



(19)대한민국특허청(KR)
(12) 공개특허공보(A)

(51) 。 Int. Cl.

G02B 26/08 (2006.01)

G02B 26/00 (2006.01)

(11) 공개번호 10-2007-0070002

(43) 공개일자 2007년07월03일

(21) 출원번호 10-2006-0025747

(22) 출원일자 2006년03월21일

심사청구일자 2006년03월21일

(30) 우선권주장 1020050132423 2005년12월28일 대한민국(KR)

(71) 출원인 고려대학교 산학협력단
서울 성북구 안암동5가1 고려대학교 내

(72) 발명자 김권희
서울 중구 신당동 842 약수하이츠아파트 110동 1006호
박정호
서울특별시 강남구 대치3동 우성2차아파트 205동 901호
함주희
서울 성북구 정릉4동 풍림아파트 108동 102호
하상욱
서울 강남구 도곡동 삼익아파트 2동 1405호

(74) 대리인 현종철

전체 청구항 수 : 총 13 항

(54) 비대칭 돌출부가 형성된 핑거를 구비한 마이크로액츄에이터 및 돌출부 제조방법

(57) 요약

비대칭 돌출부가 형성된 핑거를 이용하여 구동력 및 변위가 증가된 마이크로액츄에이터가 개시된다.

본 발명에 의한 비대칭 돌출부가 형성된 핑거를 구비한 마이크로액츄에이터는 소정의 평편도를 가지는 플레이트; 빗살형상을 이루도록 나란하게 배열되며 양 측면에 비대칭 돌출부가 형성된 다수개의 핑거를 일측에 구비하여, 상기 플레이트의 상부면에 고정설치되는 고정자; 빗살형상을 이루도록 나란하게 배열된 다수개의 핑거를 일측에 구비하여, 상기 핑거가 고정자 핑거들사이를 종방향으로 왕복운동하면서 교합 및 이탈될 수 있도록 상기 고정자에 대향하여 플레이트의 상부면에 배치되는 이동자; 상기 이동자의 왕복운동시 복원력을 제공하도록 이동자의 일측면에서 횡방향으로 연장된 탄성부재; 상기 탄성부재의 양단부와 연결되어 탄성부재를 지지하는 지지부재; 및 상기 고정자 및 이동자에 전압을 인가하는 전원;을 포함하는 것을 특징으로 한다.

대표도

도 3

특허청구의 범위

청구항 1.

정전인력을 이용하여 구동하는 빗살형 마이크로액츄에이터에 있어서,

소정의 평편도를 가지는 플레이트;

빗살형상을 이루도록 나란하게 배열되며 양 측면에 비대칭 돌출부가 형성된 다수개의 핑거를 일측에 구비하여, 상기 플레이트의 상부면에 고정설치되는 고정자;

빗살형상을 이루도록 나란하게 배열된 다수개의 핑거를 일측에 구비하여, 상기 핑거가 고정자 핑거들사이를 종방향으로 왕복운동하면서 교합 및 이탈될 수 있도록 상기 고정자에 대하여 플레이트의 상부면에 배치되는 이동자;

상기 이동자의 왕복운동시 복원력을 제공하도록 이동자의 일측면에서 횡방향으로 연장된 탄성부재;

상기 탄성부재의 양단부와 연결되어 탄성부재를 지지하는 지지부재; 및

상기 고정자 및 이동자에 전압을 인가하는 전원; 을 포함하는 것을 특징으로 하는 비대칭 돌출부가 형성된 핑거를 구비한 마이크로액츄에이터.

청구항 2.

제1항에 있어서,

상기 고정자 핑거의 양 측면에 형성된 비대칭 돌출부는 그 산을 이루는 두 변의 길이가 동일하지 않은 톱니형상으로 형성되는 것을 특징으로 하는 비대칭 돌출부가 형성된 핑거를 구비한 마이크로액츄에이터.

청구항 3.

제1항에 있어서,

상기 다수개의 고정자 핑거는 정전인력이 균형을 이루도록 일정배수 간격의 핑거마다 비대칭 돌출부가 형성된 것을 특징으로 하는 비대칭 돌출부가 형성된 핑거를 구비한 마이크로액츄에이터.

청구항 4.

제3항에 있어서,

상기 고정자 핑거의 양 측면에 형성된 비대칭 돌출부는 그 산을 이루는 두 변의 길이가 동일하지 않은 톱니형상으로 형성되는 것을 특징으로 하는 비대칭 돌출부가 형성된 핑거를 구비한 마이크로액츄에이터.

청구항 5.

정전인력을 이용하여 구동하는 빗살형 마이크로액츄에이터에 있어서,

소정의 평편도를 가지는 플레이트;

빗살형상을 이루도록 나란하게 배열된 다수개의 핑거를 일측에 구비하여, 상기 플레이트의 상부면에 고정설치되는 고정자;

빗살형상을 이루도록 나란하게 배열되며 양 측면에 비대칭 돌출부가 형성된 다수개의 핑거를 일측에 구비하여, 상기 핑거가 고정자 핑거들사이를 종방향으로 왕복운동하면서 교합 및 이탈될 수 있도록 상기 고정자에 대향하여 플레이트의 상부면에 배치되는 이동자;

상기 이동자의 왕복운동시 복원력을 제공하도록 이동자의 일측면에서 횡방향으로 연장된 탄성부재;

상기 탄성부재의 양단부와 연결되어 탄성부재를 지지하는 지지부재; 및

상기 고정자 및 이동자에 전압을 인가하는 전원; 을 포함하는 것을 특징으로 하는 비대칭 돌출부가 형성된 핑거를 구비한 마이크로액츄에이터.

청구항 6.

제5항에 있어서,

상기 이동자 핑거의 양 측면에 형성된 비대칭 돌출부는 그 산을 이루는 두 변의 길이가 동일하지 않은 톱니형상으로 형성되는 것을 특징으로 하는 비대칭 돌출부가 형성된 핑거를 구비한 마이크로액츄에이터.

청구항 7.

제5항에 있어서,

상기 다수개의 이동자 핑거는 정전인력이 균형을 이루도록 일정배수 간격의 핑거마다 비대칭 돌출부가 형성된 것을 특징으로 하는 비대칭 돌출부가 형성된 핑거를 구비한 마이크로액츄에이터.

청구항 8.

제7항에 있어서,

상기 고정자 핑거의 양 측면에 형성된 비대칭 돌출부는 그 산을 이루는 두 변의 길이가 동일하지 않은 톱니형상으로 형성되는 것을 특징으로 하는 비대칭 돌출부가 형성된 핑거를 구비한 마이크로액츄에이터.

청구항 9.

정전인력을 이용하여 구동하는 빗살형 마이크로액츄에이터에 있어서,

소정의 평면도를 가지는 플레이트;

빗살형상을 이루도록 나란하게 배열되며 양 측면에 비대칭 돌출부가 형성된 다수개의 핑거를 일측에 구비하여, 상기 플레이트의 상부면에 고정설치되는 고정자;

빗살형상을 이루도록 나란하게 배열되며 양 측면에 비대칭 돌출부가 형성된 다수개의 핑거를 일측에 구비하여, 상기 핑거가 고정자 핑거들사이를 종방향으로 왕복운동하면서 교합 및 이탈될 수 있도록 상기 고정자에 대향하여 플레이트의 상부면에 배치되는 이동자;

상기 이동자의 왕복운동시 복원력을 제공하도록 이동자의 일측면에서 횡방향으로 연장된 탄성부재;

상기 탄성부재의 양단부와 연결되어 탄성부재를 지지하는 지지부재; 및

상기 고정자 및 이동자에 전압을 인가하는 전원; 을 포함하는 것을 특징으로 하는 비대칭 돌출부가 형성된 핑거를 구비한 마이크로액츄에이터.

청구항 10.

제9항에 있어서,

상기 고정자 및 이동자 핑거의 양 측면에 형성된 비대칭 돌출부는 그 산을 이루는 두 변의 길이가 동일하지 않은 톱니형상으로 형성되는 것을 특징으로 하는 비대칭 돌출부가 형성된 핑거를 구비한 마이크로액츄에이터.

