



(19) 대한민국특허청(KR)
(12) 등록특허공보(B1)

(45) 공고일자 2023년03월23일
(11) 등록번호 10-2512651
(24) 등록일자 2023년03월17일

(51) 국제특허분류(Int. Cl.)
G01Q 60/40 (2010.01) G01Q 60/10 (2010.01)
G01Q 70/06 (2010.01) G01Q 70/08 (2010.01)
(52) CPC특허분류
G01Q 60/40 (2013.01)
G01Q 60/10 (2013.01)
(21) 출원번호 10-2021-0038446
(22) 출원일자 2021년03월25일
심사청구일자 2021년03월25일
(65) 공개번호 10-2022-0133403
(43) 공개일자 2022년10월05일
(56) 선행기술조사문헌
JP2005514625 A*
(뒷면에 계속)

(73) 특허권자
연세대학교 산학협력단
서울특별시 서대문구 연세로 50 (신촌동, 연세대학교)
(72) 발명자
심우영
서울특별시 서초구 명달로4길 30, 501-104
김광복
서울특별시 성북구 정릉로24가길 2 정릉그린빌라 1-203
(74) 대리인
특허법인 플러스

전체 청구항 수 : 총 14 항

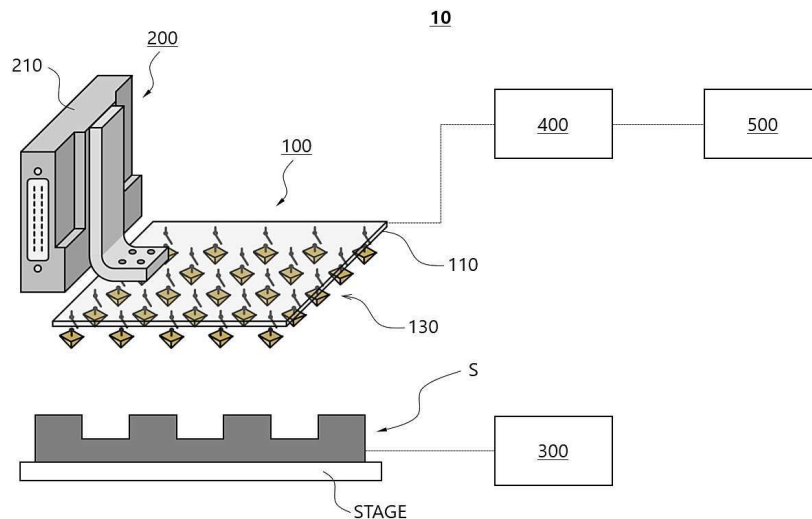
심사관 : 최혜미

(54) 발명의 명칭 주사탐침 현미경용 프로브 및 이를 포함하는 이진 상태 주사탐침 현미경

(57) 요약

본 발명은 주사탐침 현미경에 관한 것으로, 보다 구체적으로는 다수의 전도성 팁이 구비된 프로브를 이용함으로써 대면적 스캐닝이 가능하고, 동시에 전도성 팁과 샘플 표면과의 접촉/비접촉 두가지의 이진(binary) 상태만을 파악하여 간단하면서도 높은 해상도로 샘플의 표면 이미지를 생성할 수 있는 주사탐침 현미경에 관한 것이다.

대표도 - 도3



(52) CPC특허분류

G01Q 70/06 (2013.01)

G01Q 70/08 (2013.01)

(56) 선행기술조사문헌

US20150309073 A1*

KR1020120026598 A

US20140141167 A1

US20180217183 A1

JP2002174580 A

*는 심사관에 의하여 인용된 문헌

명세서

청구범위

청구항 1

샘플 표면을 주사하는 프로브로서, 기관과, 상기 기관 상에 형성되는 다수의 전극과, 상기 기관 상에 구비되며 상기 다수의 전극 각각과 전기적으로 연결되는 전도성 팁 다수개를 포함하는 팁 어레이를 포함하고, 상기 전도성 팁이 압축 및 이완 가능하게 구성되는, 프로브;

상기 샘플에 대해 상기 프로브를 이동시키는 피에조 액츄에이터를 포함하는 구동부;

상기 샘플에 전압을 인가하는 전압 인가부;

상기 각 전극에 인가되는 전압 신호인 전기적 신호를 데이터 신호로 변환하는 데이터부; 및

상기 데이터부로부터 상기 데이터 신호를 제공받고, 상기 데이터 신호를 기초로 상기 샘플 표면에 대한 이미지를 생성하는 이미징부;를 포함하고,

상기 각 전극은, 상기 각 전극에 연결된 상기 전도성 팁이 상기 샘플 표면과 접촉할 시 전압이 인가되고, 상기 각 전극에 연결된 상기 전도성 팁이 상기 샘플 표면과 접촉하지 않을 시 전압이 인가되지 않으며,

상기 데이터부는,

상기 각 전극에 전압이 인가될 시 1이고 상기 각 전극에 전압이 인가되지 않을 시 0인 이진 접촉 데이터 신호를 생성하는 것을 특징으로 하는,

이진 상태 주사탐침 현미경.

청구항 2

제1항에 있어서,

상기 이미징부는,

상기 각 전극에 전압이 인가되기 시작하는 시점에 대한 정보와, 상기 시점으로부터 상기 전극에 전압이 단락되는 종점까지의 시간간격에 대한 정보를 제공받고, 상기 시점에 대한 정보와 상기 시간간격에 대한 정보를 기초로 상기 샘플 표면에 대한 이미지를 생성하는 것을 특징으로 하는, 이진 상태 주사 탐침 현미경.

청구항 3

제1항에 있어서,

상기 전도성 팁은

내부에 탄성부가 형성되고 상기 탄성부 표면에 금속층이 형성되는, 이진 상태 주사 탐침 현미경.

청구항 4

제3항에 있어서,

상기 탄성부는 엘라스토머 재질로 이루어지는, 이진 상태 주사 탐침 현미경.

청구항 5

제3항에 있어서,
상기 팁 어레이는 바닥부를 더 포함하고,
상기 전도성 팁들은 각각 상기 바닥부 상에 배치되는, 이진 상태 주사 탐침 현미경.

청구항 6

제5항에 있어서,
상기 바닥부와 상기 전도성 팁의 탄성부는 일체로 형성되는, 이진 상태 주사 탐침 현미경.

청구항 7

제5항에 있어서,
상기 다수의 전극 각각은
상기 바닥부 표면에 금속이 코팅되어 형성되는 바닥부 표면 금속층을 포함하는, 이진 상태 주사탐침 현미경.

청구항 8

제7항에 있어서,
상기 바닥부 표면 금속층과, 상기 각 전극에 연결된 전도성 팁의 금속층은 일체로 형성되는, 이진 상태 주사탐침 현미경.

청구항 9

제3항에 있어서,
상기 탄성부는 PDMS 재질로 이루어지고,
상기 전도성 팁의 비가역적 변형 정도는, 상기 탄성부의 재질인 PDMS의 PDMS 가교율과, 상기 금속층의 두께에 따라 조절되는, 이진 상태 주사탐침 현미경.

청구항 10

제9항에 있어서,
상기 탄성부는 5:1 내지 20:1 중량비의 경화성 PDMS 수지와 경화제의 경화반응으로부터 제조된 것인, 이진 상태 주사탐침 현미경.

청구항 11

제9항에 있어서,
상기 금속층의 두께는 50nm 이하이고 1nm 이상인, 이진 상태 주사탐침 현미경.

청구항 12

제1항에 있어서,

상기 전도성 팁이 1회 이상 압축 및 이완된 이후의 상기 전도성 팁의 높이는, 상기 전도성 팁의 초기 높이 대비 90% 이상인, 이진 상태 주사탐침 현미경.

청구항 13

제1항에 있어서,

상기 팁 어레이는

상기 다수의 전도성 팁이 $n \times m$ 어레이 형태로 배열되는, 이진 상태 주사탐침 현미경.

(상기 n , m 중 어느 하나는 2 이상이고, 다른 하나는 1 이상인 자연수)

청구항 14

제1항에 있어서,

상기 프로브는 캔틸레버를 포함하지 않는, 이진 상태 주사탐침 현미경.

청구항 15

삭제

청구항 16

삭제

청구항 17

삭제

청구항 18

삭제

발명의 설명

기술 분야

[0001] 본 발명은 주사탐침 현미경에 관한 것으로, 보다 구체적으로는 다수의 전도성 팁이 구비된 프로브를 이용함으로써 대면적 스캐닝이 가능하고, 동시에 전도성 팁과 샘플 표면과의 접촉/비접촉 두가지의 이진(binary) 상태만을 파악하여 간단하면서도 높은 해상도로 샘플의 표면 이미지를 생성할 수 있는 주사탐침 현미경에 관한 것이다.

배경 기술

[0002] 주사탐침현미경(SPM, Scanning Probe Microscope)은 MEMS공정 등을 통하여 제작된 미세한 탐침(프로브)을 시료의 표면 위로 훑고 지나가게 하면서(Scanning), 그 시료의 표면 특성을 측정하여 3D 이미지로 보여주는 현미경을 말한다. 이러한 주사탐침 현미경은 측정 방식에 따라, 원자력현미경(AFM, Atomic Force Microscope), 주사터널링현미경(STM, Scanning Tunneling Microscope) 등으로 세분화된다.

