(19) 대한민국특허청(KR)
(12) 공개특허공보(A)

(11) 공개번호 10-2010-0130653
(43) 공개일자 2010년12월14일

(51) Int. Cl.
G01Q 80/00 (2010.01) *G01Q 70/00* (2010.01)
G01C 19/56 (2006.01)
(21) 출원번호 10-2009-0043803
(22) 출원일자 2009년05월20일
심사청구일자 2009년05월20일

(71) 출원인
인하대학교 산학협력단
인천 남구 용현동 253 인하대학교
(72) 발명자
이승걸
인천광역시 남구 용현3동 인하대학교
박경덕
인천광역시 남구 용현3동 인하대학교 하이테크센터 522호
김대찬
인천광역시 남구 용현3동 인하대학교 하이테크센터 500호
(74) 대리인
특허법인태백

전체 청구항 수 : 총 5 항

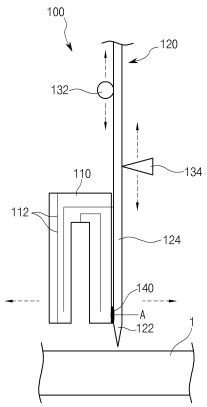
(54) 소리굽쇠-주사탐침 결합 진동계

(57) 요 약

본 발명은 교류전압을 인가받아 진동하는 소리굽쇠(Tuning fork), 소리굽쇠의 일측에 부착되어 소리굽쇠에 의하여 진동하는 주사탐침(scanning probe) 및 주사탐침의 측면에 접촉하되, 주사탐침과 접촉하는 접촉점의 위치를 조정하여 상기 소리굽쇠-주사탐침 결합 진동계의 고유진동수를 변화시키는 접촉부재를 포함하는 소리굽쇠-주사탐침 결합 진동계를 제공한다.

따라서, 본 발명은 접촉부재에 의한 역학적 진동제어 방식에 의해 소리굽쇠-주사탐침 결합 진동계의 고유진동수를 소리굽쇠 자체의 고유진동수에 가까워지게 함으로써 소리굽쇠-주사탐침 결합 진동계의 에너지 손실을 최소화하여 소리굽쇠-주사탐침 결합 진동계의 Q(quality factor)값을 극대화시킬 수 있으며, 측정 시료 환경에 관계없이 Q 값을 능동적으로 제어할 수 있어 공기 뿐만 아니라 점도가 높은 액체 내에 있는 시료의 고 분해능 측정도 가능하다.

대 표 도 - 도3



특허청구의 범위

청구항 1

교류전압을 인가받아 진동하는 소리굽쇠(Tuning fork);

상기 소리굽쇠의 일측에 부착되어 상기 소리굽쇠에 의하여 진동하는 주사탐침(Scanning probe); 및

상기 주사탐침의 측면에 접촉하되, 상기 주사탐침과 접촉하는 접촉점의 위치를 조정하여 상기 소리굽쇠와 주사탐침이 결합된 결합체의 고유진동수를 변화시키는 접촉부재를 포함하는 소리굽쇠-주사탐침 결합 진동계.

청구항 2

청구항 1에 있어서,

상기 접촉부재는,

상기 주사탐침의 일측의 표면에 접촉하되 상기 주사탐침의 길이방향으로 위치 이동하는 핀 고정단과,

상기 주사탐침의 타측의 표면에 접촉하되 상기 소리굽쇠와 상기 주사탐침의 부착점과, 상기 핀 고정단 사이에서 상기 주사탐침의 길이방향으로 위치 이동하는 칼날 인가부를 포함하는 소리굽쇠-주사탐침 결합 진동계.

청구항 3

청구항 1 또는 청구항 2에 있어서,

상기 주사탐침과 상기 소리굽쇠는, 상기 소리굽쇠의 길이방향과 상기 주사탐침의 길이방향이 서로 평행하게 접촉하거나, 상기 소리굽쇠의 길이방향과 상기 주사탐침의 길이방향이 서로 수직하게 접촉하는 소리굽쇠- 주사탐침 결합 진동계.

청구항 4

청구항 1 또는 청구항 2에 있어서,

상기 주사탐침은 점성을 갖는 매질에 삽입되어 상기 점성을 갖는 매질의 내부에 있는 시료의 광학적 특성을 측정하는 소리굽쇠-주사탐침 결합 진동계.

청구항 5

청구항 1 또는 청구항 2에 있어서,

상기 소리굽쇠는 진폭과 위상을 검출하기 위한 검출회로가 내부에 설치되고 산화규소(SiO_2)로 형성되며,

상기 주사탐침은 대략 보(beam)형상을 갖고 유리 또는 광섬유로 형성된 소리굽쇠-주사탐침 결합 진동계.

명 세 서

발명의 상세한 설명

기 술 분 야

[0001] 본 발명은 주사탐침 현미경(Scanning probe microscope)용 소리굽쇠-주사탐침 결합 진동계에 관한 것으로서, 보다 상세하게는 소리굽쇠-주사탐침 결합 진동계의 Q(Quality factor)값을 극대화하거나 광범위하게 조정하여, 주사탐침의 검침단과 시료 표면사이의 간격을 고분해능으로 측정하거나 측정 시간을 단축시키기 위한 소리굽쇠-주사탐침 결합 진동계에 관한 것이다.

배 경 기 술

[0002] 근접장 주사 광학 현미경(Near-field scanning optical microscope; NSOM)은 주사탐침 현미경의 한 종류로써 끝이 뾰족한 긴 탐침에 100nm 이하의 매우 작은 구멍을 뚫어 관측하고자 하는 시료 표면 위에서 전후좌우로 이동하면서 표면의 높낮이와 광학적 특성을 측정하는 장치로서, 일반적인 광학 현미경은 원거리장(Far-field)의 측정을 기반으로 하기 때문에 빛의 회절 현상이 나타나서 200 nm 정도의 분해능 한계를 가지는 반면, 근접장 주

사 광학 현미경은 100 nm이하의 개구수를 갖는 주사탐침을 통하여 근접장(near-field)을 측정하므로 광학 현미경의 분해능 한계를 극복할 수 있으며 시료 표면의 3차원 형상 정보와 광학적 정보를 동시에 측정할 수 있다.

[0003] 도 1a 및 도 1b는 종래의 소리굽쇠-주사탐침 결합 진동계를 나타내는 개략적인 도면으로, 도면을 참조하면, 종래의 소리굽쇠-주사탐침 결합 진동계는 진동계의 진폭과 위상의 변화를 검출할 수 있는 검출회로(미도시)가 장착된 소리굽쇠(Tuning fork;10)와, 접착제(30)에 의하여 소리굽쇠(10)에 부착되고 일단부의 단면크기가 수 마이크론 혹은 그 이하인 검침단(22)을 가진 주사탐침(20)으로 이루어 졌으며, 주사탐침(20)과 시료 표면 사이에 작용되는 쉬어포스(Shear force) 변화를 감지하여 주사탐침(20)과 시료 표면 사이의 간격을 나노미터 스케일까지로 제어하였다. 여기서, 상기 쉬어포스는 주사탐침(20)이 시료 표면에 20 nm 이하로 접근하였을 때 검침단(22)과 시료 표면 사이에 발생하는 반데르 발스 힘(Van der Waals' force) 등을 의미한다.

[0004] 한편, 상기 소리굽쇠-주사탐침 결합 진동계의 간격 제어 방법을 살펴보면, 먼저 주사탐침(20)이 부착되어 있는 소리굽쇠(10)에 소정의 주파수를 가진 교류 전압을 인가하여 소리굽쇠(10) 및 주사탐침(20)을 진동시킨다. 그런 다음 주사탐침(20)을 시료 표면에 근접시켜 주사탐침(20)과 시료 표면 사이의 쉬어포스에 의해 주사탐침(20)의 진동이 감소하면, 이에 따라 감소하는 소리굽쇠(10)의 진동을 검출회로에서 진폭과 위상의 변화로 검출하여 주사탐침(20)과 시료 표면 사이의 간격을 나노미터 스케일로 제어한다.

[0005] 여기서, 상기 소리굽쇠(10)에 인가하는 교류 전압의 주파수를 변화 시키며 소리굽쇠(10)에 장착된 검출회로의 출력 전압을 조사하면, 소리굽쇠(10)-주사탐침(20) 결합 진동계의 공진주파수에서 가장 높은 출력 전압을 기록하며, 인가하는 교류 전압 주파수가 공진주파수로부터 멀어질수록 출력 전압은 감소한다. 인가 교류 전압 주파수에 따른 상기 출력전압을 소리굽쇠(10)-주사탐침(20) 결합 진동계의 주파수 응답 곡선이라 하며, 이때, 상기 공진주파수를 주파수 응답 곡선의 반치 폭으로 나눈 값을 Q 값이라 하는데, 상기 주사탐침(20)의 검침단(22)과 시료 표면 사이의 거리 제어 정밀도는 소리굽쇠(10)-주사탐침(20) 결합 진동계의 Q 값에 의해 결정된다. 이것은, 상기 주사탐침 현미경의 주사탐침(20)의 검침단(22)이 시료 표면에 20 nm 이하로 접근하면 쉬어포스의 영향으로 인해 소리굽쇠(10)-주사탐침 결합 진동계의 물리적 특성이 변화하게 되어 결합 진동계의 공진주파수가 변화되고 주파수 응답 곡선이 왼쪽 혹은 오른 쪽으로 이동하게 된다. 이 때, 소리굽쇠(10)에 가하는 교류 전압은 쉬어포스가 감지되지 않는 상태, 즉 쉬어포스에 의해 물리적 특성이 변하기 이전의 소리굽쇠(10)-주사탐침 결합 진동계의 공진주파수를 인가하고 있으므로, 주파수 응답 곡선이 왼 쪽 혹은 오른 쪽으로 이동함에 따라 소리굽쇠(10)의 출력 전압은 감소한다. 이를 주사탐침(20)의 검침단(22)과 시료 표면 사이 거리 제어의 정밀도 관점에서 보면, Q 값이 큰 조건에서 쉬어포스 작용에 의한 출력전압의 변화가 더 크게 발생하므로 거리 변화를 더욱 정밀하게 감지하게 된다.

