



(19)대한민국특허청(KR)
(12) 공개특허공보(A)

(51) 。 Int. Cl.

G12B 21/02 (2006.01)

G12B 21/08 (2006.01)

(11) 공개번호 10-2007-0074543

(43) 공개일자 2007년07월12일

(21) 출원번호 10-2007-7002900

(22) 출원일자 2007년02월06일

심사청구일자 없음

번역문 제출일자 2007년02월06일

(86) 국제출원번호 PCT/US2005/024098

(87) 국제공개번호 WO 2006/014542

국제출원일자 2005년07월07일

국제공개일자 2006년02월09일

(30) 우선권주장 10/887,608 2004년07월08일 미국(US)

(71) 출원인 더 보드 오브 트러스티스 오브 더 리랜드 스탠포드 주니어 유니버시티
미국 94305 캘리포니아 스탠포드

(72) 발명자 쿠아테, 캘빈, 에프.
미합중국 캘리포니아주 94025, 멘로 파크, 프린스턴 로드 340
사힌, 오즈거
미합중국 캘리포니아주 94305, 스탠포드, 빌딩 138-B, 에스콘디도로드
750
솔가드, 올라브
미합중국 캘리포니아주 94305, 스탠포드, 파인힐 로드 849

(74) 대리인 최영민

전체 청구항 수 : 총 27 항

(54) 원자력 현미경 검사에서의 고주파 힘 성분 검출을 위한비틀림 하모닉 캔틸레버

(57) 요약

원자력 현미경 검사에 사용되는 캔틸레버는, 베이스 부재에 부착된 고정단과, 캔틸레버 아암의 제1형상과 상기 제1형상과 관련된 비틀림축을 갖는 자유단을 구비한 캔틸레버 아암(Cantilever Arm), 상기 비틀림축으로부터 편심되게 위치한 자유단 근처의 상기 캔틸레버 아암으로부터 돌출된 탐침 팁(Probe Tip)을 포함한다. 또한, 상기 캔틸레버 아암은, 비틀림 공진 주파수 및 기본 힘 공진 주파수가 정수비를 갖도록 선정된 비틀림 모드의 공진 주파수 또는 기본 힘 공진 주파수에 조정되도록 선정된 제1형상을 갖는다. 이리하여, 상기 비틀림 하모닉 캔틸레버의 그 하모닉 주파수에 있어서의 비틀림 운동은, 대응되는 비틀림 공진에 의해 현저히 향상된다.

대표도

도 2a

특허청구의 범위

청구항 1.

베이스(base) 부재에 부착된 고정단 및 자유단을 구비하고, 제1형상 및 상기 제1형상과 관련된 비틀림축을 갖는 캔틸레버 아암(Cantilever Arm); 그리고,

상기 자유단 근처에서 상기 캔틸레버 아암으로부터 돌출되고, 상기 비틀림축으로부터 편심되게 위치한 탐침 팁(Probe Tip)을 포함하는 것을 특징으로 하는 원자력 현미경 검사에 사용되는 캔틸레버.

청구항 2.

제1항에 있어서,

상기 탐침 팁은, 상기 비틀림축으로부터 적어도 $2\mu\text{m}$ 의 거리에 위치하는 것을 특징으로 하는 원자력 현미경 검사에 사용되는 캔틸레버.

청구항 3.

제1항에 있어서,

상기 탐침 팁은, 상기 비틀림축으로부터 떨어져 상기 캔틸레버 아암의 바깥쪽 끝단 가까이에 위치하는 것을 특징으로 하는 원자력 현미경 검사에 사용되는 캔틸레버.

청구항 4.

제1항에 있어서,

상기 캔틸레버 아암은, 선정된 비틀림 모드의 비틀림 공진 주파수 또는 기본 모드의 기본 휨 공진 주파수를 조정하도록 선정되어, 상기 비틀림 공진 주파수 및 기본 휨 공진 주파수가 정수비를 갖도록 하는 제1형상을 갖는 것을 특징으로 하는 원자력 현미경 검사에 사용되는 캔틸레버.

청구항 5.

제4항에 있어서,

상기 정수비는, 정수들 및 가장 가까운 정수들보다 약간 크거나 작은 분수를 포함하여, 상기 캔틸레버가 구동 주파수로 또는 상기 기본 공진 주파수보다 약간 낮거나 약간 높게 구동될 때, 비틀림 공진 주파수는 상기 구동 주파수의 정수의 배수인 것을 특징으로 하는 원자력 현미경 검사에 사용되는 캔틸레버.

청구항 6.

제5항에 있어서,

상기 정수비는, 가장 가까운 정수의 2.0% 이내의 정수들 및 분수들을 포함하는 것을 특징으로 하는 원자력 현미경 검사에 사용되는 캔틸레버.

청구항 7.

제1항에 있어서,

상기 캔틸레버 아암은, 고정단과 자유단 사이에서 적어도 부분적으로 돌출된 개구부에 의해 분리된 제1아암부 및 제2아암부를 포함하는 것을 특징으로 하는 원자력 현미경 검사에 사용되는 캔틸레버.

청구항 8.

제7항에 있어서,

상기 캔틸레버 아암은 제1형상을 구비하고, 제1 및 제2 아암부 각각은 비틀림 공진 주파수를 상기 캔틸레버의 기본 휨 공진 주파수의 정수의 배수로 조정하기 위해 선정된 폭을 갖는 것을 특징으로 하는 원자력 현미경 검사에 사용되는 캔틸레버.

청구항 9.

제7항에 있어서,

상기 캔틸레버 아암의 개구부는, 연장부를 갖고 제1 및 제2아암부 사이를 분할하며, 상기 연장 및 분할은 비틀림 공진 주파수를 캔틸레버의 기본 휨 공진 주파수의 정수의 배수로 조정하도록 선택되는 것을 특징으로 하는 원자력 현미경 검사에 사용되는 캔틸레버.

청구항 10.

제4항에 있어서,

상기 캔틸레버 아암은 하나 또는 그 이상의 대응되는 개구부에 의해 분리된 복수의 아암부를 포함하고, 각 개구부는 고정단과 자유단 사이의 부분에 배치되며, 상기 고정단 및 자유단 사이에서 연장부를 가지고, 각 개구부는 인접하는 한쌍의 아암부에 대해 분리를 제공하는 것을 특징으로 하는 원자력 현미경 검사에 사용되는 캔틸레버.

청구항 11.

제10항에 있어서,

각 개구부의 위치 또는 각 개구부의 연장 또는 인접하는 한쌍의 아암부 사이의 분리는, 상기 비틀림 공진 주파수를 캔틸레버의 기본 휨 공진 주파수의 정수의 배수로 조정하기 위해 조절되는 것을 특징으로 하는 원자력 현미경 검사에 사용되는 캔틸레버.

청구항 12.

제10항에 있어서,

상기 복수의 아암부는 서로에 대해 평행한 것을 특징으로 하는 원자력 현미경 검사에 사용되는 캔틸레버.

청구항 13.

제10항에 있어서,

상기 복수의 아암부는 서로에 대해 평행하지 않은 것을 특징으로 하는 원자력 현미경 검사에 사용되는 캔틸레버.

청구항 14.

제10항에 있어서,

상기 하나 또는 그 이상의 개구부의 위치는, 비틀림 공진 주파수를 조정하기 위해 선정된 비틀림 모드의 높은 각(Angular) 변위 지역인 것을 특징으로 하는 원자력 현미경 검사에 사용되는 캔틸레버.

청구항 15.

제4항에 있어서,

상기 캔틸레버 아암은, 캔틸레버의 기본 휨 공진 주파수를 선정된 비틀림 모드를 나눌 수 있는 정수의 값으로 조정하기 위해 선정된 제1길이를 갖는 것을 특징으로 하는 원자력 현미경 검사에 사용되는 캔틸레버.

청구항 16.

제4항에 있어서,

상기 캔틸레버 아암은, 본질적으로 직사각형 형상을 포함하고, 캔틸레버의 기본 휨 공진 주파수를 선정된 비틀림 모드를 나눌 수 있는 정수의 값으로 조정하기 위해 선정된 폭 대 길이 비율을 갖는 것을 특징으로 하는 원자력 현미경 검사에 사용되는 캔틸레버.

청구항 17.