[0003] 도 1은 종래 주사탐침현미경 중 원자력현미경을 나타낸 것으로, 종래 주사탐침현미경의 경우 캔틸레버의 선단에 부착한 탐침을 시료 표면에 근접 또는 접촉시키고, 시료와 탐침 사이에 상호작용하는 물리량에 의해 캔틸레버의 휨을 측정하여 시료의 표면 형상을 측정한다.

[0004] 보다 구체적으로, 탐침 헤드(2)는 탐침(8)의 X, Y, 및 Z 방향 구동을 위한 압전형 드라이버(3)를 포함한다. 탐침(8)은 시료 표면(5)을 주사하도록 배치된 탐침 팁(11)을 갖는 캔틸레버(9)로 이루어진다. 주사 중, 진동 압전(미도시)은, 예를 들면, 공명 주파수에 근접해서 다양한 방식으로 캔틸레버를 구동하고, 탐침 팁의 표면을 탭핑

할 수 있다. 탐침 팁에 진동 운동을 적용하는 방법은 통상의 기술자에게 공지되어 있다.

- [0005] 시료 표면(5)의 주사는, 시료 표면(5)에 평행한 X 및 Y 방향으로 탐침 팁(11)을 구동시켜서(또는 X 및 Y 방향에 고정된 탐침 팁의 위치를 유지하면서 기관 표면을 구동시켜서) 수행된다. 탐침 팁(11)은 z 방향 압전 드라이버에 의해 표면(5)에 근접한다. 탐침 팁(11)이 이러한 근접한 위치에 있으면, 탐침 팁(11)은 주사 중 표면(5)에 반복적으로 접촉하도록 진동한다. 동시에, 레이저(16)는 탐침 팁에 레이저 빔(15)을 조사한다. z 방향에서 정확한 위치는 반사된 레이저 빔(15)을 수용하는 광 다이오드(18)를 사용해서 결정된다.
- [0006] 시료 표면(5)은 시료 캐리어(4)를 사용해서 구동된다. 탐침 헤드(2) 상에 위치한 압전 드라이버(3)의 구동은 검출기 및 피드백 전자장치(20)를 사용해서 수행한다. 동시에, 검출기 및 피드백 전자장치(20)는 광 다이오드(18)를 사용해서 결정된 검출된 z 위치를 수용한다. 이러한 원리에 의해 표면 엘리먼트, 예를 들면, 시료 표면 상에 표면 엘리먼트(13)의 매우 정확한 맵핑이 가능하다.
- [0007] 이와 같은 싱글-팁 SPM은 박막 물질들 및 장치들의 구조 및 전자 성질들을 조사하는 데 중요한 도구이다. 예를 들어, 싱글-팁 SPM은 대상을 스캔하는 물리적 프로브를 사용하여 박막 물질 또는 장치의 하나 이상의 표면 이미지를 매우 높은 해상도와 정밀도로 형성할 수 있다. 그러나, 널리 알려진 바와 같이, 매우 높은 해상도와 정밀도에 의해 처리량이 현저히 감소하는 문제가 있다.
- [0008] 이러한 처리량의 문제를 해결하기 위해, 최근에는 복수의 프로브가 평행하게 실장된 탐침 헤드를 포함하는 SPM이 제안되었다. 도 2는 복수의 프로브가 구비된 SPM을 나타낸 것으로, 각각의 프로브는 캔틸레버 및 탐침 팁을 포함하고, 탐침 팁에 의해 z 방향에서의 위치를 독립적으로 측정할 수 있다. 이에 의해, 하나의 구역의 주사 속도에 헤드 상에 존재하는 탐침 팁의 수를 곱한 만큼 처리량이 증가될 수 있다.
- [0009] 그러나, 이는 종래 싱글-팁 SPM과 마찬가지로 각 프로브마다 캔틸레버를 필요로 할 뿐 아니라, 각 프로브마다 레이저빔 및 포토다이오드 센서와 같은 광학계가 별도로 설치되어야 하므로, 그 구성이 복잡하고 작동이 어려우며 크기를 축소시키는 것이 제한적이다. 또한, 제작비용도 매우 높아 경제적, 기술적 측면에서 이를 구현하는 것에 한계가 존재한다.

선행기술문헌

특허문헌

- [0010] (특허문헌 0001) 한국 등록특허공보 제2112995호(2020.05.14.)

발명의 내용

해결하려는 과제

- [0011] 본 발명은 상기와 같은 문제점을 해결하기 위하여 안출된 것으로, 다수의 전도성 팁이 구비된 프로브를 이용함으로써 대면적 스캐닝이 가능하고, 동시에 전도성 팁과 샘플 표면과의 접촉/비접촉 두가지의 이진(binary) 상태만을 파악하여 간단하면서도 높은 해상도로 샘플의 표면 이미지를 생성할 수 있는 주사탐침 현미경을 제공하는 것에 그 목적이 있다.

과제의 해결 수단

- [0012] 본 발명의 일 예에 따른 프로브는, 기관; 상기 기관 상에 형성되는 다수의 전극; 및 상기 기관 상에 구비되며, 상기 다수의 전극 각각과 전기적으로 연결되는 전도성 팁 다수개를 포함하는 팁 어레이;를 포함하고, 상기 전도성 팁은 압축 및 이완 가능할 수 있다.
- [0013] 상기 전도성 팁은 내부에 탄성부가 형성되고 상기 탄성부 표면에 금속층이 형성될 수 있다.
- [0014] 상기 탄성부는 엘라스토머 재질로 이루어질 수 있다.
- [0015] 상기 팁 어레이는 바닥부를 더 포함하고, 상기 전도성 팁들은 각각 상기 바닥부 상에 배치될 수 있다.
- [0016] 상기 바닥부와 상기 전도성 팁의 탄성부는 일체로 형성될 수 있다.
- [0017] 상기 다수의 전극 각각은 상기 바닥부 표면에 금속이 코팅되어 형성되는 바닥부 표면 금속층을 포함할 수 있다.

- [0018] 상기 바닥부 표면 금속층과, 상기 각 전극에 연결된 전도성 팁의 금속층은 일체로 형성될 수 있다.
- [0019] 상기 탄성부는 PDMS 재질로 이루어지고, 상기 전도성 팁의 비가역적 변형 정도는, 상기 탄성부의 재질인 PDMS의 PDMS 가교율과, 상기 금속층의 두께에 따라 조절될 수 있다.
- [0020] 상기 탄성부는 5:1 내지 20:1 중량비의 경화성 PDMS 수지와 경화제의 경화반응으로부터 제조된 것일 수 있다.
- [0021] 상기 금속층의 두께는 50nm 이하이고 1nm 이상일 수 있다.
- [0022] 상기 전도성 팁이 1회 이상 압축 및 이완된 이후의 상기 전도성 팁의 높이는, 상기 전도성 팁의 초기 높이 대비 90% 이상일 수 있다.
- [0023] 상기 팁 어레이는 상기 다수의 전도성 팁이 $n \times m$ 어레이 형태로 배열될 수 있다(상기 n , m 중 어느 하나는 2 이상이고, 다른 하나는 1 이상인 자연수).
- [0024] 상기 프로브는 캔틸레버를 포함하지 않을 수 있다.
- [0025] 본 발명의 다른 양태에 따른 이진 상태 주사탐침 현미경은, 샘플 표면을 주사하는 상술한 프로브; 상기 샘플에 대해 상기 프로브를 이동시키는 피에조 액츄에이터를 포함하는 구동부; 상기 샘플에 전압을 인가하는 전압 인가부; 상기 각 전극에 인가되는 전기적 신호를 데이터 신호로 변환하는 데이터부; 및 상기 데이터부로부터 상기 데이터 신호를 제공받고, 상기 데이터 신호를 기초로 상기 샘플 표면에 대한 이미지를 생성하는 이미징부;를 포함할 수 있다.
- [0026] 상기 전기적 신호는, 상기 각 전극에 인가되는 전압 신호일 수 있다.
- [0027] 상기 각 전극은, 상기 각 전극에 연결된 상기 전도성 팁이 상기 샘플 표면과 접촉할 시 전압이 인가되고, 상기 각 전극에 연결된 상기 전도성 팁이 상기 샘플 표면과 접촉하지 않을 시 전압이 인가되지 않을 수 있다.
- [0028] 상기 데이터부는, 상기 각 전극에 전압이 인가될 시 1이고 상기 각 전극에 전압이 인가되지 않을 시 0인 이진 접촉 데이터 신호를 생성할 수 있다.
- [0029] 상기 이미징부는, 상기 각 전극에 전압이 인가되기 시작하는 시점에 대한 정보와, 상기 시점으로부터 상기 전극에 전압이 단락되는 종점까지의 시간간격에 대한 정보를 제공받고, 상기 시점에 대한 정보와 상기 시간간격에 대한 정보를 기초로 상기 샘플 표면에 대한 이미지를 생성할 수 있다.

