

(11) 공개번호 10-2024-0129180
(43) 공개일자 2024년08월27일

(71) 출원인
니어펠트 인스트루먼트 비.브이.
 네덜란드, 에이티3047, 로테르담, 바레세웨그 5

(72) 발명자
판 더 라르, 야코프
 네덜란드, 에이티 3047, 로테르담, 바레세웨그 5
 내

사테기안 마르나니, 하메드
 네덜란드, 에이티 3047, 로테르담, 바레세웨그 5
 내

칼리닌, 아르세니
 네덜란드, 에이티 3047, 로테르담, 바레세웨그 5
 내

(74) 대리인
김연권

전체 청구항 수 : 총 16 항

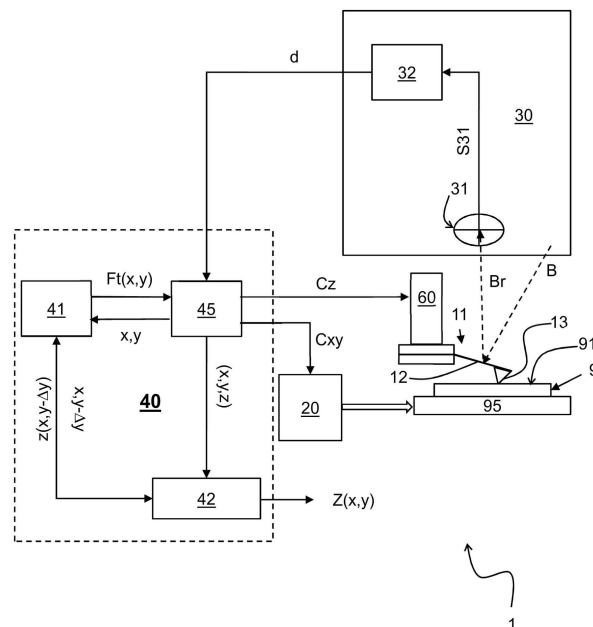
(54) 발명의 명칭 원자힘 현미경(AFM) 장치 및 그의 동작 방법

(57) 요약

샘플(9)을 스캐닝하기 위한 적어도 하나의 스캔 헤드를 포함하는 원자힘 현미경(AFM) 장치(1)가 개시된다. 제1 액츄에이터(20)는, 스캔 헤드의 프로브 팁과 샘플을 샘플의 표면(91)에 평행한 하나 이상의 방향으로 서로에 대해 상대적으로 이동시켜 프로브 팁으로 표면을 스캐닝하기 위해 스캔 헤드 또는 기판 홀더(95) 중 적어도 하나와

(뒷면에 계속)

대표도 - 도2



협력한다. 캔틸레버 편향 검출기(30)는 상기 스캐닝 중에 스캔 헤드에 대한 프로브의 편향(d)을 측정하고, 편향을 나타내는 출력 신호를 제공한다. AFM 장치의 컨트롤러(40)는 프로브의 편향을 측정하기 위한 캔틸레버 편향 검출기로부터 출력 신호를 수신 및 분석하고, 현재 스캐닝 중인 샘플의 위치 근처의 샘플 특성에 대한 정보에 따라 상기 스캐닝 중에 하나 이상의 이미지화 파라미터를 자동으로 조정한다. 샘플 특성에 대한 정보는 샘플의 사양, 샘플 제조 레시피, 현재 스캐닝 라인과 실질적으로 평행한 방향의 이전 스캐닝 라인에 따른 스캐닝에서 얻은 정보 또는 현재 스캐닝 라인 자체에서 얻은 정보 중 하나 이상을 포함한다.

(52) CPC특허분류

G01Q 60/24 (2013.01)

명세서

청구범위

청구항 1

원자힘 현미경(AFM) 장치의 동작 방법에 있어서,

팁을 가지는 프로브를 현재 스캐닝 라인을 따라 제1 측방향으로 샘플의 표면을 스캐닝하는 단계;

상기 팁과 상기 샘플 사이의 상호 작용을 측정하는 단계; 및

상기 샘플에 대한 정보를 기반으로, 상기 스캐닝 동안 하나 이상의 이미지화 파라미터를 적응적으로 조정하는 단계를 포함하고,

상기 샘플에 대한 정보는 상기 스캐닝 이전에 획득한 상기 샘플에 대한 정보를 포함하고, 상기 스캐닝 이전에 획득한 정보에 기초하여 상기 스캐닝 동안 적응적으로 조정되는 하나 이상의 이미지화 파라미터는 힘 임계값을 포함하며, 상기 현재 스캐닝 위치의 영역에서 얻은 정보가 상기 현재 스캐닝 지점이 상대적으로 깊고 좁은 홈 내부 또는 가파른 측벽에 가까운 바닥에 있는 것으로 예상됨을 지시하는 경우, 상대적으로 높은 힘 임계값을 선택하고, 상기 영역에서 얻은 정보가 비교적 넓은 홈 또는 비교적 가파르고 높은 가장자리/측벽에서 떨어진 넓고 평평한 영역을 나타내는 경우, 상대적으로 낮은 힘 임계값이 선택됨을 특징으로 하는 방법.

청구항 2

제1 항에 있어서,

상기 샘플에 대한 정보는, 이전 스캐닝라인에 따라 상기 현재 스캐닝라인과 실질적으로 평행한 방향으로 스캐닝 하여 획득한 정보를 더 포함하는 것을 특징으로 하는 방법.

청구항 3

제1 항 또는 제2항에 있어서,

상기 하나 이상의 적응적으로 조정된 이미지화 파라미터는 기준선 오프셋을 더 포함함을 특징으로 하는 방법.

청구항 4

제1항, 제2항 또는 제3항에 있어서,

상기 하나 이상의 적응적으로 조정된 이미지화 파라미터는 접근 프로파일(approach profile)을 더 포함함을 특징으로 하는 방법.

청구항 5

제1항, 제2항, 제3항 또는 제4항에 있어서,

상기 하나 이상의 적응적으로 조정된 이미지화 파라미터는 후진 프로파일(retract profile)을 더 포함하는 방법.

청구항 6

제1항 내지 제5항 중 어느 한 항에 있어서,

상기 정보는 상기 샘플의 대략적인 기하학적 구조, 이전 라인의 프로파일, 접촉력 및 측방향 변위 센서로부터의 인디케이션(indication)에서 하나 이상의 정보를 더 포함함을 특징으로 하는 방법.

청구항 7

선행하는 청구항 중 어느 한 항에 있어서,

현재 스캐닝라인에 따라 최근 스캐닝된 하나 이상의 위치에 대해 획득한 상기 샘플에 대한 정보에 기초하여 하

나 이상의 이미지 파라미터 설정을 적응적으로 조정하는 단계를 더 포함함을 특징으로 하는 방법.

청구항 8

선행하는 청구항 중 어느 한 항에 있어서,

상기 프로브, 상기 팁 또는 상기 샘플 중 하나 이상에 음향 신호를 공급하고, 상기 샘플과의 상기 음향 신호의 상호 작용에 기초하여 출력 신호를 분석하는 단계를 더 포함함을 특징으로 하는 방법.

청구항 9

선행하는 청구항 중 어느 한 항에 있어서,

상기 캔틸레버(12)의 유효 강성을 변경하기 위해 상기 프로브의 진동을 유도하는 단계를 더 포함함을 특징으로 하는 방법.

청구항 10

제1항에 있어서,

상기 팁의 변형을 나타내는 팁 변형 신호를 획득하고, 상기 표시된 팁의 변형이 미리 정해진 한계를 초과하는 경우 상기 힘 임계값을 감소시키는 단계 및/또는 상기 팁의 변형으로 인한 편차를 보상하도록 상기 방법으로 획득한 출력 신호를 처리하는 단계를 포함함을 특징으로 하는 방법.

청구항 11

원자힘 현미경(AFM) 장치(1)에 있어서, 상기 장치는 샘플(9)을 스캐닝하기 위한 적어도 하나의 스캔 헤드(9)를 포함하고, 상기 스캔 헤드는 프로브(11)를 포함하고, 상기 프로브는 캔틸레버(12)와 캔틸레버에 배열된 프로브 팁(13)을 구비하며, 상기 장치는,

상기 프로브 팁으로 상기 샘플의 표면(91)을 스캐닝하기 위해 상기 표면에 평행한 하나 이상의 방향으로 상기 프로브 팁과 상기 샘플을 서로 상대적으로 이동시키기 위한 스캔 헤드 또는 기판 홀더(95) 중 적어도 하나와 협력하는 제1 액츄에이터(20);

상기 스캐닝 동안 상기 스캔 헤드에 대한 상기 캔틸레버(12)의 편향(d)을 측정하기 위한 캔틸레버 편향 검출기(30)로서, 상기 편향을 표시하는 출력 신호를 제공하도록 배열되는 캔틸레버 편향 검출기(30); 및

상기 캔틸레버 편향 검출기로부터 출력 신호를 수신 및 분석하고, 상기 프로브의 편향을 측정하고, 현재 스캐닝되는 샘플의 위치 근처의 샘플 특성에 관한 정보에 따라 상기 스캐닝 동안 하나 이상의 이미지화 파라미터를 자동으로 적응적으로 조정하도록 구성된 컨트롤러(40)를 더 포함하고,

상기 샘플 특성에 관한 정보는 상기 스캐닝 이전에 획득한 상기 샘플에 대한 정보를 포함하고, 상기 스캐닝 이전에 획득한 정보에 기초하여 상기 스캐닝 동안 적응적으로 조정되는 하나 이상의 이미지화 파라미터는 힘 임계값을 포함하며, 상기 현재 스캐닝 위치의 영역에서 얻은 정보가 상기 현재 스캐닝 지점이 상대적으로 깊고 좁은 홈 내부 또는 가파른 측벽에 가까운 바닥에 있는 것으로 예상됨을 나타내는 경우, 상대적으로 높은 힘 임계값을 선택하고, 상기 영역에서 얻은 정보가 비교적 넓은 홈 또는 비교적 가파르고 높은 가장자리/측벽에서 떨어진 넓고 평평한 영역을 나타내는 경우, 상대적으로 낮은 힘 임계값이 선택됨을 특징으로 하는 원자힘 현미경(AFM) 장치.

청구항 12

제11 항에 있어서,

상기 샘플 특성에 관한 정보는, 이전 스캐닝라인에 따라 상기 현재 스캐닝라인과 실질적으로 평행한 방향으로 스캐닝하여 획득한 정보를 더 포함하는 것을 특징으로 하는 원자힘 현미경(AFM) 장치.

