



(19) 대한민국특허청(KR)
(12) 공개특허공보(A)

(11) 공개번호 10-2020-0027831
(43) 공개일자 2020년03월13일

(51) 국제특허분류(Int. Cl.)
H01L 41/09 (2006.01) H01L 41/047 (2006.01)
H01L 41/22 (2006.01)
(52) CPC특허분류
H01L 41/0926 (2013.01)
H01L 41/047 (2013.01)
(21) 출원번호 10-2018-0106134
(22) 출원일자 2018년09월05일
심사청구일자 2018년09월05일

(71) 출원인
서강대학교산학협력단
서울특별시 마포구 백범로 35 (신수동, 서강대학교)
(72) 발명자
최우영
서울특별시 마포구 신수로 15, 102동 403호(현석동, 강변힐스테이트)
(74) 대리인
정부연

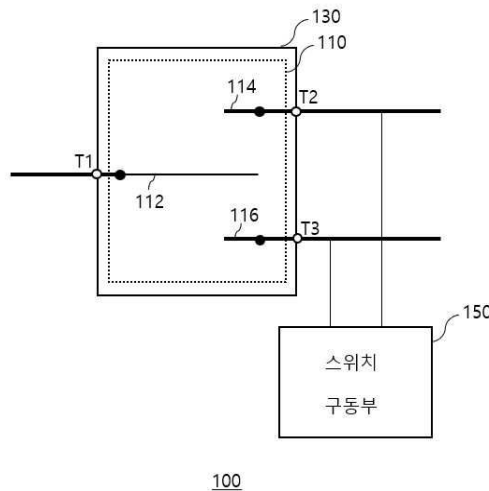
전체 청구항 수 : 총 13 항

(54) 발명의 명칭 전기기계적 스위칭 소자의 구동 방법

(57) 요약

본 발명은 도전성 빔, 도전성 빔의 일측 방향으로 이격된 주 고정전극 및 도전성 빔의 타측 방향으로 이격된 보조 고정전극을 포함하는 전기기계적 스위칭 소자의 구동 방법에 관한 것으로, 보조 고정전극에 풀백 전압을 인가하여 도전성 빔을 초기 위치로부터 보조 고정전극의 방향으로 미리 설정된 풀백 위치까지 절곡시키는 단계, 및 주 고정전극에 풀인 전압을 인가하여 도전성 빔을 풀백 위치로부터 주 고정전극의 방향으로 절곡시키고, 도전성 빔과 주 고정전극 간에 도전 경로를 형성하는 단계를 포함한다.

대표도 - 도1



(52) CPC특허분류

H01L 41/22 (2013.01)

이 발명을 지원한 국가연구개발사업

과제고유번호 1711073002

부처명 과학기술정보통신부

연구관리전문기관 한국연구재단

연구사업명 중견연구자지원사업

연구과제명 초저전력 전자 소자를 이용한 삼차원 이중집적 재구성가능 시스템의 개발

기 여 율 75/100

주관기관 서강대학교

연구기간 2018.03.01 ~ 2019.02.28

이 발명을 지원한 국가연구개발사업

과제고유번호 2016M3A7B4910575

부처명 과학기술정보통신부

연구관리전문기관 한국연구재단

연구사업명 나노·소재기술개발사업

연구과제명 재구성로직 소자 기술개발

기 여 율 25/100

주관기관 성균관대학교(자연과학캠퍼스)

연구기간 2016.08.01 ~ 2021.07.31

명세서

청구범위

청구항 1

도전성 빔, 상기 도전성 빔의 일측 방향으로 이격된 주 고정전극 및 상기 도전성 빔의 타측 방향으로 이격된 보조 고정전극을 포함하는 전기기계적 스위칭 소자의 구동 방법에 있어서,

상기 보조 고정전극에 풀백 전압을 인가하여 상기 도전성 빔을 초기 위치로부터 상기 보조 고정전극의 방향으로 미리 설정된 풀백 위치까지 절곡시키는 단계; 및

상기 주 고정전극에 풀인 전압을 인가하여 상기 도전성 빔을 상기 풀백 위치로부터 상기 주 고정전극의 방향으로 절곡시키고, 상기 도전성 빔과 상기 주 고정전극 간에 도전 경로를 형성하는 단계를 포함하는 전기기계적 스위칭 소자의 구동 방법.

청구항 2

제1항에 있어서, 상기 도전성 빔의 상기 초기 위치로부터 상기 풀백 위치까지의 거리는 상기 도전성 빔과 상기 보조 고정전극 간의 이격 거리보다 짧은 것을 특징으로 하는 전기기계적 스위칭 소자의 구동 방법.

청구항 3

제1항에 있어서, 상기 풀백 위치는

상기 풀백 전압이 상기 풀인 전압과 동일할 때 상기 도전성 빔이 상기 초기 위치로부터 이동한 거리인 것을 특징으로 하는 전기기계적 스위칭 소자의 구동 방법.

청구항 4

제1항에 있어서, 상기 풀인 전압은

아래의 [수학식]에 의해 연산되는 것을 특징으로 하는 전기기계적 스위칭 소자의 구동 방법.

[수학식]

$$V_{p,sling} = \sqrt{\frac{k(t_{gap} + x_r)^2(t_{gap} - x_r)}{4\epsilon_0 L_{beam} W_{beam}}}$$

(여기에서, 상기 k 는 빔 스프링 상수, 상기 ϵ_0 는 진공 유전율, 상기 t_{gap} 은 상기 도전성 빔과 상기 주 고정전극 간의 이격 거리, 상기 L_{beam} 은 상기 도전성 빔의 길이, 상기 W_{beam} 은 상기 도전성 빔의 너비, 상기 x_r 은 상기 풀백 위치)

청구항 5

제1항에 있어서,

상기 도전성 빔을 상기 풀백 위치만큼 절곡시키는 단계 이후에 상기 풀백 전압을 차단시키는 단계를 더 포함하는 것을 특징으로 하는 전기기계적 스위칭 소자의 구동 방법.

청구항 6

제1항에 있어서,

상기 주 고정전극은

상기 풀인 전압이 인가되는 제어 고정전극 및 상기 도전성 빔과 접촉되어 상기 도전 경로를 형성하고, 상기 제어 고정전극과 이격되어 배치된 출력 고정전극을 포함하는 것을 특징으로 하는 전기기계적 스위칭 소자의 구동 방법.

청구항 7

제1항에 있어서,

상기 보조 고정전극은

상기 풀백 전압이 인가되는 제어 고정전극 및 상기 도전성 빔과 접촉되어 상기 도전 경로를 형성하고, 상기 제어 고정전극과 이격된 출력 고정전극을 포함하는 것을 특징으로 하는 전기기계적 스위칭 소자의 구동 방법.

