



(19) 대한민국특허청(KR)

(12) 등록특허공보(B1)

(45) 공고일자 2022년09월30일

(11) 등록번호 10-2448873

(24) 등록일자 2022년09월26일

(51) 국제특허분류(Int. Cl.)
G03F 9/00 (2006.01) G03F 7/20 (2006.01)
H01L 21/027 (2006.01)

(52) CPC특허분류
G03F 9/7061 (2013.01)
G03F 7/70933 (2013.01)

(21) 출원번호 10-2017-0062373

(22) 출원일자 2017년05월19일

심사청구일자 2020년05월15일

(65) 공개번호 10-2017-0131273

(43) 공개일자 2017년11월29일

(30) 우선권주장
15/160,302 2016년05월20일 미국(US)

(56) 선행기술조사문헌
JP2008209544 A*
W02007126141 A1
US20110303062 A1
US20050184746 A1
*는 심사관에 의하여 인용된 문헌

(73) 특허권자

브루커 나노, 아이엔씨.

미국 캘리포니아 93117 산타 바바라 로빈 힐 로드 112

(72) 발명자

로빈슨, 토드 에반

미국, 플로리다주 33426, 보인톤 비치, 노쓰 에버 그린 서클 3093

어루자, 버나브 제이.

미국, 플로리다주 33433, 보카 레이톤, 소노마 코트 21644

(뒷면에 계속)

(74) 대리인

특허법인 광장리앤코

전체 청구항 수 : 총 25 항

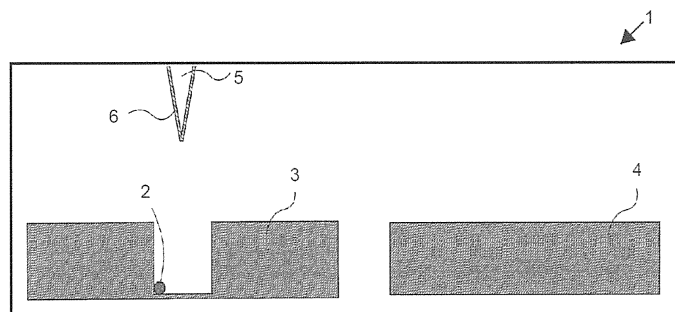
심사관 : 민경구

(54) 발명의 명칭 **고종형비 구조물에서 잔해물 제거**

(57) 요약

나노 가공 공정에서 사용되는 팁으로부터 잔해물을 수집하고 분석하기 위한 잔해물 수집 및 계측 시스템이 개시되고, 상기 시스템은 방사선 소스, 방사선 검출기, 액추에이터 및 제어기를 포함한다. 상기 방사선 소스는 상기 입사 방사선을 상기 팁 상으로 지향시키도록 동작가능하고, 상기 방사선 검출기는 상기 팁으로부터 샘플 방사선을 수신하도록 동작가능하고, 상기 샘플 방사선은 입사 방사선이 직접 상기 팁에 인가된 결과 생성된다. 상기 제어기는 액추에이터 시스템과 방사선 검출기에 동작가능하게 결합되고, 상기 제어기는 상기 샘플 방사선에 대한 상기 방사선 검출기의 제1 응답에 기초하여 제1 신호를 수신하도록 동작가능하고, 상기 제어기는 상기 제1 신호에 기초하여 상기 방사선 소스와 상기 방사선 검출기 중 적어도 하나와 상기 팁 사이의 상대 운동을 수행시키도록 동작가능하다.

대표도



(52) CPC특허분류

G03F 7/70991 (2013.01)

H01L 21/027 (2013.01)

(72) 발명자

로슬러, 케네쓰 길버트

미국, 플로리다주 33431, 보카 레이톤, 노스웨스트
서티쓰 로드 2096

브린클리, 데이빗

미국, 메릴랜드주 21209, 볼티모어, 설그레이브 애
비뉴 2207

르클레어, 제프리 이.

미국, 플로리다주 33433, 보카 레이톤, 베이브리즈
웨이 11083

명세서

청구범위

청구항 1

주사 탐침 현미경(Scanning Probe Microscopy: SPM) 팁(tip)을 사용하여 입자의 조성을 결정하는 방법으로서, 입자를 포획하여 상기 SPM 팁에 전달하는 단계 - 상기 SPM 팁의 표면은 상기 입자를 포획하기 위해 처리됨 -; 방사선 소스로부터의 제1 입사 방사선으로 상기 SPM 팁 상의 상기 입자를 조사하는 단계;

상기 제1 입사 방사선에 의해 야기되는 상기 입자로부터의 제1 샘플 방사선을 방사선 검출기로 검출하는 단계;

상기 입자의 상기 조성을 결정하기 위하여 상기 검출로부터 하나 이상의 물질 속성을 식별하는 단계; 및

상기 SPM 팁 주변의 모든 입자를 검출하기 위해 상기 제1 샘플 방사선에 응답하는 상기 방사선 검출기로부터의 제1 신호를 생성하는 단계 - 상기 제1 신호는 상기 방사선 소스 및 상기 방사선 검출기 중 적어도 하나에 관하여 상기 SPM 팁을 이동시키기 위해 액추에이터 시스템에 동작가능하게 연결됨 - 를 포함하는, 입자 조성 결정 방법.

청구항 2

청구항 1에 있어서, 상기 제1 신호에 기초하여 상기 제1 샘플 방사선의 제1 주파수 영역 스펙트럼을 생성하는 단계;

상기 제1 주파수 영역 스펙트럼으로부터 배경 주파수 영역 스펙트럼을 감산함으로써 제2 주파수 영역 스펙트럼을 생성하는 단계; 및

상기 제2 주파수 영역 스펙트럼에 기초하여 상기 방사선 소스와 상기 방사선 검출기 중 적어도 하나에 관하여 상기 SPM 팁을 이동시키는 단계를 더 포함하는, 입자 조성 결정 방법.

청구항 3

청구항 2에 있어서, 상기 SPM 팁에 실질적으로 오염물이 없을 때 상기 SPM 팁의 방사선에 대한 상기 방사선 검출기의 응답에 기초하여 상기 배경 주파수 영역 스펙트럼을 생성하는 단계를 더 포함하는, 입자 조성 결정 방법.

청구항 4

청구항 1에 있어서, 상기 방사선 소스로부터의 제2 입사 방사선으로 상기 SPM 팁을 조사하는 단계;

상기 제2 입사 방사선에 의해 야기되는 제2 샘플 방사선을 상기 방사선 검출기로 검출하는 단계; 및

상기 제2 샘플 방사선에 응답하는 상기 방사선 검출기로부터의 제2 신호에 기초하여 상기 방사선 소스와 상기 방사선 검출기 중 적어도 하나에 관하여 상기 SPM 팁을 이동시키는 단계를 더 포함하는, 입자 조성 결정 방법.

청구항 5

청구항 4에 있어서, 상기 제2 신호와 상기 제1 신호 사이의 차이에 기초하여 상기 방사선 소스와 상기 방사선 검출기 중 적어도 하나에 관하여 상기 SPM 팁을 이동시키는 단계를 더 포함하는, 입자 조성 결정 방법.

청구항 6

청구항 1 내지 5 중 어느 한 항에 있어서, 상기 방사선 소스로부터의 제1 입사 방사선은 x-선, 가시광, 적외선 광, 자외선 광, 전자 빔 및 레이저 중 적어도 하나인, 입자 조성 결정 방법.

청구항 7

청구항 4에 있어서, 상기 방사선 소스로부터의 제2 입사 방사선은 x-선, 가시광, 적외선 광, 자외선 광, 전자 빔 및 레이저 중 적어도 하나인, 입자 조성 결정 방법.

청구항 8

청구항 7에 있어서, 상기 제2 입사 방사선은 상기 제1 입사 방사선과는 다른, 입자 조성 결정 방법.

청구항 9

청구항 1 내지 5, 7 및 8 중 어느 한 항에 있어서, 상기 제1 샘플 방사선은, 상기 SPM 팁과 상호 작용하는 상기 제1 입사 방사선에 의해 생성되는, 입자 조성 결정 방법.

청구항 10

청구항 1 내지 5, 7 및 8 중 어느 한 항에 있어서, 상기 제1 샘플 방사선은, 상기 SPM 팁 상에 배치되는 잔해물과 상호 작용하는 상기 제1 입사 방사선에 의해 생성되는, 입자 조성 결정 방법.

청구항 11

청구항 1 내지 5, 7 및 8 중 어느 한 항에 있어서, 상기 방사선 소스로부터의 제1 입사 방사선의 세기 또는 주파수를 조절하는 단계를 더 포함하는, 입자 조성 결정 방법.

청구항 12

청구항 4에 있어서, 상기 방사선 소스로부터의 제2 입사 방사선의 세기 또는 주파수를 조절하는 단계를 더 포함하는, 입자 조성 결정 방법.

청구항 13

주사 탐침 현미경(SPM) 팁을 사용하여 입자의 조성을 결정하는 방법으로서,

입자를 기관으로부터 주사 탐침 현미경(SPM) 팁에 전달하는 단계;

방사선 소스로부터의 제1 입사 방사선으로 상기 입자를 조사하는 단계;

상기 입자로부터의 제1 샘플 방사선을 방사선 검출기에서 수신하는 단계 - 상기 제1 샘플 방사선은 상기 제1 입사 방사선에 의해 야기됨 -; 및

상기 SPM 팁 주변의 모든 입자를 검출하기 위해 상기 제1 샘플 방사선에 대한 응답으로 상기 방사선 검출기로부터의 제1 신호에 기초하여 상기 방사선 소스 및 상기 방사선 검출기 중 적어도 하나에 관하여 상기 SPM 팁을 이동시키는 단계를 포함하는, 입자 조성 결정 방법.

청구항 14

청구항 13에 있어서, 상기 입자가 상기 SPM 팁 상에 배치되는 동안, 상기 입자로부터의 제1 샘플 방사선은 상기 방사선 검출기에 의해 수신되는, 입자 조성 결정 방법.

청구항 15

청구항 13에 있어서, 상기 입자를 상기 SPM 팁으로부터 입자 수집기에 전달하는 단계를 더 포함하고, 상기 입자 수집기 상에는 계측 위치가 규정되며,

상기 입자가 상기 계측 위치 상에 배치되는 동안, 상기 입자로부터의 제1 샘플 방사선은 상기 방사선 검출기에 의해 수신되는, 입자 조성 결정 방법.

청구항 16

기관 지지 조립체(102) 및 팁 지지 조립체(104)를 포함하는 잔해물 수집 및 계측 장치(200)를 사용하여 입자의 조성을 결정하는 방법으로서, 상기 기관 지지 조립체(102) 및 상기 팁 지지 조립체(104)는 베이스(106)에 의해 지지되고, 상기 기관 지지 조립체는 극자외선 리소그래피 포토마스크인 기관(18)을 지지하도록 구성된 고정구(108)를 포함하고, 상기 팁 지지 조립체(104)는 팁 캔틸레버(132)를 통해 팁 스테이지 조립체(130)와 결합된 주

사 탐침 현미경(SPM) 팁(12)을 포함하고, 상기 방법은:

상기 고정구(108)에 의해 지지되는 상기 기관(18)으로부터 상기 입자를 상기 SPM 팁(12)으로 전달하는 단계;

상기 SPM 팁(12)이 팁 스테이지 조립체(130)와 결합되는 동안, 방사선 소스(204)로부터의 제1 입사 방사선으로 상기 SPM 팁(12) 상의 상기 입자를 조사하는 단계 - 상기 방사선 소스(204)로부터의 상기 제1 입사 방사선은 x-선, 가시광, 적외선 광, 자외선 광, 전자 빔 및 레이저 중 적어도 하나임 -;

상기 제1 입사 방사선에 의해 야기되는 상기 입자로부터의 제1 샘플 방사선을 방사선 검출기(206)로 검출하는 단계 - 상기 방사선 검출기(206)는 x-선 검출기 및 전자 빔 검출기 중 하나 이상을 포함하는 광 검출기를 포함함 -;

상기 제1 샘플 방사선에 응답하는 상기 방사선 검출기(206)로부터의 제1 신호를 제어기(136)에 의해 수신하고, 상기 제1 신호를 상기 제어기(136)에 의해 분석하고, 상기 SPM 팁(12) 상의 상기 입자의 하나 이상의 물질 속성을 상기 제어기(136)에 의해 식별하는 단계; 및

상기 제1 샘플 방사선에 대한 응답으로 상기 방사선 검출기(206)로부터의 상기 제1 신호에 기초하여 상기 방사선 소스(204) 및 상기 방사선 검출기(206) 중 적어도 하나에 관하여 상기 SPM 팁(12)을 이동시키는 단계를 포함하는, 입자 조성 결정 방법.

청구항 17

청구항 16에 있어서,

상기 제1 신호에 기초하여 상기 제1 샘플 방사선의 제1 주파수 영역 스펙트럼을 생성하는 단계;

상기 제1 주파수 영역 스펙트럼으로부터 배경 주파수 영역 스펙트럼을 감산함으로써 제2 주파수 영역 스펙트럼을 생성하는 단계; 및

상기 제2 주파수 영역 스펙트럼에 기초하여 상기 방사선 소스(204)와 상기 방사선 검출기(206) 중 적어도 하나와 상기 SPM 팁(12) 사이의 상대 운동을 수행시키는 단계를 더 포함하는, 입자 조성 결정 방법.

청구항 18

청구항 16에 있어서, 상기 SPM 팁(12)에 실질적으로 오염물이 없을 때 상기 SPM 팁(12)의 방사선에 대한 상기 방사선 검출기의 응답에 기초하여 배경 주파수 영역 스펙트럼을 생성하는 단계를 더 포함하는, 입자 조성 결정 방법.

청구항 19

청구항 16에 있어서,

상기 방사선 소스(204)로부터의 제2 입사 방사선으로 상기 SPM 팁(12)을 조사하는 단계;

상기 제2 입사 방사선에 의해 야기되는 제2 샘플 방사선을 상기 방사선 검출기(206)로 검출하는 단계; 및

상기 제2 샘플 방사선에 응답하는 상기 방사선 검출기(206)로부터의 제2 신호에 기초하여 상기 방사선 소스(204)와 상기 방사선 검출기(206) 중 적어도 하나와 상기 SPM 팁(12) 사이의 상대 운동을 수행시키는 단계를 더 포함하는, 입자 조성 결정 방법.

청구항 20

청구항 19에 있어서,

상기 제2 신호와 상기 제1 신호 사이의 차이에 응답하여 상기 방사선 소스(204)와 상기 방사선 검출기(206) 중 적어도 하나와 상기 SPM 팁(12) 사이의 상대 운동을 수행시키는 단계를 더 포함하는, 입자 조성 결정 방법.

청구항 21

청구항 19에 있어서,

상기 방사선 소스(204)로부터의 제2 입사 방사선은 x-선, 가시광, 적외선 광, 자외선 광, 전자 빔 및 레이저 중

적어도 하나인, 입자 조성 결정 방법.

청구항 22

청구항 21에 있어서,

상기 제2 입사 방사선은 상기 제1 입사 방사선과 다른 것인, 입자 조성 결정 방법.

청구항 23

청구항 16에 있어서, 상기 방사선 소스로부터의 상기 제1 입사 방사선의 세기 또는 주파수를 조절하는 단계를 더 포함하는, 입자 조성 결정 방법.

청구항 24

청구항 19에 있어서, 상기 방사선 소스로부터의 제2 입사 방사선의 세기 또는 주파수를 조절하는 단계를 더 포함하는, 입자 조성 결정 방법.

청구항 25

청구항 16 내지 24 중 어느 한 항에 있어서,

상기 방사선 소스(204)는 전자 빔 소스를 포함하고 상기 방사선 검출기(206)는 x-선 검출기를 포함하는, 입자 조성 결정 방법.

발명의 설명

기술 분야

[0001] 관련 출원에 대한 상호-참조

[0002] 본 특허 출원은, 2007년 9월 17일에 출원된 미국 특허 출원 번호 11/898,836(이는 미국 특허 번호 8,287,653으로 등록됨)의 계속 출원인 2012년 10월 15일에 출원된 미국 특허 출원 번호 13/652,114(이는 미국 특허 번호 8,696,818로 등록됨)의 분할 출원인 2014년 2월 28일에 출원된 미국 특허 출원 번호 14/193,725의 부분 계속 출원인 2016년 1월 29일에 출원된 공동-계류 중인 미국 특허 출원 번호 15/011,411의 부분 계속 출원으로서 그 우선권의 이익을 청구하고, 이들 선출원 문헌들 모두는 그 전체 내용이 본 명세서에서 참고로서 인용된다.

[0003] 기술 분야

[0004] 본 발명은 일반적으로 나노 가공 공정(nanomachining process)에 관한 것이다. 보다 상세하게는, 본 발명은 나노 가공 공정 동안 및/또는 후에 잔해물을 제거하는 것에 관한 것이다. 또한, 본 발명의 잔해물 제거 공정은 기판에서 이물질(foreign)을 제거하는데 적용될 수 있다.

배경 기술

[0005] 나노 가공은, 정의상, 예를 들어, 포토리소그래피 마스크, 반도체 기판/웨이퍼, 또는 주사 탐침 현미경(Scanning Probe Microscopy: SPM)이 수행될 수 있는 임의의 표면으로부터 나노미터-규모(nanometer scale)의 부피의 물질을 기계적으로 제거하는 것을 포함한다. 본 논의를 위해 "기판"은 나노 가공이 수행될 수 있는 임의의 물체를 말한다.

[0006] 포토리소그래피 마스크의 예는 표준 포토마스크(193 nm 파장, 침지되거나 침지되지 않은 것), 차세대 리소그래피 마스크(임프린트(imprint), 지향성 자가 조립(directed self-assembly) 등), 극자외선 리소그래피 포토마스크(EUV 또는 EUVL), 및 임의의 다른 실행가능하거나 유용한 마스크 기술을 포함한다. 기판으로 간주되는 다른 표면의 예는 멤브레인, 펠리클 막(pellicle film), 마이크로 전자/나노 전자 기계 시스템(MEMS/NEMS)이다. 본 명세서에서 "마스크" 또는 "기판"이라는 용어의 사용은 상기 예를 포함하지만, 이 기술 분야에 통상의 지식을 가진 자라면 다른 포토마스크 또는 표면들이 또한 적용가능하다는 것을 이해할 수 있을 것이다.

[0007] 관련 기술에서 나노 가공은 원자간력 현미경(Atomic Force Microscope: AFM)의 캔틸레버 암(cantilever arm) 상에 위치한 팁(tip)(예를 들어, 다이아몬드 절삭 비트(cutting bit))이 기판의 표면에 힘을 인가하는 것에 의

해 수행될 수 있다. 보다 구체적으로, 팁은 먼저 기관의 표면 내로 삽입되고 나서, 팁은 표면에 평행한 평면(즉, xy-평면)에서 기관을 통해 드래그(drag)될 수 있다. 이에 의해 팁이 기관을 따라 드래그될 때 기관으로부터 물질이 변위되거나 및/또는 제거된다.

- [0008] 이러한 나노 가공의 결과, (기관 표면의 이물질을 포함하는) 잔해물이 기관 상에 생성된다. 보다 구체적으로, 물질이 기관으로부터 제거될 때 작은 입자들이 나노 가공 공정 동안 형성될 수 있다. 이들 입자는, 나노 가공 공정이 완료된 때에도, 일부 경우, 기관 상에 남아 있을 수 있다. 이러한 입자는, 예를 들어, 기관 상에 존재하는 트렌치 및/또는 공동(cavity) 내에서 종종 발견된다.
- [0009] 기관에서, 특히 고종횡비의 포토리소그래피 마스크 구조와 전자 회로에서, 잔해물, 입자 또는 이물질을 제거하기 위해서; 습식 세정(wet cleaning) 기술이 사용되어 왔다. 보다 구체적으로, 액체 상태의 화학 물질의 사용 및/또는 전체 마스크 또는 회로의 교반이 사용될 수 있다. 그러나, 화학적 방법 및 교반 방법, 예를 들어, 메가소닉 교반(megasonic agitation)과 같은 방법은 모두 고종횡비 구조 및 마스크 광학 근접 보정 특징부(즉, 일반적으로 너무 작아서 이미지화되지 않지만 마스크 설계자에 의해 패턴을 형성하는데 유리하게 사용되는 회절 패턴을 형성하는 특징부) 모두를 불리하게 변경하거나 파괴할 수 있다.
- [0010] 고종횡비 형상 및 구조가 특히 화학 물질 및 교반에 의해 파괴되기 쉬운 이유를 더 잘 이해하기 위해서는, 그러한 형상 및 구조는, 정의상, 넓은 표면적을 포함하여 열역학적으로 매우 불안정하다는 것을 상기해야 한다. 그리하여, 이러한 형상과 구조는 화학적 및/또는 기계적 에너지가 인가될 때 박리 및/또는 다른 형태의 파괴를 매우 쉽게 받을 수 있다.
- [0011] 임프린트 리소그래피 및 EUV(또는 EUVL)에서, 복사되는 리소그래피 표면에 입자들이 접근하는 것을 막는데 페리클을 사용하는 것이 현재 실현가능하지 않다는 점에 주목하는 것이 중요하다. 페리클을 사용할 수 없는 기술은 패턴을 웨이퍼로 전송하는 기능을 차단하는 입자 오염물에 의해 일반적으로 더 쉽게 실패할 수 있다. 페리클은 EUV 마스크용으로 개발되고 있지만 DUV 페리클 마스크에 대한 이전의 경험에서 나타난 바와 같이 페리클을 사용하면 치명적인(critical) 입자 및 다른 오염물이 표면에 떨어지는 것을 단지 완화시킬 수 있을 뿐(그러나 완전히 방지할 수는 없다), 이후 고 에너지 광자에 노출되면 이들 입자는 더 큰 접착력(adhesion)으로 마스크 표면에 고정되는 경향이 있다. 또한 이러한 기술은 더 작은 특징부 크기(1 내지 300 nm)로 구현되어, 이들 특징부들은 통상 사용될 수 있는 표준 습식 세정 방법 동안 더 쉽게 손상될 수 있다. EUV 또는 EUVL의 특정 경우에, 이 기술은 기관이 사용 동안 그리고 아마도 사용을 기다리는 저장 동안 진공 환경에 있어야 할 것을 요구할 수 있다. 표준 습식 세정 기술을 사용하기 위해서는 이 진공을 깨야 하는데 이는 추가적인 입자 오염을 쉽게 일으킬 수 있다.
- [0012] 기관으로부터 잔해물을 제거하는 현재 이용 가능한 다른 방법은 극저온 세정 시스템 및 기술을 이용한다. 예컨대, 고종횡비 형상 및/또는 구조를 포함하는 기관은 모래 대신 이산화탄소 입자를 사용하여 효과적으로 "샌드블래스트"될 수 있다.
- [0013] 그러나, 관련 기술 분야에서 심지어 극저온 세정 시스템 및 공정은 또한 고종횡비 특징부를 불리하게 변경시키거나 파괴시키는 것으로 알려져 있다. 또한, 극저온 세정 공정은 기관의 비교적 넓은 영역에 영향을 미친다(예를 들어, 처리되는 영역은 나노미터 정도의 치수를 갖는 잔해물을 세정하기 위해 약 10 밀리미터 이상일 수 있다). 그 결과, 잔해물을 제거할 필요가 없는 기관의 영역이 그럼에도 불구하고 극저온 세정 공정 및 이와 관련된 잠재적인 구조 파괴 에너지에 노출된다. 나노 구역과 마이크로 구역 사이에 수많은 물리적 차이가 존재한다는 점을 유의해야 하며, 여기서는 본 목적을 위해 나노 입자 세정 공정과 관련된 차이점에 초점을 둘 것이다. 나노 규모 세정 공정과 매크로 규모(macro scale)의 세정 공정 사이에는 많은 유사점이 존재하지만 또한 많은 중요한 차이점도 존재한다. 본 발명의 목적을 위해, 나노 규모의 일반적인 정의가 사용된다: 이것은 1 내지 100 nm의 크기 범위를 한정한다. 이것은, 여기에서 검토되는 많은 공정이 이 범위 아래에서 (원자 규모에서) 발생하고, 이 범위보다 큰 입자에 (마이크로 구역에서) 영향을 미칠 수 있기 때문에 일반화된 범위이다.
- [0014] 매크로 입자 세정 공정과 나노 입자 세정 공정 사이의 일부 물리적 차이는 표면적, 평균 자유 경로, 열 효과 및 장 효과(field-effect)를 포함하는 수송(transport) 관련 특성을 포함한다. 이 목록에 있는 처음 두 개는 입자의 열적-기계적-화학적 거동과 더 관련이 있는 반면, 마지막 것은 입자가 전자기장과 상호 작용하는 것과 더 관련이 있다. 열 수송 현상은 또한 입자 주위에 열적-기계적 물리적 화학 작용이 있고 입자가 적외선 파장 구역의 전자기장과 상호 작용한다는 점에서 이들 구역 모두와 교차한다. 이러한 차이점 중 일부를 기능적으로 입증하기 위해, 고종횡비의 라인 및 공간 구조(70 nm의 깊이와 40 nm의 폭 ~ AR = 1.75)의 바닥(bottom)에 갇힌 나노 입자의 사고 실험의 예가 제시된다. 매크로 규모의 공정으로 이 입자를 세정하기 위해 이 입자를 제거하는 데 필

요한 에너지는 기관 상의 특징부나 패턴을 손상시키는데 필요한 에너지와 거의 같기 때문에 이에 의해 손상 없이 고종횡비의 라인 및 공간 구조를 세정할 수는 없다. 매크로 규모의 세정 공정(수성(aqueous), 계면 활성제, 음향 교반 등)의 경우, 나노 입자를 제거하는 에너지 레벨에서 주변 특징부 또는 패턴도 손상된다. 나노 입자까지 나노 거리 내에서 나노 크기의-날카로운(sharp)(또는 나노 규모) 구조를 정확히 조작하는 기술적 능력이 있다면, 나노 입자만을 세정하는 에너지를 인가할 수 있을 것이다. 나노 규모의 세정 공정의 경우, 나노 입자를 제거하는 데 필요한 에너지는 나노 입자에만 적용되고, 기관 상의 주변 특징부나 패턴에는 적용되지 않는다.

[0015] 먼저, 입자의 표면적 특성을 살펴보면, 이론적인 입자(여기서는 완전한 구형으로 모델링됨)가 나노규모 구역에 접근할 때 명백한 수학적 규모의 차이가 존재한다. 물질의 벌크(bulk) 특성은 물질의 부피에 따라 측정되는(gauged) 반면, 표면은 외부 면적에 의해 측정된다. 가상의 입자의 경우, 부피는 입자의 직경의 세제곱(3승)에 반비례하여 감소하는 반면, 표면적은 입자의 직경의 제곱에 따라 감소한다. 이 차이는 매크로 및 심지어 마이크로 규모 직경의 입자의 거동을 지배하는 물질 특성이 나노 구역(및 이보다 더 작은 구역)에서 무시될 수 있는 것을 의미한다. 이러한 성질의 예는 입자의 질량과 관성 특성을 포함하며 이는 음향 교반 또는 레이저 충격과 같은 일부 세정 기술에 대한 중요한 고려 사항이다.

[0016] 여기서 검사되는 그 다음 수송 특성은 평균 자유 경로이다. 매크로 대 마이크로 구역의 경우 유체(액체, 기체 및 혼합된 상태 모두)는 연속체 흐름으로서 그 거동을 정확히 모델링할 수 있다. AFM 팁과 나노 입자의 표면과 같이 나노 규모 또는 이보다 더 작은 규모의 겹에 의해 분리된 표면들을 고려할 때, 이들 유체는 연속체로 간주될 수 없다. 이것은 유체가 고전적인 흐름 모델에 따라 이동하지 않고, 희박 가스 또는 심지어 진공에서의 탄도 원자 운동(ballistic atomic motion)과 보다 정확히 관련될 수 있다는 것을 의미한다. 표준 온도 및 압력에서 가스의 평균 원자 또는 분자(직경이 약 0.3 nm)에 대해 계산된 평균 자유 경로(즉, 하나의 분자가 다른 원자 또는 분자와 평균적으로 충돌하기 전에 직선으로 변위하는 거리)는 약 94 nm이며, 이는 AFM 주사 탐침에 비해 큰 거리이다. 유체는 가스보다 훨씬 더 조밀하므로 유체는 훨씬 더 작은 평균 자유 경로를 갖지만 임의의 유체의 평균 자유 경로는 원자 또는 분자 직경보다 작을 수는 없다는 것이 주목되어야 한다. 앞서 주어진 0.3 nm의 가정된 원자 또는 분자 직경을, 1 nm만큼 작을 수 있는, 비-접촉 주사 모드 동안 통상적인 팁 대 표면 평균 분리 거리와 비교하면, 가장 조밀한 유체를 제외하고는, AFM 팁 정점(tip apex)과 주사되는 표면 사이의 유체 환경은 희박 가스로부터 근 진공에 이르는 유체 특성 범위에 걸쳐 거동한다. 열 유체 공정이 매크로 규모로부터 나노 규모로 스케일링될 때 근본적으로 다른 방식으로 거동한다는 것을 입증하는 데 이전의 검토(prior review)에서 관찰이 중요하다. 이것은 화학 반응, 느슨한 입자와 같은 생성물을 환경으로 제거하는 것, 대전 또는 전하의 중화, 열 또는 열 에너지의 수송과 같은 다양한 공정 측면의 메커니즘 및 운동학(kinetics)에 영향을 미친다.

[0017] 매크로 및 나노 규모로부터 서브 나노 규모에서 알려진 열 수송 차이는 주사 열 탐침 현미경을 사용하여 연구하는 것에 의해 발견되었다. 나타난 하나의 초기 차이점은 열 에너지의 수송 율(transport rate)이 매크로 규모보다 나노 규모 거리에 걸쳐 한 자리 수 더 작을 수 있다는 것이다. 이것은 주사 열 탐침 현미경이 나노 또는 용스트롬 규모만큼 작은 거리만큼 팁과 표면이 분리된 상태에서 나노 탐침이 비-접촉 모드에서 주사하는 표면에 대해 때로는 수 백 도의 온도차로 가열된 상태에서 동작할 수 있는 이유이다. 이 더 낮은 열 수송을 하는 이유는 유체 내 평균 자유 경로에 대한 이전의 절에서 암시되어 있다. 그러나 열 수송 중 개선된 하나의 형태는 흑체 복사(blackbody radiation)이다. 주어진 온도에서 흑체 분광 휘도(spectral radiance)에 대한 플랑크 한계(Plank limit)가 나노 규모 거리에서 초과될 수 있다는 것이 실험적으로 제시되었다. 따라서, 열 수송의 크기가 감소될 뿐만 아니라, 기본 수송 유형이 희박한 상태에서부터 진공 상태에 이르는 유체의 거동에 부합하여 전도/대류로부터 흑체로 변한다.

[0018] 본 논의의 목적을 위해, 장(여기에서 전자기장이 다른 가능한 예에 비해 과장이 더 긴 것 때문에 기본적으로 의도된 예이다)의 상호 작용의 차이는 관련 파장 및 다른 양자 효과(특히 터널링 효과)로 더 세분될 수 있다. 나노 규모에서, (기본 소스인지 또는 상대적으로 원거리 소스의 변형인지 여부에 상관 없이 AFM 팁의 정점으로서 여기에 고려되는) 소스와 표면 사이의 전자기장의 거동은 원거리 소스가 경험하게 될 해상도에 대해 파장에 따른 회절 한계를 받지 않는다. 흔히 근거리 광학 특성이라고 언급되는 이 거동은 근거리 주사 광학 현미경(Near field Scanning Optical Microscopy: NSOM)과 같은 주사 탐침 기술에서 크게 성공적으로 사용되었다. 계측 분야에의 응용을 넘어, 근거리 거동은 서로 나노 거리만큼 이격된 나노 규모 크기의 모든 물체들의 전자기 상호 작용에 영향을 미칠 수 있다. 언급된 그 다음 근거리 거동은 입자, 특히, 전자(electron)가 고전적으로 통과할 수 없는 장벽을 가로질러 수송될 수 있는 양자 터널링이다. 이 현상은 매크로 규모에서는 볼 수 없는 수단에 의해 에너지를 수송하는 것을 허용하며, 주사 터널링 현미경(Scanning Tunneling Microscopy: STM) 및 일부 솔리드-스테이트 전자 장치에 사용된다. 마지막으로, 근접 여기(excitation) 및 플라스몬 공진(plasmonic

resonance)의 감지와 같은 나노 규모에서의 전자기장(그러나 이에 국한되지 않음)으로 종종 볼 수 있는 보다 비법적인(esoteric) 양자 효과가 존재하지만, 이 기술 분야에 통상의 지식을 가진 자라면 현재의 논의만으로도 매크로 및 나노 규모의 물리적 공정들 사이의 근본적인 차이를 충분히 입증할 수 있다는 것을 이해할 수 있을 것이다.

[0019] 이하에서, "표면 에너지"라는 용어는 일(work)(이 경우 기관과 팁의 표면들에 잔해물을 각각 접촉시키는 일)을 수행하는데 이용 가능한 표면의 열역학적 특성을 말하는데 사용될 수 있다. 이것을 고전적으로 계산하는 한 가지 방법은 깁스의 자유 에너지(Gibb's free energy)로서 이는 다음과 같이 주어진다:

[0020] $G(p, T) = U + pV - TS$

[0021] 여기서,

[0022] U = 내부 에너지;

[0023] p = 압력;

[0024] V = 부피;

[0025] T = 온도; 및

[0026] S = 엔트로피.

[0027] 현재 관행은 압력, 부피 및 온도를 변화시키지 않기 때문에(그러나, 원하는 효과를 얻기 위해 이들 파라미터는 또한 동일하게 조작될 수 있기 때문에 이것이 반드시 그러해야 것은 아니다), 이들을 상세히 논의하지는 않는다. 따라서 위의 수식에서 조작되는 유일한 항은 아래에 논의된 방법에서 구동 메커니즘으로서 내부 에너지 및 엔트로피이다. 엔트로피는, 세정되는 기관보다 탐침 팁 표면이 더 청결(clean)하도록 (즉, 잔해물이 없거나 의도치 않은 표면 오염물이 없는 것으로) 의도되기 때문에, 자연히 기관보다 팁 표면을 우선적으로 오염시키는 (그런 후에 연질(soft) 물질의 더 청결한 팻렛(pallet)을 오염시키는) 열역학적 구동 메커니즘이다. 각각의 표면 에너지에 의해 특징지어지는 열 물리적(thermophysical) 특성에 의해 팻렛, 팁, 잔해물 및 기관 표면 사이의 내부 에너지가 조작된다. 깁스 자유 에너지에 차등(differential) 표면 에너지를 관련시키는 한 가지 방법은 단축 장력(P) 하에서 반경(r)과 길이(l)를 갖는 원통에 대해 고온(즉, 용융점 온도에 상당한 온도)에서 공학 물질의 크리프(creep) 특성에 대해 이론적인 전개를 살피는 것이다:

[0028] $dG = -P*dl + \gamma *dA$

[0029] 여기서,

[0030] γ = 표면 에너지 밀도 [J/m^2]; 및

[0031] A = 표면적 [m^2].

[0032] 물체의 응력(stress)과 외인성(extrinsic) 표면 에너지가 깁스 자유 에너지의 인자(factor)라는 관찰로부터, (표면 에너지 밀도(γ)에 더하여) 이러한 인자들을 또한 조작하면, 잔해물을 (기관에 대하여) 팁에 우선적으로 접촉시키고 나서, 연질 팻렛에 접촉시키는 것을 가역적으로 수행할 수 있음을 유도할 수 있다. 이것을 수행하는 수단은 인가된 응력(외부에서 인가되었든지 또는 내부에서 인가되었든지 여부에 상관없이) 및 온도를 포함한다. 구동 공정은 기관에서 우선적으로 오염물을 제거하고 나서 이후 연질 팻렛을 우선적으로 오염시키도록 차등 표면 에너지 구배(gradient)를 제공하기 위해 순 $\Delta G < 0$ 을 갖는 일련의 표면 상호 작용을 항상 야기하도록 의도되어 있음을 유의해야 한다. 이것은 공(ball)이 경사면 아래로 더 낮은 에너지 상태로 우선적으로 굴러 내려가는 것과 유사하다(여기서 열역학적 표면 에너지의 경사는 전체 시스템의 전반적인 무질서 또는 엔트로피를 또한 포함한다는 것을 제외한다)고 고려될 수 있다. 도 6은 여기에서 설명된 방법이 열역학적 깁스 자유 에너지의 다운-힐(down-hill) 구배를 제공하여 오염물을 선택적으로 제거하고 이를 연질 패치에 선택적으로 적치(deposit)시킬 수 있는 표면 상호 작용의 하나의 가능한 세트를 보여준다. 이러한 시퀀스(sequence)는 다이아몬드와 같은 중간 내지 저 표면 에너지 팁 물질을 갖는 저 표면 에너지 플루오로카본 물질을 사용하는 현재의 관행 측면에 책임이 있다고 생각되는 이론적인 메커니즘 중 하나이다.

발명의 내용

해결하려는 과제

- [0033] 적어도 상기 상황을 감안하면, 기관 표면에서 잔해물, 오염물, 입자 또는 이물질질을 제거하기 위한 신규한 장치 및 방법이 요구되고 있으며, 특히 나노 규모에서 고종횡비 구조 및/또는 포토마스크 광학 근접 보정 특징부를 파괴함이 없이, 고종횡비 구조, 포토마스크 광학 근접 보정 특징부 등을 갖는 기관을 세정할 수 있는 신규한 장치 및 방법이 요구되고 있다.