청구항 13

제11 항 또는 제12항에 있어서,

상기 컨트롤러는, 상기 제1 액츄에이터(20)가 제1 방향(x)으로 연장되는 후속 스캐닝라인에 따라 상기 프로브

팁(13)과 상기 샘플(9)을 상대적으로 이동시키도록 구성되고, 상기 AFM 장치는 현재 스캐닝라인을 스캐닝하는 동안 획득한 상기 샘플에 대한 정보를 저장하기 위한 메모리(42)를 더 포함하고, 상기 컨트롤러는 후속 스캐닝 라인에서의 스캐닝 위치에 해당하는 현재 스캐닝라인에서의 영역 또는 위치에 대해 상기 메모리(42)에 저장되어 있는 상기 샘플에 대한 정보에 적어도 기초하여 후속 스캐닝라인에서의 상기 스캐닝 위치에서 상기 하나 이상의 이미지화 파라미터 각각의 값을 결정하도록 구성됨을 특징으로 하는 원자힘 현미경(AFM)장치.

청구항 14

제11항, 제12항 또는 제13항에 있어서,

상기 프로브, 상기 팁 또는 상기 샘플 중 하나 이상에 음향 신호를 공급하는 음향 신호 발생기와, 상기 샘플과의 상기 음향 신호의 상호 작용을 기반으로 출력 신호를 분석하기 위한 신호 분석 모듈을 더 포함하는 것을 특징으로 하는 원자힘 현미경(AFM)장치.

청구항 15

제11항 내지 제14항 중 어느 한 항에 있어서,

상기 캔틸레버의 유효 강성을 증가시키기 위해 상기 프로브에 진동을 유도하는 신호 소스(signal source)를 포함함을 특징으로 하는 원자힘 현미경(AFM)장치.

청구항 16

제11항 내지 제15항 중 어느 한 항에 있어서,

상기 팁(13)의 변형을 나타내는 팁 변형 신호(Std)를 제공하기 위한 팁 변형 센서(15)를 포함하고, 상기 AFM 장치는 상기 표시된 팁의 변형이 미리 정해진 한계를 초과하는 경우 힘 임계값을 감소시키고 및/또는 상기 팁의 변형으로 인해 발생한 편차를 보상하도록 상기 장치로 얻은 출력 신호를 처리하도록 구성됨을 특징으로 하는 원자힘 현미경(AFM)장치.

발명의 설명

기술 분야

[0001] 본 발명은 원자힘 현미경(AFM) 장치에 관한 것이다.

[0002] 본 발명은 또한 AFM 장치의 동작 방법에 관한 것이다.

배경 기술

[0003] AFM 장치는, 예를 들어 반도체 산업에서 제품(반제품)의 표면 지형을 결정하기 위해 널리 사용된다. AFM 장치는 스캐닝 궤적을 따라 샘플 표면을 따라 스캐닝하는 팁을 가지는 스캔 헤드로 구성된다. 이를 통해, AFM 장치의 동작은 힘 임계값, 기준선 오프셋, 접근 프로파일, 후진 프로파일 및 스캐닝 속도와 같은 다양한 이미지화 파라미터에 의해 결정된다.

[0004] 반도체 산업에서 실제 검사하는 샘플은 일반적으로 좁고 높은 종횡비 특징을 가지는 3D 샘플로 구성된다. 이로써, AFM 장치에 의해 이미지화되는 표면 지형은 다양한 원인으로 인해 샘플의 실제 표면 지형에서 벗어날 수 있다. 예를 들어, 팁이 상대적으로 좁은 피쳐(feature)에 있는 경우 상대적으로 높은 수준의 접촉력으로 인해 팁이 좁은 피쳐의 상단에서 미끄러져 더 낮은 수준으로 떨어질 수 있다. 따라서 측면 위치(x,y)에 대해 이미지화된 표면 지형에 표시된 높이 값은 해당 측면 위치에서 샘플의 실제 높이보다 작다. 다른 예로, 팁이 샘플에서 좁고 상대적으로 깊은 홈의 측면 위치에 존재할 때 편차가 발생할 수 있음이 밝혀졌다. 팁 직경보다 약간 더 큰 특징적인 측면 크기, 즉 팁 직경의 1배보다 크지만 팁 직경의 10배보다 작고 깊이가 실질적으로 너비보다 더 큰, 예를 들면 직경의 2배보다 더 큰 피쳐를 그 예로 들 수 있다. 상기 피쳐는, 예를 들어, 상기 특징적인 측면 크기가 직경인 홈 또는 상기 특징적인 측면 크기가 폭이 되는 트렌치이다. 이 경우, 팁이 가하는 접촉력이 홈의 측벽이 팁에 가하는 마찰력을 능가할 만큼 충분하지 않아, 팁이 홈 내부로 완전히 돌출되지 않기 때문에 편차가 발생할 수 있다. 이 경우 측면 위치(x,y)에 대해 이미지화된 표면 지형에 표시된 높이 값은 해당 측면 위치에서 샘플의 실제 높이보다 더 크다. 일반적으로 팁-캔틸레버 조합의 강성이 상대적으로 높으면 이러한 편차는 더 작다. 팁-캔틸레버 조합의 강성은 캔틸레버의 회전 강성과 팁의 굴곡 강성에 의해 결정된다. 다른 로컬

장치 속성도 이미지 표면 지형에 영향을 미칠 수 있다. 예를 들어, 두 개의 피처가 실제로 3D 샘플의 이미지화된 표면에서 동일한 수준에 있더라도, 상대적으로 단단한 물질의 피처는 상대적으로 부드러운 물질의 피처보다 이미지화된 표면 지형에서 더 높은 수준에 위치하는 것처럼 보일 수 있다.

발명의 내용

해결하려는 과제

[0005] 본 개시의 제1 목적은, 좁고 높은 종횡비의 피처가 존재하는 경우의 편차 및/또는 표면 경도의 변화와 관련된 편차와 같이, 로컬 장치 피처에 따른, 실제 장치 지형에 대한 이미지화된 표면 지형의 편차를 완화함으로써 3D 샘플을 보다 정확하게 이미지화할 수 있는 AFM 장치의 동작 방법을 제공하는 것이다.

[0006] 본 발명의 제2 목적은, 로컬 장치 피처에 따른, 실제 장치 지형에 대한 이미지화된 표면 지형의 편차를 완화함으로써 3D 샘플을 보다 정확하게 이미지화할 수 있는 AFM 장치를 제공하는 것이다.

과제의 해결 수단

[0007] 제1 목적에 따라, 원자힘 현미경(AFM) 장치의 동작 방법은, 팁을 가지는 프로브를 현재 스캐닝 라인을 따라 제1 측방향으로 샘플의 표면을 스캐닝하는 단계; 상기 팁과 상기 샘플 사이의 상호 작용을 측정하는 단계; 및 상기 샘플에 대한 사전 정보를 기반으로, 상기 스캐닝 동안 하나 이상의 이미지화 파라미터를 적응적으로 조정하는 단계를 포함하고, 하나 이상의 이미지화 파라미터는 힘 임계값을 포함한다.

[0008] 상기 샘플에 대한 사전 정보는 상기 스캐닝 이전에 획득한 상기 샘플에 대한 정보를 포함한다.

[0009] 상기 스캐닝 전에 획득한 샘플에 대한 사전 정보는, 예를 들어 샘플의 사양 정보 및/또는 레시피 생성 중에 획득한 샘플에 대한 정보를 포함할 수 있다. 샘플의 사양은 샘플의 원하는 지형과 샘플의 피처에 사용되는 재료의 속성을 명시한다. 레시피 생성 중에 얻은 샘플에 대한 정보는 실제 지형이 설계된 지형에서 특정 방식으로 벗어나는 경향이 있음을 나타낼 수 있다. 레시피 생성 중에 얻은 정보가 실제 지형을 완전히 설명하지는 못하지만 실제 지형이 벗어나는 방식을 예측하는 데 도움이 된다. 예를 들어, 레시피 생성 중에 얻은 정보는 가장자리가 원래 지정된 것보다 평균적으로 덜 넓다는 것을 나타낼 수 있다. 샘플에 대한 사전 정보를 사용하면 최적의 설정을 통해 샘플의 표면 요소를 스캐닝할 수 있으므로 이러한 설정으로 얻은 출력 신호가 측면 위치의 함수로서의 표면의 실제 높이를 보다 정확하게 나타낼 수 있다. 상기 스캐닝 이전에 획득한 샘플에 대한 정보는, 예를 들어 샘플의 전자 현미경 이미지로부터 획득한 정보와 같은 선행 장치 검사 방법으로부터 획득한 정보를 더 포함할 수 있다.

[0010] 힘 임계값은 팁이 샘플에 가하는 힘의 상한이다.

[0011] 상기 스캐닝 전에 얻은 샘플에 대한 정보를 기반으로, 현재 스캐닝 위치의 영역에서 얻은 정보가 현재 스캐닝 지점이 상대적으로 깊고 좁은 홈 또는 가파른 벽에 가까운 바닥에 있을 것으로 예상됨을 나타내는 경우 상대적으로 높은 힘 임계값이 선택되고, 영역에서 얻은 정보가 상대적으로 가파르고 높은 가장자리/측벽에서 떨어진 비교적 넓은 홈 또는 넓은 평평한 영역을 나타내는 경우 상대적으로 낮은 힘 임계값이 선택된다.

[0012] 상기 스캐닝 전에 얻은 샘플에 대한 정보가 항상 샘플의 실제 토폴로지와 정확히 일치하는 것은 아니지만, 이 정보를 통해 실제 토폴로지를 보다 정확하게 결정하기 위한 목적으로 힘 임계값을 최적으로 설정할 수 있다.

[0013] 예를 들어, 낮은 레벨에 가까운 높은 레벨을 가진 표면 요소는 상대적으로 낮은 힘 임계값 설정으로 더 정확하게 이미지화할 수 있다. 따라서 팁이 낮은 레벨을 향해 측면으로 미끄러질 위험이 완화된다. 또한 팁으로 인한 샘플 표면 손상 위험도 줄어든다. 또 다른 예로, 샘플 표면의 비교적 좁고 깊은 홈은 상대적으로 높은 힘 임계값 설정으로 더 정확하게 이미지화할 수 있다. 이렇게 하면 팁에 가해지는 힘이 홈의 측벽에 의해 가해지는 마찰 등의 힘을 더 쉽게 극복할 수 있다. 따라서 이미지화된 표면 지형에서 홈의 깊이가 보다 정확하게 표시된다.

[0014] 샘플에 대한 정보는 현재 스캐닝 라인과 실질적으로 평행한 방향의 이전 스캐닝 라인에 따른 스캐닝에서 얻은 정보를 더 포함할 수 있다.

[0015] 본 발명은 특히 트리거 기반 스캐닝 실시예에 적합하다. 여기서 스캐닝은 다음 단계를 포함하는 각 스캐닝 위치에 대한 스캐닝 사이클을 포함한다: a) 팁이 샘플 표면의 측면 위치에서 샘플에 접근하고, b) 팁을 샘플로부터 후진시키고, c) 팁을 새로운 측면 위치로 이동시키는 단계. 팁과 샘플 간의 상호작용을 나타내는 상호작용 데이터는 상기 접근 및/또는 후진 중에 획득된다.

