



(19) 대한민국특허청(KR)

(12) 등록특허공보(B1)

(45) 공고일자 2015년03월31일

(11) 등록번호 10-1507108

(24) 등록일자 2015년03월24일

(51) 국제특허분류(Int. Cl.)

G01Q 60/18 (2010.01)

(21) 출원번호 10-2013-0136535

(22) 출원일자 2013년11월11일

심사청구일자 2013년11월11일

(56) 선행기술조사문헌

KR1020130032088 A*

JP2001004519 A

KR1020100130653 A

KR1020120020015 A

*는 심사관에 의하여 인용된 문헌

(73) 특허권자

인천대학교 산학협력단

인천광역시 연수구 아카데미로 119, 11호 12 (송
도동)

(72) 발명자

최수봉

인천 연수구 아카데미로 119, 자연과학대학 물리학과 (송도동, 인천대학교)

박경덕

인천 중구 인항로 30, 107동 707호 (신흥동3가,
신흥아이파크)

(뒷면에 계속)

(74) 대리인

특허법인 남앤드남

전체 청구항 수 : 총 4 항

심사관 : 양찬호

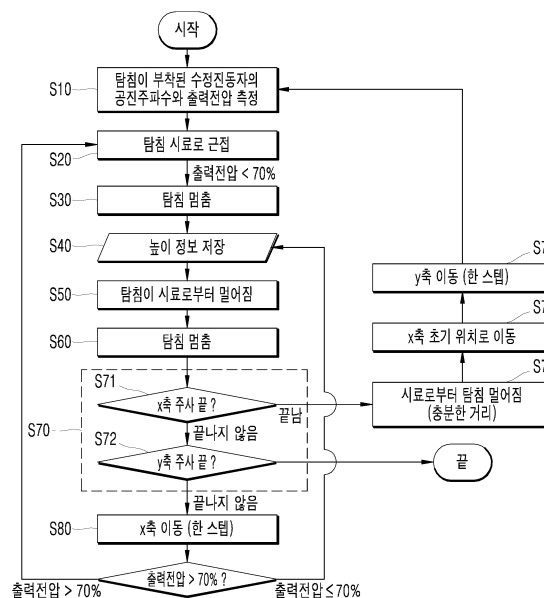
(54) 발명의 명칭 근접장 주사 광학 현미경 시스템 및 이를 이용한 탐침 방법

(57) 요약

근접장 주사 광학 현미경 시스템 및 이를 이용한 탐침 방법이 개시된다. 본 발명의 근접장 주사 광학 현미경 시스템 및 이를 이용한 탐침 방법은, 수정진동자에 탐침이 결합되는 진동체 및 진동체를 Z축 방향으로 이동시키는 제1 이동장치를 갖는 헤드; 진동체를 진동시키는 진동기 및 진동체의 출력전압을 감지하는 감지기를 갖는 진동모

(뒷면에 계속)

대표도 - 도3



물; 시료가 배치되는 플레이트 및 플레이트를 X축 및 Y축 방향으로 이동시키는 제2 이동장치를 갖는 샘플스테이지; 시료를 조명하는 조명기 및 탐침에 의해 수집된 광신호를 무전기 신호로 변환하는 신호변환기를 갖는 광학신호모듈; 및 신호변환기 및 진동모듈의 신호를 감지하고, 제1 이동장치 및 제2 이동장치를 제어하는 피드백제어부를 포함하는 것을 특징으로 한다. 본 발명에 의하면, 탐침의 X축 방향 주사완료 시마다 진동체의 공진주파수 및 출력전압을 재측정함으로써 액체 내 시료 측정시 액체가 지속적으로 증발되더라도 탐침과 시료 표면 사이의 간격을 일정하게 제어할 수 있도록 이루어지는 근접장 주사 광학 현미경 시스템 및 이를 이용한 탐침 방법을 제공할 수 있게 된다.

(72) 발명자

정문석

경기 수원시 장안구 서부로 2066, 산학협력센터 (천천동, 성균관대학교자연과학캠퍼스)

박두재

경기 수원시 장안구 서부로 2066, 산학협력센터 (천천동, 성균관대학교자연과학캠퍼스)

특허청구의 범위

청구항 1

수정진동자에 탐침이 결합되는 진동체 및 상기 진동체를 Z축 방향으로 이동시키는 제1 이동장치를 갖는 헤드;

상기 진동체를 진동시키는 진동기 및 상기 진동체의 출력전압을 감지하는 감지기를 갖는 진동모듈;

시료가 배치되는 플레이트 및 상기 플레이트를 X축 및 Y축 방향으로 이동시키는 제2 이동장치를 갖는 샘플스테이지;

시료를 조명하는 조명기 및 상기 탐침에 의해 수집된 광신호를 무전기 신호로 변환하는 신호변환기를 갖는 광학신호모듈; 및

상기 신호변환기 및 상기 진동모듈의 신호를 감지하고, 상기 제1 이동장치 및 제2 이동장치를 제어하는 피드백제어부를 포함하고,

시료가 잠겨있는 액체가 증발하더라도 탐침과 시료 표면 사이의 간격을 일정하게 제어할 수 있도록, 상기 탐침의 X축 방향 주사완료 시마다 상기 진동체의 공진주파수 및 출력전압을 재측정하는 것을 특징으로 하는 근접장 주사 광학 현미경 시스템.

청구항 2

삭제

청구항 3

제1 라인의 제1 포인트에 대한 주사를 위해 감지기가 진동체의 공진주파수 및 출력전압을 측정하는 측정세팅단계;

제1 이동장치가 탐침을 시료로 근접시키는 탐침근접단계;

상기 감지기가 제1 설정값 이하의 상기 진동체 출력전압을 감지하면 상기 탐침의 이동을 중지하는 제1 탐침정지단계;

피드백제어부에 상기 탐침의 높이 정보를 저장하는 정보저장단계;

상기 제1 이동장치가 상기 탐침을 시료로부터 이격시키는 제1 탐침이격단계;

상기 감지기가 제2 설정값 이상의 상기 진동체의 출력전압을 감지하면 상기 탐침의 이동을 중지하는 제2 탐침정지단계;

상기 피드백제어부가 주사 완료 여부를 판단하는 완료판정단계; 및

주사 미완료가 확인되면 상기 제1 라인의 제2 포인트에 대한 주사를 위해 제2 이동장치가 시료 플레이트를 1 스텝 이동시키는 X축이동단계를 포함하는 것을 특징으로 하는 근접장 주사 광학 현미경 시스템의 탐침 방법.