과제의 해결 수단

- [0034] 본 발명의 일 양태에 따라, 오염물을 검출하기 위한 나노 규모 계측 시스템이 제공된다. 상기 시스템은 주사 탐침 현미경(SPM) 팁, 방사선 소스(irradiation source), 방사선 검출기, 액추에이터 및 제어기를 포함한다. 상기 방사선 소스는 입사 방사선을 상기 SPM 팁 상으로 지향시키도록 구성되고 배열된다. 상기 방사선 검출기는 상기 SPM 팁으로부터 샘플 방사선(sample irradiation)을 수신하도록 구성되고 배열되고, 상기 샘플 방사선은 상기 입사 방사선(incident irradiation)에 의해 야기된다. 상기 액추에이터 시스템은 상기 나노 규모 계측 시스템에 동작가능하게 결합되고, 상기 방사선 소스와 상기 방사선 검출기 중 적어도 하나와 상기 SPM 팁 사이의 상대 운동을 수행시키도록 구성된다. 상기 제어기는 상기 액추에이터 시스템과 상기 방사선 검출기에 동작가능하게 결합되고, 상기 제어기는 상기 샘플 방사선에 대한 상기 방사선 검출기의 제1 응답에 기초하여 제1 신호를 수신하도록 구성되고, 상기 제1 신호에 기초하여 상기 액추에이터 시스템을 통해 상기 방사선 검출기와 상기 방사선 소스 중 적어도 하나와 상기 SPM 팁 사이의 상대 운동을 수행시키도록 구성된다.
- [0035] 본 발명의 상기 나노 규모 계측 시스템의 일 양태에 따라, 상기 액추에이터 시스템은 상기 SPM 팁에 동작가능하게 결합되고, 상기 액추에이터 시스템은 제1 축 주위로 상기 SPM 팁을 회전시키도록 구성되는 회전식 액추에이터를 포함한다.
- [0036] 본 발명의 상기 나노 규모 계측 시스템의 일 양태에 따라, 상기 방사선 소스는 x-선 소스, 레이저, 가시광 소스, 적외선 광 소스, 자외선 광 소스, 또는 전자 빔 소스이다.
- [0037] 본 발명의 상기 나노 규모 계측 시스템의 일 양태에 따라, 상기 제어기는, 상기 제1 신호에 기초하여 상기 샘플 방사선의 제1 주파수 영역 스펙트럼을 생성하고, 상기 제1 주파수 영역 스펙트럼으로부터 배경 주파수 영역 스펙트럼을 감산하는 것에 의해 제2 주파수 영역 스펙트럼을 생성하고, 상기 제2 주파수 영역 스펙트럼에 기초하여 상기 액추에이터 시스템을 통해 상기 방사선 검출기와 상기 방사선 소스 중 적어도 하나와 상기 SPM 팁 사이의 상대 운동을 수행시키도록 더 구성된다. 본 발명의 상기 나노 규모 계측 시스템의 일 양태에 따라, 상기 제어기는, 상기 SPM 팁에 실질적으로 오염물이 없는 경우에 상기 SPM 팁의 방사선에 대한 상기 방사선 검출기의 응답에 기초하여 상기 배경 주파수 영역 스펙트럼을 생성하도록 더 구성된다.
- [0038] 본 발명의 상기 나노 규모 계측 시스템의 일 양태에 따라, 상기 제어기는, 상기 샘플 방사선에 대한 상기 방사선 검출기의 제2 응답에 기초하여 제2 신호를 수신하고, 상기 제1 신호와 상기 제2 신호 사이의 차이에 기초하여 상기 액추에이터 시스템을 통해 상기 방사선 검출기와 상기 방사선 소스 중 적어도 하나와 상기 SPM 팁 사이의 상대 운동을 수행시키도록 더 구성된다. 본 발명의 상기 나노 규모 계측 시스템의 일 양태에 따라, 상기 제어기는 상기 제1 신호와 상기 제2 신호 사이의 차이에 기초하여 상기 방사선 검출기와 상기 방사선 소스 중 적어도 하나와 상기 SPM 팁 사이의 상대 운동의 크기를 생성하도록 더 구성된다.
- [0039] 본 발명의 일 양태에 따라, 수집기(collector)를 구비한 계측 시스템이 제공된다. 상기 계측 시스템은 수집기, 방사선 소스, 방사선 검출기, 주사 탐침 현미경(SPM) 팁 및 액추에이터 시스템을 포함한다. 상기 수집기는 상기 수집기의 제1 표면 상의 제1 내부 에지, 상기 수집기의 상기 제1 표면과는 반대쪽인 제2 표면 상의 제2 내부 에지, 및 상기 제1 내부 에지로부터 상기 제2 내부 에지로 연장되는 내부 표면을 포함할 수 있고, 상기 내부 표면은 내부에 수집 포켓(collection pocket) 또는 수집 관통 구멍(collection through-hole)의 적어도 일부를 형성한다. 상기 방사선 소스는 상기 수집기의 상기 내부 표면으로부터 샘플 방사선을 수신하도록 구성되고 배열되고, 상기 샘플 방사선은 상기 입사 방사선에 의해 야기된다. 상기 액추에이터 시스템은 상기 SPM 팁에 동작가능하게 결합되고, 적어도 하나의 입자 또는 잔해물을 상기 SPM 팁으로부터 상기 수집기로 전달하기 위해 상기 수집기에 대해 상기 SPM 팁을 이동시키도록 구성된다.
- [0040] 본 발명의 상기 계측 시스템의 일 양태에 따라, 상기 수집 관통 구멍의 폭은 상기 제1 표면으로부터 상기 수집기를 통해 상기 제2 표면을 향하는 방향을 따라 증가한다.
- [0041] 본 발명의 상기 계측 시스템의 일 양태에 따라, 상기 제1 내부 에지는 상기 수집 포켓 또는 상기 수집 관통 구

명의 직사각형 윤곽을 형성한다. 본 발명의 일 양태에 따라, 상기 직사각형 윤곽의 각 단편(segment)의 길이는 10 mm 이하이다.

- [0042] 본 발명의 상기 계측 시스템의 일 양태에 따라, 상기 제1 내부 예지는 상기 수집 포켓 또는 상기 수집 관통 구멍의 삼각형 윤곽을 형성한다. 본 발명의 일 양태에 따라, 상기 삼각형 윤곽의 각 단편의 길이는 10 mm 이하이다.
- [0043] 본 발명의 상기 계측 시스템의 일 양태에 따라, 상기 제1 내부 예지는 상기 수집 포켓 또는 상기 수집 관통 구멍의 아치형 단면을 형성하고, 상기 아치형 단면은 원형, 타원형 또는 달걀형 윤곽이다. 본 발명의 일 양태에 따라, 상기 제1 내부 예지는 원형 윤곽을 형성하고, 상기 원형 윤곽의 직경은 10 mm 이하이다.
- [0044] 본 발명의 상기 계측 시스템의 일 양태에 따라, 상기 계측 시스템은 상기 액추에이터 시스템에 동작가능하게 결합된 제어기를 더 포함하며, 상기 제어기는 상기 SPM 팁을 상기 제1 내부 예지에 대해 드래그함으로써 상기 SPM 팁으로부터 상기 수집기의 상기 수집 포켓 또는 상기 수집 관통 구멍으로 입자를 전달하도록 구성된다.
- [0045] 본 발명의 상기 계측 시스템의 일 양태에 따라, 상기 수집기의 상기 내부 표면은 관통 구멍 통로를 형성한다. 본 발명의 일 양태에 따라, 상기 관통 구멍 통로는 절두된 사면체(truncated tetrahedron) 통로, 절두된 원추형 통로, 절두된 사면체형(truncated tetrahedral) 통로 또는 절두된 피라미드 형상의 통로이다.
- [0046] 본 발명의 상기 계측 시스템의 일 양태에 따라, 상기 SPM 팁은 사면체형 형상, 원추형 형상 또는 피라미드 형상을 포함한다.
- [0047] 본 발명의 상기 계측 시스템의 일 양태에 따라, 상기 수집 포켓 또는 상기 수집 관통 구멍은 상기 계측 시스템에 제거 가능하게 장착된다.
- [0048] 본 발명의 일 양태에 따라, 입자 수집 및 계측 시스템이 제공된다. 상기 입자 수집 및 계측 시스템은 주사 탐침 현미경(SPM) 팁, 기관을 지지하도록 구성된 스테이지, 액추에이션 시스템, 방사선 소스, 방사선 검출기 및 제어기를 포함한다. 상기 액추에이션 시스템은 상기 스테이지와 상기 SPM 팁에 동작가능하게 결합되고, 상기 액추에이션 시스템은 상기 스테이지에 대해 상기 SPM 팁을 이동시키도록 구성된다. 상기 방사선 소스는 계측 위치와 광학적으로 통신하고, 상기 방사선 검출기는 계측 위치와 광학적으로 통신한다. 상기 제어기는 상기 액추에이션 시스템, 상기 방사선 소스 및 상기 방사선 검출기에 동작가능하게 결합된다. 상기 제어기는, 상기 기관에 근접한 위치로부터 상기 계측 위치로 상기 SPM 팁을 이동시키고, 상기 계측 위치로부터 제1 샘플 방사선에 대한 상기 방사선 검출기의 응답을 나타내는 상기 방사선 검출기로부터의 제1 신호를 수신하도록 더 구성되고, 상기 제1 샘플 방사선은 상기 방사선 소스로부터 제1 입사 방사선에 의해 야기된다.
- [0049] 본 발명의 상기 입자 수집 및 계측 시스템의 일 양태에 따라, 상기 계측 위치는 상기 SPM 팁의 적어도 일부에 배치되고, 상기 제어기는 상기 제1 입사 방사선을 상기 계측 위치에 조사함으로써 상기 제1 샘플 방사선을 야기하도록 더 구성된다.
- [0050] 본 발명의 상기 입자 수집 및 계측 시스템의 일 양태에 따라, 상기 입자 수집 및 계측 시스템은 입자 수집기를 더 포함하고, 상기 계측 위치는 상기 입자 수집기의 적어도 일부에 배치된다. 상기 제어기는 상기 제1 입사 방사선을 상기 계측 위치에 조사함으로써 상기 제1 샘플 방사선을 야기하도록 더 구성된다.
- [0051] 본 발명의 상기 입자 수집 및 계측 시스템의 일 양태에 따라, 상기 제어기는 상기 SPM 팁을 통해 상기 기관으로부터 상기 계측 위치로 입자를 전달하도록 더 구성된다.
- [0052] 본 발명의 상기 입자 수집 및 계측 시스템의 일 양태에 따라, 상기 입자 수집 및 계측 시스템은 상기 기관의 표면 에너지보다 더 낮은 표면 에너지를 갖는 물질의 패치를 더 포함하고, 상기 SPM 팁은 그 표면에 상기 물질의 나노미터-규모의 코팅부(coating)를 포함한다.
- [0053] 본 발명의 상기 입자 수집 및 계측 시스템의 일 양태에 따라, 상기 제어기는 상기 SPM 팁과 상기 패치 사이를 접촉시켜 상기 SPM 팁을 상기 물질로 코팅하도록 더 구성된다.
- [0054] 본 발명의 상기 입자 수집 및 계측 시스템의 일 양태에 따라, 상기 액추에이션 시스템은 상기 SPM 팁에 동작가능하게 결합된 팁 액추에이션 시스템, 및 상기 스테이지에 동작가능하게 결합된 스테이지 액추에이션 시스템을 포함한다. 상기 팁 액추에이션 시스템은 베이스에 대해 상기 SPM 팁을 이동시키도록 구성되고, 상기 스테이지 액추에이션 시스템은 상기 베이스에 대해 상기 스테이지를 이동시키도록 구성된다.
- [0055] 본 발명의 상기 입자 수집 및 계측 시스템의 일 양태에 따라, 상기 입자 수집기는 수집 포켓 또는 수집 관통 구

명이다. 상기 입자 수집기는 적어도 제1 내부 에지를 포함한다. 상기 적어도 제1 내부 에지는 삼각형, 직사각형, 원형, 타원형 또는 달걀형 윤곽 중 하나를 형성한다. 본 발명의 일 양태에 따라, 상기 제1 내부 에지는 삼각형 또는 직사각형 윤곽을 형성하며, 상기 삼각형 또는 직사각형 윤곽의 각 단편은 10 mm 이하의 길이를 포함한다. 본 발명의 일 양태에 따라, 상기 제1 내부 에지는 원형 윤곽을 형성하고, 상기 원형 윤곽의 직경은 10 mm 이하이다.

[0056] 본 발명의 상기 입자 수집 및 계측 시스템의 일 양태에 따라, 입자 수집기는 상기 수집기의 제1 표면 상의 제1 내부 에지, 상기 수집기의 상기 제1 표면과는 반대쪽인 제2 표면 상의 제2 내부 에지, 및 상기 제1 내부 에지로부터 상기 제2 내부 에지로 연장되는 내부 표면을 포함한다. 본 발명의 일 양태에 따라, 상기 내부 표면은 관통 구멍 통로를 형성한다. 상기 관통 구멍 통로는 절두된 사면체 통로, 절두된 원추형 통로 또는 절두된 피라미드 형상의 통로이다.

[0057] 본 발명의 상기 입자 수집 및 계측 시스템의 일 양태에 따라, 상기 SPM 팁은 사면체형 형상, 원추형 형상 또는 피라미드 형상을 포함한다.

[0058] 본 발명의 상기 입자 수집 및 계측 시스템의 일 양태에 따라, 상기 패치는 상기 스테이지에 제거 가능하게 장착된다. 본 발명의 상기 입자 수집 및 계측 시스템의 일 양태에 따라, 상기 수집 포켓 또는 상기 수집 관통 구멍은 상기 스테이지에 제거 가능하게 장착된다.

[0059] 본 발명의 일 양태에 따라, 주사 탐침 현미경(SPM) 팁을 사용하여 입자의 조성을 결정하는 방법이 제공된다. 상기 방법은 상기 입자를 상기 SPM 팁으로 전달하는 단계; 방사선 소스로부터 제1 입사 방사선을 상기 SPM 팁에 조사하는 단계; 상기 제1 입사 방사선에 의해 야기된 제1 샘플 방사선을 방사선 검출기로 검출하는 단계; 및 상기 제1 샘플 방사선에 응답하여 상기 방사선 검출기로부터의 제1 신호에 기초하여 상기 방사선 소스와 상기 방사선 검출기 중 적어도 하나와 상기 SPM 팁 사이의 상대 운동을 수행하는 단계를 포함한다.

[0060] 상기 SPM 팁 상에서 상기 입자의 조성을 결정하는 방법의 일 양태에 따라, 상기 방법은 상기 제1 신호에 기초하여 상기 제1 샘플 방사선의 제1 주파수 영역 스펙트럼을 생성하는 단계; 상기 제1 주파수 영역 스펙트럼으로부터 배경 주파수 영역 스펙트럼을 감산함으로써 제2 주파수 영역 스펙트럼을 생성하는 단계; 및 상기 제2 주파수 영역 스펙트럼에 기초하여 상기 방사선 소스와 상기 방사선 검출기 중 적어도 하나와 상기 SPM 팁 사이의 상대 운동을 수행하는 단계를 더 포함한다.

[0061] 상기 SPM 팁 상에서 상기 입자의 조성을 결정하는 방법의 일 양태에 따라, 상기 방법은 상기 SPM 팁에 실질적으로 오염물이 없는 경우 상기 SPM 팁의 방사선에 대한 상기 방사선 검출기의 응답에 기초하여 상기 배경 주파수 영역 스펙트럼을 생성하는 단계를 더 포함한다.

[0062] 상기 SPM 팁 상에서 상기 입자의 조성을 결정하는 방법의 일 양태에 따라, 상기 방법은 상기 방사선 소스로부터 제2 입사 방사선을 상기 SPM 팁에 조사하는 단계; 상기 제2 입사 방사선에 의해 야기된 제2 샘플 방사선을 상기 방사선 검출기로 검출하는 단계; 및 상기 제2 샘플 방사선에 응답하여 상기 방사선 검출기로부터의 제2 신호에 기초하여 상기 방사선 소스와 상기 방사선 검출기 중 적어도 하나와 상기 SPM 팁 사이의 상대 운동을 수행하는 단계를 더 포함한다.

[0063] 상기 SPM 팁 상에서 상기 입자의 조성을 결정하는 방법의 일 양태에 따라, 상기 방법은 상기 제2 신호와 상기 제1 신호 사이의 차이에 기초하여 상기 방사선 소스와 상기 방사선 검출기 중 적어도 하나와 상기 SPM 팁 사이의 상대 운동을 수행하는 단계를 더 포함한다.

[0064] 상기 SPM 팁 상에서 상기 입자의 조성을 결정하는 방법의 양태에 따라, 상기 방사선 소스로부터의 상기 제1 입사 방사선은 x-선, 가시광, 적외선 광, 자외선 광, 전자 빔 및 레이저 중 적어도 하나이다. 상기 SPM 팁 상에서 상기 입자의 조성을 결정하는 방법의 한 양태에 따라, 상기 방사선 소스로부터의 상기 제2 입사 방사선은 x-선, 가시광, 적외선 광, 자외선 광, 전자 빔, 및 레이저 중 적어도 하나이다. 상기 제2 입사 방사선은 상기 제1 입사 방사선과는 다른 유형의 방사선이다. 일 양태에서, 상기 제1 샘플 방사선은 상기 SPM 팁과 상호 작용하는 상기 제1 입사 방사선에 의해 생성된다. 일 양태에서, 상기 상호 작용은 상기 제1 입사 방사선이 상기 SPM 팁에 의해 반사, 굴절, 또는 흡수 및 재-방출되는 것 중 하나 이상을 포함할 수 있다. 일 양태에서, 상기 제1 샘플 방사선은 상기 제1 입사 방사선이 상기 SPM 팁 상에 배치된 잔해물과 상호 작용하는 것에 의해 생성된다. 일 양태에서, 상기 상호 작용은 상기 제1 입사 방사선이 상기 SPM 팁 상에 배치된 잔해물에 의해 반사, 굴절, 또는 흡수 및 재-방출되는 것 중 하나 이상을 포함할 수 있다.

[0065] 상기 SPM 팁 상에서 상기 입자의 조성을 결정하는 방법의 일 양태에 따라, 상기 방법은 상기 방사선 소스로부터

의 상기 제1 입사 방사선의 세기 또는 주파수를 조절하는 단계를 더 포함한다. 일 양태에서, 상기 방법은 상기 방사선 소스로부터의 상기 제2 입사 방사선의 세기 또는 주파수를 조절하는 단계를 더 포함한다.

[0066] 본 발명의 일 양태에 따라, 기관으로부터 제거된 입자의 조성을 결정하는 방법이 제공된다. 상기 방법은 상기 기관으로부터 주사 탐침 현미경(SPM) 팁으로 입자를 전달하는 단계; 상기 입자에 방사선 소스로부터의 제1 입사 방사선을 조사하는 단계; 및 상기 입자로부터 제1 샘플 방사선을 방사선 검출기에서 수신하는 단계를 포함하고, 상기 제1 샘플 방사선은 상기 제1 입사 방사선에 의해 야기된다.

[0067] 상기 기관으로부터 제거된 입자의 조성을 결정하는 방법의 양태에 따라, 상기 입자가 상기 SPM 팁 상에 배치된 동안 상기 입자로부터의 상기 제1 샘플 방사선이 상기 방사선 검출기에 의해 수신된다.

[0068] 상기 기관으로부터 제거된 입자의 조성을 결정하는 방법의 일 양태에 따라, 상기 기관으로부터 상기 SPM 팁으로 상기 입자를 전달하는 단계는 상기 SPM 팁을 상기 기관에 접촉시키는 단계 및 상기 기관에 대해 상기 SPM 팁을 이동시키는 단계를 포함한다.

[0069] 상기 기관으로부터 제거된 입자의 조성을 결정하는 방법의 일 양태에 따라, 상기 방법은 상기 SPM 팁을 사용하여 계측 위치로 상기 입자를 전달하는 단계를 더 포함한다.

[0070] 상기 기관으로부터 제거된 입자의 조성을 결정하는 방법의 일 양태에 따라, 상기 방법은 상기 SPM 팁으로부터 입자 수집기로 상기 입자를 전달하는 단계를 더 포함하고, 상기 입자 수집기 상에는 계측 위치가 형성된다. 상기 입자가 상기 계측 위치에 배치되는 동안 상기 입자로부터의 상기 제1 샘플 방사선은 상기 방사선 검출기에 의해 수신된다. 상기 SPM 팁으로부터 상기 입자 수집기로 상기 입자를 전달하는 단계는 상기 계측 위치에 상기 SPM 팁을 접촉시키는 단계, 및 상기 계측 위치에 대해 상기 SPM 팁을 이동시키는 단계를 포함한다.

[0071] 상기 기관으로부터 제거된 입자의 조성을 결정하는 방법의 일 양태에 따라, 상기 입자 수집기는 적어도 하나의 오염물 수집 예지를 포함하는 수집 포켓 또는 수집 관통 구멍이고, 상기 SPM 팁으로부터 상기 입자 수집기로 상기 입자를 전달하는 단계는 상기 SPM 팁을 이동시켜 상기 적어도 하나의 오염물 수집 예지에 스치거나(brush) 또는 드래그하는 단계를 포함한다. 일 양태에 따라, 상기 이동하는 것은 상기 SPM 팁을 상기 적어도 하나의 오염물 수집 예지 쪽으로 또는 수집 예지로부터 멀어지는 쪽으로 이동시키는 것을 포함한다. 일 양태에서, 상기 SPM 팁을 이동시키는 것은 비비는(scraping) 동작 및/또는 닦는(wiping) 동작을 포함할 수 있다. 일 양태에 따라, 상기 이동하는 것은 상기 적어도 하나의 오염물 수집 예지를 지나 상기 SPM 팁을 상방으로 이동시키는 것을 포함하고, 상기 이동하는 것은 상기 SPM 팁을 상기 적어도 하나의 오염물 수집 예지를 지나 하방으로 이동시키는 것을 더 포함한다. 일 양태에 따라, 상기 이동하는 것은 상기 SPM 팁을 상기 입자 수집기의 중심으로부터 상방으로 멀어지는 방향으로 이동시키는 것을 포함한다. 일 양태에 따라, 상기 이동하는 것은 상기 SPM 팁을 상기 입자 수집기의 중심을 향해 하방으로 이동시키는 것을 포함한다. 일 양태에 따라, 상기 이동하는 것은 상기 SPM 팁을 포물선 궤적으로 이동시키는 것을 포함한다. 일 양태에 따라, 상기 이동하는 것은 상기 SPM 팁을 회전시켜 상기 SPM 팁의 다른 부분에 적치된 잔해물이 상기 SPM 팁으로부터 상기 입자 수집기로 전달될 수 있도록 하는 것을 더 포함한다.

[0072] 본 발명의 일 양태에 따라, 프로세서로 하여금 주사 탐침 현미경(SPM) 상에서 입자의 조성을 결정하게 하기 위한 명령을 인코딩하는 비-일시적인 기계 판독 가능한 매체를 포함하는 제조 물품이 제공된다. 상기 제조 물품의 인코딩 명령은 방사선 소스로부터의 제1 입사 방사선에 응답하여 야기된 제1 샘플 방사선을 방사선 검출기로 검출하는 단계; 및 상기 제1 샘플 방사선에 응답하여 상기 방사선 검출기로부터의 제1 신호에 기초하여 상기 방사선 소스와 상기 방사선 검출기 중 적어도 하나와 상기 SPM 팁 사이의 상대 운동을 수행하는 단계를 수행하는데 사용될 수 있다.

[0073] 이상과 같이, 본 명세서의 상세한 설명을 보다 잘 이해할 수 있고, 이 기술 분야에 본 발명이 기여하는 부분을 더 잘 이해할 수 있도록, 본 발명의 특정 양태를 다소 광범위하게 개략적으로 설명하였다. 물론, 아래에 더 설명되고 첨부된 청구범위의 주제를 형성하는 본 발명의 추가적인 양태들이 존재한다.

[0074] 이런 점에서, 본 발명의 다양한 양태를 보다 상세히 설명하기 전에, 본 발명은 그 적용에 있어서 구성의 상세로 제한되지 않고, 이하 상세한 설명에 제시되거나 도면에 도시된 구성 요소의 배열로 국한되는 것은 아니라는 것을 이해해야 한다. 본 발명은 설명된 실시예에 더하여 다른 실시예를 구현할 수 있고 다양한 방법으로 실시 및 수행될 수 있다. 또한, 본 명세서뿐만 아니라 요약서에서 사용된 어구와 용어는 본 발명을 설명하기 위한 것일 뿐 본 발명을 제한하는 것으로 간주되어서는 안되는 것으로 이해해야 한다.

[0075] 그리하여, 본 발명이 기초로 하는 개념은 본 발명의 여러 목적을 수행하기 위한 다른 구조, 방법 및 시스템을

설계하기 위한 기초로서 용이하게 이용될 수 있다는 것을 이 기술 분야에 통상의 지식을 가진 자라면 이해할 수 있을 것이다. 그리하여, 본 청구범위는, 본 발명의 사상과 범위를 벗어나지 않는 한, 균등한 구성을 포함하는 것으로 간주되어야 한다.

도면의 간단한 설명

[0076]

도 1a 내지 도 1c는 본 발명의 양태에 따른 표면 상호 작용의 시퀀스 동안 잔해물 제거 장치의 일부의 단면도를 도시한다.

도 2는 본 발명의 양태에 따른 잔해물 제거 장치의 일부의 단면도를 도시한다.

도 3은 도 2에 도시된 잔해물 제거 장치의 다른 부분의 단면도를 도시한다.

도 4는 입자가 저 에너지 물질의 패치 또는 저장소에 매립되어 있는, 도 2에 도시된 잔해물 제거 장치의 일부의 단면도를 도시한다.

도 5는 팁이 더 이상 저 에너지 물질의 패치 또는 저장소와 접촉하지 않는, 도 4에 도시된 잔해물 제거 장치의 일부의 단면도를 도시한다.

도 6은 본 발명의 양태에 따른 모(bristle) 또는 미소 섬유(fibril)를 갖는 팁의 단면도를 도시한다.

도 7a 및 도 7b는 본 발명의 양태에 따른 강성(stiff)의 미소 섬유와 랩(wrap) 미소 섬유 사이의 일반적인 차이점을 도시한다.

도 8a 내지 도 8c는 본 발명의 양태에 따라 강성의 단일 미소 섬유를 사용하여 타깃 기관으로부터 나노 입자를 떼어 내어(dislodged) 제거하는 공정을 도시한다.

도 9a 내지 도 9c는 본 발명의 양태에 따라 복수의 강성의 미소 섬유를 사용하여 타깃 기관으로부터 나노 입자를 떼어 내어 제거하는 공정을 도시한다.

도 10a 내지 도 10c는 본 발명의 양태에 따라 단일 랩 미소 섬유를 사용하여 타깃 기관으로부터 나노 입자를 제거하는 공정을 도시한다.

도 11a 내지 도 11d는 본 발명의 양태에 따라 복수의 랩 미소 섬유를 사용하여 타깃 기관으로부터 나노 입자를 제거하는 공정을 도시한다.

도 12는 본 발명의 양태에 따라 적어도 하나의 패치를 포함하는 잔해물 수집 장치의 사시도를 도시한다.

도 13은 본 발명의 양태에 따라 적어도 2개의 패치를 포함하는 잔해물 수집 장치의 사시도를 도시한다.

도 14는 본 발명의 양태에 따라 제어기를 포함하는 잔해물 수집 장치의 사시도를 도시한다.

도 15는 본 발명의 양태에 따라 계측 시스템을 포함하는 잔해물 수집 장치의 사시도를 도시한다.

도 16은 본 발명의 양태에 따라 계측 시스템 및 제어기를 포함하는 잔해물 수집 장치의 사시도를 도시한다.

도 17a 및 도 17b는 본 발명의 양태에 따라 계측 장치를 포함하는 잔해물 수집 장치의 상면도 및 측면도를 각각 도시한다.

도 18a 및 도 18b는 본 발명의 양태에 따라 계측 장치와 제어기를 포함하는 잔해물 수집 장치의 상면도 및 측면도를 각각 도시한다.

도 19a 및 도 19b는 본 발명의 양태에 따라 계측 장치 및 복수의 패치 및/또는 잔해물 수집기를 포함하는 잔해물 수집 장치의 상면도 및 측면도를 각각 도시한다.

도 20a 및 도 20b는 본 발명의 양태에 따라 제어기 및 복수의 패치 및/또는 잔해물 수집기를 갖는 계측 장치를 포함하는 잔해물 수집 장치의 상면도 및 측면도를 각각 도시한다.

도 21a 및 도 21b는 본 발명의 양태에 따라 로봇 암(robotic arm)을 포함하는 잔해물 수집 장치의 상면도 및 측면도를 각각 도시한다.

도 22a 및 도 22b는 로봇 암이 제2 위치에 있는 도 21a 및 도 21b의 잔해물 수집 장치의 상면도 및 측면도를 각각 도시한다.

도 23a 및 도 23b는 본 발명의 양태에 따라 팁 지지 조립체의 상면도 및 측면도를 각각 도시한다.

도 24a 및 도 24b는 본 발명의 양태에 따라 사면체형 팁과 함께 사용될 수 있는 계측 시스템의 저면도 및 측면도를 각각 도시한다.

도 25a 및 도 25b는 잔해물이 사면체형 팁에 부착되어 있는 도 24a 및 도 24b의 계측 시스템의 저면도 및 측면도를 각각 도시한다.

도 26a 및 도 26b는 본 발명의 양태에 따라 원형 원추형 팁과 함께 사용될 수 있는 계측 시스템의 저면도 및 측면도를 각각 도시한다.

도 27a 및 도 27b는 잔해물이 원형 원추형 팁에 부착되어 있는 도 26a 및 도 26b의 계측 시스템의 저면도 및 측면도를 각각 도시한다.

도 28a 및 28b는 본 발명의 양태에 따라 피라미드 형상의 팁과 함께 사용될 수 있는 계측 시스템의 저면도 및 측면도를 각각 도시한다.

도 29a 및 도 29b는 잔해물이 피라미드 형상의 팁에 부착되어 있는 도 28a 및 도 28b의 계측 시스템의 저면도 및 측면도를 각각 도시한다.

도 30a 및 도 30b는 본 발명의 양태에 따라 삼각형 레이아웃을 갖는 수집 포켓을 갖는 오염물 수집기의 측단면도 및 상면도를 각각 도시한다.

도 31a 및 도 31b는 본 발명의 양태에 따라 원형 레이아웃을 갖는 수집 포켓을 갖는 오염물 수집기의 측단면도 및 상면도를 각각 도시한다.

도 32a 및 도 32b는 본 발명의 양태에 따라 정사각형 레이아웃을 갖는 수집 포켓을 갖는 오염물 수집기의 측단면도 및 상면도를 각각 도시한다.

도 33a 내지 도 33c는 본 발명의 양태에 따라 수집 포켓을 갖는 오염물 수집기를 사용하는 예시적인 잔해물 수집 공정을 도시한다.

도 34a 내지 도 34c는 본 발명의 양태에 따라 수집 포켓을 갖는 오염물 수집기를 사용하는 다른 예시적인 잔해물 수집 공정을 도시한다.

도 35a 및 도 35b는 본 발명의 양태에 따라 절두된 사면체 통로를 형성하는 수집 관통 구멍을 갖는 오염물 수집기의 측단면도 및 상면도를 각각 도시한다.

도 36a 및 도 36b는 본 발명의 양태에 따라 절두된 원추형 통로를 형성하는 수집 관통 구멍을 갖는 오염물 수집기의 측단면도 및 상면도를 각각 도시한다.

도 37a 및 도 37b는 본 발명의 양태에 따라 절두된 피라미드 형상의 통로를 형성하는 수집 관통 구멍을 갖는 오염물 수집기의 측단면도 및 상면도를 각각 도시한다.

도 38은 본 발명의 양태에 따라 수집 관통 구멍 및 계측 시스템을 갖는 오염물 수집기의 측단면도를 도시한다.

발명을 실시하기 위한 구체적인 내용

[0077] 본 발명의 양태는 이제 도면을 참조하여 설명될 것이며, 이 도면에서 동일한 참조 번호는 전체적으로 동일한 부분을 나타낸다.

[0078] 도 1a, 도 1b, 도 1c, 도 2, 도 3, 도 4 및 도 5를 참조하여, 기관으로부터 입자를 제거하고 이 입자를 패치로 전달하는 예시적인 장치를 이제 설명한다. 도 1a 내지 도 1c는 본 발명의 양태에 따른 표면 상호 작용의 시퀀스 동안 잔해물 제거 장치(1)의 일부 단면을 도시한다. 기관(3)으로부터 입자(2)를 선택적으로 접촉시킨 다음 이 입자를 연결 패치(4)에 재위치시킬 수 있는 표면 상호 작용의 잠재적인 시퀀스가 도면에서 (좌측으로부터 우측으로 이동하는 것으로) 도시되어 있다. 도 1a에서, 입자(2)는 (상대적으로) 높은 표면 에너지 기관(3)을 오염시켜 그 표면 에너지를 감소시키고 전체 시스템에서 엔트로피를 증가시킨다. 다음으로, 도 1b에서, 확산으로 이동하는 저 표면 에너지 코팅부를 갖는 팁(5)을 구동하여 (다시 한번 상대적으로) 더 높은 표면 에너지 기관(3)과 입자(2)를 코팅하여 이들을 분리시킨다. 이후, 저 표면 에너지 물질이 고갈(depletion)되면, 팁(5)의 표면 에너지가 (보통 코팅되지 않은 값에 더 가까운 값으로) 약간 증가되어, 이제 결합-해제된 입자(2)가 팁(6)(추가적으로, 플루오로카본과 같은 물질이 통상 양호한 응집력(cohesion)을 갖는다)의 표면에 접촉되는 에너지 구배가 존

재한다. 특히 팁 표면(6)이 기관보다 더 청결한 경우에 이러한 상호 작용은 또한 시스템의 엔트로피를 증가시킨다. 마지막으로, 도 1c에서, 입자(2)는 연질 패치 물질(4) 내로 기계적으로 집어 넣어지고, 이 기계적 작용은 또한 저 표면 에너지 물질로 팁 표면(6)을 재 코팅하여 에너지를 감소시키고 시스템의 엔트로피를 증가시킨다.

[0079] 도 2는 본 발명의 일 실시예에 따른 잔해물 제거 장치(10)의 일부의 단면도를 도시한다. 장치(10)는 저 표면 에너지 물질의 패치 또는 저장소(14)에 인접하게 위치한 나노미터-규모의 팁(12)을 포함한다. 저장소의 저 표면 에너지 물질은 고체, 액체, 반 액체 또는 반 고체일 수 있다.

[0080] 팁(12) 상에는 코팅부(16)가 형성된다. 코팅부(16)를 형성하기 전에, 팁(12)은 팁(12)의 표면 에너지를 변경하도록 (예를 들어, 모세관 현상, 젖음성(wetting) 및/또는 표면 장력 효과를 변경하도록) 미리 코팅되거나 다른 방법으로 표면 처리될 수 있다. 적절히 선택된 경우, 코팅부(16)는 팁(12)이 코팅되지 않은 팁보다 더 긴 시간 동안 더 날카롭게 유지되게 할 수 있다. 예를 들어, PTFE로 코팅된 다이아몬드 팁은 코팅되지 않은 다이아몬드 팁보다 더 긴 동작 수명을 가질 수 있다.

[0081] 본 발명의 특정 양태에 따라, 코팅부(16)는 저 에너지 물질(14)의 패치 또는 저장소에서 발견되는 것과 동일한 저 표면 에너지 물질을 포함할 수 있다. 또한, 본 발명의 특정 양태에 따라, 팁(12)은 저 에너지 물질(14)의 패치 또는 저장소에 직접 접촉할 수 있고, 팁(12)을 저 에너지 물질(14)의 패치 또는 저장소에 문지르거나(rubbing) 접촉시키는 것에 의해 코팅부(16)가 팁(12)의 표면 상에 형성(또는 보충)될 수 있다. 또한 팁(12)을 저 에너지 물질의 패치 또는 저장소에 문지르거나 및/또는 패드(14)에 비비는 것에 의해 저 표면 에너지 물질이 팁(12)의 표면 위로 표면 확산되는 것을 향상시킬 수 있다.

[0082] 본 발명의 특정 양태에 따라, 코팅부(16)와 저 에너지 물질(14)의 패치 또는 저장소는 폴리테트라플루오로에틸렌(PTFE)과 같은 염소화 및 불소화된 탄소-함유 분자 또는 불소화된 에틸렌 프로필렌(FEP)과 같은 다른 유사한 물질로 제조되거나 또는 적어도 이를 포함할 수 있다. 본 발명의 다른 양태에 따라, 금속 물질, 산화물, 금속 산화물 또는 일부 다른 고 표면 에너지 물질의 중간 층(15)이 팁(12)의 표면과 저-표면 에너지 물질 코팅부(16) 사이에 배치될 수 있다. 중간층의 일부 대표적인 예는 세슘(Cs), 이리듐(Ir) 및 이들의 산화물(뿐만 아니라 염화물, 불화물 등)을 포함할 수 있지만, 이에 국한되는 것은 아니다. 이 두 가지 예시적인 원소 금속은 저 표면 에너지와 고 표면 에너지를 각각 갖는 상대적으로 연질 금속이기 때문에, 이들 원소 금속은 주어진 오염물, 기관 및 주변 환경에 최적인 표면 에너지 구매의 최적화를 나타낸다. 추가적으로 또는 대안적으로, 팁(12)의 표면은 거칠게 되거나(roughened) 도핑될 수 있다. 고 표면 에너지 물질 또는 팁 처리는 통상 저 표면 에너지 물질 코팅부(16)를 팁(12)에 보다 강하게 결합시키는 역할을 한다. 팁의 형상이 또한 국부적인 표면 에너지 밀도 변화에 영향을 미치기 때문에(즉, 나노 규모의 첨예도(sharpness)는 바로 정점에서 표면 에너지 밀도를 크게 증가시키기 때문에), 팁(12)의 형상은 또한 팁에 대한 입자의 선택적 접착력을 증가시키도록 변형될 수 있다. 팁(12)의 팁 표면(13)을 거칠게 하는 것은 또한 입자와 접촉하는 표면적과 잠재적인 결합 부위(binding site)의 수(dA)가 증가하기 때문에 더 큰 접착력을 제공할 수 있다. 또한 팁 표면(13)은 접착력을 증가시키기 위해 입자 또는 일부 중간 코팅부와 반응할 수 있는 매우 불안정하고 화학적으로 활성인 땀글링 결합(dangling bond)을 포함하도록 팁 표면(13)이 (가능하게는 화학적 또는 플라즈마 공정에 의해) 처리될 수 있다. 팁 표면(13)은 또한 입자와 상호 작용하는 팁(12)의 표면적을 증가시키기 위해 고밀도 탄소(High Density Carbon: HDC) 또는 다이아몬드 유사 탄소(Diamond Like Carbon: DLC)와 같은 고 표면적 물질로 코팅될 수 있다.

[0083] 고 표면 에너지 전처리본 발명의 특정 양태에 따라 저 표면 에너지 코팅부(16) 없이 사용된다. 이러한 양태에서, 아래에 논의되는 입자(20)들은 본 명세서에서 논의된 것들과 유사한 방법을 사용하여 일부 다른 연질 타깃(예를 들어, Au, Al)에 매립되거나 또는 팁(12)은 소모품일 수 있다. 또한, 본 발명을 고려하여 이 기술 분야에 통상의 지식을 가진 자라면 이해할 수 있는 바와 같이 팁 처리 및/또는 입자 포획(pick-up)/드롭오프(drop-off)를 향상시키기 위해 다른 물리적 및/또는 환경적 파라미터(예를 들어, 온도, 압력, 화학 물질, 습도)들이 변경될 수 있다.

[0084] 본 발명의 특정 양태에 따라, 도 2 및 도 3에 도시된 모든 구성 요소는 AFM 내에 포함된다. 그러한 일부 구성에서, 저 에너지 물질(14)의 패치 또는 저장소는 실질적으로 편평하고, 기관(18)을 지지하는 스테이지에 부착된다. 또한, 본 발명의 특정 양태에 따라, 저 에너지 물질(14)의 패치 또는 저장소는 스테이지로부터 제거 가능하고, 쉽게 교체되거나 쉽게 리필(refillable)될 수 있다. 예를 들어, 저 에너지 물질(14)의 패치 또는 저장소는 쉽게 해제가능한 클램프 또는 자성 마운트(magnetic mount)(미도시)에 의해 AFM에 부착될 수 있다.

[0085] 도 3은 도 2에 도시된 잔해물 제거 장치(10)의 다른 일부의 단면도를 도시한다. 도 2에 도시된 저 에너지 물질(14)의 패치 또는 저장소에 통상 인접하게 위치될 수 있는 기관(18)이 도 3에 도시되어 있다. 또한 기관(18)의

표면 상에 형성된 트렌치(22)에 존재할 수 있는 복수의 입자(20)들이 도 3에 도시되어 있다. 입자(20)는 통상 반 데르 발스(Van der Waals) 단거리 힘을 통해 트렌치(22)의 표면에 부착된다. 도 3에서, 입자(20)를 팁(12)에 물리적으로 부착시키기 위해 팁(12)은 기관(18)에 인접하게 이동되고 위치될 수 있다. 트렌치(22)의 바닥에 도달하기 위해, 도 2 및 도 3에 도시된 바와 같이 팁(12)은 고충형비 팁일 수 있다. 도 3에는 트렌치(22)가 도시되어 있지만, 입자(20)는 세정될 다른 구조물에 부착되거나 다른 구조물 상에서 발견될 수 있다.