제4항에 있어서,

상기 캔틸레버 아암은, 기본 모드의 높게 변위된 지역에서, 캔틸레버의 기본 휨 공진 주파수를 선정된 비틀림 모드를 나눌 수 있는 정수의 값으로 조정하기 위해 선정된 유효 폭 또는 유효 두께를 갖는 것을 특징으로 하는 원자력 현미경 검사에 사용되는 캔틸레버.

청구항 18.

제4항에 있어서,

상기 캔틸레버 아암은, 기본 모드의 높은 기계적 스트레스 지역에서, 캔틸레버의 기본 휨 공진 주파수를 선정된 비틀림 모드를 나눌 수 있는 정수의 값으로 조정하기 위해 선정된 유효 폭 또는 유효 두께를 갖는 것을 특징으로 하는 원자력 현미경 검사에 사용되는 캔틸레버.

청구항 19.

제4항에 있어서,

상기 캔틸레버 아암은, 캔틸레버의 기본 휨 공진 주파수를 선정된 비틀림 모드를 나눌 수 있는 정수의 값으로 조정하기 위해, 확장된 자유단을 구비한 본질적으로 직사각형의 형상을 갖는 것을 특징으로 하는 원자력 현미경 검사에 사용되는 캔틸레버.

청구항 20.

캔틸레버 아암 및 상기 캔틸레버 아암의 자유단 상에 형성된 탐침 팁을 구비하고, 상기 캔틸레버 아암이 제1형상 및 상기 제1형상과 관련된 비틀림축을 갖고, 상기 탐침 팁이 상기 비틀림축으로부터 편심되게 위치하고 있는 캔틸레버를 제공하는 단계;

상기 캔틸레버를 기 설정된 진동 크기로 상기 기본 휨 공진 주파수 또는 그 부근에서 진동시키는 단계;

상기 캔틸레버를 상기 샘플 부근으로 이동시키는 단계;

상기 탐침 팁을 이용하여 상기 샘플의 표면을 반복적으로 탭핑(Tapping)하는 단계; 그리고

상기 캔틸레버가 상기 샘플의 표면 특성에 응답하여 휘어짐에 따라 상기 캔틸레버의 고주파 진동 하모닉(Harmonic)의 크기 또는 위상의 변화를 검출하는 단계;를 포함하는 것을 특징으로 하는 캔틸레버의 팁과 샘플간의 상호작용의 고주파 힘을 측정하기 위한 방법.

청구항 21.

제20항에 있어서,

상기 캔틸레버의 고주파 진동 하모닉(Harmonic)의 크기 또는 위상의 변화를 검출하는 단계는, 상기 캔틸레버의 고주파 비틀림 진동 하모닉의 크기 또는 위상의 변화를 검출하는 단계를 포함하는 것을 특징으로 하는 캔틸레버의 팁과 샘플간의 상호작용의 고주파 힘을 측정하기 위한 방법.

청구항 22.

제21항에 있어서,

상기 캔틸레버의 고주파 비틀림 진동 하모닉의 크기 또는 위상의 변화를 검출하는 단계는,

4분할면으로 분할된 광검출기를 제공하는 단계;

제1분할면 및 제2분할면으로부터의 신호들의 합계와 제3분할면 및 제4분할면으로부터의 신호들의 합계의 차이를 이용하여 상기 캔틸레버의 휨 진동을 검출하는 단계;

제1분할면 및 제3분할면으로부터의 신호들의 합계와 제2분할면 및 제4분할면으로부터의 신호들의 합계의 차이를 이용하여 상기 캔틸레버의 비틀림 진동 하모닉을 검출하는 단계;를 포함하는 것을 특징으로 하는 캔틸레버의 팁과 샘플간의 상호작용의 고주파 힘을 측정하기 위한 방법.

청구항 23.

제20항에 있어서,

상기 캔틸레버의 고주파 진동 하모닉(Harmonic)의 크기 또는 위상의 변화를 검출하는 단계는, 상기 캔틸레버의 고주파 횡진동 하모닉의 크기 또는 위상의 변화를 검출하는 것을 특징으로 하는 캔틸레버의 팁과 샘플간의 상호작용의 고주파 힘을 측정하기 위한 방법.

청구항 24.

제20항에 있어서,

상기 캔틸레버 아암 및 탐침 팁을 구비한 캔틸레버를 제공하는 단계는,

캔틸레버 아암 및 상기 캔틸레버 아암의 자유단상에 형성된 탐침 팁을 구비하고, 상기 캔틸레버 아암은 제1형상 및 상기 제1형상과 관련된 비틀림축을 갖고, 상기 탐침 팁은 상기 비틀림축으로부터 편심되게 위치한 캔틸레버를 제공하는 단계를 포함하고, 상기 제1형상은 상기 캔틸레버의 기본 모드의 비틀림 공진 주파수 또는 기본 횡 공진 주파수를 조정하기 위해 선택되어, 상기 비틀림 공진 주파수 및 기본 횡 공진 주파수가 정수비를 갖는 것을 특징으로 하는 캔틸레버의 팁과 샘플간의 상호작용의 고주파 힘을 측정하기 위한 방법.

청구항 25.

제24항에 있어서,

상기 캔틸레버가 샘플 표면의 특성에 반응하여 굽어짐에 따라 비틀림 공진 주파수에서의 크기 또는 위상의 변화를 검출하는 단계를 더 포함하는 것을 특징으로 하는 캔틸레버의 팁과 샘플간의 상호작용의 고주파 힘을 측정하기 위한 방법.

청구항 26.

캔틸레버 아암 및 상기 캔틸레버 아암의 자유단 상에 형성된 탐침 팁을 구비하고, 상기 캔틸레버 아암이 제1형상 및 상기 제1형상과 관련된 비틀림축을 갖고, 상기 탐침 팁이 상기 비틀림축으로부터 편심되게 위치하고 있는 캔틸레버를 제공하는 단계;

상기 캔틸레버를 기 설정된 진동 크기로 상기 기본 횡 공진 주파수 또는 그 부근에서 진동시키는 단계;

상기 캔틸레버를 상기 샘플 부근으로 이동시키는 단계;

상기 탐침 팁을 이용하여 상기 샘플의 표면을 반복적으로 탭핑(Tapping)하는 단계;

상기 캔틸레버가 상기 샘플의 표면 특성에 반응하여 휘어짐에 따라 상기 캔틸레버 동작의 비틀림 진동 하모닉스(Harmonics)를 측정하는 단계와, 그리고

측정된 비틀림 진동 하모닉스를 사용하여 팁-샘플 힘의 시간분해능(Time-resolved) 파형을 재구성하는 단계;를 포함하는 것을 특징으로 하는 캔틸레버의 팁과 샘플간의 상호작용의 고주파 힘을 측정하기 위한 방법.

청구항 27.

제26항에 있어서,

측정된 비틀림 진동 하모닉스를 사용하여 팁-샘플 힘의 시간분해능 파형을 재구성하는 단계는,

상기 팁-샘플 힘의 시간 분해능 파형을 재구성하기 위해, 가중치 합계를 사용하여 시간 영역에서 측정된 비틀림 진동 하모닉들을 합하는 단계를 포함하는 것을 특징으로 하는 캔틸레버의 팁과 샘플간의 상호작용의 고주파 힘을 측정하기 위한 방법.

명세서

기술분야

본 발명은 캔틸레버(Cantilever) 및 캔틸레버를 이용한 영상화(Imaging) 방법에 관한 것으로서, 특히 고주파 힘 성분을 검출하기 위한 캔틸레버 및 이를 이용한 영상화 방법에 관한 것이다.

배경기술

주사 탐침 현미경 검사(Scanning Probe Microscopy: SPM)란, 통상적으로 아주 작은 치수의 탐침(Probe)이, 샘플(Sample) 표면의 표면상 특징의 미세 분석 또는 재료 특성을 제공하기 위하여, 샘플 표면에 대하여 스캔되는 계기류 및 영상화 방법을 의미한다.

주사 탐침 현미경 검사의 한 종류로서 원자력 현미경 검사(Atomic Force Microscopy: AFM)가 있는데, 이는 주사력 현미경 검사(Scanning Force Microscopy: SFM)로도 불리우며, 샘플 표면을 스캔하기 위해 팁(Tip)을 구비한 유연한 캔틸레버가 사용되고 있다.

