



(19) 대한민국특허청(KR)  
(12) 등록특허공보(B1)

(45) 공고일자 2011년08월04일  
(11) 등록번호 10-1053918  
(24) 등록일자 2011년07월28일

(51) Int. Cl.  
G01L 1/00 (2006.01) G01B 15/06 (2006.01)  
G01N 23/00 (2006.01)  
(21) 출원번호 10-2010-0129904  
(22) 출원일자 2010년12월17일  
심사청구일자 2010년12월23일  
(56) 선행기술조사문헌  
KR1019990077575 A\*  
KR1020100042378 A\*  
\*는 심사관에 의하여 인용된 문헌

(73) 특허권자  
한국기계연구원  
대전 유성구 장동 171번지  
(72) 발명자  
현승민  
대전광역시 유성구 지족동 반석마을아파트 110동 904호  
황보윤  
대전광역시 유성구 장동 한국기계연구원 메카트로닉스 연구동 119호  
이학주  
대전광역시 서구 만년동 상아아파트 102-807  
(74) 대리인  
특허법인다나

전체 청구항 수 : 총 10 항

심사관 : 김명찬

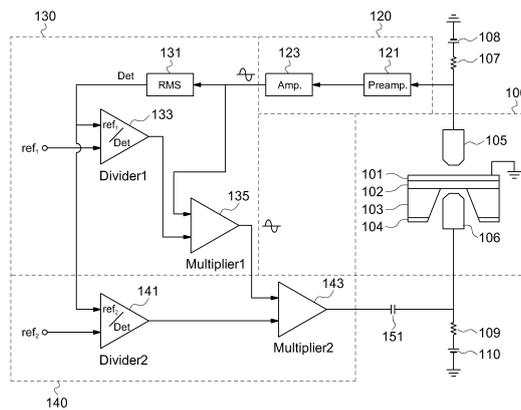
(54) 나노 금속 박막의 응력 변화 자동 측정 장치 및 방법

(57) 요약

본 발명은 매우 빠른 응답 특성을 가지고, 입력 신호와 출력 신호의 시간 지연을 최소화할 수 있으며, 공진주파수의 변화를 연속적으로 추종할 수 있는 나노 금속 박막 응력 변화 측정 장치 및 방법을 제공한다.

본원의 제1 발명에 따른 나노 금속 박막 응력 변화 측정 장치는, 시험편에 가진파를 인가하고, 인가되는 상기 가진파에 따라 공진하는 공진주파수를 측정하는 가진 및 검출부; 상기 공진주파수를 검출 가능한 전압으로 증폭하는 증폭부; 상기 증폭부로부터 출력되는 공진 주파수를 추종하여 고정 크기의 소스 신호를 생성하는 고정 신호 생성부; 및 고정 크기의 소스 신호를 상기 시험편의 편차와 무관하게 일정 크기의 출력신호로 적응시키는 적응 신호 생성부를 포함한다.

대표도 - 도1



이 발명을 지원한 국가연구개발사업

과제고유번호 2010K000196

부처명 교육과학기술부

연구관리전문기관 한국과학재단

연구사업명 교과부-국가연구개발사업(II)

연구과제명 10nm급 측정 원천기술개발(3/4)

기여율 1/1

주관기관 한국기계연구원

연구기간 2010.04.01 ~ 2011.03.31

---

**특허청구의 범위**

**청구항 1**

시험편에 가진파를 인가하고, 인가되는 상기 가진파에 따라 공진하는 공진주파수를 측정하는 가진 및 검출부;  
 상기 공진주파수를 검출 가능한 전압으로 증폭하는 증폭부;  
 상기 증폭부로부터 출력되는 공진 주파수를 추종하여 고정 크기의 소스 신호를 생성하는 고정 신호 생성부; 및  
 고정 크기의 소스 신호를 상기 시험편의 편차와 무관하게 일정 크기의 출력신호로 적응시키는 적응 신호 생성부  
 를 포함하고,  
 상기 고정 신호 생성부는,  
 상기 증폭부의 출력을 실효치로 계산하여 출력하는 실효치계산부;  
 외부에서 인가되는 제1 지령치를 상기 실효치로 나눴셈하여 출력하는 제1 계산기; 및  
 상기 증폭부의 출력과 상기 제1 계산기의 출력을 곱셈하여 출력하는 제1 승산기  
 를 포함하는 나노 금속 박막 응력 변화 측정 장치.

