

(19)日本国特許庁(JP)

(12)公表特許公報(A)

(11)公表番号

特表2024-546629

(P2024-546629A)

(43)公表日 令和6年12月26日(2024.12.26)

(51)国際特許分類

G 0 1 Q 60/24 (2010.01)

F I

G 0 1 Q 60/24

審査請求 未請求 予備審査請求 未請求 (全22頁)

(21)出願番号 特願2024-532950(P2024-532950)
 (86)(22)出願日 令和4年12月23日(2022.12.23)
 (85)翻訳文提出日 令和6年5月31日(2024.5.31)
 (86)国際出願番号 PCT/NL2022/050755
 (87)国際公開番号 WO2023/121463
 (87)国際公開日 令和5年6月29日(2023.6.29)
 (31)優先権主張番号 2030290
 (32)優先日 令和3年12月24日(2021.12.24)
 (33)優先権主張国・地域又は機関
 オランダ(NL)
 (81)指定国・地域 AP(BW,GH,GM,KE,LR,LS,MW,MZ,NA
 ,RW,SD,SL,ST,SZ,TZ,UG,ZM,ZW),EA(
 AM,AZ,BY,KG,KZ,RU,TJ,TM),EP(AL,A
 T,BE,BG,CH,CY,CZ,DE,DK,EE,ES,FI,FR
 ,GB,GR,HR,HU,IE,IS,IT,LT,LU,LV,MC,
 最終頁に続く

(71)出願人 523185187
 ニアフィールド インストゥルメンツ ビ
 ー・ブイ .
 オランダ国, 3 0 4 7 エーティー ロッ
 テルダム ヴァレーゼウエグ 5
 (74)代理人 110002871
 弁理士法人坂本国際特許商標事務所
 (72)発明者 ヴァン デ ラール、ジェイコブ
 オランダ国, 3 0 4 7 エーティー ロッ
 テルダム ヴァレーゼウエグ 5 シーオー
 サデギアン マルナニ、ハメド
 オランダ国, 3 0 4 7 エーティー ロッ
 テルダム ヴァレーゼウエグ 5 シーオー
 カリーニン、アーセニー
 オランダ国, 3 0 4 7 エーティー ロッ
 最終頁に続く

(54)【発明の名称】 原子間力顕微鏡 (A F M) 装置及びその操作方法

(57)【要約】

原子間力顕微鏡 (A F M) 装置及びその操作方法

サンプル9を走査するための少なくとも1つの走査ヘッドを含む、原子間力顕微鏡 (A F M) 装置1が開示される。カンチレバー撓み検出部30は、走査中に走査ヘッドに対するプローブの撓みdを測定し、測定した撓みを示す出力信号を供給する。A F M装置のコントローラ40は、プローブの撓みを測定するためにカンチレバー撓み検出部からの出力信号を受信して分析し、現在走査されているサンプルの位置近傍のサンプル特性に関する情報に応じて、走査中に1つ又は複数の撮像パラメータを自動的に調整する。サンプル特性に関する情報は、サンプルの仕様からの情報、サンプルを製造するためのレシピのうちの1つ又は複数を含む。

【選択図】図2

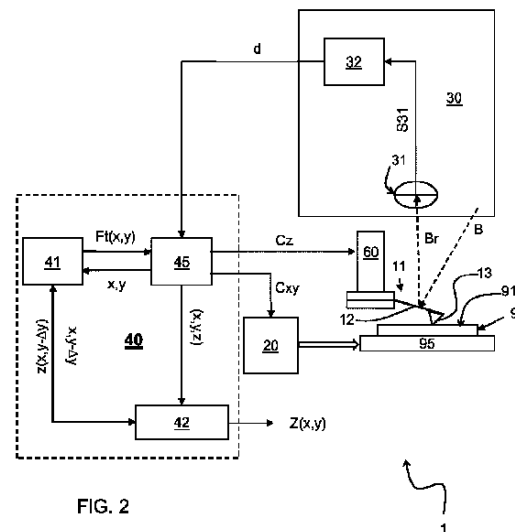


FIG. 2

【特許請求の範囲】

【請求項 1】

先端部を有するプローブで、第 1 の横方向の現在の走査線に沿ってサンプルの表面を走査するステップと、

前記先端部と前記サンプルとの相互作用を測定するステップと、

サンプルに関する情報に基づいて、前記走査中に、1 つ又は複数の撮像パラメータを調整するステップと、を含む、原子間力顕微鏡 (A F M) 装置の操作方法であって、

前記サンプルに関する情報は、前記走査の前に取得されたサンプルに関する情報を含み、

前記走査の前に取得された前記情報に基づいて前記走査中に調整される前記 1 つ又は複数の撮像パラメータは、力閾値を含み、

現在の走査位置の領域からの情報が、現在の走査点が相対的に深くて狭い凹部内又は急峻な壁部に近い底部にあると予想されることを示す場合には、相対的に高い力閾値が選択され、

前記領域からの情報が、相対的に急峻で高い端部 / 壁部から離れた相対的に広い凹部又は広い平坦部を示す場合には、相対的に低い力閾値が選択されることを特徴とする方法。

