

(19)대한민국특허청(KR)
(12) 공개특허공보(A)

(51) Int. Cl.⁷
G01N 13/16

(11) 공개번호 10-2005-0071964
(43) 공개일자 2005년07월08일

(21) 출원번호 10-2004-0000376
(22) 출원일자 2004년01월05일

(71) 출원인 한국기계연구원
대전 유성구 장동 171번지

(72) 발명자 이학주
대전광역시유성구장동171한국기계연구원마이크로응용역학그룹
김재현
대전광역시유성구장동171한국기계연구원마이크로응용역학그룹
오충석
대전광역시유성구장동171한국기계연구원마이크로응용역학그룹
한승우
대전광역시유성구장동171한국기계연구원마이크로응용역학그룹
허신
대전광역시유성구장동171한국기계연구원마이크로응용역학그룹
고순규
대전광역시유성구장동171한국기계연구원마이크로응용역학그룹
최병익
대전광역시유성구장동171한국기계연구원마이크로응용역학그룹

(74) 대리인 이수완
조진태
윤중섭
이성규

심사청구 : 있음

(54) 나노 압입 시험 기능을 갖는 AFM 캔틸레버

요약

본 발명은 나노 압입 시험 기능을 갖는 원자력 현미경(Atomic Force Microscope, AFM)의 캔틸레버에 관한 것으로서, 나노 압입 시험 시 수평 방향 운동의 보상과 압입 깊이 산출 등의 문제를 해결하여 정확한 물성 측정이 가능한 AFM 캔틸레버를 제공하는 것을 목적으로 한다. 이러한 목적을 달성하기 위한 일 축 방향으로 압입 시험 기능을 갖는 본 발명의 AFM 캔틸레버는 고정 스테이지에 장착된 일단부와, AFM 팁이 장착된 타단부를 포함하고, 상기 일단부 및 타단부가 위치하는 상기 일 축을 포함하는 어느 한 평면에 대해 대칭인 중공 프레임 형상을 포함한다.

대표도

도 2a

색인어

나노, 압입 시험, 원자력 현미경, AFM, 캔틸레버

명세서

도면의 간단한 설명

도 1a는 압입 시험 기능을 갖는 종래의 AFM 캔틸레버의 개략도.

도 1b 및 도 1c는 도 1a에 도시된 종래의 AFM 캔틸레버에 의해 시편의 기계적 물성을 측정하기 위한 압입 시험을 설명하는 도면.

도 2a는 압입 시험 기능을 갖는 본 발명의 실시예 1에 따른 AFM 캔틸레버의 개략도.

도 2b는 도 2a에 도시된 AFM 캔틸레버에 의해 시편의 기계적 물성을 측정하기 위한 압입 시험을 설명하는 도면.

도 3은 압입 시험 기능을 갖는 본 발명의 실시예 1에 따른 AFM 캔틸레버의 변형예의 개략도.

도 4는 나노 압입 시험 기능을 갖는 본 발명의 실시예 1에 따른 AFM 캔틸레버가 장착된 AFM 헤드의 개략도.

도 5는 압입 시험 기능을 갖는 본 발명의 실시예 2에 따른 AFM 캔틸레버의 개략도.

<도면의 주요 부분에 대한 부호의 설명>

10, 110, 210, 310: AFM 캔틸레버

40, 140: 고정 스테이지

20, 120: AFM 팁

30, 130: 거울

50, 150: xyz 스캐너

60, 160: 시편

330: 변위 측정 센서

발명의 상세한 설명

발명의 목적

발명이 속하는 기술 및 그 분야의 종래기술

본 발명은 원자력 현미경(Atomic Force Microscope, 이하 AFM)의 캔틸레버에 관한 것으로서, 특히 나노 압입 시험 기능을 갖는 AFM 캔틸레버에 관한 것이다.