발명의 효과

- [0030] 본 발명의 프로브는 종래 SPM의 프로브가 캔틸레버와 광학계를 필수 구성으로 하는 것과 비교하여, 별도의 캔틸레버와 광학계를 필요로 하지 않아 구성이 매우 단순하고 전체 패키징 사이즈를 획기적으로 축소시킬 수 있을 뿐 아니라, 제작이 간편하고 제작비용을 크게 절감할 수 있다. 나아가 프로브에 전도성 팁이 다수개 구비됨으로써 샘플의 넓은 영역을 동시에 스캔할 수 있게 되어 스캔 처리량이 크게 증가될 수 있으며, 샘플의 형상에 맞추어 전도성 팁을 자유로이 배열할 수 있어 프로브로 스캔 가능한 샘플의 종류가 확대될 수 있다.
- [0031] 본 발명의 주사탐침 현미경은 다수의 전도성 팁이 구비된 프로브를 이용함으로써 샘플의 대면적 스캔이 가능해짐에 따라 스캔 처리량이 크게 증가될 수 있으며, 종래 다중 탐침 SPM의 경우 모든 탐침의 연속적인 물리적 상호작용을 감지하는 것과 달리 본 발명은 전도성 팁과 샘플의 접촉/비접촉 상태만을 파악하므로 매우 간단하게 다중 탐침 구조를 구성할 수 있다. 또한, 본 발명에 의하면 하나의 피에조 액츄에이터만을 이용하여 모든 전도성 팁들의 위치를 이동, 추적하도록 함으로써 전도성 팁들의 개수가 늘어날 때 발생하는 측정 시스템의 복잡성 증가를 최소화할 수 있으며, 종래 다중 탐침 SPM에서 캔틸레버 구조를 위한 마이크로머시닝이 요구되는 기존 이미징 방식에 비해 본 발명은 캔틸레버와 광학계를 제거하게 되어 이미징 방식이 훨씬 간단한 장점이 있다.
- [0032] 나아가, 본 발명은 종래 SPM이 적용되지 못했던 반도체 미세 공정 모니터링, 나노 물질 고속 스크리닝 등에 적용 가능하며, 특히 차세대 전자소재로 연구되고 있는 이차원 물질의 경우 원자층 수에 따른 물성 변화가 큰 특징을 가지고 있어 대면적 포토포그래피 측정이 필수적이기 때문에 이차원 물질을 응용한 제품 제작 공정에 적용될 수 있다.

도면의 간단한 설명

- [0033] 도 1은 종래 주사탐침현미경 중 원자력현미경을 나타낸다.

도 2는 종래 복수의 프로브가 구비된 SPM을 나타낸다.

도 3은 본 발명의 일 예에 따른 이진 상태 주사탐침 현미경을 개략적으로 나타낸 도면이다.

도 4는 도 3을 보다 상세히 나타낸 개략도이다.

도 5는 본 발명의 일 예에 따른 프로브를 나타낸다.

도 6은 프로브에서 하나의 전도성 팁을 나타낸다.

도 7은 본 발명의 전도성 팁이 압축되어 변형되는 것을 개략적으로 나타낸 도면이다.

도 8은 본 발명의 전도성 팁에 있어서 팁과 금속의 성질에 따른 비가역적 변형 정도를 나타낸다.

도 9는 본 발명의 다양한 예에 따른 전도성 팁의 압축 이완 이후의 SEM 이미지이다.

도 10은 본 발명의 일 예에 따른 프로브의 제작 방법을 나타낸 도면이다.

도 11, 12는 본 발명의 일 예에 따른 현미경의 작동 원리를 나타낸다.

도 13은 본 발명의 일 예에 따른 프로브의 작동 경로를 나타낸다.

도 14, 15는 전도성 팁과 샘플 표면의 접촉 과정을 나타낸 도면이다.

도 16은 본 발명의 현미경을 통해 획득한 샘플의 표면 이미지이다.

도 17은 도 15의 샘플에 대한 라인 프로파일이다.

도 18은 본 발명의 일 예에 따른 2x2 어레이 프로브를 이용하여 샘플의 표면을 스캐닝하는 것을 나타내는 도면이다.

도 19는 32nm 두께의 Siemens 별 테스트 차트 이미지이다.

도 20은 본 발명의 일 예에 따른 100 x 1 어레이 프로브를 이용하여 멀티레이어 그래핀 샘플 표면을 스캐닝하는 것을 나타내는 도면이다.

도 21은 본 발명의 일 예에 따른 100 x 1 어레이 프로브를 이용하여 주기율표 패턴 샘플 표면을 스캐닝하는 것을 나타내는 도면이다.

발명을 실시하기 위한 구체적인 내용

[0034] 이하, 첨부된 도면을 참조하여 본 발명에 대해 설명하도록 한다.

[0035] 도 3은 본 발명의 일 예에 따른 이진 상태 주사탐침 현미경을 개략적으로 나타낸 도면이고, 도 4는 도 3을 보다 상세히 나타낸 개략도로서, 도시된 바와 같이 본 발명의 주사탐침 현미경은 크게 프로브(100), 구동부(200), 전압 인가부(300), 데이터부(400) 및 이미징부(500)를 포함한다.

[0036] 프로브(100)는 샘플(S) 표면을 주사하고, 구동부(200)는 샘플(S)에 대해 프로브(100)를 이동시키는 피에조 액추에이터(210)를 포함하고, 전압 인가부(300)는 샘플(S)에 전압을 인가하고, 데이터부(400)는 각 전극(120)에 인가되는 전기적 신호를 데이터 신호로 변환하며, 이미징부(500)는 샘플(S)의 표면 이미지를 생성한다.

[0037] 우선, 본 발명에 따른 프로브(100)에 대해 구체적으로 설명하기로 한다. 도 5는 본 발명의 일 예에 따른 프로브를 나타낸 것이고, 도 6은 프로브에서 하나의 전도성 팁을 나타낸 것으로서, 도시된 바와 같이 본 발명의 프로브(100)는 크게 기관(110)과, 다수의 전극(120)과, 팁 어레이(130)를 포함한다.

[0038] 기관(100)은 전도성 팁(130)들이 안착되는 공간을 제공하는 것으로, 예를 들어 유리기관일 수 있다.

[0039] 다수의 전극(120)은 기관 상에 형성될 수 있으며, 보다 구체적으로 기관(100) 상에 전도성 물질인 금속이 코팅되어 형성될 수 있다.

[0040] 팁 어레이(130)는 기관(100) 상에 구비되며 다수의 전극(120) 각각과 연결되는 전도성 팁(135) 다수개를 포함하며, 이때 전도성 팁(135)들은 어레이를 이룰 수 있다. 어레이는 각 전도성 팁(135)들이 소정의 패턴으로 배열되는 것을 의미하는 것으로, 일 예로 각 전도성 팁(135)들은 사각형 형태로 $n \times m$ (n, m 은 1 또는 2 이상의 자연수) 어레이 형태로 배열될 수 있으며, 도 4의 (a)와 같이 전도성 팁(135)들이 2×2 형태로 배열될 수 있다. 단 이에 한정되는 것은 아니며, 전도성 팁(135)들은 전체적으로 동심원을 가지는 원형 형태로 배열될 수도 있다.

이때, 각 전도성 팁(135)들은 서로 동일한 크기와 형상을 가지는 것이 바람직하지만, 그 크기와 형상(예를 들어, 전도성 팁들 각각의 첨부의 위치)이 소정의 편차를 가지더라도 이들로부터 획득하는 정보를 소프트웨어적으로 서로 동기화하여 보정할 수 있으므로 전도성 팁(135)들 각각, 또는 전도성 팁(135)들이 배치되어 형성되는 패턴간 간격 등이 물리적으로 동일하지 않을 수 있다.

[0041] 여기서, 본 발명의 각 전도성 팁(135)은 압축 및 이완 가능할 수 있다. 즉, 본 발명의 프로브는 샘플의 표면을 주사하는 것으로서, 후술하는 바와 같이 프로브가 하강하여 샘플의 표면에 전도성 팁이 닿게 된 이후 프로브가 계속 하강하게 될 경우 샘플의 표면에 의해 가압되어 전도성 팁은 압축될 수 있으며, 이후 프로브가 방향을 바꿔 상승하게 될 경우 전도성 팁은 초기 형태로 이완될 수 있다.

[0042] 본 발명의 각 전도성 팁(135)은 도 6에 도시된 바와 같이, 내부에 탄성부(136)가 형성되고 탄성부(136) 표면에 금속층(137)이 형성되어 이루어질 수 있다.

[0043] 탄성부(136)는 탄성을 가지는 재질, 예를 들어 엘라스토머(elastomer) 재질로 이루어질 수 있으며, 구체적으로 경화성 고분자 수지가 경화 또는 가교되어 제조된 엘라스토머일 수 있다. 엘라스토머의 구체적인 일 예로는 경화된 PDMS(polydimethylsioxane) 재질일 수 있다. 또한 탄성부(136)는 피라미드 형태를 가질 수 있다.

[0044] 본 발명의 전도성 팁(135)은 이와 같이 탄성재질로 이루어지고 피라미드 형태를 가지는 탄성부(136)의 표면에 금속이 코팅되어 형성되는 금속층(137)으로 이루어질 수 있으며, 이때 금속층(137)은 예를 들어 Au, Ag, Cr, Mo, Al, Ti, Cu, Ni, Pt, Pd, Rh, W, 중 적어도 하나를 포함할 수 있고, 단일층 또는 다중층으로 형성될 수 있다.