[0086] 도 4는 도 2에 도시된 잔해물 제거 장치(10)의 일부의 단면도를 도시하는데, 여기서 입자(20)는 팁(12)으로부터 전달될 수 있고, 팁(12)을 저 에너지 물질(14)의 패치 또는 저장소의 표면으로 또는 표면 안으로 연장시킴으로써 저 에너지 물질(14)의 패치 또는 저장기에 매립될 수 있다. 이후, 도 5의 단면도에 도시된 바와 같이, 팁(12)은 저 에너지 물질(14)의 패치 또는 저장소와 더 이상 접촉하지 않도록 팁(12)은 후퇴될 수 있다. 팁(12)이 저 에너지 물질(14)의 패치 또는 저장소로부터 후퇴되거나 인출(withdrawn)될 때, 팁(12) 상에 이전에 있던 입자(20)는 저 에너지 물질(14)의 패치 또는 저장소에 남아 있게 된다.

[0087] 본 발명의 특정 양태에 따라, 도 2 내지 도 5에 도시된 장치(10)는 잔해물 제거 방법을 구현하는데 사용될 수 있다. 본 발명의 특정 양태는 본 명세서에서 논의된 방법에 앞서 또는 방법에 따라 다른 입자 세정 공정과 함께 사용될 수 있음을 알아야 한다. 또한, 입자, 잔해물 또는 오염물이라는 용어는 기관 표면에서 이물질을 나타내기 위해 상호 교환 가능하게 사용될 수 있음에 유의해야 한다. 또한 비록 단 하나의 팁(12)만이 도면에서 도시되고 논의되었지만, 다수의 구조물로부터 입자를 동시에 제거하기 위해 복수의 팁이 동시에 사용될 수 있음을 유의해야 한다. 추가적으로, 복수의 팁이 본 명세서에서 논의된 방법에서 병렬로 그리고 동시에 사용될 수 있다.

[0088] 전술된 잔해물 제거 방법은 도 3에서 기관(18) 상에 있는 것으로 도시된 하나 이상의 입자(20)(즉, 잔해물 조각)에 인접하게 팁(12)을 위치시키는 단계를 포함할 수 있다. 본 방법은 입자(들)(20) 및 주변 표면과 접촉할 때 있을 수 있는 팁(12)의 일부 반복 운동뿐만 아니라 도 3에 도시된 바와 같이 팁(12)에 입자(20)를 (정전기적으로 접촉하는 것과 달리) 물리적으로 접촉하는 단계를 더 포함할 수 있다. 팁(12)에 입자(20)를 물리적으로 접촉한 후, 본 방법은, 도 4에 도시된 바와 같이, 기관(18)으로부터 팁(12)을 멀리 이동하거나 및/또는 인출하는 것에 의해 기관(18)으로부터 입자(20)를 제거하고 나서, 입자(20)를 갖는 팁(12)을 저 에너지 물질(14)의 패치 또는 저장소로 이동시키는 단계를 포함할 수 있다.

[0089] 본 발명의 특정 양태에 따라, 본 방법은 팁(12)의 적어도 일부분 상에 코팅부(16)를 형성하는 단계를 포함할 수 있다. 본 발명의 특정 양태에서, 코팅부(16)는 기관(18)의 표면 에너지보다 더 낮은 표면 에너지를 갖는 코팅 물질을 포함할 수 있다. 추가적으로 또는 대안적으로, 코팅부(16)는 기관(18)과 접촉하는 입자(20)의 표면적보다 더 큰 표면적을 갖는 코팅 물질을 포함할 수 있다.

[0090] 상기에 더하여, 본 방법의 일부 양태는 팁(12)이 입자 또는 잔해물(도시되지 않음)의 다른 조각에 인접하도록 팁(12)을 기관(18)의 적어도 제2 위치로 이동시켜 입자 또는 잔해물의 다른 조각이 팁(12)에 물리적으로 부착되도록 하는 단계를 더 포함할 수 있다. 그런 다음, 도 4에 도시된 것과 유사한 방식으로 팁(12)을 기관(18)으로부터 멀리 이동시킴으로써 입자 잔해물의 다른 조각이 기관(18)으로부터 제거될 수 있다.

[0091] 일단 잔해물(예를 들어, 앞서 논의된 입자(20))이 기관(18)으로부터 제거되면, 본 발명에 따른 일부 방법은 기관(예를 들어, 저 에너지 물질(14)의 앞서 논의된 패치 또는 저장소)으로부터 멀리 위치된 물질의 조각 내에 잔해물 조각을 적치하는 단계를 포함할 수 있다.

[0092] 본 발명의 특정 양태에 따라, 팁(12)이 다량의 잔해물을 제거하기 위해 반복적으로 사용될 수 있기 때문에, 본 방법은 팁(12)을 저 에너지 물질(14)의 패치 또는 저장소에 밀어 넣음으로써 코팅부(16)를 보충하는 단계를 포함할 수 있다. 저 에너지 물질의 패치 또는 저장소로부터의 저 표면 에너지 물질은 시간에 따라 팁(12)의 코팅부(16)에서 생성될 수 있는 임의의 구멍 또는 갭을 코팅할 수 있다. 이러한 보충은 팁(12)을 저 에너지 물질(14)의 패치 또는 저장소로 밀어 넣은 후에 저 에너지 물질(14)의 패치 또는 저장소 내에서 팁(12)을 측방향으로 이동시키거나, 팁(12)의 표면을 문지르거나, 팁(12) 및/또는 저 에너지 물질(14)의 패치 또는 저장소의 물리적 파라미터(예를 들어, 온도)를 변경하는 것 중 하나 이상을 포함할 수 있다.

[0093] 본 발명에 따른 특정 방법은, 제거된 물질이 수리(repair)가 완료된 후 함께 뭉쳐져서 다시 기관에 강하게 접촉될 가능성을 감소시키기 위해 수리 전에 결함 또는 입자 주위의 작은 영역을 저 표면 에너지 물질에 노출시키는 단계를 포함할 수 있음을 주목해야 한다. 예를 들어, 결함/입자 및 결함 주변의 약 1-2 미크론 영역은 본 발명의 특정 양태에 따라 PTFE 또는 FEP로 미리 코팅될 수 있다. 이러한 경우에, 저 표면 에너지 물질로 코팅되거나

구성된 팁(12)(예를 들어, PTFE 또는 FEP 팁)은 심지어 다른 수리 도구(예를 들어, 레이저, 전자 빔)가 이용되고 있을 때에도 다량의 저 표면 에너지를 가진 물질을 수리 영역에 적용하는데 사용될 수 있다. 팁(12) 상에 코팅부(16)를 형성하는 것에 더하여, 팁(12)의 일부 또는 전부는 염소화 및 불소화된 탄소 함유 분자를 포함하지만 이에 국한되지 않는 저 에너지 물질을 포함할 수 있다. 이러한 물질의 예는 PTFE 또는 FEP를 포함할 수 있다. 추가적으로 또는 대안적으로, 금속 및 그 화합물과 같은 다른 물질들이 사용될 수 있다. 일부 대표적인 예로는 Cs, Ir 및 이들의 산화물(뿐만 아니라 염화물, 불화물 등)이 포함된다. 이 두 가지 예시적인 원소 금속은 저 표면 에너지와 고 표면 에너지를 각각 갖는 상대적으로 연질 금속이기 때문에 이들 원소 금속은 주어진 오염물, 기관 및 주변 환경에 최적인 표면 에너지 구배의 최적화를 나타낸다. 추가적으로 또는 대안적으로, 다른 탄소계 화합물이 사용될 수 있다. 일부 대표적인 예는 HDC 또는 DLC를 포함한다.

[0094] 본 발명의 특정 양태에 따라, 본 방법은 저 에너지 물질(14)의 패치 또는 저장소를 사용하여 팁(12)의 정점으로부터 멀어지는 방향으로 그리고 정점 위에서 팁(12)을 지지하고 있는 AFM 캔틸레버 암(도시되지 않음) 쪽으로 입자를 밀어 넣는 단계를 포함한다. 이렇게 입자(20)를 밀어 넣으면 팁(12)의 정점 부근의 공간이 자유롭게 되어 더 많은 입자(20)를 물리적으로 접촉시킬 수 있다.

[0095] 본 발명의 특정 양태에 따라, 저 에너지 물질(14)의 패치 또는 저장소에서 발견될 수 있는 연질 물질의 팻릿 내로 팁(12)을, 교대로, 파묻는 것(dipping), 삽입하는 것 및/또는 압입(indent)하는 것에 의해, 팁(12)은, 예를 들어, 기관(18)의 트렌치(22)와 같은 고종횡비 구조로부터 나노 가공 잔해물을 제거하는데 사용된다. 선택된 양태에서, 저 에너지 물질(14)의 패치 또는 저장소의 연질 물질은 무른 또는 가단성(malleable) 있는 일관성을 가질 수 있다. 이 연질 물질은 일반적으로 자기 자신에 접촉되는 힘보다 팁(12) 및/또는 (예를 들어, 입자(20) 내) 잔해물 물질에 접촉되는 힘이 더 클 수 있다. 연질 물질은 또한 나노 가공 잔해물 입자(20)를 팁(12)으로 정전기적으로 끌어 당기기 위해 극성을 갖도록 선택될 수 있다. 예를 들어, 저 에너지 물질(14)의 패치 또는 저장소는 이동성 계면 활성제를 포함할 수 있다.

[0096] 상기에 더하여, 본 발명의 특정 양태에 따라, 팁(12)은 하나 이상의 유전체 표면(즉, 전기적으로 절연된 표면)을 포함할 수 있다. 이들 표면은 특정 환경 조건(예를 들어, 낮은 습도)에서는 정전기 표면 대전에 기인한 입자 포획을 용이하게 하기 위해 유사한 유전체 표면 상에서 문질러질 수 있다. 또한, 본 발명의 특정 양태에 따라, 코팅부(16)는 수소 결합, 화학 반응, 향상된 표면 확산을 포함할 수 있으나 이에 국한되지 않는 일부 다른 단거리 메커니즘에 의해 입자를 끌어당길 수 있다.

[0097] 도 6 내지 도 11을 참조하여, 잔해물 제거 팁의 예시적인 양태를 이제 설명한다. 저 에너지 물질(14)의 패치 또는 저장소의 연질 팻릿 물질을 침투(즉, 압입)할 만큼 충분히 강하고 강성인 임의의 팁이 사용될 수 있다. 그리하여, (1:1을 초과하는) 매우 높은 종횡비의 팁의 기하 구조도 본 발명의 범위 내에 있다. 일단 팁이 연질(가능하게는 접착) 물질을 침투할 만큼 충분히 강성인 경우, 더 약하거나 및/또는 덜 유연한 팁에 비해 강하고 유연한 고종횡비 팁이 일반적으로 선택된다. 그리하여, 본 발명의 특정 양태에 따라, 팁은 트렌치(22) 또는 기관(18)을 손상시키거나 변경시키지 않고 기관(18)의 수리 트렌치(22)의 측면과 예지 내로 문질러질 수 있다. 이 동작을 대략 매크로 규모로 비유하면 강성의 모가 깊은 내부 직경 내로 이동하는 것이다. 또한, 본 발명의 특정 양태에 따라, 팁(12)은 아래에서 보다 상세히 설명된 바와 같이 복수의 경질(rigid) 또는 강성(stiff)의 나노 미소 섬유 모를 포함할 수 있음을 알아야 한다. 도 6에 도시된 바와 같이 일 양태에서, 복수의 경질 또는 강성의 나노 미소 섬유 모(30)의 각 모는 팁(12)으로부터 선형으로 연장될 수 있다. 일 양태에서, 복수의 경질 또는 강성의 나노 미소 섬유 모(30)는 탄소 나노튜브, 금속 휘스커(metal whisker) 등으로 형성될 수 있다. 팁(12)은 추가적으로 또는 대안적으로 아래에서 보다 상세히 설명된 바와 같이, 복수의 유연한 또는 랩 나노 섬유를 포함할 수 있다. 복수의 유연한 또는 랩 나노 섬유는 예를 들어 중합체 물질을 사용하여 팁(12) 상에 형성될 수 있다. 물론 다른 물질 및 구조도 고려된다.

[0098] 본 발명의 특정 양태에 따라, 하나 이상의 입자가 포획되었는지 여부를 검출하는 것은 관심 영역(Region Of Interest: ROI)에 비접촉 AFM 주사를 사용하여 입자를 검출함으로써 수행될 수 있다. 그런 다음, 팁(12)은 타겟에서 처리 후까지 재 주사를 함이 없이 기관(18)으로부터 후퇴될 수 있다. 그러나, 팁(12)에 의해 포획된 잔해물 물질의 전체 질량은 또한 팁의 공진 주파수가 상대적으로 이동하는 것에 의해 모니터링될 수 있다. 또한, 다른 동력학이 동일한 기능을 위해 사용될 수 있다.

[0099] 앞서 논의되고 도 5에 도시된 바와 같이 입자(20)를 제거하기 위해 연질 물질에 압입되는 대신에, 팁(12)은 또한 입자(20)를 제거하기 위해 저 에너지 물질(14)의 패치 또는 저장소 내로 배향될 수 있다. 그리하여 팁이 의도치 않게 입자(20)를 포획하면, 입자(20)는 다른 수리를 수행함으로써 제거될 수 있다. 특히 배향에 의해 입자

(20)를 적치하기 위해 다른 물질이 사용되는 경우, 금박과 같은 연질 금속이 사용될 수 있다.

[0100] 상기에 더하여, 자외선(UV)-광-경화성 물질 또는 화학적으로 비가역적인 반응을 받기 쉬운 유사하게 일부 다른 물질이 팁(12)을 코팅하고 코팅부(16)를 형성하는데 사용될 수 있다. UV 경화 전에, 이 물질은 기관(18)으로부터 입자(20)를 포획한다. 일단 팁(12)이 기관(18)으로부터 제거되면, 팁(12)은 UV 소스에 노출될 수 있고, 이에 의해 물질의 특성이 변경되어 입자(20)가 팁(12)에 덜 접촉되고 저 에너지 물질(14)의 패치 또는 저장소의 물질에 더 접촉되어, 이후 입자(20)는 팁(12)으로부터 제거되고 저 에너지 물질(14)의 패치 또는 저장소에 적치될 수 있다. 입자의 포획 및 제거의 선택성을 더 개선하거나 가능하게 하는 다른 비가역적인 공정도 물론 고려된다.

[0101] 본 발명의 특정 양태는 여러 이점을 제공한다. 예를 들어, 본 발명의 특정 양태는 (1:1을 초과하는) 매우 높은 종횡비의 AFM 팁 기하 구조를 사용하여 고종횡비 트랜치 구조로부터 잔해물을 능동적으로 제거할 수 있도록 한다. 또한, 본 발명의 특정 양태는 매우 높은 종횡비 팁을 사용하고 AFM 조작자에 의해 현재 사용되는 소프트웨어 수리 시퀀스를 비교적 사소하게 조정하는 것과 함께 AFM에 저 표면 에너지 또는 연질 물질 패킷을 부착함으로써 비교적 쉽게 구현될 수 있다. 또한, 본 발명의 특정 양태에 따라, 임의의 다른 방법으로는 세정될 수 없는 마스크의 표면으로부터 입자를 선택적으로 제거하는데 사용될 수 있는 (나노-집게(nano-tweezer)와 같은) 신규한 나노 가공 도구가 구현될 수 있다. 이것은 잔해물이 먼저 코팅되지 않은 팁에 의해 표면으로부터 떼어 내어진 다음 코팅된 팁에 의해 포획되는 보다 전통적인 수리 방법과 결합될 수 있다.

[0102] 일반적으로, 저 표면 에너지 물질이 위에서 논의된 국부적인 세정 방법에 사용되지만, 다른 가능한 변형도 또한 본 발명의 범위 내에 있는 것으로 이해된다. 통상, 이들 변형은, 입자(20)를 팁(12)으로 끌어당기고 나서, 일부 다른 처리에 의해 팁(12)으로부터 입자(20)를 해제(release)하도록 반전(reversed)될 수 있는 표면 처리 에너지 구배(즉, 깊스 자유 에너지 구배)를 생성한다.

[0103] 본 발명의 일 양태는 하부 기관에 기계적으로 덜 공격적인 공정을 수행하면서도 고종횡비 구조에서 향상된 성능을 제공하기 위해 AFM 팁의 작업 단부에 적어도 하나의 나노 미소 섬유를 부착하는 것을 포함한다. 이러한 미소 섬유는 기계적 성질 및 나노 입자 세정 적용에 따라 2개의 상이한 라벨, "강성의" 미소 섬유 및 "랩" 미소 섬유로 분류될 수 있다. 차이점을 이해하기 위해, 도 7a 및 도 7b는 2가지 유형의 미소 섬유들, 즉 팁(710)에 부착된 강성의 미소 섬유(700)와 팁(760)에 부착된 랩 미소 섬유(750) 간의 차이를 도시한다. 추가적으로, 먼저 비트클린(BitClean) 입자 세정에 요구되는 2가지 중요한 공정, 즉 나노 입자를 떼어 내는 공정과, 나노 입자와 결합하여 오염된 표면으로부터 추출하는 공정을 이해해야 한다. 이러한 가장 중요한 단계들이 정의되면, 2개의 서로 다른 미소 섬유들 사이의 기능적 차이는 다음과 같이 주어진다.

[0104] 도 7a를 참조하면, 강성의 미소 섬유(700)는 미소 섬유 자체의 기계적 작용 및 기계적 강도에 더 의존하여 나노 입자를 떼어 낸다. 따라서 이 미소 섬유는 전단 및 굽힘 강도와 탄성 계수에 의존하여 파손 없이 성공적으로 떼어 내는 것을 수행한다. 이것은 단결정 다이아몬드의 강도와 강성(통상 경도라고 함)을 초과하거나 심지어 충족시킬 수 있는 물질이 거의 없음을 의미한다. 이들 물질 중에는 탄소 나노튜브와 그래핀이 있는데 그 이유는 탄소 나노튜브와 그래핀이 모두 또한 다이아몬드에서 발견되는 탄소-탄소 sp³ 혼성 궤도 원자간 결합(알려진 가장 강력한 결합 중 하나)을 사용하기 때문이다. 고려되는 다른 물질은 다이아몬드의 기계적 강도 및 강성을 증가할 수 있는 성질을 갖는 특정 위상(phase)의 붕소 함유 화학 물질을 포함하므로 이들 물질도 사용될 수 있다. 일반적으로 (다이아몬드를 포함하는) 많은 물질은 치수가 감소함에 따라 본질적으로 더 강하고 더 강성일 수 있다 (구조가 원자 규모에 가까워지고 그 형상이 열 확산 거동에 의해 결정될 때 강성이 감소된다). 이것은 나노 결정 금속에서 처음 관찰된 물질 현상이지만 단결정 나노 필라(nanopillar)에서도 일어나는 것으로 분자 시뮬레이션 및 일부 실험에서도 확인되었다. 이 거동에 대한 하나의 선도 가설(leading hypothesis)은 소성 변형의 결합 확산 메커니즘을 초래한다. 더 큰 규모에서는 이러한 결정 결합(빈 자리, 전위 등)이 확산되어 벌크에서-지배되는 운동학에서 상호 작용한다. 더 작은 규모(물질과 온도와 같은 모든 것들이 동일함)에서, 이러한 결합 운동은 결정의 벌크보다 훨씬 더 높은 표면 확산 운동학에 의해 지배된다고 믿어진다. 물질 연속체 근사법으로 고려할 때 이 더 큰 표면 확산 율(diffusion rate)은 더 낮은 응력 레벨에서 물질의 소성 변형(항복이라고도 함)과 심지어 실패를 야기한다. 예를 들어, Ti 단결정 나노 필라의 경우 약 8 내지 14 nm 범위까지는 단면 폭이 감소함에 따라 항복 응력(yield stress)이 증가(나노 필라의 응력 방향 및 결정 방위에 따라 부분적으로 상이함)하는 것으로 나타났고, 이 범위 미만에서는, 거동은 단면 폭이 감소함에 따라 항복 응력이 실제로 감소하는 변곡점(inflexion point)을 갖는다.

[0105] 도 8a 내지 도 8c는 AFM 팁(810)의 정점에 또는 정점 부근에 부착된 강성의 단일 미소 섬유(800)를 사용하여 타

깃 기관으로부터 나노 입자를 떼어 내어 제거하는 예시적인 공정을 도시한다. 팁(810)은 강성의 미소 섬유 없이 표면에 접근하고 AFM 주사와 동일한 원리를 사용하여 주사한다. 이 기술 분야에 통상의 지식을 가진 자라면 팁(810)의 정점에 부착된 강성의 단일 미소 섬유(800)를 고려하여 상이한 동작 파라미터를 적용할 수 있다는 것을 이해할 수 있을 것이다. 일단 입자가 발견되면, 팁(810)은 표면(830)을 향해 이동되고 강성의 미소 섬유(800)는 도 8b에 일반적으로 도시된 바와 같이 탄성적으로 변형된다. 일 양태에서, 강성의 섬유(800)의 변형은 압축, 전단, 굽힘, 인장 또는 이들의 조합일 수 있으며, 또한 표면(830)으로부터 나노 입자(820)를 기계적으로 떼어 내는데 사용될 수 있다. 일단 나노 입자(820)가 떼어 내어지면, 강성의 미소 섬유(800), 기관(840) 및 나노 입자(820) 표면들 사이의 표면 에너지 및 영역 차이에 의해, 이후 나노 입자(820)가 기관 표면(830)으로부터 추출될 때, 나노 입자가 강성의 미소 섬유(800)에 접촉될지 여부가 지배된다.

[0106]

강성의 미소 섬유 나노 입자 세정 공정에 특유한, 이것의 예외는, 도 9a 내지 도 9c에 도시된 바와 같이, 2개 이상의 강성의 미소 섬유가 나노 입자 직경보다 더 작은 거리(그러나 전단 및 굽힘 계수 및 길이 대 폭의 비율에 의해 결정된 강성의 미소 섬유에 대한 탄성 변형 한계보다는 더 작지 않은 거리)에서 팁 표면에 강하게 부착될 때이다. 2개 이상의 강성의 미소 섬유(900a, 900b)가 나노 입자 직경보다 더 작은 거리에서 팁(910)에 부착되는 양태에 따라, 시퀀스는 도 8a 내지 도 8c를 참조하여 위에서 논의된 강성의 단일 미소 섬유와 매우 유사하다. 차이는 나노 입자(920) 주위에서 더 긴장되거나 변형된 강성의 미소 섬유(900a, 900b)가 존재한다는 관찰에서 시작하여, 도 9b에 일반적으로 도시된 바와 같이, 주어진 세정 시나리오에서 나노 입자(920)를 떼어 내는데 필요한 바로 그 방식(힘 및 인가되는 힘의 각도)으로 하나 이상의 강성의 미소 섬유(900a, 900b)가 나노 입자(920)에 충돌할 확률을 증가시킨다. 떼어 내는 단계 후에, 다중-미소 섬유 팁(910)은 입자(920)가 접촉(즉, 흡윤)되는 보다 많은 잠재적 표면적을 가질 수 있다. 팁(910)이 도 9c에 일반적으로 도시된 바와 같이, 기관으로부터 후퇴될 때, 미소 섬유의 길이와 간격이 정확한 범위 내에 있으면 다른 차이가 나타난다. 이러한 구성을 갖는 나노 입자(920)는 강성의 나노 미소 섬유(900a, 900b)들 사이의 공간 내에 기계적으로 갇혀 다중 미소 섬유(900a, 900b)에 대한 보다 큰 접착력을 초래할 수 있고, 기관 표면(930)으로부터 나노 입자(920)를 더 많이 추출할 수 있는 가능성을 가진다. 유사하게, 다른 표면 상에 나노 입자(920)를 적치하는 것이 요구되는 경우, 팁(910)은 표면에 다시 접근될 수 있고, 강성의 미소 섬유(900a, 900b)는 다시 응력을 받아 나노 입자(920)의 기계적 갇힘을 이완시켜서, 나노 입자(920)가 원하는 표면 위치에 적치될 확률을 증가시킨다. 앞서 언급한 바와 같이, 이것은 미소 섬유(900a, 900b)의 길이와 간격이 1차 모델에서 정확한 범위 내에 있다고 가정하고, 이들 범위는, (부서지지 않을 만큼 강한 나노 입자를 가정하여) 나노 입자(920)의 최소 폭보다 더 작지만, 본 발명을 고려하여 이 기술 분야에 통상의 지식을 가진 자라면 이해할 수 있는 바와 같이 미소 섬유(900a, 900b)가 (또한 미소 섬유 부착부의 접착 강도가 이 한계보다 더 작지 않다고 가정하여 미소 섬유의 상대 길이에 의해 결정되는) 전단 및 굽힘 강도 한계를 넘어 굴곡되지 않을 만큼 충분히 큰 미소 섬유 간격을 포함한다. 선택된 양태에서, 2개 이상의 강성의 미소 섬유는 상이한 및 동일하지 않은 길이를 가질 수 있다.

[0107]

강성의 미소 섬유가 (랩 미소 섬유와는 달리) 무엇인지를 정의하기 위해, 특정 물질 및 나노 구조에 대한 (유효 전단 계수 및 굽힘 계수와 관련된) 이방성 스프링 상수를 정의할 수 있어야 한다. 이것은 실제로 수행하기가 매우 어렵기 때문에, 상기 특성은 인장 탄성 계수(tensile elastic modulus)(예를 들어, 영(Young)의 탄성 계수로 알려진 것) 및 강도에 대략 비례한다는 것을 본 발명의 목적에서 가정된다. 인장 계수는 탄성(즉, 스프링과 같은) 기계적 성질을 나타내는 응력 범위 내에서 물질의 강성을 나타내는 척도이다. 이 인장 계수는 응력을 변형률(strain)로 나눈 값으로 주어지므로 응력과 동일한 단위를 나타낸다(변형률은 최종 치수 대 초기 치수의 변형 비율로 정의된다). 비록 이 인장 계수가 구체적으로 강성을 정의하지는 않지만, 미소 섬유는 자기 자신이 파손되지 않고 그리고 기관 표면에 추가적인 오염을 일으키지 않고 나노 입자를 떼어 내는데 충분한 힘을 가할 수 있어야 하므로 인장 강도도 또한 중요하다. 강도는 또한 응력 단위(Pascal)로 주어진다. 다이아몬드의 경우, 고유 인장 계수는 1.22 테라-파스칼(TPa) 정도이고, 인장 강도는 8.7에서 16.5 기가-파스칼(GPa) 범위에 이르고, 여기서 강성 및 강도에 대한 일반적인 기준 척도를 제공한다(0.5 TPa 또는 이 값을 초과하는 인장 탄성 계수의 텅스텐의 경우 이 값 내에 접근한다). 탄소 나노튜브들은 그 바로 특성상 진성 개체(intrinsic entity)가 아니기 때문에 이들의 인장 계수는 개별 분자와 그 특성(예를 들어, 단일 벽 또는 다중 벽을 갖는 각각 SWNT 또는 MWNT, 키랄성(chirality) 등)에 고유하다. SWNT의 경우 이들의 인장 탄성 계수는 1 내지 5 TPa 범위이며, 그 인장 강도는 13 내지 53 GPa일 수 있다. 이 범위에서 다른 종류의 물질과 비교하기 위해, B_xN_y (여러 화학 양론의 질화붕소 화합물)는 0.4 내지 0.9 TPa 범위의 인장 탄성 계수를 갖는다. 강성의 미소 섬유와 랩 미소 섬유 사이의 경계를 구별하고 한정하기 위해 가장 관련이 있고 적용 가능한 표준 기계적 물질 특성은 항복 응력이다. 강성의 미소 섬유는 본 명세서에서 항복 응력이 0.5 GPa ($1 \text{ GPa} = 1 \times 10^9 \text{ N/m}^2$) 이상인 임의의 물질로 정의된다.

따라서, 제거에 의해 0.5 GPa 미만의 항복 응력을 갖는 임의의 물질은 랩 미소 섬유로 고려될 수 있다. 특히 나노 규모에서, 많은 물질이 이방성 기계적 성질을 나타낼 수 있으므로 미소 섬유의 주 치수(즉, 가장 긴 치수)를 가로 지르는 전단 응력(또는 등가 굽힘 응력)에 대해 항복 응력이 제시되는 것이 중요하다는 것을 유의해야 한다.

[0108] 랩 미소 섬유는 강성의 미소 섬유와는 달리 충분히 높은 (유사한) 인장 강도를 갖는 훨씬 더 낮은 (여기서는 탄성 인장 계수로 제시된) 스프링 상수를 가질 것이다. 랩 미소 섬유의 경우, 적용 방식의 차이로 인해 인장력을 가하여 기관 표면으로부터 나노 입자를 떼어 내어 추출하기 때문에 인장 강도는 그 성능과 직접 관련된다. 그러나, 문헌에 인용된 대부분의 기계적 성질은 원리적으로 단일 분자 미소 섬유(또는 단일 분자 규모에 접근하는 나노 규모 미소 섬유)의 인장 특성과는 거의 완전히 관계 없는 벌크 물질에 대한 것임을 유의해야 한다. 예를 들어, PTFE는 통상 벌크 물질(0.5 GPa 및 아마도 각각 $\ll 20$ MPa)에서 매우 낮은 인장 탄성 계수 및 강도를 갖는 것으로 인용되지만, 분자의 백본은 탄소-탄소 sp-혼성 궤도 화학 결합으로 이루어지므로, 그 단일 분자 인장 강도는 다른 많은 물질, C-나노튜브 및 그래핀(이들 모두는 동일한 종류의 화학 결합을 포함한다)보다 다이아몬드와 더 유사하다. 벌크 물질의 기계적 특성은 이웃 분자와 상호 작용하는 단일 분자 가닥의 작용과 더 관련이 있기 때문에 이것은 응집 및 단일 분자 굽힘 및 전단 계수와 더 유사하다. 이러한 유형의 물질(중합체)은 소성 변형과 관련된 기계적 특성을 보여주기 때문에 그 분자들은 높은 유연성을 나타내는 보다 많은 확산 열적 거동에 따라 변형될 것으로 예상된다. 강성의 미소 섬유를 거시적으로 유리 조각에 비유(allegory)하는 경우, 랩 미소 섬유는 얇은 탄소 섬유에 비유할 수 있다(후자는 매크로 규모에서 높은 인장 강도를 가져서 매우 유연하게 보일 수 있다).

[0109] 도 10a 내지 도 10c는 본 발명의 일 양태에 따라, 정점에서 또는 정점 부근에서 AFM 팁(1010)에 부착된 랩 (유연한) 나노 미소 섬유(1000)를 사용하는 나노 입자 세정 시퀀스를 도시한다. 랩 유형 미소 섬유(1000)를 변형시키는데 요구되는 압축 응력이 없으므로, 미소 섬유(1000)를 단거리 표면 에너지 힘에 대해 나노 입자 표면에 충분히 가까이 가져가서 미소 섬유(1000)를 나노 입자 표면에 접촉하기 위해 팁(1010)은 표면(1030)에 가까이 가야 한다. 미소 섬유가 우선적으로 나노 입자 표면에 접촉되기 위해서는 미소 섬유(1000), 나노 입자(1020) 및 기관 표면(1030)의 상대적인 표면 에너지가 타깃화되어 있기 때문에, 미소 섬유(1000)가 주어진 미소 섬유 길이에서 충분히 느슨히 접촉하게 되면, 미소 섬유(1000)가 입자(1020) 주위를 감싸기 위해 단지 시간 및 적용된 교반 에너지(가능하게는 기계적 및/또는 열적 에너지)만이 요구된다. 보다 경질 팁으로부터 기계적 에너지(미소 섬유(1000)가 부착된 팁(1010)에 의해서든지 또는 이전의 처리 통과시 다른 팁에 의해서든지 상관없이)가 입자(1120)를 초기에 떼어 내는데 적용될 수 있다. 미소 섬유(1000)가 나노 입자(1020)를 충분히 감싸면, 일반적으로 도 10b에 도시된 바와 같이, 팁(1010)이 기관 표면(1030)으로부터 추출된다. 이 단계 동안, 미소 섬유(1000)가 나노 입자(1020)에 접촉되는 힘(미소 섬유가 나노 입자 주위를 더 많이 감싸고 얹힌 것이 향상된 것임), 미소 섬유(1000)의 인장 강도, 및 미소 섬유가 AFM 팁(1010)에 접촉된 힘이 모두 나노 입자(1020)가 기관(1040)에 접촉된 힘보다 크면, 나노 입자(1020)는 도 10c에 일반적으로 도시된 바와 같이 팁(1010)에 의해 기관(1040)으로부터 추출된다.

[0110] 랩 나노(또는 분자) 규모의 미소 섬유를 제조하는데 사용될 수 있는 가능한 물질의 일부 예는 RNA/DNA, 액틴(Actin), 아밀로이드(amyloid) 나노구조물 및 이오노머(Ionomer)를 포함한다. RNA(ribonucleic acid)와 DNA(deoxyribonucleic acid)는 유사한 화학물질, 준비 공정 및 취급 공정을 나타내므로 함께 설명된다. 최근에, DNA 분자들이 함께 결합되는 방식에 대한 정확한 화학적 공학을 제공하는 "DNA-오리가미(origami)"라고 구어체로 알려진 기술에 의해 상당한 발전이 있었다. 이들 또는 이와 유사한 화학물질에 적용되는 유사한 공정에 의해 긴 중합체 사슬 분자들이 대기열(queue)에서 분리되고 함께 결합될 수 있다고 믿어진다. 가장 일반적인 공정이 주어진 경우, 특정 DNA 서열이 화학적으로 생산되거나, 또는 잘 알려진 단일 가닥 바이러스 DNA 서열로부터 상업적으로 얻어질 수 있고, 적절히 화학적으로 작용화(chemically-functionalized)될 수 있다(예를 들어, 화학적 힘 현미경(Chemical Force Microscopy) 방법으로 수행된다). AFM 팁(1110)은 수용액에 침지되거나 또는 DNA 서열을 포함하는 표면에 AFM을 접촉시켜, DNA 서열이 설계된 바와 같이 결합하도록 한다. 그런 다음, 팁(1110)은 도 11a 내지 도 11d에 도시된 바와 같이, 기관 표면(1130)으로부터 입자를 제거하기 위해 작용화될 수 있다. 도면에서 왼쪽으로부터 오른쪽으로 이동하면서, 작용화된 팁(1110)은 도 11a에 도시된 바와 같이 입자(1120)와 기관 표면(1130) 부근으로 (DNA 가닥(1100)의 길이보다 더 가깝게) 접근하도록 이동되거나 작동될 수 있다. 팁(1110)이 도 11b에 도시된 바와 같이 떼어 내어진 입자(1120) 부근에 있는 동안 활성화 화학물질(또한 상업적으로 이용가능한 헬퍼 DNA 가닥 또는 마그네슘 염과 같은 일부 다른 이온 활성화제)에 더 높은 온도(아마도 $\sim 90^\circ\text{C}$)가 적용될 수 있다. 그런 다음, 환경은 (아마도 대략 20°C 까지) 냉각되어, 도 11c에 도시된 바와 같이 가닥(1100) 내의 타깃화된 서열이 결합될 수 있게 한다(결합 가닥(1100)들은 분자의 반대쪽 자유 단부들에 있다).

일단 DNA 코팅부(1100)가 나노 입자(1120)가 고정 부착된 지점까지 응고되면, 팁(1110)은 도 11d에 도시된 바와 같이 기판 표면(1130)으로부터 추출될 수 있다. 이러한 작은 규모에서는 나노 입자와 팁 사이의 결합을 기계적인 것으로 설명할 수 있지만, 입자가 분자 규모에 있다면, 이것은 입체 결합인 것으로 설명될 수도 있다. 입체 효과는 충분히 가까운 거리에서 원자 반발력에 의해 생성될 수 있다. 원자 또는 분자가 모든 가능한 확산 방향으로 원자에 의해 둘러싸여 있다면, 이 원자 또는 분자는 효과적으로 갇혀 있어서 환경 내 임의의 다른 원자 또는 분자와 화학적으로 또는 물리적으로 상호 작용할 수 없을 것이다. RNA는 본 발명을 고려하여 이 기술 분야에 통상의 지식을 가진 자라면 이해할 수 있는 바와 같이 유사하게 조작될 수 있다.

[0111] 그 다음 가능한 랩 나노 미소 섬유 후보는 진핵 세포에서 필라멘트를 형성하는 유사한 구형 다기능 단백질의 군(family)이며, 이 중 하나는 액틴으로 알려져 있다. 액틴은 비계(scaffolding), 고정(anchoring), 기계적 지지 및 결합을 위해 세포 내부에서 사용되며, 이는 이 액틴이 매우 적응성이 있고 충분히 강한 단백질 필라멘트라는 것을 나타낸다. 액틴은 위에 논의된 DNA-올리가미와 관련된 공정과 매우 유사한 방법으로 적용되고 사용될 수 있다. 실험에 따라 이 단백질은 6.7 x 4.0 x 3.7 nm 크기의 분자로 결정화될 수 있는 것을 보여준다.

[0112] 특정 해양 생물(따개비(barnacle), 조류(algae), 해양 편형동물(marine flatworm) 등)이 넓은 범위의 기질 물질에 강하게 결합할 수 있는 메커니즘에 대한 연구는 생체 모방적으로 (또는 직접) 다른 랩 미소 섬유 후보를 제공한다. 이 해양 생물은 흔히 DOPA(3,4-dihydroxyphenylalanine)라는 약어로 지칭되는 물질종을 분비하며 이는 기능성 아미로이드 나노 구조로 이 기질 표면에 결합한다. 아미로이드 분자의 접착 특성은 미소 섬유 축에 수직으로 배향되고 조밀한 수소 결합 네트워크를 통해 연결된 β -가닥에 기인한다. 이 네트워크는 수 천 개의 분자 단위에 걸쳐 종종 연속적으로 연장되는 초분자 β -시트(sheet)를 형성한다. 이와 같은 미소 섬유 나노 구조는 수중 접착력, 환경 악화에 대한 내성, 자가 중합으로 인한 자가 치유 및 큰 미소 섬유 표면적을 포함한 여러 잇점을 가지고 있다. 앞서 논의한 바와 같이, 큰 미소 섬유 표면 영역은 따개비의 접착 플라크(plaque)에서 접촉 영역을 증가시킴으로써 접착력을 향상시킨다. 아미로이드 나노 구조는 또한 일반적인 아미로이드 분자간 β -시트 구조와 관련된 응집 강도 및 아미로이드 코어(core) 외부의 접착 잔류물과 관련된 접착 강도와 같은 가능한 기계적 잇점을 갖는다. 이러한 특성으로 인해 아미로이드 구조는 광범위한 응용 분야에서 유망한 차세대 생체-기원 접착제(bio-inspired adhesive)의 기초가 된다. 분자 자가 조립의 사용의 발전으로 인해 나노 기술 응용을 위한 합성 아미로이드 및 아미로이드-유사 접착제를 생성할 수는 있었지만, 부분적으로 근본적인 생물학적 설계 원리를 이해하는데 한계가 있기 때문에 완전히 이성적인 설계를 아직 실험적으로 입증하지는 못했다.