지금까지 나노 기술을 이용하여 여러 가지 소자와 부품들을 제조하는 시도가 활발하게 이루어지고 있다. 나노 기술을 이용하여 제조되는 제품들의 크기는 통상 수백 나노미터 이하인 경우가 많다. 이러한 제품들의 기계적인 성질을 예측하고, 설계 기술을 개발하기 위해서는 수백 나노미터 이하의 시편에 대한 기계적 물성 측정 기술이 필요하다. 나노 압입 시험은 이러한 나노미터 크기의 시편에 대한 기계적 물성 측정 방법으로 매우 유용하다. 현재 빠른 속도로 발전하고 있는 AFM 기술에서는 이러한 나노 압입 시험 기능을 추가하여 기존의 어떤 시험기에서도 측정할 수 없었던 작은 크기의 시편에 대하여 탄성 계수와 경도 등의 기계적인 물성을 측정하는 시도가 이루어지고 있다.

일부 상용 AFM에는 나노 압입 시험 기능을 갖는 AFM 제품을 판매하고 있다. 도 1a는 압입 시험 기능을 갖는 종래의 AFM에서 AFM 캔틸레버 부분을 개략적으로 도시한다. 일반적인 AFM 캔틸레버 및 AFM 팁은 실리콘으로 제조되나, 나노 압입 시험 기능을 갖는 AFM 캔틸레버는 스테인레스강으로 제조되고 이에 장착된 AFM 팁은 다이아몬드로 제조된다. AFM 캔틸레버(10)에서 일단부는 고정 스테이지(40)에 고정되고 타단부는 자유 단부인 형태이다. AFM 캔틸레버(10)의 상기 타단부의 일면에는 AFM 팁(20)이 부착되고 그 대향면에는 거울(30)이 장착되어 있다. AFM 본체에는 상기 거울(30)에 레이저와 같은 광(70)을 조사하기 위한 (도시되지 않은) 광원과 거울에 반사된 광을 수광하기 위한 (도시되지 않은) 수광소자가 마련되어 있다. AFM 팁(20)의 하부에는 측정을 원하는 시편(60)이 xyz스캐너(50) 상에 장착되어 AFM 팁(20)과 접촉되면서 시편(60)의 표면 측정 및 기계적 물성이 측정된다.

도 1a에 도시된 종래의 AFM에 의해 시편(60)의 기계적 물성을 측정하기 위한 압입 시험 과정을 도 1b를 참조하여 설명하면 다음과 같다. 즉, 시편(60)이 장착된 xyz 스캐너(50)가 상태 a에서 상태 b로 (z축 방향으로) 상승하게 되면 AFM 캔틸레버(10) 역시 상태 A에서 상태 B로 변형하게 되면서 AFM 팁(20)과 접촉하는 시편의 접촉면은 AFM 팁(20)에 의해 압입 변형된다. (이와 달리, 시편(50)이 장착된 xyz스캐너(50)가 고정되고 AFM 캔틸레버(10)가 고정된 고정 스테이지(40)가 이동하도록 구성될 수도 있다.) AFM 캔틸레버(10)의 변형량은 거울(30)을 통하여 반사되는 광(70)의 수광 위치를 포토다이오드와 같은 수광소자에서 검출함으로써 측정되며, 이러한 AFM 캔틸레버(10)의 변형량과 xyz스캐너(50)의 z축 방향 이동량의 차이로부터 시편의 압입 변형량이 산출된다. 이때, 도 1b에 도시된 바와 같이 AFM 캔틸레버(10)의 구조 때문에 AFM 팁은 수직 방향 운동(z_0)뿐만 아니라 수평 방향 운동(x_0)도 동시에 일어나게 된다. 통상의 AFM은 시편의 표면 형상을 측정하기 위한 것으로서, AFM 캔틸레버의 수직 운동 시에 발생하는 이러한 수평 운동은 큰 문제가 되지 않았다. 그러나 종래의 AFM에 나노 압입 시험 기능을 추가하게 되면, AFM 캔틸레버가 갖는 기구학적인 특성으로 인해 AFM 캔틸레버는

원하는 수직 방향의 압입 운동 외에 불필요한 수평 방향 운동도 발생하게 되어 아래에서 설명되는 여러 가지 문제들을 야기하게 된다. 즉, 수평 방향 운동은 기계적 물성 측정에 큰 오차 요인으로 작용하기 때문에, 이러한 수평 방향 운동에 대한 보상이 이루어져야지만 정확한 압입 변형량의 측정 결과를 얻을 수 있다.