[0045] 도 7은 본 발명의 전도성 팁이 압축되어 변형되는 것을 개략적으로 나타낸 도면으로서, 이와 같이 본 발명의 전도성 팁(135)은 내부에 형성된 탄성부(136)가 탄성재질로 이루어져, 전도성 팁(135)이 샘플(S)에 대해 접촉하여 압축됨으로써 그 형상이 변형될 수 있고, 이후 전도성 팁(135)이 샘플(S)로부터 분리되어 이완됨으로써 그 형상이 초기 형태로 복원될 수 있다. 동시에 탄성부(136)의 표면에 금속층(137)이 형성됨으로써 후술하는 바와 같이 전기적 신호를 이용하여 샘플(S)의 표면을 스캔할 수 있다.

[0046] 도 8은 본 발명의 전도성 팁에 있어서 탄성부와 금속층의 성질에 따른 비가역적 변형 정도를 나타낸 것으로서, 도 8의 (a)는 PDMS 가교율(Crosslinking ratio of PDMS)과 금속층(137)의 두께에 따른 비가역적 변형 정도를 나타내고, 도 8의 (b)는 PDMS 가교율을 5:1로 형성한 것과 30:1로 형성한 것을 비교한 그래프이며, 도 8의 (c)는 PDMS 가교율을 5:1로 형성한 프로브를 이용하여 생성한 샘플(S)의 이미지이고, 도 8의 (d)는 PDMS 가교율을 30:1로 형성한 프로브를 이용하여 생성한 샘플(S)의 이미지이다.

[0047] PDMS가교율은 경화성 PDMS 수지(PDMS base)/경화제(curing agent) 중량비로서, PDMS 가교율은 경화성 PDMS 수지와 경화제의 중량비에 따라 조절될 수 있다. 예를 들어, 경화성 PDMS 수지에 비해 경화제의 함량이 증가함에 따라 가교율이 증가되어 경질의 탄성부가 제조될 수 있으며, 경화제 함량이 감소함에 따라 연질의 탄성부가 제조될 수 있다. 이에 따라 후술하는 PDMS 가교율 X:1은 별다른 정의가 없는 한, 경화성 PDMS 수지와 경화제의 중량비를 의미하는 것으로 X가 증가함에 따라 연질의 탄성부가 제조되는 것을 의미한다.

[0048] 도 8에 도시된 바와 같이 PDMS 가교율과 금속층(137)의 두께(즉, 금속의 코팅 두께)가 작을수록 전도성 팁(135)의 탄성(elastic)이 커져 비가역적 변형정도가 작아지고, PDMS 가교율과 금속층(137)의 두께가 클수록 전도성 팁(135)의 가소성(plastic)이 커져 비가역적 변형정도가 커지게 된다. 도 8의 (c), (d)에 나타난 바와 같이 PDMS 가교율이 5:1인 경우는 샘플 이미지의 해상도가 높은 반면, PDMS 가교율이 30:1인 경우는 샘플 이미지의 해상도가 낮은 것을 확인할 수 있다.

[0049] 도 9는 본 발명의 다양한 예에 따른 전도성 팁의 압축 이완 이후의 SEM 이미지로서, 도시된 바와 같이 PDMS 가교율과 금속층(137)의 두께를 적절히 조절함으로써 압축 이완 이후 전도성 팁(135)의 형상이 적절히 복원될 수 있다. 예를 들어, 전도성 팁(135)이 1회 이상 압축 및 이완된 이후 전도성 팁의 높이(h1)가 전도성 팁의 초기 높이(h0) 대비 90% 이상, 구체적으로 95% 이상이 될 수 있다. 보다 바람직한 예를 들어, 전도성 팁(135)이 100회 이상 압축 및 이완된 이후 전도성 팁의 높이(h1)가 전도성 팁의 초기 높이(h0) 대비 90% 이상이 될 수 있다. 이와 같이 전도성 팁의 복원률을 적절히 조절하여 샘플 이미지의 해상도가 조절될 수 있다. 여기서 초기 높이는 물론 전도성 팁이 압축 및 이완되지 않은 초기 상태에서의 전도성 팁의 높이에 해당한다.

[0050] 전도성 팁(135)의 탄성이 너무 크면 전도성 팁(135)이 압축된 이후 원래 상태로 복원되지 않게 되고, 전도성 팁(135)의 가소성이 너무 크면 전도성 팁(135)이 압축될 시 전도성 팁(135) 자체가 손상되어 마찬가지로 원래 상태로 복원될 수 없게 되며, 이에 따라 전도성 팁(135)의 첨부가 무너지게 되어 샘플 이미지의 해상도가 낮아지

게 되므로, PDMS 가교율과 금속층(137)의 두께를 적절히 조절하여 전도성 팁(135)이 적당한 비가역적 변형 정도를 가지게 하는 것이 바람직하다. 이때 도시된 바와 같이 PDMS의 주재료(경화성 PDMS 수지) 대비 경화제의 비율이 20:1을 초과하게 되면 전도성 팁의 복원률이 감소하므로, PDMS의 주재료와 경화제의 비율을 5:1 내지 20:1 사이로 형성하는 것이 바람직하다. 즉, 전도성 팁(135)의 탄성부(136)는 5:1 내지 20:1, 바람직하게는 7:1 내지 18:1, 보다 바람직하게는 10:1 내지 15:1 중량비의 경화성 PDMS 수지와 경화제의 경화반응으로부터 제조될 수 있다. 또한, 금속층의 두께가 50nm를 초과하게 되면 마찬가지로 전도성 팁의 복원률이 감소하므로, 금속층의 두께를 50nm 이하, 바람직하게는 40nm 이하, 보다 바람직하게는 30nm 이하일 수 있으며, 또한 1nm 이상, 바람직하게는 5nm 이상일 수 있다. 이때 각각의 수치 상한과 하한의 조합에 따른 수치범위 역시 본 발명에 따른 금속층의 두께에 포함되는 것으로 해석되어야 한다. 다만, 이에 한정되는 것은 아니며, 실제 실험에서는 그 용도에 따라 100nm 두께를 가지는 금속층을 이용할 수도 있으며, 탄성부의 탄성정도를 고려하여 금속층의 두께를 50nm 이상으로 설계할 수 있음은 물론이다.

[0051] 도 10은 본 발명의 일 예에 따른 프로브의 제작 방법을 나타낸 도면으로서, 본 발명의 프로브(100)는, 실리콘 기판 상에 마스크(레지스트리)를 이용해 팁의 패턴을 식각하여 피라미드 모양으로 식각된 실리콘 몰드(Si Mold)를 생성하고, 기판(Glass substrate, 110) 상에 탄성재료의 엘라스토머(구체적인 예로서, PDMS)를 적층하고 앞서 생성한 실리콘 몰드를 이용해 바닥부(131)와 바닥부 상에 배치되는 다수의 탄성부(136)로 이루어진 PDMS 주물을 생성하고, PDMS 주물 상에 전도성 팁과 연결될 전극 라인을 고려하여 레지스트를 적절히 패터닝한 이후, 레지스트가 패터닝된 PDMS 주물 상에 금속을 증착 코팅하여 형성될 수 있다.

[0052] 금속의 증착 코팅은 화학 기상 증착법(Chemical Vapor Deposition), 원자층 증착법(Atomic Layer Deposition), 물리 기상 증착법(Physical Vapor Deposition) 등 공지의 증착 공정에 의해 수행될 수 있으나, 이에 제한받지는 않는다.

[0053] 이와 같이 본 발명에 의하면 다수의 전도성 팁(135)을 한번에 간단한 공정으로 제작할 수 있는 이점이 있으며, 이때 레지스트가 패터닝 된 팁 주물 상에 금속을 증착함으로써 탄성부(136)의 표면에 금속층(137) 코팅됨과 동시에 기판(100) 상에 다수의 전극(120)이 동시에 형성되므로, 다수의 전극(120)이 탄성부(136)의 표면에 금속층(137)을 형성하는 공정과 동일한 공정에 의해 형성될 수 있어 프로브(100)의 제작이 매우 간편한 이점이 있다.

[0054] 이와 같이 제작된 프로브(100)는, 팁 어레이(130)가 바닥부(131)를 더 포함할 수 있으며, 전도성 팁(135)들은 각각 바닥부(131) 상에 배치될 수 있다. 여기서 바닥부(131)와 전도성 팁의 탄성부(136)는 도 9의 (4)에 도시된 바와 같이 일체로 형성될 수 있으며, 다수의 전극(120) 각각은 바닥부(131) 표면에 금속이 코팅되어 형성되는 바닥부 표면 금속층(121)을 포함할 수 있다. 이때, 바닥부 표면 금속층(121)은 상술한 바와 같이 PDMS 주물 상에 금속을 증착 코팅하여 형성되는 것으로서 전도성 팁(135)의 금속층(137)과 동시에 형성되며, 이에 따라 바닥부 표면 금속층(121)과 각 전극(120)에 연결된 전도성 팁(135)의 금속층(137)이 일체로 이루어질 수 있다.

[0055] 이상과 같이 본 발명의 프로브는 종래 SPM의 프로브가 캔틸레버와 광학계를 필수 구성으로 하는 것과 비교하여, 별도의 캔틸레버와 광학계를 필요로 하지 않아 구성이 매우 단순하고 전체 패키징 사이즈를 획기적으로 축소시킬 수 있을 뿐 아니라, 제작이 간편하고 제작비용을 크게 절감할 수 있다. 나아가 프로브에 전도성 팁이 다수개 구비됨으로써 샘플의 넓은 영역을 동시에 스캔할 수 있게 되어 스캔 처리량이 크게 증가될 수 있으며, 샘플의 형상에 맞추어 전도성 팁을 자유로이 배열할 수 있어 프로브로 스캔 가능한 샘플의 종류가 확대될 수 있다.