원자력 현미경 검사(AFM)는, 나노(Nano) 규모로 표면의 굴곡을 나타내는 데 대단히 유용한 수단임이 증명되었다.

원자력 현미경 검사에서는, 원자 크기만큼의 뾰족한 팁을 가진 유연한 캔틸레버가 샘플 표면의 근처로 이동되고, 상기 캔틸레버가 상기 표면을 스캔하는 동안, 상기 팁과 샘플간의 끌어당기는 힘 및 밀어내는 힘에 의한 캔틸레버의 휨 정도가 표시된다. 상기 캔틸레버는, 동작시 상기 팁이 상기 샘플 표면과 지속적으로 접촉되는 접촉모드일 수도 있다. 상기 팁과 상기 샘플이 연속적인 접촉상태에 있을 때, 상기 팁과 샘플간의 마찰력은 상기 팁과 샘플 모두에게 자주 손상을 야기한다. 연속적인 팁과 샘플간의 접촉을 필요로 하지 않는 동적 영상화 기법 또한 제안되고 있다. 동적 영상화 모드에서는, 상기 팁이 샘플의 표면으로부터 짧은 거리를 유지하고 있으면서 상기 샘플 표면과 간헐적으로 접촉한다. 다양한 동적 영상화 기술 가운데, 탭핑모드(Tapping-Mode) 원자력 현미경 검사(TM-AFM)가 가장 널리 사용되게 되었다. 탭핑모드 원자력 현미경 검사에서는, 상기 팁이 상기 샘플 표면 근처에서의 그 공진 주파수의 하나로 진동된다. 탭핑모드 원자력 현미경 검사와 같은 동적 원자력 현미경 검사 방법은, 팁 및 샘플의 손상을 대폭적으로 감소시키기 때문에, 원자력 현미경 검사의 영상화에 널리 사용되고 있다.

원자력 현미경 검사에 있어서, 상기 팁과 샘플 표면간의 힘의 상호작용은 상기 팁 및 샘플의 재료 특성에 의존한다. 상기 팁-샘플(Tip-Sample)간의 힘의 측정은, 샘플 표면에 걸친 재료 특성의 연구 및 화학적 조성변화의 맵핑(Mapping)을 가능하게 한다. 상기 캔틸레버가 샘플의 근처에서 진동할 때, 팁-샘플 힘은 캔틸레버에서 높은 주파수 진동을 발생시키는 더 높은 하모닉(Harmonic) 성분을 갖게 될 것이다. 이러한 높은 주파수 힘 성분은, 팁-샘플의 상호작용에 관한 정보를 전달한다. 이러한 높은 하모닉스(Harmonics)의 영상화를 실험하였는데 그 결과는 재료 특성과 좋은 대조를 보여주고 있다. 불행히도, 종래의 원자력 현미경 검사에서 높은 하모닉스에서의 진동 크기는, 실용적인 원자력 현미경 검사의 영상화를 위해 너무 작다. 특히, 높은 하모닉스에서의 신호가 상기 캔틸레버의 구동 주파수에서의 신호보다 20-20 데시벨(dB) 낮다. 따라서, 상기 높은 하모닉스 신호를 사용한 영상의 해상도는 엄격히 제한된다.

따라서, 샘플 표면 근처의 캔틸레버의 진동에 의한 고주파의 팁-샘플 힘 성분의 비파괴 측정을 가능하게 하는 장치 또는 영상화(Image) 방법을 제공하는 것이 바람직하다.

발명의 상세한 설명

본 발명의 일 실시예에 의하면, 원자력 현미경 검사에 사용되는 캔틸레버는, 베이스 부재에 부착된 고정단과, 캔틸레버 아암의 제1형상과 상기 제1형상과 관련된 비틀림축을 갖는 자유단을 구비한 캔틸레버 아암(Cantilever Arm), 상기 비틀림

측으로부터 편심되게 위치한 자유단 근처의 상기 캔틸레버 아암으로부터 돌출된 탐침 팁(Probe Tip)을 포함한다. 일 실시예에서, 상기 탐침 팁은 상기 비틀림축으로부터 적어도 약 $2\mu\text{m}$ 에 위치한다. 다른 실시예에서, 상기 탐침 팁은 상기 비틀림축으로부터 떨어져 상기 캔틸레버 아암의 외부 끝단 가까이 위치한다.

일 실시예에서, 상기 캔틸레버 아암은, 비틀림 공진 주파수 및 기본 휨 공진 주파수가 정수비를 갖도록 선정된 비틀림 모드의 공진 주파수 또는 기본 휨 공진 주파수에 조정되도록 선정된 제1형상을 갖는다. 이리하여, 상기 비틀림 하모닉 캔틸레버의 그 하모닉 주파수에 있어서의 비틀림 운동은, 대응되는 비틀림 공진에 의해 현저히 향상된다.

본 발명의 다른 형태에 따르면, 캔틸레버의 팁과 샘플간의 상호작용의 고주파 힘을 측정하기 위한 방법은, 캔틸레버 아암과, 상기 캔틸레버 아암이 제1형상 및 제1형상과 관련된 비틀림축을 갖고 탐침 팁이 상기 비틀림축으로부터 편심되게 위치한 캔틸레버 아암의 자유단에 형성된 탐침 팁을 갖는 캔틸레버를 제공하는 단계와, 상기 캔틸레버를 기본 휨 공진 주파수 또는 그 부근에서 기 설정된 진동 크기로 진동시키는 단계와, 상기 캔틸레버를 샘플 부근으로 이동시키는 단계와, 상기 탐침 팁을 이용하여 상기 샘플의 표면을 반복적으로 두드리는 단계와, 그리고 상기 캔틸레버가 상기 샘플의 표면 특성에 응답하여 휘어짐에 따라 상기 캔틸레버의 고주파 진동 하모닉(Harmonic)의 크기 또는 위상의 변화를 검출하는 단계를 포함한다.

본 발명의 또 다른 형태에 따르면, 캔틸레버의 팁과 샘플간의 상호작용의 고주파 힘을 측정하기 위한 방법은, 캔틸레버 아암과, 상기 캔틸레버 아암이 제1형상 및 제1형상과 관련된 비틀림축을 갖고 탐침 팁이 상기 비틀림축으로부터 편심되게 위치한 캔틸레버 아암의 자유단에 형성된 탐침 팁을 갖는 캔틸레버를 제공하는 단계와, 상기 캔틸레버를 기본 휨 주파수 또는 그 부근에서 기 설정된 진동 크기로 진동시키는 단계와, 상기 캔틸레버를 샘플 부근으로 이동시키는 단계와, 상기 탐침 팁을 이용하여 상기 샘플을 반복적으로 두드리는 단계와, 상기 캔틸레버가 상기 샘플의 표면 특성에 응답하여 휘어짐에 따라 상기 캔틸레버 동작의 비틀림 진동 하모닉스(Harmonics)를 측정하는 단계와, 그리고 측정된 비틀림 진동 하모닉스를 사용하여 팁 샘플 힘의 시간분해능(Time-resolved) 파형을 재구성하는 단계를 포함한다.

본 발명은 아래의 상세한 설명 및 첨부된 도면에 의해 더욱 잘 이해될 것이다.

실시예

본 발명의 원리에 따르면, 캔틸레버가 샘플 표면의 근처에서 진동될 때, 팁-샘플 상호작용 힘의 고주파 성분과 관련된 신호를 증폭하는 기하학적 특징을 얻기 위해, 그 자유단에 팁을 구비하는 캔틸레버가 구성된다. 상기 캔틸레버가 주사 탐침 현미경에 적용될 때, 상기 캔틸레버는 높은 대역폭(Bandwidth) 및 고감도의 기계적 시스템을 형성하게 되는 데, 이는 비선형적인 팁-샘플 상호작용의 고주파 힘 성분과 관련된 신호의 검출 및 측정을 가능하게 만든다. 일 실시예에서, 상기 캔틸레버는, 캔틸레버 아암과 상기 캔틸레버 아암의 비틀림축으로부터 편심되게 위치한 자유단의 팁(Tip)을 포함한다. 상기 팁을 상기 비틀림축으로부터 편심되게 위치시키는 것은 상기 캔틸레버의 비틀림 운동을 향상시킨다. 그 결과로써, 상기 팁-샘플 상호작용력의 고주파 힘 성분의 상당수와 관련된 신호들이, 시험중인 샘플의 재료 특성의 새로운 영상화 형식 연구를 위해 증폭될 수 있다.