종래의 AFM에서는 이러한 수평 방향 운동을 보상하기 위해서, 도 1c에 도시된 바와 같이 수직 방향 압입 운동 시 xyz스캐너(50)가 시편(60)을 수평방향으로 x_0 만큼 이동시킴으로써 수평 방향 운동의 영향을 제거하고 있다. 이러한 방법으로 수평 방향 운동의 영향을 제거하는 것에는 시편(60)을 이동할 때에 발생하는 진동, 시편 이동량 오차, 수평 방향 압입 운동과 시편 이동 사이의 동기(synchronization) 오차 등과 같은 여러 가지 문제들이 내재되어 있어, 이는 측정 결과의 불확도(uncertainty)를 증가시키는 원인이 된다. 더욱이, 압입 깊이 산출 시에도, 기존의 AFM에서는 압입 시험 중에 AFM 캔틸레버는 고정단을 중심으로 굽힘이 발생하기 때문에, 캔틸레버의 끝에 있는 AFM 팁의 운동은 캔틸레버와 팁의 기하학적인 형상으로부터 유추될 수밖에 없다. 그러나, 캔틸레버와 팁의 제조 시에 포함되는 기하학적인 불확실성은 압입 깊이 산출에 큰 오차요인으로 작용하게 된다. 압입 깊이는 물성 측정에 매우 중요한 원시 데이터(raw data)이기 때문에, 결국 물성 측정 결과에도 오차요인을 유발하게 된다. 따라서 AFM으로 시편의 기계적 물성을 보다 정확하게 측정하기 위해서는 기존의 AFM 나노압입 시험이 가지는 이러한 문제점들을 해결해야 한다.

발명이 이루고자 하는 기술적 과제

본 발명의 목적은 전술된 종래의 AFM에 의한 나노 압입 시험의 문제점들을 해결하기 위하여 안출된 것으로서, 나노 압입 시험 시 수평 방향 운동의 보상과 압입 깊이 산출 등의 문제를 해결하여 정확한 물성 측정이 가능한 AFM 캔틸레버를 제공하는 것이다.

본 발명의 다른 목적은 기존의 AFM 장비에 호환 가능한 나노 압입 시험 기능을 갖는 AFM 캔틸레버를 제공하는 것이다.

발명의 구성 및 작용

전술된 종래의 AFM 캔틸레버에서 발생하는 수평 운동은 AFM 캔틸레버의 기구학적 특성에서 기인한다. 본 발명은 변형 시 수평 운동이 발생하지 않는 구조를 AFM 캔틸레버에 적용하여 AFM 캔틸레버의 수평 운동에 의해 발생하는 전술된 문제를 해결한다.

전술된 본 발명의 목적을 달성하기 위한 일 축 방향으로 압입 시험 기능을 갖는 본 발명의 AFM 캔틸레버는 고정 스테이지에 장착된 일단부와, AFM 팁이 장착된 타단부를 포함하고, 상기 일단부 및 타단부가 위치하는 상기 일 축을 포함하는 어느 한 평면에 대해 대칭인 중공 프레임 형상을 포함한다.

상기 AFM 캔틸레버는 상기 일 축에 직각인 평면에 대해 대칭일 수 있다. 특히, 이러한 AFM 캔틸레버는 사각통형, 원통형, 타원통형, 구형, 또는 입체타원형 중의 어느 한 형상일 수 있다. 또한, 상기 AFM 캔틸레버에는 광을 거울이 장착되거나, 또는 AFM 캔틸레버의 상기 일단부와 타단부 사이에는 변위 측정 센서가 장착될 수 있다. 이 때, 상기 변위 측정 센서는 용량형 센서 또는 LVDT 센서를 포함할 수 있다.

이하에서는 도면을 참조하여 본 발명의 양호한 실시예에 대하여 상세히 설명하겠다.