청구항 11.

제9항에 있어서,

상기 다수개의 고정자 및 이동자 핑거는 정전인력이 평형을 이루도록 일정배수 간격의 핑거마다 비대칭 돌출부가 형성된 것을 특징으로 하는 비대칭 돌출부가 형성된 핑거를 구비한 마이크로액츄에이터.

청구항 12.

제11항에 있어서,

상기 고정자 및 이동자 핑거의 양 측면에 형성된 비대칭 돌출부는 그 산을 이루는 두 변의 길이가 동일하지 않은 톱니형상으로 형성되는 것을 특징으로 하는 비대칭 돌출부가 형성된 핑거를 구비한 마이크로액츄에이터.

청구항 13.

세척된 <100>결정면을 갖는 p-type SOI(Silicon On Insulator) 웨이퍼에 PR(photo resist)층의 접착을 도와주도록 HMDS(hexamethyldisilazane)와 PR을 스핀코팅(spin coating)하는 단계;

상기 PR층을 건조시킨 후 이미지 공정으로 상기 PR층을 소정의 형상으로 패터닝하는 단계;

상기 처리된 웨이퍼를 DRIE(Deep Reactive Ion Etching) 공정을 통하여 이방성 건식식각을 하는 단계;

상기 처리된 웨이퍼로부터 현상공정에 의하여 PR층을 제거하는 단계;

불산(HF)을 이용하여 상기 처리된 웨이퍼의 노출된 실리콘산화막(SiO₂)을 습식식각 공정으로 식각하는 단계;

상기 처리된 웨이퍼를 액화된 p-DCB(paradichlorobenzene)에 담근 후 냉각하여 p-DCB를 고체화시키는 단계; 및

상기 고체화된 p-DCB를 가온하여 승화시키는 단계; 를 포함하는 것을 특징으로 하는 빗살형 마이크로액츄에이터 핑거 측면에 대한 비대칭 돌출부 형성방법.

명세서

발명의 상세한 설명

발명의 목적

발명이 속하는 기술 및 그 분야의 종래기술

본 발명은 비대칭 돌출부가 형성된 핑거를 구비한 마이크로액츄에이터에 관한 것으로서, 더욱 상세하게는 고정자 또는 이동자 핑거의 측면에 다수의 비대칭 돌출부를 형성함으로써 이동자에 가해지는 구동력이 증가되고 그에 따라 구동가능범위도 증가되는 마이크로액츄에이터에 관한 것이다.

통상적으로 마이크로액츄에이터는 크게 전자장(Electromagnetic) 방식의 마이크로액츄에이터와 정전(Electrostatic) 방식의 마이크로액츄에이터로 나누어지는데, 그 중 정전력에 의해 구동되는 초미세 핑거형 정전방식 마이크로액츄에이터는 2개의 전극을 미소한 간격으로 대향시킨 단순한 구조로서 장치의 소형화가 가능하고, 크기를 작게 하면 표면에 작용하는 힘인 정전력이 중력 등에 비해 지배적인 힘이 되고 미소변위 생성능력을 가지므로 초정밀 위치제어를 구현할 수 있어서 극히 정밀한 위치제어가 요구되는 시스템에 가장 널리 사용되고 있는 방식이다.

이를 구체적으로 설명하면, 초미세 핑거형 정전방식 마이크로액츄에이터(Electrostatic Comb Drive)는 공진 구동시에는 위치 혹은 운동 에너지를 감지하는 센서의 주요 부품으로서 압력, 가속도, 각속도, 가스성분 등의 미세한 변화를 감지하는 센서에 널리 사용되고 있고, 비공진 구동시에는 차지하는 면적에 비하여 발생하는 힘이 커서 미세한 것을 잡기 위한 마이크로 집게, 디스플레이 및 광 스위치를 위한 마이크로 미러에서 액츄에이터로 사용되고 있다.

도 1은 빗살형상으로 이루어진 종래의 정전인력방식 마이크로액츄에이터를 도시한 구성도인데, 도 1을 참조하면, 복수개의 빗살형상의 핑거(10)들을 가지는 양쪽 2개의 고정자(11)는 하부플레이트(1)에 고정설치된다. 전술한 고정자(11)의 복수개의 빗살형상 핑거(10)들과 대응하여 마주보고 맞물리도록 배치된 이동자의 빗살형상 핑거(12)들은 이동자(13)의 양쪽에서 돌출형성되어 있다. 소정의 탄성계수를 갖는 한 쌍의 탄성부재(14)는 그 일단부가 상기 핑거(10)에 직각방향으로 이동자(13)에 연결되어 있고, 상기 탄성부재(14)의 타단부는 고정설치된 지지부재(15)에 연결되어 있으므로, 상기 이동자(13)는 x 방향으로 왕복운동이 가능하다.

한편, 도 2는 도 1의 고정자(11) 및 이동자(13)에 구비된 한 쌍의 핑거들(20, 21)만을 부분확대하여 개략적으로 나타낸 상세도인데, 도 2를 참조하여 작동을 설명하면 다음과 같다.

대응되는 한 쌍의 핑거들(20, 21)(여기서, 핑거들은 각각 이동자와 고정자의 핑거를 의미함)이 간격 g 를 두고 서로 맞물려 마주보고 있어서, 도선(23, 24)을 통하여 상기 핑거들(20, 21)에 전원(22)을 인가하면 일정공간을 두고 떨어져 있는 핑거들(20, 21)간에 전위차가 형성되고, 형성된 전위차로 인하여 서로 당기는 힘인 정전인력이 발생한다. 이와 같이 발생하는 정전인력은 상기 핑거들(20, 21) 간에 g 의 간격을 이루고 있는 측면부의 양쪽에서는 도면의 y 좌표선상으로 발생하는 크기가 같은 반대방향의 힘으로 작용하므로 서로 상쇄되고, 상기 핑거의 첨단(25)에서 발생하는 x 좌표선상의 정전인력만이 구동력이 되어 이동자를 고정자쪽으로 끌어당긴다. 상기 이동자 핑거(21)에 작용하는 x 방향의 구동력은 하기 수학적 식 1과 같이 표현할 수 있다(J. Micromech. Microeng., Vol. 6, pp. 320-329, 1996).

$$F = \epsilon_0 \frac{t}{g} V^2$$

여기서, ϵ_0 는 유전율로서 공기 중에서는 $8.854 \times 10^{-12} \text{F/m}$ 이고, t 는 빗살형상의 핑거들(20, 21)의 두께이고, g 는 상기 핑거들(20, 21)사이의 간격이며, V 는 상기 핑거들(20, 21)사이에 인가되는 전압이다.

도 1 및 도 2에서 도시된 종래의 마이크로액츄에이터의 구조는 상기 수학적 식 1에서 보는 바와 같이 양쪽 핑거들(20, 21)의 교합거리와 무관하게 일정한 힘만을 발휘할 수 있고, 또한 그 힘의 크기가 작아서 큰 변위를 구현하기 어렵다는 단점이 있었다.

또한, 이동자 핑거(20)와 고정자 핑거(21)를 미세하게 만들기 위한 공정인 사진식각 공정에서 공정편차가 발생하거나 또는 y 방향으로의 외부충격으로 인하여 고정자 핑거(20)와 이동자 핑거(21)사이의 간격 g 가 이동자 핑거(21)의 양쪽 측면

에서 같지 않으면 상기 이동자 핑거(20)의 양쪽으로 작용하는 y 방향으로의 정전인력의 크기가 달라지게 되고 그에 따라 반대방향으로 작용하는 힘이 완전히 상쇄되지 않으므로, 이동자 핑거(21)가 고정자 핑거(20)쪽으로 당겨지게 되면서 힘의 불균형이 더욱 증가하게 된다. 또한, 상기의 인력이 탄성부재(14)가 갖는 y 방향 복원력을 증가하게 되면 결국 이동자 핑거(21)와 고정자 핑거(20)가 달라붙게 되어 더 이상의 구동이 어렵게 된다.