청구항 4

제3항에 있어서,

상기 완료판정단계는,

상기 피드백제어부가 제1 라인에 대한 주사 완료 여부를 판단하는 X축판정단계; 및

X축에 대한 주사 미완료 판정되면 상기 피드백제어부가 Y축 방향의 주사 완료 여부를 판단하는 Y축판정단계를 포함하는 것을 특징으로 하는 근접장 주사 광학 현미경 시스템의 탐침 방법.

청구항 5

제4항에 있어서,

상기 X축판정단계에서 제1 라인에 대한 주사 완료가 판정되면 상기 제1 이동장치가 상기 탐침을 시료로부터 이격시키는 제2 탐침이격단계;

상기 제2 이동장치가 상기 시료 플레이트를 X축 초기 위치로 이동시키는 X축초기화단계; 및

상기 제2 이동장치가 상기 시료 플레이트를 Y축 방향으로 1 스텝 이동시키는 Y축이동단계를 더 포함하고,

상기 탐침을 시료로 근접시키기 전에 상기 감지기가 상기 진동체의 공진주파수 및 출력전압을 재측정하는 것을 특징으로 하는 근접장 주사 광학 현미경 시스템의 탐침 방법.

명세서

기술분야

[0001] 본 발명은 근접장 주사 광학 현미경 시스템 및 이를 이용한 탐침 방법에 관한 것으로, 보다 상세하게는, 액체 내 시료 측정시에도 액체의 증발과 관계없이 탐침과 시료 표면 사이의 간격을 일정하게 제어할 수 있도록 이루어지는 근접장 주사 광학 현미경 시스템 및 이를 이용한 탐침 방법에 관한 것이다.

배경기술

[0002] 원자현미경(atomic force microscope; AFM), 근접장 주사 광학 현미경(near-field scanning optical microscope; NSOM) 등의 주사탐침현미경(scanning probe microscope)은 탐침과 시료 표면 사이의 간극을 정밀하게 유지하기 위해 소리굽쇠(tuning fork) 등의 수정진동자를 탐침에 부착하여 사용한다.

[0003] 수정진동자를 이용한 간극 제어의 원리는 다음과 같다. 탐침은 수정진동자에 부착되어 있으므로 수정진동자의 공명 진동에 의해 일정한 주파수와 변위로 진동을 하게 된다. 이 상태에서 탐침을 시료 표면에 수 내지 수십 나노미터 정도의 간극으로 근접시키면 탐침과 시료 사이에 발생하는 반데르 발스 힘(van der Waals force)에 의해 탐침이 부착된 수정진동자의 공진주파수와 진동 변위가 변하게 되며, 이러한 변화를 센싱함으로써 탐침이 시료에 접촉하지 않고 일정한 간극을 유지한 채로 시료 표면을 주사할 수 있는 것이다.

[0004] 주사탐침현미경을 이용하여 액체 내의 시료를 측정하기 위해서는 탐침이 액체 내에 담가져야만 한다. 앞서 언급한 바와 같이 수정진동자는 탐침에 작용하는 반데르 발스 힘에 의해 공진 조건이 변화할 정도로 매우 민감한 센서이기 때문에 탐침에 가해지는 액체의 점성은 수정진동자의 원활한 진동에 큰 저해요소가 된다.

[0005] 비록 액체 내에 탐침이 담가진 경우의 수정진동자가 탐침이 공기 중에 있는 수정진동자보다 진동 변위가 작기 때문에 (통상 Q 값이라고 칭하며 전기적 수정진동자에 동일한 전압을 인가했을 때 진동 변위가 클수록 Q 값이 크다고 함. 또한 Q 값이 클 경우 탐침과 시료 표면 사이의 간극을 더욱 정밀하게 제어할 수 있음.) 측정의 정밀도가 다소 떨어지긴 하지만 측정이 가능한 정도의 공진상태는 유지하게 된다.

[0006] 따라서 통상적인 주사탐침현미경의 액체 내 측정을 저해하는 주된 요인은 액체의 증발에 의해 탐침이 액체 내에 잠긴 깊이가 달라짐에 따라 발생하는 공진주파수의 지속적인 변화이다.

[0007] 일반적인 주사탐침현미경의 측정 과정은 크게 다음과 같은 세 단계로 이루어진다. 첫째, 탐침이 부착된 수정진동자의 공진주파수를 찾는다. 둘째, 탐침을 시료 표면에 근접시킨다. 셋째, 시료 표면을 주사한다. 공기 중의 시료를 측정할 경우 첫 번째 단계에서 측정한 공진주파수가 세 번째 단계의 주사가 완료될 때까지 변화하지 않기 때문에 성공적인 측정이 가능하다.

[0008] 이와 관련하여 본 발명의 발명자에 의해 발명된 대한민국 등록특허공보 제10-1065981호에는 소리굽쇠-주사탐침 결합 진동계가 개시되어 있으며, 대한민국 등록특허공보 제10-1065981호는 교류전압을 인가받아 진동하는 소리굽쇠, 소리굽쇠의 일측에 부착되어 소리굽쇠에 의하여 진동하는 주사탐침 및 주사탐침의 측면에 접촉하되, 주사탐침과 접촉하는 접촉점의 위치를 조정하여 소리굽쇠-주사탐침 결합 진동계의 고유진동수를 변화시키는 접촉부재를 포함하는 것을 특징으로 한다.

[0009] 대한민국 등록특허공보 제10-1065981호는 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 가능한 이점이 있다.

