

nano-i.com

기술 개발 - MEMS 가속도 센서 개발

4~5분

정전 구동 MEMS 가속도 센서 (MEMS Electrostatic actuating acceleration sensor) 설계에 대한 내용입니다..

멤스 초창기부터 가속도 센서 개발에 뛰어난 선두 주자들이 현재 전 세계 MEMS 시장을 주도하고 있습니다. 에어백 센서, 속도계, 기울기 센서..... 등 그 응용 분야는 상당히 넓은 범위에 걸쳐 있습니다.

1. 먼저, 정전 구동에 대하여 간단히 설명하겠습니다.

정전 구동은 서로 다른 전하가 서로 끌어 당기는 단순한 개념을 기반으로 합니다. 즉, 그림 1 과 같이 서로 다른 전하가 두 개의 판에 대전되어 있으면 그 사이에 정전기력이 존재합니다.

그림과 같이 두 평행판 (**parallel-plate**) 의 정전용량은

$$C_0 = \epsilon_0 \epsilon_r \frac{A}{d}$$

가 됩니다. 여기서, **A** 는 전극의 면적이고, **d** 는 전극간 거리, $\epsilon_r \epsilon_0$ 는 매질의 유전률입니다.

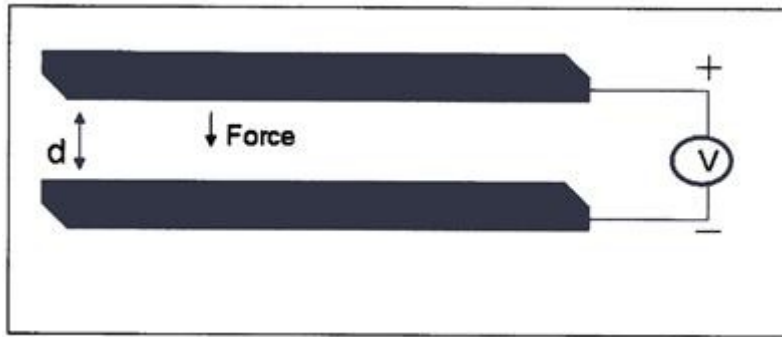


그림1. 평행판 정전구동 원리

위 시스템에 저장된 에너지는

$$W = \frac{1}{2} CV^2 = \frac{\epsilon_0 \epsilon_r AV^2}{2d}$$

가 되고,

정전기력은 이격 거리 **d** 에 대해 위 **W** 를 미분하여 얻어집니다.

$$F = \frac{\epsilon_0 \epsilon_r AV^2}{2d}$$

$$2d^2$$

위 방정식은 힘이 전압과 거리의 비선형 함수임을 보여주고 있습니다. 거리를 변경하여 평행판 간의 정전기력을 제어 할 수 있습니다.

본 제품 설계에 사용된 액추에이터 설계 유형을 콤 드라이브 액추에이터라 (**Comb drive actuator**) 고하며, 이는 그림 2 에 표시되어 있습니다. 기하학적으로 핑거 (**finger**)의 두께가 길이와 너비에 비해 작습니다.