본 발명에 따른 캔틸레버의 유용한 응용중의 하나는, 캔틸레버가 샘플의 재료 특성을 연구하기 위해 사용될 수 있는 탭핑-모드(Tapping-Mode) 원자력 현미경 검사이다. 그러나, 본 발명의 캔틸레버는, 주사 탐침 현미경 검사의 범위 및 그 이상의 다른 많은 응용에 적용될 수 있다. 즉, 본 발명의 캔틸레버는, 고주파의 팁-샘플 상호 힘 성분이 중요할 때 적용될 수 있다.

도 1은 탭핑-모드 원자력 현미경의 일반적인 개략도이다. 도 1의 탭핑-모드 원자력 현미경 검사에 있어서, 상기 캔틸레버는 샘플 표면의 근처에서, 그 휨 공진 중의 하나에 근접한 주파수, 전형적으로 기본 공진 주파수로 진동하여, 상기 팁과 상기 표면이 각 진동 주기마다 간헐적으로 접촉(태핑)하게 만든다. 상기 표면을 주사하는 동안, 진동의 크기는 캔틸레버 베이스의 높이를 조절하는 피드백(Feedback) 회로를 통해 일정한 값을 유지한다. 특히, 상기 캔틸레버의 구동 주파수에서의 운동을 측정하기 위해, 광선 및 광검출기가 사용된다. 따라서, 상기 피드백 신호는 상기 표면의 굴곡을 반영한다. 도 1에서, 상기 피드백 회로는 광학 레버 검출 시스템 및 피드백 컨트롤러를 포함한다.

본 발명의 캔틸레버는, 샘플과 캔틸레버의 팁 사이의 상호작용에 따른 고주파 힘 성분을 증폭하기 위한 기하학적 특징을 포함한다. 상기 기하학적 특징은 신호 증폭을 달성하기 위해 다양한 형태로 제공될 수 있다. 본 발명의 일 실시예에 따르면, 캔틸레버는, 캔틸레버 아암의 비틀림축으로부터 편심되게 위치한 자유단의 팁을 포함한다. 상기 편심된 팁의 위치는 상기 캔틸레버의 비틀림 운동을 향상시킨다. 특히, 상기 편심된 팁이 샘플 표면에 부딪칠 때, 상호작용 힘은 상기 캔틸레버의 비틀림 모드를 야기시킨다. 본 명세서에 있어서, 비틀림 운동을 향상시키기 위해 편심된 팁 위치를 갖는 캔틸레버는 "비

틀림 캔틸레버"로 지칭될 것이다. 그렇지만, 본 발명의 "비틀림 캔틸레버"는, 주어진 주파수에서 구동될 때, 휨 모드, 비틀림 모드 또는 다른 진동 모드로 진동될 수도 있다는 것에 주의하는 것이 중요하다. 상기 "비틀림"이란 용어의 사용은, 본 발명에 따른 캔틸레버의 비틀림 모드를 비틀림 운동만으로 제한하기 위한 것이 아니다.

더욱이 본 발명에 있어서, 비틀림축"이란 용어는, 캔틸레버가 진동될 때 비틀림 진동에 의해 변위되지 않는 캔틸레버의 축을 가리킨다. 즉, 상기 캔틸레버는 비틀림 모드에서는 운동하지 않는다. 직사각형의 캔틸레버와 같은 대칭형의 캔틸레버에 있어서, 상기 비틀림축은 캔틸레버 베이스에 수직한 캔틸레버 아암의 중심선이다. 그렇지만 다른 형상의 캔틸레버에 있어서, 상기 비틀림축은 상기 캔틸레버 아암의 중심선일 필요가 없고, 더욱이 직선일 필요도 없다. 어떤 주어진 형상의 캔틸레버에 있어서 그 중심축은, 예컨대 시뮬레이션(Simulation) 소프트웨어의 사용에 의해 결정될 수 있다. 종래의 캔틸레버에 있어서, 탐침 팁은 언제나 캔틸레버 아암의 비틀림축상에 위치한다.

도 2A는 본 발명의 일 실시예에 따른 캔틸레버의 사시도이다. 도 2B는 도 2A의 캔틸레버의 평면도이다. 도 2A 및 도 2B를 참조하면, 비틀림 캔틸레버(100)는 직사각형 캔틸레버이고 베이스로부터 돌출된 캔틸레버 아암(102)을 포함한다. 탐침 팁(106)은 캔틸레버 아암(102)의 자유단 근처에 배치되어 있다. 비틀림 캔틸레버(100)에 있어서, 상기 비틀림축은 캔틸레버 아암(102)의 중심선이고, 도 2A 및 도 2B에서 점선(104)으로 표시되어 있다. 탐침 팁(106)은 비틀림축(선 104)에 대해 편심된 위치에 있다. 특히 본 실시예에서, 탐침 팁(106)은 상기 비틀림축으로부터 "d"의 거리에 위치해 있다. 탐침 팁(106)을 상기 비틀림축으로부터 떨어지게 배치함으로써, 상기 탐침 팁은 상기 캔틸레버가 비틀림 모드에서 진동될 때 변위될 것이다. 따라서, 상기 캔틸레버의 비틀림 운동이 향상되고, 팁-샘플 상호작용 힘의 고주파 하모닉을 증폭시킬 수 있다. 편심 변위량 또는 거리 "d"는, 최소 변위(비틀림축 근처)에서 최대 변위(캔틸레버 아암의 끝단 근처)까지 변화될 수 있다. 정확한 편심량은 설계상의 선택에 기초하여 선정된다. 대부분의 경우에 있어서, 정상 절차 진동이상의 최소 변위 또는 정렬 에러들이, 상기 탐침 팁이 상기 비틀림축으로부터 변위되는 것을 확실하게 하기 위해 사용되어야 한다. 예를 들면 일 실시예에서, 상기 탐침 팁은 상기 비틀림축으로부터 적어도 $2\mu\text{m}$ 가 되어야 한다. 일반적으로, 상기 탐침 팁이 상기 비틀림축으로부터 멀리 떨어지면 떨어질수록 상기 탐침 팁이 비틀림 운동을 더 많이 하는 것으로 알려져 있다. 따라서, 상기 탐침 팁은 최소 비틀림 운동을 위해서는 상기 비틀림축의 가까이에 배치될 수 있고, 최대 비틀림 운동을 얻기 위해서는 캔틸레버 아암의 끝단 가까이에 배치될 수 있다.

도 3은 캔틸레버(100)의 비틀림 모드의 모드 형상을 도시한 것이다. 도 3에서 알 수 있는 바와 같이, 비틀림축(본 경우에 있어서의 중심선)으로부터 떨어진 캔틸레버의 부분은, 더 많은 변위를 나타내고 있다. 만일 상기 팁의 편심 간격이 크면, 팁-샘플 힘은 더 큰 토크(Torque)를 발생시키고, 따라서 더 큰 비틀림각 및 비틀림 모드의 향상된 여기(勵起)상태가 되게 할 것이다. 이는 신호 향상의 관점에서 보면 유리하나, 전체 캔틸레버의 동력학상의 비틀림 모드의 효과가 더욱 중요하게 될 것이다.

