



(19) 대한민국특허청(KR)

(12) 등록특허공보(B1)

(45) 공고일자 2019년05월29일

(11) 등록번호 10-1983854

(24) 등록일자 2019년05월23일

(51) 국제특허분류(Int. Cl.)

H01H 59/00 (2006.01) B81B 3/00 (2006.01)

(21) 출원번호 10-2011-0138516

(22) 출원일자 2011년12월20일

심사청구일자 2016년10월21일

(65) 공개번호 10-2012-0070524

(43) 공개일자 2012년06월29일

(30) 우선권주장

12/975,090 2010년12월21일 미국(US)

(56) 선행기술조사문헌

US20050029109 A1*

US20070222004 A1*

US20100237738 A1*

N. Eliaz et al., 'Synthesis and characterization of nickel tungsten alloys by electrodeposition', Electrochimica Acta 50 2005, 2893~2904 page (2005.05.05) 1부.*

*는 심사관에 의하여 인용된 문헌

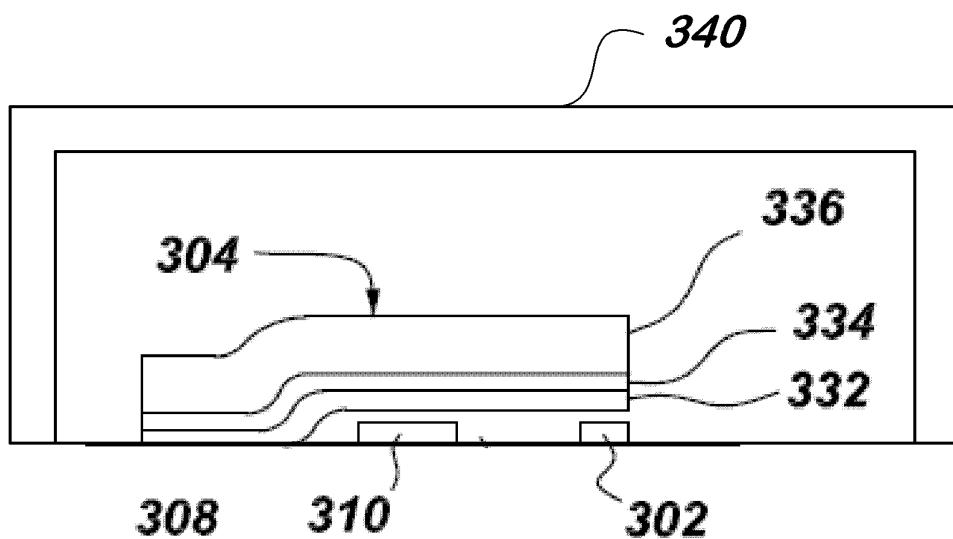
전체 청구항 수 : 총 11 항

심사관 : 윤석채

(54) 발명의 명칭 마이크로 전기 기계 시스템(MEMS) 장치 형성 방법

(57) 요 약

장치는 기판(308)과, 증착 프로세스를 이용하여 기판(308) 위에 형성되는 금속층(336)을 포함하며, 이 증착 프로세스 동안 금속층(336)은 사전 결정 가능한 증착 상태의 결합 밀도를 갖는 것을 특징으로 한다. 제작 프로세스의 결과로, 금속층(336)의 결합 밀도는, 유사한 증착 조건 하에서 형성되는 그리고 유사한 조성을 갖는 동일 층(336) 또는 다른 층의 사전 결정 가능한 증착 상태의 결합 밀도에 비해 감소한다. 관련 방법에서, 기판(308)이 제공되고, 기판(308) 위에 제거 가능 층(330)이 형성된다. 제거 가능 층(330) 위에 금속층(336)이 형성되며, 금속층(336)은 제거 가능 층(330) 위에 구조물을 형성하도록 패터닝 및 에칭된다. 제거 가능 층(330)이 제거되고, 금속층(336)은 그 위에 밀폐형 밀봉 캡(340)을 접합하는 데 필요한 시간보다 긴 시간 동안 가열된다.

대 표 도 - 도10f

(72) 발명자

케이엘 크리스토퍼

미국 뉴욕주 12309 니스카유나 빌딩 케이1-3에이59
원 리서치 씨클 제너럴 일렉트릭 컴파니 글로벌 리
서치

애이미 마르코

미국 뉴욕주 12309 니스카유나 빌딩 케이1-3에이59
원 리서치 씨클 제너럴 일렉트릭 컴파니 글로벌 리
서치

명세서

청구범위

청구항 1

마이크로 전기 기계 시스템(MEMS) 장치를 형성하는 방법에 있어서,

(A) 기판(308) 맨 위에 제거 가능 층(330)을 형성하는 단계로서, 상기 기판은 그것으로부터 연장하는 앵커를 갖고, 상기 앵커는 구조물을 지지하도록 구성되는, 상기 제거 가능 층 형성 단계와,

(B) 적어도 50 원자퍼센트의 구성 금속 물질을 포함하는 금속 합금층(336)을 상기 제거 가능 층(330) 위에 증착하는 단계와,

(C) 상기 금속 합금층을 포함하는 상기 구조물을 형성하기 위해 상기 제거 가능 층(330)을 제거하는 단계로서, 상기 구조물은, 상기 구조물이 상기 기판 맨 위에 배치되는 접촉부로부터 이격 거리만큼 이격되는 제 1 위치와, 상기 구조물이 상기 접촉부와 접촉하고 역학적 에너지를 저장하는 제 2 위치 사이에서 변형될 수 있도록 구성되는, 상기 제거 가능 층 제거 단계와,

(D) 상기 금속 합금층의 융점의 절반보다 낮거나 동일한 온도에서 상기 금속 합금층의 항복 강도의 25%까지의 응력을 받을 때 10^{-12} /s보다 작거나 동일한 정상 상태 소성 변형 속도를 갖는 상기 구조물을 제공하기 위하여, 제 1 온도에서 상기 금속 합금층을 어닐링하는 단계로서, 상기 제 1 온도는 적어도 40°C에서 상기 금속 합금층을 형성하는 하나 이상의 물질의 융점의 적어도 50%까지인, 상기 금속 합금층을 어닐링하는 단계와,

(E) 상기 구조물을 어닐링한 다음에, 상기 금속 합금층 위에서 밀폐형 밀봉 캡(340)을 제 2 온도까지 가열하는 단계로서, 상기 제 2 온도는 상기 제 1 온도보다 낮은, 상기 밀폐형 밀봉 캡 가열 단계를 포함하고,

상기 (D) 단계는, 상기 (B) 단계 및 (C) 단계 사이에서 또는 상기 (C) 단계 및 (E) 단계 사이에서 수행되는 마이크로 전기 기계 시스템(MEMS) 장치 형성 방법.

청구항 2

제 1 항에 있어서,

상기 구조물은 외팔보(cantilevered beam)의 형태가 되고, 상기 외팔보 위에 상기 밀폐형 밀봉 캡이 형성되어 상기 구조물을 밀폐형으로 밀봉시키는

마이크로 전기 기계 시스템(MEMS) 장치 형성 방법.

청구항 3

제 1 항에 있어서,

상기 금속 합금층을 증착하는 단계 전에, 상기 기판 상에 상기 접촉부와 전극 양자를 형성하고, 상기 접촉부와 상기 전극 모두를 상기 제거 가능 층으로 캡슐화함으로써, 상기 제거 가능 층의 제거 이후에 상기 금속 합금층에 힘을 인가하는 것에 의해, 상기 금속 합금층의 부분이 변위하여 상기 접촉부와 물리적 접촉이 이루어질 수 있게 하는 단계를 더 포함하는

마이크로 전기 기계 시스템(MEMS) 장치 형성 방법.

청구항 4

제 1 항에 있어서,

상기 금속 합금층을 증착하는 단계는, 상기 기판 위에 접착층을 형성하는 단계와, 상기 접착층 위에 시드층을 증착하는 단계를 포함하는

마이크로 전기 기계 시스템(MEMS) 장치 형성 방법.

청구항 5

제 1 항에 있어서,
상기 금속 합금층은 전기도금 프로세스를 이용하여 증착되는
마이크로 전기 기계 시스템(MEMS) 장치 형성 방법.

청구항 6

제 1 항에 있어서,
상기 금속 합금층은, Ni, W, Al, Ti, Cr, Mn, Fe, Co, Cu, Zn, Nb, Mo, Ag, Ta, Pd 및 Zr 중 적어도 두 개의 원소를 포함하는 합금을 포함하는
마이크로 전기 기계 시스템(MEMS) 장치 형성 방법.

청구항 7

제 6 항에 있어서,
상기 금속 합금층은, 1 내지 50 사이의 원자퍼센트의 텐스텐(W)과 합금된 니켈(Ni)을 포함하는
마이크로 전기 기계 시스템(MEMS) 장치 형성 방법.

청구항 8

제 1 항에 있어서,
상기 구조물 위에 캡을 접합하는 단계를 더 포함하고,
상기 캡의 접합에 앞서, 상기 구조물을 적어도 부분적으로 어닐링함으로써, 상기 구조물의 시간-의존적 소성 변형 특성이 개선되는
마이크로 전기 기계 시스템(MEMS) 장치 형성 방법.

청구항 9

제 1 항에 있어서,
상기 어닐링은 상기 금속 합금층의 융점의 10 내지 50%의 범위에서 수행되고 상기 구조물의 시간 의존적 소성 변형 특성을 개선시키는
마이크로 전기 기계 시스템(MEMS) 장치 형성 방법.

청구항 10

제 9 항에 있어서,
상기 어닐링은 1 내지 48시간의 범위에서의 지속시간 동안 수행되는
마이크로 전기 기계 시스템(MEMS) 장치 형성 방법.

청구항 11

마이크로 전기 기계 시스템(MEMS) 장치의 구조물로서,
(A) 기판(308) 맨 위에 제거 가능 층(330)을 형성하는 단계로서, 상기 기판은 그것으로부터 연장하는 앵커를 갖고, 상기 앵커는 구조물을 지지하도록 구성되는, 상기 제거 가능 층 형성 단계와,
(B) 적어도 50 원자퍼센트의 구성 금속 물질을 포함하는 금속 합금층(336)을 상기 제거 가능 층(330) 위에 증착하는 단계와,
(C) 상기 금속 합금층을 포함하는 상기 구조물을 형성하기 위해 상기 제거 가능 층(330)을 제거하는 단계로서, 상기 구조물은, 상기 구조물이 상기 기판 맨 위에 배치되는 접촉부로부터 이격 거리만큼 이격되는 제 1 위치와,

상기 구조물이 상기 접촉부와 접촉하고 역학적 에너지를 저장하는 제 2 위치 사이에서 변형될 수 있도록 구성되는, 상기 제거 가능 층 제거 단계와,

(D) 상기 금속 합금층의 용점의 절반보다 낮거나 동일한 온도에서 상기 금속 합금층의 항복 강도의 25%까지의 응력을 받을 때 10^{-12} /s보다 작거나 동일한 정상 상태 소성 변형 속도를 갖는 상기 구조물을 제공하기 위하여, 제 1 온도에서 상기 금속 합금층을 어닐링하는 단계로서, 상기 제 1 온도는 적어도 40°C에서 상기 금속 합금층을 형성하는 하나 이상의 물질의 용점의 적어도 50%까지인, 상기 금속 합금층을 어닐링하는 단계와,

(E) 상기 구조물을 어닐링한 다음에, 상기 금속 합금층 위에서 밀폐형 밀봉 캡(340)을 제 2 온도까지 가열하는 단계로서, 상기 제 2 온도는 상기 제 1 온도보다 낮은, 상기 밀폐형 밀봉 캡 가열 단계를 포함하고,

상기 (D) 단계는, 상기 (B) 단계 및 (C) 단계 사이에서 또는 상기 (C) 단계 및 (E) 단계 사이에서 수행되는 방법에 따라 제작되는

마이크로 전기 기계 시스템(MEMS) 장치의 구조물.

발명의 설명

기술 분야

[0001] 관련 출원

본 출원은 함께 계류 중인 2009년 11월 30일자 미국 특허 출원 제 12/627,476 호(발명의 명칭: "Switch Structures")의 일부 계속 출원이고, 2009년 9월 23일자 미국 특허 출원 제 12/565,127 호(발명의 명칭: "Switch Structure and Method")의 일부 계속 출원이다.