[0006] 즉, 소리굽쇠(10)-주사탐침 결합 진동계의 Q 값이 클수록 쉬어포스를 더 민감하게 감지할 수 있는 것이고, 이는 주사탐침 현미경에서 쉬어포스를 더 민감하게 감지할 수 있다는 것은 주사탐침(20)의 검침단(22)과 시료 표면 사이의 거리를 더 정밀하게 제어할 수 있다는 것을 의미한다.

[0007] 하지만, 상기 종래의 소리굽쇠-주사 탐침 결합 진동계에서처럼 소리굽쇠(10)에 주사탐침(20)을 부착하면 결합 진동계의 Q 값이 소리굽쇠 자체의 고유한 Q값에 비해 약 1/20 이하로 감소한다. 그 이유는 소리굽쇠(10) 두 다리의 질량에 불균형이 생기고, 소리굽쇠(10)에 가해지는 저항력이 커지며, 소리굽쇠(10)-주사탐침(20) 결합 진동계의 고유진동수가 소리굽쇠 자체의 고유진동수와 달라져 결합 진동계의 진동에 필요한 에너지 손실이 발생하기 때문이다. 특히, 근접장 주사 광학 현미경에서는 길이가 긴 주사탐침(20)을 사용하기 때문에 Q 값의 감소가 심하며, 이로 인해 주사탐침(20)의 검침단(22)과 시료 표면 사이의 정밀한 거리 제어에 심각한 문제가 발생한다.

[0008] 특히, 진동하는 주사탐침으로 액체 내에 있는 생물 시료를 측정할 경우에는 액체의 점성 때문에 액체 내의 주사탐침이 큰 저항력을 받게 되어, 소리굽쇠(10)-주사탐침 결합 진동계의 Q 값이 매우 낮아지거나 소리굽쇠의 발진이 일어나지 않게 되어 종래의 소리굽쇠-주사 탐침 결합 진동계로는 액체 내의 시료 형상을 고 분해능으로 측정하기 어려웠다.

발명의 내용

해결 하고자하는 과제

[0009] 본 발명은 소리굽쇠에 주사탐침을 부착하여도 소리굽쇠 고유의 Q값에 비해 소리굽쇠-주사탐침 결합 진동계의 Q 값이 크게 감소하지 않도록 하기 위해, 주사탐침 측면에 핀 고정단과 칼날 인가부를 접촉시키고 그 접촉 위치를

조정하여 소리굽쇠-주사탐침 결합 진동계의 진동 특성을 역학적으로 제어함으로서 주사탐침 현미경에서 주사탐침의 검침단과 시료 표면 사이의 정밀한 거리 제어를 하거나 측정 시간을 단축하는데 그 목적이 있다.

[0010] 또한, 본 발명은 핀 고정단과 칼날 인가부로 구성되는 접촉부재의 접촉 위치조정에 의한 역학적 진동 제어를 통해 점성이 높은 매질 속에 주사탐침이 삽입되어도 높은 Q값을 유지할 수 있기 때문에, 점성이 높은 매질 속에 있는 시료의 형상도 측정 가능하여 주사탐침 현미경을 적용 범위를 공기 중 시료뿐만 아니라 액체 내에 있는 생물학 시료의 초정밀 측정에까지 확대하는데 그 목적이 있다.

과제 해결수단

[0011] 본 발명은 교류전압을 인가받아 진동하는 소리굽쇠(Tuning fork), 상기 소리굽쇠의 일측에 부착되어 상기 소리굽쇠에 의하여 진동하는 주사탐침 및 상기 주사탐침의 측면에 접촉하되, 상기 주사탐침과 접촉하는 접촉점의 위치를 조정하여 상기 소리굽쇠와 주사탐침이 결합된 결합체의 고유진동수를 변화시키는 접촉부재를 포함하는 소리굽쇠-주사탐침 결합 진동계를 제공한다. 여기서, 상기 접촉부재는, 상기 주사탐침의 일측의 표면에 접촉하되 상기 주사탐침의 길이방향으로 위치 이동하는 핀 고정단과, 상기 주사탐침의 타측의 표면에 접촉하되 상기 소리굽쇠와 상기 주사탐침의 부착점과 상기 핀 고정단 사이에서 상기 주사탐침의 길이방향으로 위치 이동하는 칼날 인가부를 포함하며, 상기 핀 고정단과 상기 칼날 인가부는 X, Y, Z축 방향으로 정밀이동이 가능한 트랜스레이션 스테이지(Translation stage)에 의하여 각각 지지되는 것이 좋다.

[0012] 상기 주사탐침과 상기 소리굽쇠는, 상기 소리굽쇠의 길이방향과 상기 주사탐침의 길이방향이 서로 평행하게 접촉하거나, 상기 소리굽쇠의 길이방향과 상기 주사탐침의 길이방향이 서로 수직하게 접촉할 수 있다. 또한, 상기 주사탐침의 끝단에 해당하는 검침단은 점성을 갖는 매질에 삽입되어 상기 점성을 갖는 매질의 내부에 있는 시료의 표면 형상 및 광학적 특성을 측정할 수 있다.

[0013] 여기서, 상기 소리굽쇠는 보통 수정 발진자로 형성되며, 진폭과 위상을 검출하는 회로가 설치되고, 상기 주사탐침은 유리 또는 광섬유로 형성된 소정 크기의 단면과 길이를 갖는 보(Beam)형상으로, 시료와 대면하는 일측은 단면의 크기가 수 마이크론 혹은 그 이하의 검침단으로 하는 것이 좋다.

효 과

[0014] 본원 발명에 따른 소리굽쇠-주사 탐침 결합 진동계는 다음과 같은 효과를 제공한다.

[0015] 첫째, 소리굽쇠-주사 탐침 결합 진동계의 Q 값을 소리굽쇠 자체의 고유 Q값에 비해 크게 감소하지 않게 제어할 수 있으므로, 종래의 방식보다 아주 높은 Q값을 가질 수 있으므로, 주사탐침의 검침단과 시료 표면 사이에 아주 미약한 쉬어포스도 민감하게 감지가 가능하여, 시료 형상의 고 분해능 측정이 가능하다.

[0016] 둘째, 생물학 시료와 같은 말랑말랑한 시료의 정밀한 측정도 가능하여, 의학, 생명과학 분야의 연구 대상인 세포, 세균, 바이러스 등의 정밀한 형상 측정과 광 특성 분석이 가능하다.

[0017] 셋째, 핀 고정단과 칼날 인가부에 의한 역학적인 진동 제어 방식은 시료 주변 환경에 관계없이 Q 값의 능동적인 제어가 매우 정밀하게 가능하며, Q 값의 제어 범위가 매우 넓으므로 종래의 회로적 방식에 의한 Q 값 제어보다 나은 성능을 제공한다.

[0018] 넷째, Q 값의 능동적인 제어가 가능하기 때문에 측정 시간의 능동적인 조정이 가능하며, 나아가 시료의 상황과 측정의 목적에 맞게 적합한 방식의 선택이 가능한 장점이 있어 소리굽쇠-주사탐침 결합 진동계의 활용 범위를 넓힐 수 있다.

[0019] 다섯째, 공기 중에 있는 시료뿐 만 아니라 액체매질 내에 있는 시료도 고 분해능으로 측정할 수 있으므로 의학과 생물학 연구와 같은 다양한 분야에서 광범위하게 활용할 수 있다.

발명의 실시를 위한 구체적인 내용

[0020] 이하 첨부된 도면을 참조하면서 본 발명에 따른 바람직한 실시예를 상세히 설명하기로 한다.

[0021] 도 2는 본 발명의 제1실시예에 따른 소리굽쇠-주사탐침 결합 진동계를나타내는 사시도이고, 도 3 및 도 4는 도 2에 도시된 소리굽쇠-주사탐침 결합 진동계에서 소리굽쇠, 주사탐침 및 접촉부재를 개략적으로 나타낸 정면도와 측면도이다.

[0022] 먼저, 도 2를 참조하면, 본 발명의 제1실시예에 따른 소리굽쇠-주사탐침 결합 진동계(100)는, 교류전압을 인가받아 진동하는 소리굽쇠(Tuning fork; 110)와, 상기 소리굽쇠(110)의 일측에 부착되는 주사탐침(Scanning probe ;120)과, 상기 주사탐침(120)과 접촉하여 상기 소리굽쇠(110)와 주사탐침(120)이 결합된 결합체의 고유진동수를 변화시키는 접촉부재(130)와, 상기 접촉부재(130)를 지지하는 트랜스레이션 스테이지(30c)를 포함한다.

[0023] 상기 소리굽쇠(110)는, 도 3 및 도 4를 참조하면, 양 갈래로 분지된 다리(Prong)를 가진 형상으로서 재질은 산화규소(SiO_2)로 하는 것이 좋으며 예로서 수정발진자(Quartz oscillator)로 형성되는 것이 좋지만, 상기 소리굽쇠(110)의 역할을 할 수 있는 PZT 또는 막대형 소리굽쇠 외 다른 형태의 수정 발진자에도 적용 가능 하는 등 상기한 목적을 달성할 수 있다면 다양하게 적용가능하다. 또한, 상기 소리굽쇠(110)는 소리굽쇠(110)의 진폭과 위상을 검출할 수 있는 검출회로(112)가 설치되어 있으며, 소정의 주파수를 갖는 교류 전압을 인가하면 소리굽쇠(110)의 두 다리가 오므렸다 폈다를 반복하는 진동을 하고 이러한 진동을 상기 검출회로(112)에서 측정하여 외부관측장비(미도시)로 신호를 보낸다. 여기서, 상기 검출회로(112)는 상기 소리굽쇠(110)의 진폭과 위상을 검출할 수 있는 장치라면 모두 가능하고, 마찬가지로 상기 외부관측장비 또한 상기 검출회로(112)의 전기적신호를 관측할 수 있는 장치라면 모두 가능하며, 상기 검출회로(112)와 외부관측장비 는 당업계에서는 일반적인 장치이므로 상세한 설명을 생략하기로 한다.