본 발명의 캔틸레버(100)가, 도 1의 탭핑-모드 원자력 현미경과 같은 주사 현미경에 적용될 때, 동일한 휨 측정 기법이 캔틸레버의 비틀림 변형 뿐만 아니라 휨 변형을 검출하기 위해 사용될 수 있다. 도 4는, 휨 및 비틀림 변형을 검출하기 위해 광검출기를 이용한 스플릿(Split) 광검출기 및 휨 측정 기법을 도시한 것이다. 주사력 현미경 검사에 사용되는 상기 스플릿 광검출기는 보통 Q1에서 Q4의 4 분할면으로 분할되어 있다. 캔틸레버 아암으로부터 레이저 빔의 반사에 의해 발생하는 광점(Light Spot)이, 광검출기 분할면에 관해 원형의 점들로 표시되어 있다. 상기 캔틸레버의 팁의 변형은, 상기 각 분할면 상에서 검출되는 광 신호들을 더하고 빼는 것에 의해 검출된다. 도 4의 설명에 있어서, 상기 캔틸레버 팁의 휨 운동은 광점의 상하운동으로 귀착되고, 비틀림 운동은 광점의 좌우 운동으로 귀착된다. 상기 캔틸레버 팁의 휨 처짐량을 측정하기 위해, Q1 및 Q2의 분할면에 있는 신호들이 합해지고, Q3 및 Q4의 분할면에 있는 신호들이 합해진다. 그리하여 두개의 합해진 신호들의 차이가 휨 운동을 나타내기 위해 사용된다. 상기 캔틸레버의 비틀림 처짐량을 측정하기 위해, Q1 및 Q3의 분할면에 있는 신호들이 합해지고, Q2 및 Q4의 분할면에 있는 신호들이 합해진다. 그리하여 두개의 합해진 신호들의 차이가 비틀림 운동을 나타내기 위해 사용된다. 조정불량의 광 다이오드 및 캔틸레버의 경우, 상기 휨 신호 및 비틀림 신호간에서의 혼선이 고려되어야 한다.

본 발명의 비틀림 캔틸레버가 주사력 현미경에 적용될 때의 장점 중의 하나는 영상화 속도가 증가 된다는 것이다. 비틀림 처짐량이 상기 주사력 현미경의 피드백 회로에 사용될 때, 보다 높은 주파수를 갖는 비틀림 하모닉(Harmonics)은, 영상화 신호에 대하여 보다 빠른 응답 시간을 제공한다. 더욱이, 상기 고주파의 비틀림 하모닉 신호는, 팁-샘플의 접촉 및 이탈을 빠르게 검출할 수 있도록 하는데 유효하게 적용될 수 있다.

종래의 캔틸레버에 있어서, 비틀림 진동 또는 비틀림 모드는 기본 휨 모드 보다 높은 공진 주파수를 가지고 있다. 그러나, 캔틸레버의 비틀림 모드는, 종래의 캔틸레버에서 여기(勵起)상태로 되지 않는다. 본 발명에 따르면, 상기 비틀림 캔틸레버는, 고주파 힘 성분을 검출할 수 있도록 하기 위해 상기 비틀림 모드를 여기하는데 사용될 수 있다. 본 발명에 의한 비틀림 캔틸레버가 동적인 원자력 현미경 검사의 동작에 적용될 때, 팁-샘플의 상호작용 힘이 상기 캔틸레버의 비틀림 모드를 여

기하면서, 상기 비틀림 캔틸레버는 휨 모드로 진동한다. 상기 비틀림 캔틸레버의 팁이 비틀림축으로부터 편심되어 위치하고 있기 때문에, 상기 비틀림 모드가 여기상태로 된다. 상기 탐침 팁의 편심된 배치는, 팁-샘플 간의 힘이 상기 캔틸레버상에 비틀림을 발생하도록 한다. 비틀림 아암(캔틸레버 아암의 폭)이 캔틸레버의 길이보다 짧기 때문에, 비틀림 모드에서서의 작은 팁 변위가 비교적 큰 각 변형을 가져오게 될 것이다. 따라서, 캔틸레버의 뒷부분에서 반사된 레이저 빔이, 상기 캔틸레버의 비틀림 운동을 용이하게 검출할 수가 있다. 캔틸레버의 비틀림 모드가 높은 대역폭을 가지고 있기 때문에, 팁-샘플 간 힘의 고주파 하모닉은 비틀림 진동을 효율적으로 발생시킬 것이다.

본 발명의 비틀림 캔틸레버는, 바라는 적용분야에 따라 여러가지 형상 및 구조로 구성될 수 있다. 본 발명에 따른 비틀림 캔틸레버의 현저한 특징은, 탐침 팁이 비틀림축으로부터 편심되게 배치되었다는 것이다. 상기 탐침 팁은, 상기 비틀림축의 양쪽 측면 어디로도 이동될 수 있다. 도 5는 본 발명의 제1의 다른 실시예에 따른 캔틸레버의 평면도이다. 도 5를 참조하면, 비틀림 캔틸레버(120)는 확장된 자유단을 갖는 직사각형의 캔틸레버로 구성된다. 탐침 팁(126)은, 캔틸레버 아암의 비틀림축(124)으로부터 편심된 위치에 배치되어 있다. 한 실시예에서, 캔틸레버는, 기본 휨 공진 주파수보다 16.3배인 제1 비틀림 공진 주파수를 인식할 수 있다. 캔틸레버(120)의 자유단을 넓게 하면, 아래에서 상세히 기술하는 바와 같이, 캔틸레버의 비틀림 공진 주파수를 조정하는 효과를 갖게 된다.

도 6 및 도 7은, 캔틸레버(120)가 기본 휨 공진 주파수로 샘플 표면을 두드릴 때, 휨 진동 및 비틀림 진동의 스펙트럼(Spectrum)을 각각 나타낸 것이다. 휨 모드의 진동 스펙트럼(도 6) 및 비틀림 모드의 진동 스펙트럼(도 7)의 비교로부터, 더 높은 하모닉 힘 성분이, 비틀림 모드에서 더 좋은 잡음대 신호비(Signal to noise ratio)를 가지고 여기된다는 것을 관찰할 수 있다. 따라서, 팁-샘플 상호작용에 관한 더 많은 정보가 상기 비틀림 진동 스펙트럼으로부터 얻어질 수 있다.

도 8 - 10은, 본 발명에 따른 비틀림 캔틸레버의 다른 3가지 실시예를 도시한 것이다. 본 분야에서 통상의 지식을 가진 자라면, 본 명세서에 의해, 본 발명의 캔틸레버가 다양한 캔틸레버 형상 및 구조로 구성될 수 있다는 것을 이해할 수 있을 것이다. 도 8을 참조하면, 비틀림 캔틸레버(140)는 자유단이 테이퍼 형상인 직사각형 캔틸레버로 형성되어 있다. 탐침 팁(146)은 비틀림축(선 144)으로부터 편심되게 위치하고 있다. 도 9를 참조하면, 비틀림 캔틸레버(160)는, 개구부(168)에 의해 구분된 2개의 아암(162A)(162B)을 포함하는 직사각형 캔틸레버로 구성되어 있다. 캔틸레버(160)의 자유단 역시 테이퍼진 형상이다. 탐침 팁(166)은 비틀림축(선 164)으로부터 편심된 장소에 위치하고 있다. 마지막으로 도 10을 참조하면, 비틀림 캔틸레버(180)는, 아암 182A 및 182B를 포함하는 삼각형상의 캔틸레버로 형성되어 있다. 탐침 팁(186)은 비틀림축(선 184)로부터 편심된 장소에 위치하고 있다.

본 발명의 비틀림 캔틸레버는, 영상화 및 재료 분석에 있어서 많은 응용분야를 가지고 있다. 한 응용에 있어서, 비틀림 하모닉(상(Phase) 및 크기 모두)은 샘플 표면의 이미지를 생성하기 위해 측정된다. 다른 응용에 있어서, 상기 비틀림 캔틸레버는 많은 비틀림 하모닉을 생성하기 위해 적용된다. 상기 하모닉 힘 성분의 대부분 또는 모두가 측정될 때, 상기 팁-샘플 힘의 시간 분해능(Time-resolved) 파형을 재구성하기 위해, 상기 하모닉 힘 성분이 시간 영역에 더해질 수 있다. 모든 하모닉 힘 성분이 같이 더해질 때 팁-샘플 상호작용의 힘 다이어그램(Diagram)이 구성된다는 것은 잘 알려져 있다. 더욱 상세하게는, 시간 영역에서 상기 하모닉 힘 성분의 가중된 합계가 상기 팁-샘플 힘의 시간 분해능 파형을 구성하기 위해 사용된다. 상기 하모닉 힘 성분의 가중된 합계는, 각 하모닉 크기를 합산 전에 캔틸레버의 주파수 인자로 곱함으로써 계산된다. 두개의 다른 주파수에서 같은 힘 크기가 다른 진동 크기로 될 수 있기 때문에 가중된 합계가 사용된다. 진동 크기에서의 차이가, 상기 가중된 합계의 사용에 의해 고려되어 진다. 본 발명의 비틀림 캔틸레버가 향상된 크기로 비틀림 하모닉의 생성을 가능하게 하므로, 상기 하모닉의 측정이 용이하게 이루어질 수 있다. 따라서, 본 발명의 비틀림 캔틸레버는, 팁-샘플 상호작용의 힘/거리 관계의 측정을 가능하게 한다.