[0113] 랩 미소 섬유 물질의 최종 예는 이오노머로 알려진 종류의 중합체이다. 간략히 말하면, 이들 이오노머는 분자 사슬을 따라 타깃화된 이온 대전된 부위에서 강하게 결합된 긴 열가소성 중합체 분자이다. 이오노머 화합물의 일반적인 예는 폴리(에틸렌-코-메타크릴산)이다. 본 발명의 일 양태에 따라, 이오노머는 주사 열 탐침의 표면에 작용화될 수 있다. 나노 입자를 세정하는 공정은 특히 주사 열 탐침과 함께 사용될 때 수성 환경이 반드시 요구되는 것은 아니라는 점을 제외하고는 앞서 논의된 DNA-올리가미 공정에 제시된 것과 매우 유사할 수 있다. 이오노머 작용화 코팅은 또한 수성 (또는 유사한 용매) 환경 내에서 바람직한 공액 결합을 위한 이온 계면 활성제와 쌍을 이룰 수 있다. 이러한 예들(특히 DNA/RNA 및 액틴)은 세포와 같은 살아있는 구조물 내부의 나노 미립자 개체를 제거하고 조작하는데 매우 생체 적합한 것으로 언급될 수 있다.

[0114] 예를 들어, 사용될 수 있는 하나의 변형은 고 표면 에너지 팁 코팅부를 사용하는 것을 포함한다. 다른 변형은 저 표면 에너지 물질로 입자를 전처리하여 입자를 분리시킨 다음, 입자를 (종종 다른 팁 상에 있는) 고 표면 에너지 팁 코팅부와 접촉시키는 것을 포함한다. 또 다른 변형은 팁 표면 코팅부와 입자 표면 사이에서 발생하는 화학 반응에 대응하는 화학 에너지 구배를 사용하여 이들 둘을 결합시키는 것을 포함한다. 이것은 팁이 소진되거나 일부 다른 처리에 의해 반전될 때까지 수행될 수 있다.

[0115] 본 발명의 또 다른 양태에 따라, 접착성 또는 점착성 코팅이 상기 나열된 인자들 중 하나 이상의 인자와 조합하여 사용된다. 또한, 표면 거칠기(roughness) 또는 작은 규모(예를 들어, 나노미터 규모)의 조직(texture)이 입자 세정 공정 효율을 최대화하기 위해 설계될 수 있다.

[0116] 상기에 더하여, 통상 팁(12)이 mop과 유사하게 입자(20)를 기계적으로 얹히게 할 수 있는 미소 섬유를 포함하는 경우 기계적 결합이 사용될 수 있다. 본 발명의 특정 양태에 따른 기계적 얹힘은 접촉 또는 환경에 따라 표면 에너지 또는 화학적 변화에 의해 유도되거나 및/또는 향상된다.

[0117] 본 발명의 또 다른 양태에 따라, 팁(12)은 분자 집게(즉, 분자 클립)로 코팅될 수 있다. 이들 집게는 이물질(예를 들어, 상기 논의된 입자(20))을 결합시킬 수 있는 개방 공동을 갖는 비고리형 화합물을 포함할 수 있다. 집게의 개방 공동은 통상 수소 결합, 금속 배위, 소수성 힘, 반 데르 발스 힘, π - π 상호 작용 및/또는 정전기

효과를 포함하는 비공유 결합을 사용하여 이물질을 결합시킨다. 이들 집게는 이물질 분자를 결합시키는 2개의 암이 통상 일 단부에만 연결된다는 것을 제외하고는 종종 거대 고리형 분자 수용체와 유사하다.

- [0118] 상기에 더하여, 입자(20)는 확산 결합 또는 카스미르(Casimir) 효과를 사용하여 틱에 의해 제거될 수 있다. 또한, 도 6에 도시된 본 발명의 양태에서와 같이, 모 또는 미소 섬유(30)는 틱(12)의 단부에 부착될 수 있다. 전략적으로 배치되었는지 또는 무작위적으로 배치되었는지 여부에 상관 없이, 이러한 모 또는 미소 섬유(30)는 여러 방법으로 국부적인 세정을 향상시킬 수 있다. 예를 들어, 관련된 표면적 증가는 입자에 대한 표면 (단거리) 결합을 위해 사용될 수 있다.
- [0119] 본 발명의 일부 양태에 따라, 미소 섬유(30)는 선택적으로 (예를 들어, 표면 또는 환경에 의해) 입자(20) 주위에 감겨 입자를 얹히게 하여 표면 접촉을 최대화하는 분자이도록 설계된다. 또한 통상 강성의 모(30)가 틱(12)에 부착될 때 본 발명의 특정 양태에 따라 입자(20)를 떼어 내는 일이 일어난다. 그러나, 미소 섬유(30)는 또한 입자(20)를 얹히게 하고 나서 입자를 끌어당김으로써 기계적으로 입자(20)를 떼어 낼 수 있다. 이와 달리, 상대적으로 경질 모(30)는 통상 틱(12)이 도달하기 어려운 틈 내로 연장될 수 있도록 한다. 그런 다음, 모(30)의 충돌 변형 능력에 의해, 틱(12)의 표면 변형에 의해 입자(20)를 반발하는 것에 의해, 또는 이들의 일부 조합에 의해, 입자(20)가 떼어 내어진다. 또한, 본 발명의 특정 양태는 입자(20)를 틱(12)에 기계적으로 결합시킨다. 미소 섬유가 틱(12) 상에 있을 때, 전체 또는 일부 풀어진 미소 섬유 중 하나 이상의 미소 섬유에 얹힘이 발생할 수 있다. 모가 틱(12) 상에 있을 때, 입자(20)는 (탄성적으로) 응력을 받는 모듈 사이에 끼워질 수 있다.
- [0120] 본 발명의 또 다른 양태에 따라, 잔해물 제거 방법은 국부적인 세정을 용이하게 하기 위해 환경을 변화시키는 단계를 포함한다. 예를 들어, 가스 또는 액체 매체가 도입되거나 화학물질 및/또는 물리적 특성(예를 들어, 압력, 온도 및 습도)이 변경될 수 있다.
- [0121] 위에서 논의된 구성 요소에 더하여, 본 발명의 특정 양태는 제거될 잔해물을 식별하는 이미지 인식 시스템을 포함한다. 그리하여, 자동 잔해물 제거 장치도 또한 본 발명의 범위 내에 있다.
- [0122] 본 발명의 특정 양태에 따라, 복잡한 형상의 내부 윤곽, 벽 및/또는 바닥에 원치 않는 손상을 피하기 위해 상대적으로 연질의 세정 틱을 사용한다. 적절할 경우 주사 속도를 또한 증가시키면서 상대적으로 연질의 틱을 표면에 훨씬 더 강하게 접촉시키기 위해 더 강한 힘이 사용된다.
- [0123] 또한, 저 표면 에너지 물질에 노출되거나 및/또는 이 저 표면 에너지 물질로 코팅된 틱이 나노미터 레벨 구조의 잔해물을 제거(세정)하는 것 이외의 다른 목적으로 사용될 수 있음을 알아야 한다. 예를 들어, 또한 이러한 틱은, 본 발명의 특정 양태에 따라, (MEMS/NEMS와 같은) 미크론 레벨 또는 더 작은 규모의 장치를 주기적으로 운환시켜 화학 반응을 억제시키는데 사용될 수 있다.
- [0124] 본 방법은 적용 요건에 따라 다양한 환경에서 수행될 수 있으며, 기관 표면으로부터 저 에너지 물질의 패치 또는 저장소로 입자를 차등적으로 접촉시키는 능력을 더욱 향상시키기 위해 수행될 수 있다. 이러한 환경은 진공, 다양한 조성 및 압력의 차폐 가스, 및 다양한 조성의 유체(다양한 이온 강도 및/또는 pH를 갖는 유체를 포함함)를 포함할 수 있지만 이들로 국한되지는 않는다.
- [0125] 기관, 틱, 잔해물 및 연질 패치 사이의 겹스 자유 에너지 구배에 영향을 미치는 많은 다른 인자들이 있기 때문에, 이들 다른 인자들이 또한 입자를 기관으로부터 연질 패치로 이동시키기 위해 다운-힐 구배를 생성하도록 조작될 수 있다. 하나의 인자는 온도이다. 원하는 온도 구배를 생성하기 위해 기관과 연질 패치 물질의 온도와 함께 주사 열 탐침을 사용할 수 있다. 겹스 자유 에너지에 대한 기본 방정식은 잔해물이 더 큰 상대 온도의 표면에 연속적으로 접촉하면 (방정식에서 $T \cdot S$ 항이 음수이므로) $\Delta G < 0$ 의 가능한 구동력을 제공할 수 있음을 나타낸다. 고온 하에서 변형된 로드(rod)의 ΔG 에 대한 방정식으로부터, 틱에 가해지는 응력이 잔해물 접촉을 잠재적으로 증가시킬 수 있어서 이 응력이 또 다른 인자인 것을 또한 볼 수 있다. 이것은 외부 하드웨어(즉, 상이한 열 팽창 계수를 갖는 생체 적합 물질 스트립)에 의해 또는 나노 가공 또는 틱 파손에 대한 임계치 미만으로 기관에 압축 또는 전단을 수행하는 것에 의해 달성될 수 있다. 틱 물질의 변형은 또한 특히 틱 물질이 거칠어지게 되는 (또는 나노-모로 덮이는) 경우 및/또는 틱 물질이 표면에 높은 미세 구조 결합(즉, 공극) 밀도를 갖는 경우에 잔해물을 기계적으로 간히게 하는 메커니즘을 제공할 수 있다. 논의되는 마지막 인자는 화학적 포텐셜 에너지이다. 틱 및/또는 연질 패치 표면의 화학적 상태를 변경하여 바람직한 화학 반응을 일으켜 잔해물 물질을 틱에 결합시킬 수 있다. 이러한 화학 결합은 특성상 공유 또는 이온 결합일 수 있다(sp^3 -혼성 궤도 공유 결합이 가장 강하다). 잔해물은 한 쌍의 화학 물질을 화학적으로 결합시키는 타깃화된 자물쇠-열쇠(lock-and-key) 중 하나의 구성 요소로 코팅될 수 있다. 틱(또는 다른 틱)은 다른 화학 물질로 코팅되고 나서 잔해물 표면과 접촉

하여 잔해물을 팁에 결합시킬 수 있다. 자물쇠-열쇠(lock-and-key) 쌍의 화학 물질 중 하나의 비 제한적인 예로는 화학적 힘 현미경(Chemical Force Microscopy: CFM) 실험에서 종종 사용되는 스트렙타비딘(streptavidin)과 비오틴(viotin)이다. 이온 결합을 사용하는 다른 예는 잔해물과 팁 표면에 있는 분자의 노출된 극성 단부(polar end)들이 반대 전하를 띠는 2개의 계면 활성제 극성 분자 화학 물질일 수 있다. 고갈된 용매화 및 입체-상호 작용 코팅 또는 표면을 포함하는 표면 화학적 상호 작용 접착 메커니즘에 대한 추가적인 관련 양태들이 있다. 팁 표면이 화학적으로 변하면 또한 표면 에너지에 타깃화된 변화가 발생할 뿐만 아니라 팁 표면이 잔해물을 둘러싸서 (표면 면적(dA)이 극대화되고) 기계적으로 감히게 하여 이 잔해물과 결합시킬 수 있는 위상이 (특히 유체로부터 고체로) 변할 수 있다. (팁 물질 표면에 대해서든 또는 일부 중간 코팅에 대해서든 상관없이) 이러한 화학적 변화는 열(온도), 자외선 및 대전 입자 빔과 같은 외부 에너지 소스에 의해 촉매될 수 있다.

[0126] 도 12 내지 도 38을 참조하여, 잔해물 검출 및 수집 시스템의 예시적인 양태를 이제 논의한다. 도 12는 본 발명의 일 양태에 따라 기관(18)으로부터 잔해물(20)을 추출하기 위한 잔해물 수집 장치(100)의 사시도를 도시한다. 장치(100)는 기관 지지 조립체(102)과 팁 지지 조립체(104)를 포함하며, 각각은 베이스(106)에 의해 지지되거나 베이스에 결합된다. 베이스(106)는 단일 금속 슬래브, 단일 석재 슬래브, 단일 콘크리트 슬래브 또는 이 기술 분야에 알려진 임의의 다른 단일 슬래브 구조일 수 있다. 대안적으로, 베이스(106)는 서로에 대해 고정된 복수의 슬래브를 포함할 수 있다. 복수의 슬래브는 금속 슬래브, 석재 슬래브, 콘크리트 슬래브, 이들의 조합, 또는 이 기술 분야에 알려진 임의의 다른 슬래브 조립체를 포함할 수 있다. 본 발명의 일 양태에 따라, 베이스(106)는 예를 들어, 단일 화강암 슬래브 또는 단일 대리석 슬래브와 같은 단일 석재 슬래브일 수 있다.

[0127] 기관 지지 조립체(102)는 기관(18)을 지지하거나 기관(18)을 기관 지지 조립체(102)에 고정하거나 이들 둘 모두를 수행하도록 구성된 고정구(108)를 포함할 수 있다. 기관 지지 조립체(102)는 베이스(106)에 대해 고정구(108)를 이동시키도록 구성된 기관 스테이지 조립체(110)를 더 포함할 수 있다. 기관 스테이지 조립체(110)는 선형 병진 스테이지, 회전 운동 스테이지, 이들의 조합 또는 이 기술 분야에 알려진 임의의 다른 운동 스테이지와 같은 하나 이상의 운동 스테이지를 포함할 수 있다. 예를 들어, 기관 스테이지 조립체(110)는 x-방향(112)을 따라 병진 운동, y-방향(114)을 따라 병진 운동, z-방향(116)을 따라 병진 운동, x-방향(112) 주위로 회전 운동, y-방향(114) 주위로 회전 운동, z-방향(116) 주위로 회전 운동 또는 이들의 조합으로 베이스(106)에 대해 고정구(108)를 이동시키도록 구성될 수 있다. x-방향(112), y-방향(114) 및 z-방향(116)은 서로 상호 직교할 수 있지만, x-방향(112), y-방향(114) 및 z-방향(116)은 반드시 서로 직교해야 할 필요는 없는 것으로 이해된다.

[0128] 기관 스테이지 조립체(110)의 하나 이상의 운동 스테이지는 고정구(108)와 베이스(106) 사이에서 원하는 상대 운동을 수행하도록 구성된 하나 이상의 액추에이터(118)를 포함할 수 있다. 예를 들어, 하나 이상의 액추에이터(118)는 나사산 형성된 로드 또는 웜 기어, 서보 모터를 통해 기관 스테이지 조립체(110)에 결합된 회전 모터, 자기장을 통해 기관 스테이지 조립체(110)에 힘을 가하도록 구성된 자기 액추에이터(magnetic actuator), 피스톤 로드를 통해 기관 스테이지 조립체(110)에 결합된 공압 또는 유압 피스톤, 압전 액추에이터, 또는 이 기술 분야에 알려진 임의의 다른 운동 액추에이터를 포함할 수 있다. 하나 이상의 액추에이터(118)는 베이스(106)에 고정될 수 있다.

[0129] 본 발명의 일 양태에 따라, 기관 스테이지 조립체(110)는 제1 스테이지(120)와 제2 스테이지(122)를 포함할 수 있고, 여기서 제1 스테이지(120)는 제1 액추에이터(124)를 통해 제2 스테이지(122)에 대해 고정구(108)를 이동시키도록 구성되고, 제2 스테이지는 제2 액추에이터(126)를 통해 베이스에 대해 제1 스테이지(120)를 이동시키도록 구성된다. 제1 액추에이터(124)는 x-방향(112)을 따라 제1 스테이지(120)를 병진 이동시키도록 구성될 수 있고, 제2 액추에이터(126)는 y-방향(114)을 따라 제2 스테이지(122)를 병진 이동시키도록 구성될 수 있다. 그러나, 제1 스테이지(120)와 제2 스테이지(122)는 다른 응용에 맞게 다른 축을 따라 병진 운동으로 또는 다른 축 주위로 회전 운동으로 베이스(106)에 대해 이동하도록 구성될 수 있다.

[0130] 팁 지지 조립체(104)는 팁 캔틸레버(132)를 통해 팁 스테이지 조립체(130)에 결합된 팁(12)을 포함할 수 있다. 팁(12)은 AFM 또는 주사 터널링 현미경(Scanning Tunneling Microscopy: STM)용 팁과 같은 주사 탐침 현미경(SPM) 팁일 수 있다. 도 12에 도시된 팁(12)은 본 명세서에서 앞서 논의된 팁 구조들 또는 속성들 중 임의의 것을 구현할 수 있는 것으로 이해된다. 따라서, 팁 스테이지 조립체(130)는 SPM 스캐너 조립체일 수 있다. 팁 스테이지 조립체(130)는 베이스(106)에 고정될 수 있고, x-방향(112)을 따라 병진 운동, y-방향(114)을 따라 병진 운동, z-방향(116)을 따라 병진 운동, x-방향(112) 주위로 회전 운동, y-방향(114) 주위로 회전 운동, z-방향(116) 주위로 회전 운동, 또는 이들의 조합으로 베이스(106)에 대해 팁(12)을 이동시키도록 구성된다.

[0131] 기관 스테이지 조립체(110)와 유사하게, 팁 스테이지 조립체(130)는 베이스(106)에 대해 팁(12)에 원하는 운동

을 수행하는 하나 이상의 액추에이터(134)를 포함할 수 있다. 본 발명의 일 양태에 따라, 하나 이상의 액추에이터는 제1 축 주위로 틱(12)을 회전시키기 위해 틱(12)에 동작가능하게 결합된 회전식 액추에이터 시스템을 포함할 수 있다. 본 발명의 일 양태에 따라, 하나 이상의 액추에이터(134)는 하나 이상의 압전 액추에이터를 포함할 수 있지만, 본 발명의 범위를 벗어나지 않는 한, 하나 이상의 액추에이터(134)에는 특정 응용의 요구를 충족시키기 위해 다른 액추에이터 구조가 사용될 수 있는 것으로 이해된다.

[0132] 기관 스테이지 조립체(110)는 틱 스테이지 조립체(130)에 의해 수행되는 운동보다 더 큰 크기 및 더 낮은 정밀도로 운동을 수행하도록 구성될 수 있다. 따라서, 기관 스테이지 조립체(110)는 고정구(108)와 틱(12) 사이에 대략적인 상대 운동을 수행하도록 맞춰질 수 있고, 틱 스테이지 조립체(130)는 고정구(108)와 틱(12) 사이에 보다 정밀한 상대 운동을 수행하도록 맞춰질 수 있다.

[0133] 일 양태에 따라, 도 12의 장치(100)는 기관 지지 조립체(102), 베이스(106) 또는 이들 둘 모두에 배치된 제1 패치(142)를 포함할 수 있다. 다른 양태에 따라, 도 13에 도시된 바와 같이, 장치(100)는 기관 지지 조립체(102), 베이스(106) 또는 이들 둘 모두에 배치된 제1 패치(142)와 제2 패치(144)를 포함할 수 있다. 제1 패치(142), 제2 패치(144) 또는 이들 둘 모두는 앞서 논의된 패치(14)의 구조, 물질 또는 속성 중 임의의 것을 구현할 수 있다. 본 발명의 일 양태에 따라, 제2 패치(144)는 제1 패치(142)의 것과 유사하거나 동일한 구조 및 물질을 구현할 수 있으며, 여기서 제2 패치(144)는 틱(12)을 통해 기관(18)으로부터 수집된 잔해물(20)을 수용하거나 유지하는데 주로 사용되고, 제1 패치는 기관(18)으로부터 잔해물(20)을 후속적으로 수집하기 위해 틱(12)을 처리하거나 준비하는데 주로 사용된다. 대안적으로, 기관(18)으로부터 잔해물(20)을 수집하기 전에 제1 패치(142)가 틱(12)을 처리하는데 더 잘 맞춰질 수 있도록 제2 패치(144)는 제1 패치(142)와는 상이한 구조 또는 물질을 구현할 수 있으며, 제2 패치(144)는 틱(12)을 통해 기관(18)으로부터 수집되고 제2 패치(144) 상에 적치된 잔해물(20)을 수용하고 유지하는데 더 잘 맞춰질 수 있다.

[0134] 일 양태에서, 제2 패치(144)는, 도 30 내지 도 37을 참조하여 더 상세히 설명된 바와 같이, 틱(12)으로부터 잔해물 또는 오염물을 수집하기 위해 수집 포켓 또는 수집 관통 구멍으로 구성될 수 있다. 그러나, 제1 패치(142) 또는 제2 패치(144) 중 어느 하나를 사용하여, 기관(18)으로부터 잔해물(20)을 수집하기 전에 틱(12)을 처리하고, 또 틱(12)을 사용하여 기관(18)으로부터 수집된 잔해물(20)을 수용하고 유지할 수 있는 것으로 이해된다. 도 13에 도시된 바와 같이, 제2 패치(144)는 제1 패치(142)와 반대쪽 제1 스테이지(120)에 배치되거나 장착될 수 있다. 그러나, 제2 패치(144)는 제1 패치(142)에 인접하게 위치되거나, 또는 제1 스테이지(120)의 임의의 다른 위치 또는 잔해물 수집 장치(100) 상에 위치되어, 수집 포켓 또는 수집 관통 구멍으로 구성될 때 잔해물의 포획을 촉진할 수 있다.

[0135] 본 발명의 양태에 따라, 도 14에 도시된 바와 같이, 도 12 또는 도 13의 잔해물 수집 장치(100)로부터 기관 스테이지 조립체용 액추에이터(118) 및 틱 스테이지 조립체용 액추에이터(134) 각각 또는 모두는 제어를 위해 제어기(136)에 동작가능하게 각각 결합될 수 있다. 따라서, 제어기(136)는 액추에이터(118, 134)의 제어를 통해 고정구(108)와 베이스(106) 및 틱(12)과 베이스(106) 사이의 상대 운동을 각각 수행할 수 있다. 이어서, 제어기(136)는 액추에이터(118, 134)의 제어를 통해 틱(12)과 고정구(108) 사이의 상대 운동을 수행할 수 있다.

[0136] 또한, 제어기(136)는 수동 사용자 입력(138), 제어기(136)의 메모리(140)에 미리 프로그래밍된 절차 또는 알고리즘, 이들의 조합 또는 이 기술 분야에 알려진 임의의 다른 제어 입력에 응답하여 고정구(108)와 베이스(106) 사이의 상대 운동을 수행할 수 있다. 제어기(136)를 위한 미리 프로그래밍된 제어 알고리즘은 페-루프 알고리즘, 개-루프 알고리즘, 또는 이들 둘 모두를 포함할 수 있는 것으로 이해된다.

[0137] 도 15는, 본 발명의 일 양태에 따라, 기관(18)으로부터 잔해물(10)을 추출하고 잔해물(20)의 특성을 분석하는 잔해물 수집 및 계측 장치(200)의 사시도를 도시한다. 도 12의 잔해물 수집 장치(100)와 유사하게, 잔해물 수집 및 계측 장치(200)는 기관 지지 조립체(102), 틱 지지 조립체(104) 및 베이스(106)를 포함한다. 그러나, 잔해물 수집 및 계측 장치(200)는 계측 시스템(202)을 더 포함한다. 본 발명의 양태에 따라, 계측 시스템(202)은 나노 규모 계측 시스템일 수 있다.

[0138] 계측 시스템(202)은 에너지 소스(204)와 에너지 검출기(206)를 포함할 수 있다. 에너지 소스(204)는 x-선 소스, 가시광 소스, 적외선 광 소스, 자외선 광 소스, 전자 빔 소스, 레이저 소스, 이들의 조합, 또는 이 기술 분야에 알려진 임의의 다른 전자기 에너지 소스일 수 있다. 가시광 소스는 가시광 레이저를 포함할 수 있고, 적외선 광 소스는 적외선 레이저를 포함할 수 있고, 자외선 광 소스는 자외선 레이저를 포함할 수 있는 것으로 이해된다.

[0139] 에너지 소스(204)에 의해 생성된 입사 에너지 빔(208)이 틱(12)으로 입사하도록 에너지 소스(204)는 틱(12)을

향하여 지향되고 트레이닝(trained)될 수 있다. 입사 에너지 빔(208)의 적어도 일부는 팁(12) 또는 팁(12) 상에 배치된 잔해물(20)에 의해 반사, 굴절 또는 흡수 및 재 방출될 수 있다. 본 발명의 일 양태에 따라, 에너지 소스(204)는 입사 방사선을 팁(12), 예를 들어, SPM 팁으로 지향시키도록 구성되거나 배열된 방사선 소스일 수 있고, 에너지 검출기(206)는 팁(12)으로부터 샘플 방사선을 수신하도록 구성되고 배열된 방사선 검출기일 수 있으며, 여기서 샘플 방사선은 입사 방사선이 인가되고 나서, 팁(12) 또는 팁(12) 상에 배치된 잔해물(20)에 의해 반사, 굴절, 또는 흡수 및 재 방출된 결과 생성된 것이다.

[0140] 또한 샘플 에너지 빔(210)이 에너지 검출기(206)에 입사하도록 에너지 검출기(206)는 팁(12)을 향하여 지향되고 트레이닝될 수 있다. 샘플 에너지 빔(210)은, 예를 들어, 팁(12) 또는 팁(12) 상에 배치된 잔해물(20)에 의해 반사되거나, 팁(12) 또는 팁(12) 상에 배치된 잔해물(20)에 의해 굴절되거나, 팁(12) 또는 팁(12) 상에 배치된 잔해물(20)에 의해 흡수 및 재 방출된 입사 에너지 빔으로부터, 또는 이들의 조합에 의해 야기되는 입사 에너지 빔(208)으로부터, 또는 입사 에너지 빔(208)과 팁(12) 또는 팁(12) 상에 배치된 잔해물(20) 사이의 상호 작용에 기인할 수 있는 임의의 다른 에너지 빔으로부터 오는 기여를 포함할 수 있다. 따라서, 에너지 검출기(206)는 예를 들어 광전자 증배관 또는 포토다이오드와 같은 광 검출기, 예를 들어, x-선 검출기; 전자 빔 검출기; 이들의 조합; 또는 이 기술에 알려진 임의의 다른 전자기 방사선 검출기일 수 있다.

[0141] 본 발명의 일 양태에 따라, 에너지 소스(204)는 전자 빔 소스를 포함하고, 에너지 검출기(206)는 x-선 검출기를 포함한다. 본 발명의 다른 양태에 따라, 에너지 소스(204)는 x-선 소스를 포함하고, 에너지 검출기(206)는 전자 빔 검출기를 포함한다. 본 발명의 또 다른 양태에 따라, 에너지 소스(204)는 가시광과 적외선을 포함하지만 이에 국한되지 않는 광 소스를 포함한다.

[0142] 에너지 검출기(206)는 샘플 에너지 빔(210)의 세기, 샘플 에너지 빔(210)의 주파수, 이들의 조합, 또는 이 기술 분야에 알려진 샘플 에너지 빔(210)의 임의의 다른 전자기 복사 특성에 기초하여 출력 신호를 생성하도록 구성될 수 있다. 또한, 본 발명의 양태에 따라, 도 16에 도시된 바와 같이 제어기(136)는 샘플 에너지 빔에 응답하여 에너지 검출기(206)로부터의 출력 신호를 수신하도록 에너지 검출기(206)는 제어기(136)에 결합될 수 있다. 따라서, 후술된 바와 같이, 제어기(136)는, 샘플 에너지 빔(210)에 응답하여 에너지 검출기(206)로부터의 출력 신호를 분석하고, 팁(12) 또는 팁(12) 상에 배치된 잔해물(20)의 하나 이상의 물질 속성을 식별하도록 구성될 수 있다. 선택적으로, 제어기(136)가 입사 에너지 빔(208)의 강도, 입사 에너지 빔(208)의 주파수, 또는 이들 둘 모두를 포함하지만 이에 국한되지 않는, 에너지 소스(204)에 의해 생성된 입사 에너지 빔(208)의 속성을 제어할 수 있도록 에너지 소스(204)는 도 16의 제어기(136)에 동작가능하게 결합될 수 있다. 일 양태에서, 에너지 소스(204), 샘플 에너지 빔(210) 및/또는 에너지 검출기(206)의 방향은 에너지 검출기(206)로부터의 출력 신호에 응답하여 조정될 수 있다.

[0143] 본 발명의 일 양태에 따라, 제어기(136)는 하나 이상의 액추에이터(134)와 에너지 검출기(206)를 포함하는 액추에이터 시스템에 동작가능하게 결합될 수 있으며, 제어기(136)는 샘플 에너지 빔(210)과 같은 샘플 방사선에 대한 에너지 검출기의 제1 응답에 기초하여 제1 신호를 수신하도록 구성되고, 제1 신호에 기초하여 하나 이상의 액추에이터(134)를 통해 팁(12)과 적어도 하나의 에너지 검출기(206) 사이의 상대 운동을 수행하도록 구성된다. 일 양태에서, 제어기(136)는, 샘플 방사선에 대한 방사선 검출기의 제1 응답에 기초하여 샘플 방사선의 제1 주파수 영역 스펙트럼을 생성하고, 제1 주파수 영역 스펙트럼으로부터 배경 주파수 영역 스펙트럼을 감산함으로써 제2 주파수 영역 스펙트럼을 생성하도록 구성될 수 있다. 제2 주파수 영역 스펙트럼에 응답하여, 제어기(136)는 하나 이상의 액추에이터(134)를 통해 에너지 소스(204)와 에너지 검출기(206) 중 적어도 하나와 팁(12) 사이의 상대 운동을 수행할 수 있다. 일 양태에서, 팁(12)에 오염물이 없거나 실질적으로 오염물이 없을 때 제어기(136)는 팁(12) 상의 에너지 검출기(206)의 응답에 기초하여 배경 주파수 영역 스펙트럼을 생성하도록 더 구성될 수 있다. 일 양태에서, 제어기(136)는 샘플 방사선에 대한 에너지 검출기(206)의 제2 응답에 기초하여 제2 신호를 수신하도록 구성될 수 있으며, 제어기(136)는 제1 신호와 제2 신호 간의 차이에 기초하여 하나 이상의 액추에이터(134)를 통해 에너지 검출기(206)와 에너지 소스(204) 중 적어도 하나와 팁(12) 사이의 상대 운동을 수행시키도록 구성될 수 있다. 일 양태에서, 제어기(136)는 제1 신호와 제2 신호 간의 차이에 기초하여 에너지 검출기(206)와 에너지 소스(204) 중 적어도 하나와 팁(12) 사이의 상대 운동의 크기를 생성하도록 구성된다.

[0144] 이제 도 17a, 도 17b, 도 18a 및 도 18b를 참조하면, 도 17a 및 도 18a는 본 발명의 양태에 따른 잔해물 수집 및 계측 장치(250)의 상면도를 도시하고, 도 17b 및 도 18b는 잔해물 수집 및 계측 장치(250)의 측면도를 도시하는 것으로 이해된다. 도 15 및 도 16에 각각 도시된 잔해물 수집 및 계측 장치(200)와 유사하게, 이 잔해물 수집 및 계측 장치(250)는 기관 지지 조립체(102), 팁 지지 조립체(104), 베이스(106), 및 계측 시스템(202)을 포함할 수 있다. 그러나, 잔해물 수집 및 계측 장치(250)에서, 에너지 소스(204)와 에너지 검출기(206) 각각은

팁(12) 대신에 패치(252)를 향해 지향되고 트레이닝될 수 있다.

[0145] 패치(252)는 앞서 논의된 제1 패치(142) 또는 제2 패치(144)의 구조 또는 속성 중 임의의 것을 구현할 수 있거나, 패치(252)는 도 30 내지 도 37을 참조하여 더 상세히 설명된 바와 같이, 팁(12)으로부터 잔해물 또는 오염물을 수집하기 위해 수집 포켓 또는 수집 관통 구멍을 포함하거나 이로 구성될 수 있다. 따라서, 잔해물 수집 및 계측 장치(250)는 계측 시스템(202)을 사용하여 패치(252), 패치(252) 상에 배치된 잔해물(20) 또는 이들의 조합의 물질 특성을 분석하도록 구성될 수 있다.

[0146] 기관 스테이지 조립체(110), 팁 스테이지 조립체(130) 또는 이들 둘 모두의 작동 및/또는 조정은 잔해물 수집 및 계측 장치(250)를 사용하여 적어도 3개의 절차를 수행할 수 있다. 제1 절차 동안, 기관 스테이지 조립체(110), 팁 스테이지 조립체(130) 또는 이들 둘 모두의 작동 및/또는 이동은 고정구(108) 상에 배치된 기관(18)과 팁(12) 사이를 접촉시켜, 잔해물(20)이 기관(18)으로부터 팁(12)으로 전달되게 한다. 제2 절차 동안, 기관 스테이지 조립체(110), 팁 스테이지 조립체(130) 또는 이들 둘 모두의 작동 및/또는 이동은 팁(12)과 패치(252) 사이를 접촉시켜 팁(12)으로부터 패치(252)로 잔해물(20)을 전달한다. 제3 절차 동안, 기관 스테이지 조립체(110)의 작동 및/또는 이동은 에너지 소스(204)와 에너지 검출기(206) 각각을 패치(252) 상으로 지향시키고 트레이닝하여, 에너지 소스(204)로부터 입사 에너지 빔(208)을 패치(252)로 입사시키고, 패치(252)로부터 나오는 샘플 에너지 빔(210)을 에너지 검출기(206)로 입사시킨다.

[0147] 도 18a 및 도 18b에 도시된 바와 같이, 제어기(136)가 샘플 에너지 빔에 응답하여 에너지 검출기(206)로부터 출력 신호를 수신하도록 에너지 검출기(206)는 제어기(136)에 결합될 수 있다. 따라서, 후술되는 바와 같이, 제어기(136)는, 샘플 에너지 빔(210)에 응답하여 에너지 검출기(206)로부터의 출력 신호를 분석하고, 패치(252) 또는 패치(252) 상에 배치된 잔해물(20)의 하나 이상의 물질 속성을 식별하도록 구성될 수 있다. 선택적으로, 제어기(136)는 입사 에너지 빔(208)의 세기, 입사 에너지 빔(208)의 주파수, 또는 이들 둘 모두를 포함하지만 이로 국한되지 않는, 에너지 소스(204)에 의해 생성된 입사 에너지 빔(208)의 속성을 제어할 수 있도록 에너지 소스(204)는 도 18a 및 도 18b의 제어기(136)에 동작가능하게 결합될 수 있다. 일 양태에서, 에너지 소스(204), 샘플 에너지 빔(210) 및/또는 에너지 검출기(206)의 방향은 에너지 검출기(206)로부터의 출력 신호에 응답하여 조정될 수 있다.

[0148] 이제 도 19a, 도 19b, 도 20a 및 도 20b를 참조하면, 도 19a 및 도 20a는 본 발명의 양태에 따른 잔해물 수집 및 계측 장치(250)의 상면도이고, 도 19b 및 도 20b는 잔해물 수집 및 계측 장치(250)의 측면도를 도시하는 것으로 이해된다. 도 17a, 도 17b, 도 18a 및 도 18b의 잔해물 수집 및 계측 장치(250)와 유사하게, 잔해물 수집 및 계측 장치(250)는 기관 지지 조립체(102), 팁 지지 조립체(104), 베이스(106), 계측 시스템(202), 에너지 소스(204) 및 에너지 검출기(206)를 포함할 수 있다. 도 17a, 도 17b, 도 18a 및 도 18b의 잔해물 수집 및 계측 장치(250)는 제1 패치(252)와 제2 패치(254)를 더 포함할 수 있다. 일 양태에서, 제1 패치(252)와 제2 패치(254)는 기관(18)의 반대쪽 측면들 상에 배치되고 고정구(108)에 장착될 수 있다. 에너지 소스(204)와 에너지 검출기(206) 각각은 제1 패치(252)와 제2 패치(254) 중 적어도 하나를 향하고 트레이닝될 수 있다. 제1 패치(252)와 제2 패치(254)는 앞서 논의된 구조 또는 속성 중 임의의 것을 구현할 수 있다. 추가적으로 또는 대안적으로, 제1 패치(252)와 제2 패치(254)는 도 30 내지 도 37을 참조하여 더 상세히 설명된 바와 같이, 팁(12)으로부터 잔해물 또는 오염물을 수집하기 위해 수집 포켓 또는 수집 관통 구멍을 포함하거나 이로 구성될 수 있다. 예를 들어, 잔해물 수집 및 계측 장치(250), 에너지 소스(204) 및 에너지 검출기(206)는 각각 계측 시스템(202)을 사용하여 수집 포켓 또는 수집 관통 구멍으로 수집된 잔해물 또는 오염물(20)의 물질 특성을 분석하기 위해 수집 포켓 또는 수집 관통 구멍을 향하여 지향될 수 있다.

[0149] 기관 스테이지 조립체(110), 팁 스테이지 조립체(130) 또는 이들 둘 모두의 작동 및/또는 조정은 잔해물 수집 및 계측 장치(250)를 사용하여 적어도 3개의 절차를 수행할 수 있다. 본 발명의 양태에 따라 잔해물은 기관(18)으로부터 제거될 수 있으며, 이하에서 더 상세히 설명된 바와 같이 수집 포켓 또는 수집 관통 구멍을 사용하여 수집될 수 있다. 수집 포켓 또는 수집 관통 구멍은 제1 패치(252)와 제2 패치(254)의 일부이거나, 제1 패치(252)와 제2 패치(254)의 위치에 장착되거나 위치될 수 있다.

[0150] 제1 절차 동안, 기관 스테이지 조립체(110), 팁 스테이지 조립체(130) 또는 이들 둘 모두의 작동 및/또는 이동은 고정구(108) 상에 배치된 기관(18)과 팁(12) 사이를 접촉시켜 잔해물(20)이 기관(18)으로부터 팁(12)으로 이동되게 한다. 제2 절차 동안, 기관 스테이지 조립체(110), 팁 스테이지 조립체(130) 또는 이들 둘 모두의 작동 및/또는 이동은 제1 패치(252)의 수집 포켓 또는 수집 관통 구멍과 팁(12) 사이를 접촉시켜 잔해물(20)을 팁(12)으로부터 제1 패치(252)의 수집 포켓 또는 수집 관통 구멍으로 전달한다. 일 양태에서, 제1 패치(252)의 수

집 포켓 또는 수집 관통 구멍에 대한 팁(12)의 작동 및/또는 이동은 도 33 및 도 34를 참조하여 이하에서 더 상세히 설명된 바와 같이 미리 결정된 궤적을 따라갈 수 있다. 제3 절차 동안, 기관 스테이지 조립체(110)의 작동 및/또는 이동은 에너지 소스(204)와 에너지 검출기(206) 각각을 제1 패치(252)의 수집 관통 구멍 상으로 지향시키고 트레이닝하여, 에너지 소스(204)로부터의 입사 에너지 빔(208)을 패치(252)로 입사시키고, 패치(252)로부터 나오는 샘플 에너지 빔(210)을 에너지 검출기(206)로 입사시킨다.

