



(19) 대한민국특허청(KR)
(12) 등록특허공보(B1)

(45) 공고일자 2010년06월04일
 (11) 등록번호 10-0961571
 (24) 등록일자 2010년05월27일

(51) Int. Cl.
G01B 7/34 (2006.01)
 (21) 출원번호 10-2005-7000162
 (22) 출원일자(국제출원일자) 2003년07월04일
 심사청구일자 2008년07월04일
 (85) 번역문제출일자 2005년01월04일
 (65) 공개번호 10-2005-0043885
 (43) 공개일자 2005년05월11일
 (86) 국제출원번호 PCT/GB2003/002903
 (87) 국제공개번호 WO 2004/005844
 국제공개일자 2004년01월15일
 (30) 우선권주장
 0215581.0 2002년07월04일 영국(GB)
 0310344.7 2003년05월06일 영국(GB)
 (56) 선행기술조사문헌
 KR1019990029072 A
 US6008489 A1
 전체 청구항 수 : 총 23 항

(73) 특허권자
더 유니버시티 오브 브리스톨
 영국 브리스톨 비에스8 1티에이치 톨돌 애비뉴 세
 너트 하우스
 (72) 발명자
마일즈 머빈 존
 영국 에이번 비에스11 0유알 브리스톨 킹스웨스턴
 킹스웨스턴 라인 10
험프리스 앤드류 데이비드 레이버
 영국 에이번 비에이2 3엔디 배쓰 올드필드 로드 6
 플랫폼 2
호스 제이미 케인
 영국 요크셔 에스11 7비엑스 웨필드 그레이스톤스
 그레이스톤스 로드 293
 (74) 대리인
차윤근

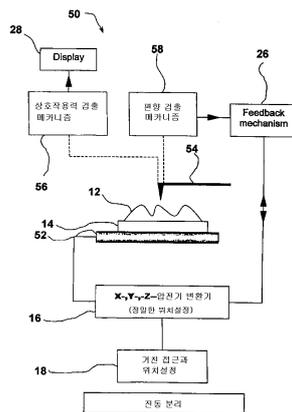
심사관 : 최석진

(54) 주사 탐침 현미경

(57) 요약

주사 탐침 현미경은 탐침-시료 상호작용에서의 변화를 검출 또는 유도한다. 이미징 모드에서, 탐침(54)은 시료(12)의 접촉거리로 전해지고 그리고 상호작용의 세기가 탐침(54)과 시료 면이 서로 상대적으로 주사되어 측정된다. 이미지 수집은, 한 개 또는 나머지가 그 공진 주파수에서 또는 공진 주파수 근방에서 진동하는 동안에 시료(12)와 탐침(54)의 상관 병진이동(relative translation)을 이행하여 빠르게 수행된다. 양호한 실시예에서, 상호작용은 금속 탐침과 시료 사이에 계면에 생성된 정전용량에 의해 모니터 된다. 리소그래피 모드(lithographic mode)에서는 AFM(atomic force microscope)이 시료 면에 정보를 라이트 하는데 채택된다.

대표도 - 도3



특허청구의 범위

청구항 1

탐침(20,54)과 시료 면 사이에 상관 동작을 제공하게 배치되고 그리고 그 사이에서 검출가능한 상호작용을 확립 하기에 충분하게 시료(12)와 탐침(20,54)을 근접시키는 구동수단(16,18,22)과;

표면을 횡단하여 탐침(20,54)의 상대적 진동 동작을 제공하도록 탐침(20,54) 또는 시료(12)의 어느 하나를 진동 시키는 수단(22,52)과;

탐침(20,54)과 시료(12) 사이에 상호작용의 세기를 나타내는 적어도 1개의 파라미터를 측정하게 배치된 탐침 검출 메카니즘(24,56,58) 및;

선결정된 설정 값에서 떨어져 있는 적어도 1개의 파라미터 중에서 1개의 평균 값으로 변화에 대한 구동수단 (16,22)의 조작에 의한 탐침-시료 분리 정도를 조정하게 제공된 피드백 메카니즘(26)을 포함하는, 시료(12)와 탐침(20,54) 사이에 상호작용에 따라서 시료(12)를 이미징하는 주사 탐침 현미경(10,50)에 있어서:

상기 현미경(10,50)은, 운영 시에, 주사구역이 주사라인의 배열구조로 커버되는 시료 면의 주사를 이행하게 배치되고; 각각의 주사라인은, 진동 진폭이 최대 주사라인 길이를 바로 결정하도록 그리고 배열구조가 구동수단 (16,22)을 운영하여 제공되도록, 공진 주파수에서 또는 공진 주파수 부근에서 탐침(20,54) 또는 시료(12)의 어느 하나를 진동하여 수집되는 것을 특징으로 하는 주사 탐침 현미경.

청구항 2

제1항에 있어서, 탐침은 금속이고 그리고 상호작용을 나타내는 파라미터는 탐침과 시료 사이에 계면의 정전용량 인 것을 특징으로 하는 주사 탐침 현미경.

청구항 3

제1항에 있어서, 상호작용을 나타내는 파라미터는 진동 진폭인 것을 특징으로 하는 주사 탐침 현미경.

청구항 4

제2항에 있어서, 상호작용을 나타내는 제2파라미터와, 피드백 메카니즘(26)을 운영하는 것이, 진동 진폭인 것을 특징으로 하는 주사 탐침 현미경.

청구항 5

제2항 또는 제4항에 있어서, 탐침 검출 메카니즘(24,56,58)은, 그 특성을 변조하도록 탐침(20,54)과 시료(12)사 이에 계면을 횡단하여 변조 전압을 적용하여 전기적 정전용량을 이루도록 배치된 변조 신호 발생기(48)와, 탐침 (20,54)과 시료(12)를 합체한 회로에 공진 전계를 공급하도록 배치된 공진기(42) 및, 전계 공진 주파수를 측정 하여 변조전압의 인가로 계면의 정전용량에서의 변화를 측정할 수 있게 배치된 검출기(46)를 포함하는 것을 특 징으로 하는 주사 탐침 현미경.

청구항 6

제1항에 있어서, 탐침(20)은 자계와 상호작용하도록 채택되며 그리고 탐침 검출 메카니즘(24,56,58)은 탐침 (20,52)과 시료(12) 사이에 자성 상호작용을 나타내는 파라미터를 측정하게 배치된 것을 특징으로 하는 주사 탐 침 현미경.

청구항 7

제1항에 있어서, 탐침(20)은 외팔보와 "탭핑" 모드에서 상기 외팔보를 구동하도록 배치된 작동기를 포함하는 것 을 특징으로 하는 주사 탐침 현미경.

청구항 8

제7항에 있어서, 상호작용의 세기를 나타내는 파라미터는 시료(12)를 두들기는(tap) 외팔보의 굽힘동작인 것을 특징으로 하는 주사 탐침 현미경.

청구항 9

제1항에 있어서, 탐침(54)은 AFM 외팔보이고 그리고, 탐침 검출 메카니즘(24,56,58)으로 측정되고 피드백 메카니즘(26)에 의해 사용된 상호작용의 세기를 나타내는 적어도 1개의 파라미터 중의 한 개가 탐침(54)의 굽힘인 것을 특징으로 하는 주사 탐침 현미경.

청구항 10

제9항에 있어서, 탐침 검출 메카니즘(24,56,58)은, 탐침(54)과 시료(12) 사이에 상호작용의 세기를 나타내는 적어도 1개의 파라미터를 측정하도록 배치된 상호작용 검출 메카니즘(56)과 편향 검출 메카니즘(58)을 포함하며; 편향 검출 메카니즘은 피드백 메카니즘(26)에 링크되고 탐침(54)의 굽힘을 측정하도록 배치된 것을 특징으로 하는 주사 탐침 현미경.

청구항 11

제9항 또는 제10항에 있어서, 상기 탐침(54)은 "탭핑" 모드에서 외팔보를 구동하도록 배치된 작동기를 포함하는 것을 특징으로 하는 주사 탐침 현미경.

청구항 12

제1항 내지 제4항 중 어느 한 항에 있어서, 구동수단(22)은 탐침(20)을 진동하게 배치된 것을 특징으로 하는 주사 탐침 현미경.