- [0016] a) 단계에서 샘플에 접근하는 것은 접근 프로파일에 의해 결정된다. 이에 적용될 이미지화 파라미터의 예로서, 샘플 표면에 접근하는 초기 높이와 샘플에 접근하는 속도가 있다.
- [0017] 샘플 후진은 후진 프로파일에 의해 결정된다. 예를 들어 힘 임계값 및/또는 변위 임계값 및/또는 후진 거리 및/또는 속도를, 적응적으로 조정할 수 있는 이미지화 파라미터로 사용할 수 있다. 예를 들어 팁에 가해지는 힘이 미리 정해진 힘 임계값을 초과하면 샘플에서 팁의 후진이 시작된다. 다른 예에서는 측정된 깊이가 깊이 임계값을 초과하면 후진이 시작된다. 또 다른 예에서는 이러한 조건 중 하나라도 먼저 발생하는 즉시 후진이 시작되거나, 두 조건이 모두 충족되면 후진이 시작된다. 후진과 관련된 또 다른 이미지화 파라미터는 후진 거리이다. 예를 들어, 표면의 접착력이 상대적으로 높다고 판단되는 위치의 경우 후진 거리가 증가한다. 또한 후진 거리는 측석에서 조정할 수 있다. 즉, 미리 정해진 거리 이상 후진이 완료되기 전이라도 캔틸레버의 링잉이 충분히 감소한 것으로 감지되면 후진을 중단하고 표면에 다시 접근할 수 있다. 이를 통해 측정 속도가 향상된다.
- [0018] 동작 중 캔틸레버는 팁과 샘플 표면 사이에 작용하는 힘으로 인해 구부러진다. 또한 정전기 힘으로 인해 샘플에서 더 먼 거리에서도 캔틸레버의 굴곡이 발생할 수 있다. 이로 인해 편향이 발생하며 이는 기준선 오프셋을 고려하여 보정할 수 있다. 원하는 경우 기준선 오프셋은 측정 주기마다 업데이트할 수 있다.
- [0019] 동작 중에 하나 이상의 이미지화 파라미터를 조정할 수 있음을 유의한다. 예를 들어 기준선 오프셋과 힘 임계값은 모두 스캐닝할 측면 위치에서 샘플의 사전 정보에 따라 조정될 수 있으며 힘 임계값은 기준선 오프셋을 기준으로 선택된다.
- [0020] 위에 명시된 바와 같이, 샘플에 대한 사전 정보는 샘플 사양의 정보를 포함할 수 있다. 여기에는 장치 설계 데이터 및/또는 레시피 데이터가 포함될 수 있다. 일반적인 상황에서 측정할 샘플의 지형은 샘플에 대한 사전 정보, 예를 들어 샘플의 사양 및/또는 레시피 생성 중에 얻은 정보로부터 도출된 지형에 의해 근사화된다고 가정할 수 있다. 예상 지형에 따라 상기 스캐닝 중에 하나 이상의 이미지화 파라미터를 조정함으로써, 실제로 스캐닝된 위치가 원하는 스캐닝 위치에서 약간 벗어날 수 있고 이미지화될 구조의 지형이 실제로 원래 설계된 지형에서 어느 정도 벗어날 수 있음에도 불구하고, 전체 샘플을 이미지화하는 데 균일한 설정 세트가 사용되는 경우에 비해 상당한 개선이 이루어진다.
- [0021] 추가로 명시된 바와 같이, 샘플에 대한 사전 정보는 현재 스캐닝 라인과 실질적으로 평행한 방향의 이전 스캐닝 라인에 따른 스캐닝에서 얻은 정보를 포함할 수 있다. 현재 스캐닝 라인과 이전 스캐닝 라인이 서로 충분히 가깝다면, 현재 스캐닝 라인의 지형은 이전 스캐닝 라인의 지형에 의해 근사화되므로 전체 샘플을 이미지화하는 데 균일한 설정 세트가 사용되는 경우에 비해 다시 상당한 개선이 이루어진다.
- [0022] 일부 예에서는 후속 스캐닝 라인들이 실질적으로 평행하다. 즉, 이 경우 후속 스캐닝 라인은 상호 떨어져 있다. 동작 시 스캐닝은 스캐닝 라인(y , $y+A_y$, $y+2A_y$, ...)을 따라 프로브가 x 방향으로 이동하여 진행된다. 또는 후속 스캐닝 라인들 사이에서 좌표 y 를 단계적으로 증가시키는 대신 스캐닝하는 동안 점진적으로 y 를 증가시킬 수 있다. 이를 통해 삼각형 스캐닝 경로를 따르게 된다.
- [0023] 후속 스캐닝 라인들이 서로 정확히 평행할 필요는 없다는 점에 유의해야 한다.
- [0024] 일부 실시예에서 이미지화 파라미터는 샘플에 대한 사전 정보 및 이전 스캐닝 라인에서 얻은 사전 정보를 기반으로 스캐닝하는 동안 조정된다. 이를 통해 더 많은 개선이 이루어진다.
- [0025] 일부 실시예에서 샘플에 대한 사전 정보는 스캐닝하는 동안 획득한 정보와 함께 사용된다. 예를 들어, 현재 스캐닝 라인(y)의 x 위치에서 지형이 이전 스캐닝 라인(y)의 x 위치에서와 크게 벗어나는 경우, 이 편차는 현재 스캐닝 라인의 다음 위치($x+A_x$)에 대한 설정의 조정을 준비할 때 반영될 수 있다.
- [0026] 실시 예는 프로브, 팁 또는 샘플 중 하나 이상에 음향 신호를 공급하고 음향 신호와 샘플의 상호 작용에 기반한 출력 신호를 분석하는 단계를 더 포함한다. 출력 신호는 샘플의 표면 아래 특성을 나타낸다. 따라서 일반적인 측정에서, 예를 들어 오버레이 및/또는 정렬 분석의 목적으로 지형 정보와 지표면 정보를 모두 얻을 수 있다.
- [0027] 팁이 샘플에 가하는 힘은 캔틸레버의 편향과 캔틸레버의 강성에 비례한다. 실시 예에서, 프로브의 진동은 프로브가 샘플에 가하는 유효 힘을 변화시키기 위해 유도된다. 진동은 캔틸레버의 강성을 증가시키고 이에 따라 샘플에 가해지는 유효 힘도 증가시킨다.
- [0028] 현재의 접근 방식은 동일한 위치 또는 라인이 두 번 이상 스캐닝되는 것을 방지하는 것을 목표로 하지만, 스캐닝 중에 얻은 이미지 데이터를 분석하면 다른 이미지화 파라미터 설정으로 하나 이상의 추가 스캐닝을 수행하는 것이 바람직하다는 것이 밝혀질 수 있다. 이 경우 추가 스캐닝에서 얻은 이미지 데이터가 원본 이미지 데이터를

대체하거나 원본 이미지 데이터와 하나 이상의 추가 스캐닝에서 얻은 새로운 이미지 데이터가 결합될 수 있다.

발명의 효과

- [0029] 좁고 높은 종횡비의 피처가 존재하는 경우의 편차 및/또는 표면 경도의 변화와 관련된 편차와 같이, 로컬 장치 피처에 따른, 실제 장치 지형에 대한 이미지화된 표면 지형의 편차를 완화함으로써 3D 샘플을 보다 정확하게 이미지화할 수 있다.
- [0030] 로컬 장치 피처에 따른, 실제 장치 지형에 대한 이미지화된 표면 지형의 편차를 완화함으로써 3D 샘플을 보다 정확하게 이미지화할 수 있다.

도면의 간단한 설명

- [0031] 본 발명은 첨부된 도면을 참조하여 본 발명의 일부 특정 실시예에 대한 설명에 의해 더 명확해질 것이다. 상세한 설명은 본 발명의 가능한 구현의 예를 제공하지만, 범위에 속하는 유일한 실시예를 설명하는 것으로 간주되어서는 안 된다. 본 발명의 범위는 청구범위에 나타나 있으며, 그 설명은 본 발명을 제한하지 않고 예시적인 것으로 간주되어야 한다. 도면에서:
- 도 1은 예시적인 개선된 AFM 장치의 일부와 그 장치로 스캐닝되는 샘플을 개략적으로 도시한다;
- 도 2는 개선된 AFM 장치의 제1 실시예의 컨트롤러의 양상을 도시한다;
- 도 3은 본 발명의 실시예에서, Z 액추에이터를 위한 Z 위치 신호와 프로브 팁으로부터 측정된 편향 신호에 대한 두 개의 그래프를 개략적으로 도시한다;
- 도 4는 도 3의 특정 위치와 연관된 4가지 프로브 편향 상황을 개략적으로 도시한다;
- 도 5는 개선된 AFM 장치의 제2 실시예의 컨트롤러의 양상을 도시한다;
- 도 6은 개선된 AFM 장치의 제3 실시예의 컨트롤러의 양상을 도시한다;
- 도 7은 개선된 AFM 장치의 제4 실시예의 컨트롤러의 양상을 도시한다.

발명을 실시하기 위한 구체적인 내용

- [0032] 개선된 원자힘 현미경(AFM) 장치(1)의 실시예를 도 1 및 도 2를 참조하여 설명한다. 도 1은 예시적인 개선된 AFM 장치(1)의 일부와 그 장치로 스캐닝되는 샘플(9)을 개략적으로 도시한다.
- [0033] 도 2는 개선된 AFM 장치의 제1 실시예의 컨트롤러의 양상을 도시한다.
- [0034] 도 1에 도시된 바와 같이, AFM 장치(1)는 샘플(9)을 스캐닝하기 위한 적어도 하나의 스캔 헤드(10)를 구비한다. 스캔 헤드(10)는 캔틸레버(12)와 캔틸레버 상에 배열된 프로브 팁(13)을 구비하는 프로브(11)를 포함한다.
- [0035] AFM 장치(1)는, 프로브 팁으로 표면을 스캐닝하기 위한 샘플의 표면(91)에 평행한 하나 이상의 x, y 방향으로 프로브 팁(13)과 샘플(9)을 서로에 대해 이동시키기 위해 기관 홀더(95)와 협력하는 제1 액추에이터(20)를 더 포함한다. 다른 실시예에서 제1 액추에이터는 스캔 헤드와 협력하고, 또 다른 실시예에서는 표면(91)을 스캐닝하기 위해 스캔 헤드 및 기관 홀더와 협력하도록 각각의 제1 액추에이터가 제공된다.
- [0036] AFM 장치(1)는 스캐닝하는 동안 스캔 헤드(10)와 샘플에 대한 프로브 팁(13)의 움직임/위치를 측정하도록 구성된 캔틸레버 편향 검출기(30)를 더 포함한다. 검출기(30)는 또한 팁-샘플 상호 작용과 인가된 힘의 (정적 영역에서의) 작용으로 인한 캔틸레버의 편향을 나타내는 출력 신호(Sout)를 제공하도록 구성된다.
- [0037] 샘플 지형은 AFM 헤드 높이로부터 캔틸레버 편향으로 나타나는 팁-헤드 거리를 뺀 값에서 도출된다.
- [0038] 도시된 실시예에서, 샘플(9)의 표면(91)과 접촉시 팁(13)의 변형을 나타내는 감지 신호(Std)를 제공하는 팁 변형 센서(15)도 제공된다. AFM 장치(1)는 컨트롤러(40)를 더 포함하고, 컨트롤러(40)는 샘플(9)의 표면(91)에서 및/또는 아래에서 샘플 특성을 이미지화하기 위해 캔틸레버 편향 검출기(30)로부터 출력 신호(Sout)를 수신하고 분석하도록 구성된다. 도 1에 도시된 바와 같이, 또한 컨트롤러(40)는, Z 액추에이터(60)를 위한 제어 신호 및/또는 변위 센서(61)에 의해 표시되는 프로브의 z 위치뿐만 아니라 XY 액추에이터(20)의 제어 신호 및/또는 변위 센서(21)에 의해 표시되는 프로브 팁의 측면 위치를 나타내는 위치 신호(x, y)와 같이, 분석을 위한 추가 정보를 수신한다. 도시된 예에서, 컨트롤러(40)는 또한 팁(13)의 변형을 나타내는 감지 신호(Std)를 수신한다. 컨

