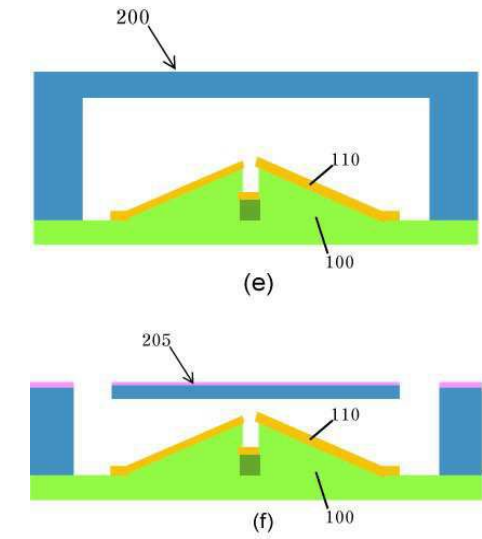


(b)

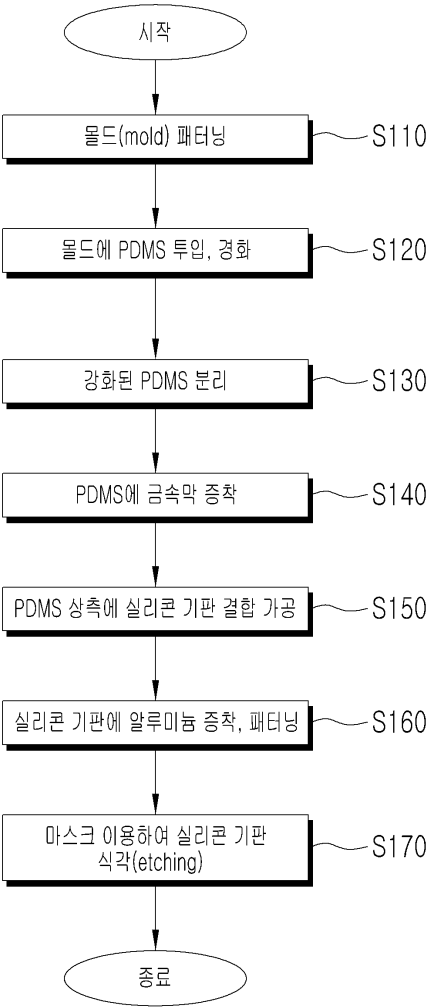
도면3



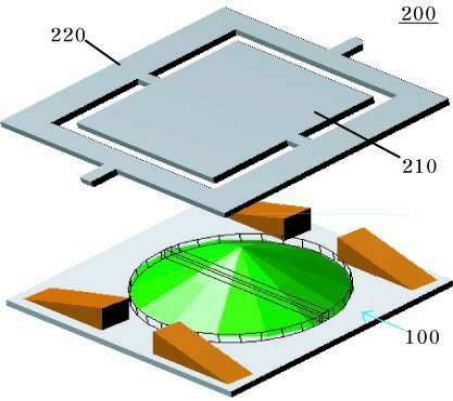
도면4



도면5



도면6



도면7