본 명세서에 개시된 발명은 기계 장치에 관한 것으로서, 보다 구체적으로는 마이크로 전기 기계(MEMS) 기술 및 나노 전기 기계(NEMs) 기술에 기초한 장치에 관한 것이다.

배경 기술

회로 차단기의 제공과 고전압, 고전류 스위칭을 포함한 수많은 애플리케이션을 위한 기계 장치들은 크기가 크고, 스위칭 메커니즘을 활성화시키기 위해 큰 힘을 요하는 경우가 자주 있다. 이러한 종래의 스위치들은 또한 비교적 저속으로 작동한다. 이러한 스위치들은 제작하기 복잡하고 고가인 경우가 많다. 추가적으로, 스위칭 메커니즘의 접촉부가 물리적으로 분리되어 있을 때, 아크가 발생한다고 알려져 있고 종종 전용 회로가 전개되어 아크 전류가 스위치를 통해 흐르는 것을 방지하게 된다. 아크와 상관된 에너지는 스위치 접촉부를 열화시킬 수 있고 위험한 상황을 일으킬 수 있다.

고체 스위치(solid-state switch)는 제어된 전압 인가를 통해 전도 상태와 비전도 상태 사이에서 스위칭하도록 고속 애플리케이션에 이용되어 왔다. 고체 스위치는 비전도 상태에 있을 때 접촉부 사이의 물리적 간격을 제공하지 않기 때문에, 통상적으로 누설 전류가 존재한다. 고체 스위치는 장치의 내부 저항으로 인해 전도 상태에 있을 때 전압 강하를 또한 나타낸다. 전압 강하 및 누설 전류에 따라, 정상 작동 조건 하에서 전력이 손실되고 열이 발생한다. 이는 스위치 성능 및 스위치 수명에 해로운 영향을 미친다. 고체 스위치와 연계된 내재적 누설 전류로 인해, 고체 스위치를 회로 차단기 애플리케이션에 사용하기가 꺼려지게 된다.

발명의 내용

해결하려는 과제

마이크로 전기 기계 시스템(MEMS)에 기초한 스위칭 장치는 소정의 애플리케이션에 대해 매크로 전기 기계 스위치 및 고체 스위치에 대한 잠재적 대안으로 간주된다. 이는 MEMS 기반 스위치가 전류 전도 상태로 설정될 때 낮은 저항을 갖는 경향이 있고 비전도 상태로 설정될 때 누설을 보이지 않기 때문이다. 더욱이, MEMS-기반 스위치들은 종래의 전기 기계식 스위치에 비해 빠른 반응 시간을 나타낼 것으로 기대된다.

과제의 해결 수단

방법의 실시예 중 하나에서, 기판이 제공되고, 기판 위에 제거 가능 층이 형성된다. 제거 가능 층 위에 적어도 50 원자퍼센트의 금속을 포함하는 금속층이 형성된다. 금속층이 패터닝되고 에칭되어 제거 가능 층 위에 구조

물을 형성한다. 제거 가능 층이 제거되고, 금속층 위에 밀폐형(hermetic) 밀봉 캡을 접합하는 데 필요한 시간 보다 긴 시간 동안 금속층이 가열된다.

[0008] 다른 실시예에서, 장치는 기관과, 증착 프로세스를 이용하여 기관 위에 형성되는 금속층을 포함하며, 상기 증착 프로세스에서 이러한 전도층은 사전 결정 가능한, 증착 상태의 결합 밀도를 갖는 것을 특징으로 한다. 제작 프로세스의 결과로, 전도층의 결합 밀도는, 유사한 증착 조건 하에서 형성되는 그리고 유사한 조성을 갖는 동일 층 또는 다른 층의 사전 결정 가능한 증착 상태의 결합 밀도에 비해 상대적으로 감소한다.

[0009] 첨부 도면을 참조하여 다음의 상세한 설명을 읽을 때 이러한 및 그외 다른 특징, 형태, 및 장점이 쉽게 이해될 것이다.

도면의 간단한 설명

[0010] 도 1은 일례의 실시예에 따라 구성되는 스위치 구조의 개략적 사시도,

도 2는 도 1의 스위치 구조의 개략적 측면도,

도 3은 도 1의 스위치 구조의 개략적 부분 사시도,

도 4는 개방 위치에서 도 1의 스위치 구조의 개략적 측면도,

도 5는 폐쇄 위치에서 도 1의 스위치 구조의 개략적 측면도,

도 6a 내지 도 6c는 접촉 및 비접촉 위치 사이에서 보의 움직임을 나타내는 도 1의 스위치 구조의 측면도,

도 7은 다른 일례의 실시예에 따라 구성되는 스위치 구조의 개략적 측면도,

도 8은 도 7의 스위치 구조의 개략적 측면도,

도 9는 도 7의 스위치 구조의 개략적 부분 사시도,

도 10a 내지 도 10f는 일례의 실시예에 따라 구성되는 스위치 구조를 제작하기 위한 프로세스를 나타내는 개략적 측면도,

도 11은 다른 일례의 실시예에 따라 구성되는 스위치 구조의 개략적 사시도,

도 12는 도 11의 스위치 구조의 개략적 측면도,

도 13은 도 11의 스위치 구조의 개략적 부분 사시도,

도 14는 또 다른 일례의 실시예에 따라 구성되는 스위치 구조의 개략적 사시도,

도 15는 도 14의 스위치 구조의 개략적 측면도,

도 16은 도 14의 스위치 구조의 개략적 부분 사시도,

도 17은 또 다른 일례의 실시예에 따라 구성되는 스위치 구조의 개략적 사시도,

도 18은 또 다른 일례의 실시예에 따라 구성되는 스위치 구조의 개략적 측면도,

도 19a는 입계(gain boundary) 형성을 위한 여러 배향 만남의 원자면들을 도시하는 입계의 필터 투파 전자 현미경(TEM) 이미지,

도 19b는 비교적 저온 열처리 이후 도 19a에 도시된 것과 유사한 입계의 필터 투파 전자 현미경 이미지,

도 20a 및 도 20b는 열처리 후 샘플 내 개선된 변형 저항을 도시하는 응력 완화 검사의 결과를 도시하는 도면.

발명을 실시하기 위한 구체적인 내용

[0011] 도면 전체를 통해 유사한 도면 부호들은 유사한 특징부를 표시한다.

[0012] 첨부 도면을 참조하여 예시적인 실시예들이 이제 설명된다. 이러한 실시예 중 일부는 상술한 및 그외 다른 필요사항을 해결할 수 있다. 도 1 내지 도 3을 참조하면, 일례의 실시예에 따라 구성되는 스위치 구조(100)가 여러 도면에 걸쳐 도시된다. 일례의 스위치 구조(100)는 전도성 물질(예를 들어, 금속)을 적어도 부분적으로 포함하는 접촉부(102)를 포함한다. 스위치 구조(100)는 전도성 물질(예를 들어, 금속)을 포함하는 외팔보(cantilevered beam)(104)로 도시되는, 전도성 요소를 또한 포함한다. 보의 외팔부(cantilevered

portion)(104a)는 접촉부(102) 위로 연장된다. 일부 실시예에서, 전도성 요소는 접촉부(102)와 접촉하도록 의도된 보의 부분을 따라 배치되는 접촉 패드 또는 보(104) 상의 보호(및 가능하다면 비전도성) 코팅과 같은 다른 특징부들을 또한 포함할 수 있다. 보(104)는 앵커(106) 및 베이스(107)에 의해 지지될 수 있고, 이러한 앵커(106) 및 베이스(107)로부터 외팔부(104a)가 연장되고 앵커(106) 및 베이스(107)는 보와 일체형으로 구성될 수 있다. 앵커 및 베이스는 보의 외팔부(104a)를, 도시되는 기판(108)과 같은 아래의 지지 구조에 연결하는 기능을 한다. 도 1 내지 도 3에 도시되는 스위치 구조(100)의 실시예에서, 접촉부(102) 및 앵커(106)는 종래의 마이크로 제작 기술(예를 들어, 전기도금, 기상 증착, 포토리소그래피, 습식 및/또는 건식 에칭, 등)을 이용하여 기판(108) 상에 형성된다.

[0013] 스위치 구조(100)는 마이크로 전기 기계 장치 또는 나노 전기 기계 장치, 또는 마이크로 전기 기계 시스템(MEMS)의 일부분을 구성할 수 있다. 예를 들어, 접촉부(102) 및 보(104)는 수 나노미터 또는 수십 나노미터, 또는 마이크로미터 수준의 치수를 가질 수 있다. 일 실시예에서, 보(104)는 $10^8/\text{m}^2$ 보다 크거나 동일한 표면적/부피 비를 가질 수 있고, 다른 실시예에서, 이 비는 $10^3/\text{m}^2$ 에 가까울 수 있다.

[0014] 다양한 구성요소들 간에 전기적 연결을 제공하도록 기능하는, 예를 들어, 금속 산화물 반도체 전계 효과 트랜지스터(MOSFET) 및 패터닝된 전도층(도시되지 않음)을 포함하는, 접적 회로가 기판(108) 상에 형성될 수 있다. 이러한 패터닝된 전도층은 접촉부(102) 및 보(104)에 대해 전기적 연결을 또한 제공할 수 있고(보에 대한 연결은 예를 들어 앵커(106)를 통해 이루어짐), 이러한 연결은 도 1 및 도 2에 개략적으로 도시되고 아래에서 설명된다. 반도체 소자 및 전도층, 예를 들어, 스위치 구조(100)의 특징부들은, 종래의 마이크로 제작 기술을 이용하여 제작될 수도 있다. 일 실시예에서, 기판(108)은 하나 이상의 MOSFET을, 스위치 구조(100)와, 웨이퍼의 표면 상에 형성되는 다른 회로와 함께 포함하도록 처리된 단결정 반도체 웨이퍼의 일부분일 수 있다. 스위치 구조(100)는 (웨이퍼 표면에 대한 법선을 따라) MOSFET 중 하나 위에 배치될 수 있고, MOSFET과 함께 작동할 수 있다.

[0015] 도 4 및 도 5를 또한 참조하면, 보(104)는 보가 이격 거리(d)만큼 접촉부(102)로부터 이격되는 제 1의, 비접촉, 또는 "개방" 위치(도 4에 도시됨)와, 보가 접촉부(102)와 전기적으로 접촉하게 되는 제 2의, 접촉 또는 "폐쇄" 위치(도 5에 도시됨) 사이에서 선택적으로 이동가능하게 구성될 수 있다. 예를 들어, 비(104)은 접촉 위치와 비접촉 위치 사이에서 이동할 때 변형을 행하도록 구성될 수 있어서, 보가 비접촉 위치에서 자연스럽게 배치되고(즉, 외부 인가 힘이 없음), 역학적 에너지를 내부적으로 저장하면서 접촉 위치를 점유하도록 변형될 수 있다. 다른 실시예에서, 보(104)의 변형되지 않은 구조가 접촉 위치일 수 있다.

[0016] 스위치 구조(100)는, 적절히 충전될 때 전극과 보(104) 사이에 전위차를 제공하는 전극(110)을 또한 포함할 수 있고, 이에 따라, 접촉부(102)에 대향하여 전극을 향해 보를 당기는 정전력이 나타난다. 충분한 전압을 전극(110)에 인가함으로써, 이러한 정전력이 보(104)를 변형하여 보를 도 4에 도시되는 비접촉 위치(즉, 개방 위치 또는 비전도 위치)로부터 도 5에 도시되는 접촉 위치(즉, 폐쇄 위치 또는 전도 위치)로 변위시킨다. 따라서, 전극(110)은 스위치 구조(100)에 대해 "케이트"로 작용할 수 있고, 전극(110)에 인가되는 전압("케이트 전압"이라 불림)은 스위치 구조를 개방하거나 폐쇄하는 기능을 한다. 전극(110)은 케이트 전압 소스(112)와 연결되어, 케이트 전압(V_G)이 전극(110)에 선택적으로 인가될 수 있다.