청구항 8

도전성 빔, 상기 도전성 빔의 일측 방향으로 이격된 제1 고정전극 및 상기 도전성 빔의 타측 방향으로 상기 제1 고정전극과 대칭하여 배치된 제2 고정전극을 포함하고, 상기 도전성 빔과 상기 제1 및 제2 고정전극 중 어느 하나 간에 도전 경로를 형성하여 스위칭하는 전기기계적 스위칭 소자의 구동 방법에 있어서,

상기 제1 및 제2 고정전극 중 상기 스위칭 방향과 반대 방향에 위치한 고정전극에 풀백 전압을 인가하여 상기 도전성 빔을 초기 위치로부터 상기 스위칭 방향과 반대 방향으로 미리 설정된 풀백 위치만큼 절곡시키는 단계; 및

상기 제1 및 제2 고정전극 중 상기 스위칭 방향에 위치한 고정전극에 풀인 전압을 인가하여 상기 도전성 빔을 상기 풀백 위치로부터 상기 스위칭 방향으로 절곡시키고, 상기 도전 경로를 형성하는 단계를 포함하는 전기기계적 스위칭 소자의 구동 방법.

청구항 9

제8항에 있어서, 상기 도전성 빔의 상기 초기 위치로부터 상기 풀백 위치까지의 거리는 상기 도전성 빔과 상기 제2 고정전극 간의 이격 거리보다 짧은 것을 특징으로 하는 전기기계적 스위칭 소자의 구동 방법.

청구항 10

제9항에 있어서, 상기 풀백 위치는

상기 풀백 전압이 상기 풀인 전압과 동일할 때 상기 도전성 빔이 상기 초기 위치로부터 이동한 거리인 것을 특징으로 하는 전기기계적 스위칭 소자의 구동 방법.

청구항 11

제8항에 있어서, 상기 풀인 전압은

아래의 [수학식]에 의해 연산되는 것을 특징으로 하는 전기기계적 스위칭 소자의 구동 방법.

[수학식]

$$V_{p.sling} = \sqrt{\frac{k(t_{gap} + x_r)^2(t_{gap} - x_r)}{4\epsilon_0 L_{beam} W_{beam}}}$$

(여기에서, 상기 k는 빔 스프링 상수, 상기 ϵ_0 는 진공 유전율, 상기 t_{gap} 은 상기 도전성 빔과 상기 제1 고정전극 간의 이격 거리, 상기 L_{beam} 은 상기 도전성 빔의 길이, 상기 W_{beam} 은 상기 도전성 빔의 너비, 상기 x_r 은 상기 폴백 위치)

청구항 12

제8항에 있어서,

상기 도전성 빔을 상기 폴백 위치만큼 절곡시키는 단계 이후에 상기 폴백 전압을 차단시키는 단계를 더 포함하는 것을 특징으로 하는 전기기계적 스위칭 소자의 구동 방법.

청구항 13

제8항에 있어서,

상기 제1 및 제2 고정전극 각각은

상기 폴인 전압 및 상기 폴백 전압 중 어느 하나가 인가되는 제어 고정전극 및 상기 도전성 빔과 접촉되어 상기 도전 경로를 형성하고, 상기 제어 고정전극과 이격되어 배치된 출력 고정전극을 포함하는 것을 특징으로 하는 전기기계적 스위칭 소자의 구동 방법.

발명의 설명

기술 분야

[0001] 본 발명은 전기기계적 스위칭 기술에 관한 것으로, 보다 상세하게는 도전성 빔의 폴백 동작을 통해 도전성 빔에 저장되는 탄성 에너지를 이용하여 저전압 구동이 가능한 전기기계적 스위칭 소자의 구동 방법에 관한 것이다.

배경 기술

[0003] 최근 재구성 가능한 로직(RL; reconfigurable logic) 회로가 인공지능, 데이터 분석, 비디오 트랜스 코딩, 사이버 보안 등 확장된 어플리케이션에 적용되며 시장의 수요가 폭발적으로 증가하고 있다. 대표적인 RL 회로는 간단한 로직 기능과 메모리 어레이로 구성된 FPGA(field-programmable gate array) 칩으로서, 점차적으로 크기를 감소시켜 높은 밀도와 높은 속도를 달성하고 있다.

[0004] FPGA 회로는 CMOS 기반의 공정 기술을 이용하여 구현되기 때문에, 주문형 반도체 회로(ASIC) 대비 낮은 밀도, 높은 전력 소모 및 낮은 속도를 보이는 한계가 있다. 최근, 이를 극복하기 위하여 다양한 스위칭 소자가 연구되고 있다. 특히, 그 중에서도 반도체 소자가 아닌 기계적으로 움직이는 소자를 이용하여 스위칭 소자를 구현하려는 전기기계적(electromechanical) 스위칭 소자에 대한 연구가 최근 활발히 진행되고 있다.

[0005] 전기기계적 스위칭 소자는 크기에 따라 NEMS(nanoelectromechanical system) 소자 또는 MEMS(microelectromechanical system) 소자로 지칭되며, 일반적으로 이동 가능한 전극과 고정된 전극을 포함한다. 전기기계적 스위칭 소자는 전극 양단에 인가되는 전압에 따라 이동 가능한 전극이 고정된 전극 방향으로 휘어지거나, 원래의 방향으로 복원되는 동작으로 전류의 흐름을 제어한다.

[0006] 한국등록특허 제10-1383760(2014.04.03)호는 1층의 도전 층으로 수평방향으로 쓰기 워드라인, 비트라인 및 읽기 워드라인을 형성하고 비트라인의 일측에 캔틸레버 전극을 일체로 형성하여 쓰기 워드라인과 읽기 워드라인 사이로 수평 구동할 수 있게 한 수평 구동형 전기기계 메모리 소자 및 그 제조방법을 제공하고, 상기 수평 구동형

전기기계 메모리 소자를 단위 메모리 셀로 복수 개 배열한 2개 이상의 셀 스트링을 수평 및/또는 수직으로 적층하고, 상하층의 비트라인은 각 층의 라인 형성시 동시에 형성된 컨택 플러그를 통하여 수직하게 전기적으로 연결되는 구조를 갖는 수평 구동형 전기기계 메모리 소자 어레이를 제공한다.

[0007] 이러한 전기기계 메모리 소자는 저전압 구동을 위하여 나노 사이즈의 미세 에어 갭(air gap)을 형성하거나, 캔틸레버와 같은 움직이는 전극의 길이가 증가할 필요가 있다. 미세 에어 갭을 형성하기 위해서는 고비용의 복잡한 공정이 요구된다. 그리고, 10 nm 이하의 에어 갭을 형성하는 경우, 양자역학적 터널링 현상에 의해 누설 전류가 증가할 수 있다. 또한, 길이가 긴 캔틸레버 전극을 형성하게 되면 스트레스가 증가하거나, 먼지 또는 부피가 증가할 수 있다.

선행기술문헌

특허문헌

[0009] (특허문헌 0001) 한국등록특허 제10-1383760(2014.04.03)호

발명의 내용

해결하려는 과제

[0010] 본 발명의 일 실시예는 도전성 빔의 폴백 동작을 통해 도전성 빔에 저장되는 탄성 에너지를 이용하여 저전압 구동이 가능한 전기기계적 스위칭 소자의 구동 방법을 제공하고자 한다.