트롤러(40)는 표시된 팁의 변형이 미리 정해진 한계를 초과하면 힘 임계값을 감소시키도록 구성된다. 대안적으로 및/또는 추가적으로, 팁(13)의 변형으로 인한 편차를 보상하도록, 상기 장치에 의해 획득한 출력 신호를 처리하도록 구성될 수 있다.

[0039] AFM 장치는 다음 단계를 통해 각 스캐닝 위치에 대한 스캐닝 사이클을 수행하도록 구성된다.

[0040] 제1 단계에서, 팁(13)은 샘플(9) 위의 기준 위치(z)에서 시작하는 접근 프로파일에 따라 샘플(9)에 접근한다. 접근 프로파일은 기준 위치(z)를 지정하는데, 상기 기준 위치(z)는 예를 들어 샘플(9)의 표면(91)에서의 임의의 z 값보다 더 높은 미리 정해진 z 값이다. 대안적으로, 기준 위치(z)는 접근할 측면 좌표(x, y)에서 표면의 예상 z 값을 기준으로 소정의 거리에 있는 상대 위치이다. 접근 프로파일은 표면(91)에 접근하는 속도를 추가로 지정한다. 예를 들어, 이는 일정 속도이다. 또는 상기 속도는 가변 속도이다. 예를 들어 상대적으로 높은 속도로 시작하여, 접근하는 동안 단계적으로 또는 점차적으로 속도를 감소한다.

[0041] 제2 단계에서, 팁(13)이 샘플 표면(91)에서 후진한다. 제1 단계에서 제2 단계로의 전환은 다음 중 하나 이상에 의해 결정될 수 있다. 한 가지 옵션에 따르면, 팁이나 프로브가 샘플을 향해 소정의 거리만큼 진행된 경우 상기 전환이 발생한다.

[0042] 다른 옵션에 따르면, 팁이 가하는 힘이 임계값을 초과하는 경우 전환이 발생한다. 추가 옵션에 따르면, 이들 조건 중 하나가 발생하자마자 후진이 시작되거나, 대안적으로 두 조건이 모두 충족되면 후진이 시작된다. 후진 단계와 관련된 또 다른 이미지화 파라미터는 후진이 발생하는 속도이다.

[0043] 제2 단계의 동작은 후진이 수행되는 속도에 따라 결정된다. 접근 프로파일에서와 같이 속도는 일정한 값일 수도 있고 후진 중에 변경될 수도 있다.

[0044] 제3 단계에서, 팁은 다음 측면 위치로 이동된다. 측면 거리의 크기는 추가 이미지화 파라미터의 일예이다.

[0045] 제1 및/또는 제2 단계 동안 팁과 샘플의 상호 작용을 나타내는 상호 작용 데이터가 획득된다. 일 예에서, 팁-샘플 힘 곡선이 결정되는 데, 이는 팁과 샘플 사이의 힘을 샘플을 향한 및/또는 샘플로부터 멀어지는 팁의 변위의 함수로 지정한다.

[0046] 다양한 유형의 실제 샘플과 마찬가지로, 도 1에 도시된 샘플(9)은 다양한 레벨의 표면 구간(91B, 91S 및 91T)을 가진다. 도 1에 도시된 예에서, 팁(13)은 현재 바닥 구간(91B)을 가지는 어깨 구간(91S)의 가장자리에 위치한다. 팁(13)에 가해지는 하향 힘으로 인해 캔틸레버(12) 및/또는 팁이 변형되어 팁(13)이 바닥 구간(91B)을 향해 미끄러짐으로써 캔틸레버 편향 감지기(30)가 팁(13)이 원래 위치했던 위치(x, y)의 z 값보다 더 낮은 위치를 나타낼 위험이 있다. 이 현상은 낮은 레벨 구간을 가지는 구간의 가장자리 근처에서만 발생하지만, 종횡비가 높은 표면 피쳐를 가진 샘플의 경우 측정 오류가 심각해진다. 팁(13)이 바닥 구간(91B)의 위치(x, y)에 위치하는 경우, 팁(13)에 가까운 바닥 구간(91B)의 측벽(91BW)은 팁에 힘을 가하여 팁이 바닥 구간(91B)에 충분히 접근하는 것을 막게 되어, 캔틸레버 편향 검출기(30)는 팁(13)의 위치(x, y)에서의 실제 z 값보다 더 높은 z 값을 나타낸다. 또한 종횡비, 즉 측면 치수에 대한 바닥 구간(91B)의 깊이의 비율이 증가하는 경우, 이러한 유형의 측정 오류는 더 심각해진다.

[0047] 샘플 특성에 관한 정보에 따라 현재 스캐닝되고 있는 샘플의 측면 위치에서 스캐닝하는 동안, 컨트롤러(40)가 하나 이상의 이미지화 파라미터를 자동으로 조정(adapt)하도록 구성된다는 점에서, 본 명세서에 개시된 개선된 AFM 장치(1)는 이러한 오류원을 감소시킨다. 샘플 특성에 관한 정보는 샘플의 사양 정보, 샘플 제조 방법, 현재 스캐닝 라인과 실질적으로 평행한 방향의 이전 스캐닝 라인에 따른 스캐닝에서 획득한 정보 중 하나 이상을 포함한다. 또한 궤적을 스캐닝하면서 획득한 정보를 사용하여 측석에서 추가 조정을 할 수도 있다. 상기 조정의 결과로, 이미지화 파라미터는 적절한 z 측정을 위해 국부적으로 최적화된다. 일례로서, 더 낮은 수준의 표면을 가지는 가장자리에 근접한 상대적으로 높은 수준을 가지는 표면 상의 위치인 것으로 예측되는 위치(x, y)에서 상대적으로 낮은 힘 임계값이 선택된다. 다른 예로서, 측벽에 가까운 바닥 부분의 일부인 것으로 예측되는 측면 위치(x, y)에서 상대적으로 높은 힘 임계값이 선택된다. 또 다른 예로서, 측면 위치에서의 예상 높이에 따라, 기준선 오프셋을 적용한다. 또 다른 예로서, 팁의 측면 위치에서의 샘플 표면의 예상 접촉력에 따라 후진 프로파일을 적용한다.

[0048] 도 1에 개략적으로 도시된 바와 같이, AFM 장치는, 프로브(11), 팁(13) 또는 샘플(9) 중 하나 이상에 음향 신호를 공급하기 위한 음향 신호 발생기(예를 들어, 51a, 51b, 51c) 및 샘플(9)과 음향 신호의 상호 작용에 기초한 출력 신호를 분석하기 위한 신호 분석 모듈(52)을 구비한다. 이 경우, 팁 편향 센서의 출력 신호(Sout)는 샘플의 표면 아래 특성을 더 나타낸다. 이를 통해, 일반적인 측정시, 예를 들어 오버레이(overlay) 및/또는 정렬 분

석 등의 목적으로 지형 정보와 표면 아래의 정보를 모두 얻을 수 있다.