청구항 13

제12항에 있어서, 구동수단(22)은 튜닝 포크를 구비하는 것을 특징으로 하는 주사 탐침 현미경.

청구항 14

제1항 내지 제4항 중 어느 한 항에 있어서, 탐침 또는 시료의 어느 하나를 진동시키는 수단(22,52)이 시료(12)를 진동하도록 배치된 것을 특징으로 하는 주사 탐침 현미경.

청구항 15

제14항에 있어서, 시료를 진동하는 수단은 튜닝 포크(52)이고 그리고 시료(12)는 그에 부착된 것을 특징으로 하는 주사 탐침 현미경.

청구항 16

제1항 내지 제4항 중 어느 한 항에 있어서, 피드백 메카니즘(26)은 탐침 진동의 일 사이클보다 크고 주사를 실시하도록 취해진 전체 시간보다 상당히 적은 시간 상수로 운영되는 것을 특징으로 하는 주사 탐침 현미경.

청구항 17

제12항에 있어서, 상기 탐침은 대략 수직적으로 지향되고, 그리고 구동수단(16,22)은 탐침이 진동하는 평면에 대해 대략 직교하는 방향으로 탐침(20)과 시료(12)의 상관 선형 병진이동을 제공하도록 배치되어, 대체로 장방형의 주사구역을 형성하는 것을 특징으로 하는 주사 탐침 현미경.

청구항 18

제12항에 있어서, 상기 탐침은 대략 수평적으로 지향되고, 그리고 구동수단(16,22)은 진동축에 대해 대략 평행한 방향으로 탐침(20)과 시료(12)의 상관 선형 병진이동을 제공하도록 배치되어, 대체로 장방형의 주사구역을 형성하는 것을 특징으로 하는 주사 탐침 현미경.

청구항 19

제12항에 있어서, 상기 탐침은 대략 수직적으로 지향되고, 그리고 구동수단(16,22)은 탐침(20)이 그를 중심으로 진동하는 축과 대체로 일치하는 축을 중심으로 하는 탐침(20)과 시료(12)의 상관 회전을 제공하도록 배치되어, 주사라인의 원형 배열구조에 의해 주사구역을 커버하는 것을 특징으로 하는 주사 탐침 현미경.

청구항 20

제1항 내지 제4항 중 어느 한 항에 있어서, 상기 현미경은 반도체 디바이스에 전하 분포를 모니터 하도록 채택되는 것을 특징으로 하는 주사 탐침 현미경.

청구항 21

나노미터 특징을 가진 시료(12)의 주사구역으로부터 이미지 데이터를 빠르게 수집하는 방법에 있어서, 상기 방법은:

- (a) 탐침(20,54)과 시료(12) 사이에 상호작용이 확립되도록 시료(12)에 근접하게 서브-나노미터 치수의 팁을 가진 탐침(20,54)을 이동시키는 단계와;
- (b) 진동 진폭에 의해 바로 결정된 최대 길이를 가진 주사라인의 배열구조가 주사구역을 커버하도록, 면과 탐침(20,54) 사이에 상관 동작을 제공하면서, 공진 주파수에서 또는 공진 주파수 부근에서 탐침(20,54) 밑에 있는 시료(12)를, 또는 공진 주파수에서 또는 공진 주파수 부근에서 시료(12)의 면을 횡단하는 탐침(20,54)을 진동하는 단계와;
- (c) 상호작용 세기를 나타내는 파라미터를 측정하는 단계와;
- (d) 탐침(20,54)과 시료(12) 사이에 상호작용도 나타내는 제2파라미터 또는 (c)단계에서 측정된 파라미터를 모니터링하고, 만일 모니터된 파라미터의 값이 선결정된 설정 값 밑으로 떨어지거나 그 위로 올라가면, 설정 값 쪽으로 다시 모니터된 파라미터의 값이 보내지도록 탐침(20,54)-시료(12) 분리 거리를 조정하는 단계 및;
- (e) 시료의 나노미터 구조와 관련된 정보를 추출하도록 (c)단계에서 취해진 측정치를 처리하는 단계를 포함하는 것을 특징으로 하는 방법.

청구항 22

탐침과 시료 면 사이에 상관 동작을 제공하여, 시료와 탐침이 최근접하게 배치된 구동수단과; 표면을 횡단하여 탐침의 상대적 진동 동작을 제공하도록 탐침 또는 시료의 어느 하나를 진동시키는 수단과; 탐침과 시료 사이에 상호작용의 세기가, 탐침 또는 시료 진동의 일 주기보다 짧은 시간 척도로, 단속적으로 변하여, 탐침 지역에 시료 면의 성질을 단속적으로 변경시키도록 배치된 탐침 라이팅 메카니즘을 포함하는, 시료와 AFM 외팔보 탐침 사이에 상호작용에 의해 시료에 정보를 라이팅하는 주사 탐침 현미경에 있어서: 상기 현미경(10,50)은, 운영 시에, 주사구역이 라이트 라인의 배열구조로 커버되는 시료 면의 라이팅 주사를 이행하도록 배치되고; 각각의 라이트 라인은, 진동 진폭이 최대 주사라인 길이를 바로 결정하고 그리고 배열구조가 구동수단의 운영으로 제공되도록, 공진 주파수에서 또는 공진 주파수 부근에서 탐침 또는 시료의 어느 하나를 진동하여 수집되는 것을 특징으로 하는 주사 탐침 현미경.

청구항 23

제22항에 있어서, 상기 현미경은 또한, 탐침과 시료 사이에 상호작용 세기를 나타내는 적어도 1개의 파라미터를 측정하도록 배치된 탐침 검출 메카니즘과, 선결정된 설정 값에서 떨어진 적어도 1개의 파라미터 중에서 1개의 평균 값에서의 변화에 대한 구동수단의 운영으로 탐침-시료 분리 조정을 위해 제공된 피드백 메카니즘을 포함하며, 상기 평균 값은 탐침 또는 시료 진동의 일 주기의 값보다 더 큰 시간 간격을 인계 받는 것을 특징으로 하는 주사 탐침 현미경.

명세서

기술분야

[0001] 본 발명은 주사 탐침 현미경(SPM)과, 상기 주사 탐침 현미경의 주사 방법에 관한 것이다.

배경기술

[0002] 주사 탐침 현미경 분야는 주사 터널링 현미경(scanning tunnelling microscope)의 개발로 1981년에 개시되었다. 그 후, 이들은 모두 동일한 기본적 운영원리(나노미터 탐침이 시료 공간의 "상호작용 맵

(interaction map)"을 점유하도록 시료 면(sample surface) 위에서 기구적으로 주사)에 기본하여 있지만, 탐침 현미경은 광범위한 개발이 이루어져 왔다. 각각의 다른 타입의 주사 탐침 현미경(SPM; Scanning Probe Microscope)이 시료 면과 상호작용하는 국소 탐침(local probe)과 상기 국소 탐침의 성질에 의해 특징적으로 된다.

[0003] SNOM(Scanning Near Field Optical Microscopy)과 PSTM(Photon Scanning Tunnelling Microscopy)과 같은 일부 탐침 기술은 조명 시료와의 탐침의 상호작용의 결과로 발생한 광자(photon)를 검출하는 것이다. 다른 탐침 기술로는 탐침-시료 상호작용력의 변화를 검출하는 것에 기본적인 것이 있다. 이러한 탐침 기술 그룹의 기술이 일반적으로 SFM(Scanning Force Microscopy)으로 알려져 있다. 상호작용력은 많은 것들 중에서 예를 들면, 자성(magnetic), 전단력 또는 열이 있다.

[0004] AFM(Atomic Force Microscopy)은 가장 일반적으로 사용된 주사 탐침 현미경 검사 기술이다. 상기 경우에 탐침은, 팁과 시료 사이에 힘에 반응하여 굽혀지는 외팔보의 단부에 있는 팁(tip)이다. 광학 레버 기술이 일반적으로 외팔보의 굽힘동작을 측정하는데 사용된다. 외팔보가 소량 변위의 훅의 법칙을 따르므로, 팁과 시료 사이에 상호작용력은 감소 된다. AFM은 일반적으로 2개 모드 중의 하나로 운영된다. 일정 힘의 모드(constant force mode)에서, 피드백은 위치설정 압전 구동기가, 피검체 상호작용력에서의 임의적인 변화에 대하여 시료(또는 팁)의 상승 또는 하강 이동을 하게 한다. 이러한 방식에서는, 상호작용력이 매우 일정하게 유지되어, 시료의 매우 정확한 지형 이미지가 구해진다. 다르게는, AFM은 일정 높이의 모드(constant height mode)에서 운영된다. 지형 변화가 상호작용 힘의 변동과 구별되지 않고, 따라서 이러한 운영 모드는 고분해능으로 매우 평평한 시료를 이미징 하는데 매우 유용한 것이다.