과제의 해결 수단

[0012] 실시예들 중에서, 도전성 빔, 상기 도전성 빔의 일측 방향으로 이격된 주 고정전극 및 상기 도전성 빔의 타측 방향으로 이격된 보조 고정전극을 포함하는 전기기계적 스위칭 소자의 구동 방법은, 상기 보조 고정전극에 폴백 전압을 인가하여 상기 도전성 빔을 초기 위치로부터 상기 보조 고정전극의 방향으로 미리 설정된 폴백 위치까지 절곡시키는 단계; 및 상기 주 고정전극에 폴인 전압을 인가하여 상기 도전성 빔을 상기 폴백 위치로부터 상기 주 고정전극의 방향으로 절곡시키고, 상기 도전성 빔과 상기 주 고정전극 간에 도전 경로를 형성하는 단계를 포함한다.

[0013] 상기 도전성 빔의 상기 초기 위치로부터 상기 폴백 위치까지의 거리는 상기 도전성 빔과 상기 보조 고정전극 간의 이격 거리보다 짧은 것을 특징으로 한다. 상기 폴백 위치는 상기 폴백 전압이 상기 폴인 전압과 동일할 때 상기 도전성 빔이 초기 위치로부터 이동한 거리인 것을 특징으로 한다.

[0014] 상기 폴인 전압은 아래의 [수학식]에 의해 연산되는 것을 특징으로 한다.

[0015] [수학식]

$$V_{p.sling} = \sqrt{\frac{k(t_{gap} + x_r)^2(t_{gap} - x_r)}{4\epsilon_0 L_{beam} W_{beam}}}$$

[0017] (여기에서, 상기 k는 빔 스프링 상수, 상기 ϵ_0 는 진공 유전율, 상기 t_{gap} 은 상기 도전성 빔과 상기 주 고정전극 간의 이격 거리, 상기 L_{beam} 은 상기 도전성 빔의 길이, 상기 W_{beam} 은 상기 도전성 빔의 너비, 상기 x_r 은 상기 폴백 위치)

[0018] 상기 전기기계적 스위칭 소자의 구동 방법은 상기 도전성 빔을 상기 폴백 위치만큼 절곡시키는 단계 이후에 상기 폴백 전압을 차단시키는 단계를 더 포함하는 것을 특징으로 한다.

[0019] 상기 주 고정전극은 상기 폴인 전압이 인가되는 제어 고정전극 및 상기 도전성 빔과 접촉되어 상기 도전 경로를 형성하고, 상기 제어 고정전극과 이격되어 배치된 출력 고정전극을 포함하는 것을 특징으로 한다.

[0020] 상기 보조 고정전극은 상기 풀백 전압이 인가되는 제어 고정전극 및 상기 도전성 빔과 접촉되어 상기 도전 경로를 형성하고, 상기 제어 고정전극과 이격된 출력 고정전극을 포함하는 것을 특징으로 한다.

[0021] 실시예들 중에서 도전성 빔, 상기 도전성 빔의 일측 방향으로 이격된 제1 고정전극 및 상기 도전성 빔의 타측 방향으로 상기 제1 고정전극과 대칭하여 배치된 제2 고정전극을 포함하고, 상기 도전성 빔과 상기 제1 및 제2 고정전극 중 어느 하나 간에 도전 경로를 형성하여 스위칭하는 전기기계적 스위칭 소자의 구동 방법은 상기 제1 및 제2 고정전극 중 상기 스위칭 방향과 반대 방향에 위치한 고정전극에 풀백 전압을 인가하여 상기 도전성 빔을 초기 위치로부터 상기 스위칭 방향과 반대 방향으로 미리 설정된 풀백 위치만큼 절곡시키는 단계; 및 상기 제1 및 제2 고정전극 중 상기 스위칭 방향에 위치한 고정전극에 풀인 전압을 인가하여 상기 도전성 빔을 상기 풀백 위치로부터 상기 스위칭 방향으로 절곡시키고, 상기 도전 경로를 형성하는 단계를 포함한다.

[0022] 상기 도전성 빔의 상기 초기 위치로부터 상기 풀백 위치까지의 거리는 상기 도전성 빔과 상기 제2 고정전극 간의 이격 거리보다 짧은 것을 특징으로 한다. 상기 풀백 위치는 상기 풀백 전압이 상기 풀인 전압과 동일할 때 상기 도전성 빔이 초기 위치로부터 이동한 거리인 것을 특징으로 한다.

[0023] 상기 풀인 전압은 아래의 [수학식]에 의해 연산되는 것을 특징으로 한다.

[0024] [수학식]

$$V_{p.sling} = \sqrt{\frac{k(t_{gap} + x_r)^2(t_{gap} - x_r)}{4\epsilon_0 L_{beam} W_{beam}}}$$

[0025]

[0026] (여기에서, 상기 k는 빔 스프링 상수, 상기 ϵ_0 는 진공 유전율, 상기 t_{gap} 은 상기 도전성 빔과 상기 제1 고정전극 간의 이격 거리, 상기 L_{beam} 은 상기 도전성 빔의 길이, 상기 W_{beam} 은 상기 도전성 빔의 너비, 상기 x_r 은 상기 풀백 위치)

[0027] 상기 도전성 빔을 상기 풀백 위치만큼 절곡시키는 단계 이후에 상기 풀백 전압을 차단시키는 단계를 더 포함하는 것을 특징으로 한다. 상기 제1 및 제2 고정전극 각각은 상기 풀인 전압 및 상기 풀백 전압 중 어느 하나가 인가되는 제어 고정전극 및 상기 도전성 빔과 접촉되어 상기 도전 경로를 형성하고, 상기 제어 고정전극과 이격되어 배치된 출력 고정전극을 포함하는 것을 특징으로 한다.

발명의 효과

[0029] 개시된 기술은 다음의 효과를 가질 수 있다. 다만, 특정 실시예가 다음의 효과를 전부 포함하여야 한다거나 다음의 효과만을 포함하여야 한다는 의미는 아니므로, 개시된 기술의 권리범위는 이에 의하여 제한되는 것으로 이해되어서는 아니 될 것이다.

[0030] 본 발명의 일 실시예에 따른 전기기계적 스위칭 소자의 구동 방법은_도전성 빔의 풀백 동작을 통해 도전성 빔에 저장되는 탄성 에너지를 이용하여 전기기계적 스위치를 저전압으로 구동시킬 수 있다.

도면의 간단한 설명

[0032] 도 1은 본 발명의 일 실시예에 따른 전기기계적 스위칭 소자의 구동 장치를 개략적으로 도시한 도면이다.

도 2는 도 1에 도시된 스위칭부를 도시한 사시도이다.

도 3은 본 발명의 일 실시예에 따른 전기기계적 스위칭 소자의 구동 방법을 설명하기 위해 도시한 도면이다.

도 4는 본 발명의 다른 실시예에 따른 전기기계적 스위칭 소자의 구동 방법을 설명하기 위해 도시한 도면이다.

도 5는 본 발명의 또 다른 실시예에 따른 전기기계적 스위칭 소자의 구동 방법을 설명하기 위해 도시한 도면이다.