[0024] 상기 주사탐침(120)은, 소정 크기의 단면을 갖고 단면보다 긴 길이를 가진 보 형상이며, 시료(1)와 대면하는 일단부는 단면 크기가 수 마이크론 혹은 그 이하인 검침단(122)으로 형성되고, 타단부는 상기 검침단(122)보다 상대적으로 큰 단면 크기를 갖는 자유단(124)으로 형성되어 있다.

[0025] 상기 소리굽쇠(110)와 주사탐침(120)은 접착제(140)를 통하여 서로 부착된다. 상세하게는, 상기 주사탐침(120)은 상기 소리굽쇠(110)의 한쪽 다리의 일측에 부착되되, 상기 주사탐침(120)의 검침단(122)이 소리굽쇠(110)와 주사탐침(120)이 부착되는 부착점으로부터 대략 1㎜ 정도의 길이가 노출되게 부착된다.

[0026] 상기 접촉부재(130)는 상기 접촉점(A)에 대하여 상기 주사탐침(120)의 자유단(124)의 표면에 대하여 매우 작은 접촉면을 가지면서 접촉하여 상기 주사탐침(120)과, 나아가 상기 소리굽쇠(110)와 주사탐침(120)이 결합된 결합체의 고유진동수를 변화시키는 역할을 하며, 이때 상기 접촉부재(130)는 주사탐침(120)의 자유단(124)에서 접촉점(A)의 위치를 주사탐침(120)의 길이방향에 대하여 자유롭게 조정가능하며, 이를 통하여 상기 주사탐침(120)과 진동결합계의 고유진동수를 변화시킬 수 있다. 또한, 상기 접촉부재(130)는 상기 주사탐침(120)에 대하여 접촉압력을 조정하여 접촉시킬 수도 있다.

[0027] 여기서, 상기 접촉부재(130)는 소리굽쇠(110)와 주사탐침(120)의 진동을 더욱 정교하게 조정하기 위하여 주사탐침(120)의 양측에서 접촉 지지하는 것이 좋다. 때문에, 상기 접촉부재(130)는 주사탐침(120)의 일측 표면에 접촉하여 핀 포인트 (Pin point)기능을 수행하는 핀 고정단(132)과, 이와 대면하는 주사탐침(120)의 타측 표면에 접촉하는 칼날 인가부(134)를 포함하며, 이때 상기 칼날 인가부(134)는 상기 핀 고정단(132)과 상기 접촉점(A) 사이에 위치하는 것이 좋다. 나아가, 상기 칼날 인가부(134)를 주사탐침을 기준으로 접촉점에 대하여 반대 측에 위치하도록 하여 칼날 인가부(134)에 의하여 접촉압력을 받은 주사탐침(120)이 소리굽쇠(110) 쪽으로 힘을 받도록 하고, 핀 고정단(132)은 칼날 인가부(134)와는 주사탐침을 기준으로 반대 측에 위치하도록 하는 것이 좋다. 이러한 이유는 칼날 인가부(134)의 위치를 반대로 하였을 경우 주사탐침(120)이 소리굽쇠에서 떨어지려는(멀어지려는) 압력이 미세하게 작용하여 진동제어는 가능하지만 소리굽쇠(110)의 Q값이 전체적으로 낮아져 주사탐침(120)에 의한 소리굽쇠(110)의 에너지 손실이 커지는 현상이 발생하기 때문이다.

[0028] 그리고, 상기 핀 고정단(132)을 칼날 인가부(134)와 반대 측에 위치하도록 한 이유는 바람, 진동 등과 같은 주위 조건에 대하여 위치 변화 없이 잘 고정이 되도록 하기 위함이다.

[0029] 한편, 상기 핀 고정단(132)과 칼날 인가부(134)는 상기 주사탐침(120)에 대한 접촉 위치를 정밀하게 이동하기 위하여 x-y-z축 이동이 가능한 트랜스레이션 스테이지(Translation stage)에 의하여 각각 지지되지만, 이는 일실시예로서 상기 핀 고정단(132)과 칼날 인가부(134)를 지지하고 주사탐침(120)에 대하여 정밀한 위치이동을 할 수 있는 장치라면 모두 가능하다. 상기 트랜스레이션 스테이지는 일반적인 이송장치로서 상세한 설명은 생략하기로 한다.

[0030] 상기한 본 발명의 제1실시예에 따른 소리굽쇠-주사탐침 결합 진동계(100)의 작동에 대하여 살펴보면 다음과 같다.

[0031] 본 발명의 제1실시예에 따른 소리굽쇠-주사탐침 결합 진동계(100)는, 관측하고자 하는 시료(1)의 표면에 소리굽쇠(110)에 부착되어 진동하는 주사탐침(120)의 검침단(122)을 근접시켜 주사탐침(120)과 시료(1) 표면 사이에 작용되는 쉬어포스(Shear force)변화를 소리굽쇠(110)의 검출회로(112)를 통하여 감지하여 주사탐침(120)과 시료(1) 표면의 간격을 나노미터 스케일로 관측 제어하며, 소리굽쇠(110)에 부착되어 있는 주사탐침(120)의 진동 특성을 역학적으로 제어하여 소리굽쇠(110)와 주사탐침(120)으로 이루어진 결합 진동계의 Q값을 높여, 주변 환경을 구성하고 있는 매질의 점성에 영향을 받지 않고 자유롭게 진동할 수 있도록 한다.

[0032] 여기서, 상기 주사탐침(120)의 진동 특성을 역학적으로 제어하는 것에 대하여 살펴보면, 본 발명의 제1실시예는 상기 소리굽쇠(110)에 부착된 주사탐침(120)에 핀 고정단(132)과 칼날 인가부(134)를 각각 접촉시켜 소리굽쇠(110)와 주사탐침(120)의 진동을 새로운 경계 조건이 형성되게 하여 역학적으로 제어함으로써, 결합 진동계의 고유진동수를 조정하고 Q 값을 높일 수 있으며, 이때 상기 핀 고정단(132)과 칼날 인가부(134)의 접촉위치를 각각 조정하여 Q값을 능동적으로 제어할 수 있다.

[0033] 이러한 핀 고정단(132)과 칼날 인가부(134)의 역학적인 진동특성 제어에 대하여 살펴보면, 먼저 상기 핀 고정단(132)과 칼날 인가부(134)는 주사탐침(120)이 부착되어 있는 소리굽쇠(110)의 진동 특성을 역학적으로 제어함으로써, 주변 환경을 구성하고 있는 매질의 점성에 영향을 받지 않고 소리굽쇠(110)가 자유롭게 진동할 수 있도록 하고 측정 시 발생하는 고유 진동수를 소리굽쇠(110) 자체의 고유 진동수와 일치하도록 하기 위한 것으로서, 시료(1)가 점성이 높은 매질의 내부에 있는 경우에도 측정이 가능하도록 소리굽쇠(110)의 Q값을 높게 유지하여 주사탐침(120)과 시료(1) 표면의 간격을 정밀하게 제어할 수 있으며, 이에 따라 점성이 높은 매질의 내부에 있는 시료(1)의 고 분해능 측정을 가능하게 한다. 이러한 점성이 높은 매질인 액체의 내부에 있는 시료(1)를 대상으로 하는 것에 대한 내용은 후술하기로 한다.

[0034] 본 발명의 제1실시예는 상기 접촉부재(130)를 통하여 소리굽쇠(110)의 Q값을 높일 수도 있지만, 측정의 목적에 따라 Q 값을 낮게 하여 주사탐침 현미경의 주사탐침의 주사 시간을 빠르게 할 수도 있는 등 본 발명의 실시예는 상기 접촉부재(130)를 통하여 소리굽쇠(110)의 Q값을 능동적으로 제어할 수 있다.

[0035] 즉, 상기 접촉부재(130)는 상기 주사탐침(120)의 접촉점(A) 상측의 자유단(124) 일측에 핀 고정단(132)을 접촉시키고, 주사탐침(120)의 자유단(124) 타측에서 접촉점(A)과 핀 고정단(132) 접촉위치 사이에 칼날 인가부(134)를 접촉시키고 이때 상기 핀 고정단(132)과 칼날 인가부(134)는 주사탐침(120)의 길이방향에 대하여 위치이동을 시키되, 특정한 경계 조건이 형성되어 주사탐침(120)의 공진주파수를 변화시키도록 그 위치를 조정할 수 있으며, 나아가 상기 핀 고정단(132)과 칼날 인가부(134)의 주사탐침(120)에 대한 접촉 압력도 조정할 수 있다.

[0036] 한편, 본 발명의 실시예에 따른 소리굽쇠-주사탐침 결합 진동계(100)는, 소리굽쇠(110)가 횡방향으로 진동하는 특성을 이용하므로, 진동은 보(Beam)의 횡 진동 이론을 적용하여 해석하였으며, 상기 진동 결합계는 소리굽쇠(110)의 두 개의 보와 주사탐침(120)의 보가 결합된 다섯 보의 결합 시스템으로 해석하였으며, 여기서 다섯의 보는 소리굽쇠(110)의 두 다리와, 주사탐침(120)의 접촉점(A)과 검침단(122) 사이의 보, 접촉점(A)과 칼날 인가부(134) 사이의 보, 칼날 인가부(134)와 핀 고정단(132) 사이의 보로 하였다.

[0037] 여기서, 상기 횡으로 진동하는 보에서 길이성분 l 에 대한 횡 진동 진폭의 일반식은 $U(l) = a\cos(\beta l) + b\sin(\beta l) + c\cosh(\beta l) + d\sinh(\beta l)$ 로 하였다. 여기서, 이며, ω_R 은 공진주파수, ρ 는 밀도, S 는 단면적, E 는 영률, I 는 관성모멘트이다. 상기 일반식을 이용하여 결합 진동계 다섯 보의 횡 진동 진폭에 대한 5개의 식을 도출하여 소리굽쇠(110)와 주사탐침(120)의 변수를 대입한 후, 경계 조건을 설정하였으며, 설정한 20개의 경계 조건 중 주사탐침(120)이 핀 고정단(132)과 칼날 인가부(134)의 위치에서 형성하도록 한 경계 조건은 다음과 같다.