**청구항 2**

제1항에 있어서, 상기 가진 및 검출부는,  
 상기 시험편에 넓은 대역의 주파수를 가진 가진파를 인가하는 가진 전극; 및  
 상기 시험편 위에 배치되고, 상기 넓은 대역의 주파수 중 특정 영역의 주파수에 공진하는 공진 주파수를 검출하  
 는 검출 전극  
 을 포함하는 나노 금속 박막 응력 변화 측정 장치.

**청구항 3**

제1항에 있어서, 상기 증폭부는,  
 상기 공진주파수를 전압 형태로 변환하는 전치증폭기; 및  
 상기 전치증폭기로부터 출력되는 전압을 검출 가능한 크기로 증폭하는 증폭기  
 를 포함하는 나노 금속 박막 응력 변화 측정 장치.

**청구항 4**

삭제

**청구항 5**

제1항에 있어서, 상기 적응 신호 생성부는,  
 외부에서 인가되는 제2 지령치를 상기 실효치로 나눴셈하여 출력하는 제2 계산기; 및  
 상기 제2 계산기의 출력과 상기 제1 승산기의 출력을 곱셈하여 출력하는 제2 승산기  
 를 포함하는 나노 금속 박막 응력 변화 측정 장치.

**청구항 6**

제5항에 있어서,

상기 제1 지령치는 소정의 공진 주파수를 전압으로 환산한 값이고, 상기 제2 지령치는 상기 시험편의 온도에 따라 변화하는 상기 공진주파수의 편차를 반영한 값인 것을 특징으로 하는 나노 금속 박막 응력 변화 측정 장치.

**청구항 7**

시험편에 가진파를 인가하고, 인가되는 상기 가진파에 따라 공진하는 공진주파수를 측정하는 가진 및 검출 단계;

상기 공진주파수를 검출 가능한 전압으로 증폭하는 공진주파수 증폭 단계;

상기 공진 주파수를 추종하여 고정 크기의 소스 신호를 생성하는 고정 소스 신호 생성 단계; 및

상기 고정 소스 신호를 상기 시험편의 편차와 무관하게 일정 크기의 출력신호로 적응시키는 적응 신호 생성 단계를 포함하고,

상기 고정 소스 신호 생성 단계는,

상기 증폭 단계의 출력을 실효치로 계산하여 출력하는 실효치계산단계;

외부에서 인가되는 제1 지령치를 상기 실효치로 나눗셈하여 출력하는 제1 계산단계; 및

상기 증폭 단계의 출력과 상기 제1 계산 단계의 출력을 곱셈하여 출력하는 제1 승산단계를 포함하는 나노 금속 박막 응력 변화 측정 방법.

**청구항 8**

제7항에 있어서, 상기 가진 및 검출 단계는,

상기 시험편에 넓은 대역의 주파수를 가진 가진파를 인가하는 단계; 및

상기 시험편 위에 배치되고, 상기 넓은 대역의 주파수 중 특정 영역의 주파수에 공진하는 공진 주파수를 검출하는 검출 단계

를 포함하는 나노 금속 박막 응력 변화 측정 방법.

**청구항 9**

제7항에 있어서, 상기 공진주파수 증폭 단계는,

상기 공진주파수를 전압 형태로 변환하는 전치 증폭 단계; 및

상기 전치 증폭 단계로부터의 출력을 검출 가능한 크기로 증폭하는 증폭 단계

를 포함하는 나노 금속 박막 응력 변화 측정 방법.

**청구항 10**

삭제

**청구항 11**

제7항에 있어서, 상기 적응 신호 생성 단계는,

외부에서 인가되는 제2 지령치를 상기 실효치로 나눗셈하여 출력하는 제2 계산단계; 및

상기 제2 계산단계의 출력과 상기 제1 승산단계의 출력을 곱셈하여 출력하는 제2 승산단계를 포함하는 나노 금속 박막 응력 변화 측정 방법.