본 발명의 다른 양상에 의하면, 비틀림 캔틸레버는, 상기 비틀림 캔틸레버가 구동 주파수로 구동될 때, 기본 휨 공진 주파수의 정수배와 일치하는 비틀림 공진 주파수를 가지고 있다. 이하 "비틀림 하모닉 캔틸레버"로 지칭될 이러한 비틀림 캔틸레버는, 캔틸레버의 비틀림 공진과 일치하는 하모닉들 중 하나를 가지고 있다. 이에 의해, 그러한 하모닉 주파수에서의 비틀림 하모닉 캔틸레버의 비틀림 운동은, 대응되는 비틀림 공진에 의해 크게 향상될 것이다. 상기 비틀림 하모닉 캔틸레버의 기본 휨 공진 주파수에 대한 비틀림 공진 주파수의 비율은, 캔틸레버의 구조가 상기 캔틸레버의 공진 주파수를 결정하기 때문에, 적절한 캔틸레버 구조를 선정함으로써 조절될 수 있다. 본 발명의 비틀림 하모닉 캔틸레버는, 영상화 신호로서 높은 상태의 하모닉을 사용하는 것에 의해, 영상화의 개선을 제공할 수 있다. 상기 조정된 공진 주파수는 높은 잡음대 신호비를 갖게 되겠지만, 상기 캔틸레버 진동의 모든 다른 하모닉들은, 비틀림 운동에 기인하여 여전히 적절한 잡음대 신호비를 갖게 될 것이다.

도 11은 본 발명의 일 실시예에 따른 비틀림 하모닉 캔틸레버의 평면도이다. 도 11을 참조하면, 비틀림 하모닉 캔틸레버(200)는, 제1아암부(202A) 및 제2아암부(202B)에 의해 형성된 캔틸레버 아암을 포함하고 있다. 상기 제1 및 제2아암부는 개구부(208)에 의해 분리되어 있다. 탐침 팁(206)은, 캔틸레버 아암의 자유단에 위치하고 있고, 상기 캔틸레버의 비틀

림측으로부터 편심된 변위에 위치하고 있다. 캔틸레버(200)는, 그 자유단의 한 측면이 테이퍼진 비대칭 형상을 갖는 자유단을 포함한다. 캔틸레버(200)가 2개의 분리된 아암부를 포함함으로써, 각 아암부는 좀 더 용이하게 굽혀질 수 있고, 이에 의해 비틀림 공진 주파수가 낮아진다. 상기 비틀림 공진 주파수 및 기본 휨 공진 주파수를 정수로 조절하기 위해, 상기 아암에 대해 적절한 치수를 결정하여야 한다.

편심된 팁 배치를 사용함으로써, 비틀림 하모닉 캔틸레버(200)는, 팁-샘플 상호작용의 고주파 힘 성분의 검출을 가능하게 하는 비틀림 운동을 향상시킬 수가 있다. 한 실시예에서, 캔틸레버(200)는, 기본 휨 공진 주파수의 9배인 제1 비틀림 공진 주파수를 실현할 수 있다.

캔틸레버 200에 있어서, 비틀림 공진 주파수를 캔틸레버의 기본 휨 공진 주파수의 정수배로 일치시키기 위해 조정하는 것은, 아암부 202A 및 202B의 폭을 변화시키거나 개구부(208)의 크기를 변화시키는 것에 의해 수행될 수 있다. 자유단의 형상 또한 상기 공진 주파수를 조절하기 위해 형성될 수 있다. 도 12는, 캔틸레버가 샘플 표면에 기본 공진 주파수로 두드러질 때, 비틀림 하모닉 캔틸레버(200)의 비틀림 진동 스펙트럼을 표시한 것이다. 도 12를 참조하면, 진동 스펙트럼의 제1 피크는 기본 공진 주파수이고, 400 kHz에서의 피크(Peak)는 비틀림 공진 주파수이다. 400 kHz에서의 상기 비틀림 공진 주파수는 기본 공진 주파수의 9번째 하모닉이고, 잡음 대 신호(Signal to noise)는 40 dB 이상이다. 도 12의 진동 스펙트럼은, 비틀림 하모닉 캔틸레버(200)가, 어떻게 기본 휨 공진 주파수보다 9배인 비틀림 공진 주파수를 갖도록 조정될 수 있는지를 보여주고 있다.

도 13은, 도 11의 비틀림 하모닉 캔틸레버의 비틀림 진동의 모드 형상을 나타낸 것이다. 상기 모드 형상은, 탐침 팁을 캔틸레버 아암의 끝단 가까이에 위치시키는 것에 의해, 상기 팁이 비틀림 모드에서 큰 변위를 하게 되고, 향상된 비틀림 신호를 제공하게 될 것임을 뒷받침 해주고 있다.

도 5의 비틀림 캔틸레버 120은, 비틀림 하모닉 캔틸레버의 다른 형상을 보여주고 있다. 도 5의 상기 비틀림 캔틸레버는, 기본 공진 주파수에 대한 비틀림 공진 주파수의 비율을 조절하기 위해, 어떻게 상기 기본 공진 주파수가 변환될 수 있는지를 보여주고 있다. 도 5로 돌아가서, 캔틸레버(120)의 자유단은, 캔틸레버 아암의 나머지보다 넓게 형성된다. 상기 자유단은 기본 공진 주파수에서 매우 변위된 부분이므로, 상기 자유단을 넓게 만드는 것에 의해, 기본 공진 주파수를 낮추는 역할을 하는 중량이 상기 기본 공진 주파수에 추가된다. 이러한 중량의 추가는 비틀림 공진 주파수를 인식할 수 있을 정도로 변화시키지는 않으나, 기본 주파수가 낮아지게 되어 두 비율이 조절되게 된다.

상기한 기재에 있어서, "비틀림 하모닉 캔틸레버"라는 용어의 사용은, 본 발명에 따른 캔틸레버의 진동 모드를 비틀림 운동으로만 제한하기 위한 것이 아니다. 상기한 바와 같이, 본 발명의 "비틀림 하모닉 캔틸레버"는, 주어진 주파수로 구동될 때, 휨 모드, 비틀림 모드 또는 다른 진동 모드로 진동할 수 있다.

더욱이, 본 발명의 비틀림 하모닉 캔틸레버에 있어서, 비틀림 공진 주파수 및 기본 휨 공진 주파수는 정수비를 갖거나, 예컨대 상기 정수비의 2% 이내에서 약간 낮거나 약간 높은값을 가지고 있다. 따라서, 상기 정수비는, 정수들 및 가장 가까운 정수들과 약간 크거나 작은 분수들을 포함하고 있어, 상기 캔틸레버가 구동 주파수 또는 기본 공진 주파수보다 약간 낮거나 약간 높은 주파수로 구동될 때, 비틀림 공진 주파수는 상기 구동 주파수의 정수의 배수가 된다.

상기 비틀림 공진 주파수를 비틀림 하모닉 캔틸레버의 기본 휨 공진 주파수에 대해 정수값 또는 가까운 정수값으로 조정하는 것은, 주로 두가지 방법에 의해 수행될 수 있다. 첫째로, 상기 조정은, 상기 기본 휨 공진 주파수를, 선정된 비틀림 공진 주파수의 공진 주파수를 나눌 수 있는 정수가 되도록 조정하는 것에 의해 달성될 수 있다. 둘째로, 상기 조정은, 선정된 비틀림 모드의 공진 주파수를, 기본 휨 공진 주파수의 정수의 배수가 되도록 조정하는 것에 의해 달성될 수 있다. 대안으로서, 상기 선정된 비틀림 공진 주파수를 상기 기본 휨 공진 주파수의 정수의 배수가 되도록 조정하기 위해, 상기 두가지 조정 방법이 동시에 적용될 수도 있다. 상기 비틀림 하모닉 캔틸레버의 기본 주파수를 선정된 비틀림 공진 주파수의 공진 주파수를 정수배로 나눌 수 있도록 조정하는 것은, 비틀림 모드의 공진 주파수와 비교하여, 기본 휨 공진 주파수를 변화시키는 데에 중요한 영향력을 가지고 있는 캔틸레버의 기하학적인 특징을 결합함으로써 달성될 수 있다. 예를 들어, 상기 캔틸레버의 자유단에 중량을 더하거나 제거하는 것에 의해 캔틸레버의 길이를 증가시키거나 감소시키면, 이에 따라 주파수 비율을 증가시키거나 감소시키게 될 것이다.