[0151] 도 20a 및 도 20b를 참조하면, 제어기(136)가 샘플 에너지 빔에 응답하여 에너지 검출기(206)로부터 출력 신호를 수신하도록 에너지 검출기(206)는 제어기(136)에 결합될 수 있다. 제어기(136)는, 샘플 에너지 빔(210)에 응답하여 에너지 검출기(206)로부터의 출력 신호를 분석하고, 제1 패치(252)의 수집 포켓 또는 수집 관통 구멍 또는 제1 패치(252)의 수집 포켓 또는 수집 관통 구멍에 배치된 잔해물의 하나 이상의 물질 속성을 식별하도록 구성될 수 있다. 선택적으로, 제어기(136)는 입사 에너지 빔(208)의 세기, 입사 에너지 빔(208)의 주파수, 또는 이들 둘 모두를 포함하지만 이들로 국한되지 않는, 에너지 소스(204)에 의해 생성된 입사 에너지 빔(208)의 속성을 제어할 수 있도록 에너지 소스(204)는 도 20a 및 도 20b의 제어기(136)에 동작가능하게 결합될 수 있다. 일 양태에서, 에너지 소스(204), 샘플 에너지 빔(210) 및/또는 에너지 검출기(206)의 방향은 에너지 검출기(206)로부터의 출력 신호에 응답하여 조정될 수 있다.

[0152] 이제 도 21a 및 도 21b를 참조하면, 도 21a는 본 발명의 일 양태에 따른 잔해물 수집 및 계측 장치(260)의 상면도를 도시하고, 도 21b는 본 발명의 일 양태에 따른 잔해물 수집 및 계측 장치(260)의 측면도를 도시하는 것으로 이해된다. 도 15 내지 도 20에 도시된 잔해물 수집 및 계측 장치(200 및 250)와 유사하게, 이 잔해물 수집 및 계측 장치(260)는 기관 지지 조립체(102), 팁 지지 조립체(104), 베이스(106) 및 계측 시스템(202)을 포함한다. 그러나, 잔해물 수집 및 계측 장치(260)에서, 팁 지지 조립체(104)는 로봇(262)을 더 포함한다.

[0153] 로봇(262)은 모터(264)와 로봇 암(266)을 포함할 수 있다. 모터(264)의 동작이 팁(12)과 베이스(106) 사이에 상대 운동을 수행하도록, 로봇 암(266)의 근위 단부는 모터(264)를 통해 베이스(106)에 동작가능하게 결합될 수 있고, 팁 스테이지 조립체(130)는 로봇 암(266)의 원위 단부에 동작가능하게 결합될 수 있다. 본 발명의 일 양태에 따라 모터(264)의 동작은 로봇(262)의 회전축(268) 주위로 베이스(106)에 대해 팁(12)을 회전시키는 운동을 수행한다.

[0154] 계측 시스템(202)은 패치(252)를 포함하고, 패치(252)를 지지하는 계측 스테이지 조립체(270)를 포함할 수 있다. 대안적으로, 패치(252)는 계측 스테이지 조립체(270)가 없는 경우 베이스(106) 상에 직접 지지되거나 또는 베이스(106)에 의해 지지될 수 있다. 계측 스테이지 조립체(270)는 x-방향(112)을 따라 병진 운동, y-방향(114)을 따라 병진 운동, z-방향(116)을 따라 병진 운동, x-방향(112) 주위로 회전 운동, y-방향(114) 주위로 회전 운동, z-방향(116) 주위로 회전 운동, 이들의 조합, 또는 이 기술 분야에 알려진 임의의 다른 상대 운동으로 패치(252)와 베이스(106) 사이의 상대 운동을 수행하도록 구성될 수 있다. 또한, 계측 스테이지 조립체(270)는 기관 스테이지 조립체(110), 팁 스테이지 조립체(130) 또는 이들 둘 모두에 대해 앞서 설명된 구조 또는 속성 중 임의의 것을 구현할 수 있다.

[0155] 도 21a 및 도 21b에서, 로봇 암(266)이 제1 위치에 위치되어 팁(12)이 고정구(108)에 근접하여 위치된다. 로봇 암(266)이 제1 위치에 위치될 때, 기관 스테이지 조립체(110), 팁 스테이지 조립체(130), 또는 이들 둘 모두의 운동은 고정구(108)에 장착된 기관(18)과 팁(12) 사이에 접촉을 수행하기에 충분하다. 따라서, 로봇 암(266)이 제1 위치에 위치될 때, 잔해물 수집 및 계측 장치(260)는 잔해물(20)을 기관(18)으로부터 팁(12)으로 전달할 수 있다.

[0156] 도 22a 및 도 22b에서, 로봇 암(266)은 제2 위치에 위치되어 팁(12)이 계측 시스템(202)에 근접하여 위치된다. 로봇 암(266)이 제2 위치에 위치될 때, 팁 스테이지 조립체(130)의 운동 또는 팁 스테이지 조립체(130)와 계측 스테이지 조립체(270)의 결합된 운동이 패치(252)와 팁(12) 사이에 접촉을 수행하기에 충분하다. 따라서, 로봇 암(266)이 제2 위치에 위치될 때, 잔해물 수집 및 계측 장치(270)는 잔해물(20)을 팁(12)으로부터 패치(252)로 전달할 수 있다. 본 발명의 일 양태에 따라, 패치(252)는 도 30 내지 도 37을 참조하여 더욱 상세히 설명된 바와 같이 팁(12)으로부터 잔해물 또는 오염물을 수집하기 위해 수집 포켓 또는 수집 관통 구멍을 포함하거나 이로 구성될 수 있다. 도 21a 및 도 21b에는 도시되지 않았지만, 잔해물 수집 및 계측 장치(270)는, 도 17a 및 도 17b에 도시된 것과 유사하거나 동일한 패치(252)를 향하여 지향되거나 트레이닝된 에너지 소스(204)와 에너지 검출기(206)를 포함하여, 패치(252), 패치(252) 상에 배치된 잔해물(20), 또는 이들 둘 모두에 대한 계측 분석을 수행할 수 있다.

[0157] 본 발명의 일 양태에 따라, 잔해물 수집 및 계측 장치(260)에서 로봇(262), 기관 스테이지 조립체(110), 팁 스

테이지 조립체(130) 및 계측 스테이지 조립체(270) 중 임의의 하나 이상이, 제어를 위해 제어기(136)에 동작가능하게 결합될 수 있다. 따라서, 제어기(136)는 로봇(262)을 작동시켜 도 21a 및 도 21b에 도시된 전술된 제1 위치와 도 22a 및 도 22b에 도시된 제2 위치 간에 구성을 스위칭하도록 구성될 수 있다.

[0158] 이제 도 23a 및 도 23b를 참조하면, 도 23a는 본 발명의 일 양태에 따른 팁 지지 조립체(104)의 저면도를 도시하고, 도 23b는 본 발명의 일 양태에 따른 절단 선(23B-23B)을 따라 절단된 팁 지지 조립체(104)의 부분 측단면도를 도시하는 것으로 이해된다. 도 23a 및 도 23b에 도시된 팁 지지 조립체(104)는 도 21a, 도 21b, 도 22a 및 도 22b에 도시된 바와 같이, 로봇 암(266)에 통합하기에 특히 적합할 수 있다. 그러나, 팁 지지 조립체(104)는 본 발명을 고려하여 이 기술 분야에 통상의 지식을 가진 자라면 이해할 수 있는 바와 같이, 특정 요구를 만족시키기 위해 다른 잔해물 수집 및/또는 계측 시스템에 유리하게 통합될 수 있는 것으로 이해된다.

[0159] 도 23a 및 도 23b에 도시된 팁 지지 조립체(104)는 z-액추에이터(280), 카메라(282) 또는 이들 둘 모두를 포함하지만, 팁 지지 조립체(104)는 x-방향(112) 또는 y-방향(114)으로 병진 운동, 및 x-방향(112), y-방향(114) 및 z-방향(116) 중 임의의 방향 주위로 회전 운동을 수행하는 수단을 포함하나 이로 국한되지 않는, 팁 지지 조립체를 위해 앞서 논의된 임의의 다른 구조 또는 속성을 구현할 수 있는 것으로 이해된다.

[0160] z-액추에이터(280)의 근위 단부는 로봇 암(266)에 동작가능하게 결합될 수 있고, z-액추에이터(280)의 원위 단부는 팁 캔틸레버(132)를 통해 팁(12), 카메라(282) 또는 이들 둘 모두에 동작가능하게 결합될 수 있다. 따라서, z-액추에이터(280)의 동작은 z-방향(116)을 따라 팁(12), 카메라(282) 또는 이들 둘 모두 사이의 상대 운동을 수행한다. z-액추에이터(280)는 회전 모터와 나사 구조물, 선형 서보 모터 구조물, 공압 또는 유압 피스톤 구조물, 압전 구조물, 또는 이 기술 분야에 알려진 임의의 다른 선형 액추에이터 구조물을 포함할 수 있다.

[0161] z-액추에이터(280)는 로봇 암(266)과 팁(12), 카메라(282) 또는 이들 둘 모두 사이의 상대 운동을 제어하기 위해 제어기(136)에 동작가능하게 결합될 수 있는 것으로 이해된다. 또한, 팁(12)에 근접한 기관의 이미지를, 사용자 디스플레이, 팁(12)을 제어하기 위한 머신 비전 알고리즘, 또는 이들 둘 모두에 제공하기 위해 카메라(282)가 제어기(136)에 결합될 수 있다.

[0162] 이제 도 24a 및 도 24b를 참조하면, 도 24a는 도 15 내지 도 20을 참조하여 앞서 설명된 계측 시스템(202)과 동일하거나 유사한 것일 수 있는 계측 시스템(202)의 저면도를 도시하는 것으로 이해되지만, 이 기술 분야에 통상의 지식을 가진 자라면 도 24a 및 도 24b의 계측 시스템(202)은 적어도 하나의 팁(12), 팁 스테이지 조립체(13), 에너지 소스(204) 및 에너지 검출기(206)를 포함하는 다른 시스템을 나타낼 수 있다는 것을 이해할 수 있을 것이다. 도 24b는 본 발명의 일 양태에 따른 계측 시스템(202)의 측면도를 도시한다. 도 24a 및 도 24b에 도시된 계측 시스템(202)의 구조는 계측 절차가 팁(12)에 직접 수행되거나, 팁(12) 상에 배치된 잔해물(20)에 수행되거나 또는 이들 둘 모두에 수행되는 도 15 및 도 16에 도시된 잔해물 수집 및 계측 장치(200)에 적용될 수 있다. 그러나, 도 24a 및 도 24b에 도시된 계측 시스템(202)은 다른 계측 시스템 및 장치에 유리하게 적용될 수 있는 것으로 이해된다. 일 양태에서, 도 24a 및 도 24b에 도시된 특정 팁(12)은 사면체형 형상을 포함할 수 있다. 도 24a 및 도 24b에 도시된 바와 같이 사면체형 형상을 갖는 팁(12)은 잔해물(20)이 전혀 없다. 따라서, 계측 시스템(202)은 팁(12)에 부착된 잔해물(20)이 전혀 없어 팁(12)의 속성을 분석하는데 사용될 수 있다.

[0163] 에너지 소스(204)에 의해 생성된 입사 에너지 빔(208)이 팁(12)에 입사하도록 에너지 소스(204)는 팁(12)을 향하여 지향되고 트레이닝될 수 있고, 팁(12)에 입사하는 에너지 빔(208)에 응답하여 생성된 샘플 에너지 빔(210)이 에너지 검출기(206)에서 수신되도록 에너지 검출기(206)는 팁(12)을 향하여 지향되고 트레이닝될 수 있다. 팁 스테이지 조립체(130)는 x-방향(112), y-방향(114) 및 z-방향(116) 중 임의의 방향을 따라 병진 운동 또는 임의의 방향 주위로 회전 운동으로 에너지 소스(204), 에너지 검출기(206) 또는 이들 둘 모두에 대해 팁(12)을 이동시킬 수 있도록 팁 스테이지 조립체(130)는 팁(12)에 동작가능하게 결합될 수 있다. 본 발명의 일 양태에 따라, 팁 스테이지 조립체(130)는 팁(12)을 통해 연장되는 팁 길이방향 축(284) 주위로 팁(12)을 적어도 회전시키도록 구성된다. 본 발명의 일 양태에 따라, 도 24a 및 도 24b에 구체적으로 도시된 팁(12)은 사면체형 형상을 포함한다.

[0164] 팁 스테이지 조립체(130), 에너지 소스(204), 에너지 검출기(206) 또는 이들의 조합은 제어를 위해 제어기(136)에 동작가능하게 결합될 수 있다. 따라서, 제어기(136)는 팁 스테이지 조립체(130)를 작동시킴으로써 팁(12)의 상이한 표면 상으로 입사 에너지 빔(208)을 선택적으로 지향시킬 수 있으며, 제어기(136)는 결과적인 샘플 에너지 빔(210)의 속성을 나타내는 에너지 검출기(206)로부터의 하나 이상의 신호를 수신할 수 있다. 도 24a 및 도 24b에 도시된 바와 같이, 팁(12)은 잔해물(20)이 없을 수 있다. 따라서, 계측 시스템(202)은 팁(12)에 부착된 잔해물(20)이 없어 팁(12)의 속성을 분석하는데 사용될 수 있다.

- [0165] 이제 도 25a 및 도 25b를 참조하면, 도 25a는 본 발명의 일 양태에 따른 계측 시스템(202)의 저면도를 도시하고, 도 25b는 계측 시스템(202)의 측면도를 도시하는 것으로 이해된다. 도 25a 및 도 25b에 도시된 계측 시스템(202)은 도 15 내지 도 20, 도 24a 및 도 24b에 도시된 계측 시스템(202)에 대해 설명된 구조 또는 속성 중 임의의 것을 구현할 수 있다. 그러나, 도 25a 및 도 25b에 도시된 계측 시스템(202)은 사면체형 형상을 갖는 틱(12)에 부착된 잔해물(20)을 도시한다. 따라서, 계측 시스템(202)은 틱(12), 틱(12)에 부착된 잔해물(20) 또는 이들 둘 모두의 속성을 분석하는데 사용될 수 있다.
- [0166] 이제 도 26a 및 도 26b를 참조하면, 도 26a는 본 발명의 일 양태에 따른 계측 시스템(202)의 저면도를 도시하고, 도 26b는 계측 시스템(202)의 측면도를 도시하는 것으로 이해된다. 도 26a 및 도 26b에 도시된 계측 시스템(202)은 도 24a 및 도 24b에 도시된 계측 시스템(202)의 구조 또는 속성 중 임의의 것을 구현할 수 있다. 그러나, 도 24a 및 도 24b와 달리, 도 26a 및 도 26b에 도시된 특정 틱(12)은 원형 원추형 형상을 포함한다. 도 26a 및 도 26b에 도시된 바와 같이, 원형 원추형 형상을 갖는 틱(12)은 잔해물(20)이 없다. 따라서, 계측 시스템(202)은 틱(12)에 부착된 잔해물(20)이 없어 틱(12)의 속성을 분석하는데 사용될 수 있다.
- [0167] 이제 도 27a 및 도 27b를 참조하면, 도 27a는 본 발명의 일 양태에 따른 계측 시스템(202)의 저면도를 도시하고, 도 27b는 계측 시스템(202)의 측면도를 도시하는 것으로 이해된다. 도 27a 및 도 27b에 도시된 계측 시스템(202)은 도 26a 및 도 26b에 도시된 계측 시스템(202)에 대해 설명된 구조 또는 속성 중 임의의 것을 구현할 수 있다. 그러나, 도 27a 및 도 27b에 도시된 계측 시스템(202)은 원형 원추형 형상을 갖는 틱(12)에 부착된 잔해물(20)을 도시한다. 따라서, 계측 시스템(202)은 틱(12), 틱(12)에 부착된 잔해물(20) 또는 이들 둘 모두의 속성을 분석하는데 사용될 수 있다.
- [0168] 이제 도 28a 및 도 28b를 참조하면, 도 28a는 본 발명의 일 양태에 따른 계측 시스템(202)의 저면도를 도시하고, 도 28b는 본 발명의 일 양태에 따른 계측 시스템(202)의 측면도를 도시하는 것으로 이해된다. 도 28a 및 도 28b에 도시된 계측 시스템(202)은 도 24a 및 도 24b에 도시된 계측 시스템(202)의 구조 또는 속성 중 임의의 것을 구현할 수 있다. 그러나, 도 24a 및 도 24b와 달리, 도 28a 및 도 28b에 도시된 특정 틱(12)은 피라미드 형상을 포함한다. 도 28a 및 도 28b에 도시된 바와 같이, 피라미드 형상을 갖는 틱(12)에는 잔해물(20)이 없다. 따라서, 계측 시스템(202)은 틱(12)에 부착된 잔해물(20)이 없어 틱(12)의 속성을 분석하는데 사용될 수 있다.
- [0169] 이제 도 29a 및 도 29b를 참조하면, 도 29a는 본 발명의 일 양태에 따른 계측 시스템(202)의 저면도를 도시하고, 도 29b는 본 발명의 일 양태에 따른 계측 시스템(202)의 측면도를 도시하는 것으로 이해된다. 도 29a 및 도 29b에 도시된 계측 시스템(202)은 도 28a 및 도 28b에 도시된 계측 시스템(202)에 대해 설명된 구조 또는 속성 중 임의의 것을 구현할 수 있다. 그러나, 도 29a 및 도 29b에 도시된 계측 시스템(202)은 피라미드 형상을 갖는 틱(12)에 부착된 잔해물(20)을 도시한다. 따라서, 계측 시스템(202)은 틱(12), 틱(12)에 부착된 잔해물(20) 또는 이들 둘 모두의 속성을 분석하는데 사용될 수 있다.
- [0170] 도 30 내지 도 37을 참조하여, 수집 포켓 또는 수집 관통 구멍을 갖는 예시적인 오염물 수집기를 이제 설명한다. 이제 도 30a 및 도 30b를 참조하면, 도 30a는 틱(12)으로부터 오염물 샘플(33)을 수집하기 위한 오염물 수집기(30)의 측면도(도 30b의 30A-30A에서 절단된 단면도)를 도시하며, 틱(12)은 예시적인 잔해물 검출 및 수집 시스템에 대해 앞서 설명된 것과 동일하거나 유사할 수 있다. 오염물 샘플(33)은 전술된 잔해물 또는 입자(20)의 하나 이상의 조각을 포함할 수 있다. 오염물 수집기(30)는 제1 상부 표면(36)으로부터 제2 상부 표면(38)으로 연장되는 적어도 3개의 측벽(34)을 포함하는 수집 포켓(32)을 형성할 수 있다. 측벽(34)의 높이(h)는 틱(12)의 적어도 일부가 수집 포켓(32)의 깊이로 삽입될 수 있도록 선택될 수 있다. 일 양태에서, 수집 포켓(32)의 깊이를 형성하는 측벽(34)의 높이(h)는 틱(12)의 길이(L)의 25% 내지 200%일 수 있다. 일 양태에서, 측벽의 높이(h)는 분광기를 사용하여 오염물 수집기(30) 내에 또는 상에 적치될 수 있는 오염물 샘플(33)을 분석하기 위해 굴절을 촉진하도록 선택될 수 있다.
- [0171] 일 양태에서, 제1 상부 표면(36)과 측벽(34) 사이의 교차부는 제1 내부 에지 세트를 형성하고, 제2 상부 표면(38)과 측벽(34) 사이의 교차부는 제2 내부 에지 세트를 형성한다. 측벽(34)은 제1 상부 표면(36)으로부터 제2 상부 표면(38)으로 연장되는 적어도 하나의 내부 표면을 형성할 수 있다. 일 양태에서, 전술된 에너지 소스(204)와 같은 방사선 소스는 입사하는 방사선을 오염물 수집기(30)의 내부 표면 또는 표면들로 지향시키도록 구성되고 배열될 수 있다. 일 양태에서, 전술한 에너지 검출기(206)와 같은 방사선 검출기는 오염물 수집기(30)의 하나 이상의 내부 표면으로부터 샘플 방사선을 수신하도록 구성되고 배열될 수 있고, 샘플 방사선은 입사 방사선이 오염물 수집기(30)의 하나 이상의 내부 표면 또는 표면들 상으로 지향되고 나서 이로부터 반사되는 것에

의해 생성된다.

[0172] 도 30b에 도시된 바와 같이, 3개의 측벽(34) 및 대응하는 제1 내부 예지는 위에서 보았을 때 등변 삼각형 윤곽을 형성할 수 있다. 인접한 측벽(34)들의 각 세트는 오염물 수집 예지(35)들의 세트를 형성할 수 있다. 일 양태에서, 사면체형 형상을 갖는 팁(12)은 도 30a 및 도 30b의 오염물 수집기(30)와 함께 사용될 수 있다. 팁(12)의 하나 이상의 예지(13)는 수집 포켓(32)의 하나 이상의 오염물 수집 예지(35)의 부근으로, 수집 예지에 인접하게 이동되거나, 이 예지에 스치거나, 드래그되어, 오염물 샘플(33)이 팁(12)으로부터 수집 포켓(32)으로 전달될 수 있도록 한다. 선택된 양태에서, 오염물 수집기(30)는 위에서 보았을 때 비-등변 삼각형 윤곽(예를 들어, 이등변 삼각형, 부등변 삼각형, 예각, 직각 또는 둔각 삼각형)을 형성하는 3개의 측벽(34)을 포함할 수 있다. 비-등변 삼각형 단면은 동일하지 않은 오염물 수집 예지(35)를 형성하여, 이에 따라 본 발명을 고려하여 이 기술 분야에 통상의 지식을 가진 자라면 알 수 있는 바와 같이 다양한 크기 및/또는 형상의 팁으로부터 오염물 샘플(33)을 추출하도록 적응될 수 있다. 일 양태에서, 오염물 수집 예지(35)의 각 예지는, 특히 오염물 샘플(33)이 나노미터 레벨의 구조일 때, 팁(12)이 오염물 샘플(33)을 수집 포켓(32)으로 전달하는데 필요한 변위량을 감소시키기 위해 10 mm 이하의 길이를 가질 수 있다.

[0173] 이제 도 31a 및 도 31b를 참조하면, 도 31a는 팁(12)으로부터 오염물 샘플(33)을 수집하기 위한 오염물 수집기(30)의 측면도(도 31b의 31A-31A에서 절단된 단면도)를 도시하고, 팁(12)은 예시적인 잔해물 검출 및 수집 시스템에 대해 앞서 설명된 것과 동일하거나 유사할 수 있다. 오염물 수집기(30)는 제1 상부 표면(36)으로부터 제2 상부 표면(38)으로 연장되는 측벽(34)을 포함하는 수집 포켓(32)을 형성할 수 있다. 측벽(34)의 높이(h)는 팁(12)의 적어도 일부가 수집 포켓(32)의 깊이로 삽입될 수 있도록 선택될 수 있다. 일 양태에서, 수집 포켓의 깊이를 형성하는 측벽(34)의 높이(h)는 팁(12)의 길이(L)의 25% 내지 200%일 수 있다. 일 양태에서, 측벽의 높이(h)는 분광기를 사용하여 오염물 수집기(30) 내에 또는 상에 적치될 수 있는 오염물 샘플(33)을 분석하기 위해 굴절을 촉진하도록 선택될 수 있다.

[0174] 일 양태에서, 도 31b에 도시된 바와 같이, 오염물 수집기(30)는 위에서 보았을 때 원형 윤곽을 형성하는 원통형 측벽(34)을 포함할 수 있다. 오염물 수집 내부 예지(35)는 제1 상부 표면(36)과 측벽(34) 사이의 교차부에 형성될 수 있다. 일 양태에서, 원형 원추형 형상을 갖는 팁(12)은 도 31a 및 도 31b의 오염물 수집기(30)와 함께 사용될 수 있다. 원추형 팁(12)의 표면은 수집 포켓(32)의 오염물 수집 예지(35)의 부근으로, 수집 예지에 인접하게 이동되거나, 이 예지에 스치거나, 드래그되어, 오염물 샘플(33)이 팁(12)으로부터 수집 포켓(32)으로 전달될 수 있도록 한다. 선택된 양태에서 오염물 수집기(30)는 상부에서 보았을 때 타원형 또는 달걀형 윤곽을 형성하는 측벽(34)을 포함할 수 있으며, 따라서 본 발명을 고려하여 이 기술 분야에 통상의 지식을 가진 자라면 이해하는 바와 같이 다양한 크기 및/또는 형상의 팁으로부터 오염물 샘플(33)을 추출하도록 적응될 수 있다. 일 양태에서, 오염물 수집 예지(35)의 직경은 10 mm 미만의 폭일 수 있다. 선택된 양태에서, 오염물 수집 예지(35)의 직경은, 특히 오염물 샘플(33)이 나노미터 레벨의 구조일 때 팁(12)이 오염물 샘플(33)을 수집 포켓(32)으로 전달하는데 필요한 변위량을 감소시키기 위해 500 마이크론 이하일 수 있다.

[0175] 이제 도 32a 및 도 32b를 참조하면, 도 32a는 팁(12)으로부터 오염물 샘플(33)을 수집하기 위한 오염물 수집기(30)의 측면도(도 32b의 32A-32A에서 절단된 단면도)를 도시하며, 팁(12)은 예시적인 잔해물 검출 및 수집 시스템에 대해 앞서 설명된 것과 동일하거나 유사할 수 있다. 오염물 수집기(30)는 제1 상부 표면(36)으로부터 제2 상부 표면(38)으로 연장되는 측벽(34)을 포함하는 수집 포켓(32)을 형성할 수 있다. 측벽(34)의 높이(h)는 팁(12)의 적어도 일부가 수집 포켓(32)의 깊이로 삽입될 수 있도록 선택될 수 있다. 일 양태에서, 수집 포켓의 깊이를 형성하는 측벽(34)의 높이(h)는 팁(12)의 길이(L)의 25% 내지 200%일 수 있다. 일 양태에서, 측벽의 높이(h)는 분광기를 사용하여 오염물 수집기(30) 내에 또는 상에 적치될 수 있는 오염물 샘플(33)을 분석하기 위해 굴절을 촉진하도록 선택될 수 있다.

[0176] 일 양태에서, 도 32b에 도시된 바와 같이, 오염물 수집기(30)는 상부로부터 보았을 때 직사각형 또는 정사각형 윤곽을 형성하는 4개의 측벽(34)을 포함할 수 있다. 인접한 측벽(34)들의 각 세트는 오염물 수집 내부 예지(35)를 형성할 수 있다. 일 양태에서, 피라미드 형상을 갖는 팁(12)은 도 32a 및 도 32b의 오염물 수집기(30)와 함께 사용될 수 있다. 팁(12)의 하나 이상의 예지(13)는 수집 포켓(32)의 하나 이상의 수집 내부 예지(35)의 부근으로, 내부 예지에 인접하게 이동되거나, 이 예지에 스치거나 또는 드래그되어, 오염물 샘플(33)이 팁(12)으로부터 수집 포켓(32)으로 전달될 수 있도록 한다. 일 양태에서, 오염물 수집 예지(35)의 각 예지는 특히 오염물 샘플(33)이 나노미터 레벨의 구조일 때, 팁(12)이 오염물 샘플(33)을 수집 포켓(32)으로 전달하는데 필요한 변위량을 감소시키기 위해 10 mm 이하의 길이를 가질 수 있다.

- [0177] 비록 특정 쌍의 팁 및 수집 포켓(32)의 형상이 도 30a, 도 30b, 도 31a, 도 31b, 도 32a 및 도 32b를 참조하여 앞서 논의되었지만, 팁(12) 및 수집 포켓(32)의 임의의 조합이 함께 또는 상호 교환가능하게 사용될 수 있는 것으로 이해된다. 예를 들어, 도 31a 및 도 31b의 원추형 팁(12)은 도 30a 및 도 30b의 삼각형 수집 포켓(32)과 함께 사용될 수 있다. 추가적으로, 예시적인 삼각형, 직사각형 및 원형 오염물 수집기가 도 30 내지 도 32에 도시되어 있지만, 5개 이상의 측면을 갖는 오염물 수집기가 또한 사용될 수 있다.
- [0178] 도 33a 내지 도 33c를 참조하여, 팁(12)을 이동시켜, 팁(12)으로부터 오염물 샘플(33)을 도 30 내지 도 32를 참조하여 전술된 것과 같은 오염물 수집기(30)로 전달하는 예시적인 공정을 이제 설명한다. 도 35 내지 도 37을 참조하여 일반적으로 설명된 바와 같이, 오염물 샘플을 오염물 수집기(40)로 전달하기 위해 유사한 단계가 또한 적용될 수 있는 것으로 이해된다. 도 33a에 도시된 바와 같이, 팁(12)은 먼저 x-방향과 y-방향으로 수집 포켓(32)의 개구의 중심 위에 위치될 수 있다. 그런 다음, 팁(12)은 수집 포켓(32)의 측면(34)과 접촉하지 않고 수집 포켓(32) 내로 적어도 부분적으로 z-방향으로 낮아질 수 있다. 다음으로, 도 33b에 도시된 바와 같이, 팁(12)은 x-방향 및/또는 y-방향으로 측면(34)들 중 하나의 측면을 향해 이동될 수 있다. 동시에 팁(12)은 z-방향으로 상방으로 이동되어, 오염물 샘플(33)이 수집 포켓(32)의 오염물 수집 예지(35)에 스치거나 또는 가까이 접촉할 수 있도록 함으로써 오염물 샘플(33)은 팁(12)으로부터 오염물 수집 예지(35)의 적어도 측면 부분으로 전달될 수 있다.
- [0179] 일 양태에서, 도 33a에 도시된 위치로부터 도 33b에 도시된 위치로 팁(12)이 변위하는 것은 팁(12)이 포물선 궤적, 비비는 운동 및/또는 닦는 운동을 통해 오염물 수집 예지(35)를 향하여 그리고 이 수집 예지를 지나 이동하는 2차 함수로서 한정될 수 있다. 팁(12)은 도 33a에 도시된 시작 위치로 다시 이동되기 전에 도 33b에 도시된 위치로부터 오염물 수집 예지(35)의 상방 우측으로 계속 변위할 수 있다. 일 양태에서, 팁(12)이 변위하는 것은 팁(12)과 수집 포켓(32)의 크기와 형상에 따라 선형 함수로서 한정될 수 있다. 팁(12)에 대한 다른 궤적과 변위 경로는 본 발명을 고려하여 이 기술 분야에 통상의 지식을 가진 자라면 이해할 수 있을 것이다.
- [0180] 추가적으로 또는 대안적으로, 도 34a 내지 도 34c에 도시된 바와 같이, 팁(12)은 초기에 x-방향과 y-방향으로 수집 포켓(32)의 중심으로부터 상부에 오프셋되어 위치될 수 있다. 그런 다음 팁(12)의 적어도 일부가 수집 포켓(32) 내에 적어도 부분적으로 위치될 때까지 팁(12)은 x-방향 및/또는 y-방향으로 수집 포켓(32)의 중심 쪽으로 이동하면서 z-방향으로 하방으로 이동될 수 있다. 팁(12)을 수집 포켓(32) 내로 이동시킬 때, 오염물 샘플(33)은 수집 포켓(32)의 오염물 수집 예지(35)에 스치거나 이 수집 예지와 가까이 접촉하여, 이에 의해 오염물 샘플(33)이 팁(12)으로부터 오염물 수집 예지(35)의 적어도 상부 부분으로 전달될 수 있다.
- [0181] 일 양태에서, 도 34a에 도시된 위치로부터 도 34c에 위치된 위치로 팁(12)이 변위하는 것은 팁(12)이 포물선 궤적, 비비는 운동 및/또는 닦는 운동을 통해 오염물 수집 예지(35)를 향해 그리고 이 수집 예지를 지나 이동하는 2차 함수로서 한정될 수 있다. 일 양태에서, 팁(12)이 변위하는 것은 팁(12)과 수집 포켓(32)의 크기 및 형상에 따라 선형 함수로서 한정될 수 있다. 팁(12)에 대한 다른 궤적과 변위 경로는 본 발명을 고려하여 이 기술 분야에 통상의 지식을 가진 자라면 이해할 수 있을 것이다.
- [0182] 본 발명의 일 양태에 따라, 도 33a 내지 도 33c 및/또는 도 34a 내지 도 34c의 상기 팁 이동은 팁(12)이 오염물 수집 예지(35)의 상이한 부분과 접촉하도록 반복될 수 있다. 예를 들어, 오염물 수집 예지(35)가 원형 기하 구조를 갖는 경우, 도 31a 및 도 31b를 참조하여 전술된 바와 같이, 팁(12)은 팁(12)의 상이한 대응 부분으로부터 오염물 샘플(33)을 전달하기 위해 오염물 수집 예지(35)의 (도 31b에 도시된 상면도 배향에 기초했을 때) 12시 위치 및 6시 위치와 접촉시키도록 이동될 수 있다. 본 발명을 고려하여, 팁을 이동시키는 것은 오염물 수집 예지(35)의 추가적인 부분 또는 모든 부분과 접촉하도록 반복될 수 있다는 것을 이 기술 분야에 통상의 지식을 가진 자라면 이해할 수 있을 것이다. 일 양태에서 팁(12)은 12시, 3시, 6시, 9시 위치에서 오염물 수집 예지(35)에 스치거나 또는 가까이 접촉함으로써 팁(12)으로부터 오염물 수집 예지(35)로 오염물 샘플(33)을 전달하도록 이동될 수 있다. 오염물 수집 예지(35) 상의 상이한 위치에서 오염물 샘플(33)을 수집함으로써, 팁(12)의 상이한 부분으로부터 유도된 수집된 오염물 샘플의 조성이 오염물 수집 예지(35)의 상이한 대응 부분에 계측 위치를 한정함으로써 결정될 수 있다.
- [0183] 본 발명의 일 양태에 따라, 도 33a 내지 도 33c 및/또는 도 34a 내지 도 34c의 상기 팁 이동은 반복적으로 수행되어, 이로 팁(12)의 상이한 부분을 오염물 수집 예지(35)의 동일한 위치와 접촉시키거나 가까이 접촉시킴으로써, 오염물 샘플(33)의 전부 또는 대부분을 팁(12)으로부터 오염물 수집 예지(35) 상의 동일한 위치로 적치시킬 수 있다. 예를 들어, 팁(12)은 도 33b 또는 도 34b에 도시된 바와 같이 오염물 샘플(33)을 오염물 수집 예지(35)로 전달한 후에 z-축 주위로 회전될 수 있고, 오염물 수집 예지(35) 상의 동일한 공통 위치를 지나도록 연

속적으로 이동될 수 있다. 추가적으로 또는 대안적으로, 도 33b 또는 도 34b에 도시된 바와 같이 오염물 수집 에지(35)는 오염물 샘플(33)을 팁(12)으로부터 오염물 수집 에지(35)로 전달한 후에 z-축 주위로 회전될 수 있다. 또한, (팁(12)을 완전히 둘러싸는 수집 에지를 갖는) 본 명세서에 설명된 수집 포켓(32)과 수집 관통 구멍(46)에 더하여, 팁(12)을 완전히 둘러싸지 않는 수집 에지 또는 수집 에지 세트가 또한 사용될 수 있다. 예를 들어, 수집 에지는 단일 선형 에지 또는 단일 C자형 에지로 구성될 수 있다. 일 양태에서, 수집 에지 세트가 사용되는 경우, 수집 에지들은 함께 팁(12)의 75% 미만을 둘러쌀 수 있고, 선택된 양태에서, 수집 에지들은 함께 팁(12)의 50% 미만을 둘러쌀 수 있다. 오염물 수집 에지(35) 상의 동일한 공통 위치에서 오염물 샘플(33)을 수집하는 것에 의해, 오염물 수집 에지(35) 상의 공통 위치를 계측 위치로서 한정함으로써 팁(12)으로부터 수집된 오염물 샘플(33)의 전체 조성을 결정할 수 있다.

[0184] 일 양태에서, 도 33a 내지 도 33c 및/또는 도 34a 내지 도 34c의 상기 팁 이동은, 상방 및 측방 바깥쪽으로 운동한 후에 하방 및 측방 안쪽으로 운동을 수행하거나 또는 그 반대로 운동을 수행하여 오염물 샘플(33)을 팁(12)으로부터 오염물 수집 에지(35)로 전달하도록 연속적으로 결합되어 사용될 수 있다. 이런 연속적인 운동은 팁(12)으로부터 오염물 샘플(33)을 수집하는 속도를 개선시키는 것을 도와줄 수 있다.

[0185] 도 35 내지 도 37을 참조하여, 수집 관통 구멍을 갖는 예시적인 오염물 수집기를 이제 설명한다. 이제 도 35a 및 도 35b를 참조하면, 도 35a는 팁(12)으로부터 오염물 샘플(33)을 수집하기 위한 오염물 수집기(40)의 단면도(도 35b의 35A-35A에서 절단된 단면도)를 도시하며, 팁(12)은 본 발명의 예시적인 잔해물 검출 및 수집 시스템에 대해 앞서 설명된 것들과 동일하거나 유사할 수 있다. 오염물 수집기(40)는 적어도 스탠드(42)와 플랫폼(44)을 포함할 수 있으며, 플랫폼(44)은 수집 관통 구멍(46)을 형성하는 측벽(45)을 갖는 내부 컷아웃부(cutout)를 포함할 수 있다. 일 양태에서, 플랫폼(44)은 상부 표면(47)과 하부 표면(48)을 포함할 수 있고, 측벽(45)은 상부 표면(47)으로부터 하부 표면(48)으로 연장될 수 있다. 수집 립 에지(collection lip edge)(49)는 측벽(45)과 상부 표면(47) 사이의 교차부에 형성될 수 있다. 스탠드(42)와 플랫폼(44)은 함께 고정되거나 또는 별개의 구성 요소로서 제공될 수 있다.

[0186] 일 양태에서, 오염물 수집기(40)는, 특히 수집 및 계측 시스템이 개별 유닛이고, 함께 통합되어 있지 않아서 및/또는 동일한 위치에 위치하지 않을 때, 하나의 위치로부터 다른 위치로 수송될 수 있다. 오염물 수집기(40) 또는 플랫폼(44)은 수집된 오염물 샘플(33)을 분석하기 위해 수집 시스템으로부터 계측 시스템으로 개별적으로 이동될 수 있다.

[0187] 도 35a 및 도 35b에 도시된 바와 같이, 오염물 수집기의 측벽(45)은 수집 관통 구멍(46)이 팁 진입 위치를 향하는 방향으로 좁아지도록 경사질 수 있다. 본 발명의 일 양태에 따라, 도 35b에 도시된 바와 같이, 관통 구멍(46)이 위에서부터 보았을 때 일반적으로 삼각형 윤곽을 갖는 절두된 사면체 통로를 형성하도록 측벽(45)이 경사질 수 있다. 동작시, 도 35a 및 도 35b에 도시된 바와 같이, 사면체 형상의 팁(12)은 z-방향에서 위로부터 오염물 수집기(40)의 수집 관통 구멍(46)에 진입하도록 위치될 수 있다. 팁(12)은 수집 관통 구멍(46)에 진입하기 위해 z-방향으로 적어도 하방으로 이동될 수 있다. 팁(12)의 적어도 일부가 관통 구멍(46)에 진입하면, 팁(12)은 오염물 수집기(40)의 수집 립 에지(49)와 측벽(45)을 향해 x-방향 및/또는 y-방향으로 측방방향으로 이동될 수 있다. 측방방향으로 이동하는 동안, 팁(12)은 z-방향으로 동시에 위쪽으로 이동되어, 오염물 샘플(33)이 수집 립 에지(49) 및/또는 측벽(45)에 스치거나 가까이 접촉하도록 함으로써, 오염물 샘플(33)은 팁(12)으로부터 수집 립 에지(49) 및/또는 측벽(45)으로 전달될 수 있다. 팁(12)의 궤적과 변위는 도 33a 내지 도 33c를 참조하여 전술한 것과 동일하거나 유사할 수 있다.