한편, 이동자 핑거(21)가 이동할 수 있는 최대 구동가능범위는 하기 수학식 2와 같이 표현할 수 있다.

$$Y_{SI} = g \sqrt{\frac{k_x}{2k_y}} - \frac{y_0}{2}$$

여기서, Y_{SI} 는 최대 구동가능 범위이고, g 는 빗살형상의 핑거들(20, 21) 사이의 간격이고, k_x 는 x 방향으로의 탄성계수이고, k_y 는 y 방향으로의 탄성계수이며, y_0 는 초기에 양쪽 핑거들(20, 21)간에 겹쳐진 거리이다.

상기 수학식 2에서 알 수 있는 바와 같이 최대 구동가능범위는 핑거들(20, 21) 사이의 간격 g 가 클수록 커지게 되는 반면, 상기 수학식 1에서 알 수 있는 바와 같이 구동력을 크게 하기 위해서는 간격 g 가 가능한 한 작아야 한다.

다시 말하면, 구동력을 크게 하기 위한 조건은 최대 구동가능범위를 크게 하기 위한 조건과 간격 g 의 영향에 관하여 서로 상충된다는 문제점이 있었다.

발명이 이루고자 하는 기술적 과제

따라서, 상기와 같은 문제점을 해결하기 위하여, 본 발명의 기술적 과제는 고정자 또는 이동자로부터 돌출형성되는 핑거의 전부 또는 일부의 양 측면에 비대칭 돌출부를 형성하여 고정자 핑거와 이에 대응되는 이동자 핑거가 겹쳐지는 거리의 크기가 증가함에 따라 이동자와 고정자가 받는 인력이 증가되어 구동력이 커짐과 함께 구동가능범위도 커지는 비대칭 돌출부가 형성된 핑거를 구비한 마이크로액츄에이터를 제공하는 것이다.

발명의 구성

상기의 기술적 과제를 달성하기 위한 본 발명은, 정전인력을 이용하여 구동하는 빗살형 마이크로액츄에이터에 있어서,

소정의 평판도를 가지는 플레이트;

빗살형상을 이루도록 나란하게 배열되며 양 측면에 비대칭 돌출부가 형성된 다수개의 핑거를 일측에 구비하여, 상기 플레이트의 상부면에 고정설치되는 고정자;

빗살형상을 이루도록 나란하게 배열된 다수개의 핑거를 일측에 구비하여, 상기 핑거가 고정자 핑거들사이를 종방향으로 왕복운동하면서 교합 및 이탈될 수 있도록 상기 고정자에 대하여 플레이트의 상부면에 배치되는 이동자;

상기 이동자의 왕복운동시 복원력을 제공하도록 이동자의 일측면에서 횡방향으로 연장된 탄성부재;

상기 탄성부재의 양단부와 연결되어 탄성부재를 지지하는 지지부재; 및

상기 고정자 및 이동자에 전압을 인가하는 전원; 을 포함하는 비대칭 돌출부가 형성된 핑거를 구비한 마이크로액츄에이터를 제공한다.

여기서, 상기 고정자 핑거의 양 측면에 형성된 비대칭 돌출부는 그 산을 이루는 두 변의 길이가 동일하지 않은 톱니형상을 이룰 수 있다.

또한, 상기 다수개의 고정자 핑거는 정전인력의 균형을 이루도록 전부 또는 일정 배수간격의 핑거마다 비대칭 돌출부를 구비할 수 있다.

한편, 상기 이동자의 핑거도 양 측면에 비대칭 돌출부를 구비할 수 있다.

여기서, 상기 이동자 핑거에 형성된 비대칭 돌출부는 그 산을 이루는 두 변의 길이가 동일하지 않은 비대칭 톱니형상을 이룰 수 있다.

또한, 상기 다수개의 고정자 핑거는 정전인력의 균형을 이루도록 전부 또는 일정 배수간격의 핑거마다 비대칭 돌출부를 구비할 수 있다.

한편, 상기와 같은 특징을 갖는 빗살형 마이크로액츄에이터의 핑거 측면에 비대칭 돌출부를 형성하는 본 발명의 방법은,

세척된 <100>결정면을 갖는 p-type SOI(Silicon On Insulator) 웨이퍼에 PR(photo resist)층의 접착을 도와주도록 HMDS(hexamethyldisilazane)와 PR을 스핀코팅(spin coating)하는 단계;

상기 PR층을 건조시킨 후 이미지 공정으로 상기 PR층을 소정의 형상으로 패터닝하는 단계;

상기 처리된 웨이퍼를 DRIE(Deep Reactive Ion Etching) 공정을 통하여 이방성 건식식각을 하는 단계;

상기 처리된 웨이퍼로부터 현상공정에 의하여 PR층을 제거하는 단계;

불산(HF)을 이용하여 상기 처리된 웨이퍼의 노출된 실리콘산화막(SiO₂)을 습식식각 공정으로 식각하는 단계;

상기 처리된 웨이퍼를 액화된 p-DCB(paradichlorobenzene)에 담근 후 냉각하여 p-DCB를 고체화시키는 단계; 및

상기 고체화된 p-DCB를 가온하여 승화시키는 단계를 포함한다.

이하, 본 발명의 바람직한 일실시예를 첨부된 도면을 참조하여 상세하게 살펴본다.

그러나, 다음에 예시하는 본 발명의 실시예는 여러 가지 다른 형태로 변형될 수 있으며, 본 발명의 범위가 다음에 상술하는 실시예에 한정되는 것은 아니다. 본 발명의 실시예는 당 업계에서 평균적인 지식을 가진 자에게 본 발명을 보다 완전하게 설명하기 위하여 제공되는 것이다. 도면에서 막이나 영역들의 크기 또는 두께는 명세서의 명확성을 위하여 과장된 것이다.

도 3은 본 발명의 일 실시예에 따른 마이크로액츄에이터를 개략적으로 도시한 사시도이고, 도 4는 상기 마이크로액츄에이터에서 한쌍의 고정자와 이동자의 핑거만을 부분적으로 확대하여 도시한 개략도이다.

도 3과 도 4를 참조하면, 본 발명의 바람직한 일실시예에 따르는 비대칭 돌출부가 형성된 핑거를 구비한 마이크로액츄에이터는, 정전인력을 이용하여 구동하는 빗살형 마이크로액츄에이터에 있어서, 소정의 평면도를 가지는 플레이트(1); 빗살형상을 이루도록 나란하게 배열되며 양 측면에 비대칭 돌출부(32)가 형성된 다수개의 핑거(31)를 일측에 구비하여, 상기 플레이트(1)의 상부면에 고정설치되는 고정자(30); 빗살형상을 이루도록 나란하게 배열된 다수개의 핑거(34)를 일측에 구비하여, 상기 핑거(34)가 고정자(30)의 핑거(31)들 사이를 종방향으로 왕복운동하면서 교합 및 이탈될 수 있도록 상기 고정자(30)에 대향하여 플레이트(1)의 상부면에 배치되는 이동자(33); 상기 이동자(33)의 왕복운동시 복원력을 제공하도록 이동자(33)의 일측면에서 횡방향으로 연장된 탄성부재(35); 상기 탄성부재(35)의 일단부와 연결되어 탄성부재(35)를 지지하는 지지부재(36); 및 상기 고정자(30) 및 이동자(33)에 전압을 공급하는 전원(37); 을 포함한다.

고정자 핑거(30)의 양 측면에는 비대칭 돌출부의 일실시예로서 톱니형상의 비대칭 돌출부(32)가 형성되어 있고, 상기 고정자 핑거(31)들 사이로 이동자 핑거(34)가 삽입되어 있는 것을 볼 수 있다.