대안으로서, 상기 캔틸레버가, 테이퍼진 끝단을 구비하거나 구비하고 있지 않은 직사각형 또는 직사각형에 유사한 형상을 갖고 있을 때, 캔틸레버 아암의 폭 대 길이 비율이, 기본 휨 공진 주파수를 변경시키기 위해 조절될 수 있다. 폭 대 길이 비율이 높을수록 기본 주파수에 대한 비틀림 주파수의 비율이 높아진다. 상기 길이 및 폭의 정확한 값을 선정하는 것이, 상기 주파수 비율을 정수값 또는 정수값에 가깝게 조절하게 될 것이다.

상기 기본 공진 주파수는, 기본 모드에서 많이 변위된 부분에 있어서 유효 폭 또는 두께를 증가 또는 감소시키는 것에 의해서도 조정될 수 있는데, 이는 상기 기본 공진 주파수를 증가 또는 감소시키는 효과는 갖는다. 전형적으로, 이러한 중량 변경은 캔틸레버의 자유단에 대해 적용된다. 상기 기본 공진 주파수를 증가 또는 감소시키면, 기본 주파수에 대한 비틀림 주파수의 비율은 이에 대응하여 증가 또는 감소될 것이다.

마지막으로, 상기 주파수 비율은, 상기 공진 주파수 비율을 감소 또는 증가시키는 효과를 갖는 높은 기계적 스트레스를 갖는 부분에서의 유효 폭 또는 두께를 증가 또는 감소시키는 것에 의해 조정될 수 있다. 전형적으로, 이러한 중량 변경은 캔틸레버의 베이스에 대해 적용된다.

상기 선정된 비틀림 모드의 공진 주파수를 기본 휨 공진 주파수의 정수의 배수가 되도록 조정하는 것은, 기본 휨 공진 주파수와 비교하여, 비틀림 모드의 공진 주파수를 변화시키는 데에 중요한 영향력을 가지고 있는 캔틸레버의 기하학적인 특징을 결합함으로써 달성될 수 있다. 캔틸레버에 있어서는, 많은 비틀림 진동 모드가 있다. 일반적으로, 첫 번째의 몇개(2-3)의 모드가 중요하다.

먼저, 비틀림 모드의 공진 주파수는, 개구부 없이 캔틸레버의 유효 폭을 유지하면서, 캔틸레버의 몸체에 개구부를 갖는 아암 부분을 형성함으로써 조정될 수 있다. 이러한 비틀림 하모닉 캔틸레버의 예시적인 한 실시예가 도 11에 도시되어 있다. 도 11을 참조하면, 상기 아암 부분과 개구부는, 캔틸레버의 몸체를 따라 형성된 개구부의 위치, 아암의 분리("a") 및 개구부(들)의 연장("b")에 의해 특징지어질 수 있다. 적절한 조정은, 예컨대 분리 및 연장 길이의 최적치를 발견하기 위한 시뮬레이션(Simulation) 기법의 사용에 의해, 개구부 및 아암의 분리 위치 및 연장을 조절함으로써 이루어질 수 있다. 일반적으로, 캔틸레버의 몸체내에 개구부를 갖는 아암 부분을 형성하는 것은, 공진 주파수의 비율을 낮추게 될 것이다. 상기 비율이 낮추어지는 양은 상기 개구부의 연장에 비례한다.

한편, 상기 아암의 분리("a")를 증가시키는 것은, 만일 상기 아암이 그 특징의 비틀림 모드에서 높은 각 변위를 갖는 부분에 위치하고 있다면, 상기 주파수 비율을 감소시키게 될 것이다. 또한, 상기 각각의 아암의 폭은, 주로 캔틸레버의 유효 폭을 증가시키는 것에 의해, 비틀림 모드의 공진 주파수를 조절하기 위해 증가될 수 있다.

도 11에 있어서, 비틀림 하모닉 캔틸레버는 두개의 아암 부분을 평행하게 가지고 있다. 이러한 기하학적인 형상은 단지 예시적인 것에 불과하며 이에 한정하는 것으로 의도된 것이 아니다. 본 발명의 비틀림 하모닉 캔틸레버는 복수의 아암 부분이 구비될 수도 있다. 더욱이, 상기 아암 부분은 평행일 필요가 없다. 즉, 상기 아암 부분은 평행이 아닐 수도 있다. 예로서, 도 10은 두개의 아암 부분을 갖는 V자 형의 비틀림 하모닉 캔틸레버를 나타내고 있다.

상기한 상세한 설명은 본 발명의 특정한 실시예를 설명하기 위한 것으로서, 이에 한정하는 것으로 의도된 것이 아니다. 본 발명의 범위내에서 다양한 수정 및 변경이 가능할 것이다. 본 발명은 첨부된 특허청구범위에 의해 정의된다.

도면의 간단한 설명

도 1은, 탭핑모드 원자력 현미경의 일반적인 개략도.

도 2A는, 본 발명의 일 실시예에 따른 캔틸레버의 사시도.

도 2B는, 도 2A의 캔틸레버의 평면도.

도 3은, 도 2A 및 도 2B의 비틀림 모드의 모드 형상을 도시한 도면.

도 4는, 스플릿(Split) 광검출기 및 휨 및 비틀림 변형 검출을 위해 상기 광 검출기를 사용하여 처짐량을 측정하는 기법을 도시한 도면.

도 5는, 본 발명의 제1의 다른 실시예에 따른 캔틸레버의 평면도.

도 6은, 캔틸레버가 샘플 표면에 기본 공진 주파수로 두드려 질 때, 도 5의 캔틸레버의 휨 진동 스펙트럼을 도시한 도면.

도 7은, 캔틸레버가 샘플 표면에 기본 공진 주파수로 두드려 질 때, 도 5의 캔틸레버의 비틀림 진동 스펙트럼을 도시한 도면.

도 8은, 본 발명의 제2의 다른 실시예에 따른 캔틸레버의 평면도.

도 9는, 본 발명의 제3의 다른 실시예에 따른 캔틸레버의 평면도.

도 10은, 본 발명의 제4의 다른 실시예에 따른 캔틸레버의 평면도.

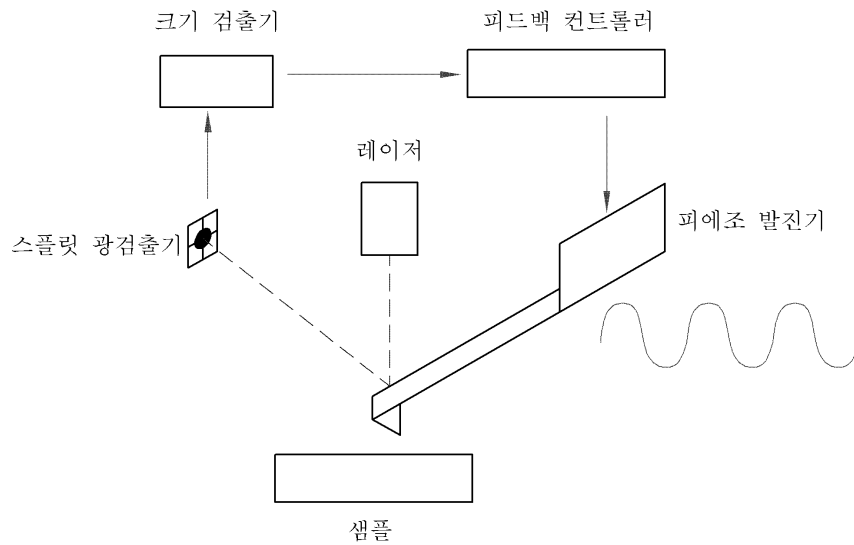
도 11은, 본 발명의 일 실시예에 따른 비틀림 하모닉 캔틸레버의 평면도.