[0017] 접촉부(102)와 보(104)는 회로(114)의 구성요소이다. 예시적인 회로(114)는, 서로 분리될 때 서로 다른 전위에 놓이는 제 1 측부(116) 및 제 2 측부(118)를 갖는다[측부 중 하나만이 전력 공급원(120)에 연결됨]. 접촉부(102) 및 보(104)는 회로(114)의 측부(116, 118)에 각각 연결될 수 있어서, 제 1 위치 및 제 2 위치 사이에서의 보의 변형은 각각 전류를 통과시키고 차단시킬도록 작용한다. 보(104)는 스위치 구조(100)가 사용되는 애플리케이션에 의해 결정되는 주파수(균일할 수도 있고 균일하지 않을 수도 있음)에서 접촉부(102)와 접촉하도록/접촉하지 않도록 반복적으로 이동할 수 있다. 접촉부(102)와 보(104)가 서로로부터 이격될 때, 접촉부와 보 간의 전압차는 "스탠드-오프 전압"(stand-off voltage)이라 불린다.

[0018] 일 실시예에서, 보(104)는 전력 공급원(120)과 (예를 들어, 앵커(106)를 통해) 연결될 수 있고, 접촉부(102)는 부하 저항(R_L)을 갖는 전기 부하(122)와 연결될 수 있다. 전력 공급원(120)은 전압 소스 또는 전류 소스로 작동할 수 있다. 보(104)는 전기적 접촉부로 작용하여, 보가 접촉 위치에 있을 때, 부하 전류(예를 들어, 약 1kA 또는 그 미만의 발진 주파수와 약 1mA 보다 크거나 동일한 진폭을 가짐)를 전력 공급원(120)으로부터 보(104)를 통해 접촉부(102) 내로 그리고 전기 부하(122)로 흐르게 하며, 그렇지 않을 경우 이러한 전기적 경로를 차단시켜서 보가 비접촉 위치에 있을 때, 전력 공급원으로부터 부하로 전류의 흐름을 방지한다. 상술한 전류 및 스위

청 주파수는 비교적 높은 전력 분배 애플리케이션에서 사용될 수 있다. (비교적 낮은 전력에서 작동하는 경우가 잦은) 스위치 구조(100)가 시그널링 범주에서 사용되는 애플리케이션과 같은, 다른 실시예에서, 전력 공급원(120)은 1kHz보다 큰 발진 주파수와 함께 100mA 또는 그 미만(그래서 1μA에 이름)의 크기를 갖는 전류를 제공할 수 있다.

[0019] 상술한 스위치 구조(100)는 전체 회로의 전류 및 전압 용량을 증가시키기 위해, 유사한 또는 유사하지 않은 설계를 갖는 다른 스위치 구조를 포함하는 회로의 일부분으로 이용될 수 있다. 이러한 스위치 구조는 직렬 또는 병렬로 구성되어, 스위치 구조가 개방된 상태일 때 스탠드-오프 전압의 균등한 분포를 촉진시키고 스위치 구조가 폐쇄된 상태일 때 전류의 균등한 분포를 촉진시키게 된다.

[0020] 스위치 구조(100)의 작동 중, 보(104)는 제 1 위치와 제 2 위치 사이에서 보를 [접촉부(102)와 접촉하거나 접촉부(102)와 이격되도록] 변형시키는, 상술한 전극(110)에 의해 구축되는 정전력과 같은 외부 인가 힘을 받을 수 있다. 스위치 구조(100)는 상온에서 작동할 수 있고 40°C까지 또는 40°C 이상에서 작동할 수 있고, 하지만, 보를 실질적으로 형성하는 물질의 용점의 50%보다, 또는 용융점의 30%보다 낮은 온도에서 작동하는 경우가 많다. 더욱이, 스위치 구조가 수십 년의 유효 수명을 가질 것이라 예상되는 애플리케이션(예를 들어, 비교적 높은 전력 분배 애플리케이션)의 경우에, 보(104)는 적어도 10⁴초, 일부 경우에 10⁶초 이상, 심지어 10⁹초 이상의 누적 시간 동안 접촉부(102)와 접촉한 상태로 유지될 수 있다. 더욱이, 접촉부(102)와 전기적으로 연결되거나 물리적으로 접촉하도록 변형될 때, 보(104)는 비교적 높은 응력을 받을 수 있다. 응력의 크기는 부분적으로, 스위치 구조(100)의 기하 구조와, 보의 물질 조성에 따라 좌우된다.

[0021] 위의 한가지 예로서, 스위치 구조(100)의 외팔보(104)는 12 원자퍼센트의 텅스텐(W)을 함유한 니켈(Ni) 포함층 또는 20 원자퍼센트의 텅스텐(W)을 함유한 니켈(Ni) 포함층일 수 있고, 그 길이(L)는 약 100μm, 종횡비(두께(t)에 대한 길이(L))는 약 25 대 1, 접촉부(102)로부터의 이격 거리(d)는 약 1μm 내지 3μm이며, 접촉부는 보의 자유 단부에 대향하여 위치하고 거리(Lo)만큼 보와 겹쳐진다. 이러한 기하구조의 경우에, 보가 접촉부(102)와 접촉하도록 변형될 때, 100MPa보다 큰, 예를 들어, 600MPa 또는 그보다 큰 응력이 보(104) 또는 앵커(106)의 실질적 부분에 존재할 수 있다. 보(104) 또는 앵커(106)는 정상 이용 조건 하에서 파괴 없이, 10⁴초 이상 또는 10⁹초 이상 이러한 응력에 견딜 것을 요구받을 수 있다. 이러한 응력은 기하구조적 불규칙성, 표면 돌기(surface asperity), 및 결함 주변과 같은 응력 집중 영역 주위로 존재할 수 있는 국부화된, 일시적인 응력과 구분될 수 있다.

[0022] 외팔보(또는 그외 다른 변형가능한 접촉 구조) 및 관련 접촉부를 포함하는 스위치 구조(예를 들어, 스위치 구조(100))의 적절한 작동을 위해, 보를 접촉부와 물리적으로 접촉하게 하는 외부 힘(예를 들어, 전극(110)과 연계된 게이트 전압의 인가로부터 나타나는 정전력)의 존재 또는 부재에 의해 제시하는 바와 같이 접촉 위치 또는 비접촉 위치를 보가 선택적으로 가정함을 의도하는 경우가 자주 있다. 그러나, 많은 연구자들이 관찰한 바에 따르면, 금속, 마이크로미터-스케일, 외팔보(또는 다른 변형가능한 접촉 구조)를 포함하는 스위치 구조가 오작동하여, 스위치 구조의 거동이 의도한 바에 따르지 않는 경향이 있다. 이러한 오작동은 표면 접착 관련 문제점에 일반적으로 기인한다. 특히, 마이크로미터-스케일 보(또는 다른 변형가능한 접촉 구조)에 존재하는 큰 표면적/부피 비에 비추어볼 때, 보가 관련 접촉 패드와 접촉할 때의 자유 표면의 제거와 관련한 에너지 감소는 영향 있는 인자일 수 있고, 변형 중 보에 저장되는 역학적 에너지에 의해 큰 값일 수도 있다. 따라서, 외팔보 및 관련 접촉부를 접촉하게 하는 외부력의 제거에 이어, 외팔보 및 관련 접촉부는 서로 부착 상태를 유지하며, 이는 보의 내부 응력 에너지가 보를 접촉부로부터 분리하도록 유도하기에 불충분하기 때문이다.

[0023] 지배적인 이론에 반해, 출원인이 관측한 바에 따르면, 금속, 소-스케일 외팔보를 포함하는 스위치 구조의 파괴는 보 및 관련 접촉부의 접착에 주로 기인하는 것이 아니라, 보의 변형되지 않은 구조의 변화에 상당히 기인할 수 있다. 즉, 외부 힘이 인가되어 보를 관련 접촉부와 접촉하게 함에 따라, 보는 "크리프"(creep) 또는 응력 완화라고도 불리는 영구적인 시간-의존적 소성 변형을 진행하게 된다.

[0024] 보가 소성 변형을 거침에 따라, 보를 접촉 구조로 이동시키는 외부 힘이 없을 때 보의 형상은, 보가 접촉 위치에 있을 때의 보의 형상과 더욱 유사하게 된다. 마찬가지로, 보가 접촉 위치에 있을 때 보와 초기에 상관된 역학적 응력 에너지는 감소하여 일부 경우에는 거의 0에 가깝게 된다. 궁극적으로, 스위치 구조는 보와 관련 접촉부 간의 부착으로 인해 파괴될 수 있으나, 이러한 파괴 메커니즘은 보조적인 것으로서, 접촉 위치에서 보와 관련된 역학적 응력 에너지의 감소에 기인할 수 있다. 다시 말해서, 스위치를 개방하려고(보를 떨어뜨리려고) 시도할 때, 보는 소정 시간 주기에 걸친 물질의 영구적 변형으로 인해 동일한 폐쇄 위치로 유지되어, 스위치를 작동하지 못하게 한다. 스위치 구조 보의 시간 의존적 소성 변형의 크기는, 이러한 장치들이 일반적으로, 보를

형성하는 금속 물질의 융점의 50% 미만, 또는 30% 미만인 온도인 주변 온도에서 작동한다는 점에서 놀라운 것이다. 일반적으로, 벌크 물질의 측정가능한 크리프를 야기하는데 융점의 30% 내지 50% 사이의 온도가 통상적으로 요구된다.

[0025] 여기서 사용되는 금속 물질이라는 용어는 하나 이상의 물질층을 가지면서, 이러한 물질층 중 하나가 적어도 50 원자퍼센트의 금속을 함유하는 경우를 의미하며, 합금일 수 있다.

[0026] 여기서 사용되는 크리프 저항(creep resistance)이라는 용어는 연속적인 하중이나 응력을 받을 때 시간 의존적인 소성 변형에 견디는 물질의 능력을 의미한다. 마찬가지로, 크리프 저항이라는 용어는 물질이 일정 응력변형을 받을 때 (예를 들어, 응력 완화 검사에서와 같이) 시간 의존적인 응력 완화에 대한 저항을 또한 나타낸다. 크리프는 일정 변형 하에서 응력의 변화 또는 일정한 하중 하에서의 형상의 변화를 포함하여, 다양한 방식으로 나타날 수 있다. 상술한 발견 사항에 비추어볼 때, 여기서 제시되는 실시예에 따르면, 보(104)는 개선된 크리프 저항을 가진 금속 물질(예를 들어, 50 원자퍼센트 이상의 금속 물질)로 실질적으로 형성될 수 있다. 즉, 물질은 상온으로부터 40°C까지 또는 40°C를 넘는 온도까지, 또는 더욱 일반적으로, 보를 실질적으로 형성하는 물질의 융점의 50% 미만까지의 범위에 걸친 온도에서 시간 의존적 변형을 방지하도록 구성 또는 처리될 수 있다. 보가 복수의 개별적인 금속 물질로 형성될 경우, 범위는 보의 실질적 부분을 구성하는 금속 중 하나의 최저 융점의 50%보다 낮을 수 있다.

[0027] "크리프 저항(creep-resistant)" 물질이라고 여기서 언급되는 시간 의존적 변형을 방지하도록 구성되는 물질은, 연속적인 하중이나 응력을 받을 때 비교적 작은 정상 상태 소성 변형 속도를 나타낸다. "작은" 소성 변형 속도를 구성하는 것은, 크리프가 발생할 수 있는 범주에 따라 좌우될 수 있다. 현재의 온도의 경우에 크리프 저항 물질은 정상 상태 소성 변형 속도가 일반적으로, 크리프 물질의 융점의 절반보다 낮은 온도에서, 예를 들어, 보를 실질적으로 형성하는 물질의 융점의 절반보다 낮은 온도에서, 물질의 회복 강도의 약 25%까지의 응력에 대해 $10^{-12}/s$ 보다 작거나 동일한 물질이다. 크리프 물질이 복수의 개별적 금속 물질로 형성될 경우, 이 범위는 크리프 물질의 실질적 부분을 구성하는 금속 중 하나의 최저 융점의 50%보다 낮을 수 있다. 더욱이, 보(104)는, 보의 역학적 거동이 구성성분인 크리프 저항 금속 물질의 역학적 거동에 의해 일반적으로 또는 실질적으로 결정될 때, 시간 의존적 변형을 방지하도록 구성되는 금속 물질로 "실질적으로 형성된다"고 간주될 수 있다.