도 6은 본 발명의 일 실시예에 따른 전기기계적 스위칭 소자의 도전성 빔의 길이에 따른 풀인 전압을 도시한 그래프이다.

발명을 실시하기 위한 구체적인 내용

- [0033] 본 발명에 관한 설명은 구조적 내지 기능적 설명을 위한 실시예에 불과하므로, 본 발명의 권리범위는 본문에 설명된 실시예에 의하여 제한되는 것으로 해석되어서는 아니 된다. 즉, 실시예는 다양한 변경이 가능하고 여러 가지 형태를 가질 수 있으므로 본 발명의 권리범위는 기술적 사상을 실현할 수 있는 균등물들을 포함하는 것으로 이해되어야 한다. 또한, 본 발명에서 제시된 목적 또는 효과는 특정 실시예가 이를 전부 포함하여야 한다거나 그러한 효과만을 포함하여야 한다는 의미는 아니므로, 본 발명의 권리범위는 이에 의하여 제한되는 것으로 이해되어서는 아니 될 것이다.
- [0034] 한편, 본 출원에서 서술되는 용어의 의미는 다음과 같이 이해되어야 할 것이다.
- [0035] "제1", "제2" 등의 용어는 하나의 구성요소를 다른 구성요소로부터 구별하기 위한 것으로, 이들 용어들에 의해 권리범위가 한정되어서는 아니 된다. 예를 들어, 제1 구성요소는 제2 구성요소로 명명될 수 있고, 유사하게 제2 구성요소도 제1 구성요소로 명명될 수 있다.
- [0036] 어떤 구성요소가 다른 구성요소에 "연결되어" 있다고 언급된 때에는, 그 다른 구성요소에 직접적으로 연결될 수도 있지만, 중간에 다른 구성요소가 존재할 수도 있다고 이해되어야 할 것이다. 반면에, 어떤 구성요소가 다른 구성요소에 "직접 연결되어" 있다고 언급된 때에는 중간에 다른 구성요소가 존재하지 않는 것으로 이해되어야 할 것이다. 한편, 구성요소들 간의 관계를 설명하는 다른 표현들, 즉 "~사이에"와 "바로 ~사이에" 또는 "~에 이웃하는"과 "~에 직접 이웃하는" 등도 마찬가지로 해석되어야 한다.
- [0037] 단수의 표현은 문맥상 명백하게 다르게 뜻하지 않는 한 복수의 표현을 포함하는 것으로 이해되어야 하고, "포함하다" 또는 "가지다" 등의 용어는 실시된 특징, 숫자, 단계, 동작, 구성요소, 부분품 또는 이들을 조합한 것이 존재함을 지정하려는 것이며, 하나 또는 그 이상의 다른 특징이나 숫자, 단계, 동작, 구성요소, 부분품 또는 이들을 조합한 것들의 존재 또는 부가 가능성을 미리 배제하지 않는 것으로 이해되어야 한다.
- [0038] 각 단계들에 있어 식별부호(예를 들어, a, b, c 등)는 설명의 편의를 위하여 사용되는 것으로 식별부호는 각 단계들의 순서를 설명하는 것이 아니며, 각 단계들은 문맥상 명백하게 특정 순서를 기재하지 않는 이상 명기된 순서와 다르게 일어날 수 있다. 즉, 각 단계들은 명기된 순서와 동일하게 일어날 수도 있고 실질적으로 동시에 수행될 수도 있으며 반대의 순서대로 수행될 수도 있다.
- [0039] 여기서 사용되는 모든 용어들은 다르게 정의되지 않는 한, 본 발명이 속하는 분야에서 통상의 지식을 가진 자에 의해 일반적으로 이해되는 것과 동일한 의미를 가진다. 일반적으로 사용되는 사전에 정의되어 있는 용어들은 관련 기술의 문맥상 가지는 의미와 일치하는 것으로 해석되어야 하며, 본 출원에서 명백하게 정의하지 않는 한 이상적이거나 과도하게 형식적인 의미를 지니는 것으로 해석될 수 없다.
- [0041] 도 1은 본 발명의 일 실시예에 따른 전기기계적 스위칭 소자의 구동 장치를 개략적으로 도시한 도면이다.
- [0042] 도 1을 참조하면, 전기기계적 스위칭 소자의 구동 장치(100)는 스위칭부(110), 기관(130) 및 스위치 구동부(150)를 포함한다. 스위칭부(110)는 기관(130) 상에 배치되고, 기관(130)에 전기적으로 연결되어 있다. 여기서, 본 발명의 일 실시예에 따른 기관(130)은 CMOS(Complementary Metal-Oxide Semiconductor) 공정으로 제조된 집적 회로를 포함할 수 있다. 예를 들어, 기관(130)은 메모리 소자, 발광 소자, 트랜지스터 및 배선 등을 포함할 수 있다.
- [0043] 스위칭부(110)는 스위치 구동부(150)에 의해 구동되어 입력단자(T1)와 출력단자(T2) 간에 도전 경로를 형성할 수 있다. 이를 위해, 스위칭부(110)는 도전성 빔(112), 주 고정전극(114) 및 보조 고정전극(116)을 포함할 수 있다. 여기에서, 도전성 빔(112)은 입력단자(T1)를 통해 기관(130)에 전기적으로 연결되어 있고, 주 고정전극(114) 및 보조 고정전극(116) 중 적어도 어느 하나에 인가되는 전압에 의해 정전기력이 발생되면 수평방향으로 움직인다.
- [0044] 주 고정전극(114)은 출력단자(T2)를 통해 기관(130) 및 스위치 구동부(150)에 전기적으로 연결되어 있고, 도전성 빔(112)의 일측 방향에 일정간격 이격되어 배치된다. 보조 고정전극(116)은 보조 출력단자(T3)를 통해 기관(130) 및 스위치 구동부(150)에 전기적으로 연결되어 있고, 도전성 빔(112)의 타측 방향에 일정간격 이격되어 배치된다. 보조 고정전극(116)은 도전성 빔(112)을 기준으로 주 고정전극(114)과 대칭적으로 배치될 수 있다.
- [0045] 스위치 구동부(150)는 출력단자(T2) 및 보조 출력단자(T3)를 통해 주 고정전극(114) 및 보조 고정전극(116)에

전기적으로 연결되어 있다. 본 발명의 일 실시예에 따른 스위치 구동부(150)는 초기 동작 시 일정 시간동안 보조 고정전극(116)에 풀백 전압(pull-back voltage)($V_{p,back}$)을 인가한 후, 주 고정전극(114)에 일정 시간동안 풀인 전압(pull-in voltage)(V_p)을 인가한다.

[0046] 여기에서, 풀백 전압($V_{p,back}$)은 초기 동작 시 도전성 빔(112)을 주 고정전극(114)의 방향과 반대 방향, 즉 스위칭 방향과 반대 방향으로 당기는 동작을 통해 발생하는 탄성 에너지를 도전성 빔(112)에 저장시키기 위해 필요한 전압이다.