도 4에 개략적으로 도시한 바와 같이, 본 발명의 마이크로액츄에이터에 전원(37)을 인가하면 고정자 핑거(31)는 양극으로 되고 이동자 핑거(34)는 음극으로 되어 양 핑거들(31, 34)사이에 전위차가 형성되는데, 이렇게 형성된 전위차로 인하여 서로 당기는 힘인 정전인력이 발생하게 된다. 여기서, 비대칭 돌출부(32)가 없는 종래의 핑거(20)의 경우 도 2를 참조하면 양 측면에서의 정전인력은 도면의 y 좌표선상에서 크기가 같은 반대 방향의 힘이므로 서로 상쇄되고 이동자 핑거(21)의 첨단(25)과 고정자 핑거(20)들의 요(凹)부간에 발생하는 x 방향의 정전인력만이 구동력이 되지만, 본 발명의 경우 도 4를 참조하면 상기 구동력뿐만 아니라 측면에 다수의 비대칭 돌출부(32)가 형성된 고정자 핑거(31)와 이동자 핑거(34)의 전위차로

발생하는 정전인력(a)에 의해서도 구동력이 발생한다. 즉, 상기 이동자 핑거(34)의 양 측면에서 발생하는 정전인력(a)은 크기는 같지만 반대 방향은 아니어서 이 힘의 y 성분(b)만 서로 상쇄되고 x 성분(c)은 남아 있어서 이동자 핑거(34)에 대한 구동력이 된다. 따라서, 본 발명에 의한 마이크로액츄에이터는 종래의 직선형 핑거(20, 21)보다 구동력이 크다.

도 5를 참조하여 이를 보다 자세히 설명하면 다음과 같다. 도 5는 도 2의 종래의 직선형 핑거(20, 21)와 이와 동일한 크기를 갖는 도 3 및 도 4의 본 발명의 일 실시예에 따른 톱니형상의 비대칭 돌출부가 형성된 고정자 핑거(31)와 이동자 핑거(34)들간에 서로 겹쳐지는 거리에 따른 힘의 유한요소법에 의한 시뮬레이션 결과를 나타내는 그래프로서, 그래프상의 각 점은 양자에 있어서 핑거상의 동일한 거리마다 측정된 것임을 나타낸다.

도 5의 결과에 의해 검증되는 바와 같이, 종래의 직선형 핑거에 대한 구동력(51)의 결과를 보면 x 방향으로 작고 일정한 크기의 구동력이 얻어지는 반면, 본 발명의 일 실시예에 따라 핑거의 측면에 비대칭 톱니형상이 구현된 구조에 대한 구동력(50)의 결과를 보면 종래 직선형 핑거보다 x 방향으로의 구동력이 훨씬 크고, 겹쳐지는 거리가 증가할수록 그 힘이 증가하며, 톱니 1개의 길이에 해당하는 길이만큼 증가할 때마다 x 방향으로의 힘은 약 30%씩 증가함을 도면으로부터 확인할 수 있다.

한편, 도 6은 도 2의 종래의 직선형 핑거(20, 21)와, 도 3 및 도 4의 본 발명의 일 실시예에 따른 톱니형 고정자 핑거(30) 및 이동자 핑거(31)를 구비한 동일한 크기와 탄성복원력을 갖는 마이크로액츄에이터에 대하여, 인가전압을 0V부터 1V씩 증가시키면서 최대 구동가능변위까지의 인가전압과 측정된 이동변위의 관계를 나타내는 그래프이다.

도 6에 도시된 인가전압-변위측정의 결과로부터 알 수 있는 바와 같이, 동일한 인가전압에서 본 발명의 비대칭 톱니형 핑거를 사용한 마이크로액츄에이터의 인가전압-변위측정 결과(60)와 종래의 직선형 핑거를 사용한 마이크로액츄에이터의 변위측정 결과(61)를 비교해 보면, 본 발명의 톱니형 핑거를 사용한 마이크로액츄에이터가 종래의 직선형 핑거를 사용한 마이크로액츄에이터보다 약 4V에서부터 변위가 증가하기 시작하여 전압이 높아질수록 점점 더 크게 증가하는 것을 알 수 있다. 이는 본 발명의 톱니형 핑거가 종래의 직선형 핑거에 비해 훨씬 큰 구동력을 가지므로 동일한 변위를 얻고자 할 때 상대적으로 저전압에서도 구동이 가능함을 의미한다.

또한, 본 발명의 비대칭 톱니형 핑거(30, 31)는 직선형 핑거(20, 21)에 비하여 고정자 핑거(30)와 이동자 핑거(31)사이의 간격 g가 톱니형상에 기인하여 평균적으로 훨씬 크기 때문에 상기 수학적 2에 따라 직선형 핑거(20, 21)보다 최대 구동가능범위가 훨씬 커지게 되는데, 이를 측정한 결과가 도 6에 도시된 바와 같으며 도면을 참조하여 보면 종래의 직선형 핑거(20, 21)를 이용한 마이크로액츄에이터의 구동가능범위(63)가 $2\mu\text{m}$ 정도인 반면, 본 발명의 톱니형 고정자 핑거(30)를 이용한 마이크로액츄에이터의 구동가능범위(62)는 $10\mu\text{m}$ 정도로서 훨씬 큰 구동가능범위를 가짐을 알 수 있다.

도 7은 본 발명의 다른 실시예를 나타낸 도면으로서, 측면의 톱니형상 배치를 달리한 고정자의 핑거(70)와 이동자의 핑거(71)를 나타내는 부분확대도와, 상기 다른 실시예에 의하여 고정자 핑거(70)와 이동자 핑거(71)가 서로 겹쳐지는 길이에 따른 구동력의 변화를 유한요소법에 의한 시뮬레이션 결과로 나타낸 그래프이다.

즉, 도 7은 고정자 핑거(70)의 측면에 비대칭 톱니형상의 배치를 다르게 한 본 발명의 다른 실시예로서, 도면으로부터 알 수 있는 바와 같이, 이동자 핑거(71)의 단부가 고정자 핑거(70) 측면 중 톱니가 형성된 부분(72)에 있으면 도 3의 일 실시예인 비대칭 톱니형 핑거와 동일하게 구동력이 증가하고 톱니가 없는 직선형 부분(73)에 있으면 도 2의 직선형 핑거처럼 구동력이 일정하게 유지된다. 유한요소법에 의한 시뮬레이션의 결과인 도 7의 그래프로부터 확인할 수 있는 바와 같이, 톱니의 배치에 따라 정전인력방식 마이크로액츄에이터의 x 방향 구동력을 핑거들(70, 71)의 겹쳐지는 길이에 따라 증가시키거나 또는 일정하게 유지되도록 조절할 수 있는 효과를 가지게 된다.

한편, 도 8은 본 발명의 일 실시예에 따르는 마이크로 액츄에이터의 비대칭 톱니형상의 돌출부에 대하여 높이와 폭을 변수로 하여 X 방향의 구동력을 측정한 그래프이다. 도 8에서 알 수 있는 바와 같이, 마이크로액츄에이터의 구동력은 높이의 변화에 따라서는 큰 변동이 없으나, 동일한 높이에 대하여 폭이 클수록 그에 비례하여 구동력이 증가함을 알 수 있다. 다시 말하면, 산을 이루는 경사각도가 작을수록 구동력이 증가함을 의미한다.

돌출부의 형상을 변형된 톱니형태로 형성한 본 발명의 또 다른 실시예가 도 9에 도시되어 있는데, 이는 마이크로 액츄에이터의 한쌍의 변형톱니형 핑거(90, 91)부분을 부분확대하여 도시한 도면이다. 도 9를 참조하면 도 3에서의 톱니형상의 돌출부와는 다른 변형톱니형상의 돌출부(90, 91)가 형성되어 있음을 볼 수 있으며, 이는 톱니형 핑거와 종래의 직선형 핑거의 중간단계로서 본 발명의 일 실시예인 톱니형 핑거와 동일한 작동원리로 작동되므로 구동력의 증가와 안정성이 종래의

직선형 핑거보다 향상된다. 다만, 본 발명의 일실시예에 의한 톱니형 핑거에 비하여 그 향상의 정도는 적으나, 마이크로엑츠크에이터의 소형화로 인하여 핑거사이의 거리가 미세한 간격을 이루도록 조정될 필요가 있는 경우 등을 원인으로 할 때 변형될 수 있는 형태이다.