[0056] 이하에서는, 상술한 프로브를 포함하는 본 발명의 일 예에 따른 이진 상태 주사탐침 현미경에 대해 구체적으로 살펴보기로 한다.

[0057] 도 3, 4를 다시 참조하면 상술한 바와 같이 본 발명의 주사탐침 현미경(10)은, 프로브(100), 구동부(200), 전압인가부(300), 테이터부(400) 및 이미징부(500)를 포함하고, 따로 도시하지는 않았으나 각 구성들을 제어하는 제어부를 더 포함할 수 있으며, 피에조 액츄에이터의 위치를 측정하는 위치 센서(250)를 더 포함할 수 있다.

[0058] 구동부(200)는 프로브(100)를 샘플에 대해 상대적으로 이동시키는 것으로, 프로브(200)를 이동시키는 구동소자인 피에조 액츄에이터(210)를 포함할 수 있다. 피에조 액츄에이터(210)는 샘플(S)에 대해 수직한 방향(Z)과 수평한 방향(XY)으로 이동할 수 있으며, 프로브(100)는 피에조 액츄에이터(210)에 장착되어 피에조 액츄에이터(210)를 따라 샘플(S)에 대해 수직방향과 수평방향으로 이동될 수 있다. 이때 보다 구체적인 예로서, 본 발명의 피에조 액츄에이터(210)는 샘플(S)이 올려지는 스테이지를 수평한 방향으로 이동시키는 xy 피에조 액츄에이터(210-1)와 프로브(100)가 장착되어 프로브(100)를 수직한 방향으로 이동시키는 z 피에조 액츄에이터(210-2)를 포함할 수 있으나, 이와 같은 피에조 액츄에이터의 구성은 자유로이 설계변경될 수 있는 것이므로 이하에서는

이들을 구별하지 않고 피에조 액츄에이터로 통합하여 칭하기로 한다.

- [0059] 전압 인가부(300)는 샘플에 전압을 인가하는 것으로, 샘플(S)이 전도성 물질인 경우에는 샘플(S)에 직접 전압을 인가할 수 있고, 샘플(S)이 전도성 물질이 아닌 경우 즉 절연성 물질인 경우에는 샘플(S) 표면에 전도성 물질인 금속을 코팅하여 샘플 표면에 전도층을 형성한 이후 샘플(S) 표면의 전도층에 전압을 인가할 수 있다. 전압 인가부(300)에 의해 샘플(S)에 인가되는 전압의 크기는 약 10~100mV일 수 있으며, 보통 40mV의 크기로 인가될 수 있다.
- [0060] 데이터부(400)는 각 전극(120)에 인가되는 전기적 신호를 데이터 신호로 변환하는 것으로, 각 전극(120)에 인가되는 전기적 신호를 샘플링하여 데이터 신호를 생성할 수 있다. 여기서 전기적 신호는 전극에 인가되는 전류 또는 전압 신호에 해당할 수 있으며, 본 발명은 특히 전압 신호를 이용할 수 있다.
- [0061] 도 11, 12는 본 발명의 일 예에 따른 현미경의 작동 원리를 나타낸 것으로서, 도시된 바와 같이 프로브(100)가 피에조 액츄에이터(210)에 의해 샘플(S)에 대해 수직 아래 방향으로 이동하게 되고, 프로브(100)의 각 전도성 팁(135)들은 샘플(S)의 표면에 접촉하게 된다. 이때 샘플(S)에는 전압 인가부(300)에 의해 전압이 인가되어 있으므로, 전도성 팁(135)이 샘플(S)의 표면에 접촉하게 되는 순간 전도성 팁(135)과 해당 전도성 팁에 전기적으로 연결된 전극(120')이 폐회로를 형성하게 되어 전극(120')에 전압이 인가되게 된다. 이후 피에조 액츄에이터(210)가 설정된 거리만큼 하방으로 이동한 후 다시 상방으로 이동하게 됨에 따라 전도성 팁(135)이 샘플(S)의 표면에서 분리되어 전압이 인가되지 않게 된다. 즉, 프로브(100)의 하방 이동에 의해 전도성 팁(135)이 샘플(S) 표면과 접촉할 시 해당 전도성 팁(135)에 연결된 전극(120')에 전압이 인가되고, 프로브(100)의 상방 이동에 의해 전도성 팁(135)이 샘플(S) 표면과 분리될 시(즉, 비접촉시) 해당 전도성 팁(135)에 연결된 전극(120')에 전압이 단락되게 된다.
- [0062] 이러한 전도성 팁(135)과 샘플(S) 표면의 접촉 여부에 의해 발생하는 전극(120')에서의 전압 인가 여부는 데이터부(400)로 전달되어, 데이터부(400)에 의해 1 또는 0의 데이터 신호로 변환될 수 있다. 즉, 데이터부(400)는 각 전극(120)에 전압이 인가될 시(즉, 각 전도성 팁과 샘플 표면의 접촉시) 1이고 각 전극(120)에 전압이 인가되지 않을 시(즉, 각 전도성 팁과 샘플 표면의 비접촉시) 0인 이진(binary) 접촉 데이터 신호를 생성할 수 있으며, 생성된 이진 접촉 데이터 신호를 이미지정부(500)로 전달할 수 있다.
- [0063] 도 13은 본 발명의 일 예에 따른 프로브의 작동 경로를 나타낸 것으로, 프로브(100)의 이동 경로와 전도성 팁(135)에 연결된 전극(120')에 인가되는 전압 간의 관계를 나타낸다. 샘플(S)은 높이가 낮은 영역(L)과 높은 영역(H)으로 구분될 수 있으며, 도 13의 파란 선은 샘플(S)에 대한 프로브(100)의 상대적인 이동경로를 나타내고, 도 13의 빨간 선은 전도성 팁(135)에 연결된 전극(120)에 인가되는 전압을 나타낸다. 도시된 바와 같이 ①-③ 경로를 따라 프로브(100) 즉 전도성 팁(135)이 하방으로 이동하게 되고, 하방 이동 경로의 ② 지점에서 샘플(S)의 높이가 낮은 영역(L)의 표면(-0.9 μ m 지점)과 접촉하게 된다. 이때 도시된 바와 같이 ② 지점에서 전도성 팁(135)과 샘플(S) 표면이 접촉하게 되어 전도성 팁(135)과 전극(120')에 전압이 인가되게 된다. 이후 ④ 경로를 따라 전도성 팁(135)이 상방으로 이동하게 되고, 전도성 팁(135)이 샘플(S) 표면에서 분리되는 순간 전압이 0이 된다. 이 경로에서 전도성 팁(135)에 전압이 인가되는 시점은 약 2초인 순간에 해당하고, 전도성 팁(135)이 샘플(S) 표면에서 분리되는 시점은 약 3초인 순간에 해당하며, 이에 따라 총 1초동안의 시간 간격동안 전도성 팁(135)에 전압이 인가됨을 알 수 있다. 이후 ⑤ 경로를 따라 전도성 팁(135)이 샘플(S) 표면에서 수평 방향으로 이동하여 샘플(S)의 높은 영역(H) 상부에 위치하게 되고, 이후 ⑥-⑧ 경로를 따라 전도성 팁(135)이 하방으로 이동하게 되며, 하방 이동 경로의 ⑦ 지점에서 샘플(S)의 높이가 높은 영역(H)의 표면(-0.3 μ m 지점)과 접촉하게 된다. 이때 도시된 바와 같이 ⑦ 지점에서 전도성 팁(135)과 샘플(S) 표면이 접촉하게 되어 전도성 팁(135)과 전극(120')에 전압이 인가되게 되며, 해당 시점은 약 4초에 해당함을 알 수 있다. 도 14, 15는 전도성 팁과 샘플 표면의 접촉 과정을 나타낸 도면으로서, 도시된 바와 같이 전도성 팁(135)이 샘플(S) 표면과 접촉하게 될 시 전도성 팁(135)과 전극(120')에 전압이 인가되고 전도성 팁(135)이 샘플 표면과 분리되게 될 시 전압이 인가되지 않음을 알 수 있다.
- [0064] 이와 같이 각 전극(120)에 인가되는 전압에 대한 정보가 데이터부(400)에 의해 샘플링되어 1과 0으로 변환된 이진 접촉 데이터 신호가 이미지정부(500)로 전달되며, 이미지정부(500)는 전달받은 1과 0으로 이루어진 샘플링 데이터 즉 이진 접촉 데이터 신호를 이용하여 샘플(S)의 표면 이미지를 생성할 수 있게 된다.
- [0065] 이때, 이미지정부(500)는 데이터부(400)로부터 각 전극(120)에 전압이 인가되기 시작하는 시점에 대한 정보(상술한 예에 따르면 2초인 시점)와, 시점으로부터 각 전극(120)에 전압이 인가되지 않는 종점까지의 시간간격(상술한 예에 따르면 3초인 종점과 1초인 시간 간격)에 대한 정보를 제공받을 수 있으며, 이를 기초로 샘플(S)의 표

면 이미지를 생성할 수 있다.