- [0010] 그러나, 대한민국 등록특허공보 제10-1065981호는 근접장 주사 광학 현미경의 액체 내 동작을 위해 기계적인 방법을 이용하여 Q 값을 획기적으로 높인 기술이지만, 액체 증발에 따른 수정진동자의 공진 조건 변화 문제가 잔존하는 문제가 있었다.
- [0011] 따라서, 대한민국 등록특허공보 제10-1065981호에 기재된 방식으로는 액체 내 시료의 주사탐침현미경 측정이 가능하긴 하지만 매우 짧은 시간이 소요되는 측정만이 가능한 문제점이 있게 된다. 즉, 액체 내 시료 측정의 경우 주사 시간이 지남에 따라 탐침이 액체 내에 담가진 깊이가 지속적으로 달라지며, 공진주파수도 지속적으로 변화하기 때문에 측정을 끝까지 완료하지 못하는 문제가 발생한다.
- [0012] 또한, Appl. Phys. Lett. 83, 5083(2003)에는 주사탐침현미경의 액체 내 측정을 가능하게 한 잠수중 구조 방식(Shear force imaging of soft samples in liquid using a diving bell concept)이 개시되어 있으나, 잠수중 구조 방식은 표면장력이 약한 액체에서는 활용이 불가능하며, 일반적인 주사탐침현미경을 고난이도의 기술력으로 개조시켜야만 가능한 단점이 있고, 결과적으로 장비 구축이 복잡한 단점이 있다.
- [0013] 따라서, 주사탐침현미경이 액체 내에서 정상적으로 구동할 수 있도록 탐침의 시료 근접 단계 전에 측정한 공진주파수를 주사가 끝날 때까지 유지하는 방식에 대한 개선이 요구되고 있다.

선행기술문헌

특허문헌

- [0014] (특허문헌 0001) (0001) 대한민국 등록특허공보 제10-1065981호 (등록일:2011.09.09)

발명의 내용

해결하려는 과제

- [0015] 본 발명의 목적은, 액체 내 시료 측정시 액체가 지속적으로 증발되더라도 탐침과 시료 표면 사이의 간격을 일정하게 제어할 수 있도록 이루어지는 근접장 주사 광학 현미경 시스템 및 이를 이용한 탐침 방법을 제공하는 것이다.

과제의 해결 수단

- [0016] 상기 목적은, 본 발명에 따라, 수정진동자에 탐침이 결합되는 진동체 및 상기 진동체를 Z축 방향으로 이동시키는 제1 이동장치를 갖는 헤드; 상기 진동체를 진동시키는 진동기 및 상기 진동체의 출력전압을 감지하는 감지기를 갖는 진동모듈; 시료가 배치되는 플레이트 및 상기 플레이트를 X축 및 Y축 방향으로 이동시키는 제2 이동장치를 갖는 샘플스테이지; 시료를 조명하는 조명기 및 상기 탐침에 의해 수집된 광신호를 무전기 신호로 변환하는 신호변환기를 갖는 광학신호모듈; 및 상기 신호변환기 및 상기 진동모듈의 신호를 감지하고, 상기 제1 이동장치 및 제2 이동장치를 제어하는 피드백제어부를 포함하는 것을 특징으로 하는 근접장 주사 광학 현미경 시스템에 의하여 달성된다.
- [0017] 시료가 잠겨있는 액체가 증발하더라도 탐침과 시료 표면 사이의 간격을 일정하게 제어할 수 있도록, 상기 탐침의 X축 방향 주사완료 시마다 상기 진동체의 공진주파수 및 출력전압을 재측정하도록 이루어질 수 있다.
- [0018] 상기 목적은, 본 발명에 따라, 제1 라인의 제1 포인트에 대한 주사를 위해 감지기가 진동체의 공진주파수 및 출력전압을 측정하는 측정세팅단계; 제1 이동장치가 탐침을 시료로 근접시키는 탐침근접단계; 상기 감지기가 제1 설정값 이하의 상기 진동체 출력전압을 감지하면 상기 탐침의 이동을 중지하는 제1 탐침정지단계; 피드백제어부에 상기 탐침의 높이 정보를 저장하는 정보저장단계; 상기 제1 이동장치가 상기 탐침을 시료로부터 이격시키는 제1 탐침이격단계; 상기 감지기가 제2 설정값 이상의 상기 진동체의 출력전압을 감지하면 상기 탐침의 이동을 중지하는 제2 탐침정지단계; 상기 피드백제어부가 주사 완료 여부를 판단하는 완료판정단계; 및 주사 미완료가 확인되면 상기 제1 라인의 제2 포인트에 대한 주사를 위해 제2 이동장치가 시료 플레이트를 1 스텝 이동시키는 X축이동단계를 포함하는 것을 특징으로 하는 근접장 주사 광학 현미경 시스템의 탐침 방법에 의해 달성될 수 있다.
- [0019] 상기 완료판정단계는, 상기 피드백제어부가 제1 라인에 대한 주사 완료 여부를 판단하는 X축판정단계; 및 X축에 대한 주사 미완료가 판정되면 상기 피드백제어부가 Y축 방향의 주사 완료 여부를 판단하는 Y축판정단계를 포함

하여 이루어질 수 있다.

[0020] 상기 X축판정단계에서 제1 라인에 대한 주사 완료가 판정되면 상기 제1 이동장치가 상기 탐침을 시료로부터 이격시키는 제2 탐침이격단계; 상기 제2 이동장치가 상기 시료 플레이트를 X축 초기 위치로 이동시키는 X축초기화단계; 및 상기 제2 이동장치가 상기 시료 플레이트를 Y축 방향으로 1 스텝 이동시키는 Y축이동단계를 더 포함하고, 상기 탐침을 시료로 근접시키기 전에 상기 감지기가 상기 진동체의 공진주파수 및 출력전압을 재측정하도록 이루어질 수 있다.

발명의 효과

[0021] 본 발명에 의하면, 탐침의 X축 방향 주사완료 시마다 상기 진동체의 공진주파수 및 출력전압을 재측정함으로써 액체 내 시료 측정시 액체가 지속적으로 증발되더라도 탐침과 시료 표면 사이의 간격을 일정하게 제어할 수 있도록 이루어지는 근접장 주사 광학 현미경 시스템 및 이를 이용한 탐침 방법을 제공할 수 있게 된다.