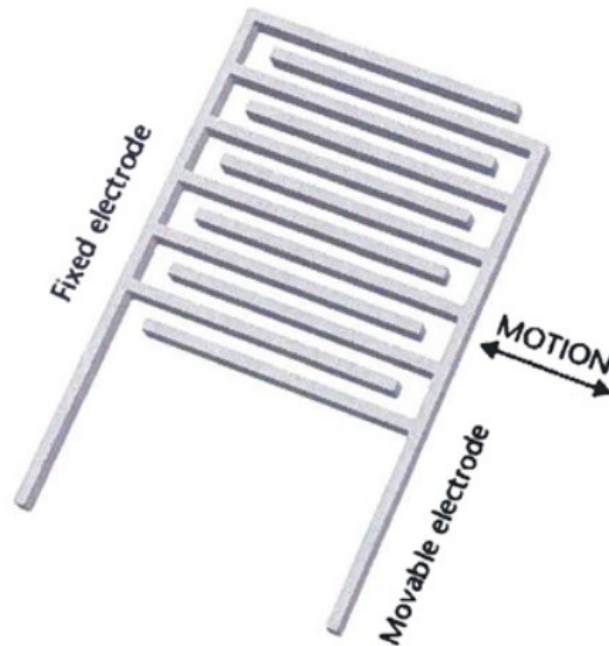
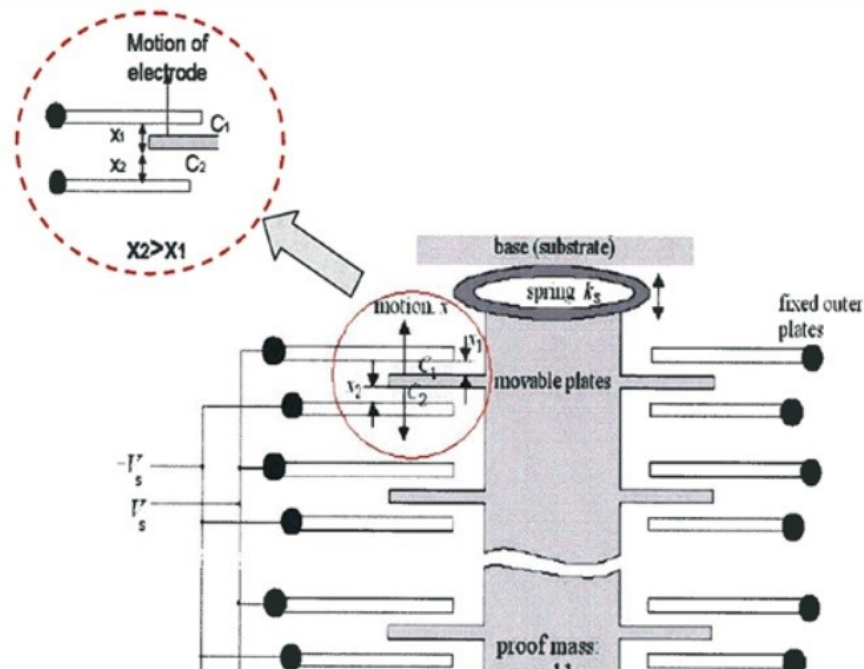


그림 2. 정전 콤 구동 액추에이터

위 그림과 같은 간단한 콦 구조에서 볼 수 있듯이 정전기 인력은 주로 평행판 필드가 아닌 프링징 필드 (**fringing field**) 로 인하여 발생합니다. 이로 인하여 유발된 콦의 운동은 횡방향이며 중첩 영역이 변경됨으로 인하여 정전용량이 변하고 간격은 고정되어 있으므로, 변위는 전압의 제공에 따라 달라지게 됩니다. 고정 전극 (**Fixed electrode**) 은 기판에 견고하게 지지되며, 이동 전극 (**Moving electrode**) 은 활성 핑거에서 떨어진 적절한 지점에 앵커링되어 고정됩니다. 핑거와 기판 사이에서 추가된 기생 정전용량 (**parasitic capacitance**) 과 프링징 필드의 비대칭은 평면 외 힘 (**out-of-plane forces**) 을 유발할 수 있으며, 이는 보다 정교한 설계로 최소화 할 수 있습니다.



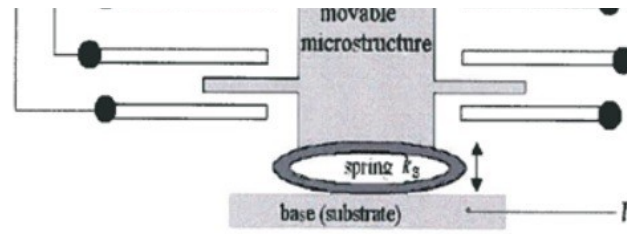


그림 3. 차동 용량성 가속도계 (**Differential Capacitive Accelerometer**)

일반적으로 **MEMS** 가속도계는 그림3과 같이 플레이트들을 가지는 이동식 검증 질량으로 구성됩니다. 그것은 기계식 서스펜션 시스템을 통하여 기준 프레임 (**reference frame**)에 부착되어 있습니다. 이동판과 바깥 부분의 고정판은 커패시터를 나타냅니다. 검증 질량의 편향은 정전용량 차이를 사용하여 측정됩니다.

이동판 (**movable plates**)과 두 개의 고정된 외부판 사이의 자유 공간 (공기) 정전용량 **C1** 및 **C2** 는 해당되는 전극간 거리 **x1** 및 **x2**의 함수입니다. 가속도가 **0** 이면 정전용량 **C1** 및 **C2** 는 **x1 = x2** 이므로 그 값은 서로 같습니다.

검증 질량의 변위 **x**는 가속도로 인해 발생합니다. **x** 가 **0** 이 아니면 전극 양쪽의 정전용량은 아래와 같이 표현됩니다.

$$C_1 = \epsilon_0 \epsilon_r \frac{A}{d-x} = C_0 \frac{d}{d-x}$$

$$C_2 = \epsilon_0 \epsilon_r \frac{A}{d+x} = C_0 \frac{d}{d+x}$$

$$, \quad \mathbf{X1 = d-x, X2 = d+x}$$

따라서 차동 정전용량 ((**differential capacitance**) 은

$$C_1 - C_2 = \Delta C = 2(\epsilon_0 \epsilon_r A) \left(\frac{x}{d^2 - x^2} \right)$$

$$\Delta C = 2C_0 \left(\frac{xd}{d^2 - x^2} \right)$$

가 됩니다.