[0047] 그리고, 풀인 전압(V_p)은 도전성 빔(112)이 주 고정전극(114)에 접촉하여 도전성 빔(112)과 주 고정전극(114) 간에 도전 경로가 형성되기 위해 필요한 전압이다. 예를 들어, 풀인 전압(V_p)은 도전성 빔(112)이 도전성 빔(112)과 주 고정전극(114) 간의 이격 거리의 1/3만큼 이동하기 위해 필요한 전압으로 설정될 수 있다. 풀백 전압($V_{p,back}$) 및 풀인 전압(V_p)은 이하의 도 2를 참조하여 자세히 설명한다.

[0048] 도 2는 도 1에 도시된 스위칭부를 도시한 사시도이다.

[0049] 도 2를 참조하면, 스위칭부(210)는 기관(230) 상부에 배치되고, 연결부(250)를 통해 기관(230)에 물리적 및 전기적으로 연결되어 있다. 구체적으로, 스위칭부(210)는 도전성 빔(212), 주 고정전극(214), 보조 고정전극(216) 및 유전체(218)를 포함한다.

[0050] 여기에서, 도전성 빔(212)은 기관(230) 상에 연결부(250)를 통해 지지되어 기관(230)과 일정간격 이격되고, 기관(230)과 국부적으로 연결되어 있다. 도전성 빔(212)은 주 고정전극(214) 및 보조 고정전극(216) 중 어느 하나의 사이에서 발생하는 정전기력에 의해 수평 방향으로 절곡된다.

[0051] 이를 위해, 도전성 빔(212)은 유연성 및 피로도에 강한 도전 물질로 형성할 수 있다. 예를 들어, 도전성 빔(212)은 금속, 불순물이 도핑된 반도체층, 탄소나노튜브, 그래핀, 또는 도전성 폴리머 등의 도전 물질로 형성할 수 있고, 본 발명의 실시예는 이에 한정되지 않고, 도전성 빔(212)을 일반적인 전극에서 사용되는 전도성이 큰 물질로 형성할 수 있다.

[0052] 주 고정전극(214)은 기관(230) 상에 연결부(250)를 통해 지지되어 기관(230)과 일정간격 이격되고, 기관(230)과 국부적으로 연결되어 있다. 주 고정전극(214)은 도전성 빔(212)의 일측 방향으로 일정 간격 이격되어 배치되어 있고, 출력단자(T2)에 전기적으로 연결되어 있다. 주 고정전극(214)은 도전성 빔(212)과 동일한 도전 물질로 형성될 수 있으며, 본 발명의 일 실시예는 이에 한정되지 않는다.

[0053] 보조 고정전극(216)은 기관(230) 상에 연결부(250)를 통해 지지되어 기관(230)과 일정간격 이격되고, 기관(230)과 국부적으로 연결되어 있다. 보조 고정전극(216)은 도전성 빔(212)의 타측 방향으로 일정 간격 이격되어 배치되어 있고, 보조 출력단자(T3)에 전기적으로 연결되어 있다. 보조 고정전극(216)은 도전성 빔(212)과 동일한 도전 물질로 형성될 수 있으며, 본 발명의 일 실시예는 이에 한정되지 않는다.

[0054] 그리고, 유전체(218)는 도전성 빔(212)과 주 고정전극(214) 및 보조 고정전극(216) 사이의 이격 거리에 각각 존재하는 공기(air) 또는 진공(vacuum)일 수 있다.

[0055] 상기와 같은 구성을 갖는 스위칭부(210)는 주 고정전극(214)에 풀인 전압(V_p)이 인가되면 도전성 빔(212)이 주 고정전극(214) 방향으로 당겨져 풀인 위치만큼 절곡된다. 일반적으로, 정상 상태 하에서 풀인 전압(V_{L1})은 아래의 [수학식 1]과 같이 정의될 수 있다.

수학식 1

$$V_{L1} = \sqrt{\frac{2kx(t_{gap} - x)^2}{\epsilon_0 L_{beam} W_{beam}}} \quad (x \geq 0)$$

[0056]

[0057] 여기에서, k 는 빔 스프링 상수, ϵ_0 는 진공 유전율, x 는 도전성 빔(212)의 위치이며, t_{gap} 은 도전성 빔(212)과 주 고정전극(214) 간의 이격 거리($d1$)이다. L_{beam} 은 도전성 빔(212)의 길이($d2$), W_{beam} 은 도전성 빔(212)의 너비($d3$)이다. 정상 상태 하에서 도전성 빔(212)의 풀인 위치는 도전성 빔(212)과 주 고정전극(214) 간의 이격 거리

의 $1/3(x=1/3*t_{gap})$ 이며, 이를 상기한 [수학식 1]에 적용시키면 정상 상태 하에서 풀인 전압($V_{p, steady}$)은 아래의 [수학식 2]와 같다.

수학식 2

$$V_{p, steady} = \sqrt{8kt_{gap}^3 / 27\varepsilon_0 L_{beam} W_{beam}}$$

본 발명의 일 실시예에 따른 스위칭부(210)는 풀인 상태 이전에 도전성 빔(212)을 보조 고정전극(216)의 방향으로 풀백 위치(x_r)만큼 당겨지는 초기 준비 동작을 수행한다. 여기에서, 도전성 빔(212)이 보조 고정전극(216)의 방향으로 당겨져 접촉하는 풀인 상태가 되기 위해서는 아래의 [수학식 3]과 같은 풀인 전압(V_{L2})이 필요하다.

수학식 3

$$V_{L2} = \sqrt{2k|x|(t_{gap} + x)^2 / \varepsilon_0 L_{beam} W_{beam}} \quad (x \leq 0)$$

여기에서는, 도전성 빔(212)의 초기 위치($x=0$)에서 주 고정전극(214) 방향을 (+), 보조 고정전극(216)의 방향을 (-)로 가정하여 설명한다. 상기한 [수학식 3]에 도전성 빔(212)의 위치(x)에 풀백 위치(x_r)를 대입하면, 풀백 전압($V_{p, back}$)은 아래의 [수학식 4]와 같다.

수학식 4

$$V_{p, back} = \sqrt{2k|x_r|(t_{gap} + x_r)^2 / \varepsilon_0 L_{beam} W_{beam}}$$

도전성 빔(212)이 보조 고정전극(216)에 인가된 풀백 전압($V_{p, back}$)에 의해 보조 고정전극(216) 방향으로 뒤로 당겨지는 동안 도전성 빔(212)에는 탄성 에너지($E_{pot, x=x_r}$)가 저장된다. 여기에서, 탄성 에너지($E_{pot, x=x_r}$)는 아래의 [수학식 5]와 같다.

수학식 5

$$E_{pot, x=x_r} = kx_r^2 / 2$$

그리고, 풀백 전압($V_{p, back}$)이 차단($V_{p, back}=0$)되는 동안 도전성 빔(212)과 보조 고정전극(216) 사이에 발생한 정전기력이 사라지고, 도전성 빔(212)은 주 고정전극(214)의 방향으로 되돌아간다. 그러면, 풀인 전압(V_{L1})은 이전에 저장된 탄성 에너지($E_{pot, x=x_r}$)에 전기 에너지(E_{elec})가 더해진 값이 된다. 여기에서, 전기 에너지(E_{elec})는 아래의 [수학식 6]과 같다.