도면의 간단한 설명

[0022] 도 1은 본 발명의 일 실시예에 따른 근접장 주사 광학 현미경 시스템을 나타내는 개략도.
 도 2는 도 1의 근접장 주사 광학 현미경 시스템의 진동체 및 플레이트를 나타내는 개략도.
 도 3은 도 1의 근접장 주사 광학 현미경 시스템을 이용한 탐침 방법을 나타내는 순서도.
 도 4a는 도 1의 근접장 주사 광학 현미경 시스템에 의한 탐침의 액체 내 잠김 깊이에 따른 수정진동자의 주파수 응답 곡선을 나타내는 그래프.
 도 4b는 도 1의 근접장 주사 광학 현미경 시스템에 의한 탐침의 액체 내 잠김 깊이에 따른 공진주파수 및 최대진폭을 나타내는 그래프.
 도 5a 및 도 5b는 도 1의 근접장 주사 광학 현미경 시스템에 의한 암세포의 진단력 이미지.
 도 6a 및 도 6b는 도 1의 근접장 주사 광학 현미경 시스템에 의한 SAW 필터의 지형이미지.
 도 6c 및 도 6d는 도 1의 근접장 주사 광학 현미경 시스템에 의한 주파수 및 시간에 따른 탐침 진동 진폭의 등고선선도.

발명을 실시하기 위한 구체적인 내용

[0023] 이하, 첨부된 도면을 참조하여 본 발명의 바람직한 실시예들을 상세하게 설명하면 다음과 같다. 다만, 본 발명을 설명함에 있어서, 이미 공지된 기능 혹은 구성에 대한 설명은, 본 발명의 요지를 명료하게 하기 위하여 생략하기로 한다.

[0024] 본 발명의 근접장 주사 광학 현미경 시스템 및 이를 이용한 탐침 방법은, 액체 내 시료 측정시 액체가 지속적으로 증발되더라도 탐침과 시료 표면 사이의 간격을 일정하게 제어할 수 있도록 이루어진다.

[0025] 도 1은 본 발명의 일 실시예에 따른 근접장 주사 광학 현미경 시스템을 나타내는 개략도, 도 2는 도 1의 근접장 주사 광학 현미경 시스템의 진동체 및 플레이트를 나타내는 개략도, 도 3은 도 1의 근접장 주사 광학 현미경 시스템을 이용한 탐침 방법을 나타내는 순서도, 도 4a는 도 1의 근접장 주사 광학 현미경 시스템에 의한 탐침의 액체 내 잠김 깊이에 따른 수정진동자의 주파수 응답 곡선을 나타내는 그래프, 도 4b는 도 1의 근접장 주사 광학 현미경 시스템에 의한 탐침의 액체 내 잠김 깊이에 따른 공진주파수 및 최대진폭을 나타내는 그래프, 도 5a 및 도 5b는 도 1의 근접장 주사 광학 현미경 시스템에 의한 암세포의 진단력 이미지, 도 6a 및 도 6b는 도 1의 근접장 주사 광학 현미경 시스템에 의한 SAW 필터의 지형이미지, 도 6c 및 도 6d는 도 1의 근접장 주사 광학 현미경 시스템에 의한 주파수 및 시간에 따른 탐침 진동 진폭의 등고선선도이다.

[0026] 도 1에 도시된 바와 같이, 본 발명의 일 실시예에 따른 근접장 주사 광학 현미경 시스템(1)은 액체 내 시료 측정시에도 액체의 증발과 관계없이 탐침과 시료 표면 사이의 간격을 일정하게 제어할 수 있도록 이루어지는 것으로서, 헤드(10), 진동모듈(20), 샘플스테이지(30), 광학신호모듈(40) 및 피드백제어부(50)를 포함하여 구성된다.

- [0027] 헤드(10)는 진동체(11) 및 제1 이동장치(13)로 구성된다.
- [0028] 도 2에 도시된 바와 같이, 진동체(11)는 수정진동자(11a) 및 수정진동자(11a)에 결합되는 탐침(11b)으로 이루어진다. 진동체(11)의 탐침 원리는 본 기술분야에서 널리 공지된 기술이므로 이에 대한 자세한 설명은 생략하기로 한다. 진동체(11)에는 전단력을 감지할 수 있는 공명센서(resonating sensor, 미도시)가 설치된다.
- [0029] 제1 이동장치(13)는 진동체(11)를 Z축 방향으로 이동시키기 위해 마련되는 구성으로서, 샘플로의 정확한 접근을 위해 전압이 인가되었을 때 압전물질이 수축되거나 팽창되는 원리를 이용하여 미세하게 움직이는 압전변환기(piezoelectric translator)가 사용된다. 제1 이동장치(13)는 제1 이동장치(13) 제어부의 신호에 의해 작동한다.
- [0030] 도 1을 참조하면, 진동모듈(20)은 로크인 앰프(lock-in amplifier) 및 전자진동기(21)(electronic oscillator)를 포함하여 구성된다.
- [0031] 전자진동기(21)는 일정한 전압과 진동체(11)의 고유진동수에 대응되는 사인과 진동을 생성한다. 이와 같은 교류 바이어스(AC bias)가 소리굽쇠로 전달되면, 교류 바이어스에 의해 구동되는 수정진동자(11a)는 두 개의 압의 물리적 이동에 비례하여 교류전압을 생성하게 된다.
- [0032] 로크인 앰프는 위상 검파법에 기초한 증폭기로서, 측정하고자 하는 신호 외에 그것과 일정한 위상관계에 있는 참조 신호를 입력하여 참조 신호와 같은 위상의 측정 신호만을 정류하여 추출하는 장치이며, 수정진동자(11a)에 의해 생성된 교류전압은 로크인 앰프에 의해 다시 감지된다.
- [0033] 탐침(11b)이 제1 이동장치(13)에 의해 샘플 표면에 가깝게 접근하면, 탐침(11b)의 디더링 변위(dithering displacement)는 탐침(11b)과 시료 사이의 전단력에 의해 감소하고, 이에 따라 진동체(11)의 출력전압 또한 감소하게 된다. 이와 같은 진동체(11)의 출력전압은 제1 이동장치(13)에 피드백되며, 이에 따라 탐침(11b)과 시료 간 거리는 수십 나노미터 범위 내에서 일정하게 유지된다.
- [0034] 도 1 및 도 2를 참조하면, 샘플스테이지(30)는 시료가 배치되는 테이블(31) 및 테이블(31)을 X축 및 Y축 방향으로 이동시키는 제2 이동장치(33)를 포함하여 구성된다.
- [0035] 제2 이동장치(33)는 X축 및 Y축으로 100 μ m 내외의 이동 범위를 가지고 대략 1nm의 루프 해상도를 가진 압전변환기(piezoelectric translator)가 사용되는 것이 바람직하다. 테이블(31)의 상측에는 액체 내에 잠긴 시료가 배치될 수 있다.
- [0036] 광학신호모듈(40)은 시료를 조명하는 조명기(41) 및 탐침(11b)에 의해 수집된 광신호를 무전기 신호로 변환하는 신호변환기(43)를 포함하여 구성된다.
- [0037] 조명기(41)는 405nm의 레이저로 이루어지며, 신호변환기(43)는 외부 광전효과에 의한 광전자를 이용하여 빛의 강도 측정이나 검출 등을 하는 광전자증관(photomultiplier tube)으로 구비된다.
- [0038] 시료가 레이저에 의해 조명되면, 시료 표면의 근접장 광신호가 광섬유로 이루어지는 탐침(11b)에 의해 수집된 후 탐침(11b)의 반대쪽 끝에 위치한 광전자증관에 의해 무전기 신호로 변환된다.
- [0039] 피드백제어부(50)는 신호변환기(43) 및 진동모듈(20)의 신호를 감지하고, 이를 피드백하여 제1 이동장치(13) 및 제2 이동장치(33)를 제어하게 된다. 수정진동자(11a)의 출력전압 및 광전자증관에 의해 무전기 신호로 변환된 근접장 광신호는 피드백제어부(50)의 데이터 수집 보드(미도시)에 수집된다.
- [0040] 종래의 근접장 주사 광학 현미경 시스템(1)은 두 가지 문제점이 있었다.
- [0041] 첫째, 아날로그식 PI(proportional-integral) 피드백 제어는 생물세포 시료 측정시 10 μ m에 이르는 비교적 긴 수직거리를 측정하는데에 적용하기 어려운 문제가 있었다. 둘째, 액체 내 시료의 측정시 액체의 증발에 의해 진동체(11)의 공진주파수가 지속적으로 변화하므로 전단력에 대한 피드백을 안정적으로 수행하기 어려운 문제가 있었다.
- [0042] 도 4a 및 도 4b를 참조하면, 액체 내 시료 탐침시 탐침(11b)의 공진주파수와 Q값의 변화를 측정하였다. 이를 위해, 1.5mm의 돌출부 길이를 가지는 섬유탐침(fiber probe)이 33kHz 이하의 자연공진주파수(natural resonance frequency)를 부여하는 수정진동자(11a)에 부착되었다.