**청구항 12**

제11항에 있어서,

상기 제1 지령치는 소정의 공진 주파수를 전압으로 환산한 값이고, 상기 제2 지령치는 상기 시험편의 온도에 따라 변화하는 상기 공진주파수의 편차를 반영한 값인 것을 특징으로 하는 나노 금속 박막 응력 변화 측정 방법.

**명세서**

**기술분야**

[0001] 본 발명은 금속 박막의 응력에 따른 변화를 측정하기 위한 장치 및 방법에 관한 것으로, 상세하게는 공진 시스템을 이용하여 나노 금속 박막의 응력에 따른 변화를 자동으로 측정하기 위한 장치 및 방법에 관한 것이다.

**배경기술**

[0002] 수십 나노미터 두께의 금속(예컨대, 알루미늄 등) 박막은 NEMS(nano electromechanical system) 소자의 부품으로 사용되거나, 나노 반도체의 부품 재료 등으로 사용된다. NEMS 또는 반도체 부품으로 사용이 될 때 종종 열적 변화에 따른 나노 박막의 응력이 변하게 되어서 NEMS 또는 반도체 소자의 성능 및 신뢰성에 많은 영향을 미치게 된다. 따라서, 열적 변형에 따른 나노 금속 박막의 변형 정도를 정확히 측정하여야 NEMS또는 나노 반도체 정밀하게 디자인 할 수 있어 매우 신뢰성 있는 나노 소자들을 제조할 수 있다.

[0003] 이에 본 출원인은 2008. 10. 16자에 출원된 국내 특허출원 10-2008-101503호에서 공명현상을 이용한 나노/마이크로 스케일의 박막의 기계 전기 물성 측정 시험 장치를 제시한 바 있다. 그러나, 위 특허기술은 개루프 형태의 측정 방식이고, 수동으로 측정하는 방식이어서, 응답 특성이 느리고, 입력 신호와 출력 신호의 시간 지연이 일정하지 않을 뿐 아니라 느리며, 공진주파수의 변화를 연속적으로 추종할 수 없다는 문제점이 있다.

[0004] 따라서, 이와 같은 문제점을 해결하면서도 열에 노출되는 시간에 따라 빠르게 변하는 나노 금속 박막의 응력 변화를 정확하게 측정할 수 있는 기술이 필요하다.

**발명의 내용**

**해결하려는 과제**

[0005] 상기와 같은 문제점을 해결하기 위하여 안출된 본 발명은 매우 빠른 응답 특성을 가진 나노 금속 박막 응력 변화 측정 장치 및 방법을 제공함에 목적이 있다.

[0006] 또한, 본 발명은 입력 신호와 출력 신호의 시간 지연을 최소화할 수 있는 나노 금속 박막 응력 변화 측정 장치 및 방법을 제공함에 다른 목적이 있다.

[0007] 또한, 본 발명은 공진주파수의 변화를 연속적으로 추종할 수 있는 나노 금속 박막 응력 변화 측정 장치 및 방법을 제공함에 또 다른 목적이 있다.

**과제의 해결 수단**

[0008] 본원의 제1 발명에 따른 나노 금속 박막 응력 변화 측정 장치는, 시험편에 가진파를 인가하고, 인가되는 상기 가진파에 따라 공진하는 공진주파수를 측정하는 가진 및 검출부; 상기 공진주파수를 검출 가능한 전압으로 증폭하는 증폭부; 상기 증폭부로부터 출력되는 공진 주파수를 추종하여 고정 크기의 소스 신호를 생성하는 고정 신호 생성부; 및 고정 크기의 소스 신호를 상기 시험편의 편차와 무관하게 일정 크기의 출력신호로 적응시키는 적응 신호 생성부를 포함한다.