도 10은 종래의 직선형 핑거를 구비한 마이크로 엑츠크에이터(a)와 도 3 및 도 9의 핑거를 구비한 마이크로엑츠크에이터(b, c)의 정전기적 인력을 시뮬레이션으로 보여주는 도면으로서, 하늘색 부분이 정전기적 인력이 작용하는 것을 나타낸다. 도 10을 참조함으로써 알 수 있는 바와 같이, 도 10(a)에서는 이동자의 핑거와 고정자의 핑거간에 작용하는 정전기적 인력이 양단부에서만 작용하고 있는데 반해, 도 10(b) 및 10(c)에서는 양단부에서만 뿐만 아니라 핑거의 좌우 측면에서 발생하는 정전기적 인력도 유효하게 작용하고 있음을 보여준다. 이에 따른 구동력의 증가를 겹쳐진 거리에 따라 도시한 도면이 도 11이다.

도 11은 도 3, 도 9 및 종래(도 2)의 마이크로 엑츠크에이터의 고정자 핑거와 이동자 핑거간에 겹쳐진 거리에 따른 구동력의 변화를 나타내는 그래프로서, 제일 위의 선부터 톱니형 핑거(111), 변형톱니형 핑거(112), 직선형 핑거(113)의 순서로 도시되어 있다. 도 11을 참조하면, 도 3의 톱니형 핑거를 구비한 마이크로 엑츠크에이터가 겹쳐진 거리의 증가에 따라 X방향으로의 구동력 증가가 가장 크며(111), 도 9의 변형톱니형 핑거를 구비한 마이크로 엑츠크에이터도 겹쳐진 거리의 증가에 따라 X방향으로의 구동력도 역시 크게 증가됨을 알 수 있다(112). 이에 반해, 도 2에 도시된 종래의 직선형 핑거를 구비한 마이크로 엑츠크에이터의 경우에는 겹쳐진 거리와 무관하게 구동력의 변화가 없음을 알 수 있다(113).

위에서 설명한 바와 같은 비대칭 돌출부는 상기 실시예들 및 도면에 나타난 바와 같이 고정자 핑거에 형성할 수도 있으나, 필요에 따라 이동자 핑거에 형성할 수도 있다.

또한, 비대칭 돌출부가 형성된 핑거는 고정자 핑거 전부 또는 이동자 핑거 전부에 형성할 수도 있고, 구동력의 제어나 제작의 용이성을 감안하여 일정 배수에 해당하는 핑거에만 형성할 수도 있다. 다만, 이 경우에는 정전인력이 불균등하게 작용하여 이동자가 고정자의 측면에 붙음으로써 작동불가 상태로 되는 것을 방지하기 위하여 고정자와 이동자의 핑거간에 양측면에서의 정전인력이 평형을 이루도록 형성하여야 한다.

한편, 도 12는 본 발명의 실시예들에 의한 마이크로엑츠크에이터 핑거의 비대칭 돌출부 제조공정에 따른 단계별 플레이트의 단면도이다. 도 12를 참조하면, 도 12(a)는 세척된 <100>결정면을 갖는 p-type SOI(Silicon On Insulator) 웨이퍼를 나타내고 있다. 다음으로 상기 웨이퍼에 PR(photo resist)의 접착을 도와주는 HMDS(hexamethyldisilazane)와 PR을 스핀코팅(spin coating)하는데, 도 12(b)가 코팅된 PR층이 형성된 웨이퍼의 단면이다.

또한 도 12(c)에 도시된 바와 같이, 상기 PR층을 건조한 후에 이미지 공정으로 상기 PR을 소정의 형상으로 패터닝하고, 상기 웨이퍼를 DRIE(Deep Reactive Ion Etching) 공정을 통하여 이방성 건식식각을 하게 되는데, 이는 도 12(d)에 나타난 바와 같이 상부에 패터닝된 PR층이 있어서 패터닝 PR층이 보호층의 역할을 하게 된다. 다음으로 현상공정에 의하여 PR층을 제거하는데, 도 12(e)는 상기 PR층이 제거된 웨이퍼의 단면을 보여준다.

다음으로, 도 12(f)에서와 같이 불산(HF)을 이용하여 노출된 실리콘산화막(SiO₂)을 통상의 습식식각 공정으로 식각하고, 이어서 도 12(g)에서와 같이 액체의 모세관 효과로 인하여 이동자가 고정자에 붙어버리는 현상을 방지하기 위해서 액화된 p-DCB(paradichlorobenzene)에 담근 후 냉각하여 p-DCB를 고체화시킨다. 마지막으로, 도 12(h)에서와 같이 상기 고체화된 p-DCB를 가온하여 승화시킨다.

이와 같은 방법으로 비대칭 돌출부를 형성시킨 것을 보여주는 도면이 도 13인데, 도 13은 종래의 직선형 핑거와 상기의 공정으로 형성된 도 3 및 도 9에서 설명된 본 발명의 실시예들에 따른 핑거의 SEM이미지 사진으로서, 도 13(a)는 도 2에 도시된 종래의 직선형 핑거에 대한 것이고, 도 13(b)는 도 3에 도시된 본 발명의 일실시예에 의한 톱니형 핑거에 대한 것이며, 도 13(c)는 도 9에 도시된 본 발명의 다른 실시예에 의한 변형톱니형 핑거에 대한 것이다. 도 13를 참조하여 설명하면, 도 13(a)와 같은 일반적인 직선형 핑거와는 달리, 도 13(b)와 도 13(c)의 본 발명에 따른 고정자 핑거의 양 측면에 다수의 톱니형상 돌기가 형성되어 있음을 확인할 수 있다.

도 14는 도 3과 도 9에서 설명된 본 발명의 실시예들에 따른 마이크로 엑츠크에이터(141, 142)와 도 2에 도시된 종래의 마이크로 엑츠크에이터(143)에 대하여 인가된 전압에 따른 이동변위를 측정한 그래프이다. 또한, 도 15는 도 14와 마찬가지로 도 3과 도 9에서 설명된 본 발명의 실시예들에 따른 마이크로 엑츠크에이터(151, 152)와 도 2에 도시된 종래의 마이크로 엑츠크에이터(153)에 대하여 인가된 전압에 따른 이동변위를 측정한 그래프로서, 도 14와의 차이는 인가되는 구동전압의 범위를 더 크게 하여 측정하였다는 점이다.

도 14와 도 15를 참조하면, 도 3과 도9에서 설명된 본 발명의 실시예들에 따른 마이크로액츄에이터의 구동변위(141, 142, 151, 152)가 종래의 핑거에 따른 마이크로액츄에이터의 구동변위(143, 153)보다 동일한 인가전압에서 더 큼을 알 수 있고, 또한 일정 전압 이상, 즉 약 6V 이상에서는 그 증가가 현저함을 알 수 있다. 그러나, 그 이상의 인가전압에서는 이동자와 고정자의 핑거가 서로 접촉하게 됨에 따라 손상되어 측정할 수 없는 상태가 된다. 즉, 본 발명에 따른 핑거를 구비한 마이크로액츄에이터가 종래의 액츄에이터보다 구동가능변위 면에서도 뛰어남을 알 수 있다.

발명의 효과

본 발명의 비대칭 돌출부가 형성된 핑거를 구비한 마이크로액츄에이터에 의하면, 고정자 핑거 또는 이동자 핑거의 양 측면에 비대칭 돌출부를 형성함으로써 마이크로액츄에이터의 구동력을 증가시키고, 구동가능범위를 증가됨으로써 이동변위가 커지며, 필요에 따라 핑거들의 교합 거리에 따라 구동력 변화의 제어가 용이해지므로, 가속도계, 마이크로 미러, 마이크로 집게 등에서 종래보다 향상된 성능을 제공한다.

도면의 간단한 설명

도 1은 빗살형상으로 이루어진 종래의 정전인력방식 마이크로액츄에이터를 도시한 구성도이다.

도 2는 도 1의 고정자 및 이동자에 구비된 한 쌍의 핑거들만을 부분확대하여 개략적으로 나타낸 상세도이다.

도 3은 본 발명의 일 실시예에 따른 마이크로액츄에이터를 개략적으로 도시한 사시도이다.

도 4는 본 발명의 일 실시예에 따른 마이크로액츄에이터에서 한쌍의 고정자와 이동자 핑거만을 부분적으로 확대하여 도시한 개략도이다.