[실시예 1]

도 2a는 나노 압입 시험 기능을 갖는 본 발명의 실시예 1에 따른 AFM 캔틸레버의 개략도를 도시한다. 도 2a에 도시된 AFM 캔틸레버(110)는 일 단부가 고정 스테이지(140)에 고정 장착되고 대향 타단부에는 AFM 팁(120)이 장착되어 있다. 이때, 상기 양 대향 단부는 z축에 평행인 선 Z-Z 상에 있고, 상기 AFM 캔틸레버(110)는 선 Z-Z에 대해 (보다 엄밀하게 말하면 yz 평면에 대해) 좌우 대칭인 중공 프레임 형상이다. 즉, 상기 고정 스테이지(140)에서 선 Z-Z에 대해 좌우 대칭으로 하향 연장된 형상의 AFM 캔틸레버 상부(110a)와, AFM 캔틸레버 상부(110a)의 단부에서 다시 좌우 대칭으로 하향 연장되어 서로 만나는 형상의 AFM 캔틸레버 하부(110b)로 구성된다. 상기 AFM 캔틸레버가 장착되는 AFM의 광원에서 나온 광을 AFM의 수광소자로 반사시키는 위치, 즉 도 1a에 도시된 종래의 AFM 캔틸레버(10)에 거울(30)이 장착된 위치에 대응하는 위치인 좌측 AFM 캔틸레버 상부(110a)의 일면에 거울(130)이 장착된다. 이러한 AFM 캔틸레버(110)는 대칭인 기하학적 형상 때문에, 도 2b에 도시된 바와 같이, xyz 스캐너(150)가 시편(160)을 z축 방향으로 상승시키는 압입 시험 중에 수평 방향(x축 방향) 운동을 유발하지 않는다. 따라서, 본 발명의 AFM 캔틸레버(110)는 압입 깊이의 산출시, 수평 방향의 운동을 보상하지 않고도 압입 깊이를 측정할 수 있다. 압입 깊이의 측정을 위한 AFM 팁의 이동량은 AFM 캔틸레버 상부(110a)의 일면에 장착된 거울(130)을 도 1a에 도시된 종래의 AFM 캔틸레버(10)에 장착된 거울(30)과 동일한 위치에 장착시키고, 도 1b를 참고로 앞에서 설명한 바와 같이, AFM 본체에 장착된 광원에서 조사된 광을 AFM 캔틸레버에 장착된 거울에 반사시켜 이를 AFM 본체의 수광소자가 받아들이는 광의 위치로부터 측정된다. 본 실시예의 AFM 캔틸레버(110)는 탄성체가기 때문에 AFM 캔틸레버 상부(110a)의 운동과 AFM 캔틸레버 하부(110b)의 운동은 서로 선형관계에 있게 되어, AFM 캔틸레버 상부(110a)의 운동으로부터 AFM 팁(120)이 장착된 AFM 캔틸레버 하부(110b)의 운동은 최소한의 오차로 계산될 수 있다. 통상의 AFM에서 AFM 캔틸레버는 소모품이므로 이는 AFM 본체에 항상 교체 가능하게 장착된다. 따라서, 이러한 본 실시예의 AFM 캔틸레버는 기존의 AFM 장비에 아무런 변경 없이 교체 장착되어 기존 AFM 장비에 적용될 수 있다.

본 발명의 실시예 1에 따른 AFM 캔틸레버(110)의 작동 원리를 좀더 상세히 살펴보면 다음과 같다. 표면 형상을 측정하기 위한 AFM이든 나노 압입 시험을 하기 위한 AFM이든, 중요한 것은 시편과 AFM 팁 사이의 상호작용을 측정하는 것이다. 기존의 AFM은 AFM 캔틸레버(10)의 변위를 레이저로 측정함으로써 시편(60)과 AFM 팁(20) 사이의 상호작용을 산출하고 이로부터 시편 표면 형상을 측정한다. AFM을 이용한 표면 형상 측정에서는 시편과 AFM 팁간의 상호 작용력과 AFM 캔틸레버의 변위에 대한 정량적인 값이 중요하지 않고, 그 상대적인 변화량만이 주된 관심사였다. 그러나, AFM을 이용하여 나노 압입 시험을 하려는 경우에는 상호 작용력과 AFM 캔틸레버의 변위에 대한 정량적인 값이 중요하며, 이를 이용하여 시편의 탄성 계수와 경도 등의 기계적인 물성을 얻게 된다. 도 2b에 도시된 본 발명의 실시예 1에 따른 AFM 캔틸레버