수학식 6

$$E_{elec} = \int_{x_r}^{x_f} \frac{\varepsilon_0 L_{beam} W_{beam} V_{L1}^2}{2(t_{gap} - x)^2} dx = \frac{\varepsilon_0 L_{beam} W_{beam} V_{L1}^2 (x_r - x_f)}{2(t_{gap} - x_r)(t_{gap} - x_f)}$$

도전성 빔(212)이 풀백 위치(x_r)로부터 임계 거리(x_f) 이상을 지나 주 고정전극(214)의 방향으로 이동할 때, 전기 에너지(E_{elec}) 및 탄성 에너지($E_{pot, x=x_r}$)는 임계 위치($x=x_f$)에서의 탄성 위치 에너지($E_{pot, x=x_f}$)로 변환된다. 여기서, 탄성 위치 에너지($E_{pot, x=x_f}$)는 아래의 [수학식 7]과 같다.

수학식 7

$$E_{pot, x=x_f} = kx_f^2 / 2$$

도전성 빔(212)이 이동하는 동안 에너지는 보존되므로, 아래의 [수학식 8]이 성립한다.

수학식 8

$$E_{pot, x=x_r} + E_{elec} = E_{pot, x=x_f}$$

상기한 [수학식 8]에 [수학식 5], [수학식 6] 및 [수학식 7]을 대입하면 풀백 상태의 도전성 빔(212)을 풀인 상태로 이동시키기 위해 필요한 풀인 전압($V_{L1, rf}$)은 아래의 [수학식 9]와 같다.

수학식 9

$$V_{L1, rf} = \sqrt{k(x_f + x_r)(t_{gap} - x_f)(t_{gap} - x_r) / \varepsilon_0 L_{beam} W_{beam}}$$

여기에서, 도전성 빔(212)이 주 고정전극(214) 방향으로 되돌아가는 최대 임계 거리($x_{f, max}$)는 $dV_{L1, rf}/dx_{f, max}=0$ 을 만족할 때이며, 아래의 [수학식 10]과 같다.

수학식 10

$$x_{f, max} = (t_{gap} - x_r) / 2$$

상기한 [수학식 9]에 [수학식 10]을 대입하면, 도전성 빔(212)을 풀인 상태로 이동시키기 위해 필요한 풀인 전압($V_{p, sling}$)은 아래의 [수학식 11]과 같다.

수학식 11

$$V_{p, sling} = \sqrt{k(t_{gap} + x_r)^2 (t_{gap} - x_r) / 4\varepsilon_0 L_{beam} W_{beam}}$$

[0077] 여기에서, 풀인 전압($V_{p,sling}$)과 풀백 전압($V_{p,back}$)을 동일하게 설정할 경우 초기에 풀백 상태없이 풀인 상태로 도전성 빔(212)을 이동시킨 경우에 비해 풀인 전압을 낮출 수 있다. 이때, 풀백 위치($x_{r,opt}$)는 도전성 빔(212)과 주 고정전극(214) 간의 이격 거리의 약 $1/7(x=1/7*t_{gap})$ 이다.

[0078] 풀백 위치($x_{r,opt}$)를 [수학식 11]에 대입하면, 최종적으로 도전성 빔(212)을 풀인 상태로 이동시키기 위해 필요한 풀인 전압($V_{p,sling,opt}$)은 아래의 [수학식 12]와 같다.

수학식 12

$$V_{p,sling,opt} = \sqrt{\frac{72kt_{gap}^3}{343\epsilon_0 L_{beam} W_{beam}}}$$

[0080] 즉, 초기에 풀백 상태로 도전성 빔(212)을 이동시킨 후 풀인 상태로 전환할 때 필요한 풀인 전압($V_{p,sling,opt}$)은 상기한 [수학식 2]와 같이, 풀백 상태 없을 때 필요한 풀인 전압($V_{p,steady}$) 대비 약 0.84배만큼 낮아진다.

[0081] 도 3은 본 발명의 일 실시예에 따른 전기기계적 스위칭 소자의 구동 방법을 설명하기 위해 도시한 도면이다.

[0082] 도 3을 참조하면, 전기기계적 스위칭 소자(300)는 도전성 빔(310), 주 고정전극(330) 및 보조 고정전극(350)을 포함한다. 도전성 빔(310)을 기준으로 주 고정전극(330) 및 보조 고정전극(350)은 서로 대칭으로 배치되어 있고, 도전성 빔(310)과 일정간격 이격되어 있다.

[0083] 상기과 같은 구성을 갖는 전기기계적 스위칭 소자(300)는 초기 상태(a)에서 보조 고정전극(350)에 풀백 전압($V_{p,back}$)이 인가(b)되면, 정전기력에 의해 도전성 빔(310)이 보조 고정전극(350) 방향으로 당겨진다. 이때, 도전성 빔(310)이 보조 고정전극(350) 방향으로 풀백 위치(x_r)만큼 당겨지는 동안 탄성 에너지가 발생하고, 도전성 빔(310)에 저장된다.

[0084] 그 다음, 보조 고정전극(350)에 풀백 전압($V_{p,back}$)이 차단되고, 주 고정전극(330)에 풀인 전압($V_{p,sling,opt}$)이 인가(c)되면 도전성 빔(310)은 정전기력에 의해 주 고정전극(330) 방향으로 당겨지고, 도전성 빔(310)과 주 고정전극(330) 간에 도전 경로가 형성된다.

[0085] 즉, 도전성 빔(310)을 뒤로 당겼다가 앞으로 이동시키는 과정(single shot pull-in)을 통해 저장된 탄성 에너지로 인해 주 고정전극(330)에 풀인 전압을 낮게 인가하더라도 도전성 빔(310)을 정상적인 풀인 상태로 구동시킬 수 있다.

[0086] 도 4는 본 발명의 다른 실시예에 따른 전기기계적 스위칭 소자의 구동 방법을 설명하기 위해 도시한 도면이다.

[0087] 도 4를 참조하면, 전기기계적 스위칭 소자(400)는 도전성 빔(410), 주 고정전극(430) 및 보조 고정전극(450)을 포함한다. 본 발명의 다른 실시예에 따른 전기기계적 스위칭 소자(400)는 주 고정전극(430)이 제어 고정전극(432) 및 출력 고정전극(434)으로 분리된 구조이다. 여기에서, 제어 고정전극(432)은 도전성 빔(410)을 당기기 위해 필요한 풀인 전압이 인가되는 전극이고, 출력 고정전극(434)은 도전성 빔(410)과 접촉하여 도전 경로를 형성하는 전극이다.

[0088] 상기과 같은 구성을 갖는 전기기계적 스위칭 소자(400)는 초기 상태(a)에서 보조 고정전극(450)에 풀백 전압($V_{p,back}$)이 인가(b)되면, 정전기력에 의해 도전성 빔(410)이 보조 고정전극(450) 방향으로 당겨진다. 이때, 도전성 빔(410)이 보조 고정전극(450) 방향으로 풀백 위치(x_r)만큼 당겨지는 동안 탄성 에너지가 발생하고, 도전성 빔(410)에 저장된다.