도 5는 종래의 직선형 핑거와, 이와 동일한 크기를 갖는 본 발명의 일 실시예에 따른 톱니형상의 비대칭 돌출부가 형성된 핑거에 있어서, 서로 겹쳐지는 거리에 따른 힘의 유한요소법에 의한 시뮬레이션 결과를 나타내는 그래프이다.

도 6은 종래의 직선형 핑거와, 본 발명의 일 실시예에 따른 톱니형상의 비대칭 돌출부가 형성된 핑거에 있어서, 동일한 크기와 탄성복원력을 갖는 마이크로액츄에이터에 대하여 최대 구동가능변위까지의 인가전압과 측정된 이동변위의 관계를 나타내는 그래프이다.

도 7은 본 발명의 다른 실시예에 따라 측면의 톱니형상 배치를 달리한 핑거를 나타내는 부분확대도와, 상기 핑거가 서로 겹쳐지는 길이에 따른 구동력의 변화를 유한요소법에 의한 시뮬레이션 결과로 나타낸 그래프이다.

도 8은 본 발명의 일 실시예에 따르는 마이크로 액츄에이터의 비대칭 톱니형상의 돌출부에 대하여 높이와 폭을 변수로 하여 X 방향의 구동력을 측정한 그래프.

도 9는 돌출부의 형상을 변형된 톱니형태로 형성한 본 발명의 또 다른 실시예에 의한 마이크로 액츄에이터에 있어서 한 쌍의 고정자와 이동자 핑거만을 부분적으로 확대하여 도시한 개략도이다.

도 10은 종래의 직선형 핑거를 구비한 마이크로 액츄에이터(a)와 본 발명의 실시예들에 의한 핑거를 구비한 마이크로액츄에이터(b, c)의 정전기적 인력을 시뮬레이션으로 보여주는 도면이다.

도 11은 종래의 직선형 핑거를 구비한 마이크로 액츄에이터와 본 발명의 실시예들에 의한 핑거를 구비한 마이크로액츄에이터의 고정자 핑거와 이동자 핑거간에 겹쳐진 거리에 따른 구동력의 변화를 나타내는 그래프이다.

도 12는 본 발명의 실시예들에 의한 마이크로액츄에이터 핑거의 비대칭 돌출부의 제조공정에 따른 단계별 플레이트에 대한 단면도이다.

도 13은 종래의 직선형 핑거와 본 발명에 의한 공정으로 형성된 본 발명의 실시예들에 대한 핑거의 SEM 이미지사진이다.

도 14는 본 발명의 실시예들에 따른 마이크로 액츄에이터와 종래의 마이크로 액츄에이터에 대하여 인가된 전압에 따른 이동변위를 측정한 그래프이다.

도 15는 본 발명의 실시예들에 따른 마이크로 액츄에이터와 종래의 마이크로 액츄에이터에 대하여 더 넓은 범위로 인가된 전압에 따른 이동변위를 측정한 그래프이다.