변위 x 가 거리 d 에 비하여 매우 작으므로,

$d^2 \gg x^2$ 가 되므로 차동 정전용량은 아래와 같이 됩니다.

$$\Delta C \approx 2C_0 \left(\frac{x}{d} \right)$$

즉, 가속도 변화로 인한 변위값은 정전용량 차이에 비례한다는 결론을 내릴 수 있습니다.

시스템에 인가된 전압을 V_s 라고 하면,

$$V_s = V_1 = V_2 = \dots$$

$$V_s = V_{DC} + V_{ac} \sin \omega t$$

임피던스 Z 는 다음과 같은 방정식으로 주어지므로,

$$Z = -j \left(\frac{1}{\omega C} \right)$$

검증 질량에 출력되는 전압은

$$V_o = V_s - 2V_s \left(\frac{-\frac{j}{\omega C_1}}{-\frac{j}{\omega C_1} - \frac{j}{\omega C_2}} \right) = V_s - 2V_s \left(\frac{C_2}{C_2 + C_1} \right)$$

$$V_o = V_s \left(\frac{C_2 - C_1}{C_2 + C_1} \right) = \frac{x}{d} V_s$$

여기서,

$$C_2 + C_1 = 2(\epsilon_0 \epsilon_r A) \left(\frac{d}{d^2 - x^2} \right) \approx 2C_o$$

기본적으로 가속도는 다음과 같이 출력 전압에 비례하는 공식이 산출됩니다.

$$a = \frac{kd}{mV_s} V_o$$

, m : 질량, k : 스프링 상수

2. 정전용량 가속도계 설계

정전 용량 형 가속도계에서 가속으로 인한 검증 질량의 변위는 비례 정전 용량 변화 (**proportional capacitance change**) 로 변환되며, 나중에 전압 신호로 변환되고 증폭됩니다. 검증 질량에 부착된 이동 전극판과 기판에 부착된 고정 전극판이 있습니다. 정전 용량성 가속도계의 설계는 가속도를 정량화하는데 있어서 전통적으로 사용되는 차동 감지 방식으로 이동 전극판의 움직임에 따른 정전 용량의 증가 및 감소 값과 비례하는 가속도 값을 갖도록 수행됩니다. 차동 감지 방식은 감도를 **2 배** 증가시킵니다.

정전 용량성 가속도계를 제작하기 위해 표면 및 벌크 마이크로 머시닝의 두 가지 기본 프로세스가 있습니다.

표면 미세 가공에서 가속도계 구조는 기판 위에 제작됩니다. 이는 **CMOS (Complementary Metal-Oxide-Semiconductor)** 제조와 유사한 다양한 필름 증착 기술을 사용하여 수행됩니다. 따라서 이 방법의 주요 장점은 우수한 **CMOS** 호환성에 있습니다. 이 프로세스에서 첫 번째 단계는 기판에 희생 층을 증착하고 패턴 화 한 다음 상부에 구