- [0049] 추가적으로 또는 대안적으로, AFM 장치는 캔틸레버(12)의 유효 강성을 증가시키기 위해 프로브(11)에 진동을 유도하기 위한 신호 소스, 예를 들어 신호 소스(51a)를 포함할 수 있다. 진동은 캔틸레버(12)의 강성을 증가시키고 그에 따라 샘플에 가해지는 유효 힘 또한 증가한다. 유도된 진동이 없는 경우, 캔틸레버의 강성은 캔틸레버의 정적 스프링 상수에 의해 결정된다. 진동을 가함으로써 강성이 증가한다. 캔틸레버(12)의 편향은 프로브(11)가 팁(13)을 통해 샘플(9)에 가하는 힘을 캔틸레버의 강성으로 나눈 비율에 비례하므로, 샘플에 가해지는 유효 힘은, 예를 들어 계산 모듈(53)을 사용하여, 캔틸레버의 편향과 유도된 진동의 함수로서 캔틸레버의 유효 강성으로부터 계산될 수 있다.
- [0050] 도 1에 도시된 예에서, AFM 장치는 팁(13)의 변형을 나타내는 팁 변형 신호(Std_f)를 제공하기 위한 팁 변형 센서(15)를 포함한다. 이 예에서, AFM 장치의 컨트롤러(40)는 표시된 변형이 미리 정해진 한계를 초과하는 경우, 힘 임계값을 감소시키도록 구성된다. 대안적으로 또는 추가적으로, AFM 장치는 재구성된 이미지에서 이러한 변형을 보상하도록 구성될 수 있다. 이러한 선택적 특징은 대안으로 제공되거나 AFM 장치의 설정 제어를 위해 취한 다른 조치와 결합하여 제공될 수 있다.
- [0051] 명확성을 위해, 캔틸레버 편향 감지기(30)와 팁 변형 센서(15)에 대한 연결뿐만 아니라 컨트롤러(40)와 컨트롤러로 제어되는 구성 요소 사이의 상호 연결도 도시하지 않는다. 자세한 내용은 후속 도면에 나와 있다.
- [0052] 도 2는 개선된 AFM 장치(1)의 제1 실시예를 더 자세히 도시한다. 도시된 예에서, 컨트롤러(40)는 신호 분석부(41), 이미지 메모리(42) 및 모션 프로파일 생성기(45)를 포함한다. 도 2에 더 도시된 바와 같이, 프로브/캔틸레버 편향 검출기(30)는 광학 검출 요소(31), 이 예에서는 4사분면 광학 검출 요소 및 편향 신호 처리부(32)를 포함한다. 편향 신호 처리부(32)는 광학 검출 요소(31)가 출력한 신호(S₃₁)로부터 프로브 편향을 계산하고 상기 신호를 모션 프로파일 생성기(45)로 제공한다. 모션 프로파일 생성기(45)는 z 액추에이터(60)를 제어하기 위한 제어 신호(C_z) 및 xy-액추에이터(20)를 제어하기 위한 제어 신호(O_{xy})를 생성한다. 모션 프로파일 생성기(45)는 또한 측면 좌표(x, y)를 사용하여 각 픽셀에 대해 결정된 z 값을 나타내는 입력 신호를 이미지 메모리(42)에 제공한다. 단순화를 위해, 본 예에서는 이미지 메모리(42)에 저장될 좌표(x, y, z)가 모션 프로파일 생성기(45)에 의해 지정된 좌표인 것으로 가정한다. 일반적으로 z 값은 미리 정의된 특정 힘 임계값에 도달하는 순간의 수직 "팁 위치"로 정의된다. 실제로는 지정된 좌표와 실제 좌표 사이에 편차가 발생할 수 있다. 이를 고려하기 위해, 일반적으로 샘플(9)의 측면 위치(x, y)와 프로브(11)의 수직 위치(z)를 감지하기 위해 위치 센서(21, 61, 도 1 참조)가 제공된다. 이들 센서로부터의 감지 신호는 모션 프로파일 생성기(45)에 피드백 신호로 제공된다. 스캐닝 과정이 완료되면, 샘플(9)의 표면(91)의 지형(Z(x, y))이 이미지 메모리(42)에서 검색될 수 있다.
- [0053] 도 2에 도시된 바와 같이, 신호 처리부(41)는 이전 스캐닝라인으로부터의 지형 데이터(z(x, y-A_y))에 기초하여 측면 위치(x, y)에 대한 힘 임계값 설정(F_t(x, y))을 계산한다.
- [0054] 도 3 및 도 4를 참조하여 도 2의 실시예를 더 설명한다. 도 3은 비공명 이미지화 모드시 도 2의 실시예의 프로브 편향 신호(d₅₁)와 Z 위치 액추에이터 신호(z₄₁)의 개략적인 그래프를 도시한다. 하부 그래프는 프로브(11)를 샘플(9)의 표면(91)으로 및 표면(91)으로부터 구동하는 Z 위치 액추에이터 신호(C_z)를 도시한다. 수평축은 시간(t)을 나타내고, 축(a₄₃)의 레벨은 프로브 팁(13)이 표면(91)과 접촉하는 Z 레벨에 해당한다. 프로브(11)를 표면(91)을 향해 음의 Z 방향으로 더 연장하면 프로브 팁(13)에 대한 표면(91)의 반력(reactive force)이 증가하게 된다. 따라서 축(a₄₃) 아래의 Z 레벨에서, 양의 프로브-샘플 상호작용 힘이 프로브 팁(13)에 가해진다. 상부 그래프는 시간에 따른 프로브 팁(13)의 편향 신호(d₅₁)를 개략적으로 도시한다. 편향 신호(d₅₁)는 파라미터(d)에 의해 나타낸다. 하부 그래프(g₄₀)에서 볼 수 있듯이, Z 위치 액추에이터 신호(z₄₁)는 멀리 떨어진 Z 레벨의 후진 위치에서 시작하여 프로브(11)(및 프로브 팁(13))를 표면(91)을 향해 추가로 구동한다. 수직선(t₄₅, t₄₆, t₄₇, t₄₈, t₄₉)는 아래에서 설명할 특징적인 시점을 나타낸다. Z 위치 신호(z₄₁)에 의해 나타나는 바와 같이, 프로브(11)가 샘플(9)의 표면(91)을 향해 연장되는 동안, 시점(t₄₅)에서 프로브 팁(13)은 먼저 샘플(9)의 표면(91)과 접촉한다. 이는 신호(z₄₁)가 축(a₄₃)을 교차하는 시점이다. 프로브(11)가 시점(t₄₅) 이전에 표면(91)에 접근하는 동안, 편향 신호(d₅₁)의 첫 번째 단계(A)에서는, 이 단계의 편향 신호(d₅₁)의 평평한 부분으로 도시된 바와 같이 편향 신호(d₅₁)에서 프로브 팁(13)의 편향이 측정되지 않는다. 도 4에서, 단계(A)는 프로브(11)의 위치 및 표면(91) 위에서 이완 상태에 있는 프로브 팁(13)의 상황(s₆₀)에서 개략적으로 도시된다.
- [0055] 접촉시, 시점(t₄₅)에서 프로브 팁(13)은 편향 신호(d₅₁)의 딥(dip)에서 보는 바와 같이 표면(91)에 잠식된다. Z 위치 신호(z₄₁)는 프로브-샘플 상호작용 힘을 증가시키기 위해 프로브(11)가 표면(91)을 향해 더 연장됨을 나타낸다. Z 위치 신호(z₄₁)의 부분(z₄₄)은 음의 Z 위치를 표시하여 이를 나타낸다. 시점(t₄₆)에서 프로

브-샘플 상호작용 힘의 임계값 레벨($F_t(x,y)$)에 도달할 때까지 프로브(11)가 계속 표면(91)을 향해 연장된다. 이후 시점(t_{46})과 시점(t_{47}) 사이에서, 프로브(11)는 다시 후진하여 Z 위치 신호(z_{41})의 증가를 보여준다. Z 위치 신호(z_{41})가 음이 되는, 시점(t_{45})과 시점(t_{47}) 사이의 구간은 편향 신호의 단계(B)에 해당된다. 실제로 단계(B)는 제1 부분과 제2 부분으로 구성되는데, 이는 시점(t_{46}) 이전의 편향 신호(d_{51})의 최대값 이전 부분, 그리고 시점(t_{46})과 시점(t_{47}) 사이의 최대값 이후 부분에 해당한다. 단계(B)의 상황은 도 4에 도시되어 있다. 단계(B)는 도 4에서 상황(s_{61})에 의해 개략적으로 도시된다. 알 수 있는 바와 같이, 양의 프로브-샘플 상호작용 힘으로 프로브 캔틸레버(12)가 후방으로 구부러져 도 3의 시점(t_{45})과 시점(t_{47}) 사이에 양의 편향 신호(d_{51})를 제공한다.

[0056] 시점(t_{47})에서, 프로브(11)는 프로브-샘플 상호 작용 힘이 0이 되는 축(a_{43})의 레벨에 해당하는 Z 위치에 있다. 프로브(11)는 프로브 팁(13)이 해제될 때까지 표면(91)으로부터 더 후진된다. 그러나 이 순간 이전, 시점(t_{47})과 시점(t_{48}) 사이에서, 접촉력으로 프로브 팁(13)이 잡아당겨져 프로브 팁(13)에 음의 힘이 가해지게 됨으로써, 프로브 팁(13)의 후진 동안 프로브 팁(13)과 샘플 표면(91) 사이의 접촉이 유지된다. 편향 신호의 이 부분은 단계(C)에 의해 나타난다.

[0057] 도 4에서, 단계(C)는 표면(91)과 프로브 팁(13) 사이의 접촉력에 의해 야기되는 프로브 팁(13)의 음의 편향을 보여주는 상황(s_{62})으로 도시된다. 시점(t_{48})에서, 프로브(11)는 접촉력과 Z 액츄에이터(60)에 의해 가해지는 힘 사이의 균형이 더 이상 유지될 수 없을 정도로 후진된다. 여기서, 프로브 팁(13)은 표면(91)으로부터 해제되어 고유 주파수에서 진동하기 시작한다. 편향 신호(d_{51})의 이 단계(D)를 링잉(ringing)이라고 하며 도 4에서 상황(s_{63})에 의해 개략적으로 도시되어 있다. 링잉은 사라질 때까지 계속되고 시점(t_{49})부터 프로브는 다시 단계(A)에 해당하는 이완 상태에 있으며, 그 후 표면을 향해 다음 연장이 시작될 수 있다. 일부 예에서, 링잉 진폭이 미리 정해진 임계 레벨 아래로 감소했다면 캔틸레버가 이완 상태에 있기 전에 다음 연장이 이미 시작된다. 이들 예에서, 캔틸레버는 표면에 도달하기 전에 이완된 상태를 가정한다. 시점(t_{48})과, 시점(t_{49}) 이후 표면에 대한 다음 접근 사이에서, 프로브는 이미지의 다음 픽셀을 향해 샘플(9)에 대해 측방향으로 이동할 수 있다. 이 과정은 모든 픽셀이 이미지화될 때까지 반복된다. 각 픽셀(x,y)에 대해 값($z(x,y)$)이 등록되어 샘플(9)의 표면(91)에 대한 지형 이미지가 획득된다. 모션 프로파일 생성기(45)가 사용할 힘 임계값($F_t(x,y)$)의 선택은 신호 처리부(41)에 의해 결정된다.

[0058] 도 3 및 도 4를 참조하여 논의된 바와 같이, 표면의 높이 프로파일($z(x,y)$)은 헤드의 위치와 캔틸레버의 편향으로부터 추정된다. 편향(d)이 현재 힘 임계값(F_t)이 초과되었음을 나타내는 경우, 모션 프로파일 생성기가 프로브를 후진시킨다. 예를 들어 $z(x,y-Dy)$ 와 같은, 근처의 추정 높이 프로파일은 위치(x,y)에 대한 높이 프로파일($z(x,y)$)의 지시자로 사용되며, 이 정보를 사용하여 최적의 힘 임계값($F_t(x,y)$)은 신호 처리부(41)에 의해 선택된다. 언급한 바와 같이, 최적의 힘 임계값($F_t(x,y)$)의 선택은 추가적으로 또는 대안적으로 샘플에 대한 사전 지식, 예를 들어, 지정된 지형 데이터 및/또는 레시피 생성 데이터 및/또는 현재 스캐닝라인, 즉 근처($z(x-\Delta x, y)$)에서 얻은 분석 결과에 의해 결정될 수 있다.

[0059] 일 실시예에서, 신호 처리부(41)는, 해당 x 좌표를 갖거나 현재 스캐닝된 좌표(x)의 영역에 x 좌표를 갖는 이전 스캐닝 라인($y-\Delta y$)에 대해 획득된 이미지 데이터에 기초하여 힘 임계값($F_t(x,y)$)에 대한 값을 결정한다. 일부 실시예에서, 힘 임계값에 도달하는 시점에서 측정되는 z 값이 등록될 뿐만 아니라, 거리(z)와 인가된 힘 사이의 관계를 명시하는 완전한 힘 거리 곡선이 등록된다.