- [0043] 진동수에 대한 탐침(11b)의 진폭은 탈염수(deionized water)에 잠긴 탐침(11b)의 깊이를 변화하여 기록된다. 탐침(11b)의 잠김 깊이가 증가할수록 공진주파수는 낮게 변화하고, 동시에 물의 표면장력과 점성에 의한 댐핑작용이 증가하여 최대진폭은 크게 감소함을 확인할 수 있다.
- [0044] 액체 내 시료를 탐침하는 경우, 대기압 조건에서 액체의 높은 증발속도에 의해 탐침 과정에서 액체의 깊이가 지속적으로 변화하기 때문에 액체 내 시료의 잠김 깊이를 일정하게 유지하는 것은 실질적으로 불가능하다.
- [0045] 공진주파수는 탐침(11b)이 잠기는 액체의 깊이에 따라 민감하게 변화하기 때문에, 액체 내 시료의 탐침과정에서 공진주파수는 불안정한 상태에 있으며, 근접장 주사 광학 현미경의 안정된 사용에 중요한 피드백 제어가 제대로 이루어지지 않게 된다.
- [0046] 도 5a 및 도 5b를 참조하면, 디지털 탐침 방식으로 액체 내에 잠긴 암세포 및 공기 중의 암세포에 대한 지형 이미지를 측정하였다.
- [0047] 암세포는 3.0mm의 돌출 깊이를 가진 탐침(11b)에 의해 측정되었다. 도 6a는 암세포가 2.5mm 깊이의 인산완충식염수(phosphate buffered saline)에 완전히 잠긴 상태에서 측정된 지형이미지를 나타내고, 도 6b는 인산완충식염수가 완전히 증발한 후에 측정된 암세포의 지형이미지를 나타내고 있다.
- [0048] 먼저, 도 6a 및 도 6b는 노이즈 레벨 및 공간 해상도(spatial resolution)의 측면에서 거의 동일함을 확인할 수 있으며, 이는 디지털 탐침 방식이 액체 내 생물시료의 측정에 적합함을 나타낸다.
- [0049] 또한, 인산완충식염수에 잠긴 암세포와 비교하여 공기 중에 노출된 암세포의 부피가 탈수(dehydration) 및 세포 수축(cell contraction)에 의해 상당히 줄어든 것을 확인할 수 있다.
- [0050] 본 발명의 일 실시예에 따른 근접장 주사 광학 현미경 시스템(1)은, 작동 소프트웨어에 프로그램된 디지털 기반의 피드백 제어부에 의해 탐침(11b)과 시료 간 거리를 제어하는 디지털 탐침 방식을 사용하여 시료를 탐침함으로써 상술한 바와 같은 문제를 해결하고 있다.
- [0051] 즉, 디지털 탐침 방식을 사용함으로써 탐침(11b)의 X축 방향 주사완료 시마다 진동체(11)의 공진주파수 및 출력전압을 재측정함에 따라 시료가 잠겨있는 액체가 증발하더라도 탐침과 시료 표면 사이의 간격을 일정하게 제어할 수 있게 된다.
- [0052] 도 3에 도시된 바와 같이, 본 발명의 근접장 주사 광학 현미경 시스템(1)의 탐침 방법은 다음과 같이 이루어진다.
- [0053] 먼저, 제1 라인의 제1 포인트에 대한 주사를 위해 감지기(23)가 진동체(11)의 공진주파수 및 출력전압을 측정하는 측정세팅단계가 마련된다.
- [0054] 시료에는 X축 방향의 제1 라인부터 제 n라인까지 마련되어 순차적으로 탐침이 이루어지고, 제1 라인부터 제 n라인까지의 변경은 Y축 방향의 이동으로 이루어지게 된다.
- [0055] 그리고, 제1 이동장치(13)가 탐침(11b)을 시료로 근접시키는 탐침근접단계가 마련된다. 디지털 탐침 방식에 의해, 제1 이동장치(13)는 탐침(11b)을 1nm의 스텝사이즈로 시료 측으로 접근시키게 된다. 이 과정에서 수정진동자(11a)의 출력전압은 피드백제어부(50)에 의해 모니터링된다.
- [0056] 감지기(23)가 제1 설정값 이하의 진동체(11) 출력전압을 감지하면 탐침(11b)의 이동을 중지하는 제1 탐침정지단계가 이루어진다. 이때, 제1 설정값은 수정진동자(11a) 출력전압의 대략 70%로 설정되는 것이 바람직하다.
- [0057] 이후, 피드백제어부(50)에 탐침(11b)의 높이 정보를 저장하는 정보저장단계가 이루어진다.
- [0058] 정보저장단계에서 탐침(11b)의 높이 정보가 저장되면, 제1 이동장치(13)가 탐침(11b)을 시료로부터 이격시키는 제1 탐침이격단계가 마련된다. 탐침(11b)은 대략 2nm의 스텝사이즈로 후퇴하게 된다.
- [0059] 그리고나서, 감지기(23)가 제2 설정값 이상의 진동체(11) 출력전압을 감지하면 탐침(11b)의 이동을 중지하는 제2 탐침정지단계가 이루어지게 된다. 이때, 제2 설정값은 수정진동자(11a) 출력전압의 대략 95%로 설정되는 것이