[0188] 추가적으로 또는 대안적으로, 오염물 샘플(33)은 오염물 수집기(40)의 수집 관통 구멍(46)에서 z-방향으로 상부에 그리고 x-방향 및/또는 y-방향으로 관통 구멍(46)의 중심으로부터 오프셋되게 팁(12)을 초기에 위치시킴으로써 팁(12)으로부터 제거될 수 있다. 팁(12)의 적어도 일부가 적어도 부분적으로 관통 구멍(46) 내에 위치될 때까지 팁(12)은 x-방향 및/또는 y-방향으로 관통 구멍(46)의 중심을 향해 이동하면서 z-방향으로 하방으로 이동될 수 있다. 팁(12)을 관통 구멍(46) 내로 이동시킬 때, 오염물 샘플(33)은 관통 구멍(46)의 수집 립 에지(49)에 스치거나 이에 가까이 접촉함으로써 오염물 샘플(33)이 팁(12)으로부터 수집 립 에지(49)의 적어도 상부 부분으로 전달될 수 있다. 팁(12)의 궤적과 변위는 도 34a 내지 도 34c를 참조하여 위에서 설명된 것과 동일하거나 유사할 수 있다.

[0189] 도 35a 및 도 35b와 유사하게, 도 36a와 도 36b의 오염물 수집기(40)는 적어도 스탠드(42)와 플랫폼(44)을 포함할 수 있다. 그러나, 측벽(45)이 절두된 사면체 통로를 갖는 관통 구멍(46)을 형성하는 도 35a 및 도 35b와 달리 도 36a 및 도 36b의 플랫폼(44)은 원형, 달걀형 및 타원형 원추형 통로를 포함하는 절두된 원추형 통로를 형

성하는 측벽(45)을 갖는 내부 컷아웃부를 포함한다. 동작시, 팁(12)으로부터 오염물 샘플(33)을 제거하는 것은 관통 구멍(46)을 절두된 원추형 통로로 대체하고 나서 도 35a 및 도 35b를 참조하여 전술한 것과 동일한 절차를 따를 수 있다.

[0190] 도 36a 및 도 36b와 유사하게, 도 37a 및 도 37b의 오염물 수집기(40)는 적어도 스탠드(42)와 플랫폼(44)을 포함할 수 있다. 그러나, 측벽(45)이 절두된 원뿔형 통로를 갖는 관통 구멍(46)을 형성하는 도 36a 및 도 36b와 달리 도 37a 및 도 37b의 플랫폼(44)은 수집 관통 구멍(46)을 형성하는 복수의 측벽(45)을 갖는 내부 컷아웃부를 포함한다. 본 발명의 일 양태에 따라, 플랫폼(44)은 절두된 피라미드 형상의 통로를 갖는 관통 구멍(46)을 형성하는 4개의 측벽(45)을 구비할 수 있다. 동작시, 팁(12)으로부터 오염물 샘플(33)을 제거하는 것은 관통 구멍(46)을 절두된 피라미드 형상의 통로로 대체하고 나서 도 35a 및 도 35b를 참조하여 전술한 것과 동일한 절차를 따를 수 있다.

[0191] 절두된 사면체 통로, 절두된 원추형 통로 및 절두된 피라미드 형상의 통로가 도 35 내지 도 37을 참조하여 앞서 설명되었지만, 관통 구멍(46)에 대한 다른 통로 형상도 고려되며, 통로 형상은 불균일한 형상을 포함하는 팁(12)의 대응하는 형상에 기초하여 선택될 수 있고, 관통 구멍은 3개 이상의 측벽을 가질 수 있다. 물론, 다른 형상 및 크기의 팁이 도 35 내지 도 37의 오염물 수집기(40)와 함께 사용될 수 있음은 이 기술 분야의 통상의 지식을 가진 자에게 명백할 것이다.

[0192] 도 30 내지 도 32의 수집 포켓(32) 및/또는 도 35 내지 도 37의 오염물 수집기(40)는 상기한 바와 같이 도 12 내지 도 23의 잔해물 수집 장치(100)와 함께 사용 가능하거나, 또는 팁(12) 및 관련 작동 및 제어 메커니즘과는 별도로 도 38의 오염물 분석 시스템(500)을 사용하여 검사될 수 있다. 도 30 내지 도 32의 수집 포켓(32) 및/또는 도 35 내지 도 37의 오염물 수집기(40)는, 본 발명을 고려하여 이 기술 분야에 통상의 지식을 가진 자라면 이해할 수 있는 바와 같이 제1 위치에 장착된 동안 잔해물을 수집하고, 이 잔해물을 제거하고, 제2 위치로 수송하고, 잔해물 검출 공정에서 분석하고, 세정하고, 재사용하는데 사용될 수 있다.

[0193] 도 38에 도시된 바와 같이, 오염물 분석 시스템(500)은 에너지 소스(50)와 에너지 검출기(52)를 포함할 수 있다. 오염물 수집기(40)가 검사되거나 또는 분석할 준비가 되면, 오염물 수집기(40)는 스탠드(42) 상에 배치되거나 장착될 수 있다. 에너지 소스(50)와 에너지 검출기(52)는 단일 유닛 내에 함께 배치되거나 또는 별도의 유닛으로 제공될 수 있다. 에너지 소스(50)와 에너지 검출기(52)는 x-방향, y-방향 및 z-방향 중 하나 이상의 방향에서 에너지 소스(50)와 에너지 검출기(52)를 이동시키고 및/또는 에너지 소스(50)와 에너지 검출기(52)를 x-방향, y-방향 및 z-방향 주위로 회전시키기 위해 하나 이상의 액추에이터에 각각 결합될 수 있다. 에너지 소스(50)와 에너지 검출기(52)는 오염물 수집기(40)의 위, 아래 또는 측면에 위치되어, 에너지 소스(50)와 에너지 검출기(52)가 오염물 수집기(40)의 측벽(45) 또는 수집 릫 에지(49)로 트레이닝되도록 동작될 수 있다.

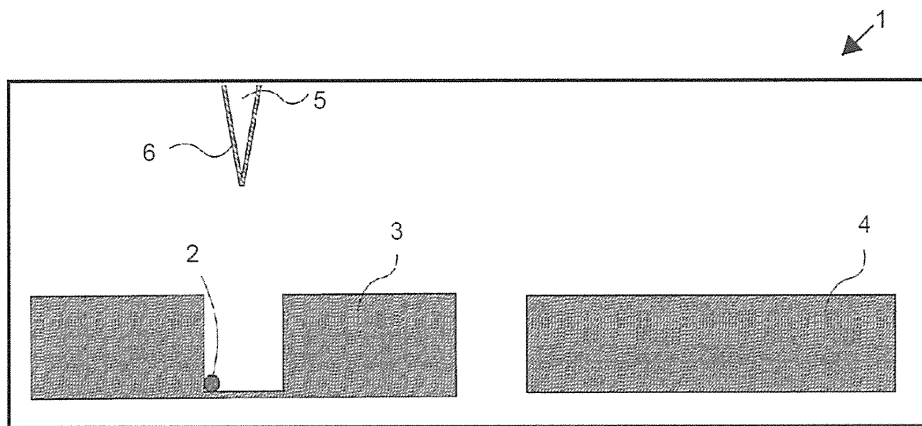
[0194] 오염물 샘플(33)이 오염물 수집기(40)의 수집 릫 에지(49) 및/또는 측벽(45)에 수집되는 오염물 수집 공정 동안 또는 후에, 에너지 소스(50)에 의해 생성된 입사 에너지 빔(51)이 릫 에지(49) 및/또는 측벽(45)에 입사하도록 에너지 소스(50)는 수집 릫 에지(49) 및/또는 측벽(45)을 향해 지향되고 트레이닝될 수 있고, 릫 에지(49) 및/또는 측벽(45)에서 입사 에너지 빔(51)에 응답하여 생성된 샘플 에너지 빔(53)이 에너지 검출기(52)에서 수신되도록 에너지 검출기(52)는 릫 에지(49) 및/또는 측벽(45)을 향해 지향되고 트레이닝될 수 있다.

[0195] 본 발명의 양태에 따라, 에너지 소스(50), 에너지 검출기(52) 또는 이들의 조합은 제어를 위해 제어기(56)에 동작가능하게 결합될 수 있다. 따라서, 제어기(56)는 에너지 소스(50)로부터의 입사 에너지 빔(51)을 에너지 소스(50)와 관련된 하나 이상의 액추에이터에 의해 릫 에지(49) 및/또는 측벽(45)의 상이한 표면 상으로 선택적으로 조준 및 지향시킬 수 있다. 제어기(56)는 입사 에너지 빔(51)에 응답하여 생성된 샘플 에너지 빔(53)을 수신하기 위해 입사 에너지 빔(51)에 의해 노출되는 상이한 표면을 향해 에너지 검출기(52)를 선택적으로 더 조준할 수 있다. 제어기(56)는 결과적인 샘플 에너지 빔(53)의 속성을 나타내는 에너지 검출기(52)로부터의 하나 이상의 신호를 수신할 수 있다.

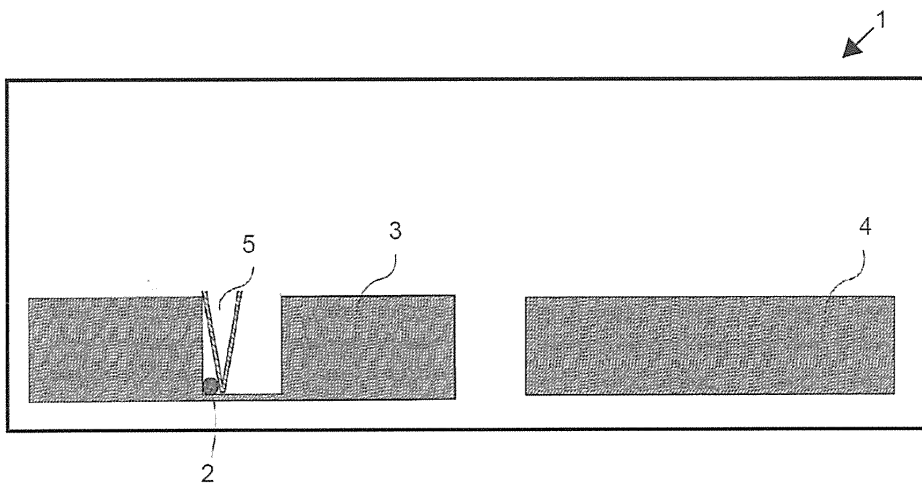
[0196] 본 발명의 많은 특징 및 잇점은 상세한 설명으로부터 명백하므로, 이에 따라 첨부된 청구 범위는 본 발명의 진정한 사상 및 범위 내에 있는 본 발명의 모든 그러한 특징 및 잇점을 포함하는 것으로 의도된다. 본 발명의 다양한 양태들이 결합되어 함께 사용될 수 있는 것으로 이해된다. 또한, 본 발명을 고려하여 이 기술 분야에 통상의 지식을 가진 자에게는 다수의 변경 및 변형이 용이하게 수행될 수 있을 것이므로, 본 발명을 도시되고 설명된 정확한 구성 및 동작으로 제한하는 것은 바람직하지 않으며, 따라서 모든 적절한 변형 및 균등물은 본 발명의 범위 내에 속하는 것으로 의도된다.