[0060] 일례에서, 측면 좌표를 가지는 위치에 대한 힘 임계값($F_t(x,y)$)은, 이전 스캐닝 라인($y-\Delta y$) 상에서 측정된 z 값에 따라 적어도 상대적으로 낮은 임계값(F_{tlow}) 및 상대적으로 높은 임계값(F_{thigh})으로부터 다음 기준에 따라 선택된다.

$$F_t(x,y) = \begin{cases} F_{thigh} & \text{if } z(x,y - \Delta y) \leq z_t \\ F_{tlow} & \text{if } z(x,y - \Delta y) > z_t \end{cases}$$

[0062] 예를 들어 추가 이전 스캐닝라인($-2\Delta y, -3\Delta y$)으로부터의 추가 정보를 사용하는 것도 고려될 수 있다. 이 추가 정보는 현재 위치(x,y)의 동일한 샘플 특성에 대해 예측성은 떨어지지만, 적절한 가중치가 부여될 수 있다. 다른 예에서, 힘 임계값의 선택은, 다음과 같이 이전 스캐닝라인의 거리에 의해 정의된 폭(Δy)과 현재 스캐닝라인에서 최근 스캐닝된 부분의 길이(dx)를 가지는 영역에 따라 달라진다.

$$F_t(x,y) = \begin{cases} F_{thigh} & \text{if } \exists x': |x' - x| < dx \wedge (z(x',y - \Delta y) \leq z_t \vee z(x',y) \leq z_t) \\ F_{tlow} & \text{otherwise} \end{cases}$$

[0064] 즉, 지시가 있는 경우, 현재 스캐닝 위치(x,y)의 영역에 대해 낮은 z 값을 가지는 피처가 예상될 수 있음을 기반으로, 상대적으로 높은 힘 임계값($F_t(x,y)$)이 해당 위치에 대해 선택된다.

[0065] 상대적으로 높은 힘 임계값($F_t(x,y)$)으로 인해 팁이 이러한 피처의 바닥 표면을 향해 용이하게 돌출된다. 따라서, 이러한 선택으로 인해 낮은 z 값을 가진 피처의 측정이 개선된다.

[0066] 대안적인 예에서, 힘 임계값 $F_t(x,y)$ 은 다음과 같이 결정된다.

$$F_t(x,y) = \begin{cases} F_{tlow} & \text{if } \exists x': |x' - x| < dx \wedge (z(x',y - \Delta y) \geq z_t \vee z(x',y) \geq z_t) \\ F_{thigh} & \text{otherwise} \end{cases}$$

[0068] 이는 지시가 있는 경우, 현재 스캐닝 위치(x,y)의 영역에 대해 높은 z 값을 갖는 피처가 예상될 수 있음을 기반으로, 상대적으로 낮은 힘 임계값($F_t(x,y)$)이 해당 위치에 대해 선택됨을 의미한다.

[0069] 상대적으로 낮은 힘 임계값($F_t(x,y)$)은 팁이 z 값이 높은 피처에서 낮은 위치로 미끄러지는 것을 방지하는 것을 목표로 한다. 따라서 이러한 선택을 통해 z 값이 높은 피처의 측정이 향상된다.

[0070] 마찬가지로, 상기 영역의 폭은 이전의 여러 스캐닝라인에 걸쳐 확장될 수 있다.

[0071] 또 다른 실시예에서, 임계 힘은 샘플에 대한 사전 정보 및/또는 이전 스캐닝라인 또는 현재 스캐닝라인을 스캐닝하는 동안 샘플로부터 획득한 정보에 기초하여 샘플 위치(x, y)에서 재료 특성에 따라 적응적으로 조정된다. 이의 일례로, 샘플에 대한 사전 정보 및/또는 스캐닝 동안 샘플로부터 획득한 정보에 기초하여 스캐닝할 위치에서 표면의 경도가 상대적으로 낮을 것으로 예상되는 경우, 상대적으로 낮은 임계 힘이 사용되고, 스캐닝할 위치에서 표면의 경도가 상대적으로 높을 것으로 예상되는 경우, 상대적으로 높은 임계 힘이 사용된다.

[0072] 이들 예에서, 힘 임계값($F_t(x,y)$)은 미리 정해진 임계값들 중에서 선택된다. 다른 실시예에서, 예를 들어 다항식 함수, 예를 들어 근처 위치들에 대해 알려진 복수의 미리 정해진 임계값으로부터 해당 위치에 대해 보간된 임계값을 계산하기 위한 3차 보간 함수와 같은 보간 함수를 사용하여, 힘 임계값은 샘플에 대한 사전 정보로부터 연속 함수로 결정된다. 또 다른 예에서는, 룩업 테이블이 사용된다.

[0073] 신호 처리부(41)는 추가적으로 현재 스캐닝라인(y)으로부터 최근 획득한 이미지화 데이터에 기초하여 힘 임계값(F_t)을 결정할 수 있다는 점에 유의한다. 예를 들어, 신호 처리부(41)는 좌표($x - \Delta x$, y)를 갖는 측면 위치에 대해 결정된 z 값($z(x - \Delta x$, y))이 실질적으로 좌표(x, $y - \Delta y$)를 갖는 측면 위치에 대해 결정된 z 값($z(x$, $y - \Delta y$))에서 벗어나면, 이전의 스캐닝라인($y - \Delta y$)에 기초한 결정을 무시할 수 있다.

[0074] 또 다른 대안으로서, 신호 처리부(41)는 현재 스캐닝라인으로부터의 이미지화 데이터에 기초하여 결정된 임계값($F_t \Delta x(x,y)$)과 이전 스캐닝라인으로부터의 이미지화 데이터에 기초하여 결정된 임계값($F_t \Delta y(x,y)$)의 평균값을 다음 식을 이용하여 계산할 수 있다.

$$F_t(x,y) = a_x F_t \Delta x(x,y) + a_y F_t \Delta y(x,y), \text{ with } 0 < a_x, a_y < 1 \text{ and } a_x + a_y = 1$$

[0076] 도 5는 대안적인 실시예를 도시한다. 여기에서 신호 처리부(41)는 샘플(9)의 사양 또는 레시피로부터 이용 가능한, 지형 메모리부(43)에 저장된 지형 정보($z_s(x,y)$)를 사용한다. 모션 프로파일 생성기(45) 및/또는 변위 센서(21)는 현재 스캐닝된 위치의 측면 좌표(x,y)를 신호 처리 장치(41)에 전달하여, 신호 처리 장치(41)는 도 2의 실시예에 대해 설명한 것과 유사한 방식으로 측면 위치(x,y)에 대해 모션 프로파일 생성기(45)에 의해 사용될 힘 임계값($F_t(x,y)$)을 결정하기 위해 지형 메모리부(43)로부터 해당 위치에 대한 예상 z 값($z_s(x,y)$) 및/또는 이웃 위치의 예상 z 값을 검색할 수 있다. 일 실시예에서 힘 임계값($F_t(x,y)$)을 결정하는 과정은 임계값 결정에 관여되는 값들의 불확실성을 추정하는 동작을 포함한다. 이러한 불확실성의 크기에 따라 다양한 접근법을 사용하여 힘 임계값의 독립적인 추정치들에 서로 다른 가중치가 할당될 수 있다. 불확실성이 높은 추정치, 즉 신뢰도가 낮은 추정치에는 불확실성이 낮은 추정치보다 낮은 가중치가 할당된다. 모션 프로파일 생성기(45)에 의해 사용될 힘 임계값($F_t(x,y)$)은 할당된 가중치들에 따른 다양한 힘 임계값 추정치들을 가중 평균하여 결정될 수 있다. 언급한 바와 같이, 임계값은 사전 지식 및 이전 스캐닝라인 및/또는 현재 스캐닝라인 상의 이전 위치로부터 얻은 지형 정보를 기반으로 추정될 수 있다.

[0077] 또한 본 실시예에서, 신호 처리부(41)는 도 2의 실시예에 대해 기술한 바와 같이, 현재 스캐닝라인(y)으로부터 최근에 획득한 이미지화 데이터에 추가적으로 기초하여 힘 임계값(F_t)을 결정할 수 있다.

[0078] 또 다른 실시예에서, 신호 처리부(41)는 스캐닝될 측방향 좌표(x,y)를 가지는 위치에 대한 힘 임계값($F_t(x,y)$)

을 도 5를 참조하여 설명한 바와 같이 샘플(9)의 사양 또는 레시피로부터의 지형 정보($zs(x,y)$)와 도 2를 참조하여 설명한 바와 같이 이전 스캐닝라인($y-\Delta y$)으로부터 획득한 지형 정보($z(x,y-\Delta y)$)를 함께 기초하여 결정하도록 구성된다. 이에 대한 일부 예에서, 신호 처리부(41)는 또한 측면 좌표(x,y)를 가지는 위치에 대한 힘 임계값($Ft(x,y)$)을 결정하기 위해, 동일한 스캐닝라인으로부터 최근 획득한 이미지 데이터를 추가 포함하도록 구성된다.

[0079] 위에서 알 수 있는 바와 같이, 신호 처리부(41)가 현재 스캐닝 지점 근처의 단일 위치의 정보에 기초하여 임계값을 계산할 필요가 없다. 대신, 상기 계산은 현재 스캐닝 지점(x,y)의 영역, 예를 들어 이전 스캐닝 라인의 영역($x-dx < x' < x+dx$)의 정보 또는 영역($x-dx < x' < x+dx$, $y-dy < y' < y+dy$)와 같이 설계 데이터 또는 레시피 데이터에 지정된 현재 스캐닝 포인트의 영역에서 얻은 정보에 기초할 수 있다. 예시적인 실시예에서, 신호 처리부(41)는 상기 영역에서 얻은 정보가 현재 스캐닝 지점이 좁은 트렌치 내에 있을 것으로 예상됨을 나타내는 경우 상대적으로 높은 힘 임계값을 선택하고, 상기 영역에서 얻은 정보가 넓은 트렌치 또는 기타 비교적 평평한 지역을 나타내는 경우 상대적으로 낮은 힘 임계값을 선택한다. - 구성 가능 거리(예: 팁 직경의 10배) 내에서 최대 표면 레벨과 최소 표면 레벨 간의 차이가 팁 높이의 구성 가능 팩터(예: 0.5)보다 작은 경우 현재 스캐닝 지점이 평평한 영역에 있는 것으로 간주된다. 구성 가능 거리와 구성 가능 팩터의 정확한 값은 팁-캔틸레버 조합의 강성에 따라 달라진다. 팁-캔틸레버 조합의 강성이 상대적으로 높으면, 구성 가능 거리를 상대적으로 작게 선택할 수 있으며 구성 가능 팩터는 상대적으로 높게 선택할 수 있다. 팁-캔틸레버 조합의 강성이 상대적으로 낮은 경우, 상대적으로 큰 구성 가능 거리를 선택하고 상대적으로 작은 구성 가능 팩터를 선택할 수 있다.