[0005] 모든 주사 탐침 현미경 기술의 결함은 데이터 수집시간에 있다. 일반적으로, 이미지는 256라인으로 이루어지며, 각 라인은 256포인트(픽셀)로 구성된다. 불가피하게 소형 탐침으로 취해진 전체 이미지 주사가 시간을 소비한다. 국소 탐침 기술을 사용하여 종래 광학 스토리지 매체의 $\lambda/2$ 제한치를 넘는 데이터를 리드(read) 및 라이트(write)하는 방식이 증가하고 있고, 그리고 이러한 식은 데이터 처리속도가 라이트 및 리드 될 수 있는 정보가 속도에 의해 제약받는 것을 빠르게 나타내는 것이다. 또한 많은 과학적, 산업적 및 생리학적 프로세스에서는 시간척도(timescale)가 너무 짧아서, 이들을 현재의 국소 탐침 기술의 사용에 동반되지 못하게 하고 있다. 따라서, 주사 탐침 현미경에서는 이미지 수집시간을 향상시킬 필요가 있음을 알 수 있다.

발명의 상세한 설명

[0006] 본 발명의 목적은 시료-탐침 상호작용을 보다 빠르게 수집할 수 있는 시스템을 제공하여, 정보의 판독 또는 라이트 비율을 향상하고, 보다 많은 과학적, 산업적 및 생리학적 처리가 주사 탐침 현미경으로 실-시간 조사가 이루어지게 하는 것이다.

[0007] 본 발명의 일 면은 시료와 탐침 사이에 상호작용에 따르는 시료를 이미징하는 주사 탐침 현미경을 제공하며, 상기 현미경은, 탐침과 시료 면 사이에 상관동작을 제공하도록 배치된, 시료과 탐침 사이에서 검출가능한 상호작용을 확립하기에 충분하게 시료과 탐침을 최근접시키는 구동수단과; 표면을 횡단하여 탐침의 상대적 진동 동작을 제공하도록 탐침 또는 시료의 어느 하나를 진동시키는 수단과; 탐침과 시료 사이에 상호작용의 세기를 나타내는 적어도 1개의 파라미터(parameter)를 측정하게 배치된 탐침 검출 메카니즘 및; 선결정된 설정 값에서 떨어져 있는 적어도 1개의 파라미터 중에서 1개의 평균 값으로 변화에 대한 구동수단의 운영에 의한 탐침-시료 분리 정도를 조정하게 제공되어 배치된 피드백 메카니즘(26)을 포함하며: 상기 현미경은, 운영 시에, 주사구역이 주사라인의 배열구조(an arrangement of scan lines)로 커버된 시료 면의 주사를 이행하도록 배치되고; 각각의 주사라인은, 진동 진폭이 최대 주사라인 길이를 결정하고 그리고 배열구조가 구동수단을 운영하여 제공되도록, 공진 주파수에서 또는 그 부근에서 탐침 또는 시료의 어느 하나를 진동하여 수집하는 것을 특징으로 하는 것이다.

[0008] 공진으로 또는 유사 공진으로 진동하는 물체는 일반적으로 높은 안정성과 빠른 동작을 나타낸다. 각각의 주사라인은, 탐침이 시료의 표면을 횡단 진동하는 또는 표면이 탐침 밑에서 진동하는 어느 하나로 연속(아날로그) 이미지로서 수집된다. 탐침과 시료 면 사이에 상대적 병진운동을 동시적으로 제공하여, 연속적 주사라인이 표면의 다른 부분에서의 정보를 수집할 것이다. 상기 표면 구역을 커버한 후에, 주사라인 정보를 수집하여 적절한 변위로 재구성하여 2차원 주사구역의 이미지를 형성한다. 상술한 바와 같이, 공진 진동은 높은 안정도를 나타낸다. 따라서, 이러한 동작이 탐침 또는 시료에 의해 실시되는지의 여부와는 무관하게, 이미지 수집에 영향을 미치는 노이즈가 감소된다. 피드백 메카니즘은, 탐침과 시료 사이에 상호작용의 평균 세기에 따른 조정을 하여 표면 위에서 어느 정도의 탐침 높이가 유지되도록 작용한다. 그러므로, 진동의 시간 척도 내에서의 측정 파라미터의 변화가 "상호작용"이미지를 구성하여, 실(true) 표면 특징에서 발생한 것을 해석한다. 이러한 사실

은 종래기술에서 활용할 수 있는 것에 비해서, 상호작용 이미지 정보를 수집하는데 훨씬 더 빠른 기술을 제공한다.

- [0009] 주사 구역을 커버하는 데에는 다양한 방위(various orientations)의 진동 및 탐침/표면 상관 병진이동이 사용된다. 만일 진동 축이 고정된 것이면, 선형 병진이동이 진동 스위프(sweep)에 대해 대략 직교하는 방향으로 인가되어, 대략 직사각형 주사 구역을 한정한다. 만일 상관 병진이동이 연속성이면, 주사 구역은 단일의 연속적인 지그제그 라인에 의해 빠르게 커버된다. 다르게는, 원형 배열구조가 탐침과 시료의 상관 회전을 제공하여 생성된다. 또한, 진동과 병진이동을, 리사주 도형(Lissajou'figures)이 표면과 상관하여 탐침에 의해 그려지도록 배열할 수 있다.
- [0010] 상호작용을 나타내는 파라미터는 양호하게 탐침과 시료 사이에 계면의 정전용량이어서, 결과적으로 금속 탐침도 양호하게 된다. 이러한 기술은 반도체 물질 내의 맵핑 전하 분배에 매우 유용하다. 본 발명에 의해 촉진된 향상된 주사 속도는 탐침 현미경에 의한 실-시간 조사(real-time investigation)로 내부 반도체 공정을 개시한다.
- [0011] 다르게는, 상호작용을 나타내는 파라미터는 진동 진폭이 될 수 있다. 진동 진폭은 또한 피드백 메카니즘이 기본인 모니터링 파라미터도 된다.
- [0012] 양호하게, 탐침 검출 메카니즘은, 그 특성을 변조하도록 탐침과 시료사이에 계면을 횡단하여 변조 전압을 적용하여 그 전기적 정전용량을 이루도록 배치된 변조 신호 발생기와, 탐침과 시료를 합체한 회로에 공진 전계를 공급하도록 배치된 공진기 및, 전계 공진 주파수를 측정하여 변조전압의 인가로 계면의 정전용량에서의 변화를 측정할 수 있게 배치된 검출기를 포함한다. 본 발명의 이러한 실시예의 잇점은, 주사 커패시턴스 현미경에 정전용량을 측정하는 극민감성 감지기술을 제공하는 것이다.
- [0013] 다르게는, 현미경은 탐침과 시료 사이에 자성 상호작용을 나타내는 파라미터를 측정하도록 배치된 탐침 검출 메카니즘과 자계로 상호작용하는데 채택된 탐침을 가진 자성 현미경이다.
- [0014] 다르게는, 탐침이 "탭핑" 모드에서 외팔보와 외팔보를 움직이도록 배치된 작동기를 포함한다. 상호작용의 세기를 나타내는 파라미터는 시료를 가볍게 두드리어 외팔보를 구브린다. 다르게는, 진동 진폭이 있다. 이 실시예는 AFM이 일반적으로 배치되어 적용물을 차례로 빠르게 주사를 개시하는 AFM에 본 발명을 실시한다.
- [0015] AFM기구에서, 탐침 검출 메카니즘으로 측정되고 피드백 메카니즘에 의해 사용된 상호작용의 세기를 나타내는 적어도 1개의 파라미터 중의 1개가, 탐침 팁이 표면과의 접촉에 따른 외팔보의 굽힘동작이다. 탐침 검출 메카니즘은 이미지와 피드백 정보를 모두 제공하도록 탐침 굽힘동작을 측정하게 배치된다. 선택적으로, 탐침-시료 상호작용의 세기를 나타내는 다른 파라미터가 이미지 정보를 제공하는데 사용될 수 있다. 다르게는, 탐침 검출 메카니즘은 다음의 2개 성분: 탐침과 시료 사이에 예를 들어 정전용량과 같은 상호작용의 특징을 측정하도록 배치된 제1성분과, 피드백 메카니즘에 링크되어 탐침의 굽힘동작을 측정하도록 배치된 제2성분을 포함한다.
- [0016] 탐침 또는 시료의 어느 하나가 진동된다. 부가로, 탐침은 수직적 또는 수평적으로 장착되거나 또는, 실질적으로 중간각도에서, 임의적인 진동이 시료 면의 대략 선형 스위프(a substantially linear sweep of the sample surface)를 탐침이 수행하게 제공된다. 시료가 진동된다면, 이것은 시료를 튜닝 포크(tuning fork)에 장착하여 양호하게 달성된다. 문제는 시료(또는 탐침)가 동시적인 진동과 병진이동으로 공진 모드 간의 연결에 직면하는 것이다. 튜닝 포크는 그러한 연결을 방지하는 기구적 성질 이방성(mechanical anisotropy)이 크게 설계한다. 이러한 사실은 주사 안정성을 향상시킨다. 이들이 튜닝 포크의 대안으로 유사한 이방성을 가지고 제공되어도, 예를 들면 압전기 바이모프(piezoelectric bimorph)와 같은 것이 사용될 것이다. 상기 탐침은 또한 튜닝 포크 또는 바이모프에 의해서도 진동될 것이다.
- [0017] 양호하게 피드백 메카니즘은, 탐침 진동의 일 사이클보다 크고 주사를 실시하는데 취해진 총 시간보다 현저하게 작은 시간상수로 운영된다.
- [0018] 본 발명의 다른 면은, 나노미터 특징을 가진 시료의 주사구역으로부터 이미지 데이터를 빠르게 수집하는 방법을 제공하는 것이며, 상기 방법은:
- [0019] (a)탐침과 시료 사이에 상호작용이 확립되도록 시료에 근접하게 서브-나노미터 치수의 팁을 가진 탐침을 이동시키는 단계와;
- [0020] (b)진동 진폭에 의해 결정된 최대 길이를 가진 주사라인의 배열구조가 주사구역을 커버하도록, 면과 탐침 사이에 상관 동작을 제공하면서, 공진 주파수에서 또는 공진 주파수 부근에서 탐침 밑에 있는 시료를, 또는 공진