<도면의 주요부분에 대한 부호의 설명>

10, 21, 31 : 고정자 핑거 11, 30 : 고정자

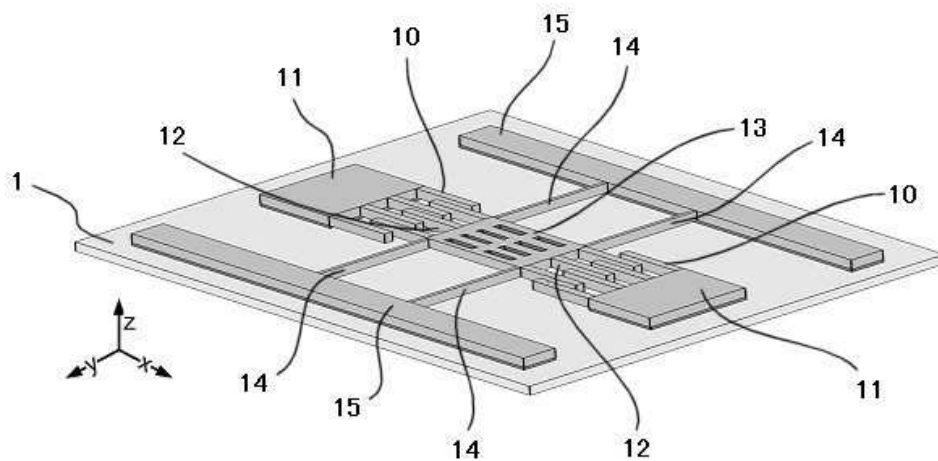
12, 20, 34 : 이동자 핑거 13, 33 : 이동자

14, 35 : 탄성부재 15, 36 : 지지부재

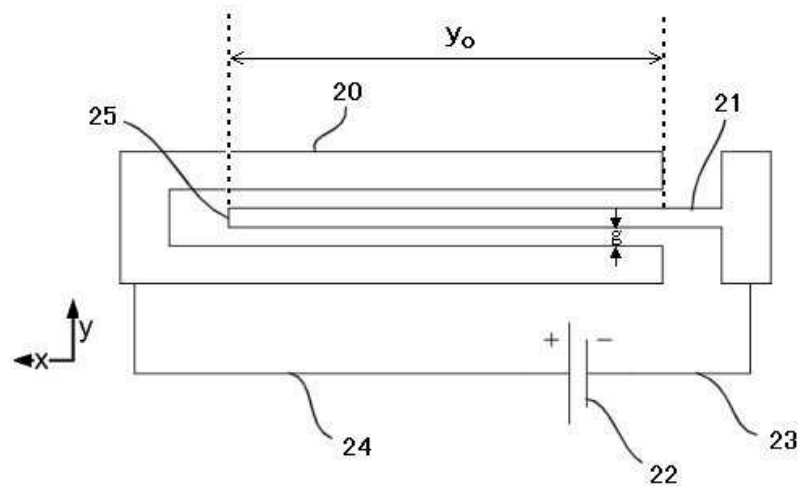
22, 37 전원 32 : 비대칭 돌출부

도면

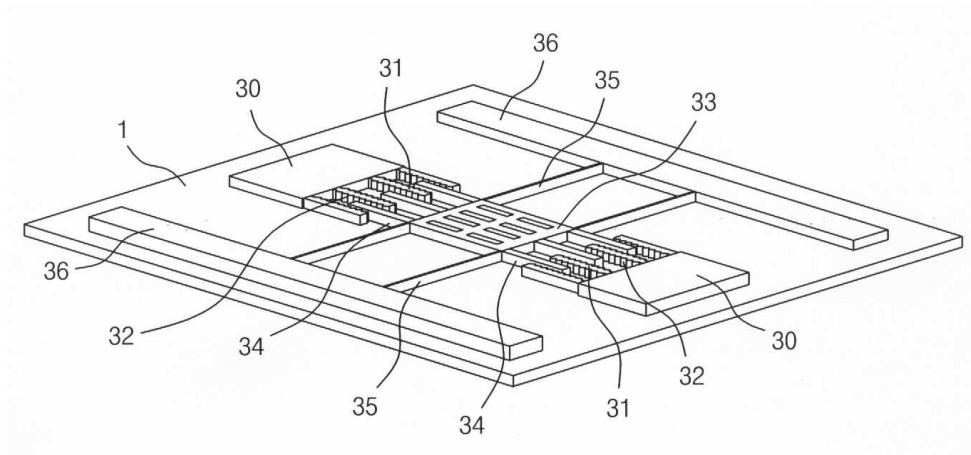
도면1



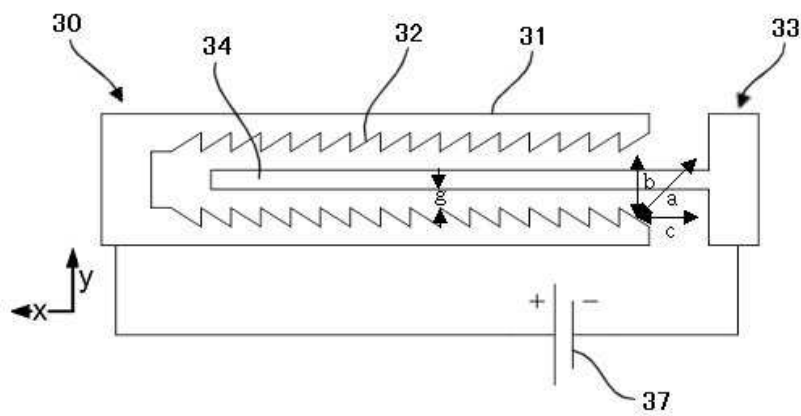
도면2



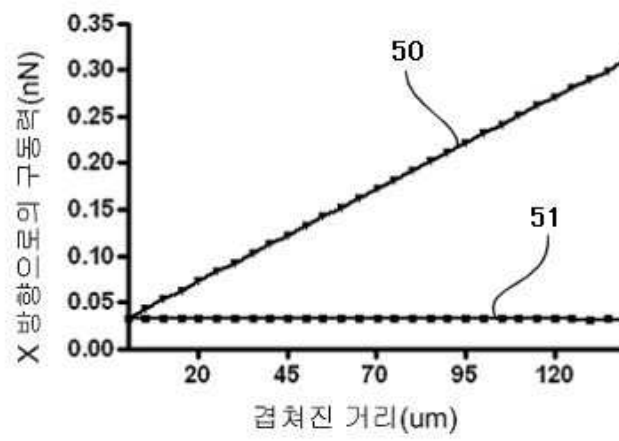
도면3



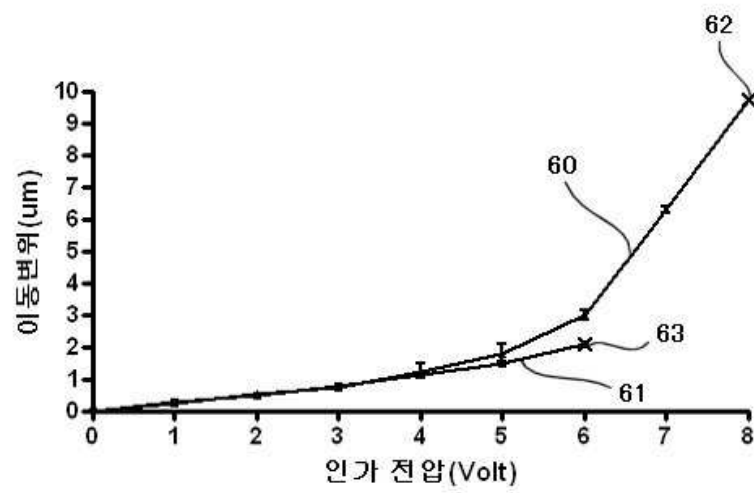
도면4



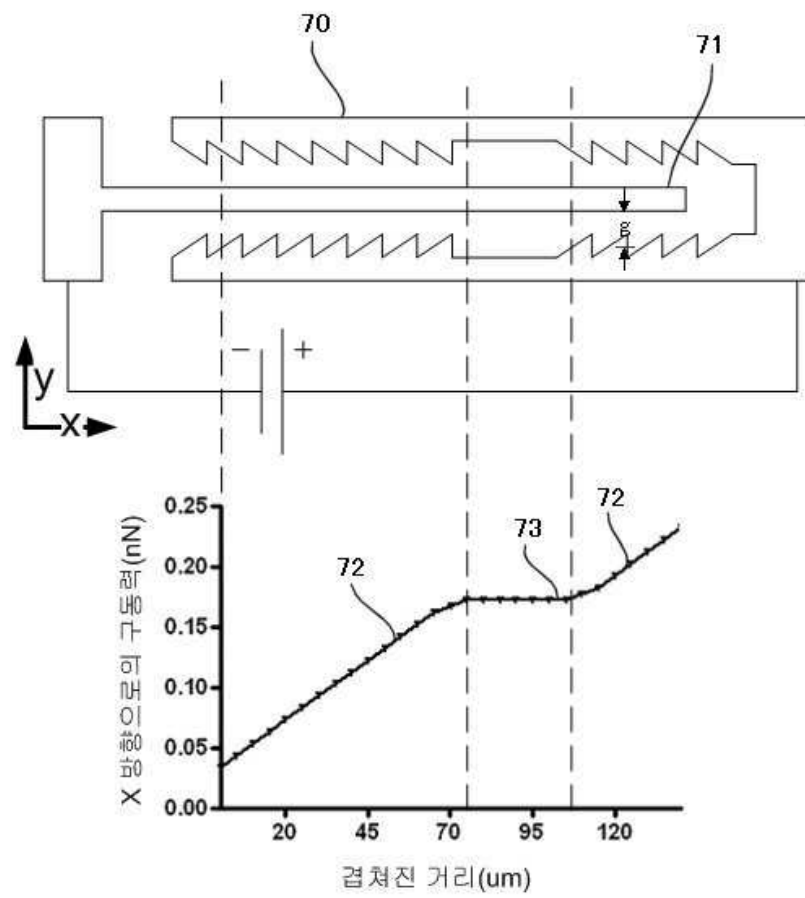
도면5



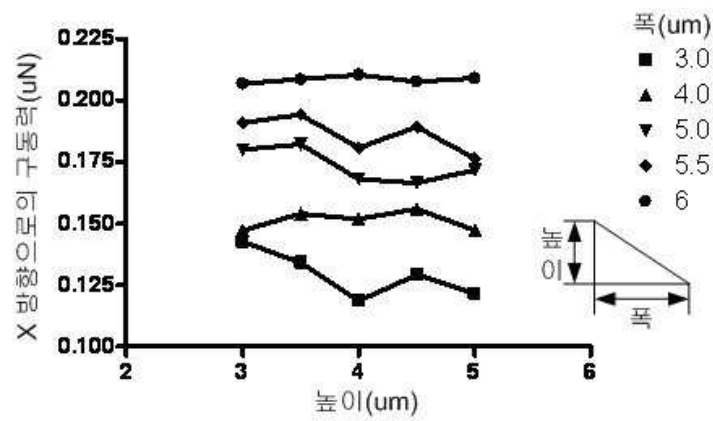