바람직하다.

- [0060] 탐침(11b)의 후퇴가 중지되면, 피드백제어부(50)가 주사 완료 여부를 판단하는 완료판정단계가 마련된다.
- [0061] 완료판정단계에서 주사 미완료가 확인되면 제1 라인의 제2 포인트에 대한 주사를 위해 제2 이동장치(33)가 시료 테이블(31)을 X축 방향으로 1 스텝 이동시키는 X축이동단계가 이루어지게 된다.
- [0062] 제2 이동장치(33)가 시료 테이블(31)을 1 스텝 이동시킨 후에, 감지기(23)는 진동체(11)의 출력전압을 제1 설정값과 비교하여 제1 라인의 제2 포인트에 대한 탐침을 수행하게 된다.
- [0063] 감지기(23)가 제1 설정값 이하의 진동체(11) 출력전압을 감지하면 피드백제어부(50)에 제1 라인의 제2 포인트에 해당하는 탐침(11b)의 높이 정보를 저장하는 정보저장단계부터 다시 순차적으로 실시되고, 감지기(23)가 제1 설정값을 초과하는 진동체(11) 출력전압을 감지하면 제1 이동장치(13)가 탐침(11b)을 시료로 근접시키는 탐침근접단계부터 다시 순차적으로 실시된다.
- [0064] 상술한 바와 같은 과정은 X축에 대한 하나의 라인에 대한 탐침이 완료될 때까지 반복적으로 진행된다.
- [0065] 완료판정단계는, 피드백제어부(50)가 제1 라인에 대한 주사 완료 여부를 판단하는 X축판정단계 및 X축에 대한 주사 미완료가 판정되면 피드백제어부(50)가 Y축 방향의 주사 완료 여부를 판단하는 Y축판정단계를 포함한다.
- [0066] X축판정단계에서 제1 라인에 대한 주사 완료가 판정되면 제1 이동장치(13)가 탐침(11b)을 시료로부터 이격시키는 제2 탐침이격단계가 이루어진다. 탐침(11b)은 시료와 부딪히지 않을 만큼 충분한 거리를 유지하여 후퇴하게 된다.
- [0067] 그리고, 제2 이동장치(33)가 시료 테이블(31)을 X축 초기 위치로 이동시키는 X축초기화단계가 수행되고, 제2 이동장치(33)가 시료 테이블(31)을 Y축 방향으로 1 스텝 이동시키는 Y축이동단계가 마련된다.
- [0068] 이후, 제2 라인의 1 포인트에 대한 탐침이 개시된다. 즉, 제2 라인의 제1 포인트에 대한 주사를 위해 감지기(23)가 진동체(11)의 공진주파수 및 출력전압을 측정하는 측정세팅단계부터 다시 순차적으로 수행된다.
- [0069] 즉, 변화된 고유주파수 및 운전주파수를 찾기 위해 수정진동자(11a)의 진동폭은 재측정되며, 이에 대한 설정전압이 다시 세팅된다. Y축 방향 1 스텝 아래의 제2 라인은 재설정된 주파수와 세트포인트를 적용하여 제1 라인과 동일한 과정에 의해 순차적으로 탐침된다. 이 모든 과정은 피드백 제어부의 컴퓨터 소프트웨어에 의해 제어된다.
- [0070] 상술한 바와 같은, 디지털 탐침 방식을 사용하게 되면 각 라인을 주사할 때마다 공진주파수를 다시 측정하여 전체 주사가 끝날 때까지 액체의 증발과 관계없이 탐침(11b)과 시료 표면 사이의 간극을 제어함으로써, 측정 시간에 관계없이 액체 내에서 주사 탐침 현미경의 정확한 탐침을 가능하게 하는 이점이 있다.
- [0071] 본 발명에서 제안하는 액체 내 시료의 주사 탐침 현미경 측정을 위한 알고리즘은 통상적인 주사 탐침 현미경의 측정 알고리즘과 달리 매 X축 측정 후에 수정진동자(11a)의 공진주파수 및 출력전압을 다시 측정하는 부분에서 종래 기술보다 월등한 탐침 정확성을 갖게 된다.
- [0072] 또한, 측정 시간이 오래 걸리는 액체 내의 시료도 정상적으로 측정할 수 있으며, 측정 알고리즘을 개선한 시스템을 종래 주사 탐침 현미경에 적용하여 활용할 수 있다.
- [0073] 도 6a 내지 도 6d를 참조하면, 디지털 검사 방법의 신뢰성을 검증하기 위해, 표면 탄성파(SAW) 필터의 표면 프로파일(surface profile)이 공기와 물에서 각각 측정되었다. 지형 이미지(topography image)는 1.5 mm의 돌출 길이를 가진 진동체(11)가 장착된 근접장 주사 광학 현미경 시스템(1)에 의해 측정되었다. 동일한 측정은 공기와 탈이온수에 대해 반복되었다.
- [0074] 영상화 중에 물이 꾸준히 증발되었으나, 도 6a 및 도 6b에 도시된 바와 같이 디지털 탐침 방식에 의해 명확한 지형 이미지를 얻을 수 있었다. 이미지화 동안 진동체(11)의 공진 변화는 동시에 측정되었다.
- [0075] 물의 댐핑 작용에 의한 낮은 Q값에도 불구하고 액체 내 시료의 수직해상도가 공기 중 시료보다 높은 것을 확인할 수 있다. 이는 실험실 실험실에서 발생하는 음파와 진동과 같은 다양한 노이즈로부터 물이 보호막과 같은 작용을 하여 이미지의 품질이 향상된 것이라고 추측할 수 있다.
- [0076] 도 6c는 탐침이 시작된 후 주파수와 시간에 따른 진동 진폭의 등고선 선도(contour plot)을 나타낸다. 물의 증