- [0009] 바람직하게는, 상기 가진 및 검출부는, 상기 시험편에 넓은 대역의 주파수를 가진 가진파를 인가하는 가진 전극; 및 상기 시험편 위에 배치되고, 상기 넓은 대역의 주파수 중 특정 영역의 주파수에 공진하는 공진 주파수를 검출하는 검출 전극을 포함한다.
- [0010] 바람직하게는, 상기 증폭부는, 상기 공진주파수를 전압 형태로 변환하는 전치증폭기; 및 상기 전치증폭기로부터 출력되는 전압을 검출 가능한 크기로 증폭하는 증폭기를 포함한다.
- [0011] 바람직하게는, 상기 고정 신호 생성부는, 상기 증폭기의 출력을 실효치로 계산하여 출력하는 실효치계산부; 외부에서 인가되는 제1 지령치를 상기 실효치로 나눗셈하여 출력하는 제1 계산기; 및 상기 증폭기의 출력과 상기 제1 계산기의 출력을 곱셈하여 출력하는 제1 승산기를 포함한다.
- [0012] 바람직하게는, 상기 적응 신호 생성부는, 외부에서 인가되는 제2 지령치를 상기 실효치로 나눗셈하여 출력하는 제2 계산기; 및 상기 제2 계산기의 출력과 상기 제1 승산기의 출력을 곱셈하여 출력하는 제2 승산기를 포함한다.
- [0013] 바람직하게는, 상기 제1 지령치는 소정의 공진 주파수를 전압으로 환산한 값이고, 상기 제2 지령치는 상기 시험편의 온도에 따라 변화하는 상기 공진주파수의 편차를 반영한 값이다.
- [0014] 또한, 본원의 제2 발명에 따른 나노 금속 박막 응력 변화 측정 방법은, 시험편에 가진파를 인가하고, 인가되는 상기 가진파에 따라 공진하는 공진주파수를 측정하는 가진 및 검출 단계; 상기 공진주파수를 검출 가능한 전압으로 증폭하는 공진주파수 증폭 단계; 상기 공진 주파수를 추종하여 고정 크기의 소스 신호를 생성하는 고정 소스 신호 생성 단계; 및 상기 고정 소스 신호를 상기 시험편의 편차와 무관하게 일정 크기의 출력신호로 적응시키는 적응 신호 생성 단계를 포함한다.
- [0015] 바람직하게는, 상기 가진 및 검출 단계는, 상기 시험편에 넓은 대역의 주파수를 가진 가진파를 인가하는 단계; 및 상기 시험편 위에 배치되고, 상기 넓은 대역의 주파수 중 특정 영역의 주파수에 공진하는 공진 주파수를 검출하는 검출 단계를 포함한다.
- [0016] 바람직하게는, 상기 공진주파수 증폭 단계는, 상기 공진주파수를 전압 형태로 변환하는 전치 증폭 단계; 및 상기 전치 증폭 단계로부터의 출력을 검출 가능한 크기로 증폭하는 증폭 단계를 포함한다.
- [0017] 바람직하게는, 상기 고정 소스 신호 생성 단계는, 상기 증폭 단계의 출력을 실효치로 계산하여 출력하는 실효치 계산단계; 외부에서 인가되는 제1 지령치를 상기 실효치로 나눗셈하여 출력하는 제1 계산단계; 및 상기 증폭 단계의 출력과 상기 제1 계산 단계의 출력을 곱셈하여 출력하는 제1 승산단계를 포함한다.
- [0018] 바람직하게는, 상기 적응 신호 생성 단계는, 외부에서 인가되는 제2 지령치를 상기 실효치로 나눗셈하여 출력하는 제2 계산단계; 및 상기 제2 계산단계의 출력과 상기 제1 승산단계의 출력을 곱셈하여 출력하는 제2 승산단계를 포함한다.
- [0019] 바람직하게는, 상기 제1 지령치는 소정의 공진 주파수를 전압으로 환산한 값이고, 상기 제2 지령치는 상기 시험편의 온도에 따라 변화하는 상기 공진주파수의 편차를 반영한 값이다.

**발명의 효과**

- [0020] 본 발명에 따르면, 자가 공진 시스템을 이용하여 나노 금속 박막의 응력 변화를 측정하므로 매우 빠른 응답 속도를 가진다. 따라서, 신호가 급격히 사라지는 경우에도 충분한 응답을 기대할 수 있다. 또한, 입력 신호와 출력 신호의 시간 지연을 최소화함으로써 공진 신호 검출에 영향을 미치지 않는다. 일정 크기의 소스 신호를 자체 발생할 수 있기 때문에 공진주파수의 변화를 연속적으로 추종할 수 있다.