- [0066] 보다 구체적으로, 이미징부(500)는 상술한 피에조 액츄에이터 위치 센서를 통해 획득한 피에조 액츄에이터의 수직 위치(변위)를 참조하여 샘플의 표면 이미지를 생성할 수 있다. 상술한 예를 들면, 샘플에서 600nm 단차를 가진 두 지점은 높은 지점(H)보다 0.3 μ m 높은 지점에서부터 수직스캐닝한다고 가정할 경우, 높은 지점(H)에서는 피에조 액츄에이터의 수직 위치가 -0.3 μ m 일 때 접촉이 일어나고 낮은 지점(L)에서는 피에조 액츄에이터의 수직 위치가 -0.9 μ m 일 때 접촉이 일어나므로, 두 지점의 변위를 비교하여 600nm의 단차를 얻을 수 있다.
- [0067] 한편, 본 발명에서 피에조 액츄에이터(210)의 수직방향 이동속도($v_{z\text{-piezo}}$)에 대한 정보와 이진 접촉 신호의 샘플링 레이트(f_{rate})에 대한 정보는 샘플 측정의 최대 분해능을 구할 때 사용될 수 있다. 구체적으로, 특정 속도(예를 들어, 100 μ m/s)와 특정 샘플링레이트(예를 들어, 100kHz)를 가질 때 본 발명에 따른 현미경의 분해능은 $v_{z\text{-piezo}}/f_{\text{rate}}$ 로 추정될 수 있다.
- [0068] 도 16은 본 발명의 현미경을 통해 획득한 샘플의 표면 이미지로서, 높이 차이가 600nm인 16 x 16 μ m² 인 정사각형 패틴을 가지는 샘플의 지형(topography) 이미지를 나타낸다. 도 17은 도 16의 샘플에 대한 라인 프로파일로서, 본 발명인 BSPM(Binary-State Probe Microscopy)으로 획득한 라인과 종래 싱글-팁 AFM으로 획득한 라인이 잘 일치하는 것을 확인할 수 있다.
- [0069] 도 18은 본 발명의 일 예에 따른 2x2 어레이 프로브를 이용하여 샘플의 표면을 스캐닝하는 것을 나타내는 도면으로서, 도 18의 (a)는 각 전도성 팁들의 오버랩되는 스캐닝 영역을 개략적으로 나타내고, 도 18의 (b)는 각 전도성 팁들로부터 획득한 샘플의 이미지를 합성한 것을 나타낸다. 도시된 바와 같이 프로브에 전도성 팁이 다수개 구비됨으로써 샘플의 넓은 영역을 동시에 스캔할 수 있게 되어 스캔 처리량이 크게 증가될 수 있으며, 각 전도성 팁들 간의 오버랩되는 스캐닝 영역이 잘 동기화되어 선명한 샘플의 표면 이미지를 획득할 수 있음을 확인할 수 있다.
- [0070] 도 19는 32nm 두께의 Siemens 별 테스트 차트 이미지로서, 도 18의 (a)는 SEM 이미지이고 도 18의 (b)는 본 발명인 BSPM을 이용하여 획득한 이미지를 나타낸다. 도시된 바와 같이 SEM 이미지와 BSPM 이미지가 잘 일치함을 확인할 수 있다.
- [0071] 도 20은 본 발명의 일 예에 따른 100 x 1 어레이 프로브를 이용하여 멀티레이어 그래핀 샘플 표면을 스캐닝하는 것을 나타내는 도면으로서, 도시된 바와 같이 100개의 전도성 팁을 이용하여 샘플의 각 영역에 대한 병렬 스캔이 가능하며, 이때 샘플의 표면에서 13nm의 높이차이까지도 구분 가능함을 확인할 수 있다.
- [0072] 도 21은 본 발명의 일 예에 따른 100 x 1 어레이 프로브를 이용하여 주기율표 패틴 샘플 표면을 스캐닝하는 것을 나타내는 도면으로서, 도시된 바와 같이 100개의 전도성 팁을 이용하여 샘플의 각 영역에 대한 병렬 스캔이 가능하며, 이때 샘플 표면의 780nm의 길이차이까지도 구분 가능함을 확인할 수 있다.
- [0073] 이상 살펴본 바와 같이, 본 발명의 주사탐침 현미경은 다수의 전도성 팁이 구비된 프로브를 이용함으로써 샘플의 대면적 스캔이 가능해짐에 따라 스캔 처리량이 크게 증가될 수 있으며, 종래 다중 탐침 SPM의 경우 모든 탐침의 연속적인 물리적 상호작용을 감지하는 것과 달리 본 발명은 전도성 팁과 샘플의 접촉/비접촉 상태만을 파악하므로 매우 간단하게 다중 탐침 구조를 구성할 수 있다. 또한, 본 발명에 의하면 하나의 피에조 액츄에이터만을 이용하여 모든 전도성 팁들의 위치를 이동, 추적하도록 함으로써 전도성 팁들의 개수가 늘어날 때 발생하는 측정 시스템의 복잡성 증가를 최소화할 수 있으며, 종래 다중 탐침 SPM에서 캔틸레버 구조를 위한 마이크로 머시닝이 요구되는 기존 이미징 방식에 비해 본 발명은 캔틸레버와 광학계를 제거하게 되어 이미징 방식이 훨씬 간단한 장점이 있다.
- [0074] 나아가, 본 발명은 종래 SPM이 적용되지 못했던 반도체 미세 공정 모니터링, 나노 물질 고속 스크리닝 등에 적용 가능하며, 특히 차세대 전자소재로 연구되고 있는 이차원 물질의 경우 원자층 수에 따른 물성 변화가 큰 특징을 가지고 있어 대면적 포토그래피 측정이 필수적이기 때문에 이차원 물질을 응용한 제품 제작 공정에 적용될 수 있다.
- [0075] 이상, 첨부된 도면을 참조하여 본 발명의 실시예를 설명하였지만, 본 발명이 속하는 기술분야에서 통상의 지식을 가진 자는 본 발명이 그 기술적 사상이나 필수적인 특징을 변경하지 않고서 다른 구체적인 형태로 실시될 수 있다는 것을 이해할 수 있을 것이다. 그러므로 이상에서 기술한 실시예에는 모든 면에서 예시적인 것이며 한정적이 아닌 것으로 이해해야 한다.

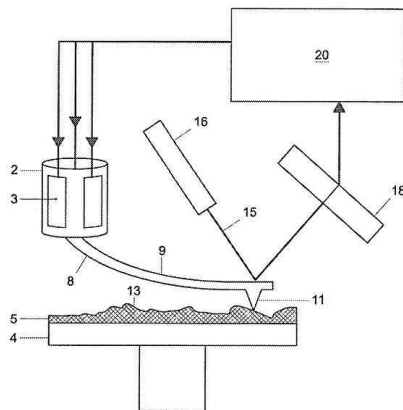
부호의 설명

[0076]

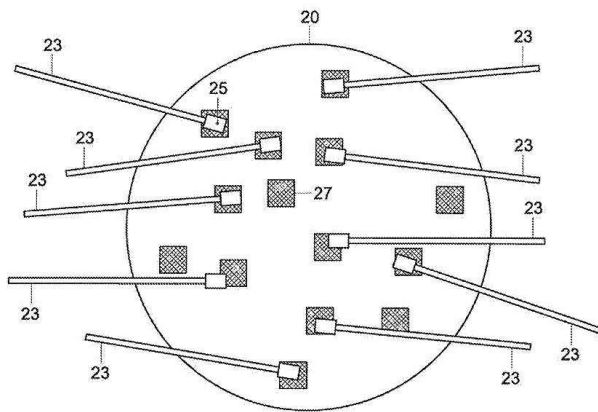
- 10: 이진 상태 주사탐침 현미경
- 100: 프로브
- 110: 기관
- 120: 다수의 전극
- 121: 바닥부 표면 금속층
- 120': 각 전도성 팁과 연결된 전극
- 130: 팁 어레이
- 131: 바닥부
- 135: 전도성 팁
- 136: 탄성부
- 137: 금속층
- 200: 구동부
- 210: 피에조 액츄에이터
- 300: 전압 인가부
- 400: 데이터부
- 500: 이미징부