발에 따라 공진 시프트의 감소가 발생함을 확인할 수 있다. 도 6c 및 도 6d를 참조하면, 초기 공명 및 설정 포인트 상태가 다른 라인의 검사 즉, C 및 D에 사용할 수 없음을 확인할 수 있다.

[0077]

[0078]

본 발명에 의하면, 탐침(11b)의 X축 방향 주사완료 시마다 상기 진동체(11)의 공진주파수 및 출력전압을 재측정함으로써 액체 내 시료 측정시 액체가 지속적으로 증발되더라도 탐침과 시료 표면 사이의 간격을 일정하게 제어할 수 있도록 이루어지는 근접장 주사 광학 현미경 시스템 및 이를 이용한 탐침 방법을 제공할 수 있게 된다.

[0079]

앞에서, 본 발명의 특정한 실시예가 설명되고 도시되었지만 본 발명은 기재된 실시예에 한정되는 것이 아니고, 본 발명의 사상 및 범위를 벗어나지 않고 다양하게 수정 및 변형할 수 있음은 이 기술의 분야에서 통상의 지식을 가진 자에게 자명한 일이다. 따라서, 그러한 수정예 또는 변형예들은 본 발명의 기술적 사상이나 관점으로부터 개별적으로 이해되어서는 안되며, 변형된 실시예들은 본 발명의 특허청구범위에 속한다 하여야 할 것이다.

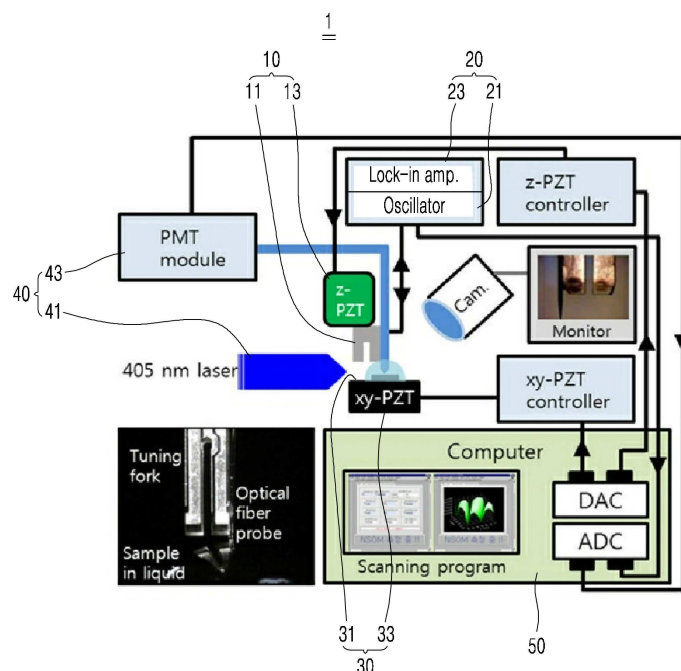
부호의 설명

[0080]

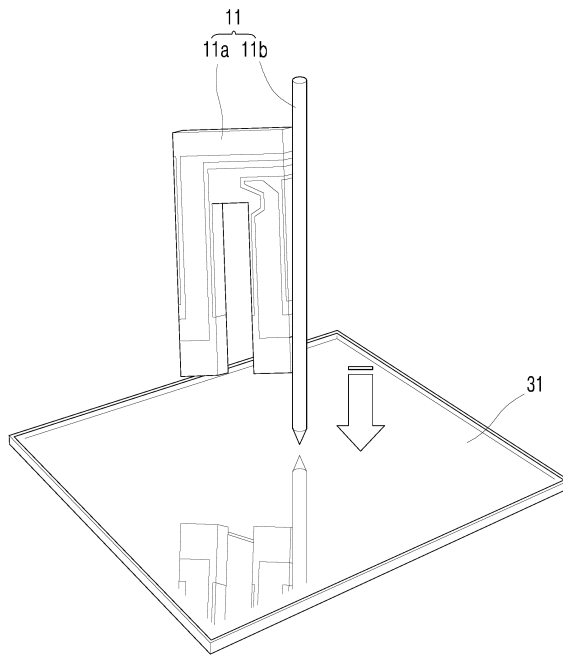
1 : 근접장 주사 광학 현미경 시스템	10 : 헤드
20 : 진동모듈	30 : 샘플스테이지
40 : 광학신호모듈	50 : 피드백제어부
11 : 진동체	21 : 진동기
13 : 제1 이동장치	23 : 감지기
31 : 플레이트	41 : 조명기
33 : 제2 이동장치	43 : 신호변환기