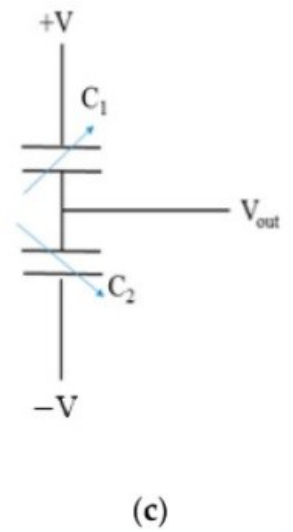
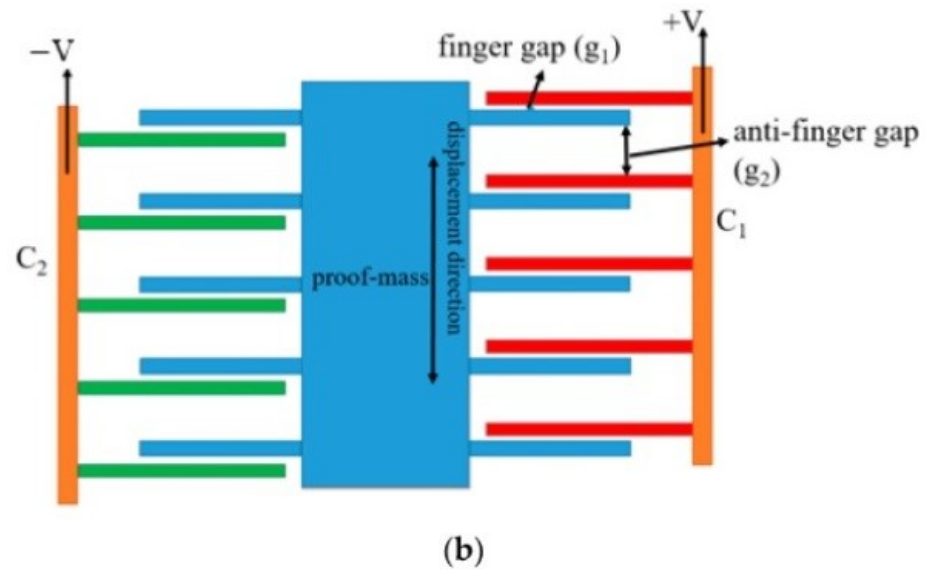
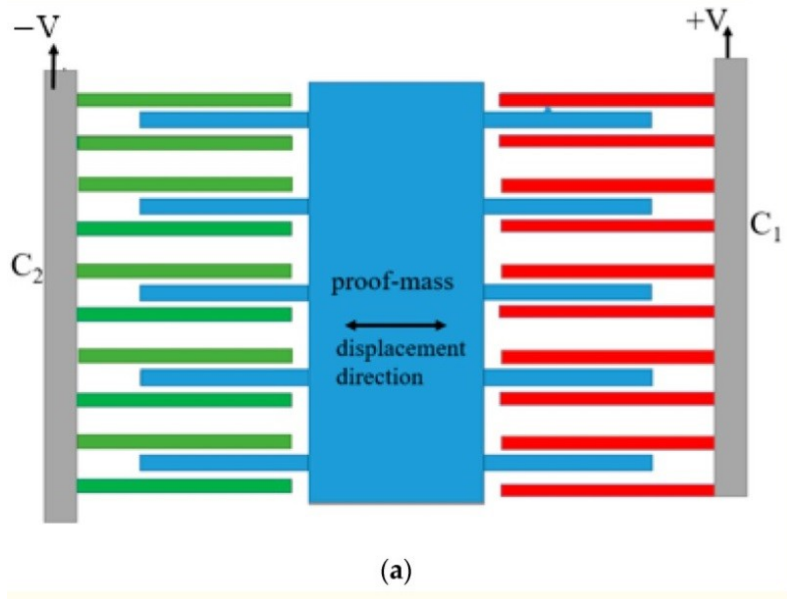
조 층을 증착하고 패턴 화하는 것입니다. 이후 희생 층이 에칭되어 현탁된 기계 구조가 해제됩니다. 표면 미세 가공을 사용하여 제조된 장치는 얇은 구조층 두께와 높은 내부 응력으로 인해 높은 소음이 발생합니다.