[0038] 핀고정단(132) 위치에서의 두 경계 조건은 $U_1(0) = 0$, $U_1''(0) = 0$ 이며, 칼날인가부(134) 위치에서의 네 경계 조건은 $U_1(l_1) = 0$, $U_2(l_1) = 0$, $U_1''(l_1) = U_2''(l_1)$, $U_1''(l_1) = U_2''(l_1)$ 이다. 여기서 U_1 은 칼날인가부(134)와 핀고정단(132) 사이 보의 횡 진동 진폭에 대한 식이고, U_2 는 접촉점(A)과 칼날인가부(134) 사이 보의 횡 진동 진폭에 대한 식이며, l_1 은 핀고정단(132)과 칼날인가부(134) 사이의 길이다.

[0039] 상기한 본 발명의 실시예에 따른 새로운 경계조건이 적용된 핀 고정단(132)의 위치는, 칼날 인가부(134)의 위치

에 의해 변화하는 공진주파수의 변화 형태를 결정한다. 즉 칼날 인가부(134)의 위치에 의해 변화하는 공진주파수가 하나의 모드를 가질 지, 두 개의 모드를 가질 지는 핀 고정단(132)의 위치에 의해 결정되며, 이는 도면 7a와 7b는 도면 2a에 도시한 핀 고정단(132)과 칼날 인가부(134)를 설치한 소리굽쇠(110)와 주사탐침(120) 결합 구조의 진동 특성을 이론적으로 계산한 것으로 이에 대한 상세한 설명은 후술하기로 한다.

[0040] 따라서, 본 발명의 실시예에 따른 소리굽쇠-주사탐침 결합 진동계(100)는 주사탐침(120)과 소리굽쇠(110)가 부착된 상태에서, 주사탐침(120)의 검침단(122) 반대방향인 자유단(124) 일측에 상기 핀 고정단(132)과 칼날 인가부(134)를 지정된 위치에 접촉시키기만 하여 제어하므로, 일반적인 주사 탐침 현미경에 용이하게 적용가능하다.

[0041] 또한, 본 발명의 실시예에 따른 소리굽쇠-주사탐침 결합 진동계(100)는 Q값을 능동적으로 제어할 수 있기 때문에, 정밀한 거리 제어가 가능하도록 소리굽쇠-주사탐침 결합 진동계(100)의 Q값을 높게 할 수도 있으며, 빠른 측정이 요구되는 경우에는 소리굽쇠-주사탐침 결합 진동계(100)의 Q값을 낮게 할 수도 있다. 여기서, 상기 Q값과 정밀거리제어 및 측정시간과의 상관관계를 살펴보면, 소리굽쇠-주사탐침 결합 진동계(100)의 높은 Q 값은 정밀한 거리 제어가 가능하게 하는 반면에 주사 시간이 길어지는 단점이 있는데 그 이유는 소리굽쇠(110)가 외부 요인에 의해 진동이 감소되고 안정화 될 때에 안정화 되는 시간 τ 는 $\tau = Q/\omega_0$ 에 따르기 때문이다.

[0042] 여기서 ω_0는 소리굽쇠(110)의 공진주파수이다. 따라서 면적이 큰 시료(1)를 측정하거나 시료(1)의 상태 변화가 있어 빠른 측정이 요구될 경우에는 낮은 Q 값을 사용하는 것이 유리하다. 그러므로 Q 값을 능동적으로 제어할 수 있는 본 발명의 실시예에 따른 소리굽쇠-주사탐침 결합 진동계(100) 시료(1)의 매질 특성에 상관없이 광범위하게 사용할 수 있다.

[0043] 상기한 바와 같이, 본 발명의 실시예에 따른 소리굽쇠-주사탐침 결합 진동계(100)는, 소리굽쇠(110)에 접착제(140)를 통하여 부착한 주사탐침(120)의 표면에 핀 고정단(132)과 칼날 인가부(134)가 특정한 경계 조건을 갖도록 설정하여, 핀 고정단(132)과 칼날 인가부(134)의 위치를 주사탐침(120)의 자유단(124)에 대하여 길이 방향으로 그 접촉위치를 변화시킴으로써, 주사탐침(120)의 고유진동수를 변화시킬 수 있고, 그에 따라 소리굽쇠(110)와 주사탐침(120)의 고유주파수 간의 결합 효과가 달라지므로, 결합 효과를 최대로 하는 결합체의 공진주파수를 찾기 때문에, Q 값을 일반적인 소리굽쇠-주사탐침 결합 진동계와 비교하여 20배 이상 향상시킬 수 있다.

[0044] 한편, 도 3에 도시된 본 발명의 제1실시예에 따른 소리굽쇠-주사탐침 결합 진동계(100)는 상기 주사탐침(120)을 주사탐침(120)의 길이방향과 상기 소리굽쇠(110)의 한쪽 다리의 길이방향과 평행하게 부착하여 주사탐침(120)이 시료(1) 표면에 대하여 수평 방향으로 진동하는 쉬어포스모드(shear force mode)로 하였으나, 이외 상기 소리굽쇠(110)에 대하여 주사탐침(120)의 부착 위치를 달리하거나, 상기 주사탐침(120)을 주사탐침(120)의 길이방향과 상기 소리굽쇠(110) 한쪽 다리의 길이방향과 수직하게 부착하여 주사탐침(120)이 시료(1) 표면에 대하여 수직 방향으로 진동하는 태핑모드(tapping mode)로 할 수 있다.

[0045] 도 5 및 도 6은 도 2에 도시된 소리굽쇠-주사탐침 결합 진동계에서 주사탐침이 소리굽쇠의 전면에 부착된 제2실시예를 나타낸 정면도와 측면도이고, 도 7 및 도 8은 도 2에 도시된 소리굽쇠-주사탐침 결합 진동계에서 주사탐침과 소리굽쇠가 서로 수직하게 부착된 제3실시예를 나타낸 정면도와 측면도이며, 도 9 및 도 10은 도 7에 도시된 소리굽쇠-주사탐침 결합 진동계에서 주사탐침이 소리굽쇠의 측면에 부착된 제4실시예를 나타낸 정면도와 측면도이다.

[0046] 먼저, 도 5 및 도 6을 참조하면, 본 발명의 제2실시예에 따른 소리굽쇠-주사탐침 결합 진동계는, 주사탐침(220)을 소리굽쇠(210)의 한쪽 다리에 부착하되, 상기 주사탐침(220)의 길이방향과 상기 소리굽쇠(210) 한쪽 다리의 길이방향과 평행하게 부착하여 주사탐침(220)이 시료 표면에 대하여 수평 방향으로 진동하는 쉬어포스모드(Shear force mode)인 것으로, 도 2에 도시된 바와 같이 주사탐침(220)이 소리굽쇠(210)의 일측면 하단부에 접촉시키는 것이 아니라, 소리굽쇠(210)의 전면 하단부에 접촉시켰다.

[0047] 도 7 내지 도 10은, 본 발명의 제3 및 제4실시예에 따른 소리굽쇠-주사탐침 결합 진동계를 나타낸 도면으로서, 주사탐침(220)을 소리굽쇠(210)의 한쪽 다리에 부착하되, 상기 주사탐침(220)의 길이방향과 상기 소리굽쇠(210) 한쪽 다리의 길이방향과 수직하게 부착하여 주사탐침(220)이 시료 표면에 대하여 수직 방향으로 진동하는 태핑모드(Tapping mode)인 것으로, 세부적으로는 상기 도 7 및 도 8은 상기 주사탐침(320)을 상기 소리굽쇠(310)의

전면 하단부에 부착시키고, 도 9 및 도 10은 상기 주사탐침(420)을 상기 소리굽쇠(410)의 일측 하단부에 부착시킨 경우이다. 이러한 경우에는, 태핑모드로 하여 소리굽쇠(410)와 주사탐침(420)을 수직으로 고정하여도 소리굽쇠(410) 다리의 진동하는 진폭은 0.4 nm 이하로 굉장히 작기 때문에 핀 고정단(332,432)과 칼날 인가부(334,434)에 의한 역학적 진동 제어는 안정적으로 가능하다.

[0048] 한편, 상기 도 5 내지 도 10의 소리굽쇠-주사탐침 결합 진동계(200,300,400)의 각 소리굽쇠(210,310,410)와 주사탐침(220,320,420)과 칼날 인가부(234,334,434)와 핀 고정단(232,332,432)에 대한 상세한 내용은 도 2의 본 발명의 제1실시예에 따른 소리굽쇠-주사탐침 결합 진동계(100)의 소리굽쇠(110)와 주사탐침(120)과 칼날 인가부(134)와 핀 고정단(132)와 실질적으로 동일하므로 구성 및 작동에 대한 설명은 생략하기로 한다.

[0049] 도 11 및 도 12는 도 2에 도시된 소리굽쇠-주사탐침 결합 진동계가 액체매질 내에 있는 시료를 대상으로 측정하는 것을 나타낸 정면도와 측면도이다. 도면을 참조하면, 본 발명의 제1실시예에 따른 소리굽쇠-주사탐침 결합 진동계(100)는 역학적 제어 방법을 액체(2) 내에 있는 시료의 광학적 측정에 적용하기 위하여 주사탐침(120)의 검침단(122)을 소리굽쇠(110)의 단부에 대하여 3㎜ 정도로 길게 노출되도록 하여 상기 검침단(122)을 액체(2)에 침투시켜 측정할 수 있다. 여기서, 상기 검침단(122)의 길이는 액체(2)의 두께(깊이) 및 물성 등에 따라 변경가능하며, 이때 도면 10에 나타난 바와 같이, 주사탐침(120)의 노출되는 검침단(122) 길이를 달리하여도 본 발명의 실시예에 역학적 제어 방법에 의한 공진주파수의 변화 형태는 바뀌지 않으며, 도 9에 나타난 바와 같이 검침단(122)이 액체(2) 내에 있어도 역학적 진동 제어에 따른 공진주파수의 변화 모양은 공기 중에 있을 때와 같으며, Q 값은 점성에 의해 다소 감소하지만, 본 발명의 실시예에 따르면 주사탐침(120)의 검침단(122)이 액체(2) 내에 들어간 상태에서도 2800의 높은 Q 값을 가질 수 있다.