도면6



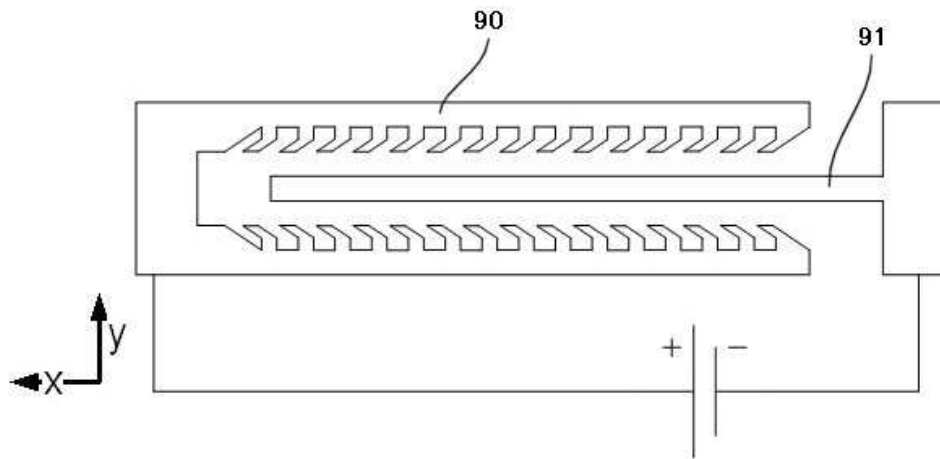
도면7



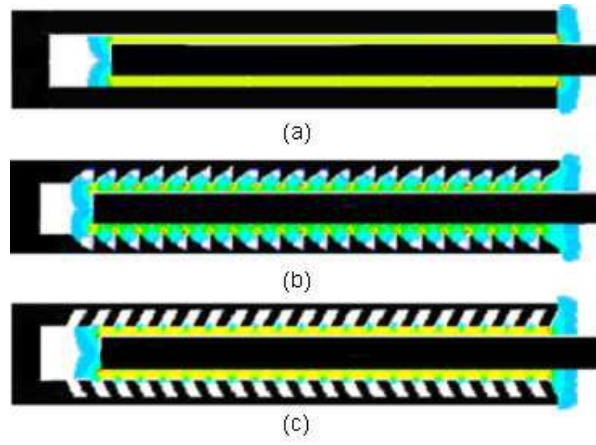
도면8



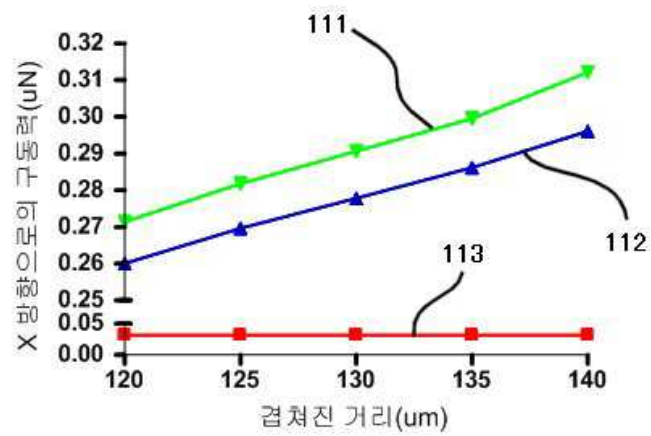
도면9



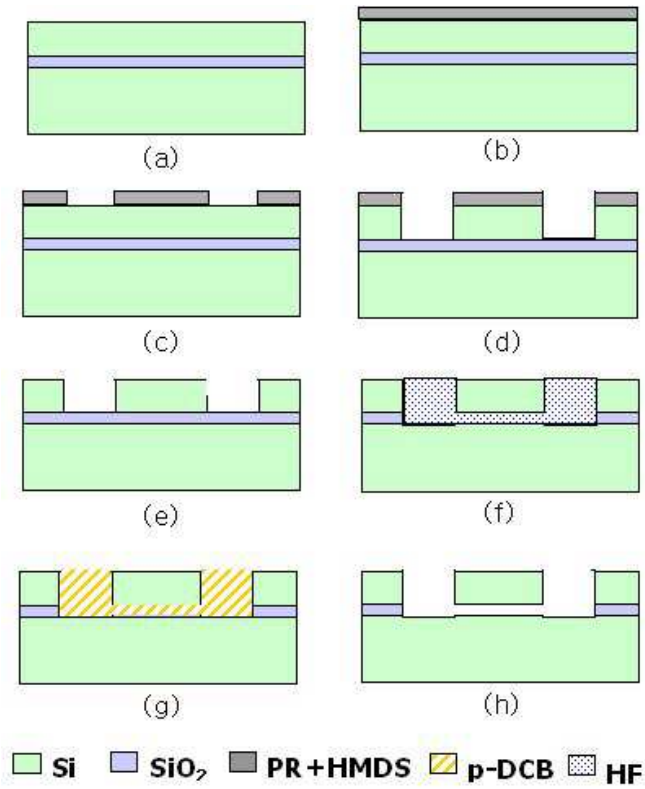
도면10



도면11

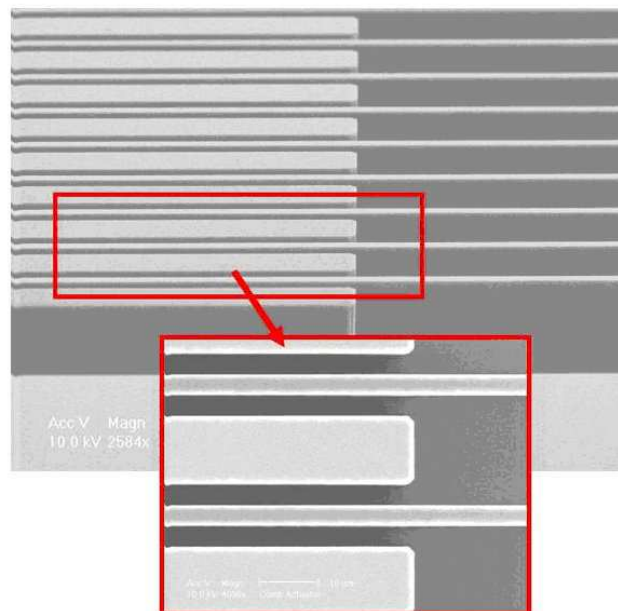


도면12



도면13a

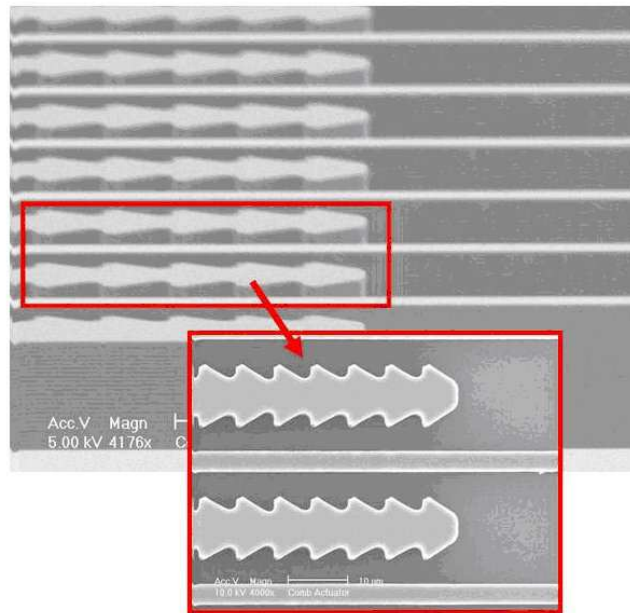
(a)



직선형 빗살의 SEM 사진

도면13b

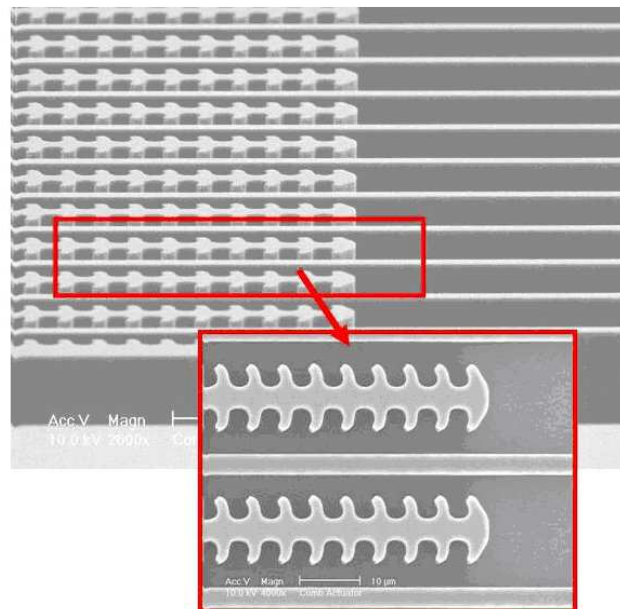
(b)



톱니형 빗살의 SEM 사진

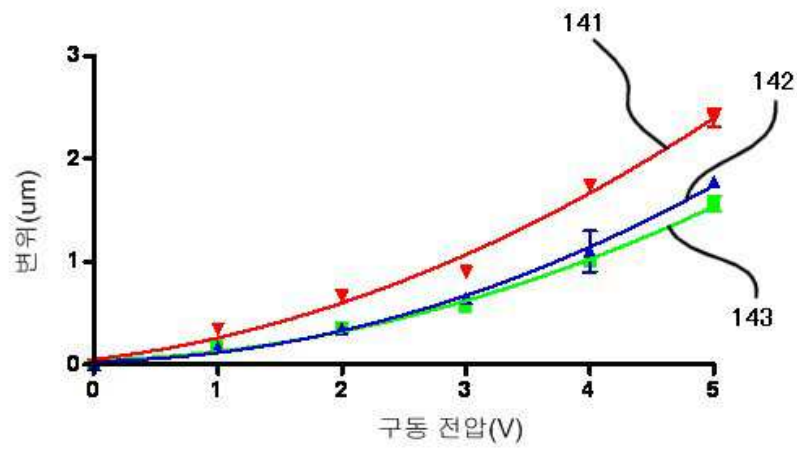
도면13c

(c)



톱니형 빗살의 변형 SEM 사진

도면14



도면15