[0028] 물질의 융점의 약 절반보다 낮은, 예를 들어, 물질의 융점의 1/3보다 낮은, 온도 범위에 있는 최대 온도에서 이 용될 때 다양한 화학적 화합물이 크리프 저항 금속 물질로 작용할 수 있다. 이러한 물질은 다양한 작동가능한 마이크로구조를 생성하도록 다양한 방식으로 합성될 수 있다. 예를 들어, 크리프 저항은, 주어진 작동 환경에서 확산 기반 회복 프로세스를 감속시키는, 융점 상승으로부터 나타날 수 있다. 크리프 저항은 마이크로구조적 조작의 결과일 수도 있다. 예를 들어, 결정질 물질은 작은 입자 크기로 형성될 수 있고, 적당한 온도(예를 들어, 금속 물질의 융점의 70%보다 낮은 온도)에서 전위 거동(dislocation motion)에 관련된 크리프를 제한할 수 있다. 결정 격자에 침가제가 고용되어, 고용 강화를 유도할 수 있고, 또는, (입계에 또는 결정 격자 내에 석출 함으로써) 다른 상을 형성할 수 있다. 침가제는, 전위 거동을 차단하고 확산을 방지하며 결정 격자 내 보이드에 대한 트랩으로 작용하는 개별적 입자로 작용할 수 있다. 일부 실시예에서, 옥사이드 또는 카바이드가 침가제로 사용될 수 있다. 일반적으로, 크리프 저항 물질의 예는, Ni-기반, 및/또는 Co-기반 초합금을 포함하는 초합금과, Ni-W 합금, Ni-Mn 합금, 소량의 Ni 및/또는 Co를 함유한 금("경질 금"), 텉스텐(W), 금속간 화합물, 고용 및/또는 제2상 강화를 거친 물질, 및 육방 구조 또는 낮은 적층 결합 에너지를 갖는 물질과 같은, 소성 변형을 방지하는 결정 구조를 갖는 물질을 포함한다.

[0029] 비교적 높은 융점을 갖는 크리프 저항 물질로부터 보(104)를 실질적으로 형성함으로써, 사용 중 심각한 크리프를 방지할 수 있고, 따라서, 보와 접촉부(102) 사이의 이격 거리 d가 꽤 일정하게, 예를 들어, 1년의 사용 시간 동안, 일부 경우에는 20년 이상, 초기값의 20% 내지 40% 이내로, 유지될 수 있다. 다시 말해서, 보(104)가 [보가 접촉부(102)로부터 거리(d)만큼 이격되어 있는] 비접촉 위치로부터 인가된 힘에 의해 접촉 위치를 향하게 되고, 그 후 인가된 힘이 제거되는 각각의 사례에서, 보가 거리(d)만큼 접촉부로부터 이격되도록 보가 비접촉 위치로 실질적으로 되돌아갈 것이며, 이때, 거리(d)의 값은 40% 미만으로, 일부 경우에는 20% 미만으로 변화한다.

[0030] 예시적인 크리프 저항 물질은 Ni 및 W를 포함하는 합금이다. 출원인이 발견한 바에 따르면, 적어도 65 원자퍼센트의 Ni과 적어도 1 원자퍼센트의 W를 함유한 합금이 개선된 크리프 저항을 나타낸다. 이러한 크리프 저항을 나타낸다고 출원인이 발견한 합금의 한가지 구체적인 예는, 20 원자퍼센트의 W을 함유한 Ni 물질이며, 다시 말해서, W의 조성이 물질의 20 원자퍼센트인 Ni 및 W를 함유한 물질이다. 그러나, 상술한 바와 같이, 약 1 원자퍼센트의 W로부터 약 30 원자퍼센트에 이르는 또는 그 이상의 원자퍼센트의 W를 함유하는, 실질적으로 Ni을 포

함하는 합금은, 개선된 크리프 저항을 나타낼 것으로 예상되며, 크리프가 방지되는 정도는 W 함량에 따라 스케일링될 것이다.

[0031] 여러 실시예에 따른 (예를 들어, 직류 조건 하에서 전기도금될 때) Ni 및 W의 합금은, 약 1 μ m보다 작거나 동일한 평균 입자 크기를 가지며, 일부 경우에는 10nm 수준까지 작아진 평균 입자 크기를 갖는다. 예를 들어, 80 원자퍼센트의 Ni과 20 원자퍼센트의 W를 갖는 합금은 약 10nm 내지 100nm의 평균 입자 크기를 갖는 Ni-W 물질의 박막을 생성하도록 전기도금에 의해 형성될 수 있다. 그 후 Ni-W 박막은 예를 들어, 물질의 크리프 저항을 추가적으로 개선시키기 위해 30분 또는 그보다 많은 시간 동안 300°C 내지 450°C에서 어닐링함으로써, 고온에 노출될 수 있다. 일반적으로, 출원인이 발견한 바에 따르면, (높은 전력 분배 애플리케이션의 경우, 250°C보다 낮거나 동일한 경향이 있는) 사용 조건 중 경험하는 온도보다 높은 온도이지만 비교적 낮은 온도에 해당하는 온도에서 Ni-W 박막을 어닐링함으로써, 어닐링된 Ni-W 박막으로 형성되는 구조물이 받는 시간 의존적 변형의 크기를 제한할 수 있다.

[0032] 상술한 바와 같이, 시간 의존적 변형을 방지하도록 구성되는 금속 물질로 실질적으로 형성되는 상술한 스위치 구조(100)의 생산과 관련된 프로세스 온도는 적당하며, 450°C 미만일 수 있으나, 예를 들어, 700°C에 달하거나 그보다 높은 범위의 높은 어닐링 온도도 적절하다. 비교적 저온에서, 예를 들어, 250°C 내지 500°C 사이의 온도에서, 개선된 크리프 저항 성질을 주입하기 위해 유효 어닐링을 실행하는 능력은, 종래의 도핑 과정을 이용할 때, 실리콘으로부터 전도체를 형성하는데 요구되는 실질적으로 높은 온도(예를 들어, 900°C보다 일반적으로 높음)와 대조된다. 스위치 구조(100)의 어닐링과 관련하여 낮은 처리 온도는, 스위치 구조를 MOSFET과 같은 온도-민감 구성요소와 통합시키는 과정을 촉진시킨다.

[0033] 보(104)의 크리프 저항 물질은 Al, Ti, Cr, Mn, Fe, Co, Ni, Cu, Zn, Nb, Mo, Ag, Ta, 및 W의 임의의 조합을 포함하는 다른 이원 합금을 포함할 수 있다. 보(104)의 크리프 저항 물질은 비정질 금속을 포함할 수도 있다. 적절한 비정질 금속의 예는, 적어도 Ni, W, 및 철(Fe)의 합금을 포함하며, 이 합금은 약 80 원자퍼센트 또는 그 이상의 Ni과, 약 1 내지 20 원자퍼센트의 W과, 약 1 원자퍼센트 또는 그 미만의 Fe을 포함한다. 이 물질들은 긴 거리의 원자적 정렬이 결여되어 있다는 특징을 갖고, 일반적으로, 소성 변형에 대해 비교적 내성을 갖는다고 간주된다. 다양한 원자 크기를 갖는 경우가 많은 여러 종의 원소들을 혼합함으로써 많은 비정질 합금들이 형성되어, 구성 원자들이 액체 상태로부터 냉각 중 평형 결정질 상태로 조율될 수 없게 된다. 비정질 금속의 다른 예는, 55 원자퍼센트의 팔라듐(Pd), 22.5 원자퍼센트의 납, 및 22.5 원자퍼센트의 안티몬 합금과, 41.2 원자퍼센트의 지르코늄(Zr), 13.8 원자퍼센트의 티타늄(Ti), 12.5 원자퍼센트의 구리(Cu), 10 원자퍼센트의 Ni, 및 2.5 원자퍼센트의 베릴륨 합금과, Zr, Pd, Fe, Ti, Cu, 또는 마그네슘에 기초한 비정질 합금을 포함하지만, 이에 제한되지 않는다.

[0034] 크리프 저항 물질의 핵심 구성요소가 비자성 금속 물질일 수 있다. 예를 들어, 보(104)는 알루미늄, 백금, 은, 및/또는 구리로 형성될 수 있다. 비자성 물질의 보(104) 형성은 자기 공명 이미징 애플리케이션에서와 같이, 강한 자기장의 존재 하에 스위치 구조가 작동할 것으로 예상되는 환경에서 스위치 구조(100)의 이용을 촉진시킬 수 있다.

[0035] 출원인의 발견 측면에서, 보(104)는, 보의 실질적 부분을 구성하는 금속들 중 하나와 관련된 최소 융점의 50% 미만, 심지어 30% 미만의 온도를 포함한 이용 조건 하에서, 보를 실질적으로 형성하는 금속 물질의 시간 의존적 소성 변형으로 인한 보의 영구적인 변형을 제한하도록 구성될 수 있다. 보(104)의 영구적 변형을 제한하는 실시예에서, 보는 보의 역학적 거동이 구성요소인 금속 물질의 역학적 거동에 의해 일반적으로 또는 실질적으로 결정될 때 금속 물질로 "실질적으로 형성된다"고 간주될 수 있다. 보는 때때로 개방 위치에 배치될 수 있고, 이 경우에 보는 이격 거리(d)만큼 접촉부(102)로부터 이격된다. 다른 시기에, 보(104)는 폐쇄 위치에 배치될 수 있고, 이 경우 보는 접촉부(102)와 접촉하게 된다. 스위치 구조(100)의 작동 중, 보(104)의 영구적 변형이 제한되는 경우에, 상온과 금속 물질의 융점(또는 금속 물질이 복수의 개별 금속 물질을 포함하는 경우에, 보를 실질적으로 형성하는 금속 물질들 중 하나의 융점)의 약 절반 사이의 온도에서, 보(104)는 적어도 10⁷초의 누적 시간 동안 폐쇄 위치로 변형될 수 있다. 보(104)는, 외부 힘이 없을 때, 이러한 변형에 이어, 보(104)와 접촉부(102) 사이의 이격 거리(d)가 누적 시간 동안 20% 미만으로 변하도록 기하학적으로 구성될 수 있다. 즉, 누적 시간 중 임의의 시기에서 취한 거리(d)의 측정치가 20%를 넘지 않게 변화하는 결과를 도출할 것이다.

[0036] 예를 들어, 도 6a 내지 도 6c를 참조하면, 시간(t_0) < 0일 때, 보(104)는 제 1, 비접촉, 위치에 배치될 수 있고, 이때, 보는 접촉부(102)로부터 이격 거리(d) = d₀만큼 이격된다. 그 후 시간(t_1)=0일 때, 보를 제 2, 접

축, 위치로 변형시키도록 보(104)에 힘(F)이 인가될 수 있어서, 보가 접촉부(102)와 접촉하게 될 수 있다. 보(104)는 그 후, 힘(F)이 사라지는 시점인 시간(t_2) = 10^7 초일 때까지 제 2 위치에 유지될 수 있다. 힘(F)이 제거됨에 따라, 보(104)는 이격 거리(d) = d_1 만큼 접촉부(102)로부터 이격된 비접촉 위치를 재개할 수 있다.

[0037] 보(104)가 받는 응력이 보를 실질적으로 형성하는 금속 물질의 영구적 소성 변형을 야기하는데 필요한 값보다 작을 때, 즉, 보가 시간 의존적 소성 변형의 효과로부터 완전히 자유로울 때, $d_0 = d_1$ 이다. 영구적 소성 변형을 일으키지 않는 조건 하에서, 제 2 위치에 배치될 때 보에 저장되는 역학적 에너지의 양과, 제 2 위치에 보(104)를 유지하는 데 요구되는 힘(F)의 크기는 시간의 함수로 각각 일정하게 유지될 것으로 예상된다. 그러나, 온건한 시간 의존적 소성 변형의 조건 하에서, d_1 은 d_0 보다 작고, 보(104)는 접촉부(102) 사이의 이격 거리(d)를 보장하도록 구성될 수 있으며, 보는 스위치 구조(100)를 적절하게 기능시키도록 지정 시간 주기에 걸쳐 충분하게 유지된다.