[0050] 즉, 본 발명의 실시에에 따른 소리굽쇠-주사탐침 결합 진동계(100)는, 종래의 주사탐침(120) 현미경에서는 주사탐침(120)을 액체(2) 내에 담갔을 경우 액체의 높은 점성으로 소리굽쇠(110)의 Q 값이 감소되어 고 분해능의 측정을 할 수 없었던 문제를 극복하여, 본 발명의 실시예는 역학적 진동 제어 방식을 적용함으로써 주사탐침(120)을 점성이 높은 액체(2)내에 담근 상태에서도 매우 높은 Q값을 갖게 되어 액체 내부에 있는 시료의 고 분해능의 측정이 가능하게 된다. 본 구조에서는 소리굽쇠(110)와 주사탐침(120)의 접촉점(A)으로부터 검침단(122)까지의 길이를 3 ㎜ 정도로 공기 중의 시료를 측정하는 경우보다 길게 하여 액체(2) 내에 주사탐침(120)의 삽입을 용이하도록 하였다.

[0051] 도 13a 및 도 13b는 도 2에 도시된 소리굽쇠-주사탐침 결합 진동계(100)에 의한 소리굽쇠(110)와 주사탐침(120)을 모델링하여 공진주파수의 변화를 이론적으로 계산한 그래프이다.

[0052] 먼저, 도 13a를 참조하면, 도 13a는 도 2의 본 발명의 제1실시예에 따른 소리굽쇠-주사탐침 결합 진동계(100)의 역학적 진동 제어법이 적용된 소리굽쇠(110)와 주사탐침(120) 결합체를 모델링하여 공진주파수의 변화를 이론적으로 계산한 결과로써, 실험 구조와 동일한 조건을 이론적으로 모델링한 후 값을 도출한 것이다. 그래프를 참조하면, 그래프의 가로축은 소리굽쇠(110)와 주사탐침(120)의 접촉점(A)과 칼날 인가부(134) 사이의 거리를 나타내며, 세로축은 칼날 인가부(134)와 핀 고정부의 위치에 의해 결정된 진동 결합계의 공진주파수를 나타낸다. 이때의 상기 소리굽쇠(110)와 주사탐침(120)의 접촉점(A;도 3참조)으로부터 핀까지의 거리는 각각 11.0 ㎜, 11.4 ㎜, 11.8 ㎜, 12.2 ㎜의 경우에 대하여 계산을 실시하였으며, 소리굽쇠(110)와 주사탐침(120)의 접촉점(A)으로부터 칼날까지의 거리는 2.0 ㎜부터 10.2 ㎜까지 0.2 ㎜ 간격으로 변화하여 계산을 실시하였다.

[0053] 도 13b는 도 2의 본 발명의 제1실시예에 따른 소리굽쇠-주사탐침 결합 진동계(100)의 역학적 진동 제어법이 적용된 소리굽쇠(110)와 주사탐침(120) 결합 진동계를 모델링하여 공진주파수의 변화를 이론적으로 계산한 결과로써, 가로축은 소리굽쇠(110)와 주사탐침(120)의 접촉점(A)과 칼날 인가부(134) 사이의 거리를 나타내며, 세로축은 칼날 인가부(134)와 핀 고정부의 위치에 의해 결정된 결합 진동계의 공진주파수를 나타낸다. 이때의 상기 소리굽쇠(110)와 주사탐침(120)의 접촉점(A)으로부터 핀까지의 거리는 각각 12.6 ㎜, 13.0 ㎜, 13.4 ㎜, 13.8 ㎜인 경우에 대하여 계산을 실시하였으며, 소리굽쇠(110)와 주사탐침(120)의 접촉점(A)으로부터 칼날까지의 거리는 2.0 ㎜부터 10.2 ㎜까지 0.2 ㎜ 간격으로 변화하여 계산을 실시하였다.

[0054] 상기 도 13a 및 도 13b를 살펴보면, 상기 그래프는 칼날 인가부(134)의 위치에 의해 변화하는 공진주파수가 하나의 모드를 가질 지, 두 개의 모드를 가질 지는 핀 고정단(132)의 위치에 의해 결정되며, 도면 13a의 네 개의 그래프는 접촉점(A)과 핀 고정단(132) 사이의 거리가 11.0 ㎜, 11.4 ㎜, 11.8 ㎜, 12.2 ㎜로 고정된 경우를 각

각 나타내며, 도면 13b의 네 개의 그래프는 접촉점(A)과 핀 고정단(132) 사이의 거리가 12.6 ㎜, 13.0 ㎜, 13.4 ㎜, 13.8 ㎜로 고정된 경우를 각각 나타낸다. 여기서 접촉점(A)과 핀 고정단(132) 사이의 거리가 12.2 ㎜, 12.6 ㎜, 13.0 ㎜인 경우에는 공진주파수의 변화가 두 개의 모드를 형성함을 알 수 있다. 즉, 본 발명은 핀 고정단의 위치 조정으로 공진주파수의 변화가 한 개의 모드에서 나타나게 할 경우 소리굽쇠-주사탐침 결합 진동계의 공진주파수를 소리굽쇠만의 고유진동수와 더 가깝게 할 수 있으므로 Q 값을 높이기에 유리하며, 공진주파수의 변화가 두 개의 모드에서 나타나게 할 경우, 낮은 Q 값 위주로 Q 값의 능동제어를 할 때에 유리하다. 이 결과들은 핀 고정단과 칼날 인가부의 기능으로 소리굽쇠-주사탐침 결합 진동계의 진동을 매우 다양하게 제어할 수 있음을 보여준다. 도 13a와 도 13b에서 약 32600Hz 부분에 표시한 점선은 소리굽쇠-주사탐침 결합 진동계에서 소리굽쇠(110)의 고유진동수이며, 소리굽쇠-주사탐침 결합 진동계의 공진주파수가 회색 점선에 가까울수록 주사탐침(120)에 의한 소리굽쇠(110)의 에너지 손실이 최소화되어 높은 Q 값을 기록하게 된다. 따라서, 본 발명의 실시예는 핀 고정단(132)의 위치 조정을 통해 공진주파수의 모드수를 결정한 후에, 새로운 경계 조건이 적용된 칼날 인가부(134)의 위치 조정을 통해 공진주파수와 Q 값을 정밀하게 제어할 수 있다.

[0055] 도 14a 및 도 14b는 도 2에 도시된 소리굽쇠-주사탐침 결합 진동계(100)에 대한 소리굽쇠(110)와 주사탐침(120)을 모델링하여 계산한 값과 실험값의 진동특성을 비교한 그래프이다.

[0056] 먼저, 도 14a는 도면 3에 도시한 핀 고정단(132)과 칼날 인가부(134)를 설치한 소리굽쇠(110)와 주사탐침(120)의 결합 구조에 대하여, 실험적인 진동 특성과 이론적인 진동 특성을 비교한 그래프로서, 공진주파수가 하나의 모드를 갖게 설정한 경우의 그래프이다. 그래프의 가로축은 접촉점(A)과 칼날 인가부(134) 사이의 거리를 나타내고, 위쪽 그래프는 공진주파수, 아래 그래프는 소리굽쇠(110) 출력 전압의 진폭을 나타낸다. 검은색으로 채워진 네모 모양의 점은 계산 값이고, 속이 빈 원 모양의 점은 실험값이다. 도면 14a에 도시한 그래프는 핀 고정단(132)의 위치로 인해 공진주파수가 한 개의 모드를 갖는 경우를 나타낸 것이다.

[0057] 도면 14b는 도면 3에 도시한 핀 고정단(132)과 칼날 인가부(134)를 설치한 소리굽쇠(110)와 주사탐침(120)의 결합 구조에 대하여, 실험적인 진동 특성과 이론적인 진동 특성을 비교한 그래프로, 그래프의 가로축은 접촉점(A)과 칼날 인가부(134) 사이의 거리를 나타내고, 위쪽 그래프는 공진주파수, 아래 그래프는 소리굽쇠(110) 출력 전압의 진폭을 나타낸다. 검은색으로 채워진 네모 모양의 점은 계산 값이고, 속이 빈 원 모양의 점은 실험값이다. 도면 8b에 도시한 그래프는 핀 고정단(132)의 위치로 인해 공진주파수가 두 개의 모드를 갖는 경우를 나타낸 것이다.

[0058] 도 14b는 본 발명의 역학적 진동 제어법이 적용된 소리굽쇠(110)와 주사탐침(120) 결합체를 모델링하여 계산한 값과 실험값의 진동 특성을 비교한 것이며 공진주파수가 두 개의 모드를 갖게 설정한 경우의 그래프이며, 공진주파수가 두 개의 모드를 갖게 설정한 경우의 그래프이다.

[0059] 도 15a 및 도 15b는 도 2에 도시된 소리굽쇠-주사탐침 결합 진동계(100)를 이용한 주사탐침 현미경에 의하여 표면 탄성파 필터의 이미지를 나타내는 사진이다.

[0060] 먼저, 도 15a는 도면 3에 도시한 핀 고정단(132)과 칼날 인가부(134)를 설치한 소리굽쇠(110)와 주사탐침(120)의 결합 구조를 주사탐침(120) 현미경에 적용하여, 70 ㎚ 높이의 격자 패턴을 갖는 표면 탄성파 필터의 표면 형상을 측정한 것이다. 주사 영역은 $5\times5\mu m^2$ 이며, 50 ㎚의 간격으로 횡 이동하도록 하였다. 측정한 결과는 본 발명의 실시예에 따라 능동적 Q 제어 방식을 사용하여 90의 낮은 Q 값을 갖도록 하였기 때문에 이미지의 분해능이 좋지 않은 것을 확인 할 수 있다.