(110)는 대칭 구조이기 때문에 z축 방향 운동만이 나타나게 된다. AFM 팁이 시편(160)을 변형시킨 깊이, 즉 압입 깊이는 xyz 스캐너(150)의 z축 방향 변위(z_1)에서 AFM 캔틸레버(110)의 변위를 뺀 값이 된다. 또한 AFM 팁(120)과 시편(160) 사이의 상호 작용력, 즉 압입 하중은 AFM 캔틸레버의 변위와 AFM 캔틸레버의 스프링 상수를 곱함으로써 얻어진다. 기존의 AFM 캔틸레버에서도 유사한 과정으로 압입 깊이와 압입 하중을 얻을 수 있지만, 앞서 설명한 AFM 캔틸레버의 수평 방향 운동 및 회전 운동에 대한 보상이 필요하다는 단점이 있다. AFM에서 일상적으로 측정되는 변위와 하중은 nm단위, nN 단위로 매우 작은 값이므로, 보상과정 중에 포함되는 오차요인이 물성 측정에 지대한 영향을 끼치게 된다.

한편, 도 2a 및 도 2b에 도시된 AFM 캔틸레버(110)는, 도 3에 도시된 바와 같이 선 Z-Z에 대해서 뿐만 아니라 선 X-X에 대해서도 대칭인 형상으로 구성되어 안정성을 가질 수 있다. 이 때, AFM 캔틸레버(210) 상에 장착된 거울(130)도 도 1a에 도시된 종래의 AFM 캔틸레버(10)에 장착된 거울(30)과 동일한 위치에만 장착되어 종래의 AFM 캔틸레버(10)와 호환이 가능하도록 하게 한다. 한편, 도 4는 이와 같이 종래의 AFM 캔틸레버(10)와 호환이 가능한 본 실시예의 AFM 캔틸레버(210)가 AFM 헤드에 장착된 상태를 도시하고 있다.

본 실시예에서, AFM 캔틸레버(210)의 형상은 도 2a 내지 도 4에 도시된 바와 같이 xz평면에 대한 단면이 사각형인 사각형통형상뿐만 아니라 단면이 원 또는 타원인 원통형 또는 타원통형 등 yz평면에 대해 대칭인 형상 어느 것이나 가능하며, 중공의 구형 또는 입체 타원형과 같은 3차원 형상도 가능하다.

[실시예 2]

전술된 실시예 1과 같은 AFM 캔틸레버는 레이저 광을 이용하여 그 변위를 측정한다. 이러한 방법은 기존의 AFM에서 많이 사용되는 방법이지만, AFM의 구조를 복잡하게 만드는 한 가지 요인이 된다. 또한 AFM 헤드에서 AFM 캔틸레버(10, 110, 210)를 교체할 때마다 레이저 광이 AFM 캔틸레버 상의 거울(30, 130)에 입사되도록 수동으로 조작하여 설정해야 하는 번거로움이 있다. 본 실시예 2에서는 (도시되지 않은) 광원 및 수광소자를 사용하지 않고 AFM 캔틸레버의 변위를 측정할 수 있는 변위 측정 센서(330)를 도입하여 도 5와 같은 AFM 캔틸레버(310)를 제시한다.

본 실시예 2에서 AFM 캔틸레버(310)는 원형 프레임을 사용하였다. 도 5에 도시된 바와 같이, x축 및 z축에 대해 대칭인 원형의 AFM 캔틸레버(310)의 중심 내부에는, 보다 구체적으로 고정 스테이지(140)에 고정된 일단부와 AFM 팁(120)이 장착된 타단부 사이에는 z축 방향으로 변위 측정 센서(330)가 장착되어 있다. 변위 측정 센서(330)는 비접촉식 센서이면서 충분한 분해능을 갖는 센서로서, 용량형 센서 또는 LVDT(Linear Variable Differential Transformer) 센서가 사용될 수 있다. AFM 캔틸레버(310)에서는, xyz 스캐너(150)의 변위에서 변위 측정 센서(330)에서 측정된 변위값을 뺀 것으로 압입 깊이를 측정할 수 있다. 또한, 변위 측정 센서(330)에서 측정된 변위값과 AFM 캔틸레버(310)의 강성을 곱함으로써, 압입 하중을 얻을 수 있다.