[0089] 그 다음, 보조 고정전극(450)에 풀백 전압($V_{p,back}$)이 차단되고, 제어 고정전극(432)에 풀인 전압($V_{p,sling,opt}$)이 인가(c)되면 도전성 빔(410)은 정전기력에 의해 제어 고정전극(432) 방향으로 당겨지고, 도전성 빔(410)과 출력 고정전극(434) 간에 도전 경로가 형성된다.

[0090] 즉, 도전성 빔(410)을 뒤로 당겼다가 앞으로 이동시키는 과정(single shot pull-in)을 통해 저장된 탄성 에너지로 인해 제어 고정전극(432)에 풀인 전압을 낮게 인가하더라도 도전성 빔(410)을 정상적인 풀인 상태로 구동시

킬 수 있다.

- [0091] 도 5는 본 발명의 또 다른 실시예에 따른 전기기계적 스위칭 소자의 구동 방법을 설명하기 위해 도시한 도면이다.
- [0092] 도 5를 참조하면, 전기기계적 스위칭 소자(500)는 도전성 빔(510), 제1 고정전극(530) 및 제2 고정전극(550)을 포함한다. 본 발명의 다른 실시예에 따른 전기기계적 스위칭 소자(500)는 도전성 빔(510)과 제1 고정전극(530) 간에 도전 경로가 형성되거나, 도전성 빔(510)과 제2 고정전극(550) 간에 도전 경로가 형성되는 구조로, 스위칭 방향 전환이 가능하다.
- [0093] 그리고, 제1 고정전극(530)은 제1 제어 고정전극(532) 및 제1 출력 고정전극(534)으로 분리되어 형성되고, 제2 고정전극(550)은 제2 제어 고정전극(552) 및 제2 출력 고정전극(554)으로 분리되어 형성될 수 있다. 여기에서, 제1 및 제2 제어 고정전극(532, 552)은 도전성 빔(510)을 당기기 위해 필요한 풀인 전압이 인가되는 전극이고, 제1 및 제2 출력 고정전극(534, 554)은 도전성 빔(510)과 접촉하여 도전 경로를 형성하는 전극이다.
- [0094] 이하에서는 도전성 빔(510)과 제1 고정전극(530) 간에 도전 경로가 형성되는 경우를 예를 들어 설명한다. 이 경우 제2 고정전극(550)은 풀백 상태를 위한 보조 고정전극으로 동작한다.
- [0095] 상기와 같은 구성을 갖는 전기기계적 스위칭 소자(500)는 초기 상태(a)에서 제2 제어 고정전극(552)에 풀백 전압($V_{p,back}$)이 인가(b)되면, 정전기력에 의해 도전성 빔(510)이 제2 제어 고정전극(552) 방향으로 당겨진다. 이때, 도전성 빔(510)이 제2 제어 고정전극(552) 방향으로 풀백 위치(x_r)만큼 당겨지는 동안 탄성 에너지가 발생하고, 도전성 빔(510)에 저장된다.
- [0096] 그 다음, 제2 제어 고정전극(552)에 풀백 전압($V_{p,back}$)이 차단되고, 제1 제어 고정전극(532)에 풀인 전압($V_{p,sling,opt}$)이 인가(c)되면 도전성 빔(510)은 정전기력에 의해 제1 제어 고정전극(532) 방향으로 당겨지고, 도전성 빔(510)과 제1 출력 고정전극(534) 간에 도전 경로가 형성된다.
- [0097] 즉, 도전성 빔(510)을 뒤로 당겼다가 앞으로 이동시키는 과정(single shot pull-in)을 통해 저장된 탄성 에너지로 인해 제1 제어 고정전극(532)에 풀인 전압을 낮게 인가하더라도 도전성 빔(510)을 정상적인 풀인 상태로 구동시킬 수 있다.
- [0098] 도 6은 본 발명의 일 실시예에 따른 전기기계적 스위칭 소자의 도전성 빔의 길이에 따른 풀인 전압을 도시한 그래프이다.
- [0099] 도 6에 있어서, 본 발명의 일 실시예에 따라 전기기계적 스위칭 소자를 초기에 풀백 상태로 도전성 빔을 이동시킨 후 풀인 상태로 구동하기 위해 필요한 풀인 전압($V_{p,sling,opt}$)은 풀백 상태없이 도전성 빔을 풀인 상태로 구동하기 위해 필요한 풀인 전압($V_{p,steady}$) 대비 약 0.84배만큼 낮아진 것을 볼 수 있다.
- [0101] 상기한 바와 같이, 본 발명의 실시예에 따른 전기기계적 스위칭 소자의 구동 방법은 NEMS, MEMS 소자 등과 같은 전기기계 스위칭 소자의 구동 전압, 면적, 전력 소모를 감소시키고, 도전성 빔과 고정 전극 간의 간격을 줄이거나 도전성 빔의 길이 증가시키거나 또는 두께를 감소시키는 등의 미세 공정의 도입 없이도 전기기계 스위칭 소자의 구동 전압을 감소시킬 수 있다.
- [0102] 또한, 본 발명의 실시예에 따른 전기기계적 스위칭 소자의 구동 방법은 저전력, 고집적, 고성능을 위한 FPGA칩, 낮은 오프 상태 전류를 필요로 하는 에너지 절약형 반도체 시스템, 낮은 대기전력이 필요한 배터리를 사용하는 휴대용 전자 기기, CMOS 기반의 소자에 3차원 집적이 가능한 메모리 및 비메모리 시스템, 외부 환경에 둔감한 군사, 우주용 메모리 및 비메모리 시스템 등에 적용 가능하다.
- [0104] 상기에서는 본 발명의 바람직한 실시예를 참조하여 설명하였지만, 해당 기술 분야의 숙련된 당업자는 하기의 특허 청구의 범위에 기재된 본 발명의 사상 및 영역으로부터 벗어나지 않는 범위 내에서 본 발명을 다양하게 수정 및 변경시킬 수 있음을 이해할 수 있을 것이다.