[0038] 예를 들어, 보(104)는 $d_1 \geq 0.8d_0$ 를 보장하도록 구성될 수 있다. 보(104)는 외부 힘이 없을 때 보를 제 1 위치로(예를 들어, 20% 내로) 가정하게 하는 변형 중 충분한 에너지를 저장할 수 있다. 보(104)와 앵커(107)는 그 사이의 각도(θ)를 규정할 수 있고, 보(104)는, 보에 작용하는 외부 힘이 없을 때, 보가 제 1 위치와 제 2 위치 사이에서 변형되는 결과로, 각도(θ)가 0.5 퍼센트 미만, 일부 경우에 0.1 퍼센트 미만으로 변화하도록, 구성될 수 있다.

[0039] 출원인이 또한 발견한 바에 따르면, 예를 들어 도 1에 도시되는 바와 같이 외팔보를 포함하는 스위치 구조의 경우에, 보의 앵커(또는, 그렇지 않을 경우 보를 외팔보화하는 다른 구조)의 시간 의존적 소성 변형은, 전체 보 구조의 영구적 변화에 대한 상당한 요인이 될 수 있다. $d_1 \geq 0.8d_0$ 인 실시예에서, 보(104)는, 보가 제 2 위치로 변형될 때, 앵커에서의 최대, 비국부적, 정상 상태 변형 속도가 10^{-12} /s보다 작게 유지되도록 구성될 수 있다. 앵커(106)가 받는 총 소성 변형 응력 변형이 (보의 상당한 크리프 이전에) 보가 접촉 위치로 최초에 변형할 때 앵커에 유도되는 탄성 응력 변형의 일부 퍼센티지보다 작게 유지되도록, 보(104)가 구성될 수 있다. 예를 들어, 제 2 위치로의 보(104)의 초기 변형이 앵커(106)에 제 1 탄성 응력 변형을 유도하고 그 후 보가 적어도 10^7 초의 누적 시간 동안 제 2 위치로 변형될 경우, 앵커가 제 1 탄성 응력 변형의 약 절반보다 작은 최대, 비국부적 총 소성 응력 변형을 나타내도록 보가 구성될 수 있다.

[0040] 보(104)가 보의 변형 중 앵커(106)에 실현되는 응력을 임계값 미만으로 제한하도록 설계될 수 있고, 이러한 임계값을 넘을 경우 과도한 소성 변형이 실현된다. 이러한 임계 응력은, 물질의 조성 및 마이크로구조를 포함한, 보를 실질적으로 형성하는 물질과, 애플리케이션 내에서 감내할 수 있는 보의 형상 변화의 정도와, 보(104)가 변형되는 온도 중 적어도 하나에 좌우될 것이다.

[0041] 예를 들어, 보(104)를 실질적으로 형성하는 물질의 융점의 약 절반보다 낮은 온도에서 스위치 구조(100)가 작동하는 애플리케이션의 경우에, 출원인이 발견한 바에 따르면, 적어도 65 원자퍼센트의 니켈과 적어도 1 원자퍼센트의 텅스텐을 갖는 합금인 구성 금속 물질을 보가 포함할 때, 앵커의 비국부적 부분(즉, 고도로 국부화된 응력 집중 영역으로부터 멀리 이격된 부분)의 응력이 1000MPa보다 작을 때 수용가능한 성능(예를 들어, 10^7 초, 심지어 10^8 초에 이르는 변형 누적 시간에 걸쳐 20% 미만의, 보와 접촉부 사이의 이격 거리 변화)을 얻을 수 있다. 다른 예로서, 출원인이 발견한 바에 따르면, 앵커의 비국부적 부분(즉, 고도로 국부화된 응력 집중 영역으로부터 멀리 이격된 부분)의 응력이 45MPa보다 작을 때 1년에 걸쳐 수용가능한 성능을 얻을 수 있고, 앵커의 비국부적 부분(즉, 고도로 국부화된 응력 집중 영역으로부터 멀리 이격된 부분)의 응력이 20MPa보다 작을 때 20년에 걸쳐 수용가능한 성능을 얻을 수 있다. 이러한 예에서, 구성 금속 물질은 80 원자퍼센트의 금과 20 원자퍼센트의 니켈을 포함할 수 있다. 출원인이 또한 발견한 바에 따르면, 순수 금으로 형성된 보의 경우에, 앵커의 비국부적 부분의 응력이 25MPa보다 작을 때 1년의 시간 구간에 걸쳐 수용가능한 성능을 얻을 수 있다.

[0042] 전체적으로, 보(104)는 앵커(106)의 응력 및/또는 소성 응력 변형을 제한하도록 설계될 수 있다. 예를 들어, 도 7 내지 도 9를 참조하면, 스위치 구조(200)는 전도성 물질(예를 들어, 금속)으로 실질적으로 형성되는 외팔보(204)와 같은 전도성 요소와 접촉부(202)를 포함할 수 있다. 보(204)는 앵커(206)와 베이스(207)에 의해 지지될 수 있고, 이러한 앵커와 베이스는 보와 일체형으로 형성되어 보를 기판(208)과 같은 하부 지지 구조에 연결하는 기능을 할 수 있다. 접촉부(202)는 기판(208)에 의해 또한 지지될 수 있다. 스위치 구조(200)는 보(204)를 작동시키도록 구성되는 전극(210)을 또한 포함할 수 있다.

[0043] 다양한 물리적 및/또는 설계적 파라미터가 앵커(206)의 응력에 영향을 미칠 수 있다. 스위치 구조(200)의 특성은, 보 길이(L_B), 보 폭(w_B), 보 두께(t_B), 접촉부 길이(L_c), 접촉부 폭(w_c), 접촉부 두께(t_c), (외부 힘이 없을 때) 보-접촉부 이격 거리(d_{BC}), 전극 폭 w_E , (외부 힘이 없을 때) 보-전극 이격 거리(d_{BE}), 보 조성의 재료 성질, 및 보와 전극(21) 사이의 최대 전압 차이(V_{max}) 중 임의의 값에 의해 결정될 수 있다. 예상되는 작동 온도와 연계하여, 이러한 파라미터에 대한 값들의 선택에 기초하여, 스위치 구조는 앵커(206)의 영역에서 충분히 낮은 응력을 갖도록 생성되어, 스위치 구조(200)의 수명이 1년 이상, 심지어 20년 이상이 되게 할 수 있다.

[0044] 일부 실시예에서, 보(204)의 두께(t_B)는 적어도 $1\mu m$ 일 수 있다. 약 $1\mu m$ 또는 그 이상의 두께(t_B)는 고온에서의 차후 공정으로 인한 보의 차후 변형을 제한할 수 있다. 보(204)의 길이(L_B)는 적어도 약 $20\mu m$ 일 수 있다. 접촉부(202)는 보의 자유 단부(205)의 20% 내에 있는 중복 길이(l_o)에 의해 규정되는 영역에 걸쳐 보(204)에 대향하도록 배치될 수 있다. 전극(210)은 보(204)의 자유 단부(205)의 50% 내에 배치될 수 있고, 일부 실시예에서, 자유 단부의 20% 내지 30% 내에 배치될 수 있다.

[0045] 보(204)의 길이(L_B)는 두께(t_B)의 약 200배보다 작고, 보와 관련 접촉부(202) 사이의 이격 거리(d_{BC})의 약 1000 배보다 작다. 보(204)가 큰 종횡비를 갖거나 작은 거리만큼 접촉부(202)로부터 이격되는 경우에, 접촉 위치로 변형될 때 보에 유도되는 응력은 비교적 작을 수 있다. 그러나, 보(204)의 길이가 증가함에 따라, 주어진 영역에 배치될 수 있는 보의 수가 감소할 것이다. 더욱이, 이격 거리(d_{BC})가 감소함에 따라, 크리프 관련 변형과는 다른 파괴 메커니즘이 중요한 인자가 될 수 있다. 예를 들어, 보(204)와 접촉부(202)가 서로 접근함에 따라, 주어진 전압차에 대해 그 사이의 인력이 증가하고, 이러한 인력은 (예를 들어, 전극(210)에 전압이 없는 경우에도) 의도하지 않게 보를 접촉 위치로 안내할 만큼 충분히 크게 될 수 있다. 또한, 보(204)와 접촉부(202) 사이의 영역은 예를 들어, 전계 방출로 인한, 전기적 항복을 일으키기 쉽다.

[0046] 사용 중 주목할만한 크리프를 방지하도록 보(104, 204)를 설계함으로써, 보와 접촉부(102, 202) 사이의 이격 거리(d_{BC})가 1년까지의 이용 시간 동안, 일부 실시예에서는 20년 이상(일부 애플리케이션의 요건임)동안, 꽤 일정하게, 즉, 초기 값의 20% 내에서, 유지될 수 있다. 다시 말해서, 보(104, 204)가 인가된 힘에 의해 비접촉 위치[보가 접촉부(102, 202)로부터 거리(d_{BC})만큼 이격된 위치]로부터 접촉 위치를 향하게 되고 그 후 인가된 힘이 사라지는 각각의 사례에서, 보는 비접촉 위치로 실질적으로 복귀하여 보가 거리(d_{BC})만큼 접촉부로부터 이격되게 되며, 이격 거리(d_{BC})의 값은 20% 미만으로 변한다.

[0047] 보 물질 및 작동 온도의 선택을 포함한, 스위치 구조(200)의 상술한 설계 파라미터에 대한 값들의 선택에 기초하여, 출원인이 발견한 바에 따르면, 적어도 1년 이상, 심지어 20년 이상 스위치 구조(200)의 작동 수명을 구현할 만큼 앵커(206) 영역의 응력이 충분히 낮은[예를 들어, 보(204)와 접촉부(202) 사이의 이격 거리 변화가 20% 미만, 즉, $d_1 \geq 0.8d_0$] 스위치 구조가 생성될 수 있다. 아래의 표 1은 출원인이 이러한 수용가능한 성능을 관찰한 파라미터 값, 작동 온도, 및 보 물질의 여러 조합을 제공한다.

표 1

파라미터	Au 보	Ni - 12 원자% W 보
작동 수명(년)	20	20
작동 온도(°C)	80	200
$L_B(\mu m)$	190	95
$t_B(\mu m)$	7	3
$t_c(\mu m)$	0.3	0.3
$d_{BC}(\mu m)$	0.4	1
$L_E/L_B(\mu m)$	0.2	0.2
$V_{max}(V)$	21	120

[0049] 금속 물질로 실질적으로 형성되는 상술한 스위치 구조(100)의 생산과 관련된 프로세스 온도는 적당한 수준으로서 일반적으로 $450^{\circ}C$ 미만이다. 이는 종래의 도핑 과정을 이용할 때 통상적으로 $900^{\circ}C$ 보다 높은 실리콘으로부터 전도체를 형성하는데 요구되는 온도와 대조된다. 스위치 구조(100)와 관련된 낮은 공정 온도는 예를 들어,

MOSFET과 같은 온도-민감 구성요소들과 스위치 구조와의 통합을 촉진시킬 수 있다.

[0050] 상술한 바와 같이, 도 1의 스위치 구조(100)와 같은 스위치 구조는 종래의 마이크로제작 기술을 이용하여 기판 상에 제작될 수 있다. 예를 들어, 도 10a 내지 도 10e를 참조하면, 일례의 실시예에 따라 구성되는 스위치 구조를 생산하기 위한 제작 프로세스의 개략적 도식이 도시된다. 첫 번째로, 기판(308) 상에 전극(310) 및 접촉부(302)가 제공될 수 있다. 그 후 실리콘 다이옥사이드층(330)(제거 가능 층이라고도 불림)이, 예를 들어, 기상 증착에 의해 증착되고 패터닝되어, 전극(310) 및 접촉부(302)를 캡슐화한다(도 10a). 그 후 얇은 접착층(332)(예를 들어, 티타늄), 시드층(334)(예를 들어, 금), 및 금속층(336)(예를 들어, Ni - 4원자퍼센트 W)가 전기도금을 통해 증착될 수 있다(도 10b). 그 후 종래의 포토리소그래피를 이용하여 포토레지스트층(338)이 도포되고 패터닝되며(도 10c), 이 후, 금속, 시드, 및 접착층(336, 334, 332)이 예칭되어 보(304)를 형성하고 이어서 포토레지스트가 제거된다(도 10d). 마지막으로, 보(304)를 지지하고 전극(310) 및 접촉부(302)를 캡슐화하는 실리콘 다이옥사이드층(330)이 제거된다(도 10e). 도 10f에 도시되는 바와 같이, 스위치 구조 장치(300)는 보호 캡(340)으로 덮여서 밀폐형으로 밀봉될 수 있으며, 보호 캡(340)은 15분 동안 약 300°C 내지 450°C 범위의 온도에서, 글래스 프리트(glass frit)의 개입층(도시되지 않음)과 함께 기판(308)에 접합된다. 상술한 제작 프로세스에서, 예를 들어, 전계 증착된 구리층과 같이, 다른 제거 가능 층이 실리콘 다이옥사이드층(330) 대신에 사용될 수 있다.