도면

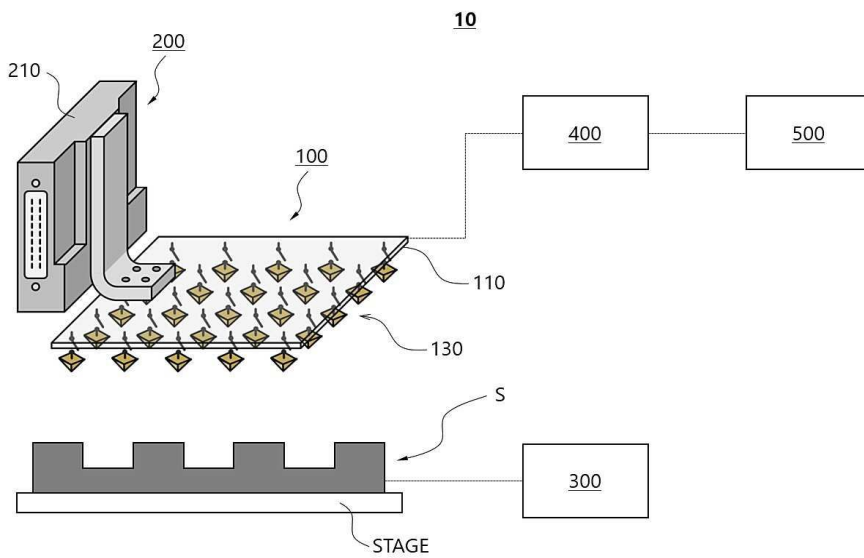
도면1



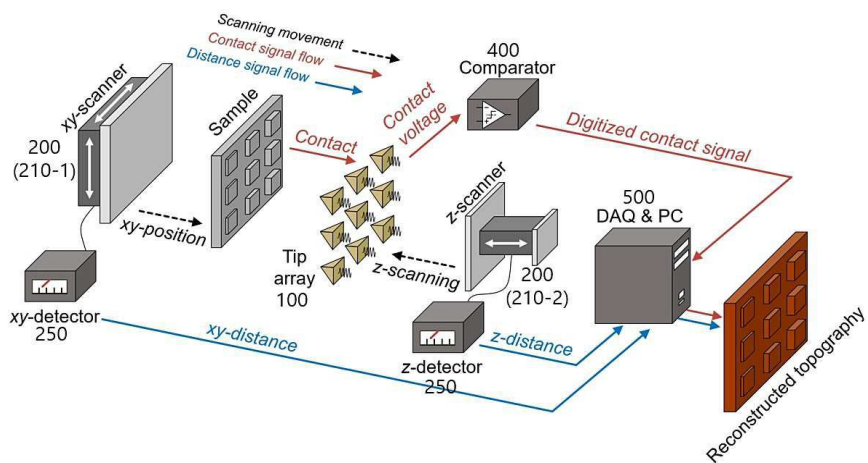
도면2



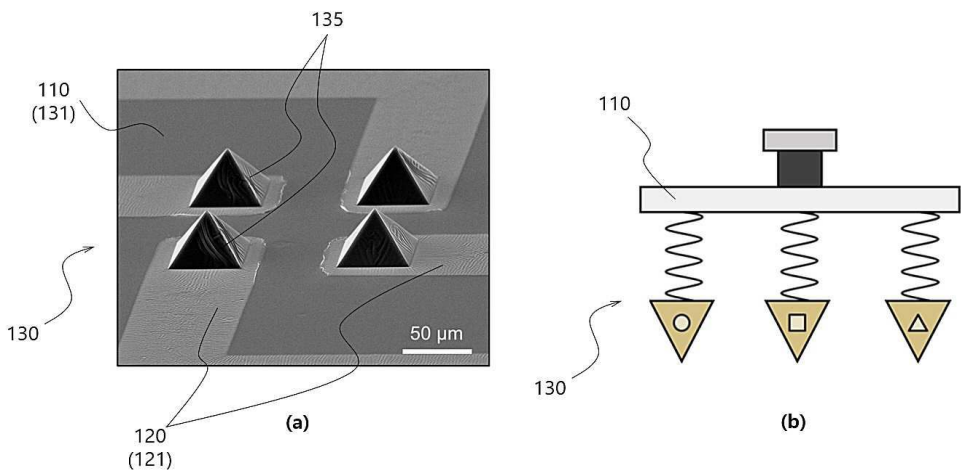
도면3



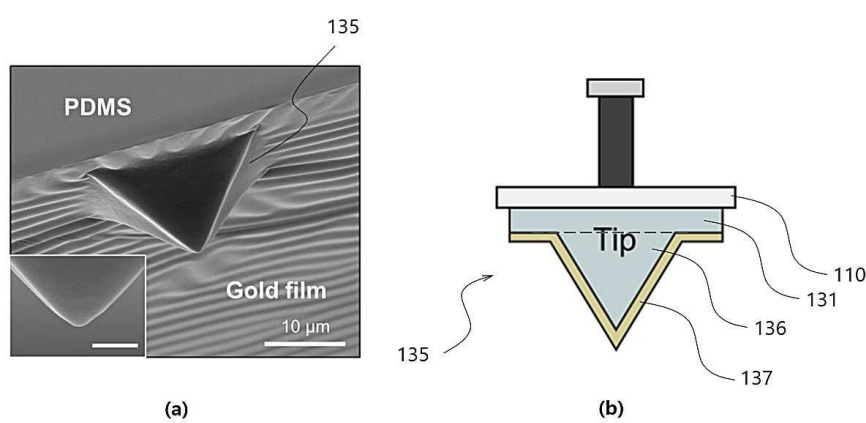
도면4



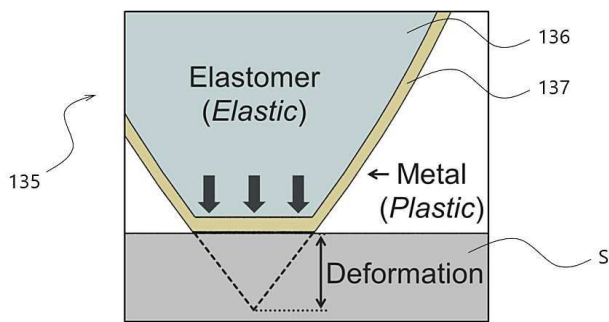
도면5



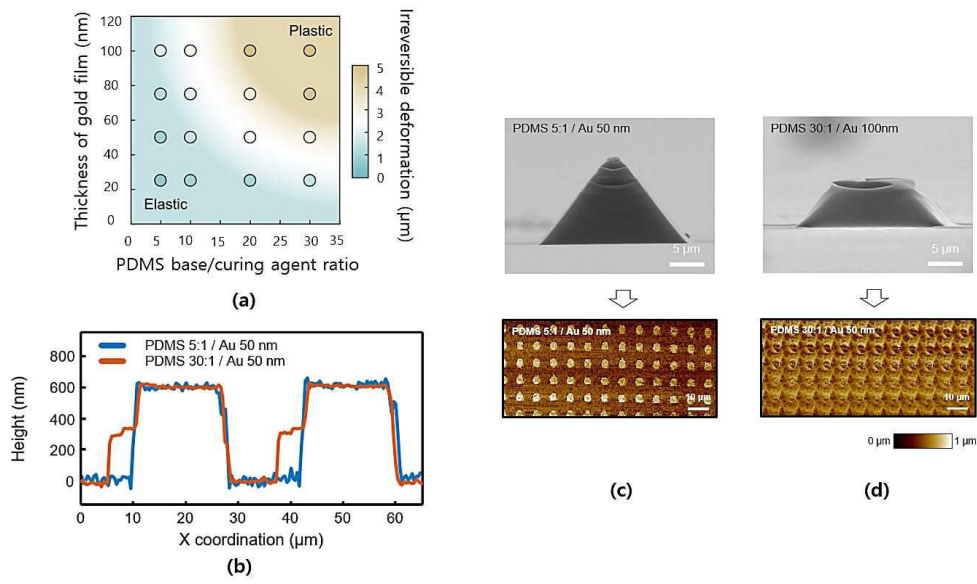
도면6



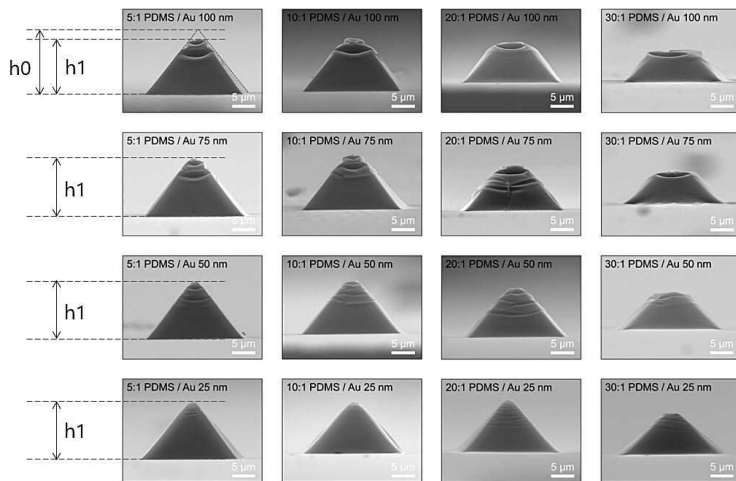
도면7



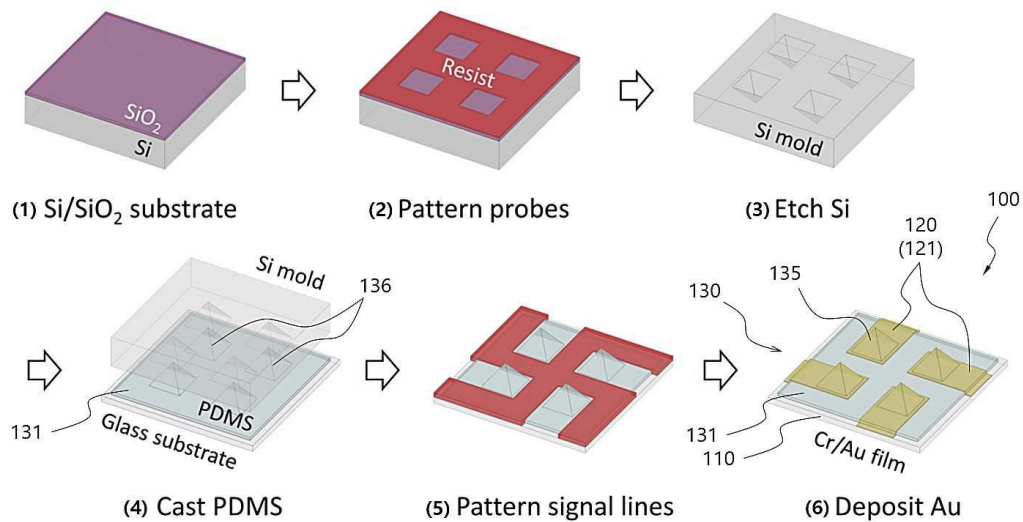
도면8



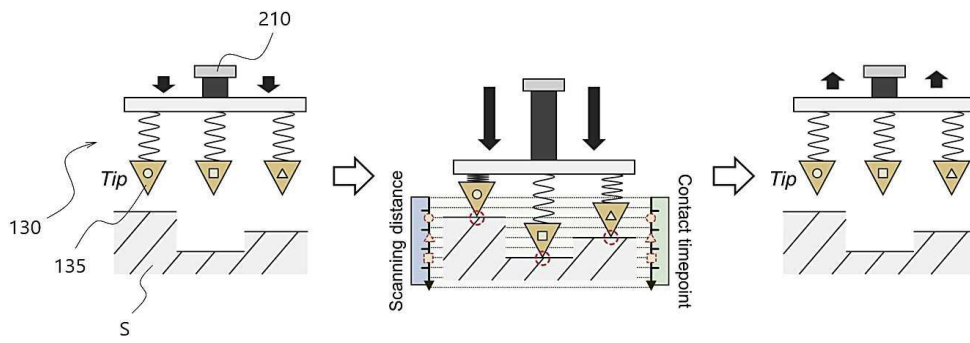
도면9



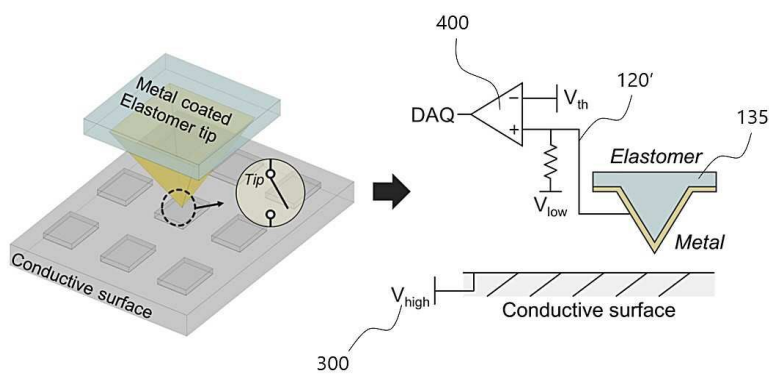