[0061] 반면, 도 15b는 도면 3에 도시한 핀 고정단(132)과 칼날 인가부(134)를 접촉시킨 소리굽쇠(110)와 주사탐침(120)의 결합 구조를 주사탐침(120) 현미경에 적용하여, 70 ㎚ 높이의 격자 패턴을 갖는 표면 탄성파 필터의 표면 형상을 측정한 것이다. 주사 영역은 $5\times5\mu m^2$ 이며, 50 ㎚의 간격으로 횡 이동하도록 하였다. 측정한 결과는 본 발명의 능동적 Q 제어 방식을 사용하여 5600의 높은 Q 값을 갖도록 하였기 때문에 이미지의 분해능이 좋은 것을 확인 할 수 있다.

[0062] 도 16a 및 도 16b는 도 2에 도시된 소리굽쇠-주사탐침 결합 진동계(100)에서 주사탐침(120)을 공기에 노출한 경

우와 액체(2) 내에 있는 경우를 각각 나타낸 주파수 응답곡선그래프와 진동 특성을 나타내는 그래프이다.

[0063] 먼저, 도 16a는 도 3의 본 발명 실시예에 따른 역학적 진동 제어 방식을 적용하고 주사탐침(120)이 공기 중에 있는 경우와, 도 11의 액체(2)에 주사탐침(120)을 담근 경우에 대하여, 소리굽쇠(110)에 가하는 전압의 진폭은 일정하게 하고 주파수를 변화해가며 출력 전압의 진폭을 조사한 주파수 응답 곡선이다. 여기서 Q 값은 공진주파수를 주파수 응답곡선의 반치 폭으로 나눈 값으로 정의한다. 그래프 살펴보면, 주사탐침(120)이 공기 중에 있을 경우에는 4200을 기록하였으며, 액체(2) 내부에 있을 경우에는 2800의 값을 기록하였다.

[0064] 도면 16b는 핀 고정단(132)과 칼날 인가부(134)를 설치한 소리굽쇠(110)와 주사탐침(120)의 결합 구조에 대하여 도 3에 도시한 바와 같이 탐침이 공기 중에 있는 경우와 도 11에 도시한 바와 같이 주사탐침(120)이 액체(2) 내에 있는 경우의 실험적인 진동 특성 값을 비교한 그래프로써, 그래프의 가로축은 접촉점(A)과 칼날 인가부(134) 사이의 거리를 나타내고, 위쪽 그래프는 공진주파수, 아래쪽 그래프는 소리굽쇠(110) 출력 전압의 진폭을 나타낸다. 검은색으로 채워진 네모 모양의 점은 탐침이 공기 중에 있을 때의 값이고, 속이 빈 원 모양의 점은 주사탐침(120)이 액체(2)에 내에 있을 때의 값이며, 주사탐침(120)이 액체(2) 내에 있을 경우에 공진주파수는 거의 같게 유지되지만 소리굽쇠(110)의 출력 전압은 감소함을 알 수 있다.

[0065] 도 17은 도 2에 도시된 소리굽쇠-주사탐침 결합 진동계(100)의 소리굽쇠(110)와 주사탐침(120)의 접촉점(A)과 주사탐침(120)의 끝단과의 거리변화에 대한 진동 특성을 나타내는 그래프로서, 도 3에 도시한 본 발명의 실시예에 대한 구조의 이론적 모델링에서, 소리굽쇠(110)와 주사탐침(120)의 접촉점(A)으로부터 핀 고정단(132)까지의 거리를 일정하게 하고, 접촉점(A)으로부터 칼날 인가부(134)까지의 길이를 2 ㎜부터 10.2 ㎜까지 변화시키며 진동계의 공진주파수를 계산한 것이며, 세 개의 그래프는 접촉점(A)으로부터 검침단(122)까지의 거리가 각각 1.5 ㎜, 2.5 ㎜, 3.5 ㎜인 경우를 나타낸다.

[0066] 도 17을 살펴보면, 그래프에서는 접촉점(A)으로부터 검침단(122) 사이의 길이가 달라도 공진주파수의 변화 모양이 유지되는 것으로 보아, 소리굽쇠(110)와 주사탐침(120)의 결합 진동계의 진동 특성은 접촉점(A)을 경계로 검침단(122) 반대 부분인 핀 고정단(132)과 칼날 인가부(134)가 있는 부분의 영향을 크게 받음을 알 수 있다. 이것은 칼날 인가부(134)와 핀 고정단(132)에 의한 능동적 Q 제어가 원활하게 이루어질 수 있음을 의미한다.

[0067] 도 18a 및 도 18b는 도 2에 도시된 소리굽쇠-주사탐침 결합 진동계를 이용한 주사탐침 현미경에 의하여 공기 중의 표면 탄성파 필터의 이미지를 나타내는 사진과 액체 내의 표면 탄성파 필터의 이미지를 나타내는 사진이다.

[0068] 먼저, 사진 18a는 도면 3의 핀 고정단(132)과 칼날 인가부(134)를 추가한 소리굽쇠(110)와 주사탐침(120)의 결합 구조를 주사탐침현미경에 적용하여, 공기 중에 있는 70 nm 높이의 격자 패턴을 갖는 표면 탄성파 필터의 표면 형상을 측정한 것이며, 주사 영역은 $5\times5\mu m^2$ 이며, 50 nm의 간격으로 횡 이동하도록 하였다.

[0069] 사진 18b는 도면 11의 주사탐침(120)을 액체(2) 내에 담그고 주사탐침현미경에 적용하여, 액체(2) 내에 있는 70 nm 높이의 격자 패턴을 갖는 표면 탄성파 필터의 표면 형상을 측정한 것이다. 주사 영역은 $5\times5\,\mu m^2$이며, 50 nm의 간격으로 횡 이동하도록 하였다.

[0070] 상기 18a 및 도 18b를 서로 비교하여 보면, 도 18b는 도 18a와 동등한 분해능으로 측정된 것으로 보아 본 발명의 실시예에 따른 소리굽쇠-주사탐침 결합 진동계(100)는 액체 (2) 내에 있는 시료도 고 분해능으로 측정하기에 적합함을 알 수 있다.

[0071] 도 19 및 도 20은 비교예에 다른 소리굽쇠-주사탐침 결합 진동계를 나타내는 도면이다.

[0072] (비교예 1)

[0073] 도 19는 비교예1에 대한 소리굽쇠-주사탐침 결합 진동계를 나타낸 도면으로, 비교예1에 의하면 주사탐침(20c)의 자유단을 고정부재(30c)에 고정시킨 후, 주사탐침(20c)의 고정된 부분부터 검침단 사이에 소리굽쇠(10c)를 수직으로 맞닿게 한 후에 소리굽쇠(10c)의 위치를 조정해가며 가장 높은 Q 값을 찾는다. 이러한 경우에는, 소리굽쇠(10c)의 위치가 변함에 따라 주사탐침(20c)의 고유진동수가 달라지고, 특이점에서 소리굽쇠(10c)의 고유진동수에 근접하게 되어 소리굽쇠(10c)의 진동이 활발해져 Q값이 향상되지만, 이는 소리굽쇠(10c)와 주사탐침(20c)을 위치 등을 최적화 시킨 후에 접착제로 고정을 하면 최적 조건의 변화가 생길 우려가 있고, 최적 조건을 찾아 부

착한 후에는 Q값 조정이 불가능하며, 소리굽쇠(10c)의 위치 조정에 의한 최적화 방식이므로 일반적인 주사탐침 현미경에 적용하기 어려운 문제점이 있다.

[0074] (비교예 2)

[0075] 도 20은 비교예2에 대한 소리굽쇠-주사탐침 결합 진동계를 나타낸 도면으로, 비교예2에 의하면, 주사탐침(20a)의 직경을 25㎛이하로 가늘게 녹여 소리굽쇠(10a)에 부착하는 방법을 사용하여 Q 값을 크게 향상시켰다. 하지만 이러한 경우에는 주사탐침(20a)을 다루기가 매우 까다로우며 주사탐침이 점성이 큰 매질 내에 있을 경우에 진동이 원활하게 되지 않는 문제점이 있다.

[0076] 따라서, 본 발명의 실시예는 주사탐침의 표면에 접촉부재를 접촉시키고 목적에 따라 상기 접촉부재를 주사탐침의 길이방향으로 그 위치를 변화시킴으로써 Q 값을 능동적으로 제어할 수 있으며, 또한 소리굽쇠의 고유진동수에 따라 그 위치를 달리하여 Q값을 향상시킬 수 있어 공기 중에 있는 일반 고체시료 뿐만 아니라 점성이 높은 액체(2)내에 있는 시료의 고 분해능도 가능하다.

[0077] 본 발명은 도면에 도시된 실시예를 참고로 설명되었으나 이는 예시적인 것에 불과하며, 본 기술 분야의 통상의 지식을 가진 자라면 이로부터 다양한 변형 및 균등한 다른 실시예가 가능하다는 점을 이해할 것이다. 따라서, 본 발명의 진정한 기술적 보호 범위는 첨부된 특허청구범위의 기술적 사상에 의하여 정해져야 할 것이다.

도면의 간단한 설명

[0078] 도 1a 및 도 1b는 주사탐침 현미경에서 사용되는 종래의 소리굽쇠-주사탐침 결합 진동계를 나타내는 개략적인 도면이다.

[0079] 도 2는 본 발명의 제1실시예에 따른 소리굽쇠-주사탐침 결합 진동계를 나타내는 사시도이다.

[0080] 도 3 및 도 4는 도 2에 도시된 소리굽쇠-주사탐침 결합 진동계에서 소리굽쇠, 주사탐침 및 접촉부재를 개략적으로 나타낸 정면도와 측면도이다.

[0081] 도 5 및 도 6은 도 2에 도시된 소리굽쇠-주사탐침 결합 진동계에서 주사탐침이 소리굽쇠의 전면에 부착된 제2실시예를 나타낸 정면도와 측면도이다.

[0082] 도 7 및 도 8은 도 2에 도시된 소리굽쇠-주사탐침 결합 진동계에서 주사탐침과 소리굽쇠가 서로 수직하게 부착된 제3실시예를 나타낸 정면도와 측면도이다.

[0083] 도 9 및 도 10은 도 7에 도시된 소리굽쇠-주사탐침 결합 진동계에서 주사탐침이 소리굽쇠의 측면에 부착된 제4실시예를 나타낸 정면도와 측면도이다.