[0051] 도 11 내지 도 13을 이제부터 참조하면, 다른 일례의 실시예에 따라 구성되는 스위치 구조(400)가 여러 도면에서 도시된다. 스위치 구조는 전도성 물질(예를 들어, 금속)로 실질적으로 형성되는, 외팔보(404)와 같은, 전도성 요소와 접촉부(402)를 포함할 수 있다. 보(404)는 앵커(406) 및 베이스(407)에 의해 지지될 수 있으며, 앵커 및 베이스는 보와 일체형으로 구성되어 기판(408)과 같은 하부 지지 구조에 보를 연결하는 기능을 할 수 있다. 스위치 구조(400)는 보(404)를 작동시키도록 구성되는 전극(410)을 또한 포함할 수 있다. 보(404)는 폭(w_{B1})을 갖는 제 1 보부(404a)와, 폭($w_{B2} > w_{B1}$)을 갖는 제 2 보부(404b)를 포함할 수 있다. 전극(410)은 폭(w_{B2})과 대략 동일할 수 있는 폭인 폭(w_E)을 가질 수 있다. 이러한 방식으로, 전극(410)에 의해 제공되는 작용력은 제 2 보부(404b)와 전극의 대응하는 폭을 조정함으로써 조정될 수 있다. 제 2 보부(404b)는 전극(410)의 길이(LE)와 대략 동일한 길이(L_{B2})를 또한 가질 수 있다.

[0052] 도 14 및 도 15는 다른 일례의 실시예에 따라 구성되는 스위치 구조(500)의 도면을 도시한다. 스위치 구조는 앵커(506) 및 베이스(507)에 의해 지지되는 외팔보(504)와 접촉부(502)를 포함할 수 있다. 스위치 구조(500)는 보(504)를 작동시키도록 구성되는 전극(510)을 또한 포함할 수 있다. 보(504)는 폭(w_B)을, 전극(510)은 보의 폭과는 다를 수 있는 폭(w_E)을 가질 수 있다. $w_E > w_B$ 인 경우에, 전극(510)에 의해 생성되어 보(504)에 작용하는 정전력은 보를 효과적으로 작동하게 하여, 보의 작동에 요구되는 에너지를 낮출 수 있게 한다. 접촉부(502)는 여러 개의 개별적인 접촉 구조(502a, 502b)를 포함할 수 있고, 보(504)는 각각의 접촉 구조에 전류를 병렬로, 또는 차례로 직렬로 제공할 수 있다.

[0053] 도 17을 참조하면, 일부 실시예에서, 스위치 구조(600)는 공통 제 2 보부(604c)에 연결되는 복수의 제 1 외팔부(604a, 604b)를 갖는 전도성 요소(604)를 포함할 수 있다. 도 18을 참조하면, 스위치 구조(700)는 대향된 접촉부(702)와 보(704)를 포함할 수 있다. 보(704)는 보가 작동함에 따라 접촉부(702)와 접촉하도록 구성되는 돌출부(709)를 포함할 수 있다. 보(704)의 이러한 구조는 관련 전극(710)의 두께(t_E)와 거의 동일한 두께(t_C)를 갖는 접촉부(702)를 촉진시킬 수 있다.

[0054] 실시예는 Ni-W와 같은 합금의 전계 증착으로 실시될 수 있다. 얇은 범위의 조건 하에서, 전기도금되는 Ni-W 및 그외 다른 이원 전기도금 합금은 약 10nm 수준의 평균 입도를 갖는 나노결정 물질일 수 있다. 이는 일반적으로 10 μm 내지 100 μm (10000nm 내지 100000nm) 범위의 입도를 갖는 종래의 공정 물질보다 1000배 정도 작은 수준이다. 나노결정 입도는 평형으로부터 멀어져 작동하는 전기도금 프로세스의 특성이다. 이러한 예시적인 니켈-텅스텐 합금 도금 프로세스는 ENLOY Ni-500의 명칭으로 판매되는 합금을 형성하기 위해 미국, 코네티컷 주의 West Haven에 소재한 Enthon Inc. 사로부터 공급받을 수 있다. ENLOY는 Enthon, Inc.사의 등록 상표다. 이러한 도금 프로세스는 60°C, 60mA/cm², 및 7.5의 pH에서 작동할 수 있다. 즉, 전기도금 프로세스에서 서로 위에 원자가 증착되는 속도는, 비교적 큰 입도를 갖는 저에너지 상태로 원자들이 배열될 수 있는 경우의 속도보다 빠를 수 있다. 공통적으로, 전기도금된 물질은 공격자점/보이드(vacancy/void) 및 틈새 불순물(interstitial impurity)(예를 들어, 수용액으로부터 도금 중 환원 반응의 부산물인 수소)과 같은 비교적 고밀도의 점 결함과, 전위와 같은 선 결함을 또한 포함한다. 작은 입도 및 높은 결함 밀도 때문에, 일반적으로 전기도금되는 물질,

구체적으로 Ni-W는 다른 프로세스에 의해 생산되는 합금과는 매우 다른 역학적 성질을 가질 수 있다.

[0055] 보의 물질이 500°C(또는 융점의 약 1/3) 미만의 온도에서 열처리될 때, 제한된 입자 성장이 관측되고, 마이크로 구조의 제한된 변화가 예상된다. 그러나, 도 20a 및 도 20b에 도시되는 바와 같이, 이러한 어닐링은 물질의 크리프 저항을 크게 개선시킬 수 있다. 특정 이론에 구속없이, 가열시 확산 속도가 증가함에 따라 결함 밀도가 감소할 수 있고, 크리프 저항이 개선될 수 있다. 즉, 비교적 낮은 열처리로도 불순물을 이동시킬 수 있고, 공격자점을 충전할 수 있으며, 전위를 절멸시키고, 입계를 정렬시킬 수 있으며, 이러한 과도한 결함의 제거로, 물질이 낮은 에너지 상태에 도달한다. 상술한 전기도금 프로세스를 이용하면, 증착되는 금속, 예를 들어, Ni-W와 같은 합금이, 작은 나노결정 입도와 비교적 큰 수의 냉각 결함(quenched-in defects)의 조합을 갖게 되어, 비교적 높은 에너지 상태로 귀결되게 된다. 이러한 높은 결함 밀도는 완화된(relaxed) 구조에서보다 (확산, 입계 슬라이딩, 또는 다른 메커니즘을 통해) 급속한 변형을 야기한다. 이러한 금속의 구조적 완화(relaxation)는 비교적 짧은 시간 주기동안 비교적 저온에서의 어닐링으로 실시될 수 있어서, 결함 농도를 감소시키고, 결과적으로, 크리프 저항을 개선시킨다. 예를 들어, 단 15분 동안 450°C에서 증착 물질을 가열한 후 Ni-W 내에서 H와 O의 측정가능한 감소가 관측되었다. 구체적으로, H 함량은 거의 10배 정도 감소한 걸로 관측되었고, O 함량 역시 감소하였으나, 어느 정도 주목할 수준으로 감소된 걸로 확인되었다. 추가적으로, 어닐링 시에 원자 구조의 완화가 나타나서 입계를 따라 더 큰 레지스트리(registry)를 부여하는 것을 또한 관측하였다. 도 19a 및 도 19b는 결정질 수준에서 이러한 차이를 나타내는 필터 투과 전자 현미경(filtered TEM) 이미지다.

[0056] 도 19a는 입계를 형성하기 위한 여러 종류의 배향 만남의 원자면들을 나타내는 입계를 도시하고, 도 19b는 비교적 저온의 열처리 후 입계를 도시한다.

[0057] 전계 증착된 Ni-W의 (어닐링되지 않은) 증착 상태 샘플인 도 19a의 입계는, 입자 간에 비교적 불규칙한 계면을 갖고 비교적 큰 개수의 결함을 지닌다. 대략 28개의 전위(결함)이 있었다. 도 19b는 전계 증착된 Ni-W의 유사 샘플의 열처리(어닐링) 이후 유사 입자들 사이의 계면을 따른 개선된 레지스트리를 도시한다. 이러한 어닐링은 입계를 따라 더 우수한 레지스트리를 제공한다. 레지스트리가 개선되면, 결함이 적어진다. 대략 11개의 전위가 도 19b에서 관찰된다.

[0058] 특정 이론에 구속됨이 없이, 어닐링으로부터 나타나는 구조적 완화(structural relaxation)는 MEMS 애플리케이션의 경우 역학적 성질에 상당한 영향을 갖는 것으로 나타나서, 실질적으로 개선된 수명의 장치를 도출하게 된다. 여러 MEMS 애플리케이션에서, 구성요소가 반복적, 또는, 계속적인 역학적 응력을 받을 때, 하중을 받는 구성요소가 영구적 변형을 나타내지 않아야 한다는 점은 본질적인 사항이다. 보(104)에 사용하기 적합한 일례의 전기도금된 Ni-W 물질의 성능을 평가하기 위해, Ni-W 물질의 증착 상태 및 어닐링 상태의 샘플들 사이에서 응력 완화 비교가 이루어졌다. 소성 변형에 대한 종속성이 응력 완화 검사를 이용하여 정량화되었고, 초기 응력 변형이 검사 시편에 인가되었다. 그 후 각 시편의 결과적인 하중 강하(load drop)가 소정의 시간에 걸쳐 레코딩되었다. 샘플 시편이 완화되는 정도까지, 보의 주어진 변위를 지탱하는데 요구되는 하중이 감소된다. 더 우수한 크리프 저항을 갖는 물질은 시간에 따른 완화가 적고 하중 강하가 작다. 300°C 및 400°C의 검사 온도에서 수행된 2 세트의 평가의 결과가 도 20에 도시된다.

[0059] 도 20a에 도시되는 결과로부터 알 수 있는 바와 같이, 300°C에서 수행된 검사의 경우, "열처리된" Ni-W는 "증착 상태"의 Ni-W(즉, 열처리하지 않은 동일 물질)보다 응력 완화가 적다고 나타났다. 실제로, "열처리된" 물질은 거의 10⁶초에 이르는 시간 주기동안 하중 특성에 어떤 실질적 변화를 나타내지 않았으며, "증착 상태" 물질은 동일 시간 주기 동안 약 40% 수준의 상당한 하중 강하를 나타냈다. 400°C에서 수행된 검사에 관한, 도 20b에 도시되는 결과는, 더 고온에서 "열처리된" Ni-W가 "증착 상태"의 Ni-W에 비해 응력 완화가 적다는 것을 또한 보여주었다. "증착 상태"의 총은 약 80%의 하중 변화를 나타냈으나, "열처리된" 물질은 약 25%만큼만 완화되었다.

[0060] 이 효과를 지지하는 이론이 완전하게 성립된 것은 아니지만, 증착 상태의 합금의 어닐링은 결함을 실질적으로 절멸시키고 이러한 절멸로 인해 응력 완화 성능이 개선된다고 판단된다. 증착 상태 물질(즉, 어닐링 없음)에 존재하는 큰 결함 밀도는 높은 속도의 소성 변형을 촉진시킨다. 결함 밀도가 어닐링을 통해 감소할 때, 수정된 물질은 동일 양의 영구 응력 변형을 일으키기 전에 더 긴 시간 주기 동안 높은 하중에 견딜 수 있다. 이러한 개선점은 MEMS 및 NEMS 장치에 대한 수명 개선으로 직접 변환된다. 도 19에 도시되는 결함의 관찰에 부분적으로 기초하여, 여기서 제시되는 실시예에 따른 어닐링은, 적어도 50%만큼 증착 금속층의 결함 밀도를 감소시킬 수 있고, 충분한 지속시간 동안 적정 온도에서 수행될 때, 결함 밀도가 60% 또는 70%까지, 또는 기하학적으로 필요한 결함만이 존재하는 입계 수준까지 감소할 수 있다고 판단된다.