주파수에서 또는 공진 주파수 부근에서 시료의 면을 횡단하는 탐침을 진동하는 단계와;

[0021] (c)상호작용 세기를 나타내는 파라미터를 측정하는 단계와;

[0022] (d)탐침과 시료 사이에 상호작용도 나타내는 제2파라미터 또는 (c)단계에서 측정된 파라미터를 모니터링하고, 만일 모니터링된 파라미터의 값이 선결정된 설정 값 밑으로 떨어지거나 그 위로 올라가면, 설정 값 쪽으로 다시 모니터링된 파라미터의 값이 보내지도록 탐침-시료 분리 거리를 조정하는 단계 및;

[0023] (e)시료의 나노미터 구조와 관련된 정보를 추출하도록 (c)단계에서 취해진 측정치를 처리하는 단계를 포함하는 것이다.

[0024] 본 발명의 또 다른 면에서, 본 발명의 AFM 실시예는 시료 면을 이미지 하는 데가 아니고 탐침 장소에 있는 시료 면에 작용하는데 사용된다. 따라서, 정보가 표면 성질의 국소 변화로서 시료에 저장되어, 본 발명이 나노리소그래피(nano-lithography) 기술을 적용할 수 있게 한다.

[0025] 본 발명의 실시예를 첨부 도면을 참고로 예를 들어 이하에 설명한다.

실시예

[0029] 도1은 본 발명의 SCM(Scanning Capacitance Microscope)의 실시예를 나타낸 도면이다. 종래기술의 SCM은 T. Tran 등의 2001년 Rev.Sci.Inst. 72(6) 2618쪽에 "주사 커패시턴스 현미경용 'Zeptofarad'(10⁻²¹) 분해능 정전용량 센서"에 기술되어 있으며, 반도체 디바이스의 2차원 캐리어 프로필을 측정하는데 특정한 유용성을 제공한다. Tran 등에 의해 기술된 현미경처럼, 도1에 도시된 기구(10)는, 압전기 변환기(16)와 거친(coarse) 구동수단(18)에 접속된, 시료(12)를 수용하는데 이용되는 전기적 접지 평판(14)을 포함한다. 금속 탐침(20)은, 임의적인 종래기술의 SCM 구동수단과 다르게 탐침(20)의 준(near)-공진 또는 공진 진동을 일으키도록 배치된 제2압전기 구동수단(22)에 접속된다. 제1압전기 변환기(16) 또는 제2압전기 변환기(22)의 어느 하나는 탐침(20)과 시료(12)의 상관 수직운동을 일으킨다. 이 실시예에서는 시료(12)에 압전기(16)가 부착된다. 장치는 탐침 검출 메카니즘(24)을 구비하며, 특정한 세부구성은 측정되는 탐침(20)-시료(12) 상호작용을 나타내는 지시에 따르며, SCM을 사용하기에 적절한 실시예에 대해서는 보다 상세하게 뒤에 기술한다. 피드백 메카니즘(26)은 탐침 검출 메카니즘(24)에서 수신된 신호에 반응하여 제1압전기(16)를 구동하여 시료(12)와 탐침(20)의 상대적 높이를 제어하도록 배치된다. 수집된 데이터는 분석되어 디스플레이(28)로 출력된다.

[0030] 종래의 당 기술분야에서와 같이, 데카르트 좌표계의 z축은 시료(12)에 의해 점유된 평면에 대해 직교하게 취해진다. 즉, 탐침(20)-시료(12) 상호작용은 시료(12)(이미징되는 픽셀) 위에 탐침(20)과 그 위에 높이의 xy위치 모두에 따른다.

[0031] 도1에 도시된 장치의 운영을 고려하기 전에, 상호작용 뒤에 물리적 현상과 측정 그리고 그에 따른 탐침 검출 메카니즘(24)의 기능을 설명한다. SCM은 생물학적 표본을 함유하는 다수의 시료 타입을 이미지하는데 사용된다. 정전용량의 발전과 측정은 반도체 이미징과 관련하여 매우 쉽게 이해될 것이다. 금속 탐침이 반도체 물질과 접촉하게 전해지게 되면, 2개 밴드구조(band structure) 내의 동일한 페르미 에너지가 경계부를 횡단하여 발생된 전기적 포텐셜 강하를 초래한다. 이러한 강하(drop)는 경계 영역에서 전하 캐리어(charge carriers)를 스위프(sweep)하여, 공핍 층(depletion layer)이 형성된다. 이러한 현상은 잘 알려져 있으며, 쇼티키 배리어(Schottky barrier) 다이오드 이면에 기본층이다. 공핍 층(또는 쇼티키 배리어)을 횡단하는 정전용량은 SCM에 의해 반도체에서 측정된다.

[0032] 생물학적 물질의 밴드구조(및 그에 따른 유효한 도핑)는 반도체의 구조보다 상당히 더 복잡하며, 그리고 일반적으로 상술된 공핍 층 이론이 맞지 않는다. 쌍극자의 재방위(reorientation)(또는 유도)는, 계면(interface)에서 정전용량을 초래하는 생물학적 표본에서의 메카니즘이라고 할 수 있다. 그런데 실질적인 메카니즘을 고려하지 않고도, 상기 사실은 정전용량이 탐침-시료 계면에서 발생하고 그리고 이러한 사실은 SCM에 의해 반도체 물질용과 동일한 방식으로 검출 및 측정될 수 있는 것이다.