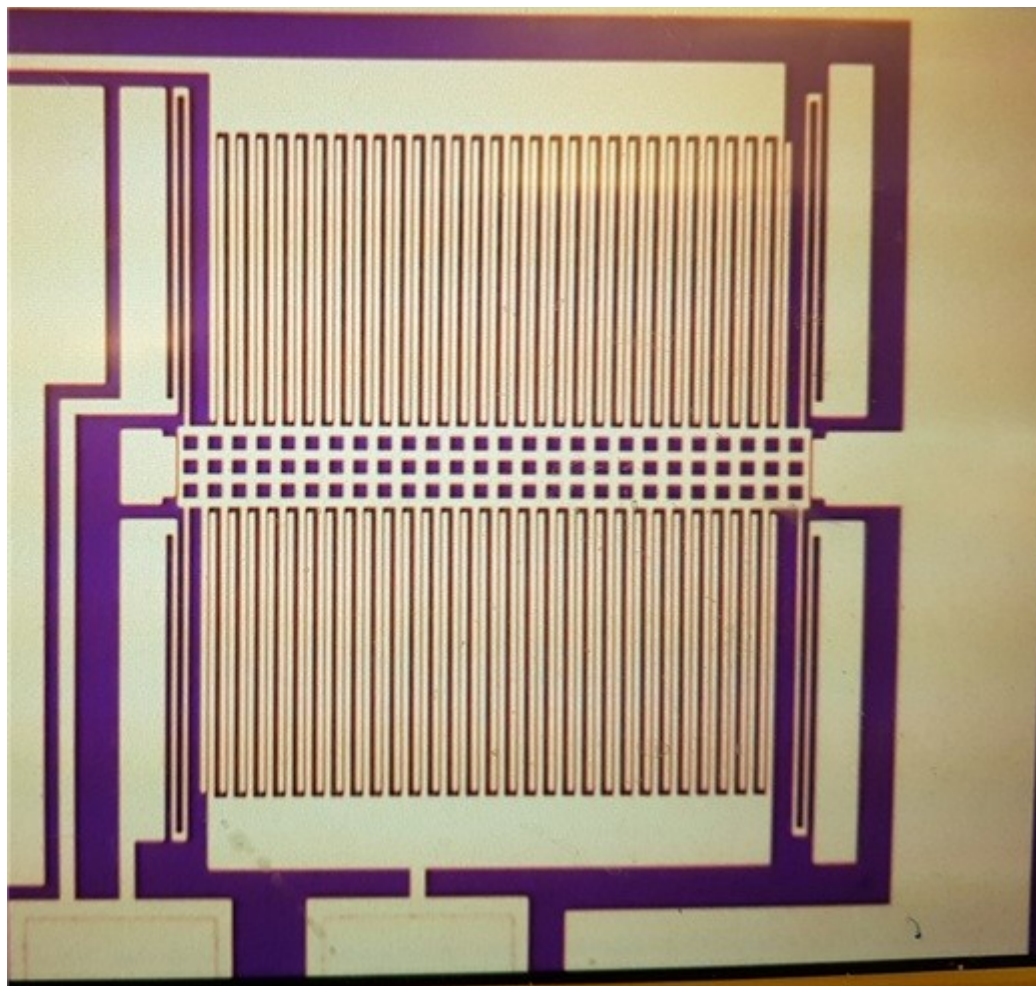
대조적으로, 벌크 마이크로 머시닝은 벌크 실리콘 기판의 에칭을 사용하여 웨이퍼 내에 매달린 구조를 생성합니다. 에칭은 습식 (등방성 / 이방성) 또는 건식 에칭 기술을 사용하여 수행 할 수 있습니다. 등방성 에칭에서 에칭 속도는 모든 방향에서 동일하지만 이방성 에칭에서는 결정 방향에 따라 속도가 다릅니다. 높은 종횡비 구조의 경우 반응성 이온 에칭 (RIE) 또는 깊은 반응성 이온 에칭 (DRIE) 기술이 사용됩니다. 벌크 마이크로 머시닝 공정을 사용하여 구현된 구조는 두꺼운 구조와 우수한 안정성으로 인해 소음이 적다는 장점이 있지만 비용이 많이 들고 복잡한 제조라는 단점이 있습니다.

이 두 가지 기본 제조 프로세스 외에도 다양한 단점을 극복하기 위한 새로운 제조 기술이 있습니다. 일부는 표면 및 벌크 미세 가공의 장점을 모두 활용하는 반면 다른 일부는 레지스트 몰드를 통한 전기 도금과 같은 표면 미세 가공 방법을 사용합니다. 전기 도금은 구조의 두께를 증가시켜 표면 미세 가공의 단점을 완화합니다. 또한 단일 칩에서 3 축 가속도계, 3 축 자이로 스코프 및 3 축 자력계를 모놀리식으로 제조하기도 합니다.

- 평면 용량성 가속도계 (In-Plane Capacitive Accelerometers)

평면성 가속도 (in-plane acceleration, X 축, Y 축 또는 둘 다)는 일반적으로 검증질량에 부착된 콤 전극들 (comb electrodes) 과 기판에 고정된 comb 전극을 사용하여 감지됩니다. 정전용량은 콤(comb, 빗 모양) 사이의 겹침 영역에 정비례하고 핑거 (finger, 손가락 모양) 간격에 반비례하기 때문에 가속도계는 두 가지 방법, 즉 첫 번째로는 콤 사이의 겹침 영역의 변화 (영역 변경, 아래 그림의 a), 두 번째로는 이동 전극과와 고정 전극 콤 (comb) 사이의 간격 변경 (Gap Closing) 방식 (아래그림의 b) 이 사용됩니다. 첫 번째 방식에서 정전용량은 변위에 따라 선형적으로 변화합니다. 그러나 매우 작은 정전용량 변화를 가져옵니다. 이 방법은 민감도가 낮기 때문에 자주 사용되지 않습니다.





위는 모의실험 (모의실험 내용 생략), 마스크 설계 및 제작, 박막 가공 단계를 거친 제품입니다.

당사는 **MEMS** 가속도 센서 설계 및 제작을 위하여 모의실험, 마스크 설계 및 제작, 박막 가공 단계에서 개발 또는 컨설팅 서비스를 진행하고 있습니다.

연락처 : nano@nano-i.com, 010-4293-9577