[0084] 도 11 및 도 12는 도 2에 도시된 소리굽쇠-주사탐침 결합 진동계이 액체매질 내에 있는 시료를 대상으로 측정하는 것을 나타낸 정면도와 측면도이다.

[0085] 도 13a 및 도 13b는 도 2에 도시된 소리굽쇠-주사탐침 결합 진동계에 의한 소리굽쇠와 주사탐침을 모델링하여 공진주파수의 변화를 이론적으로 계산한 그래프이다.

[0086] 도 14a 및 도 14b는 도 2에 도시된 소리굽쇠-주사탐침 결합 진동계에 대한 소리굽쇠와 주사탐침을 모델링하여 계산한 값과 실험값의 진동특성을 비교한 그래프이다.

[0087] 도 15a 및 도 15b는 도 2에 도시된 소리굽쇠-주사탐침 결합 진동계를 이용한 주사탐침 현미경에 의하여 표면 탄성파 필터의 이미지를 나타내는 사진이다.

[0088] 도 16a 및 도 16b는 도 2에 도시된 소리굽쇠-주사탐침 결합 진동계에서 주사탐침을 공기에 노출한 경우와 액체 내에 있는 경우를 각각 나타낸 주파수 응답곡선그래프와 진동 특성을 나타내는 그래프이다.

[0089] 도 17은 도 2에 도시된 소리굽쇠-주사탐침 결합 진동계의 소리굽쇠와 주사탐침의 접촉점(A)과 주사탐침의 끝단과의 거리변화에 대한 진동 특성을 나타내는 그래프이다.

[0090] 도 18a 및 도 18b는 도 2에 도시된 소리굽쇠-주사탐침 결합 진동계를 이용한 주사탐침 현미경에 의하여 공기 중의 표면 탄성파 필터의 이미지를 나타내는 사진과 액체 내의 표면 탄성파 필터의 이미지를 나타내는 사진이다.

[0091] 도 19 및 도 20은 비교예에 따른 소리굽쇠-주사탐침 결합 진동계를 나타내는 도면이다.

[0092] < 도면의 주요부분에 대한 부호의 간단한 설명 >

[0093] 100, 200, 300, 400... 소리굽쇠-주사탐침 결합 진동계

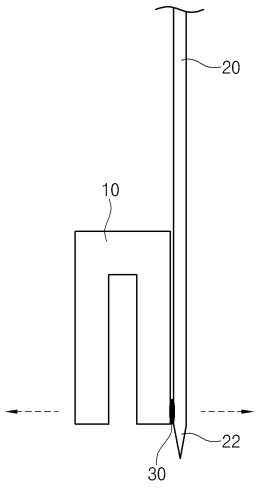
[0094] 110, 210, 310, 410... 소리굽쇠 120, 220, 320, 420... 주사탐침

[0095] 130, 230, 330, 430... 접촉부재 132, 232, 332, 432... 핀 고정단

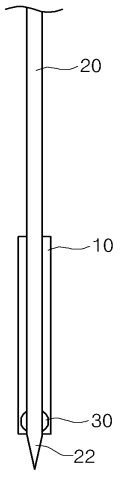
[0096] 134, 234, 334, 434... 칼날 인가부 140, 240, 340, 440... 접착제