[0033] 도2는 본 발명의 SCM 실시예에 사용되는 탐침 검출 메카니즘(24)을 나타낸다. 메카니즘(24)은 전압제어 오실레이터(40), 커플식 전달 라인 공진기(42), 증폭기(44), 피크 전압 검출기(46) 및, 변조신호 발생기(48)를 포함한다. 변조신호 발생기(48)는 DC-편의 AC정현파 전압을 탐침(20)에 인가한다. 시료(12) 자신이 평판(14)에 의해 접지되어, 탐침(20)과 시료(12) 사이에 계면을 횡단하여 변조 전압을 효과적으로 인가한다. 이러한 전압은 반도체의 공핍 층 폭과 그에 따른 배리어의 정전용량을 변조한다. 생물학적 시료에서, 변조 전압은, 유전체 상수

의 변조를 적절하게 통하여, 정전용량에 유사한 변조효과를 제공한다. 계면 정전용량을 측정하기 위해서, 진동 동작 단계는 오실레이터(40)에 의해 공진기(48) 회로에서 여자(excite)된다. 이러한 장(field)의 공진 주파수는 회로상의 부하(load)(여기서는 탐침과 시료를 통한 전기적 통로)에 따른다. 공진 신호는 공진기(48) 내에서 검출되며, 피크 검출기(46)를 지나가기 전에 증폭기(44)에 의해 증폭된다. 계면(그리고 그에 따른 회로상의 부하)에 정전용량의 변화는 피크 검출기(46)에 의한 검출로 공진 피크 주파수의 이동에 반영된다. 정전용량 변동을 일으키는 변조신호가 알려져 있으므로, 피크 위치에서의 변화의 판단이 변조 주파수에서 계면 정전용량의 전압 도함수(dC/dV)를 결정하게 한다.

[0034] 장치(10)를 사용하여 이미지를 취하는 도1을 다시 참고로 하여 보면, 시료(12)가 거친 구동수단(18)을 사용하여 탐침(20)의 근처로 먼저 전해진다. 탐침 검출 메카니즘(24)이 탐침(20)-시료(12) 상호작용으로 발생하는 정전용량을 측정하는 동안에, 정밀한 높이와 초기 개시위치의 조정이 제1압전기(16) 드라이버로 행해진다. 일단 측정된 정전용량이 소망 수준에 이르면, 시료(12) 면의 래스터 주사를 시작한다. 시료(12)위에 탐침(20)을 주사하는 과정에서, 제1압전기(16)는 y방향(도1에 도시된 관점에서 페이지쪽으로는 방향)으로의 동작을 제어한다. 제2압전기(22)는 xz평면(예, 도면의 평면)에서 z축을 중심으로 탐침(20)의 준-공진 진동을 하게 한다. 탐침 진동은 수 미크론 정도의 상당히 큰 진폭을 가진다. 주사를 하는 과정에서, 리딩(readings)은 탐침(20)과 시료(12)사이에 발생된 정전용량의 탐침 검출 메카니즘(24)으로 연속적으로 취하게 된다.

[0035] 연속성 주사라인은 탐침(20)의 진동으로 수집된다. 따라서, 각각의 라인은 진동 진폭의 2배와 동일한 길이를 가지며, 이러한 길이는 이미지의 최대 폭에 대응하는 길이이다. 물론, 이미지의 최대 길이는 시료(12)가 제1압전기(16)에 의해 y방향으로 평행이동 되는 거리로 정해진다. 진동 준-공진은 근사-최대 주사 폭의 포텐셜을 제공하여 일정한 구동힘이 얻어진다. 이러한 수단에 의해, 이미지 구역으로부터의 데이터가 종래기술의 SCM 또는 임의적인 SFM(scanning force microscope)에 의해 달성되는 것보다 상당히 빠른 속도로 수집된다. 최대 주사 폭은, 탐침이 공진으로 진동된다면, SCM에서 명료하게 달성될 수 있는 폭이다.

[0036] 피드백 메카니즘(26)은 거의 일정한 탐침(20)-시료(12) 상호작용의 평균 정전용량(많은 진동 주기의 평균)를 유지하게 배치된다. 피크 검출기(46)(도2)의 출력은 상기 목적을 위해 피드백 메카니즘에 공급된다. 따라서, 만일 임의 주사 지점에서, 감소된 평균 정전용량이 관측되면, 탐침(20)-시료(12) 상호작용이 감소되어져 있고 따라서, 분리 거리가 증가되어져 있음을 나타내는 것이다. 따라서, 피드백 메카니즘(26)은, 탐침(20) 쪽으로 시료(12)와 평판(14)이 움직이도록 제1압전기 변환기(16)를 구동하게 배치된다. 역으로, 대형 정전용량 신호는 탐침(20)-시료(12) 분리부의 감소를 나타내고 그리고 이때 시료(12)는 하강한다. 실질적으로, 평균 정전용량은 그 설정값 근처에서 변화할 것이다. 이러한 변화는 다음과 같은 다수의 분담 계수(contributory factors): 높이 조정이 지나쳐, 피드백 루프의 시간상수가 탐침의 진동주기 보다 더 크게되고 그리고 유한길이의 시간이 상호작용에서의 변화로 조정하도록 탐침이 취하는 유한길이의 시간(확정 시간)보다 더 크게 되는 사실을 가진다. 탐침 진동의 주기보다 짧은 시간 척도에 정전용량에서의 임의 변화가 이미지를 구성한다.

[0037] 또한, 탐침 진동의 주기보다 더 길게 되어야만 하는 피드백 루프의 시간 상수와 탐침의 반응시간이 전체 주사를 완성하는데 걸리는 시간보다 더 짧게 되어야 한다는 사실은 중요하다.

[0038] 탐침 검출 메카니즘(24)(피크 검출기(46))에서 나오는 출력신호는 프로세서와 디스플레이(28)로 피드백 메카니즘(26)을 경유하여 공급된다. 디지털 데이터 처리를 이루기 위해서, 수집된 주사라인이 프로세서에 의해 인위적인 픽셀로 된다.

[0039] 물론, 물리적 탐침-시료 주사에 의해 커버된 전체 구역에 있는 이미지 데이터를 수집하거나 그를 처리하는 어느 하나의 공정이 필요하지 않다. 일부 적용에서는, 양호하게 탐침의 진동 흔들림 중에서 보다 선형인 부분에서 수집된 데이터만을 처리한다. 단순하게, 물리적 주사구역은 일 주사 사이클에 이미지되는 최대 구역을 형성한다.

[0040] 주사의 속도를 최대로 하기 위해서, 각각의 주사라인은 탐침의 반(half)-진동에 대하여 수집된다. 분명히, 동일한 라인의 다중 반사를 위해 제공하도록 압전기 드라이버(16,22)를 스텝핑하여 정지시키는 동작이 탐침을 울려 소리나게 유도할 수 있더라도, 더 나은 좋은 이미지는 각각의 라인에서 다중 진동으로 구할 수 있을 것이다. 이러한 사실은 또한, 명확하게, 전체 주사 속도도 감소할 것이다. 그런데, 시료 압전기 변환기(16)의 속도는 진동 사이클에 대하여 약1Å로 낮게 시료가 이동하도록 설정된다. 이러한 속도에서는, 처리 이미지에 각 라인이 말하자면 5개 진동 라인의 평균이 되도록 함께 연속 라인을 더하여 적분과 유사하게 이행할 수 있다. 이러한 "적분"에 의해 구해진 노이즈 비율에 대한 신호의 증가가 일부 환경에서는 분해능(resolution)의 상실을 보상한다.