부호의 설명

[0106]

100: 전자기기계적 스위칭 소자의 구동 장치

110: 스위칭부

112: 도전성 빔

114: 주 고정전극

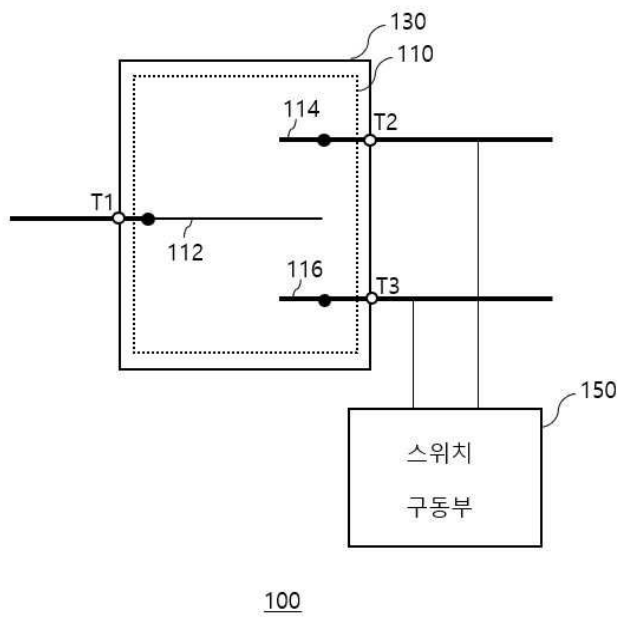
116: 보조 고정전극

130: 기판

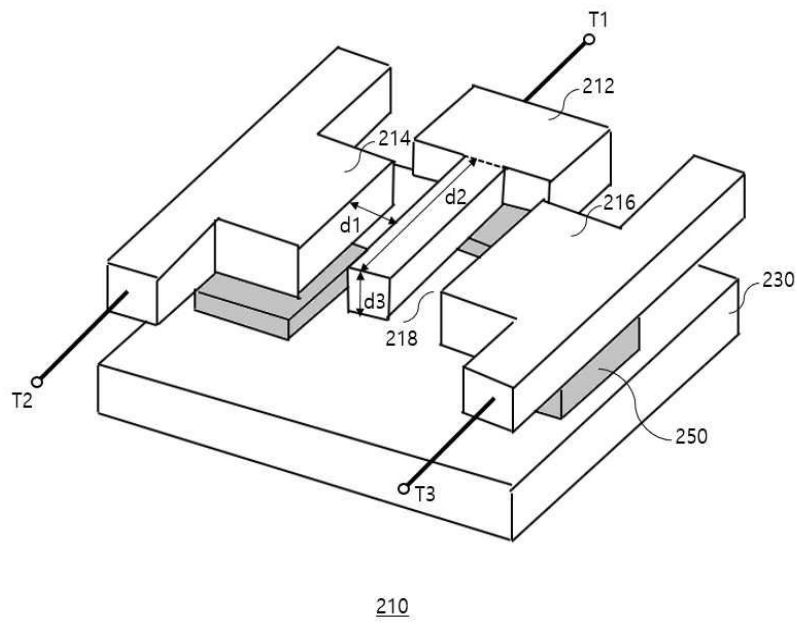
150: 스위치 구동부

도면

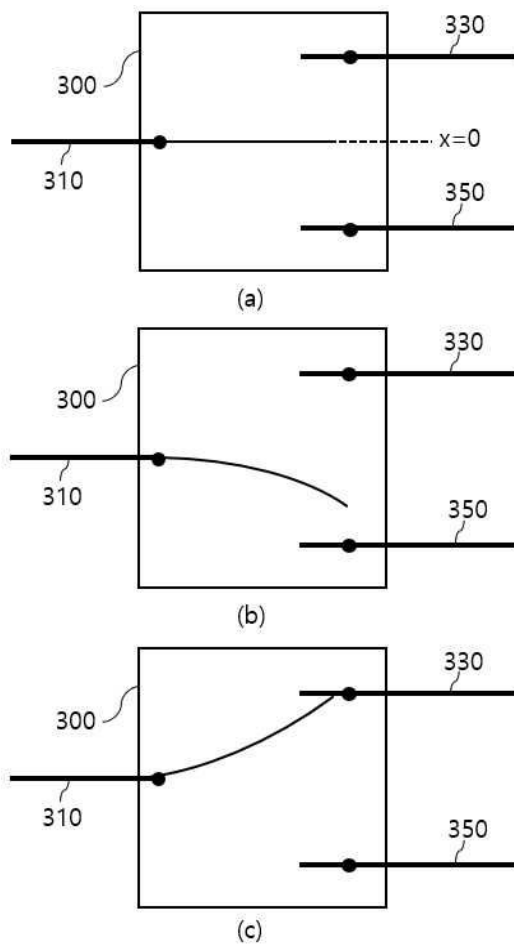
도면1



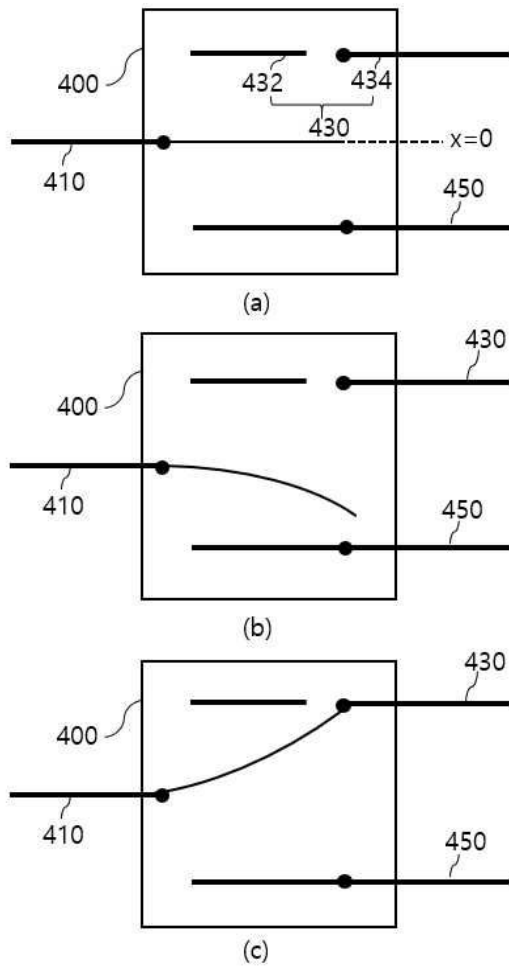
도면2



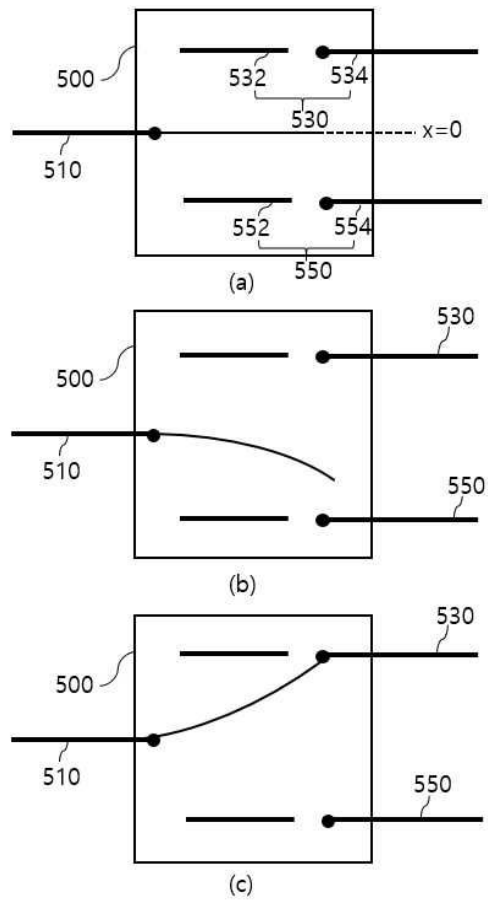
도면3



도면4



도면5



도면6