[0061] 상술한 바와 같이, 도 1의 스위치 구조(100)와 같은 스위치 구조는 종래의 마이크로 제작 기술을 이용하여 기판

상에 제작될 수 있다. 도 10a 내지 도 10f를 다시 참조하면, Ni-W 합금을 포함하는 외팔보를 갖는 일례의 실시 예에 따라, 어닐링 단계와 함께 이러한 스위치 구조를 구성하기 위한 다른 제작 순서가 이제부터 설명된다. 이 프로세스는 종래의 실리콘 기판(308)과 함께 시작되며, 그 위에 전극(310) 및 접촉부(302)가 형성된다. 그 후 실리콘 다이옥사이드층(330)이 예를 들어, 화학 기상 증착에 의해 증착되어, 전극(310) 및 접촉부(302)를 캡슐화한다. 그 후 실리콘 다이옥사이드층(330)이 도 10a에 도시되는 바와 같이 패터닝된다. 맑은 접착층(332)(예를 들어, 티타늄)이 실리콘 다이옥사이드층(330) 위에 증착된다. 이 후, 시드층(334)이 접착층(332) 위에 증착된다. Ni-W 보를 갖는 도시되는 실시예의 경우에, 시드층은 스퍼터링된 금(Au)일 수 있다. 이후, 금속층(336)과 같은 전도층이 전기도금을 통해 증착된다. 상술한 일련의 층들이 도 10b에 도시된다. 더욱 일반적으로, 금속층(336)은 순수 금속일 수도 있고, 다양한 금속들로부터 선택된 합금일 수도 있다. 본 예에서, 금속층(336)은 20 원자퍼센트의 W를 갖는 Ni 합금을 포함하지만, 이 조성은 W의 원자퍼센트가 1% 내지 50%까지의 범위에 있을 수 있다.

[0062] 도 10c를 참조하면, 종래의 포토리소그래피 기술을 이용하여 포토레지스트층(338)이 도포되고 패터닝되며, 금속층, 시드층, 및 접착층(336, 334, 332)이 예칭되어 보(304)를 형성하게 된다. 도 10d에 포토레지스트 제거 후 완화-이전 구조가 도시된다. 일 실시예에 따르면, 24시간 동안 대략 500°C에서 완화 이전 구조에 대해 어닐링이 수행된다. 더욱 일반적으로, 약 300°C 내지 600°C의 범위에서, 또는, 전도층의 융점의 10% 내지 50%의 범위 내에서, 어닐링이 수행될 수 있으나, 더 낮은 또는 더 높은 어닐링 온도도 만족스러울 수 있다. 어닐링 시간은 1시간 미만으로부터 48시간 이상까지 범위에 놓일 수 있다. 어닐링이 수행된 후, 기판(308) 위에서 보(304)를 지지하는 실리콘 다이옥사이드층(330)이 등방성 에칭제(isotropic etchant)로 제거되어, 보(304)가 외팔보 형태를 취하며, 전극(310) 및 접촉부(302)가 더 이상 캡슐화되지 않게 된다. 결과적으로, 전극(310)은 쿨롱 전하를 제공하여 보를 변위시킬 수 있고 접촉부(302)와 보(304) 사이의 전기적 접촉을 야기할 수 있다. 도 10f에 도시되는 바와 같이, 스위치 구조 장치(300)는 보호 캡(340)으로 덮여서 밀폐형으로 밀봉되며, 보호 캡(340)은, 예를 들어, 15분 동안 약 300°C 내지 450°C 범위의 온도에서, 글래스 프리트의 개입층(도시되지 않음)을 이용하여 기판에 접합된다. 전기적 연결부(도시되지 않음)가 캡(340) 아래에서 또는 캡(340)을 통해 연장될 수 있다.

[0063] 상술한 예에서, 어닐링은 어닐링-이전 구조 상에서, 즉, 캡슐 기능의 실리콘 다이옥사이드층(330) 제거 이전에, 수행된다. 다른 실시예에서, 어닐링은 실리콘 다이옥사이드층(330)의 제거 후, 예를 들어, 보호 캡(340)의 접합과 연계하여, 수행될 수 있다. 캡(340)이 제 위치에 접합되는 것과 동시에 이루어질 경우, 온도는 48시간까지의 시간 동안 약 300°C 내지 600°C 범위에 놓일 수 있다.

[0064] 본 발명의 소정의 특징들이 예시적인 실시예를 참조하여 설명 및 도시되었으나, 수많은 변형에 및 변화가 당업자에게 명백할 것이다. 예를 들어, 예시적인 실시예를 참조하면, 도 1의 스위치 구조(100)의 전도성 요소가 외팔보에 의해 예시되고 있으나, 양단 고정 보(fixed-fixed beams), 비틀림 요소(torsional elements), 및 다이어프램(diaphragms)을 포함하는, 다른 변형가능한 접촉 구조가 또한 고려된다. 더욱이, 개시되는 실시예가 시간 의존적 변형을 방지하도록 구성된 모놀리식 금속층을 갖는 보를 설명하고 있으나, 다른 실시예는 복수의 금속 물질층을 포함하는 보를 포함하며, 그 일부 또는 전부가 시간 의존적 소성 변형을 방지하도록 구성될 수 있다. 더욱이, Ni-W 합금이 보(104)와 관련하여 설명되었으나, 예를 들어, Ni-Co, Ni-Mn, Au-W를 포함하는 다른 수많은 금속 및 합금으로부터 보 및 다른 구조가 제작될 수 있다. 다양한 합금 중 금속의 상대적 비율은 크게 변할 수 있다. 예를 들어, 보(104)용으로 사용되는 Ni-W 합금은 1 원자퍼센트 미만의 W부터 50 원자퍼센트 이상의 W까지를 함유할 수 있으나, 약 20 내지 30 원자퍼센트의 W를 함유한 합금이 더 큰 크리프 저항을 나타낼 수 있다. 또한, 개시되는 어닐링 시간 및 어닐링 온도가 예시적 값으로부터 크게 바뀔 수 있다. 예를 들어, 어닐링 시간은 1시간 미만으로부터 며칠 이상까지 범위에 놓일 수 있고, 어닐링 온도는 여기서 설명되는 예시적인 범위에 제한되지 않는다. 수많은 전기도금 프로세스가 본 발명을 실시하는데 적합하다.

[0065] 더욱 일반적으로, 여기서 설명되는 실시예 및 개념은 폭넓은 범위에 MEMS 및 NEMS에 적용가능하다. 실리콘을 포함하는 MEMS 구성요소(예를 들어, 양단 고정 보, 회전가능 기어, 비틀림 요소, 또는 다이어프램)의 동 위치 형성은, 실리콘 기판과 같은 강체형 층 상에 구성요소 층의 증착을 포함한다. 이러한 동일한 구조는 (예를 들어, 단결정 실리콘, 폴리실리콘, 다른 조성의 반도체 물질, 실리콘 다이옥사이드, 또는 심지어 세라믹층과 같은) 가요성 기판 또는 강체형 기판 상에서 현재의 설명에 따라 증착되는 금속층들로 제작될 수 있다. 이와 같은 그리고 그외 다른 구조는 본 발명에 따라 가요성 기판 위에 금속층들을 증착함으로써 제작될 수도 있다. 또한, 자립형 보(free standing beams), 양단 고정 보, 기어, 비틀림 요소, 및 다이어프램이 다양한 증착 프로세스(예를 들어, 물리적 기상 증착, 화학적 기상 증착, 스퍼터링, 무전해 증착 또는 전계 증착) 중 임의의 프로세스로 제작될 수 있다. 이러한 구조 및 그외 다른 구조가 전기 애플리케이션, 전기 기계 애플리케이션, 및 순

수 기계 애플리케이션용으로 제작될 수 있다.

[0066]

본 발명의 범위는 다음에 이어지는 청구범위에 의해서만 제한되며, 청구범위는 본 발명의 진실한 사상 내에 있는 이러한 모든 변형예 및 변화를 포함한다.

부호의 설명

[0067]