도면10



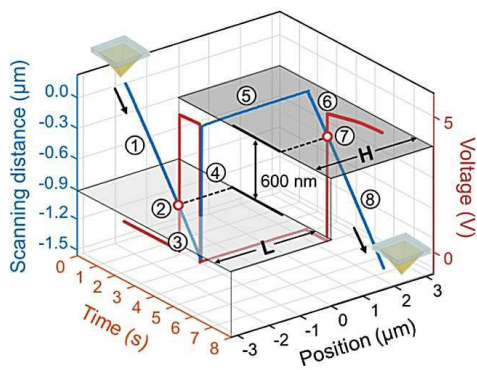
도면11



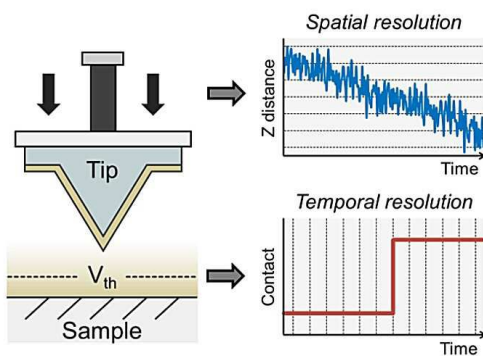
도면12



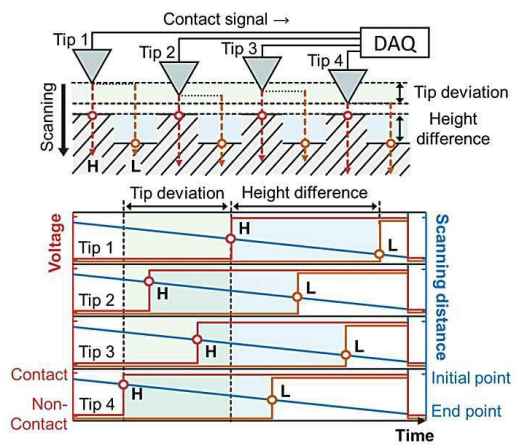
도면13



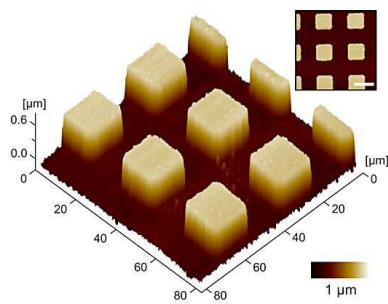
도면14



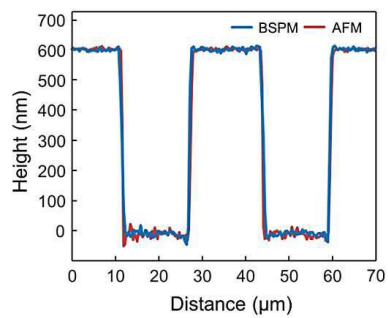
도면15



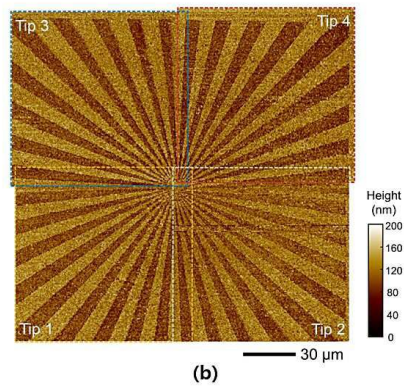
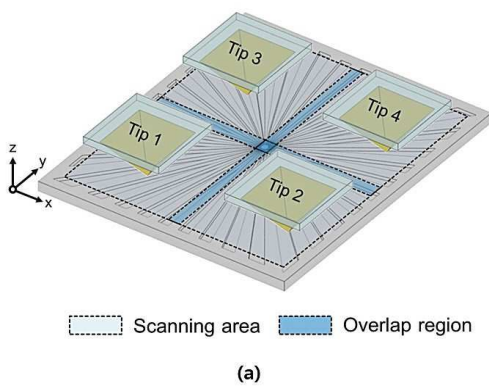
도면16



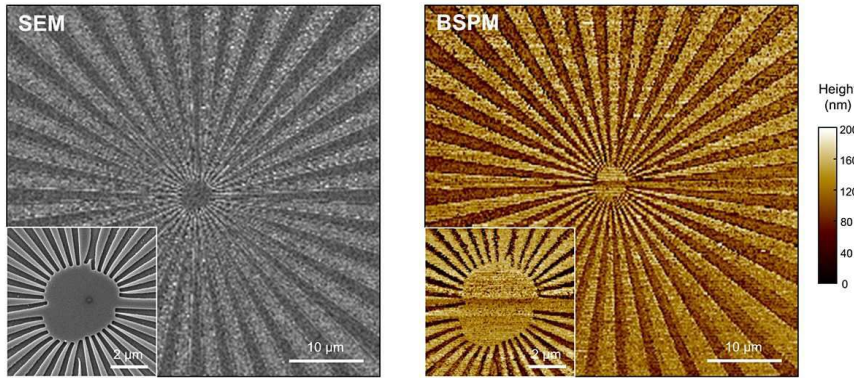
도면17



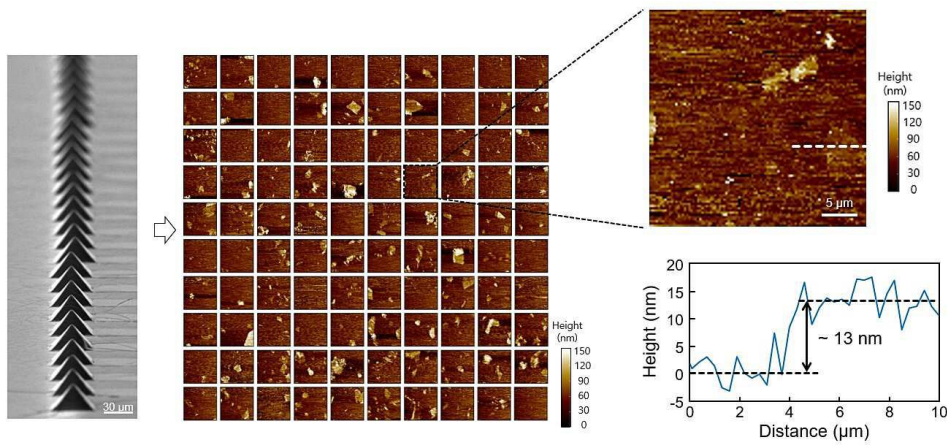
도면18



도면19



도면20



도면21