**도면의 간단한 설명**

- [0021] 도 1은 본 발명에 따른 나노 금속 박막 응력 변화 측정 장치의 전체 블럭도, 및
- 도 2는 본 발명에 따라 측정된 온도 대비 나노 스케일 두께의 알루미늄 박막의 응력 변화 곡선이다.

**발명을 실시하기 위한 구체적인 내용**

- [0022] 이하, 본 발명의 바람직한 실시예(들)에 대하여 첨부도면을 참조하여 상세히 설명한다. 우선 각 도면의 구성요소들에 참조부호를 부가함에 있어서, 동일한 구성요소들에 한해서는 비록 다른 도면상에 표시되더라도 가능한 한 동일한 부호로 표기되었음에 유의하여야 한다. 또한, 하기의 설명에서는 많은 특정사항들이 도시되어 있는데, 이는 본 발명의 보다 전반적인 이해를 돕기 위해서 제공된 것일 뿐 이러한 특정 사항들 없이도 본 발명이 실시될 수 있음은 이 기술분야에서 통상의 지식을 가진 자에게는 자명하다 할 것이다. 그리고 본 발명을 설명함에 있어서, 관련된 공지 기능 혹은 구성에 대한 구체적인 설명이 본 발명의 요지를 불필요하게 흐릴 수 있다고 판단되는 경우, 그 상세한 설명을 생략한다.
- [0023] 도 1은 본 발명에 따른 나노 금속 박막 응력 변화 측정 장치의 전체 블록도이다.
- [0024] 본 발명에 따른 나노 금속 박막 응력 변화 측정 장치는 가진 및 검출부(100), 증폭부(120), 고정 신호 생성부(130), 및 적응 신호 생성부(140)를 포함한다.
- [0025] 가진 및 검출부(100)는 시험편에 가진파(driving wave)를 인가하고, 인가되는 가진파에 따라 공진하는 공진주파수를 측정한다.
- [0026] 시험편에서의 공진주파수 측정은 다음과 같은 방식으로 진행된다. 실리콘 나이트라이드(SiNx) 재질의 기판(104) 상에 실리콘(Si, 103) 및 실리콘 나이트라이드(SiNx, 102)가 순차적으로 적층되고, 그 위에 시험편, 알루미늄 박막(101)이 고정 배치된다. 그리고, 가진 전극(105)이 배치되기 용이하도록 기판(104)과 실리콘(103)의 중앙 부위가 식각된다.
- [0027] 알루미늄 박막(101)을 사이에 두고, 검출 전극(105)과 가진 전극(106)이 마주하도록 배치된다. 도시되지는 않았지만, 기판(104)의 일측 하부에 온도 조절이 가능한 히팅시스템이 접합되어 섭씨 20 내지 300도 범위에서 가변된다. 이에 따라 실리콘 나이트라이드(102)와 열팽창계수가 다른 알루미늄 박막에 가진 전극을 통해 넓은 대역의 주파수를 가진 가진파를 인가하면 도체인 박막이 특정 영역의 주파수에 공진하게 되며, 박막 위에 배치된 용량형 검출 전극(105, detection electrode)이 공진신호를 검출하고, 이로부터 공진주파수를 측정한다. 이때 연속적인 공진 주파수의 검출을 위하여 검출된 신호가 다시 가진 전극(106, driving electrode)으로 피드백된다.
- [0028] 증폭부(120)는 공진주파수를 검출 가능한 전압으로 증폭하는 바, 전치증폭기(121)는 검출된 공진주파수를 전압으로 변환하고, 증폭기(122)는 전치증폭기(121)로부터 출력되는 전압을 검출 가능한 정도의 크기로 증폭시킨다.
- [0029] 고정 신호 생성부(130)는 연속적인 공진 주파수를 추종하여 고정 크기의 소스 신호를 생성하는 부분으로, 증폭기(123)로부터 출력되는 공진파형의 실효치(rms)를 계산하여 출력하는 실효치계산부(131), 외부에서 인가되는 제1 지령치(ref1)를 실효치로 나눗셈하여 출력하는 제1 계산기(133), 증폭기(123)의 공진파형과 제1 계산기(133)의 출력을 곱셈하여 출력하는 제1 승산기(135)를 포함한다. 여기서, 제1 지령치(ref1)는 소망하는 공진 주파수를 전압으로 환산한 값이다.
- [0030] 적응 신호 생성부(140)는 고정 크기의 소스 신호를 시험편의 편차와 무관하게 일정 크기의 출력신호로 적응시켜 주기 위한 부분으로, 외부에서 인가되는 제2 지령치(ref2)를 실효치로 나눗셈하여 출력하는 제2 계산기(141), 및 제2 계산기(141)의 출력과 제1 승산기(135)의 출력과형을 곱셈하여 출력하는 제2 승산기(143)를 포함한다. 여기서, 제2 지령치(ref2)는 측정 대상인 금속 박막의 각 시험편마다 온도에 따라 변화하는 공진주파수의 편차를 반영한 것으로, 측정되는 공진주파수를 전압으로 환산한 값이다.
- [0031] 예컨대, 소망하는 제1 지령치(ref1)가 1볼트인 반면, 실효치가 2볼트이면, 제1 계산기(133)의 출력은  $\text{Det/Ref1} = 1/2 = 0.5$ 가 되고, 제1 승산기(135)가 0.5와 증폭기(123)의 출력( $2\sqrt{2} \sin \omega t$ )을 승산하면 소망하는 크기 ( $\sqrt{2} \sin \omega t$ )의 공진 전압 파형을 출력할 수 있다. 그런데, 알루미늄 박막의 시험편마다 온도에 따른 편차가 존재하는 바, 시험편의 온도에 따른 편차를 고려한 측정값이  $2.2\sqrt{2} \sin \omega t$ 이면, 제2 지령치(ref2)를 2.2로