102 : 접촉부

104 : 보

110 : 전극

300 : 스위치 구조 장치

302 : 접촉부

308 : 기관

330 : 실리콘 다이옥사이드층

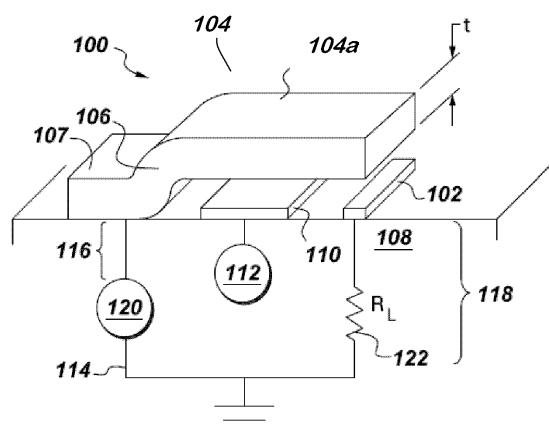
332 : 접착층

336 : 금속층

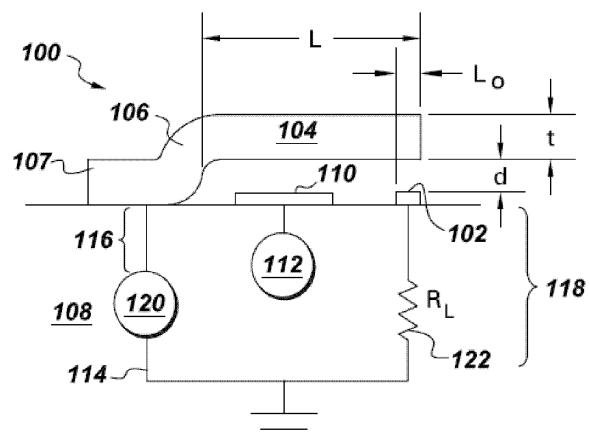
340 : 밀폐형 밀봉 캡

도면

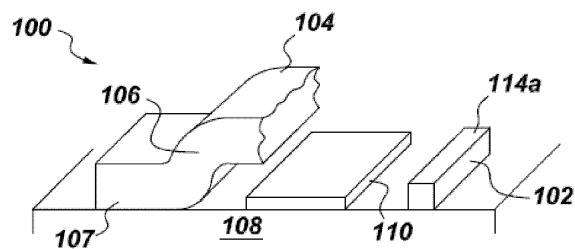
도면1



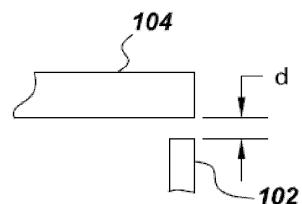
도면2



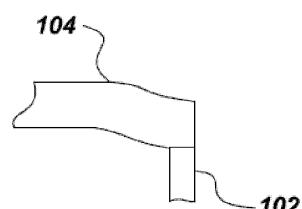
도면3



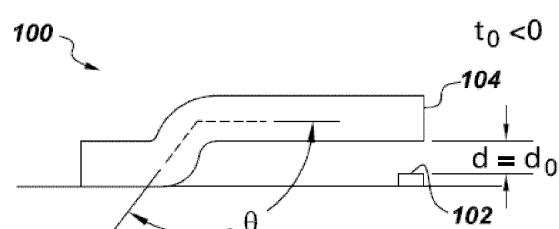
도면4



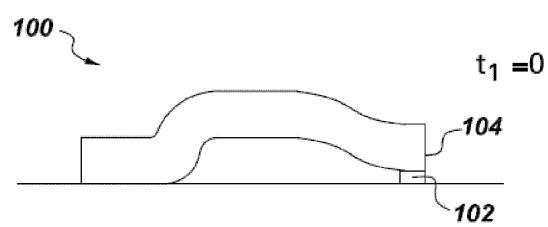
도면5



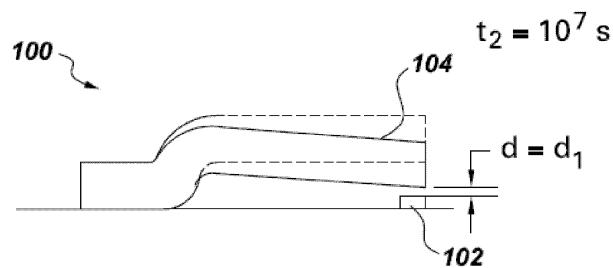
도면6a



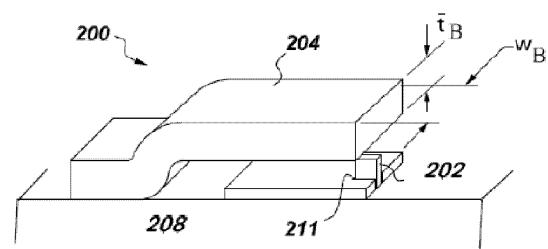
도면6b



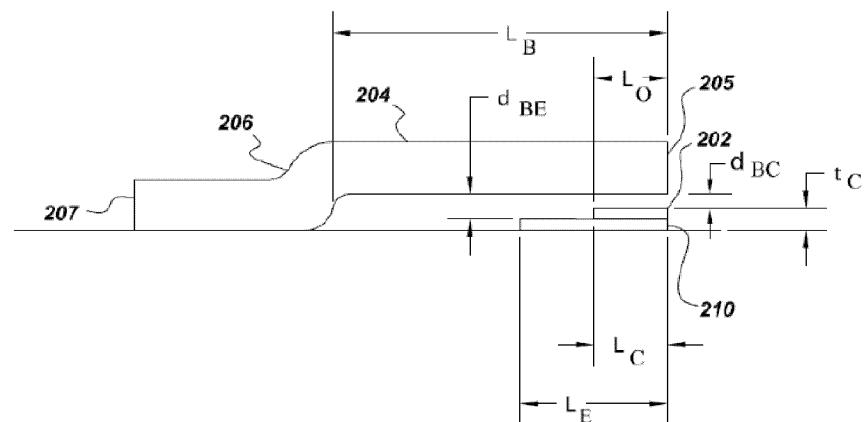
도면6c



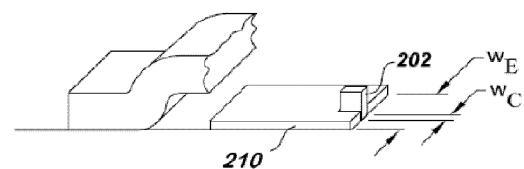
도면7



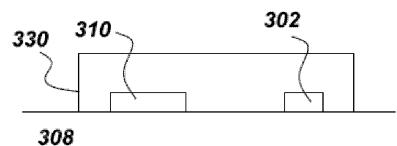
도면8



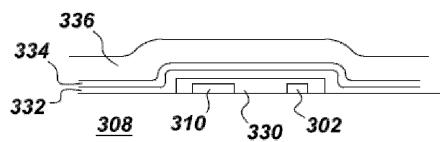
도면9



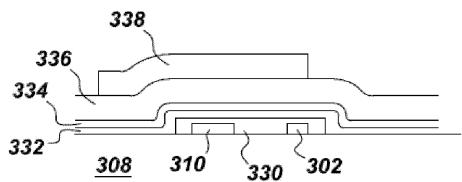
도면10a



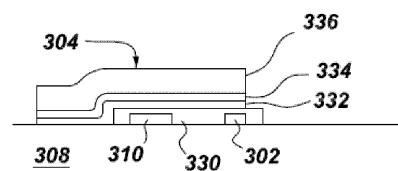
도면10b



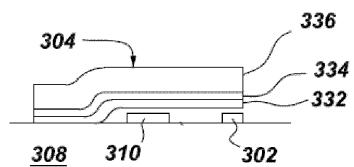
도면10c



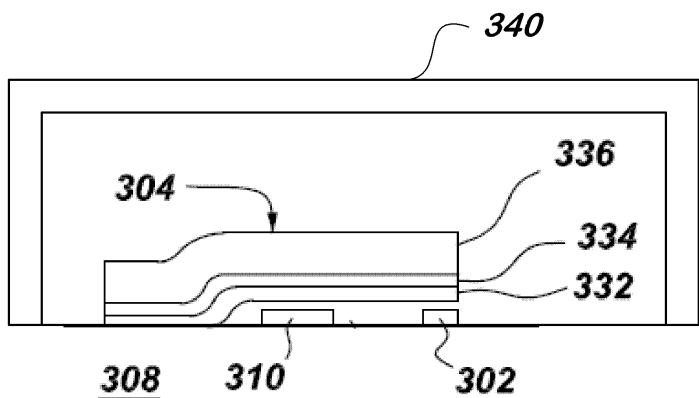
도면10d



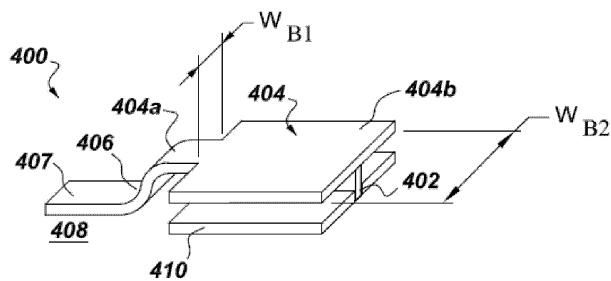
도면10e



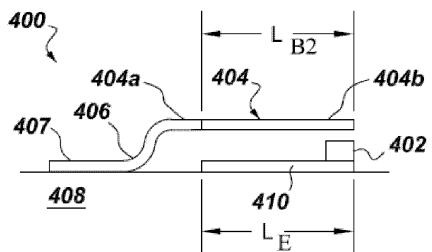
도면10f



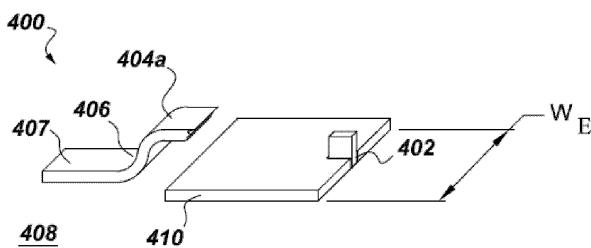
도면11



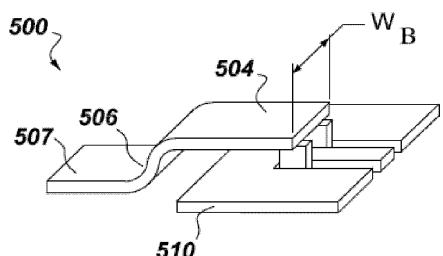
도면12



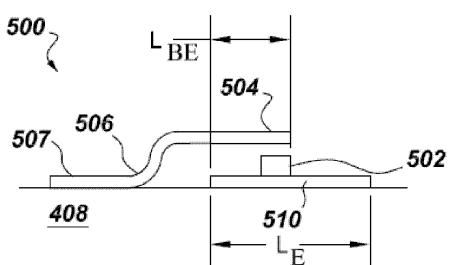
도면13



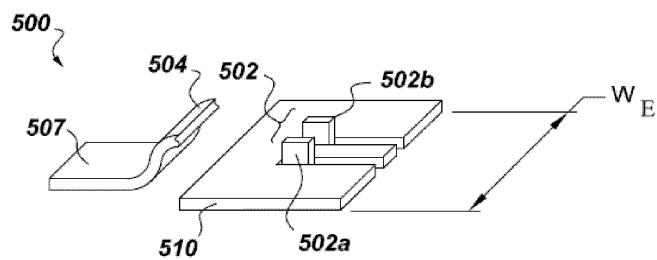
도면14



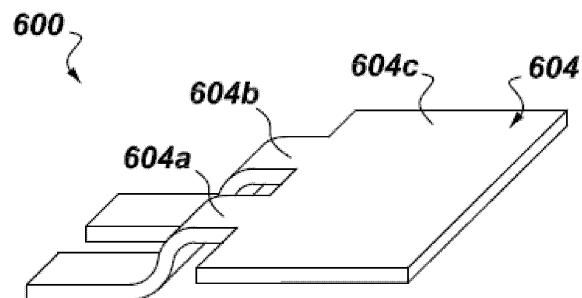
도면15



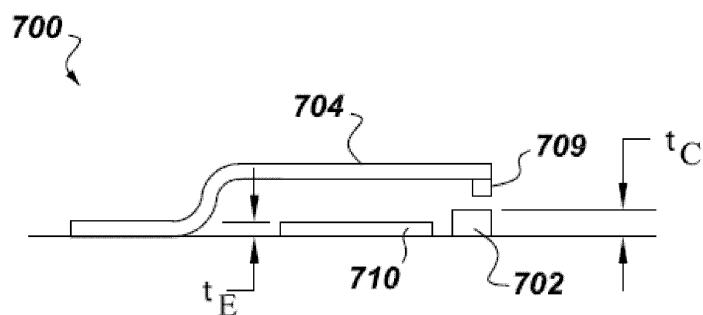
도면16



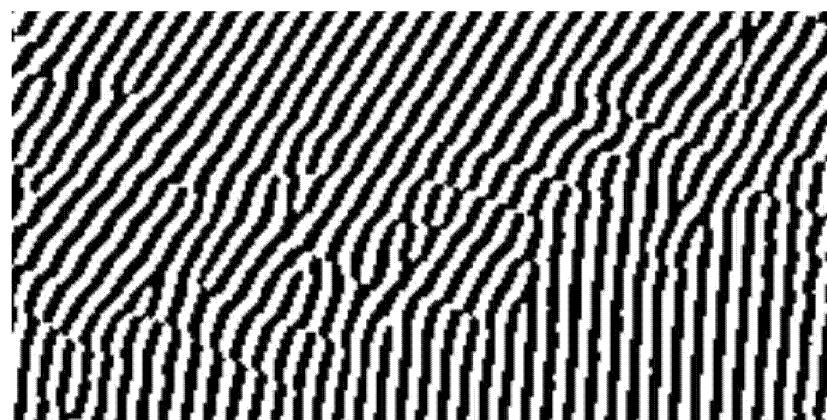
도면17



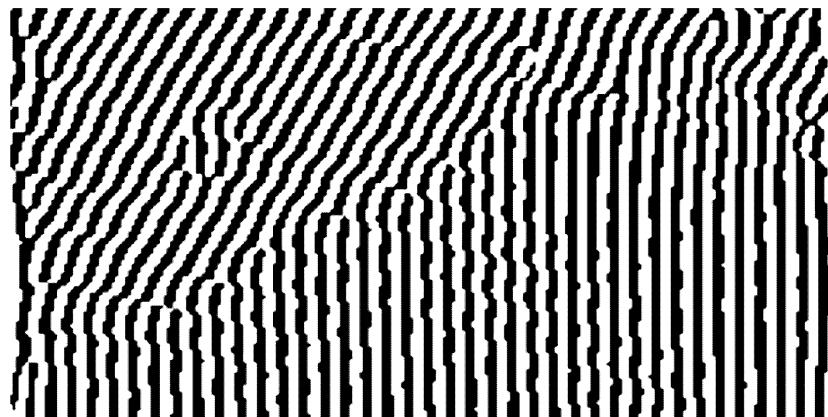
도면18



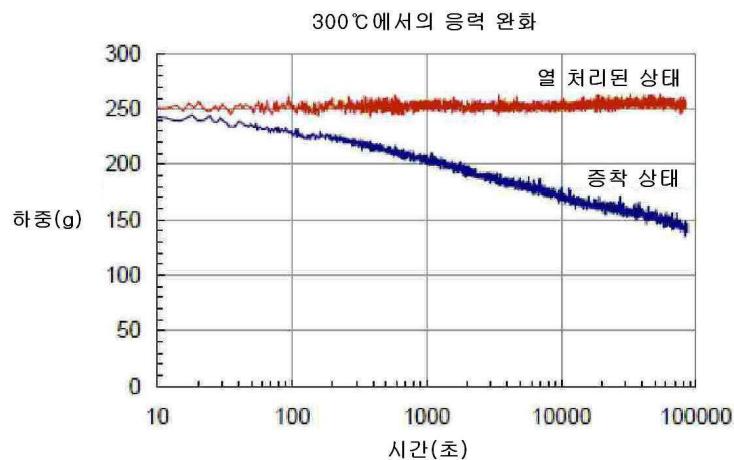
도면19a



도면19b



도면20a



도면20b