도면

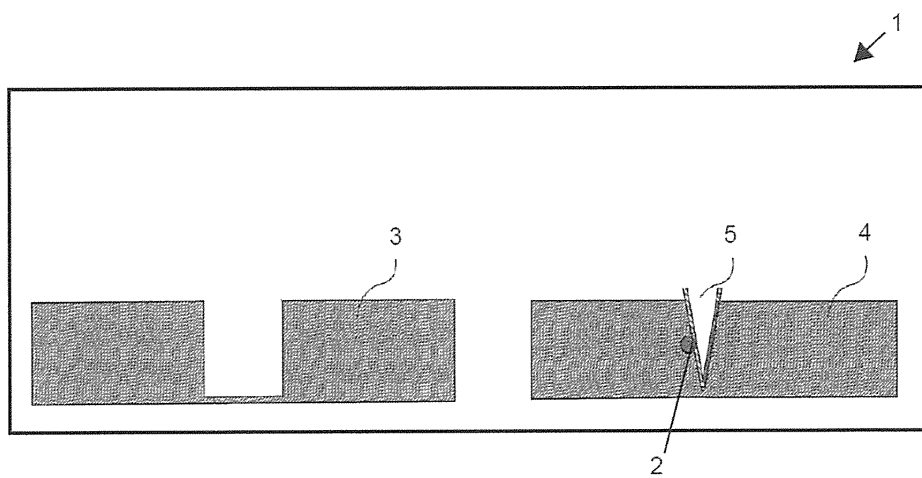
도면1a



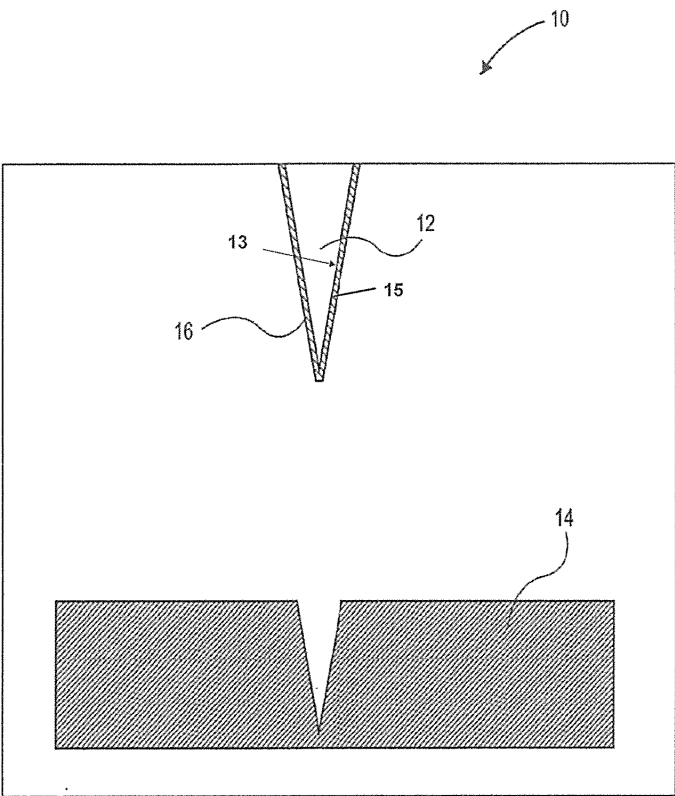
도면1b



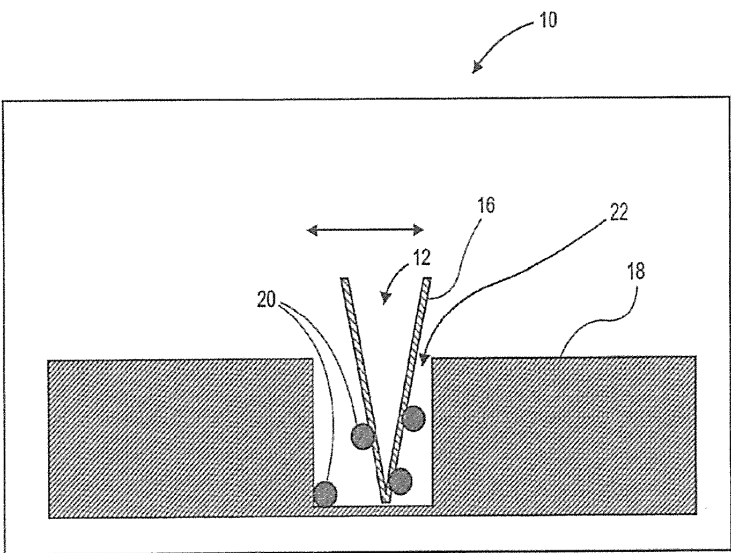
도면1c



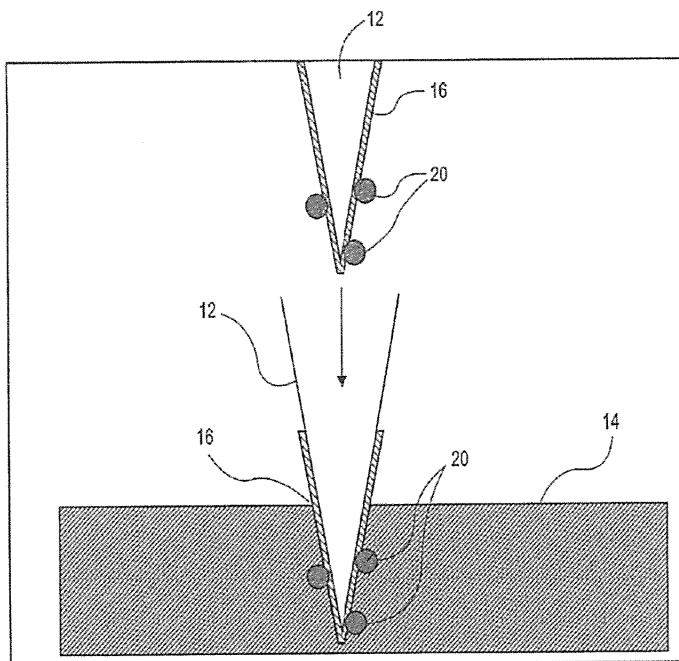
도면2



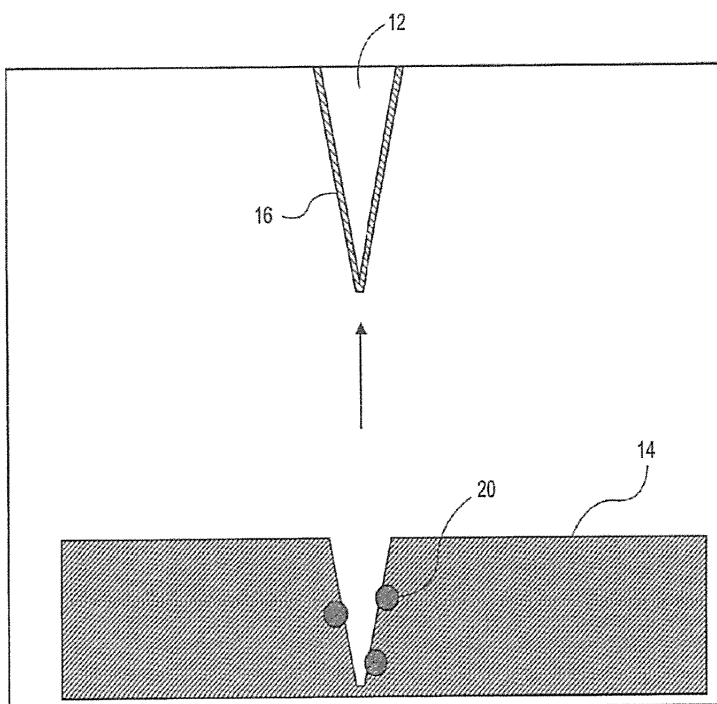
도면3



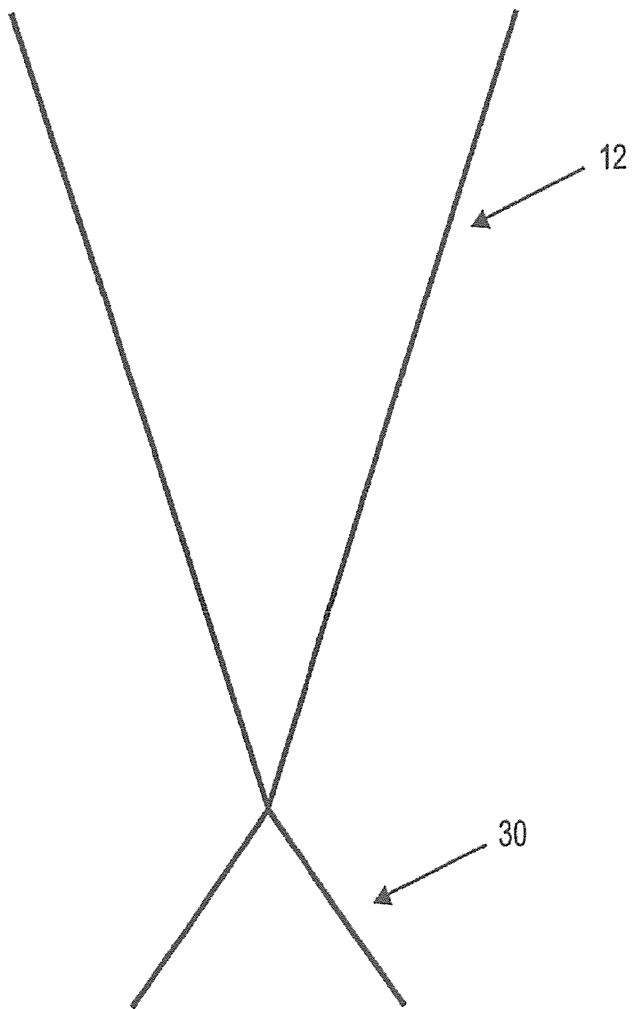
도면4



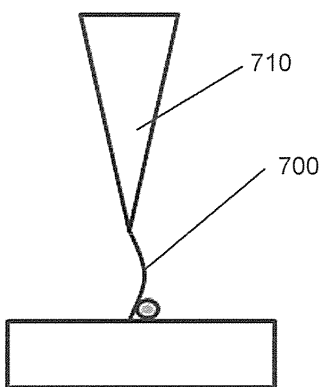
도면5



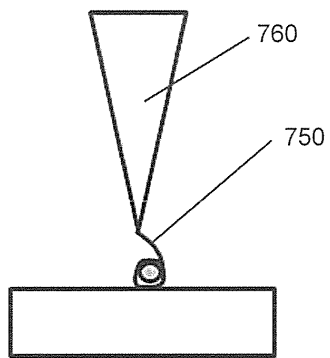
도면6



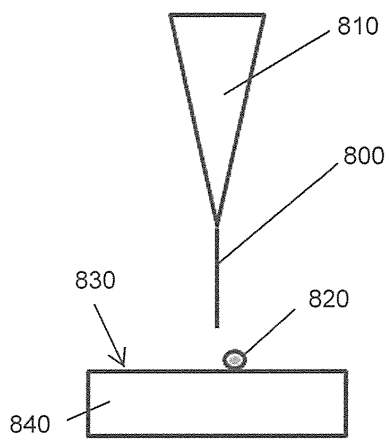
도면7a



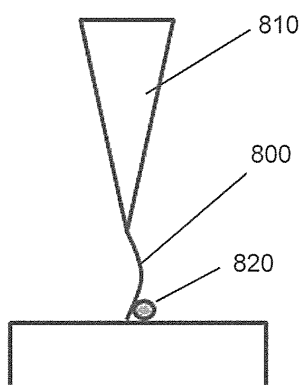
도면7b



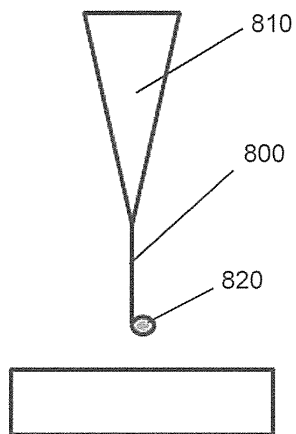
도면8a



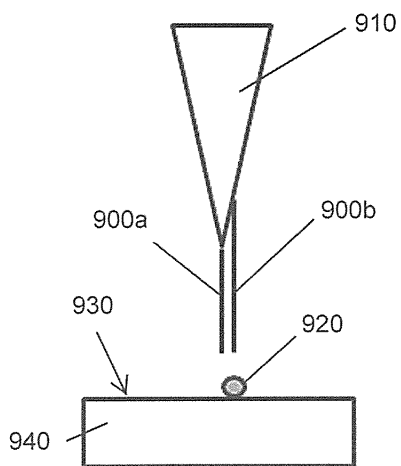
도면8b



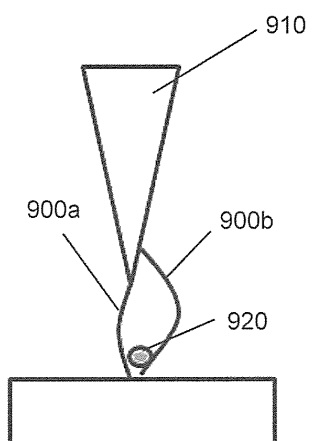
도면8c



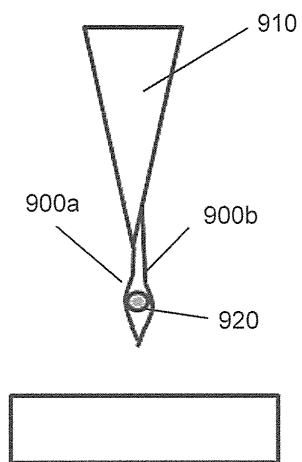
도면9a



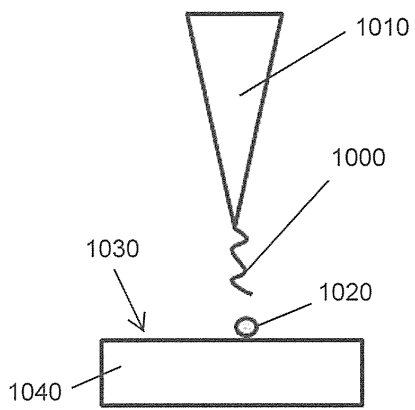
도면9b



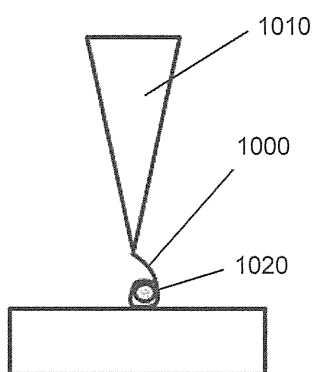
도면9c



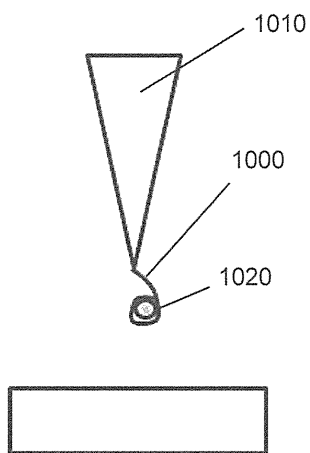
도면10a



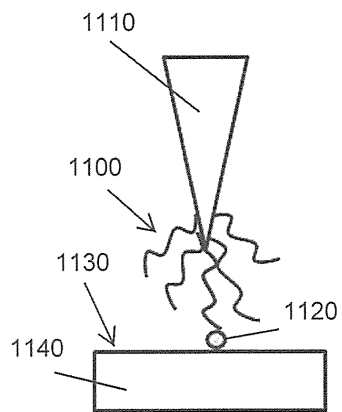
도면10b



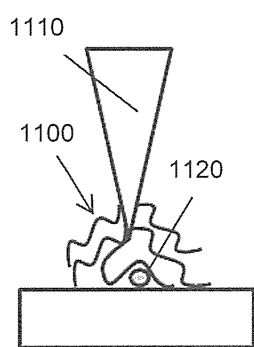
도면10c



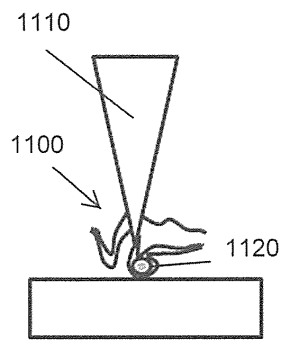
도면11a



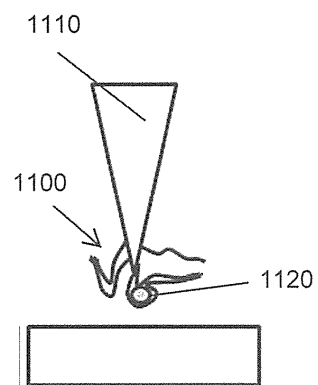
도면11b



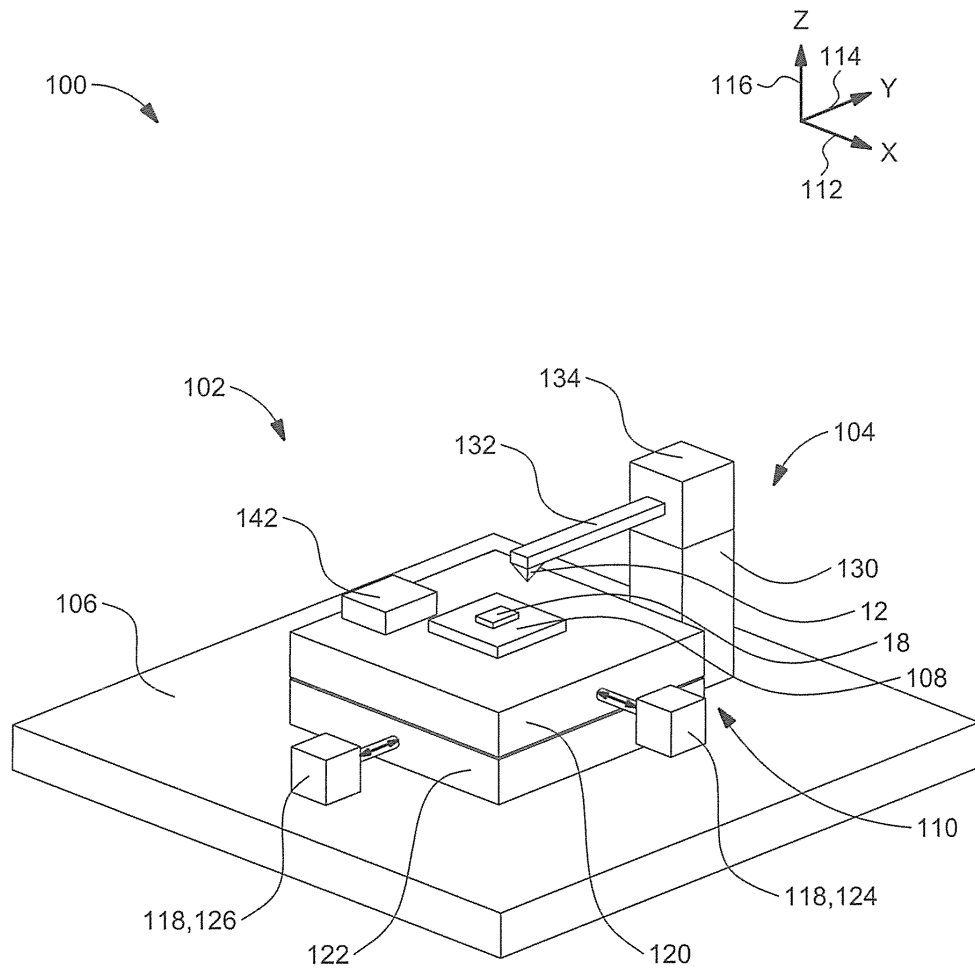
도면11c



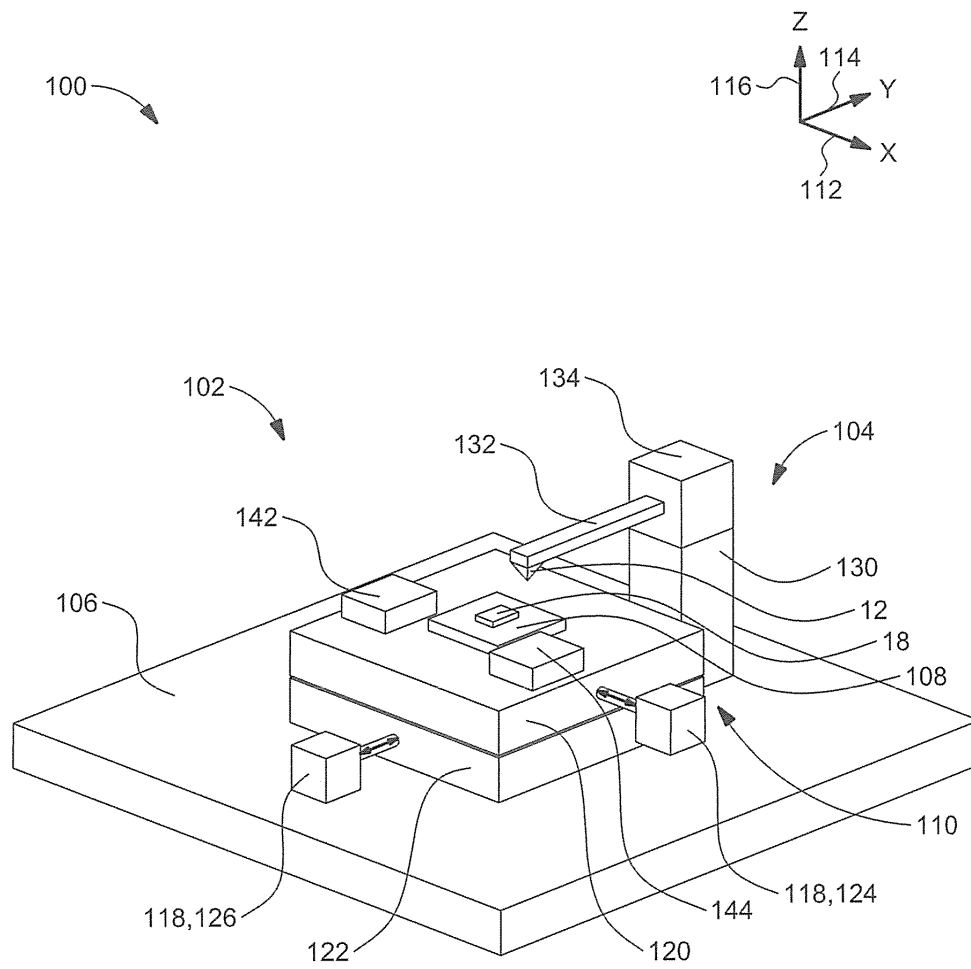
도면11d



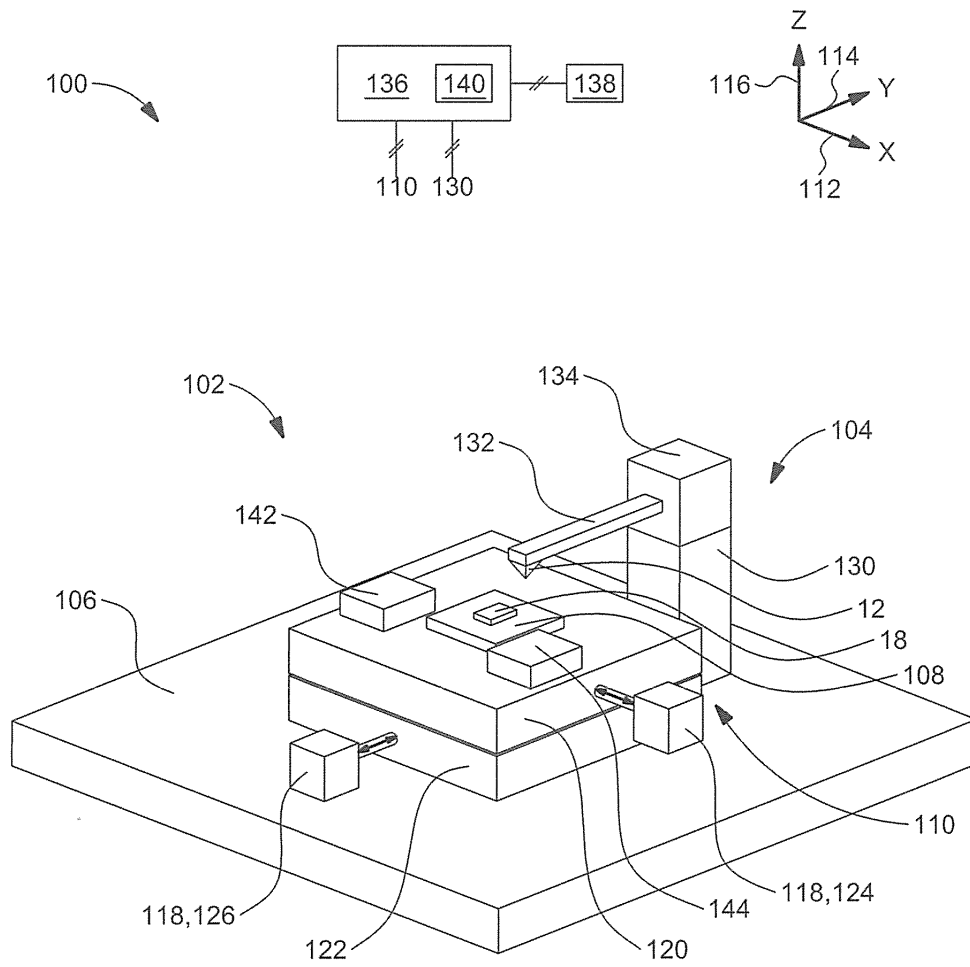
도면12



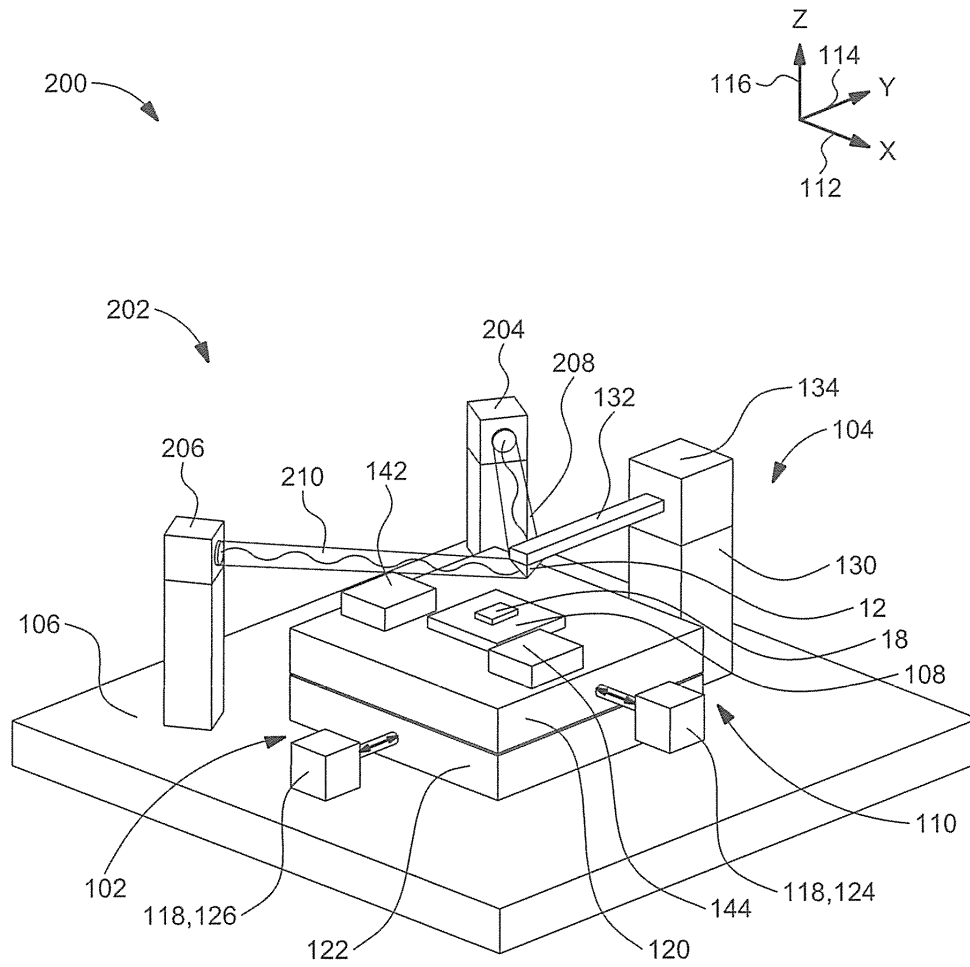
도면13



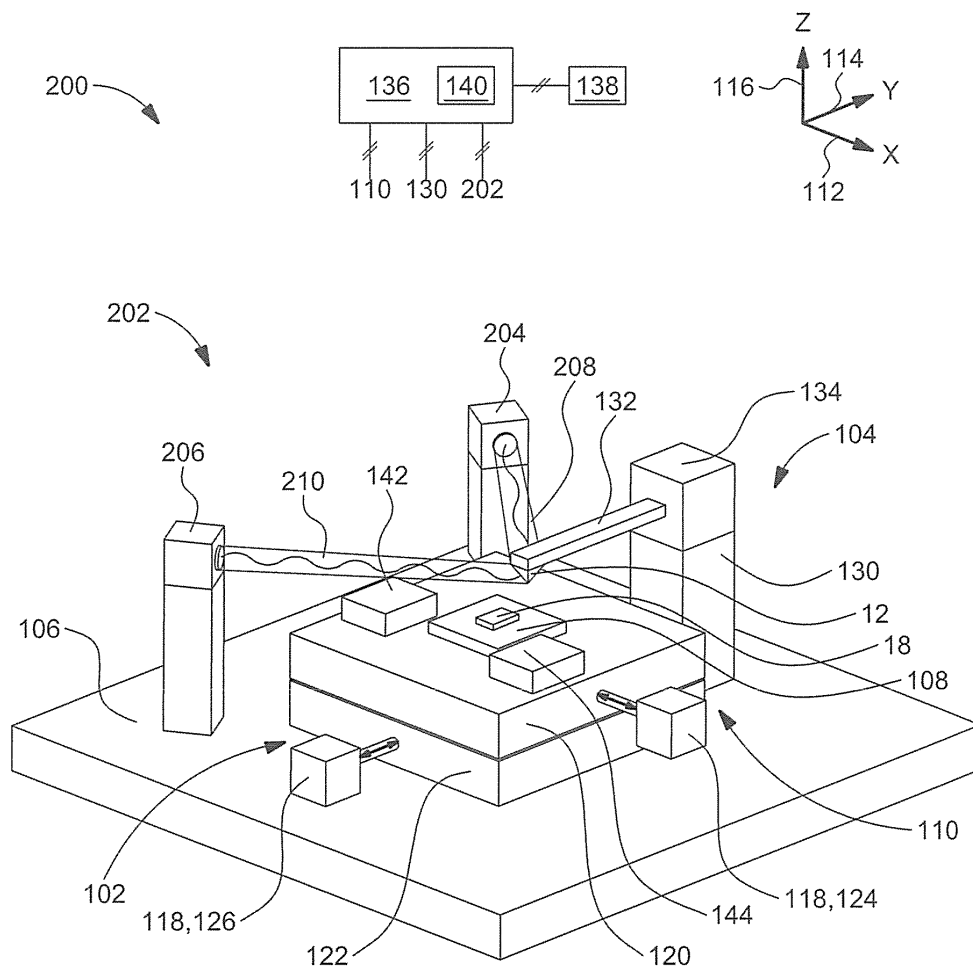
도면14



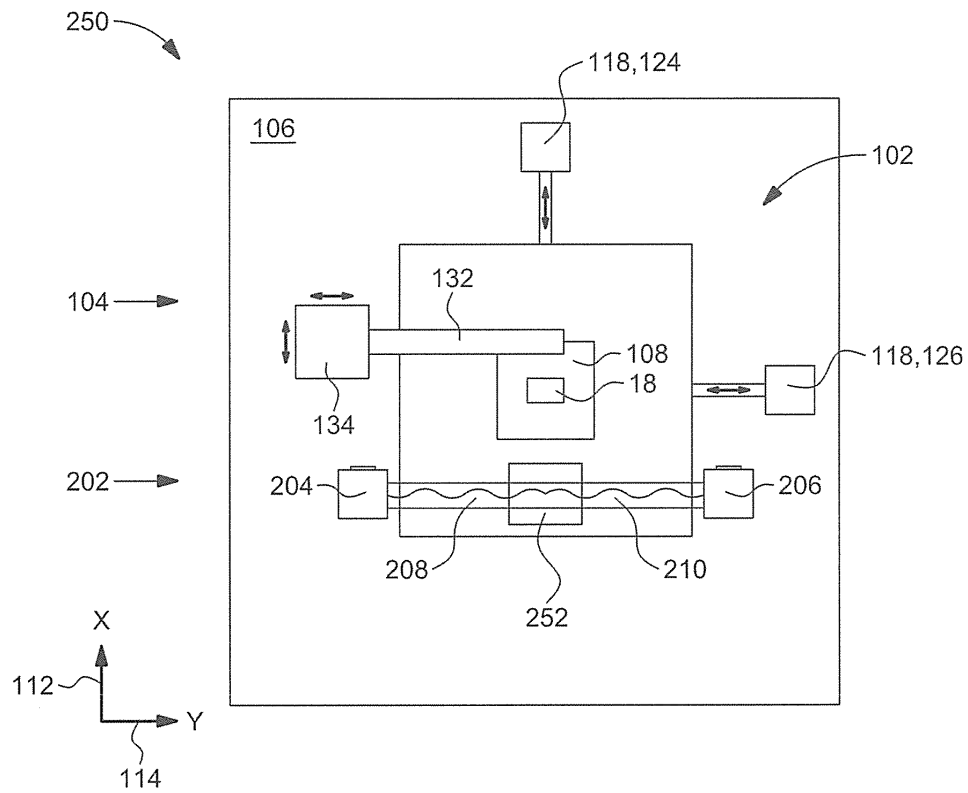
도면15



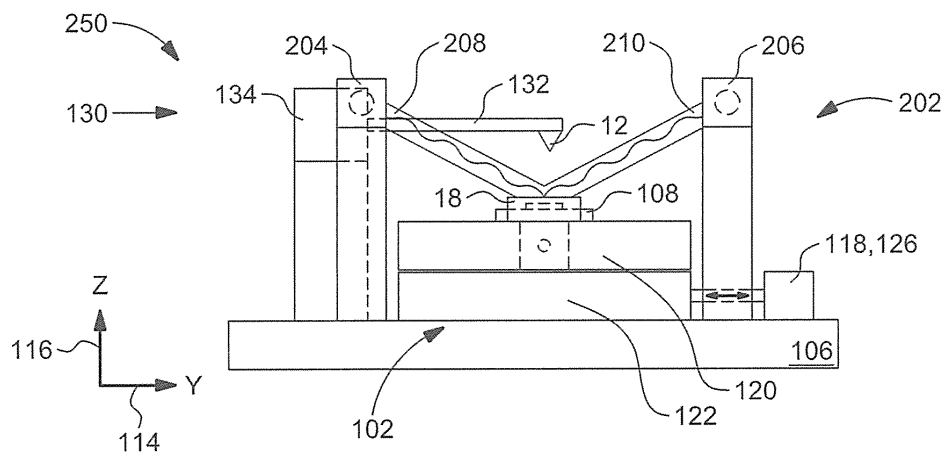
도면16



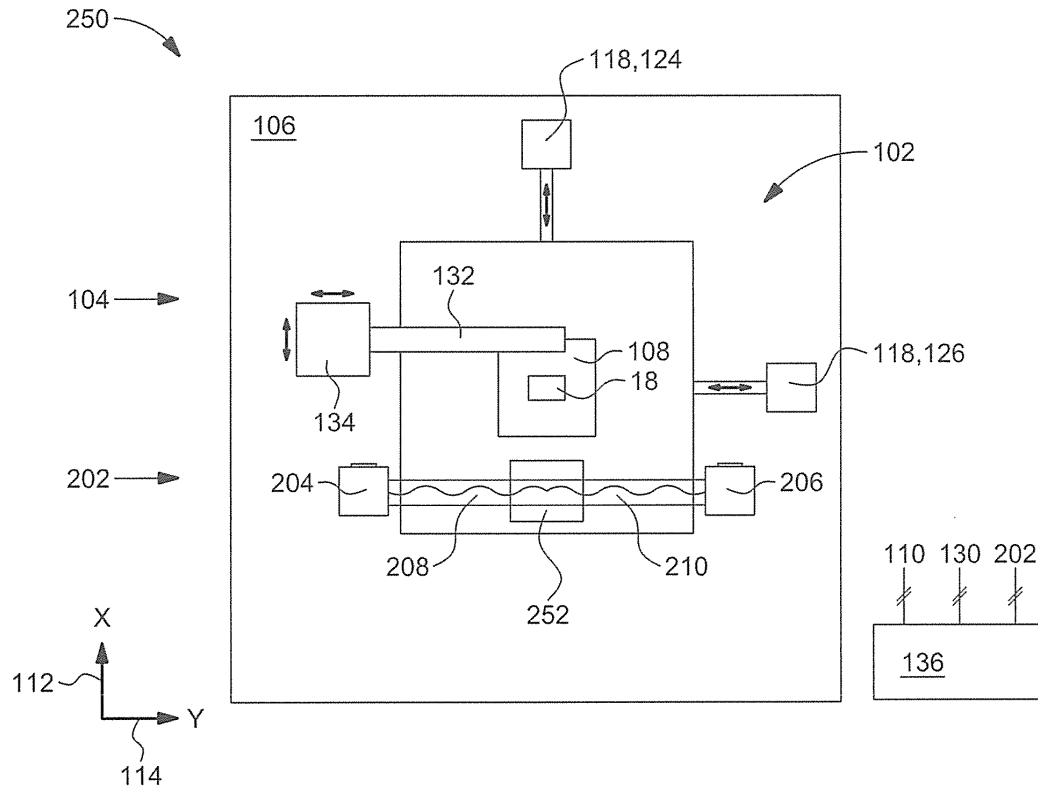
도면17a



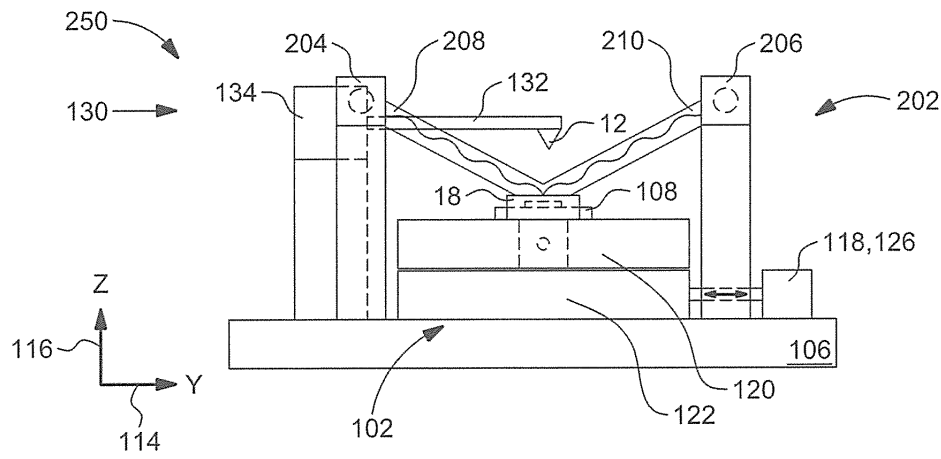
도면17b



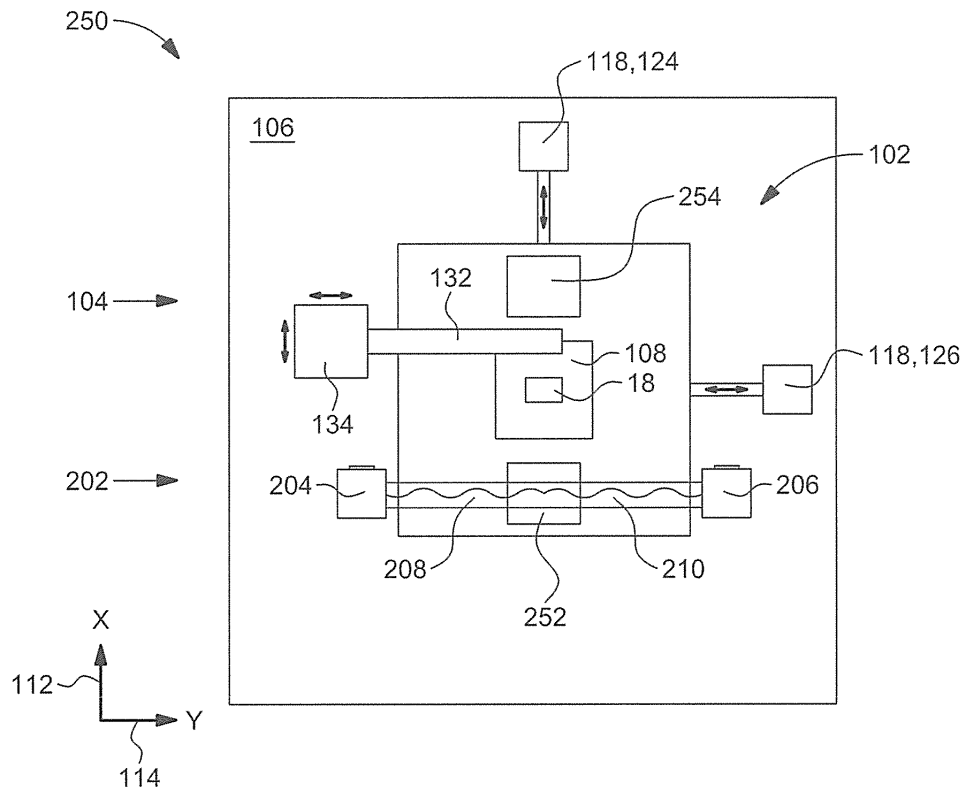
도면18a



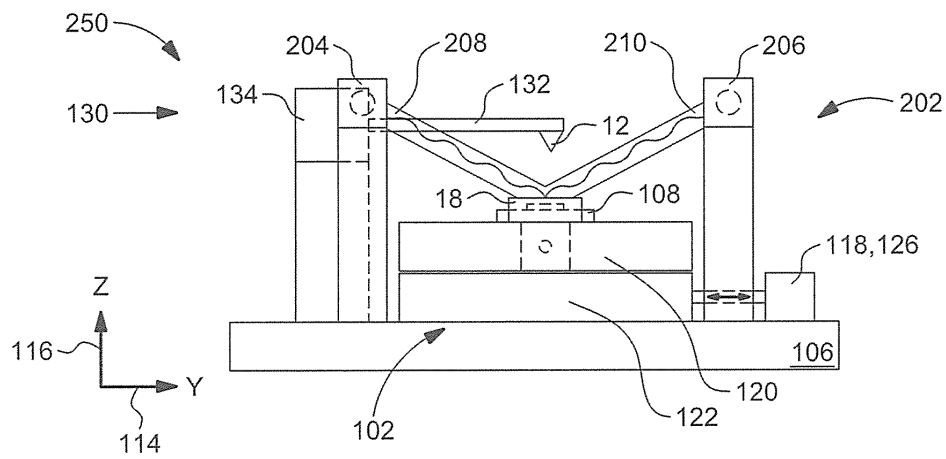
도면18b



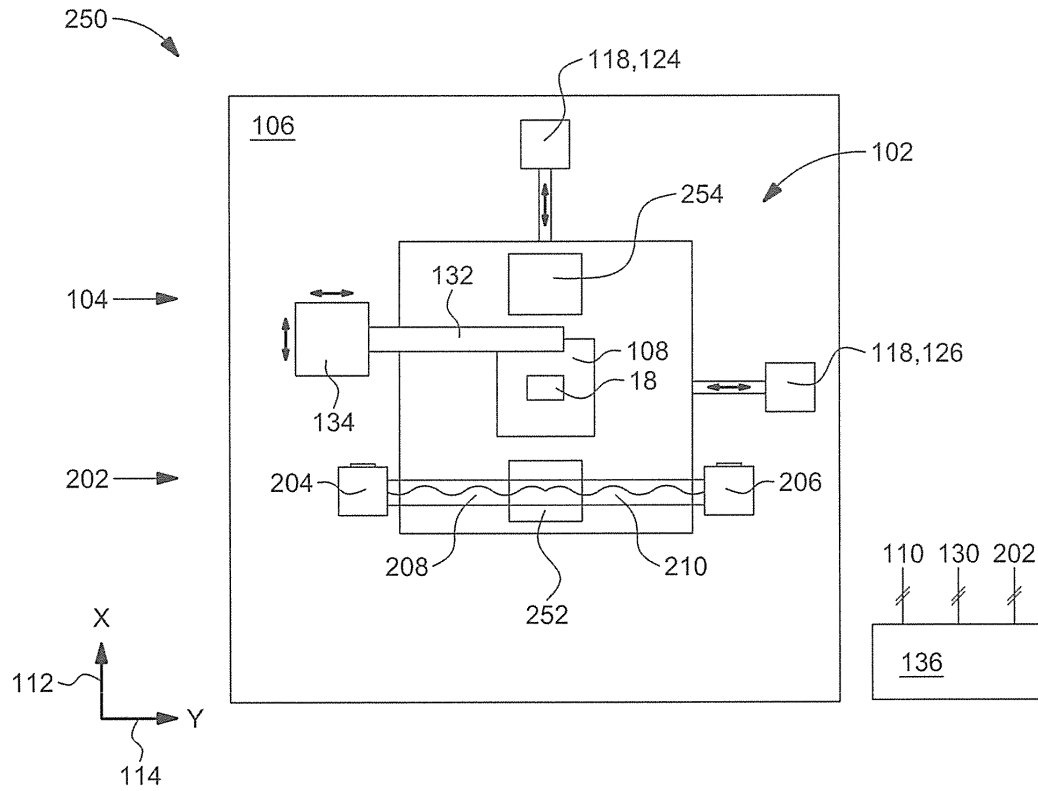
도면19a



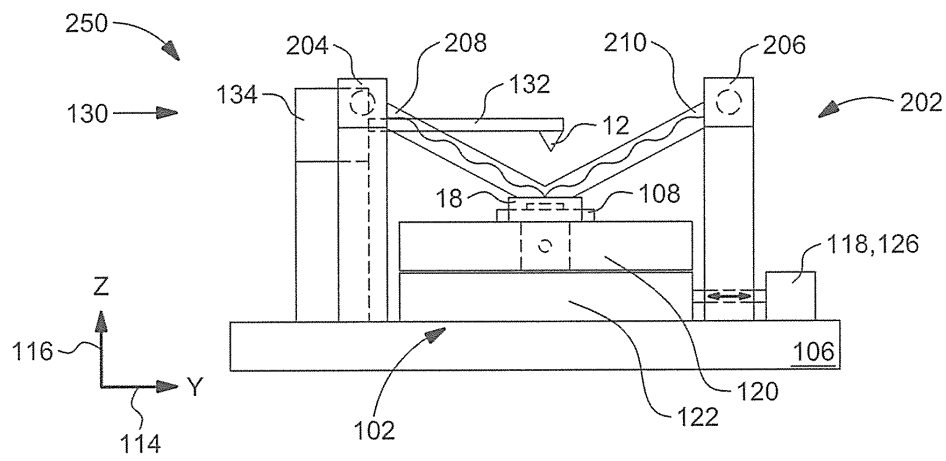
도면19b



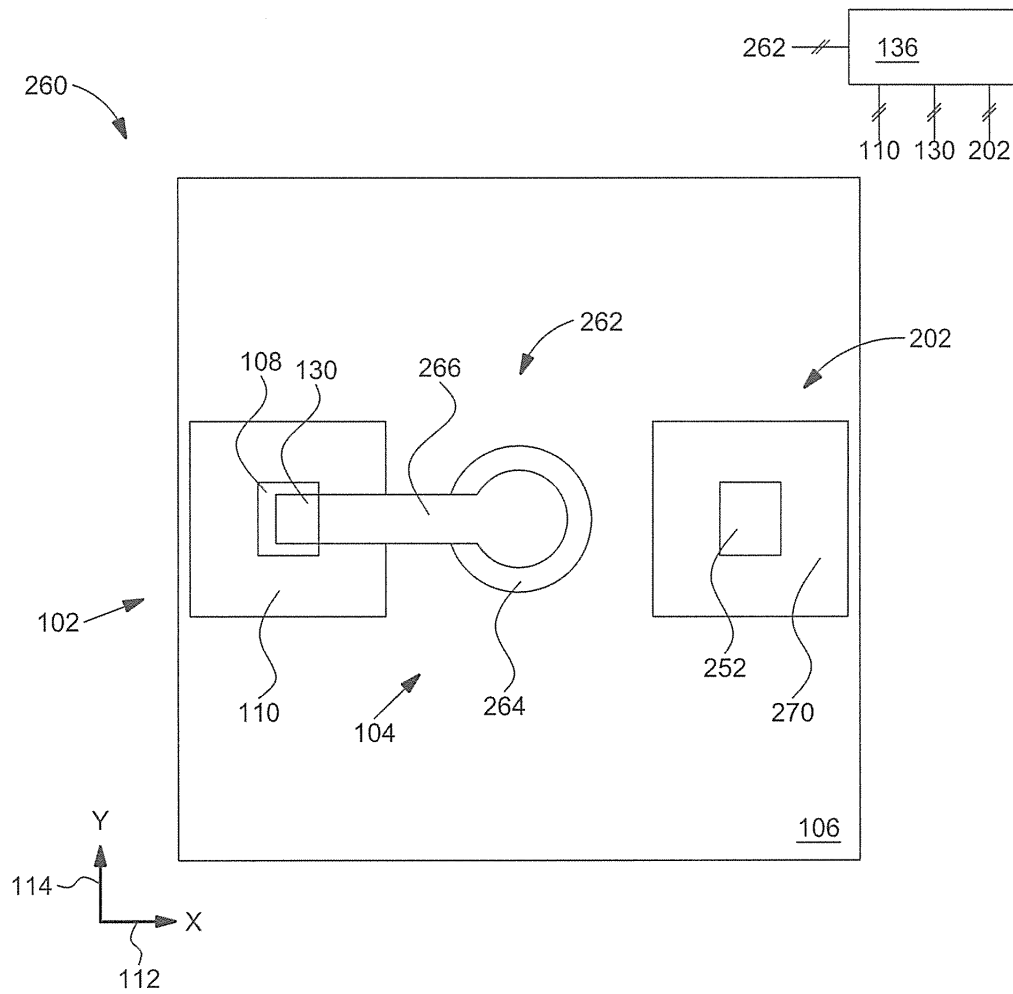
도면20a



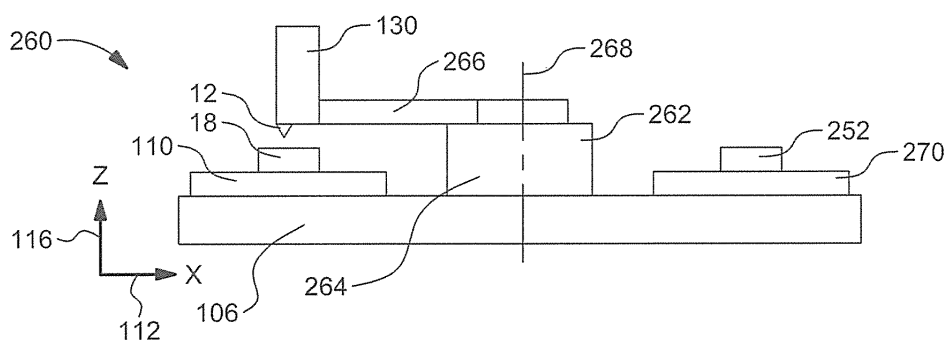