하여 제2 제산기(141)의 출력은  $\text{Det/ref2} = 2/2.2 = 1/1.1$ 이 되고, 제2 승산기(143)의 출력은  $\frac{\sqrt{2}}{1.1} \sin wt$ 가 되어 증폭기(123)로부터 출력되는 공진주파수는  $2\sqrt{2} \sin wt$ 으로 시험편의 편차와 무관하게 항상 일정한 공진주파수를 유지할 수 있다.

[0032] 여기서, 응력 계산 원리는 다음과 같다.

[0033] 먼저 시편이 2 dimension으로 정의되는 플레이트 구조일 때, 공진 주파수와 잔류 응력과의 관계는 다음의 수학적식1과 같다.

**수학적식 1**

$$f_{mn} = \frac{1}{2} \sqrt{\frac{\sigma_c}{\rho} \left[ \left(\frac{m}{a}\right)^2 + \left(\frac{n}{b}\right)^2 \right]}$$

[0034]

[0035] 위 수학적식1에서 f는 공진 주파수,  $\sigma$ 는 시편 박막의 잔류응력이다.  $\rho$ 는 시편 박막의 밀도, a와 b는 시편 박막의 가로와 세로의 치수, m과 n은 공진 모드(주로 m=1, n=1)이다. 따라서, 공진 주파수와 시편 박막의 밀도, 치수들을 측정하면 위 수학적식1에 따라 응력을 구할 수 있다.

[0036] 한편, 시편이 1 dimension으로 정의되는 스트립 구조일 때, 공진 주파수와 잔류 응력과의 관계는 다음의 수학적식 2와 같다.

**수학적식 2**

$$f = \frac{n}{L} \sqrt{\frac{\sigma}{\rho}}$$

[0037]

[0038] 위 수학적식2에서 f는 공진 주파수,  $\sigma$ 는 시편 박막의 잔류응력이다.  $\rho$ 는 시편 박막의 밀도, L은 시편 박막의 길이, n은 공진 모드(주로 n=1)이다. 이에 따라, 공진 주파수와 시편의 밀도, 치수를 측정하면 위 수학적식2에 따라 응력을 구할 수 있다.