[0080] 위에서 설명한 예시적인 실시예에서, 신호 처리부(41)에 의해 조정될 이미지화 파라미터는 측면 좌표(x,y)의 함수로서의 힘 임계값(Ft)인 반면, 다른 실시예에서는 조정될 이미지화 파라미터는 기준선 오프셋, 접근 프로파일 또는 후진 프로파일이다.

[0081] 도 6은 예시적인 실시예를 도시하며, 컨트롤러(40)는 모션 프로파일 생성기(45)가 사용할 후진 프로파일의 후진 거리, 즉 모션 프로파일 생성기(45)가 z 액추에이터(60)로 하여금 프로브(11)를 샘플(9)에서 후진시키도록 하는 거리를 나타내는 제어 신호($dr(x,y)$)를 결정하는 접착 신호 처리부(47)를 포함한다. 도시된 예에서, 편향 곡선 신호 처리부(46)는 각 스캐닝된 위치에 대한 편향 곡선 데이터($dz(x,y)$)를 수신한다. 편향 곡선 데이터($dz(x,y)$)는 프로브(z)의 이동의 함수로서 측정된 편향(d), 특히 시점(t_{47})에서 시점(t_{48})까지의 시간 구간 동안 프로브의 편향을 나타내는 데이터를 나타낸다. 도 3 및 도 4를 참조하여 설명한 바와 같이, 이 시간 구간 동안 프로브(11)의 편향은 실질적으로 팁(13)과 샘플(9) 사이의 접촉력에 의해 결정된다. 이러한 데이터를 사용하여 편향 곡선 신호 처리부(46)는 샘플의 측면 위치(x,y)에서 접촉력의 크기($Adh(x,y)$)를 추정하고 그 값을 메모리(44)에 저장한다. 접착 신호 처리부(47)는 이전 스캐닝 라인($x,y-\Delta y$)에서 크기($Adh(x,y-\Delta y)$)에 대해 얻은 데이터를 검색하고, $Adh(x,y)$ 가 $Adh(x,y-\Delta y)$ 와 대략 같다는 가정에 기초하여 후진 프로파일에 대한 최적의 후진 거리를 계산한다. 현재 스캐닝 위치서 상대적으로 높은 접촉력이 예상되는 경우, 상대적으로 낮은 접촉력이 예상되는 경우보다 후진 거리가 더 큰 값으로 설정된다. 대안적인 실시예에서, 접착 신호 처리부(47)는 샘플(9)의 사양 또는 레시피의 접착 정보에 기초하여 계산을 수행한다. 또 다른 실시예에서, 접착 신호 처리부(47)는, 샘플(9)의 사양 또는 레시피의 접착 정보와 이전 스캐닝 라인($y-\Delta y$)에서 얻은 접착 정보의 조합을 기반으로 측면 좌표(x,y)를 가지는 스캐닝할 위치에 대한 후진 프로파일의 후진 거리를 결정하도록 구성된다. 이에 대한 일부 예에서, 접착 신호 처리부(47)는 또한 측면 좌표(x,y)를 가지는 위치에 대한 후진 거리를 결정하기 위해 동일한 스캐닝라인으로부터 최근에 획득한 접착 정보를 추가 포함하도록 구성된다.

[0082] 도 7은 또 다른 실시예를 도시한다. 도 6에 도시된 바와 같이, 편향 곡선 신호 처리부(48)는 각 스캐닝 위치에 대한 편향 곡선 데이터 $dz(x,y)$ 를 수신한다. 그러나 본 실시예의 편향 곡선 신호 처리부(48)는, t_{45} 이후 t_{46} 에서 프로브가 후진하는 시점까지 힘이 양의 값이 되는 시간 구간에서 결정된 바와 같이, 측면 위치(x,y)에 대한 힘-거리 데이터를 계산한다. 힘-거리 데이터는 각각의 힘에 대해 측정된 2개 이상의 거리(z)를 포함할 수 있다. 신호 처리부(41)는 힘 거리 데이터에 접근할 수 있고, 이에 따라, $x,y-\Delta y$ 또는 그 근처에서 좌표(x')를 가지는 측면 위치에 대해 저장된, 각 힘에 대한 두 개 이상의 측정 거리($z_1(x,y-\Delta y)$, $z_2(x,y-\Delta y)$)에 기초하여 측면 위치(x,y)에 대해 어떤 임계 힘($Ft(x,y)$)이 선택되어야 하는지를 결정한다. 일부 예에서, 신호 처리부(41)는 추가적으로 현재 스캐닝 라인으로부터 획득한 힘 거리 데이터, 예를 들어 이전 스캐닝 위치($x-\Delta x, y$)에서 획득한 힘 거리 데이터에 기초하여 임계 힘($Ft(x,y)$)을 계산한다.

[0083] 위에서 지정한 바와 같이, 이미지화 파라미터의 설정은, 설계 정보, 레시피 정보, 이전 스캐닝라인의 이미지화 데이터에서 검색된 정보, 현재 스캐닝라인의 최근 이미지화 데이터로부터 검색된 정보 등 에서 얻은 사전 샘플 정보 중 둘 이상을 포함한 다양한 소스에서 얻은 입력 데이터의 조합에 기초하여 결정될 수 있다. 상기 조합에

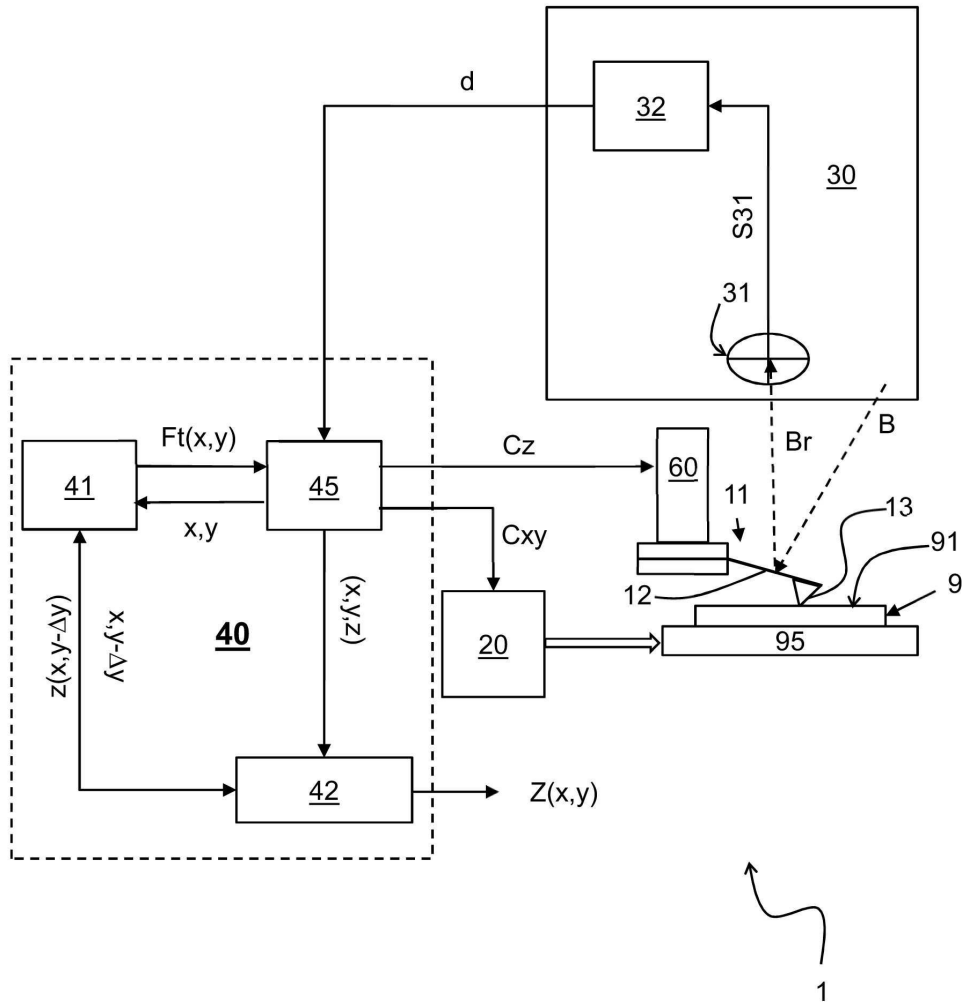
사용된 사전 정보가 일관성이 있는 경우 이는 신뢰도를 나타낸다. 그렇지 않은 경우, 하나의 접근법에 따라, 설정된 이미지화 파라미터를 예측하기 위해 사용되는 입력 파라미터의 값은 다양한 소스에서 얻은 입력 데이터의 평균값, 예를 들어 가중 평균 값으로 계산될 수 있다. 또는 등가적으로, 다양한 소스로부터 획득한 각각의 입력 데이터에 기초하여 이미지화 파라미터의 설정이 계산될 수 있고, 실제로 사용되는 해당 이미지화 파라미터의 설정이 다양한 입력 데이터를 기반으로 계산된 설정의 평균값, 예를 들어 가중 평균 값으로 계산될 수 있다. 다른 접근 방식에 따르면, 입력 파라미터 설정은 각 입력 데이터를 기반으로 개별적으로 예측된 설정 중 가장 보수적인 설정으로 한다. 예를 들어, 힘 임계값의 다수 설정들 중에서 가장 낮은 값을 가진 값이 선택되어 샘플 손상 위험을 최소화한다.

[0084] 본 발명은 일부 특정 실시예의 관점에서 설명되었다. 도면에 도시되고 본 명세서에 설명된 실시예는 단지 설명의 목적으로만 의도되었으며, 어떠한 방식이나 수단으로도 본 발명을 제한하려는 의도가 아니라는 것이 이해될 것이다. 본 발명의 동작 및 구성은 전술한 설명 및 그에 첨부된 도면으로부터 명백해질 것으로 여겨진다. 본 발명은 본 명세서에 기술된 임의의 실시예에 제한되지 않으며 첨부된 청구범위의 범위 내에서 수정이 가능함은 당업자에게 명백할 것이다. 또한 운동학적 반전(kinematic inversion)은 본질적으로 개시된 것으로 간주되며 본 발명의 범위 내에 포함된다.