본 실시예 2의 AFM 캔틸레버(310)는 원형 프레임으로 구성되어 있으나, 그 형상은 전술된 바와 같이 도 2a 또는 도 3에 도시된 형상이나 타원 등의 형상일 수 있으며 중공의 구형 프레임(즉 대칭인 형상)을 이용할 수도 있다. 즉 대칭인 구형 프레임을 사용하는 경우에는 고정 스테이지(140)에 부착되는 반구와 AFM 팁 쪽에 부착되는 반구가 각각 제작되어, 용량형 센서를 설치한 후에 서로 접합되는 구조로 제작할 수 있다.

상기 실시예 1 및 2를 포함한 본 발명에서, AFM 캔틸레버는 실제로 AFM 팁이 장착되거나 고정 스테이지에 고정 장착되기 때문에 그 형상이 기하학적으로 정확한 사각형통, 원통형, 타원통형, 구형 또는 입체 타원형이 될 수 없다. 따라서, 본 명세서에서 사각형통, 원통형, 타원통형, 구형 또는 입체 타원형은 엄밀한 기하학적 형상을 의미하는 것이 아니라 전체적인 개략적 형상을 의미한다. 또한, 본 명세서에서 본 발명의 AFM 캔틸레버가 yz평면에 대해 대칭이라 함은 z축 방향의 압입 변형시 불필요한 x축 방향의 운동의 발생을 방지하는 의미에서 대칭을 의미할뿐 수학적인 엄밀한 의미의 대칭이 아니라는 것은 본 발명의 분야에서 통상의 지식을 가진자에게 자명한 사실이다.

발명의 효과

본 발명은 기존 AFM 캔틸레버에 필연적으로 수반되었던 수평방향 운동의 문제점을 해결함으로써, AFM 팁과 시편 간의 상호작용에 대한 보다 정확한 물성의 측정을 가능하게 한다. 이는 AFM에 나노 압입 시험 기능을 부여하는 데에 매우 유리하며, AFM 나노 압입 시험뿐만 아니라, AFM의 원래 기능인 각종 표면 형상 측정에도 그대로 이용할 수 있다. 더욱이, 본 발명의 실시예 1에 따른 AFM 캔틸레버는 기존의 AFM 장비에 어떠한 변경을 가하지 않고도 교체 장착되어 기존 AFM 장비에 호환 적용될 수 있다.

(57) 청구의 범위

청구항 1.

일 축 방향으로 압입 시험 기능을 갖는 AFM 캔틸레버에 있어서,
고정 스테이지에 장착된 일단부와,
AFM 팁이 장착된 타단부를 포함하고,

상기 일단부 및 타단부가 위치하는 상기 일 축을 포함하는 어느 한 평면에 대해 대칭인 중공 프레임 형상을 포함하는 것을 특징으로 하는 AFM 캔틸레버.

청구항 2.

청구항 1에 있어서, 상기 AFM 캔틸레버는 상기 일 측에 직각인 평면에 대해 대칭인 것을 특징으로 하는 AFM 캔틸레버.

청구항 3.

청구항 1에 있어서, 상기 AFM 캔틸레버는 사각통형, 원통형, 타원통형, 구형, 또는 입체타원형 중의 어느 한 형상인 것을 특징으로 하는 AFM 캔틸레버.

청구항 4.

청구항 1 내지 청구항 3 중 어느 한 항에 있어서, 상기 AFM 캔틸레버에는 광을 반사시키는 거울이 장착된 것을 특징으로 하는 AFM 캔틸레버.

청구항 5.

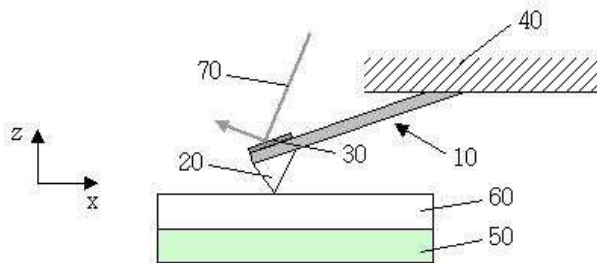
청구항 1 내지 청구항 3 중 어느 한 항에 있어서, 상기 AFM 캔틸레버의 상기 일단부와 타단부 사이에는 변위 측정 센서가 장착된 것을 특징으로 하는 AFM 캔틸레버.

청구항 6.