[0039] 도 2는 본 발명에 따라 측정된 온도 대비 알루미늄 박막의 응력 변화 곡선이다.

[0040] 75nm 두께의 알루미늄 박막의 온도를 섭씨 20도에서 200도까지 상승시켰다가 낮추게 되면, 알루미늄 박막의 스트레스가 변화하게 되는 것을 알 수 있다.

[0041] 1차 싸이클시 온도를 20도에서 150도까지 상승시켰다가 낮추게 되면, 응력이 100MPa까지 상승하게 되고, 2차 싸이클시 온도를 약 25도에서 200도까지 상승시켰다 낮추게 되면, 응력이 170MPa까지 상승하게 되는 것을 알 수 있다.

[0042]

[0043] 이와 같이, 본 발명의 상세한 설명에서는 구체적인 실시예(들)에 관해 설명하였으나, 본 발명의 범주에서 벗어나지 않는 한도 내에서 여러 가지 변형이 가능함은 물론이다. 그러므로 본 발명의 범위는 설명된 실시예(들)에 국한되어 정해져서는 안 되며, 후술하는 특허청구범위 뿐만 아니라 이 특허청구범위와 균등한 것들에 의해 정해져야 한다.

**산업상 이용가능성**

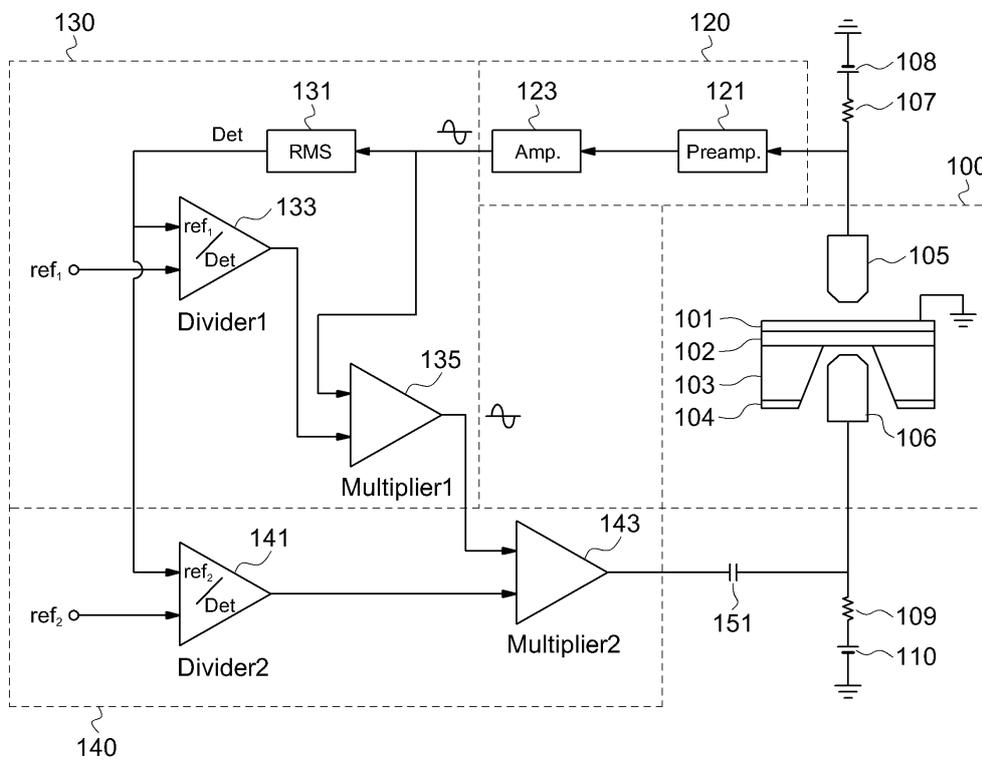
[0044] 본 발명은 나노 금속 박막의 응력 변화 측정에 사용 가능하다.

**부호의 설명**

[0045] 100: 가진 및 검출부                      120: 증폭부  
 130: 고정 신호 생성부                    140: 적응 신호 생성부

**도면**

**도면1**



도면2