- [0041] 본 발명의 실시예가 y방향으로의 선형동작을 제공하는 압전기(16)를 탑재한 것일지라도, 명확하게, 많은 다른 주사 기하형상이 사용될 수 있는 것이다. 구역을 이미징할 때에 유일한 요건은, 시료(또는 등가의 탐침) 병진 이동과 탐침(또는 등가의 시료) 진동을 통합하여 이미징되는 구역을 커버하는 것이다. 따라서, 상기 시료는 탐침이 진동되는 동안에 회전되어, 중앙 지점을 통해 지나가는 원형의 주사라인열을 포함하는 주사로 이루어진다. 다르게는, 탐침을 2개 수직방향으로 진동하도록 설정한다. 다음, 만일 진동이 양방향으로 함께 구동되면, 8과 같은 모양의 비-선형 진동을 초래할 것이다. 만일, 8모양 진동 축이 회전하면, 탐침 운동은 중앙 지점을 통해 지나가는 일련의 8모양체에 주사 구역을 커버할 것이다.
- [0042] SCM은 반도체 디바이스 내에 캐리어 프로필을 결정하는데 매우 유용하다. dC/dV 의 진폭(눈금 측정 시)은 국소 캐리어 집중을 판단하는데 사용되며, 그 사인은 캐리어의 타입을 제공한다. 본 발명에 의해 제공된 빠른 주사의 잇점은 특히 실시간에서 반도체 디바이스 내에서 발생하는 공정을 모니터 하는데 SCM기술이 사용될 수 있는 것이다.
- [0043] 광학 SPM기술을 사용하는 시료 면을 이미지 하도록 공진으로 진동하는 탐침의 사용은 WO 02/063368호 공보에 기술되어 있다. 상기 공보에 기술된 일 예는 상기 표면 위에 높이를 유지하도록 탐침의 진동 진폭을 모니터링하는 것이다. 탐침이 시료 근처로 전해짐으로서, 탐침과 시료 사이에 분리 또는 상호작용이 다수의 다른 방식으로 측정된다. 도1에 설명된 본 발명의 실시예와 관련하여 기술된 바와 같이, 정전용량의 발생은 전기적 상호작용으로부터 초래된다. 다른 상호작용에는 소위 "전단력" 감쇠 메카니즘이 있다. 만일, 수직적으로 장착된 탐침이 그 공진 주파수에 가까운 주파수로 시료 면에 대해서 수평적으로 진동하게 되면, 표면-탐침 상호작용이 진동 진폭을 둔화시키는 역할을 한다. 주위 상황 하에서, 감쇠 메카니즘은 일반적으로 시료 면에 물 형성 층(confined water layer)으로 인해서 되는 것으로 생각하지만, 다른 감쇠동작 상호작용도 실행할 수 있다. 표면이 탐침에 의해 접근됨으로서, 감쇠가 증가하고 따라서, 진동 진폭이 감소된다.
- [0044] 따라서, 도1에 도시된 본 발명의 실시예에 대한 선택은, 탐침 검출 메카니즘(24)이 이전과 같이, 주사 라인을 수집하여 탐침의 진동 진폭을 모니터링하고, 공진기(42)와 전압 변조기(48)를 사용하는 접촉 정전용량을 측정하게 한다. 탐침 진동 진폭은 예를 들어 광 빔에 탐침 팁의 진동 섀도우(shadow)의 광전지 측정으로 다수의 공지된 수단에 의해 모니터링 된다. 다음, 시료(12)와 탐침(20) 사이에 상대적인 분리부를 진동 진폭으로부터의 피드백의 기층(basic)에서 유지한다. 만일 평균(주사 라인의 수를 초과) 진폭이 설정 값 밑으로 떨어지면, 시료(12)는 탐침(20)으로부터 떨어지게 이동되어야 하며 그리고, 만일 설정 값 위로 상승하면 시료(12)와 탐침(20)이 함께 더욱 근접하게 이동되어야 한다. 본 발명의 이러한 실시예는, 주사 라인을 수집하여 시료 위에 높이가 유지되게, 2-폴드 탐침 공진 진동을 사용한다. 동시에 정전용량 이미지는 시료(12)를 취한다.
- [0045] 본 발명의 이러한 실시예에서, 탐침은 주사 폭을 최대로 하는, 공지에서 보다 나은 진동식 준-공진(near-resonance)을 한다. 이러한 사실은, 더 큰 반응이 공진 오프(off) 시에 공진 피크 위치의 이동에 대해 진폭을 변화하는 방식에 의해 있기 때문이다. 탐침-시료 상호작용에서의 임의적인 변화 표시부를 제공하기 위한 이러한 실시예에서 측정된 진폭의 이러한 변화로, 진동 준-공진이 신호 대 노이즈 비율을 효과적으로 향상시킨다.
- [0046] 2개의 다른 파라미터를 사용하여, 즉, 탐침-시료 상호작용을 측정하는 제1파라미터와 그 분리를 모니터링하는 제2파라미터를 사용하여, 상호작용 이미지를 상대적이기보다는 "절대적"이미지로 한다. 즉, SCM의 이러한 실시예에서는, 정전용량 이미지가 절대값으로 형성된다. 평균 정전용량 측정치가 분리부를 제어하는데 사용된 이전 실시예에서는, 구해진 정전용량 이미지가 이러한 평균값으로부터의 변형 맵이다.
- [0047] 도1에 도시된 일반적인 탐침 검출 메카니즘(24)은, 이미지를 받게 되는 탐침-시료 상호작용의 특성(specifics)에 따르며 다수의 다른 측정 공구를 포함할 수 있다.
- [0048] 도3은 본 발명에 따르는 SPM의 다른 실시예를 나타낸 도면이다. 이 실시예는 그 하나가 탐침-시료 분리는 일 파라미터를 모니터링하여 제어되며, 상호작용은 다른 하나를 사용하여 측정된다. AFM(Atomic Force Microscope)에 기본하고, 단일 파라미터에 이미지와 피드백을 기본으로 한 적용이 당 기술분야의 기술인에게는 용이하게 이해될 것이다.
- [0049] 생물학적 시료의 이미징용으로 적절한 종래기술의 AFM은 토시오 안도(Toshio Ando) 등의 2001년 Proc.Nat.Acad.Sci. USA98(22) p12 468-12 472 "생물학적 고분자 연구를 위한 고속도 AFM"에 기술되어 있으며, 이러한 장비는 공진 이미지 주사에 사용하기에 적합한 것이다. AFM과 SCM사이에 중요한 차이(본 발명의 목적)는, 전자는 일반적으로 탐침으로서 일체화된 작동기를 가진 소형 외팔보를 사용하고 그리고 이러한 외팔보의 굽힘동작이 상호작용 세기를 나타내는 표시를 제공하는데 사용되는 것이다.