도면20b



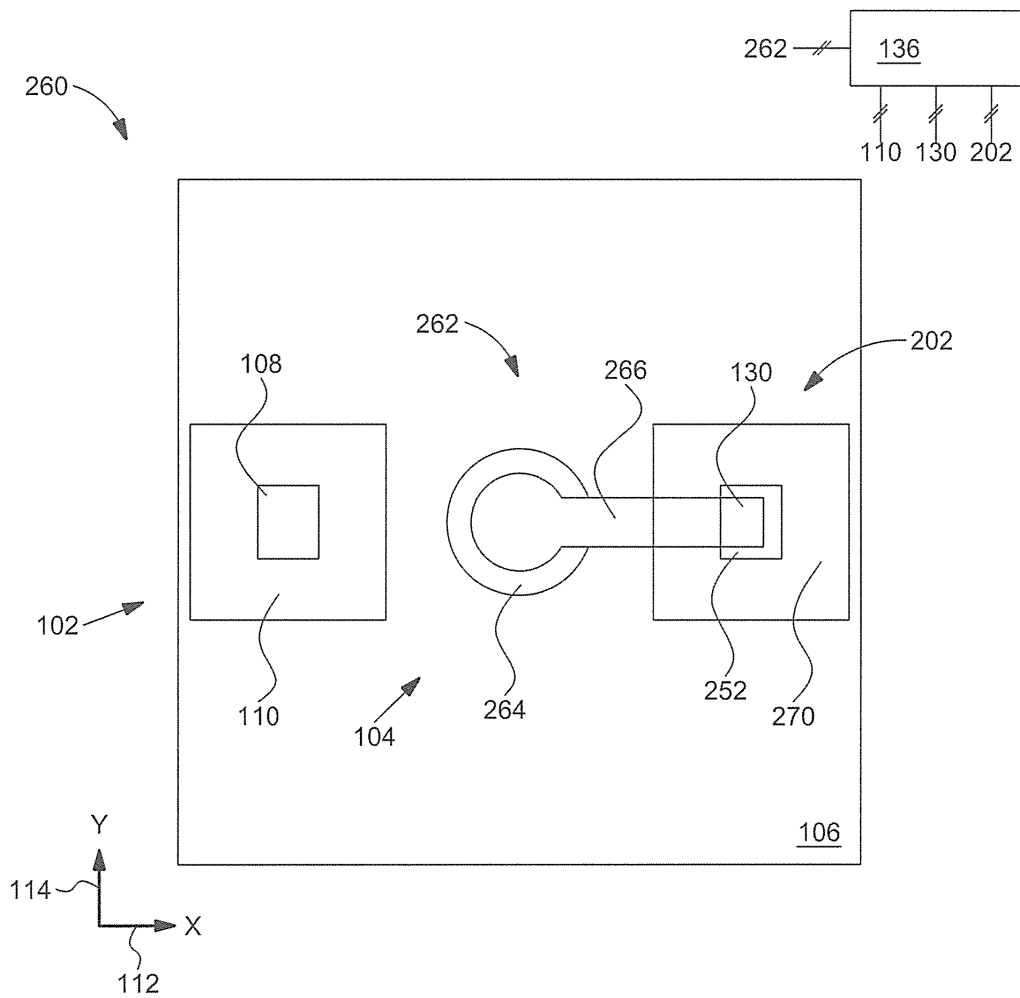
도면21a



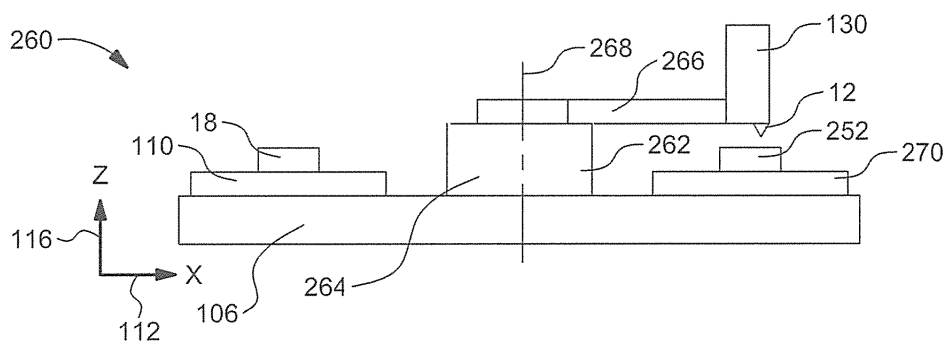
도면21b



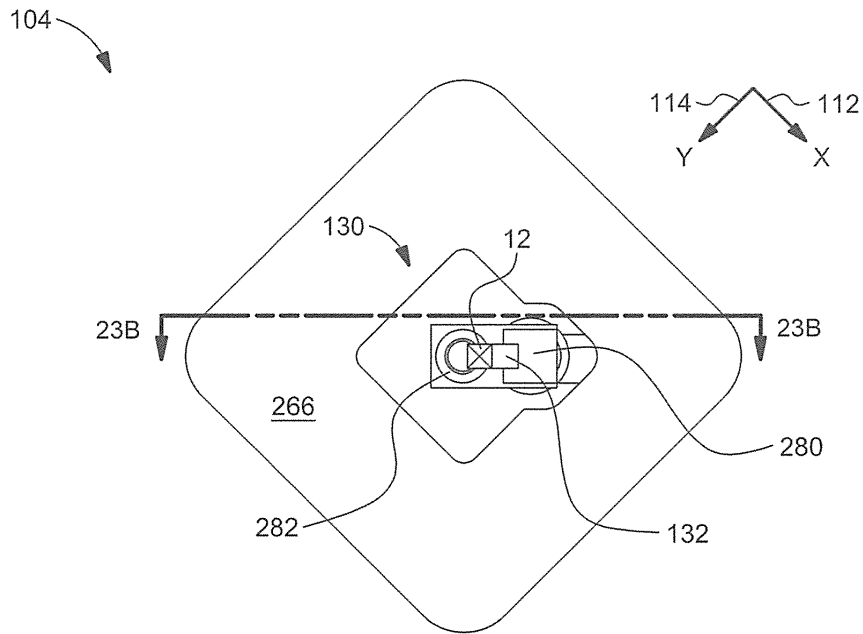
도면22a



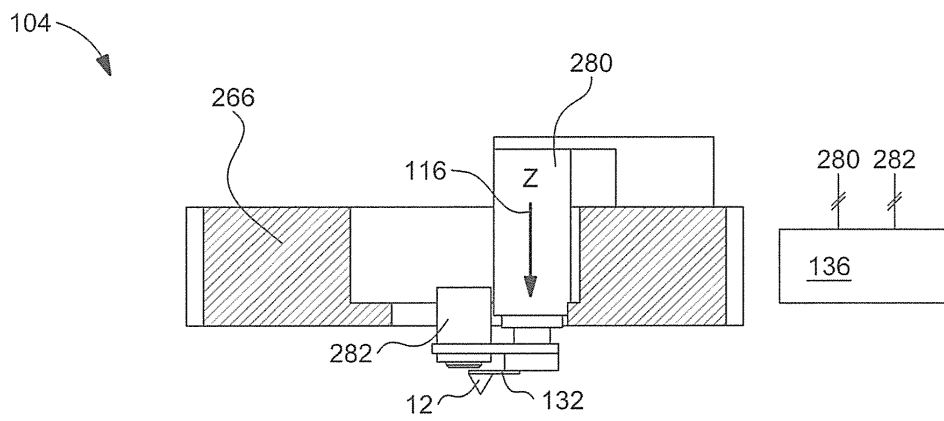
도면22b



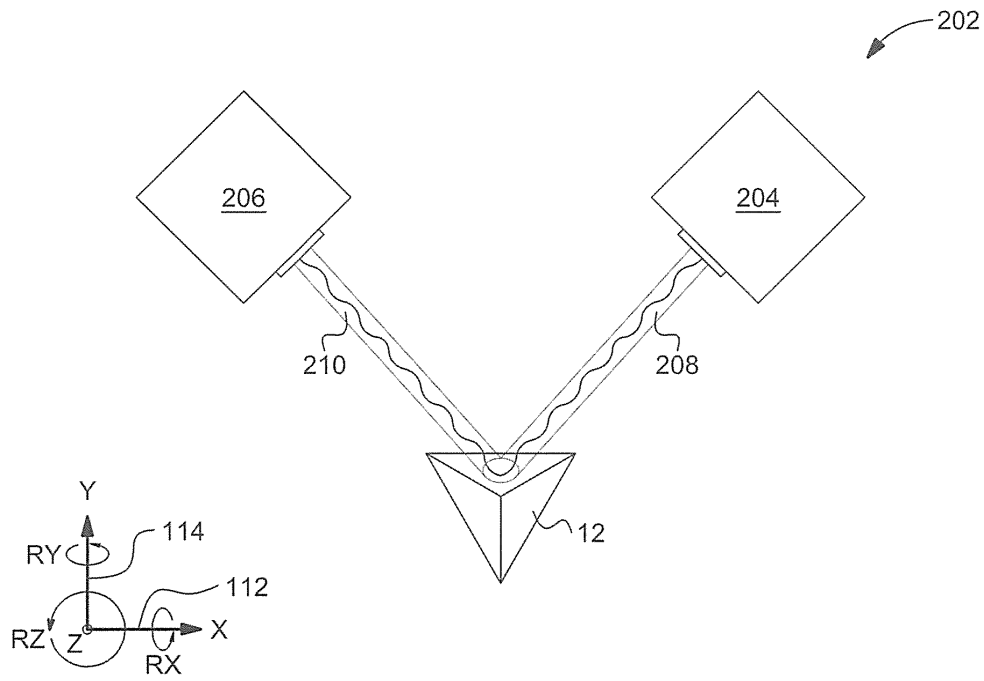
도면23a



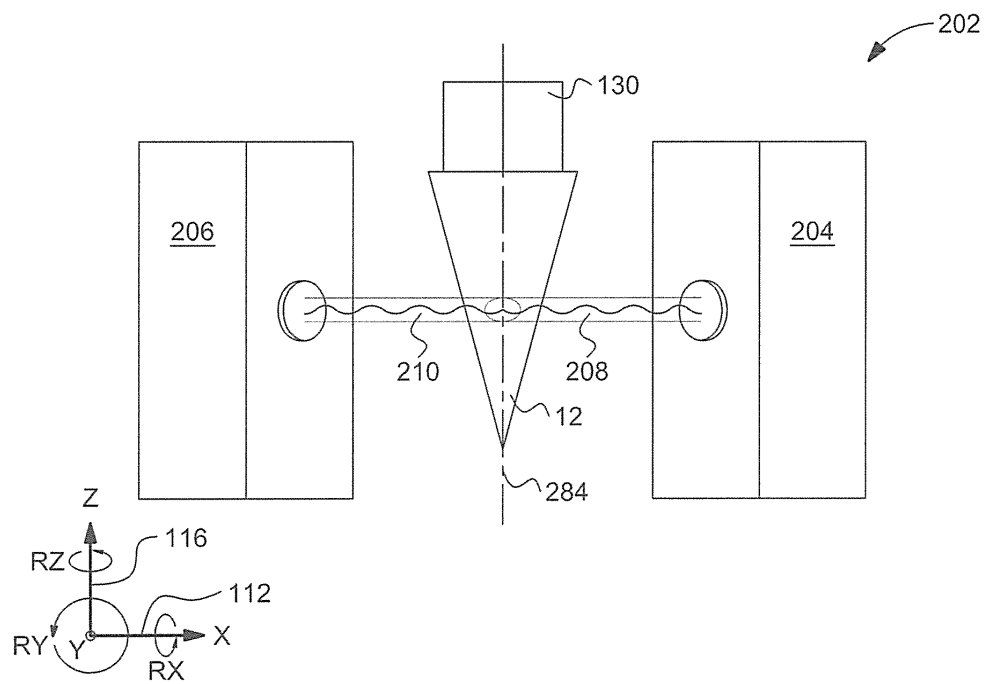
도면23b



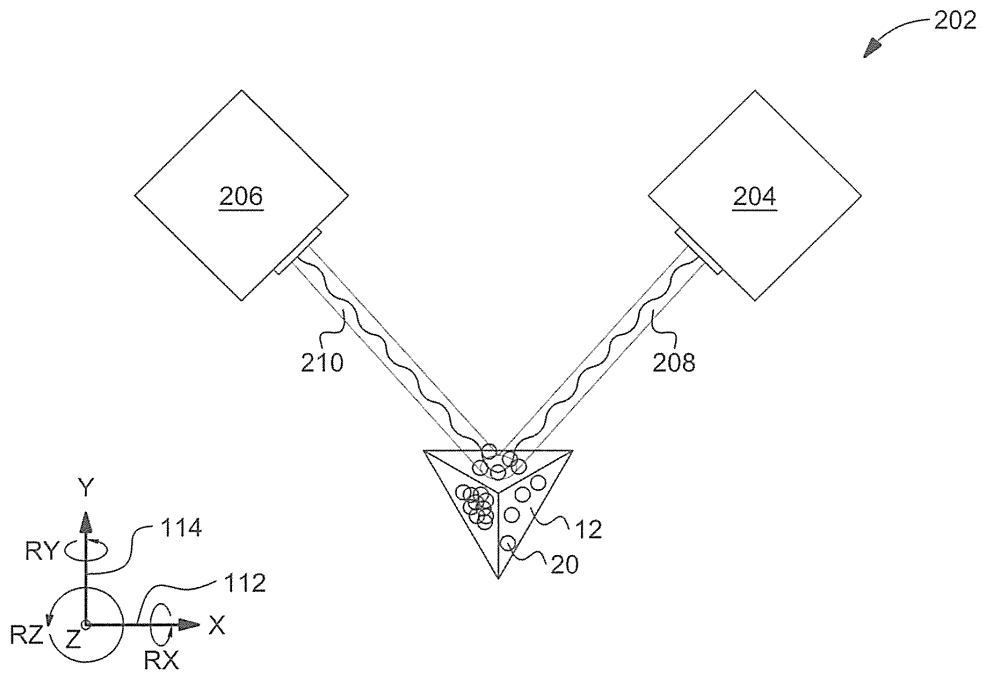
도면24a



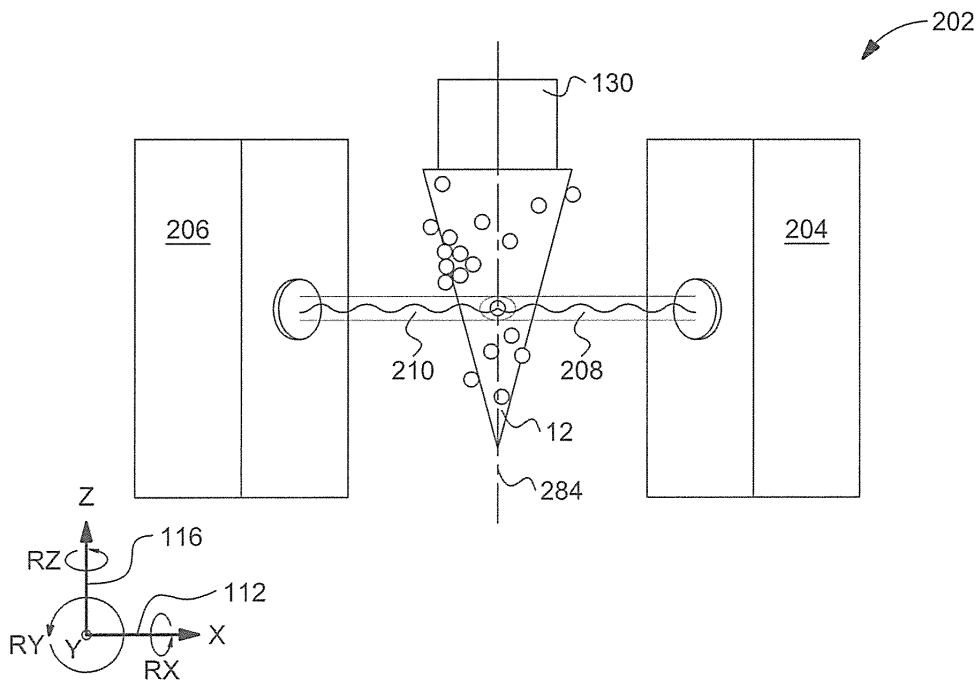
도면24b



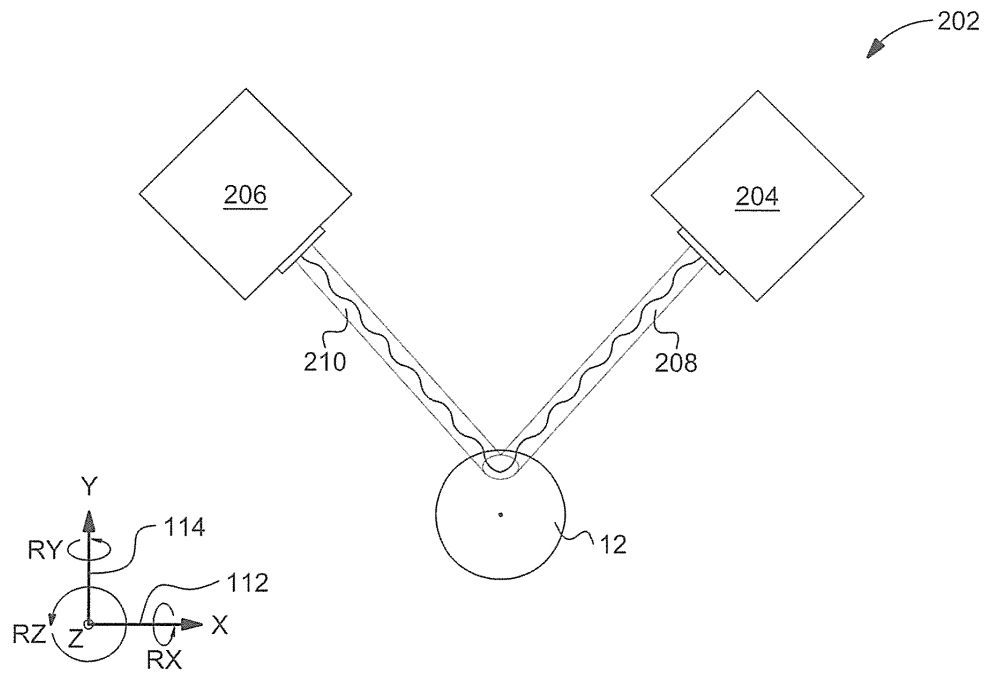
도면25a



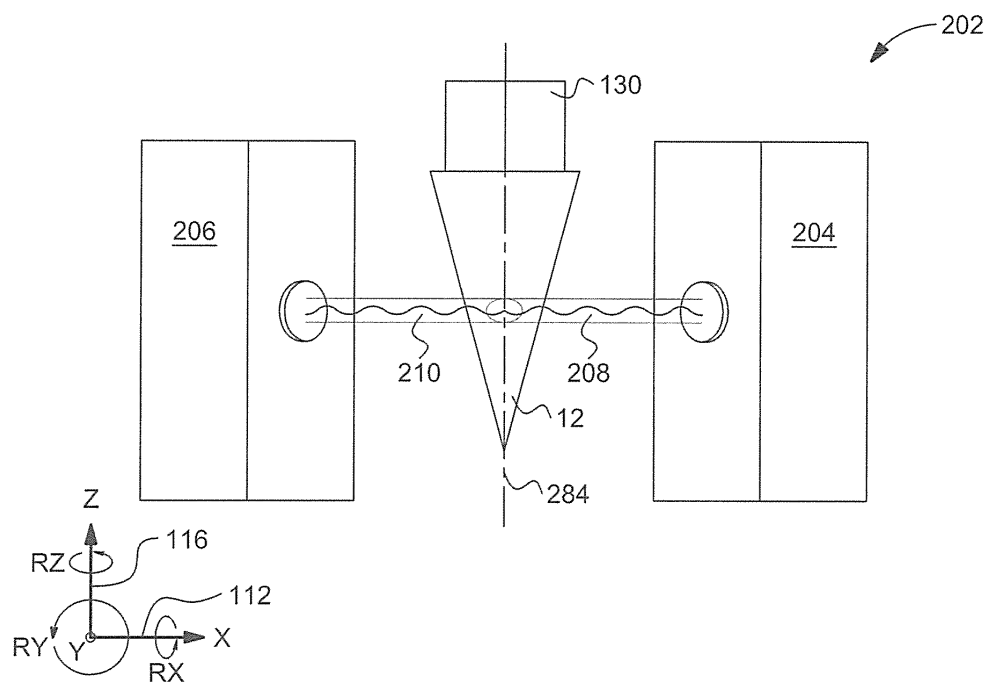
도면25b



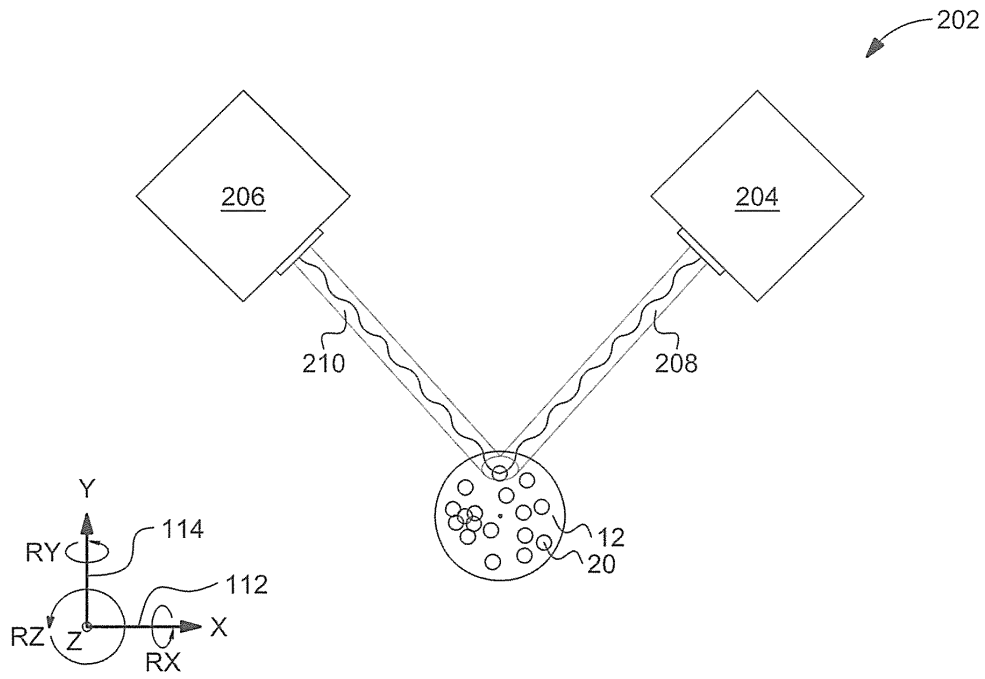
도면26a



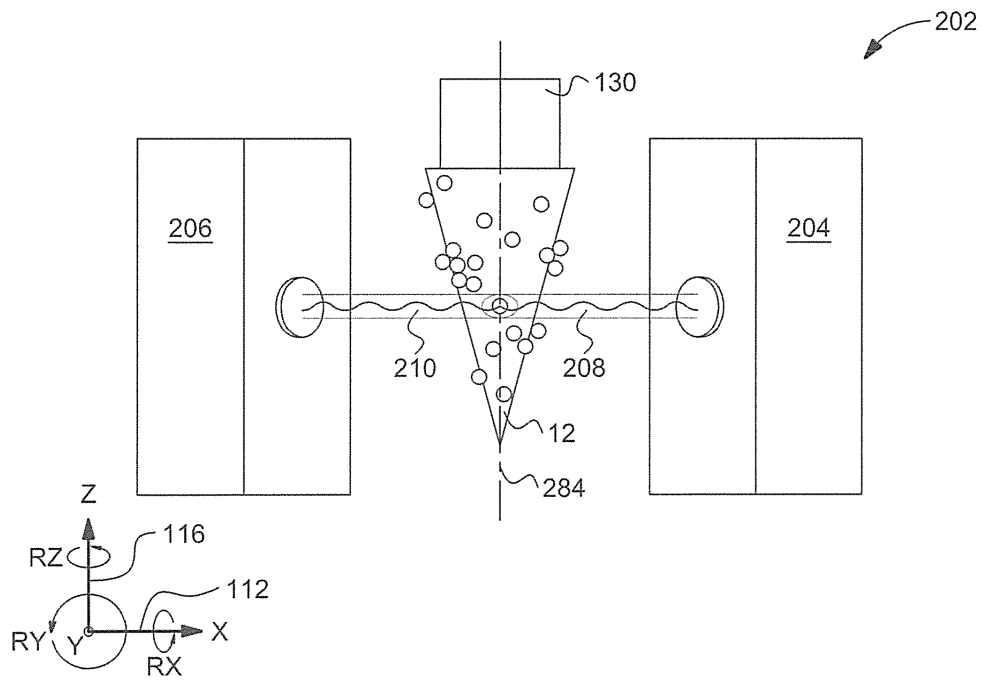
도면26b



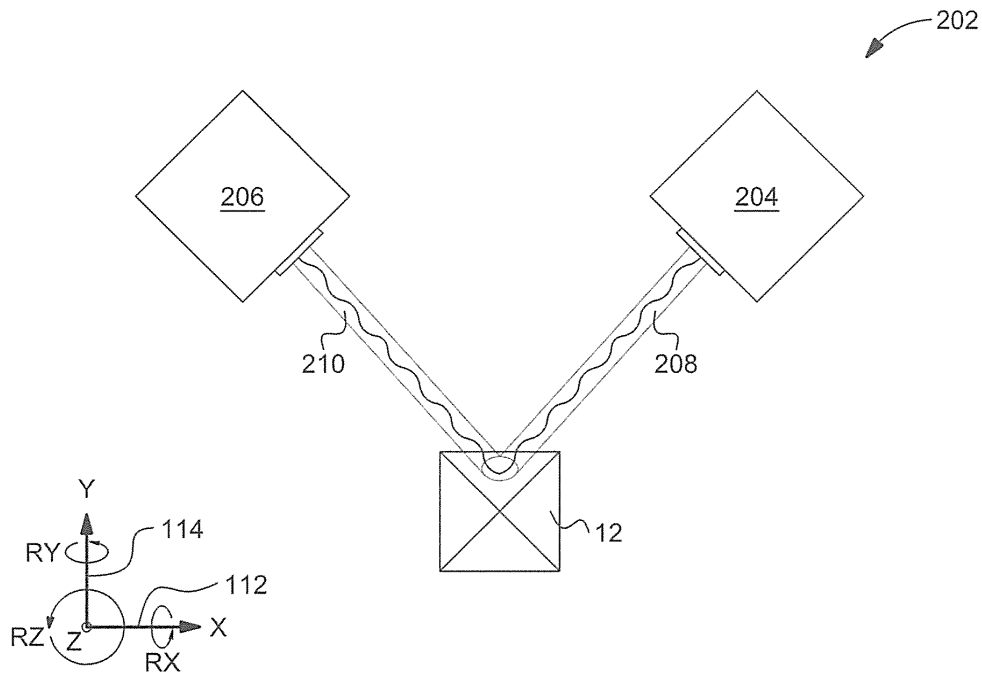
도면27a



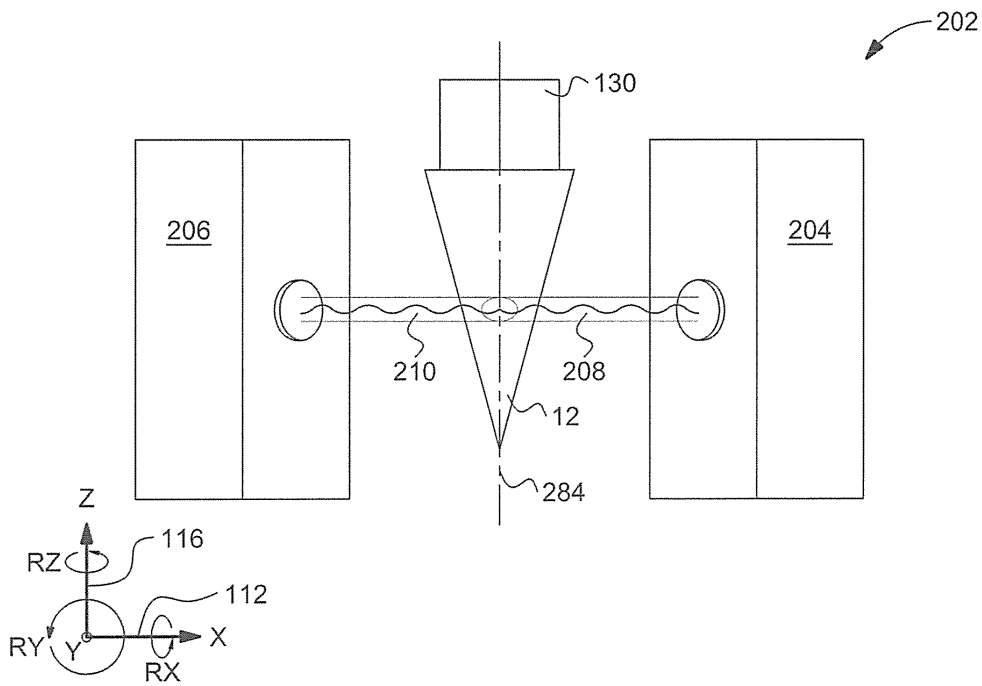
도면27b



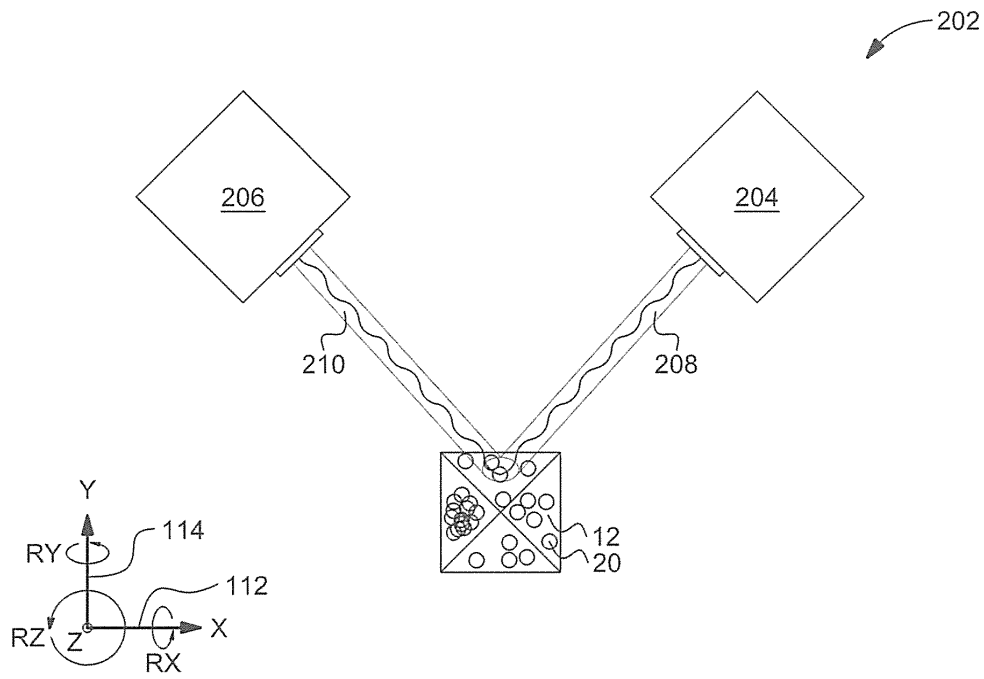
도면28a



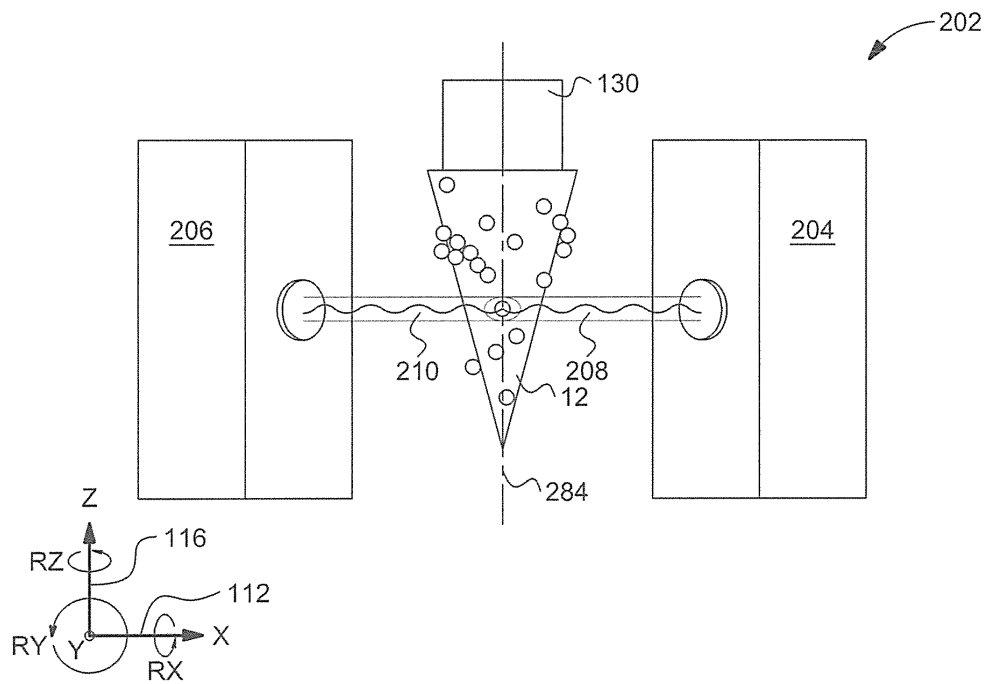
도면28b



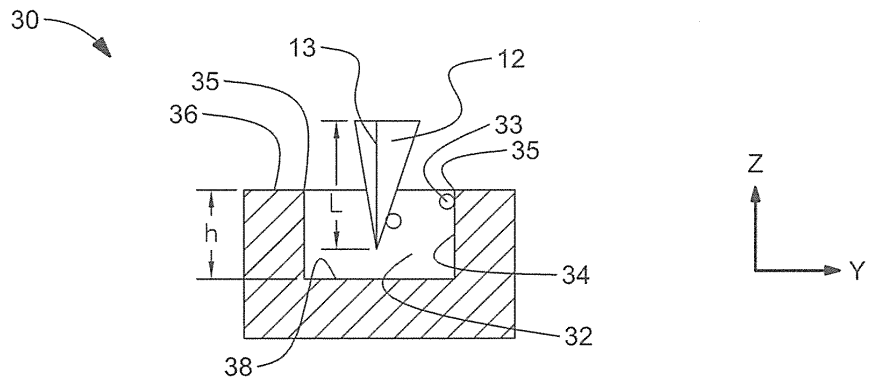
도면29a



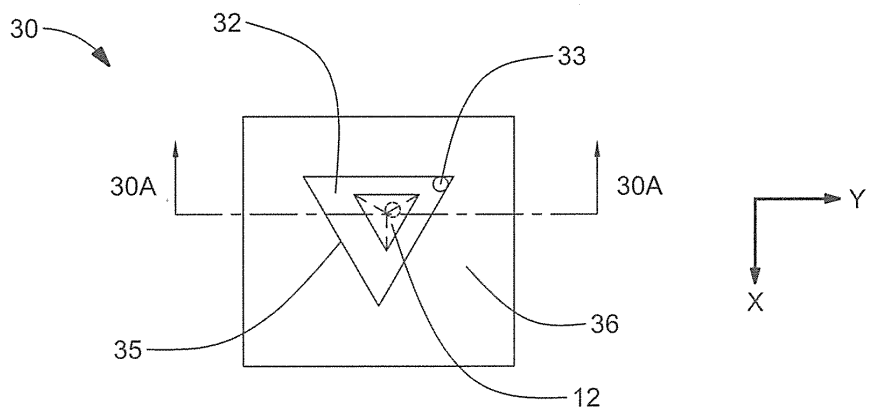
도면29b



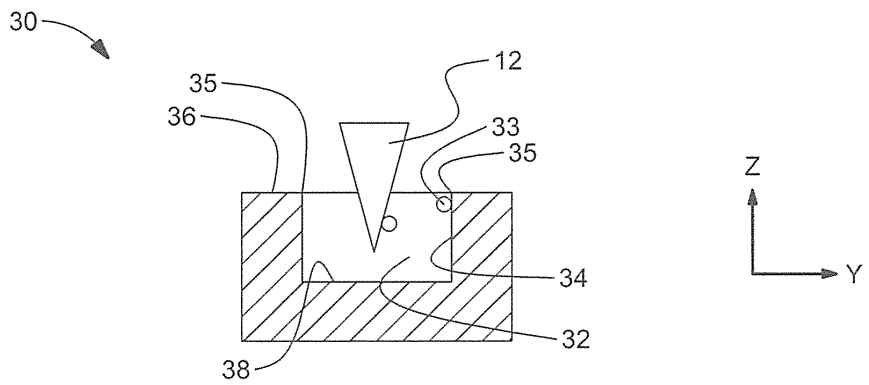
도면30a



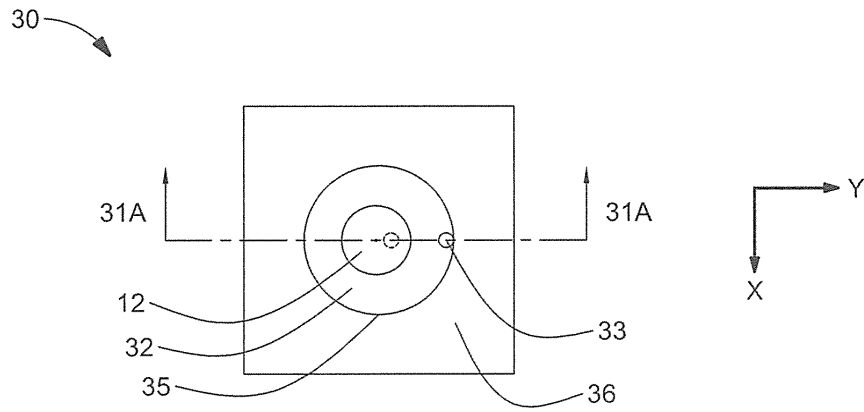
도면30b



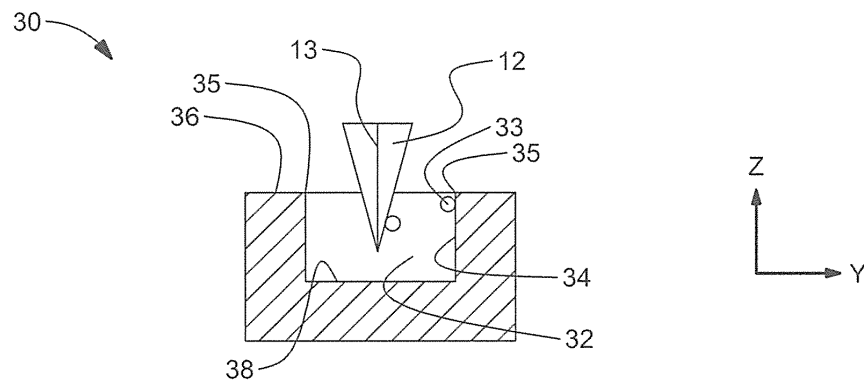
도면31a



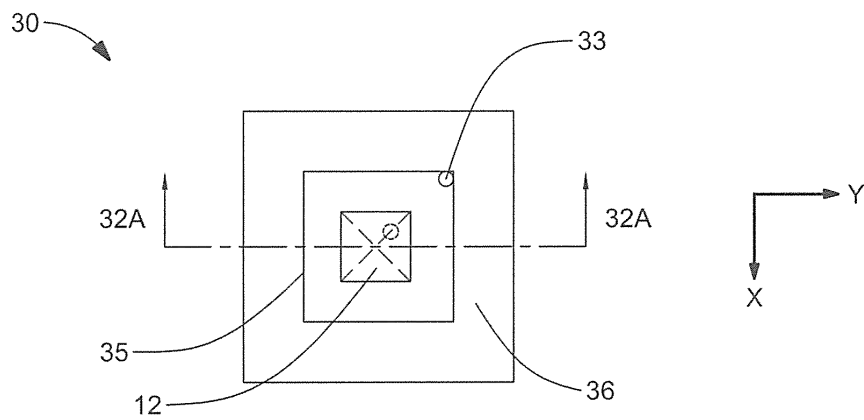
도면31b



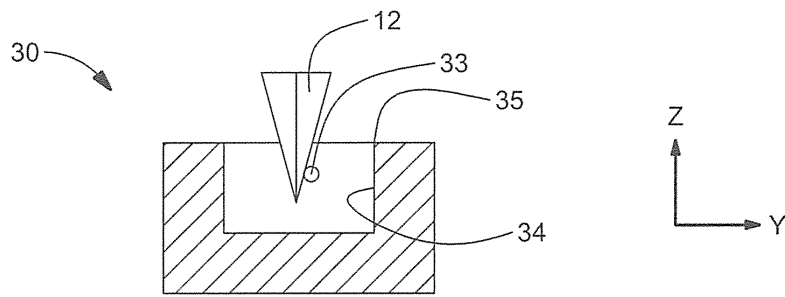
도면32a



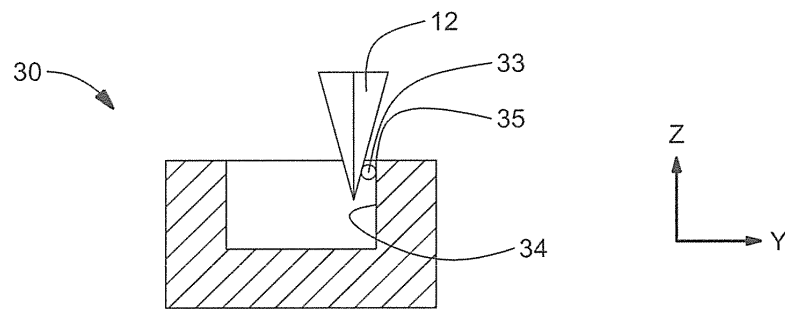
도면32b



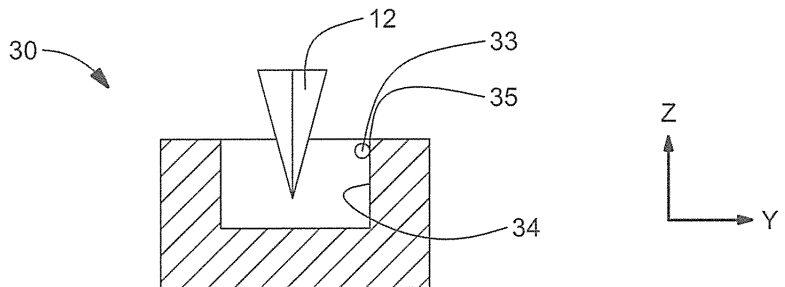
도면33a



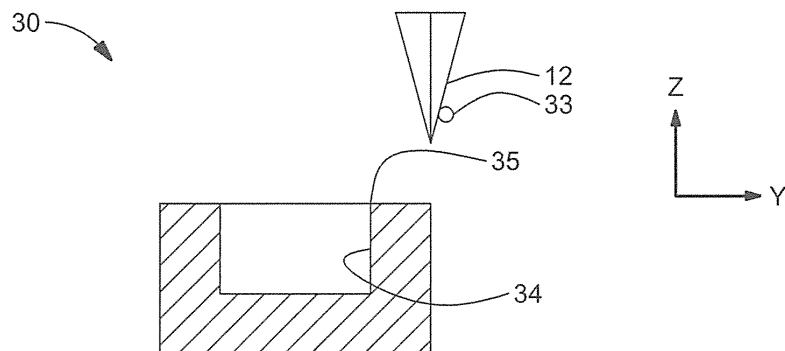
도면33b



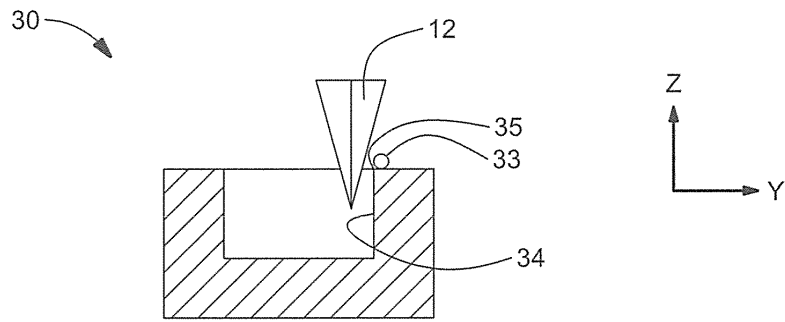
도면33c



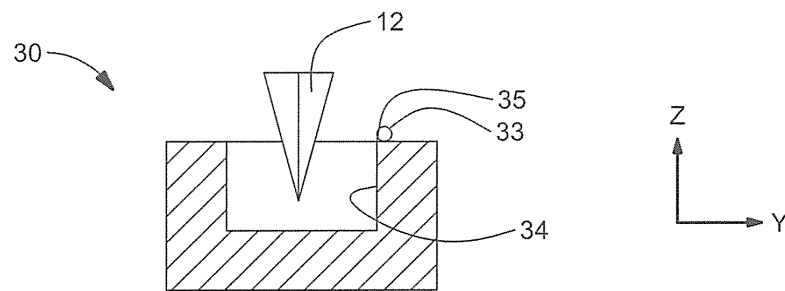
도면34a



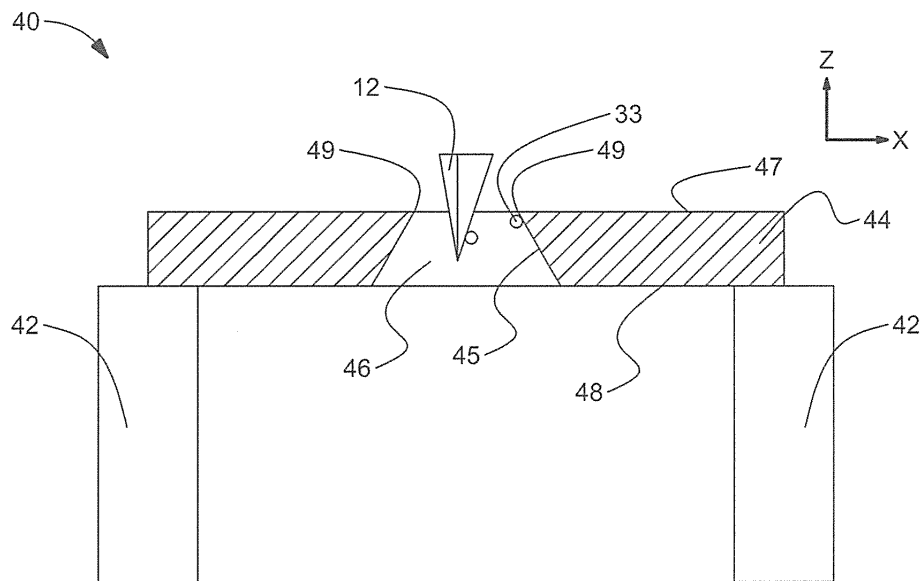
도면34b



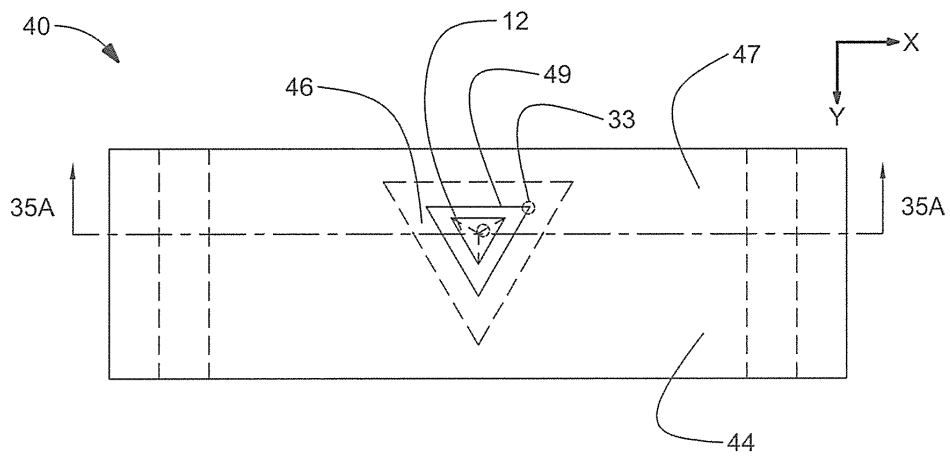
도면34c



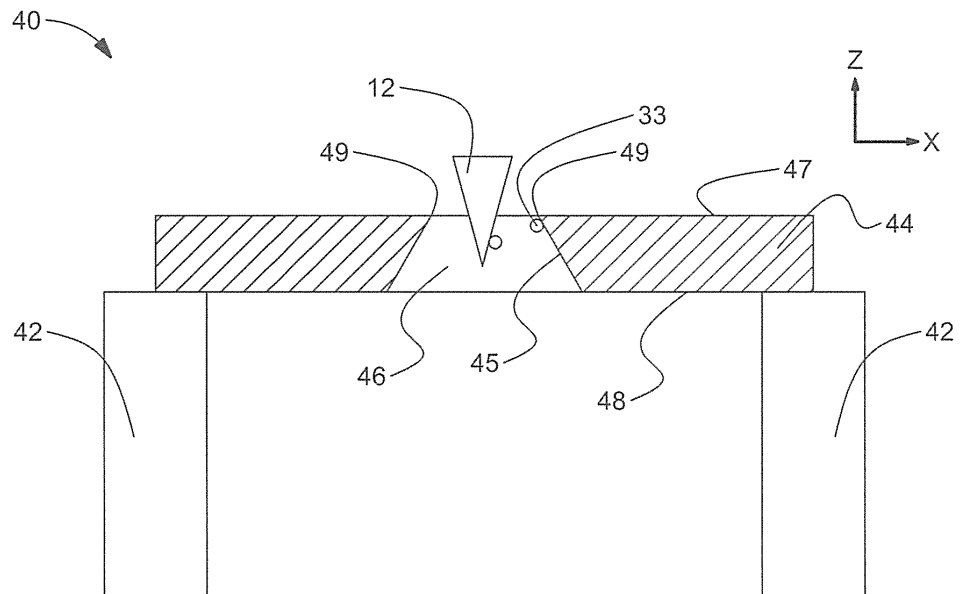
도면35a



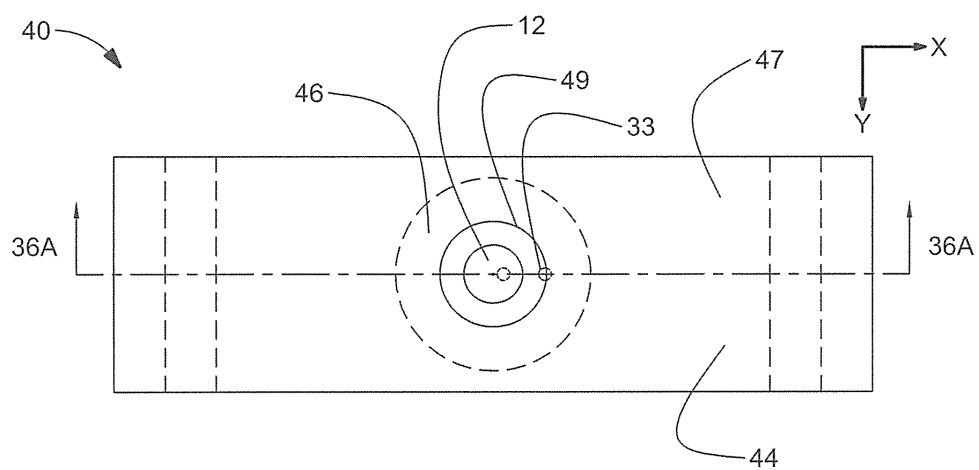
도면 35b



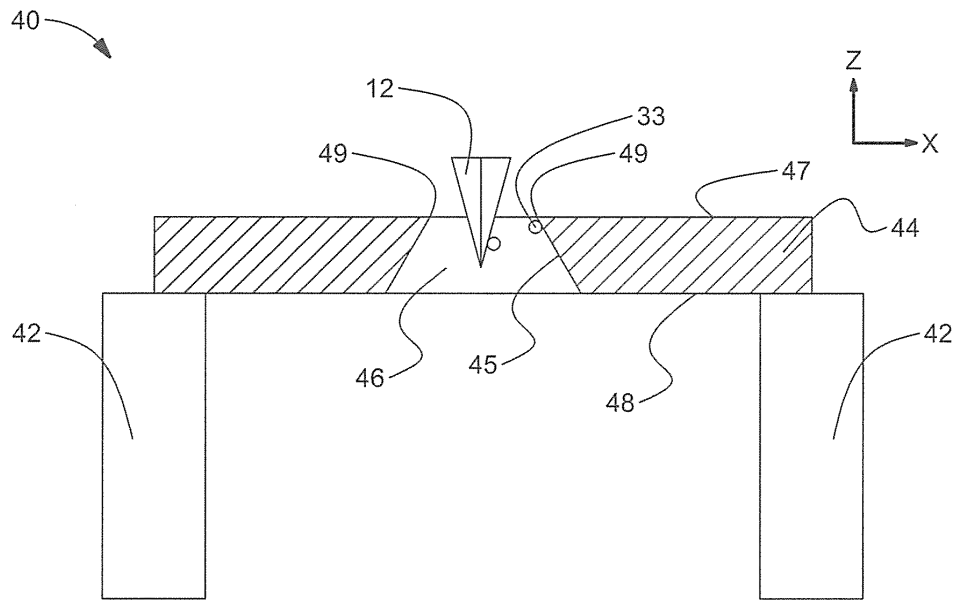
도면 36a



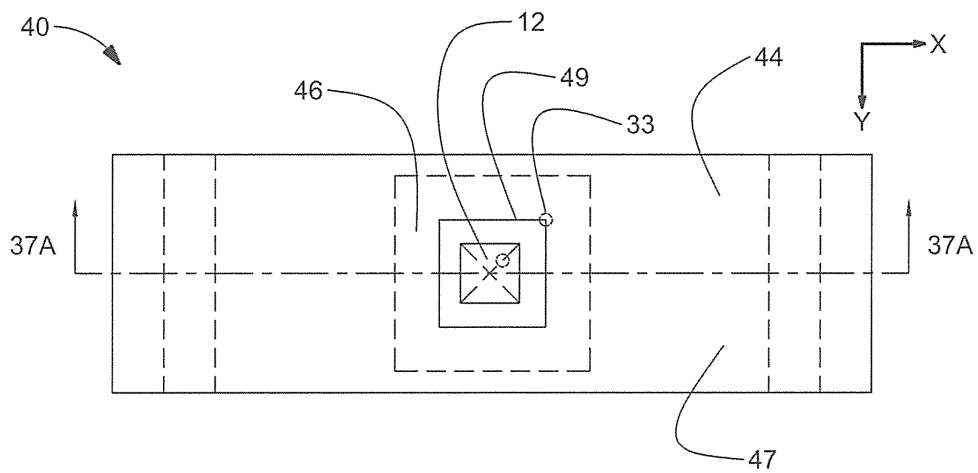
도면 36b



도면37a



도면37b



도면38