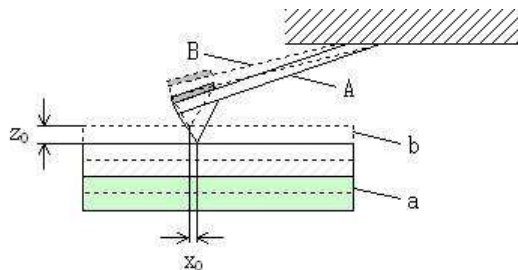
청구항 5에 있어서, 상기 변위 측정 센서는 용량형 센서 또는 LVDT 센서를 포함하는 것을 특징으로 하는 AFM 캔틸레버.

도면

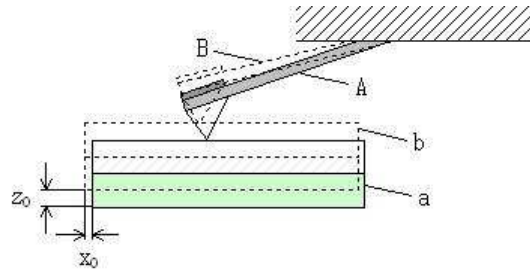
도면1a



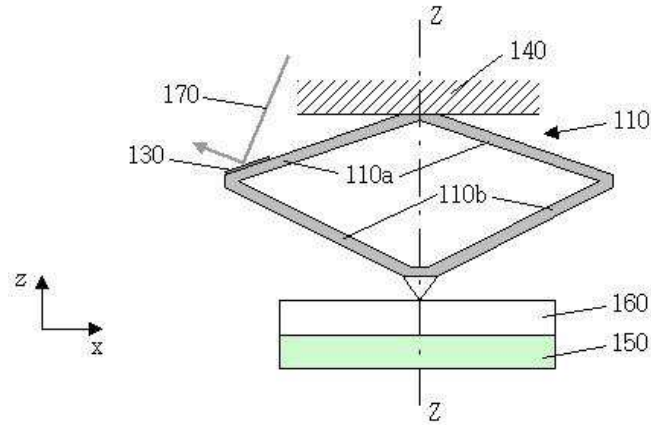
도면1b



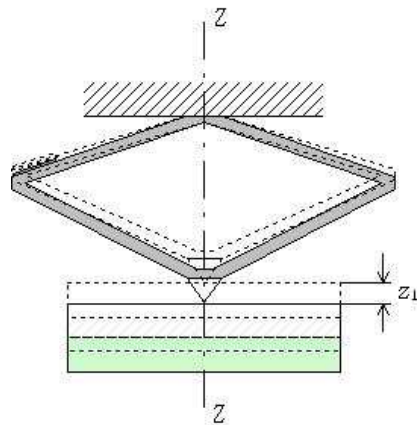
도면1c



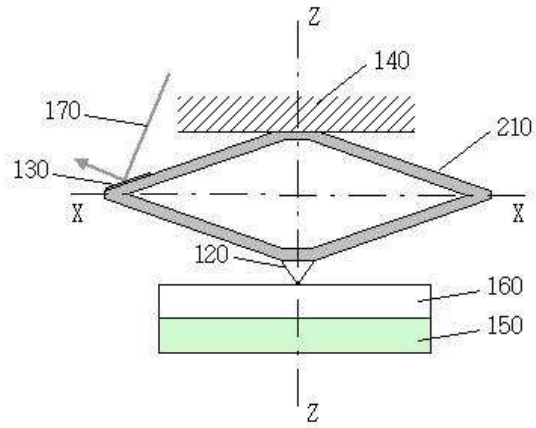
도면2a



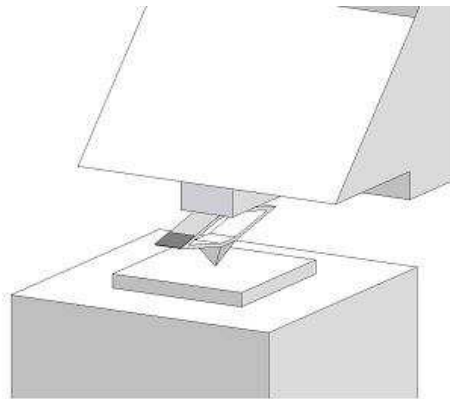
도면2b



도면3



도면4



도면5