- [0050] 도3은 AFM현미경(50)을 설명하며, 도1의 SCM에 대한 공통성분이 참고로 도시되었다. AFM현미경(50)은, 시료(12)를 수용하는데 이용되며 튜닝 포크(52)의 한 지류(prong)에 장착된 평판(14)을 포함한다. 튜닝 포크(52)는 압전기 변환기(16)와 거친 구동수단(18)에 접속된다. 압전기 변환기(16)는 도1과 관련하여 확립된 표시법을 사용하며, x,y,z방향으로의 3차원으로 시료(12)(평판(14)과 포크(52)와 함께)을 구동하는데 사용된다. 튜닝 포크 제어부(도시 않음)는 튜닝 포크(52)에 정현파 전압을 적용하도록 배치되어, xy평면 내에 공진 또는 준-공진 진동을 여자한다. 이러한 실시예에서는, 상호작용이 AFM외팔보 탐침(54)과 시료면 사이에서 발생된다. 2개 탐침 검출 메카니즘은, 상호작용 검출 메카니즘(56)과 편향 검출 메카니즘(58)을 제공한다. 상호작용 검출 메카니즘(56)은 탐침(20)과 시료(12) 사이에 상호작용을 나타내는 파라미터를 측정하는데 이용되어, 만일 이러한 파라미터가 정전용량이면 도1과 도2의 탐침 검출 메카니즘(24)과 동일한 것이다. 이러한 편향 검출 메카니즘(58)은, 탐침의 헤드의 변위와, 그에 따른 상호작용 세기도 나타내는 외팔보(52)의 굽힘동작을 측정하도록 배치된다. 피드백 메카니즘(26)은 편향 검출 메카니즘(58)으로부터 수신된 신호에 반응하여 압전기(16)를 구동하여 탐침(54)과 시료(12)의 상대적 높이를 제어하도록 배치된다. 상호작용 검출 메카니즘(56)에 의해 수집된 데이터는 분석되어 디스플레이(28)로 출력된다.
- [0051] 장치(50)를 사용하는 이미지 포획동작에서는 시료(12)가 거친 구동수단(18)을 사용하여 외팔보 탐침(54) 근처로 먼저 전해진다. 정밀한 높이와 초기 개시 위치 조정은 압전기 드라이버(16)로 이루어지는 반면에, 편향 검출 메카니즘(58)은 탐침(54)-시료(12) 상호작용의 결과로 외팔보의 굽힘동작을 측정한다. 일단 측정된 굽힘이 소망 수준에 도달되면, 시료 면은 탐침(54) 밑에서 주사 된다. 탐침(54) 밑에 시료(12)를 주사하는 동작에서, 튜닝 포크(52)는 도면(y축)의 평면 안밖으로 진동하도록 설정된다. 이것은 시료가 그 위에 장착된 스테이지를 진동한다. 동시에, 압전기(16)는 수직(x)방향으로 시료(12)를 병진이동 한다. 시료 진동은 수 마이크론 정도의 상대적으로 큰 진폭을 가진 것이다. 주사를 하면서, 리딩(reading)이 상호작용(56)과 편향(58) 검출 메카니즘에 의해 지속적으로 취해진다.
- [0052] 전술한 바와 같이, 시료(12)가 탐침(54)보다 나올지라도, 래스터 주사의 일 성분을 촉진하는데 공진 진동을 사용하여, 이미지 구역으로부터의 데이터가 종래기술의 SFM으로 달성될 수 있는 속도보다 상당히 더 빠른 속도로 수집된다.
- [0053] 피드백 메카니즘(26)은, 예상할 수 있는 바와 같이, 시료(12)를 상승 또는 하강하여 거의 일정하게 평균 외팔보 굽힘(많은 시료 진동의 주기 전체의 평균)을 유지하도록 설정된다. 상호작용 검출 메카니즘(56)으로부터의 출력신호는 프로세서와 디스플레이(28)로 직접 공급된다. 디지털 데이터를 처리하기 위해서, 수집된 주사 라인은 프로세서에 의해 인위적인 픽셀로 된다.
- [0054] 튜닝 포크(54)는 다수의 상용적인 포크 또는 예약된 설계 중의 어느 하나로 이루어지며 소망 주파수의 진동을 제공한다. 적절한 예로는 32kHz의 공진 주파수를 가진 수정결정 포크(quartz crystal fork)가 있다. 튜닝 포크는 이것이 높은 비등방성 기구적 성질을 갖게 설계되어 이러한 적용에 매우 적합한 것이다. 따라서, 그 공진은 독립적이며, 개별적으로 여자되고, 그래서 시료의 평면에서만 제한을 받게된다. 중요하게는, 포크(54)가, 모드 사이에서 커플링이 발생하지 않고, 일 방향으로만 공진되어 다른 하나에 주사되는 것이다. 따라서, 탐침(54)에 의한 심문(interrogate)으로 시료(12)의 안정적인 빠른 동작을 허용한다.
- [0055] 임의 적용에서, 도3에 도시된 본 발명의 실시예는 도1에 도시된 것을 능가하는 여러 잇점을 가진다. 편향 검출 메카니즘(58)은 AFM사용 기술에서 표준적인 타입의 것이다. 여기서, 외팔보 굽힘은 탐침에서 편향된 레이저 빛을 사용하여 측정된다. 탐침을 대신하여 시료를 공진하여, 이러한 편향 측정 광(optics)이 주사 탐침을 보충할 필요가 없다. 이러한 사실은 편향 데이터의 추출을 간단하게 하고 그리고, 메카니즘이 고정 케이싱 내에 적재되게 한다.
- [0056] 다르게는 도3에 도시된 실시예는, 분리 상호작용 검출 메카니즘(56)이 이미지 데이터와 피드백 모두를 제공하도록 사용된 편향 검출 메카니즘(58)에 분배되어 출력하는 것이다. 이러한 탐침 검출 메카니즘은 종래기술의 AFM에서 사용된 것과 같은 전통적인 일 메카니즘이다.
- [0057] 다른 실시예에서는, 탐침(20), 시료(12), 평판(14) 및 튜닝 포크(52)가 유체에 담그어진다. 이상적으로, 외팔보 탐침(20)은 낮은 품질(quality)(Q) 계수를 가지지만, 가장 상용적으로 활용할 수 있는 AFM외팔보(예를 들어 Si 단일결정)는 사실상 높은 Q계수를 가지는 것이다. 만일 외팔보가 높은 Q계수를 가지면, 변화에 반응하는 긴 시간을 취할 것이며 정현파가 주어지면 그 공진 주파수로 소리를 울릴 것이다. 외팔보의 맞춤 설계(bespoke designs)는 낮은 Q계수를 가지지만 선택적 루트(alternative route)는 액체에 담그어져 Q를 감쇠(damp)하도록

간단하게 된다.

- [0058] 또한, 여기에는 AFM을 운영하는 많은 포텐셜 모드가 있으며, 그 하나가 본 발명을 실행하는데 채택된 것이다. 접촉 모드에서, 탐침은 시료와의 접촉 상태를 영구 유지한다. 외팔보의 굽힘을 측정하며, 피드백은 그 평균값에 기본 한다. 탭핑 모드에서, 작동기는 그 공진 주파수로 "탭핑" 동작의 외팔보를 구동 한다. 따라서, 외팔보는 그 진동(탭핑)주기의 극소수 부분의 면과 접촉한다. 이러한 매우 짧은 접촉시간은, 시료 상의 측방향 힘이 매우 많이 감소하고 따라서 탐침이 주사를 취함으로서 표본에 거의 해로움이 없음을 의미한다. 결과적으로, 민감한 생물학적 표본을 이미지하는데 많이 사용하게 된다. 단속적 접촉 모드에서는, 외팔보가 공진 없이 수직적으로 진동한다. 다음, 이러한 진동 또는 외팔보 굽힘동작 또는 그 양쪽의 진폭이 측정되며, 이들 2개 파라미터를 임의적으로 조합하여 이미지를 생성하고 다시 공급된다. 이러한 단속적인 접촉은 측방향 힘을 감소하지만 외팔보의 Q계수가 높으면 공진 시에 작업과 상관된 긴 응답시간이 피해진다.
- [0059] 시료 주사동작에서, AFM의 탐침은 시료 면과 접촉을 이룬다. 시료가 섬약하다면, 이러한 사실이 불리한 것일지라도, 표면과의 상호작용은 표면의 성질에 영향을 미치어, 의도적으로 시료에 정보를 "라이트(write)"할 수 있게 만든다. 이러한 기술은 나노리소그래피로 알려져 있다. 예를 들면, 진도성 외팔보에 진압을 인가하여, 시료 웨이퍼의 금속층 영역을 산화시킨다. 2광자 흡수와 포토레지스트의 중합을 이용하는 다른 예는 자이아보 인(Xiaobo Yin) 등의 2002년 Appl.Phys.Lett.81(19)3663에서 "무창(apertureless) 광학 탐침을 사용한 준-필드 2-광자 나노리소그래피"에 기술되어 있다. 양쪽 예에서, 극히 작은 크기의 탐침은 극히 높은 밀도로 정보가 라이트되게 한다.
- [0060] 본 발명의 AFM은 나노리소그래피에 사용하기에도 적합한 것이다. 이것은 탐침의 안정적 공진 진동의 사용을 만 들어서 이전에 달성된 것보다 더 빠른 라이팅(writing) 시간에 적합한 포텐셜을 제안한 것일 뿐만 아니라, 또한 라이트 밀도와 같은 증가된 이미지 분해능의 포텐셜을 제안한 것이기도 하다. 본 발명의 AFM실시예의 이미지 분해능은, 상호작용 길이에 의해서 보다는 고정밀도의 인접 지점으로 접근하는 능력에 의한 것과 같이 현미경의 안정성에 의해 제한되지 않는다. 이러한 사실은 리소그래피 공구와 같이 종래기술의 리소그래피 시스템에 의해 달성된 50-100nm보다 상당히 더 큰 라이트-분해능(write-resolution)을 달성하는 포텐셜을 가진다는 것을 의미한다.
- [0061] 주사 탐침 현미경의 기술분야의 기술인은 많은 다양한 상호작용 파라미터, 피드백 파라미터, 주사 동작 및 탐침 설계가 본 발명에 따라서 실시되는 것을 이해할 수 있을 것이다. 예를 들어, 도1에 도시된 장치에 사용된 국소 탐침(20)은 AFM에 사용하기에 적합하게 채택된 외팔보 탐침과 검출 메카니즘(24)용으로 교환될 수 있다. 본 발명의 이러한 실시예에서는 2개 공진 모드가 이용된다. 탭핑 모드에 사용에서, 탭핑은 외팔보의 공진 주파수 근처 또는 공진 주파수로 구동된다. 다른 한 편에서는, 본 발명에 따르는 주사 진동이, 탐침의 진동 시에 외팔보/작동기 조립체의 공진 주파수로 또는 시료의 공진 주파수로 구동 된다. 어느 한 경우에서, 조립체 또는 시료는 보다 많은 덩어리(massive)이고 그리고 이것은 진동 주파수가 탭핑 주파수보다 낮게 보장한다. 따라서, 필연적으로, 다수의 접점이 각각의 주사라인 내에서 시료로 된다. 탐침 편향은 탐침상의 압전기 코팅부를 경유하여 모니터 된다.
- [0062] 다른 변경에서, 탐침 검출 메카니즘(24)이 SCM의 실시예와 관련하여 상술된 바와 같이 공진 진동 진폭을 모니터 하고 측정하는데 채택된다. 탐침-시료 상호작용의 표시기로서 정전용량 측정치를 추출하는 대신에, 감쇠된 진동 조화를 분석하여 이미지를 형성하도록 재구성된다. 이러한 실시는 공진(또는 준 공진) 탐침 또는 시료 진동의 3-폴드(fold) 사용: 첫째, 종래기술 시스템에서 공지된 것보다 빠른 주사를 제공하고, 둘째로 탐침-시료 상호작용을 측정하기 위한 기층을 제공하고 그리고, 셋째 높이를 유지하여 행해진다.
- [0063] 다른 변경은 피드백에 의해 공진 진동 진폭을 다시 제어하는 것이지만, 이러한 실시예에서는, 탐침이 표면에 대해 더 이상 수직적이 않도록 기울어진다. 틸트 탐침(또는 평면 시료가 각 주사라인을 수집하도록 공진부에서 진동되고, 제2검출 시스템은 틸트의 각도에 대해 수직적인 탐침의 동작을 검출하도록 설정된다. 이러한 방식에서는, 높이 제어가 주 진동에 의한 것인 반면에, 상기 이미지는 틸트에 대해 수직인 탐침 동작에서 소 편향으로 형성된다.
- [0064] 다른 변경은 시료 자체를 가진 탐침 상호작용에서의 변화를 검출하도록 탐침(20,54)과 검출 메카니즘(24,56,58) 모두를 채택하는 것이다. 이러한 목적으로, 탐침은, 탐침 또는 시료가 공진 주사되어 그곳에 유도된 전류를 측정하는데 채택된 유도 루프와 검출 메카니즘의 형태로 있다. 다르게는, 검출 메카니즘이 유도 루프의 저항에서의 변화를 측정한다. 이러한 변경은 공진 진동동작 탐침에 하드 디스크 헤드에서 발생하는 것과 유사하게, 거대한 자기 저항을 사용하게 한다. 또 다른 가능성은 금속 탐침을 사용하는 것이며, 이때 맴돌이 전류는 탐침의