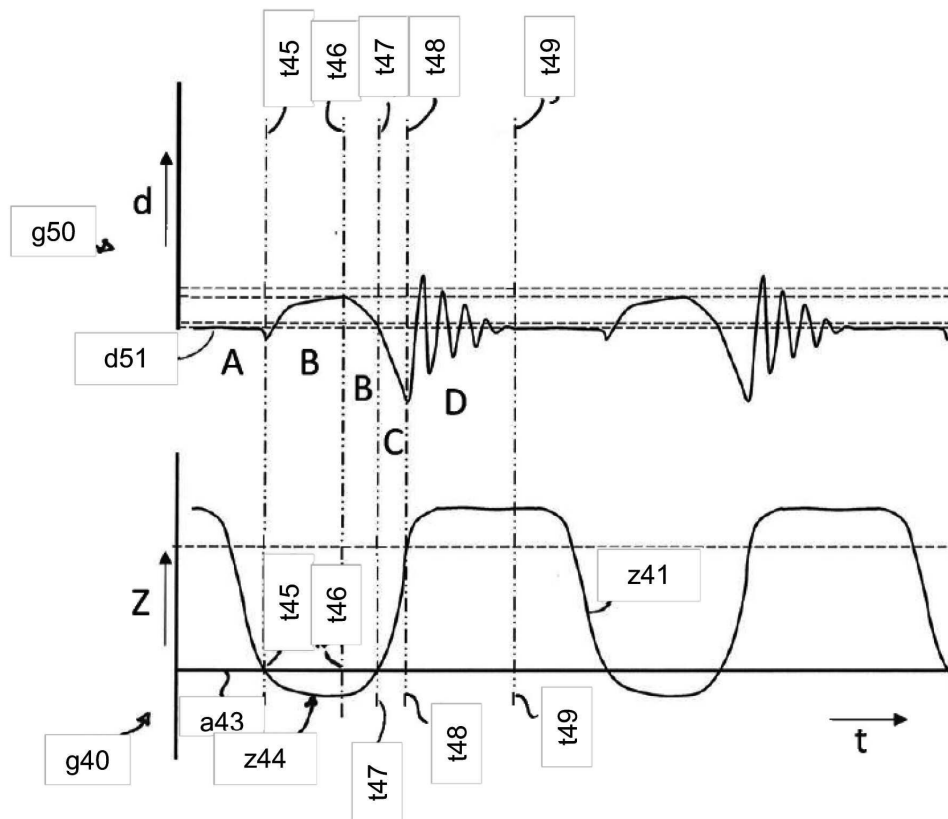
[0085] 더욱이, 개시된 다양한 실시예의 임의의 구성요소 및 요소는 청구범위에 정의된 본 발명의 범위를 벗어나지 않고 필요하거나 원하거나 선호되는 것으로 간주되는 다른 실시예에 결합되거나 통합될 수 있다.

[0086] 청구항에서 어떠한 참조 기호도 청구항을 제한하는 것으로 해석되어서는 안 된다. 본 설명 또는 첨부된 청구범위에 사용된 용어 '구비하는' 및 '포함하는'은 배타적이거나 완전한 의미로 해석되어서는 안 되며 오히려 포괄적인 의미로 해석되어야 한다. 따라서 본 명세서에 사용된 '포함하는'이라는 표현은 임의의 청구범위에 나열된 요소 또는 단계 외에 다른 요소 또는 단계의 존재를 배제하지 않는다. 또한, 'a' 및 'an'은 '단지 하나'에 한정되는 것으로 해석되어서는 안 되며, 대신 '적어도 하나'의 의미로 사용되며, 복수를 배제하지 않는다. 구체적으로 또는 명시적으로 기술되거나 청구되지 않은 특징은 본 발명의 범위 내에서 본 발명의 구조에 추가로 포함될 수 있다. "~를 위한 수단"과 같은 표현은 "~를 위해 구성된 구성 요소" 또는 "~로 구성된 부재"로 읽어야 하며 개시된 구조에 대한 등가물을 포함하는 것으로 해석되어야 한다. "중요한", "선호되는", "특히 바람직한" 등의 표현의 사용은 본 발명을 제한하려는 의도가 아니다. 통상의 기술자의 범위 내에서 추가, 삭제 및 수정은 일반적으로, 청구범위에 의해 결정되는 본 발명의 사상 및 범위를 벗어나지 않고 이루어질 수 있다. 본 발명은 본 명세서에 구체적으로 설명된 것과 달리 실시될 수 있으며, 첨부된 청구범위에 의해서만 제한된다.

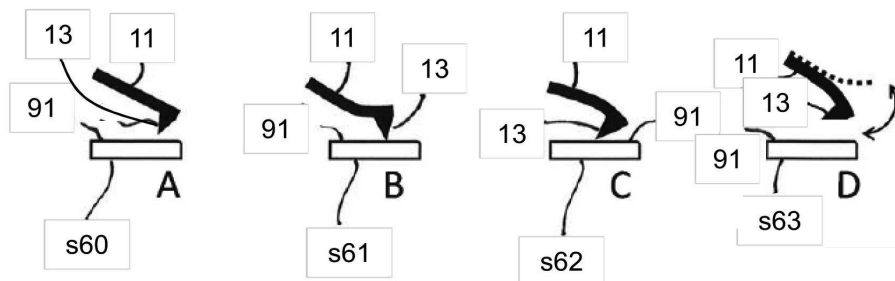
도면2



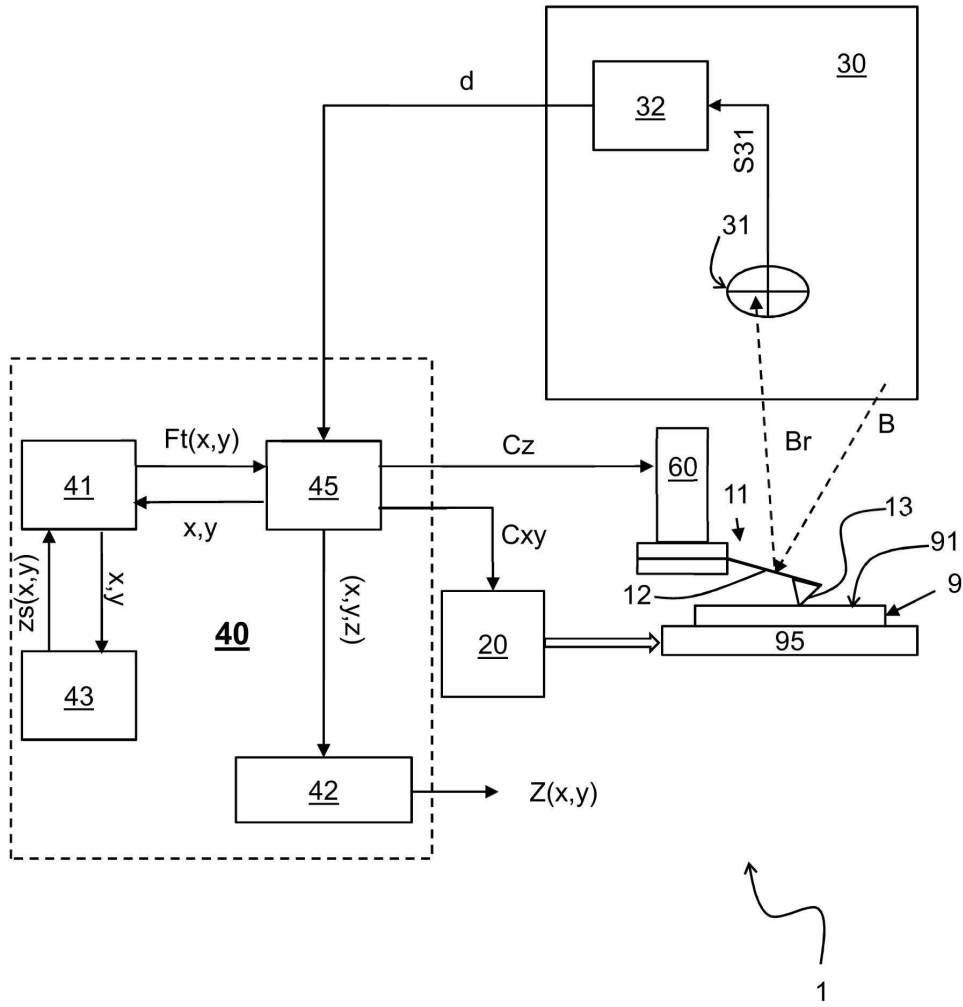
도면3



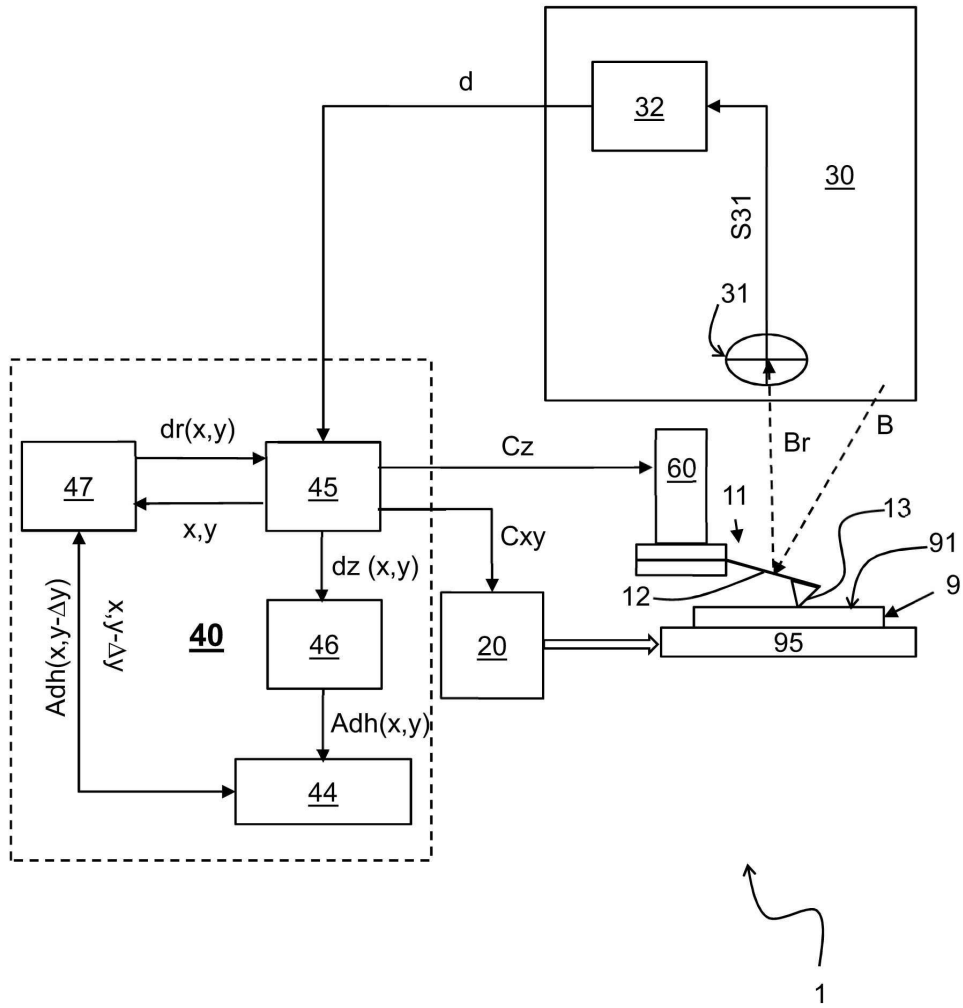
도면4



도면5



도면6



도면7