도면

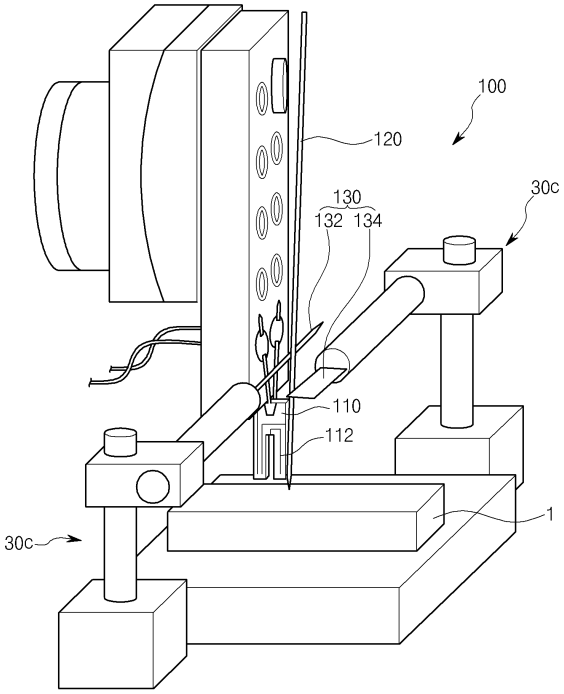
도면1a



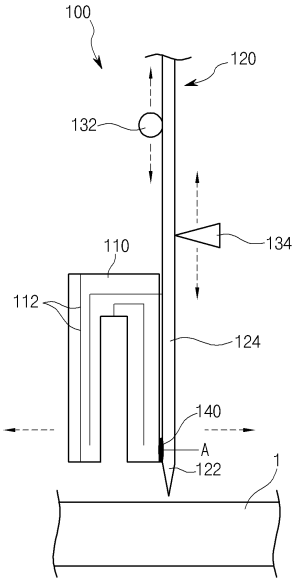
도면1b



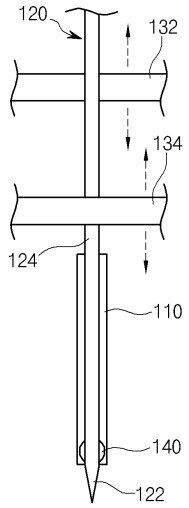
도면2


100
120
130
132 134
30c
110
112
1
30c

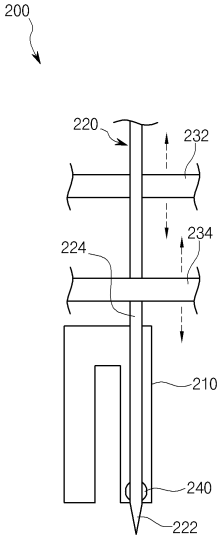
도면3


100
120
132
134
110
112
124
140
A
122
1

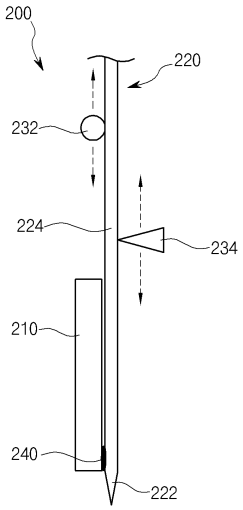
도면4



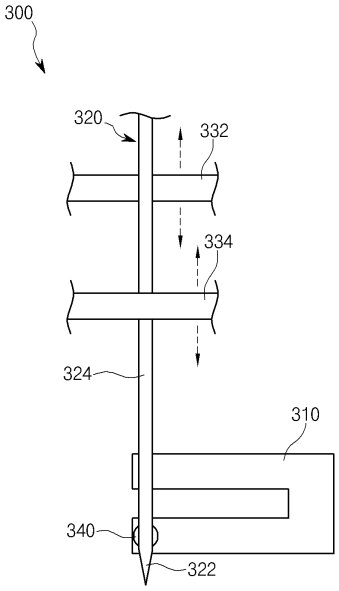
도면5



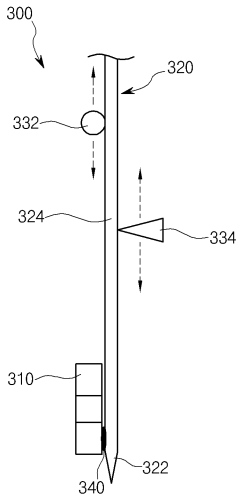
도면6



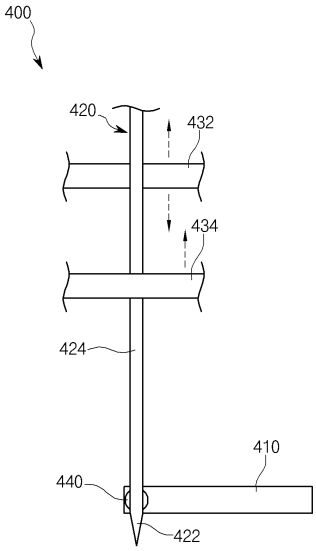
도면7



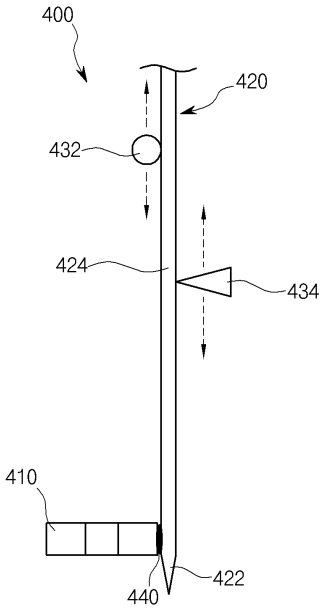
도면8



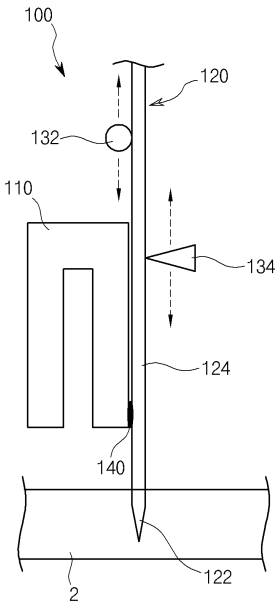
도면9



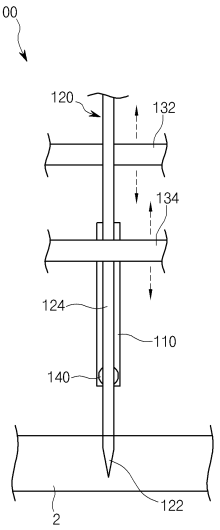
도면10



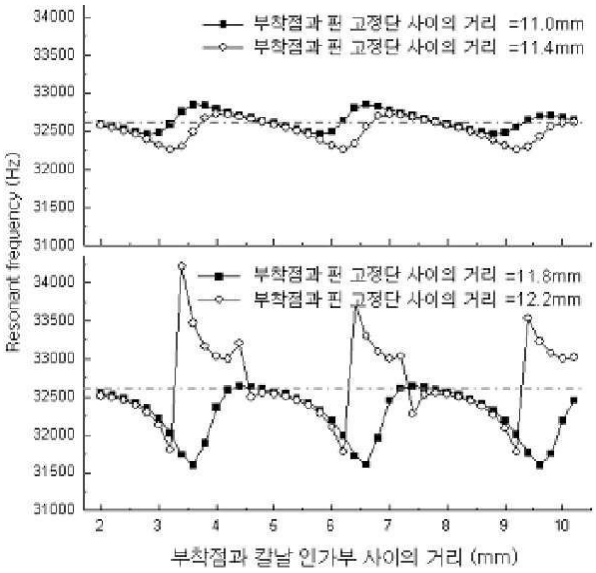
도면11



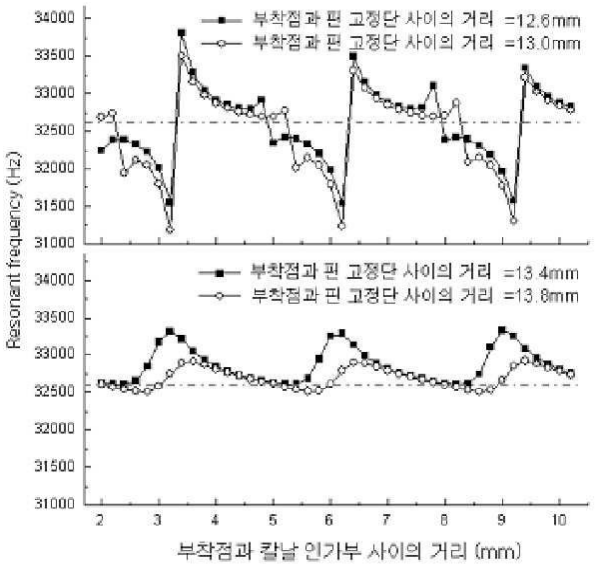
도면12


100
120
132
134
124
110
140
122
2

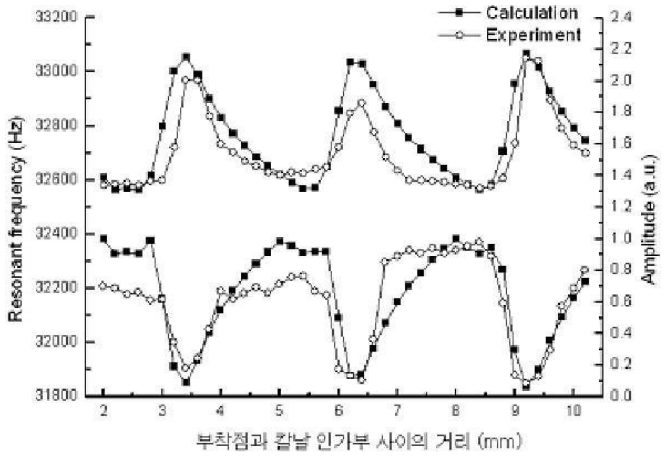
도면13a


부착점과 핀 고정단 사이의 거리 =11.0mm
부착점과 핀 고정단 사이의 거리 =11.4mm
부착점과 핀 고정단 사이의 거리 =11.8mm
부착점과 핀 고정단 사이의 거리 =12.2mm
Resonant frequency (Hz)
34000
33500
33000
32500
32000
31500
31000
2
3
4
5
6
7
8
9
10
부착점과 칼날 인가부 사이의 거리 (mm)

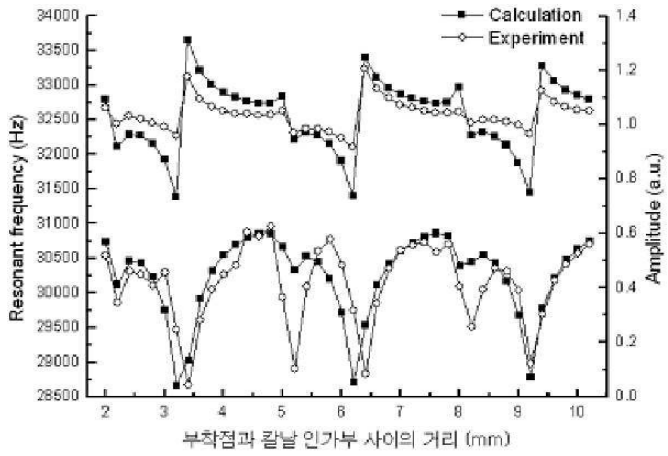
도면13b



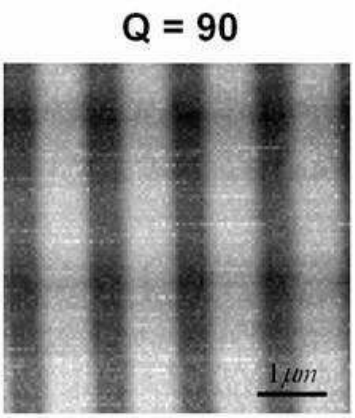
도면14a



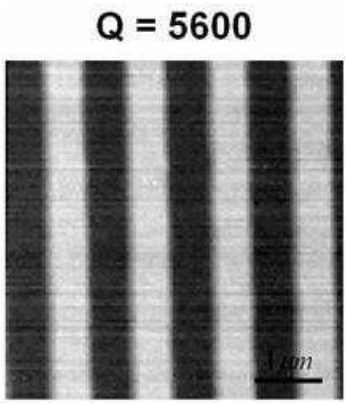
도면14b



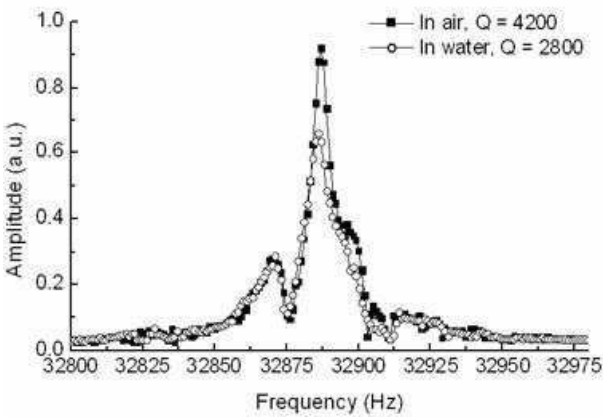
도면15a



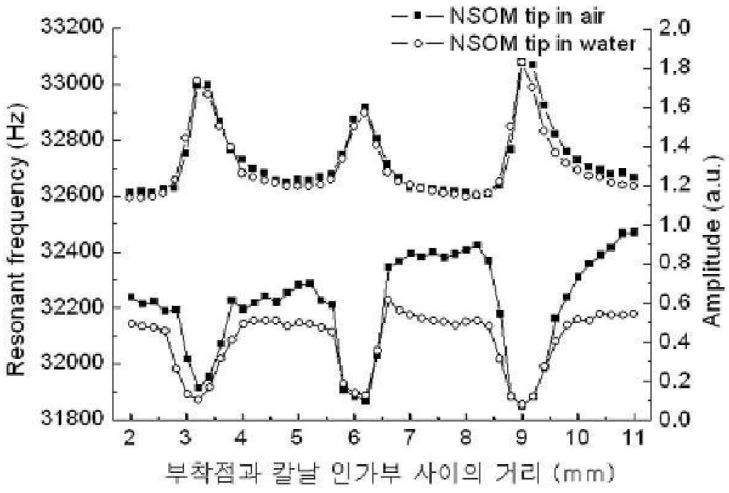
도면15b



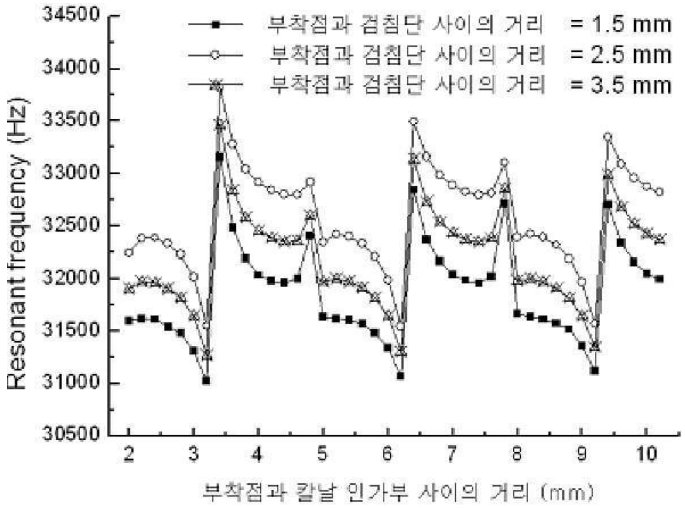
도면16a



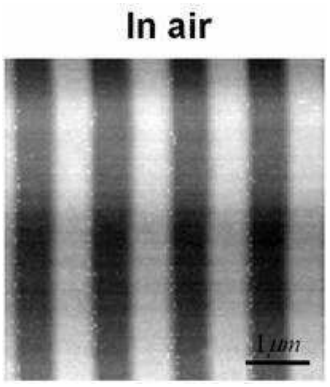
도면16b



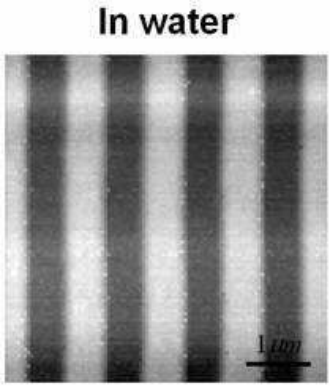
도면17



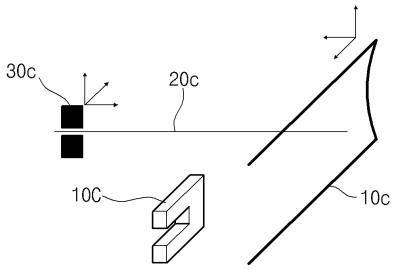
도면18a



도면18b



도면19



도면20