도 12는, 캔틸레버가 샘플 표면에 기본 공진 주파수로 두드려 질 때, 도 11의 비틀림 하모닉 캔틸레버의 비틀림 진동 스펙트럼을 도시한 도면.

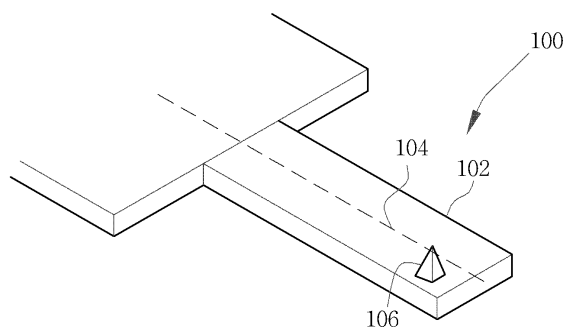
도 13은, 도 11의 비틀림 하모닉 캔틸레버의 비틀림 진동의 모드 형상을 도시한 도면.

도면

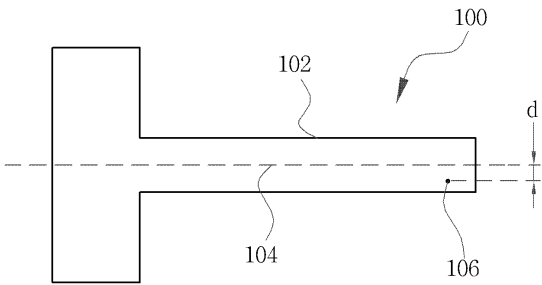
도면1



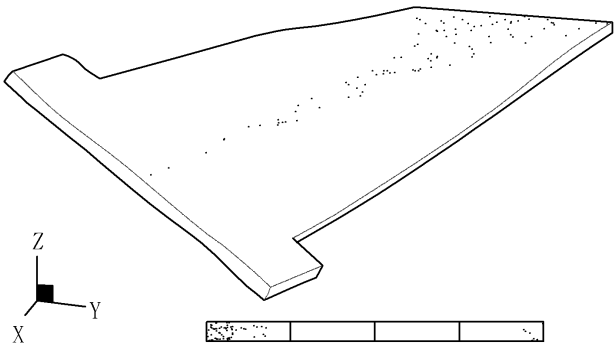
도면2a



도면2b

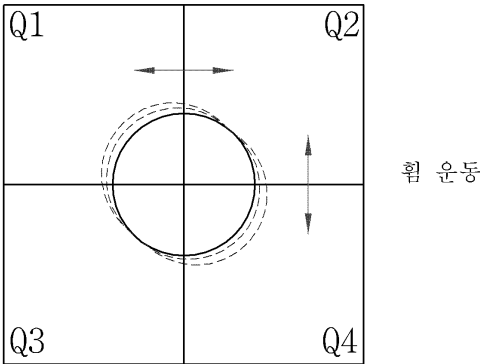


도면3

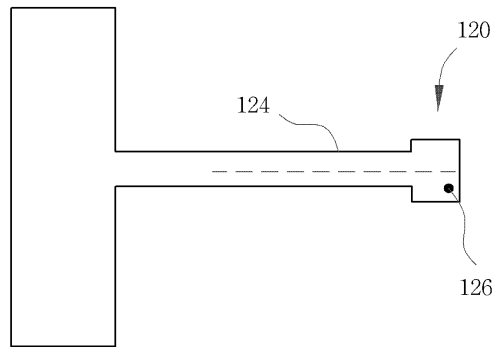


도면4

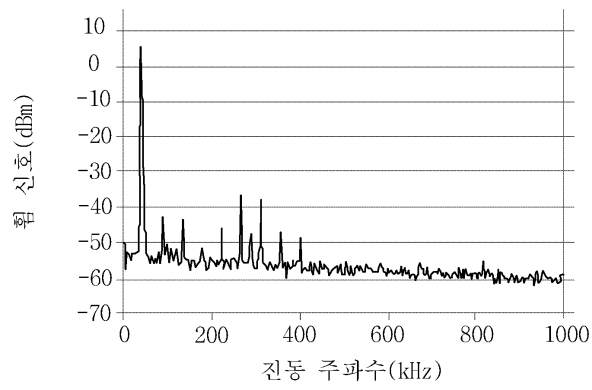
캔틸레버 휨
비틀림 운동



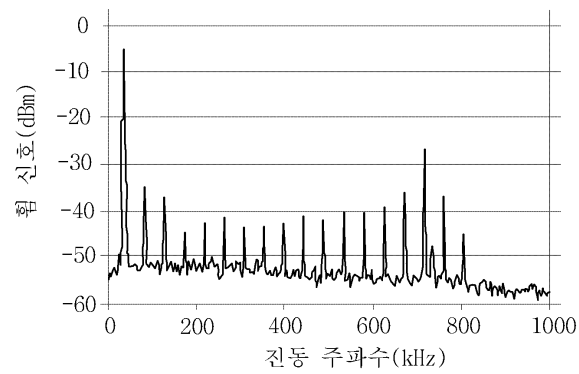
도면5



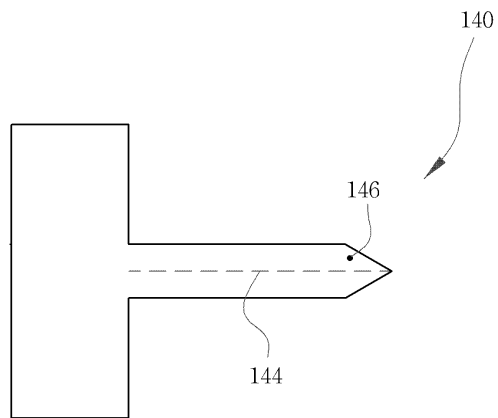
도면6



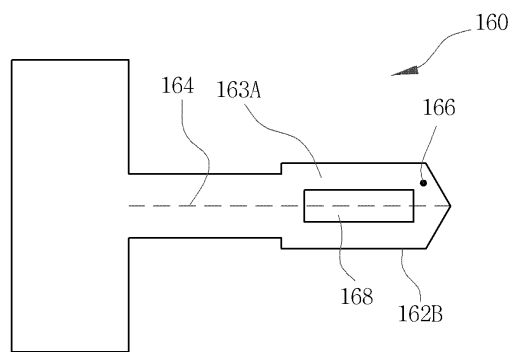
도면7



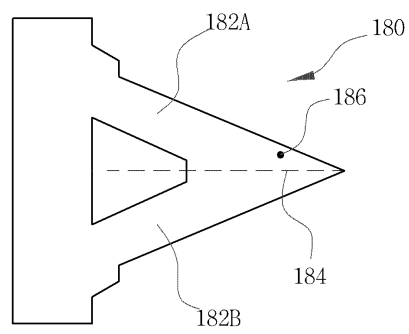
도면8



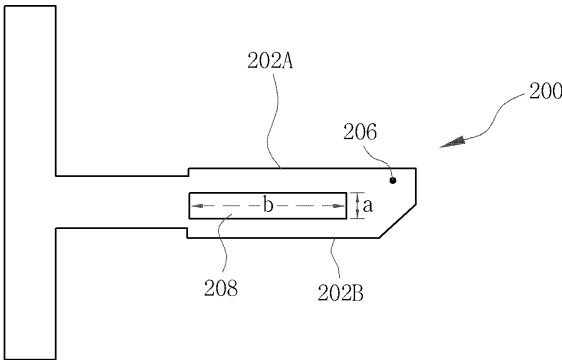
도면9



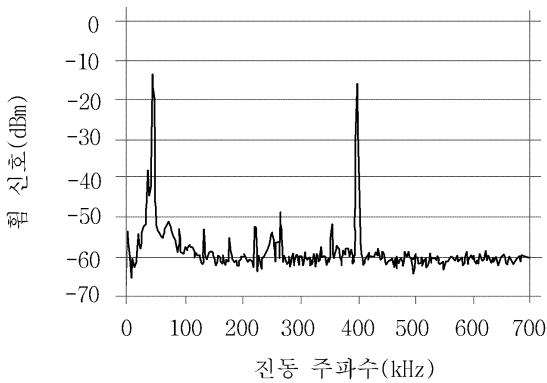
도면10



도면11



도면12



도면13