도면

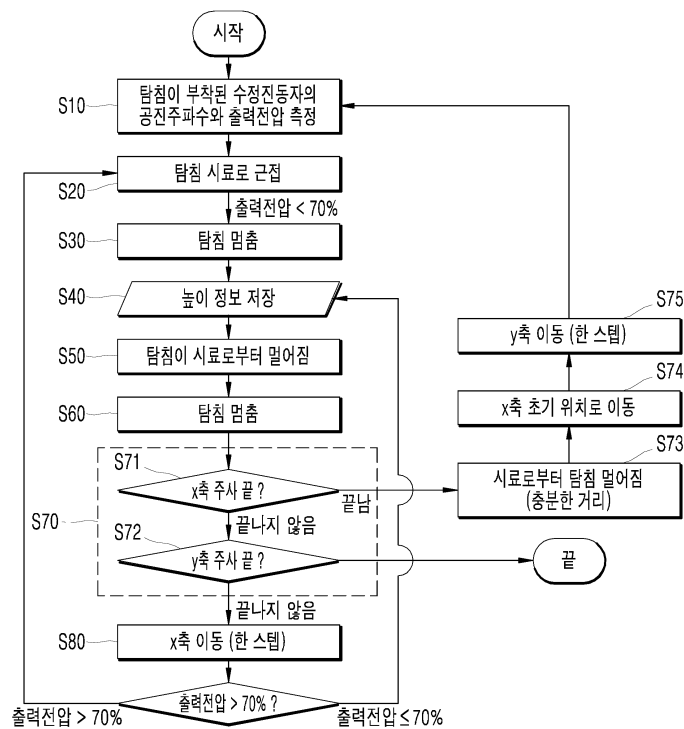
도면1



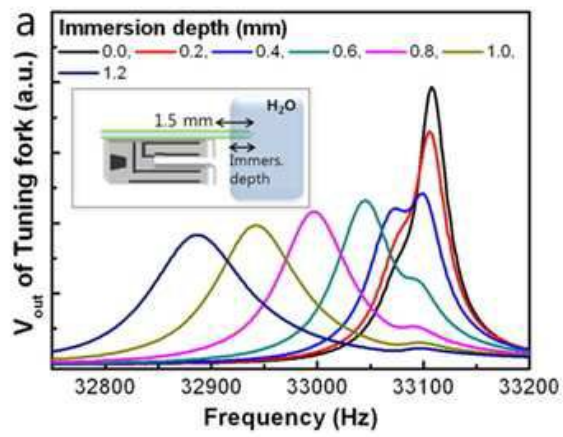
도면2



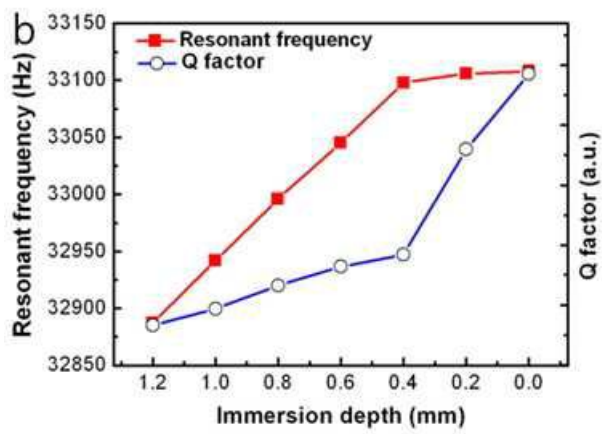
도면3



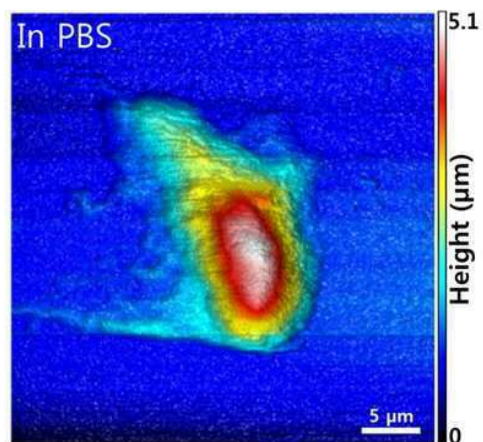
도면4a



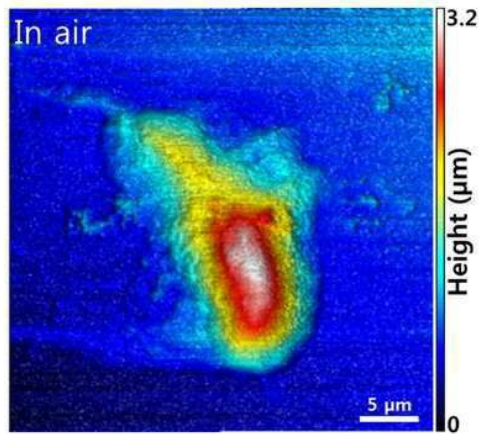
도면4b



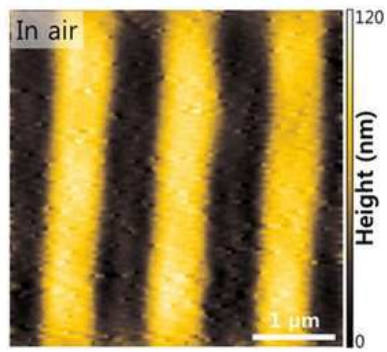
도면5a



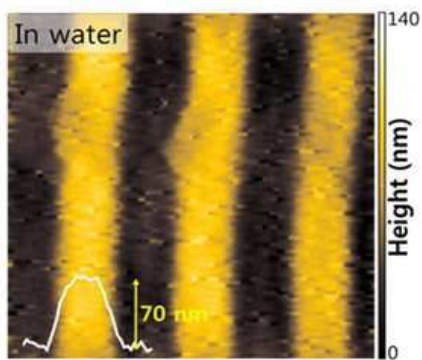
도면5b



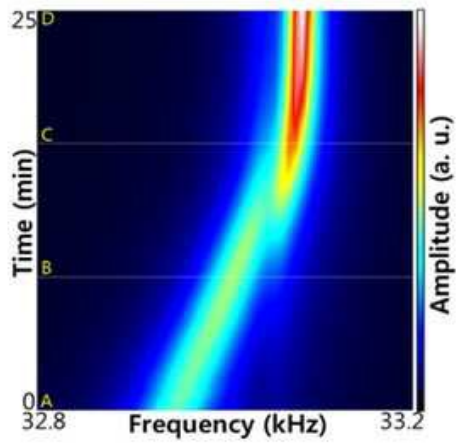
도면6a



도면6b



도면6c



도면6d