조화 진동에 저항하는 힘을 제공할 것이고 그리고 결과 부조화 성분(resulting anharmonic components)이 다시 사용되어 이미지를 형성할 것이다.

[0065] 당 분야의 기술인은 탐침-시료 상호작용 정보를 적출하기 위해 활용할 수 있는 많은 기술이 있으며, 본 발명에 따르는 시료의 빠르고, 공진 레스터 주사의 실시를 견비할 수 있음을 이해할 수 있을 것이다.

도면의 간단한 설명

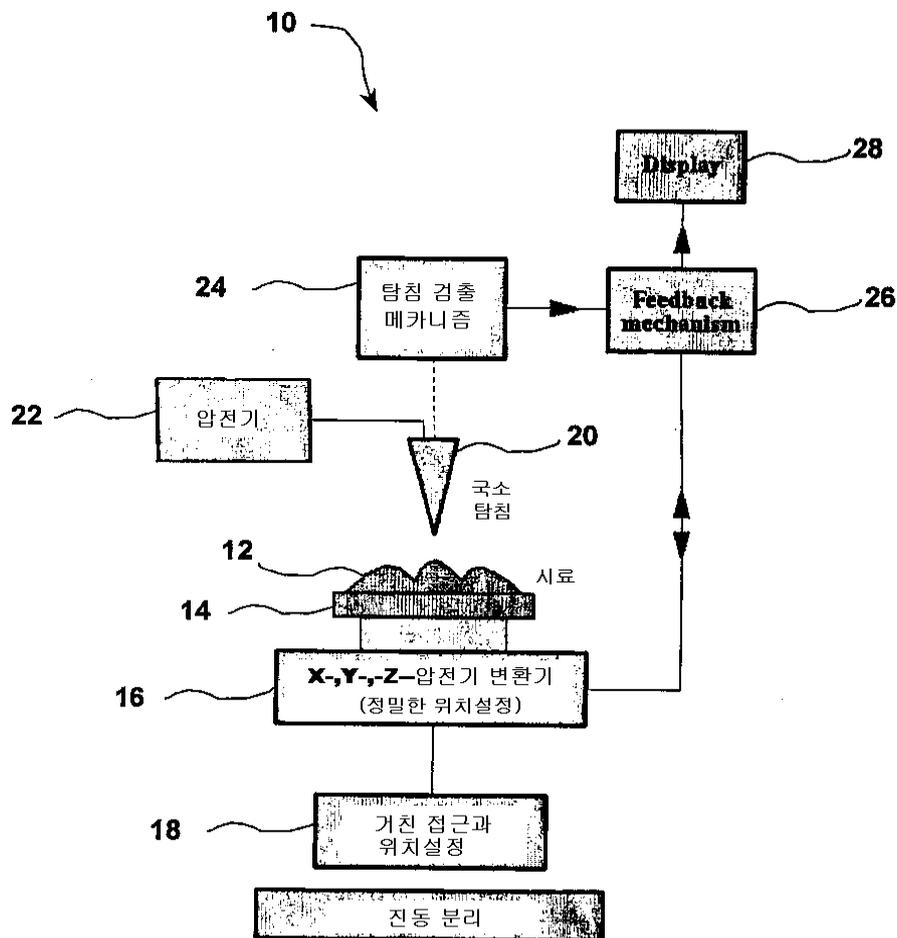
[0026] 도1은 주사 커패시턴스 현미경에서 본 발명의 실시를 개략적으로 나타낸 도면이다.

[0027] 도2는 도1의 현미경에 사용하기에 적절한 탐침 검출 메카니즘을 개략적으로 나타낸 도면이다.

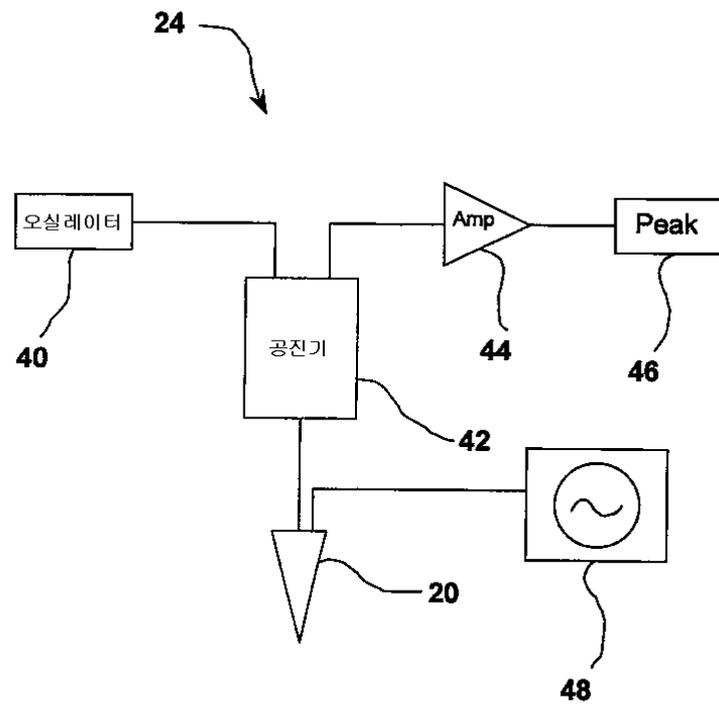
[0028] 도3은 AFM(atomic force microscope)에 기본적인, 본 발명의 다른 실시예를 개략적으로 설명하는 도면이다.

도면

도면1



도면2



도면3