【請求項 2】

前記サンプルに関する情報は、前記現在の走査線と実質的に平行な方向の以前の走査線による走査から取得された情報をさらに含む、請求項 1 に記載の方法。

【請求項 3】

調整される前記 1 つ又は複数の撮像パラメータは、ベースラインオフセットをさらに含む、請求項 1 又は 2 に記載の方法。

【請求項 4】

調整される前記 1 つ又は複数の撮像パラメータは、接近プロファイルをさらに含む、請求項 1、2 又は 3 に記載の方法。

【請求項 5】

調整される前記 1 つ又は複数の撮像パラメータは、後退プロファイルをさらに含む、請求項 1、2、3 又は 4 に記載の方法。

【請求項 6】

前記情報は、前記サンプルのおおよその形状、以前のラインのプロファイル、接着力、及び横方向変位センサが示す情報から選択される 1 つ又は複数の情報をさらに含む、請求項 1 ~ 5 のいずれかに記載の方法。

【請求項 7】

現在の走査線に沿った 1 つ又は複数の最近走査された位置について取得されたサンプルに関する情報に基づいて、1 つ又は複数の画像パラメータ設定を調整するステップをさらに含む、先行する請求項のいずれかに記載の方法。

【請求項 8】

前記プローブ、前記先端部、前記サンプルの 1 つ又は複数の音響信号を供給するステップと、

前記音響信号と前記サンプルとの相互作用に基づいて出力信号を分析するステップと、をさらに含む、先行する請求項のいずれかに記載の方法。

【請求項 9】

前記プローブの振動を誘発して、カンチレバー (1 2) の有効剛性を変化させるステップを含む、先行する請求項のいずれかに記載の方法。

【請求項 10】

前記先端部の変形を示す先端部変形信号を取得するステップと、

示された前記先端部の変形が所定の限度を超えた場合に前記力閾値を下げる、及び / 又は前記方法により取得された出力信号を処理し、前記先端部の変形によって生じるずれを補正するステップと、を含む、請求項 1 に記載の方法。

【請求項 11】

10

20

30

40

50

サンプル(9)を走査するための少なくとも1つの走査ヘッドを含み、前記走査ヘッドはプローブ(11)を含み、前記プローブはカンチレバー(12)と、前記カンチレバーに配置されたプローブ先端部(13)を含む、原子間力顕微鏡(AFM)装置(1)であって、

前記プローブ先端部で前記サンプルの表面(91)を走査するために、前記表面に平行な1つ又は複数の方向に、前記プローブ先端部と前記サンプルとを相対的に移動させるために前記少なくとも1つの走査ヘッド又は基板ホルダ(95)と協働する第1のアクチュエータ(20)と、

前記走査中に前記走査ヘッドに対する前記カンチレバー(12)の撓み(d)を測定し、前記撓みを示す出力信号を供給するように配置されたカンチレバー撓み検出部(30)と、

前記カンチレバー撓み検出部からの前記出力信号を受信して分析し、前記プローブの撓みを測定し、現在走査されている前記サンプルの位置近傍のサンプル特性に関する情報に応じて、前記走査中に1つ又は複数の撮像パラメータを自動的に調整するように構成されたコントローラ(40)と、をさらに含み、

前記サンプル特性に関する情報は、前記走査の前に取得されたサンプルに関する情報を含み、

前記走査の前に取得された前記情報に基づいて前記走査中に調整される前記1つ又は複数の撮像パラメータは、力閾値を含み、

現在の走査位置の領域からの情報が、現在の走査点が相対的に深くて狭い凹部内又は急峻な壁部に近い底部にあると予想されることを示す場合には、相対的に高い力閾値が選択され、

前記領域からの情報が、相対的に急峻で高い端部/壁部から離れた相対的に広い凹部又は広い平坦部を示す場合には、相対的に低い力閾値が選択されることを特徴とする原子間力顕微鏡装置。

【請求項12】

前記サンプル特性に関する情報は、現在の走査線と実質的に平行な方向の以前の走査線による走査から取得された情報をさらに含む、請求項11に記載の原子間力顕微鏡装置。

【請求項13】

前記コントローラは、第1の方向(x)に延びる後続の走査線に従って、前記第1のアクチュエータ(20)により前記プローブ先端部(13)と前記サンプル(9)とを相対的に移動するように構成され、

前記AFM装置は、現在の走査線を走査中に取得されたサンプルに関する情報を保存するメモリ(42)をさらに備え、

前記コントローラは、少なくとも後続の走査線に沿った走査位置に対応する前記現在の走査線の領域又は位置について前記メモリ(42)に保存されたサンプルに関する情報に基づいて、前記後続の走査線に沿った前記走査位置における前記1つ又は複数の撮像パラメータのそれぞれの値を決定する、請求項11又は12に記載の原子間力顕微鏡装置。

【請求項14】

前記プローブ、前記先端部、前記サンプルの1つ又は複数に音響信号を供給する音響信号発生部と、

前記音響信号と前記サンプルとの相互作用に基づいて出力信号を分析する信号分析モジュールと、をさらに含む、請求項11、12又は13に記載の原子間力顕微鏡装置。

【請求項15】

前記カンチレバーの有効剛性を高めるために前記プローブに振動を誘発する信号源を含む、請求項11~14のいずれかに記載の原子間力顕微鏡装置。

【請求項16】

前記先端部(13)の変形を示す先端部変形信号(S_{tdf})を供給する先端部変形センサ(15)を含み、

前記AFM装置は、示された前記先端部の変形が所定の限度を超えた場合に前記力閾値

を下げる、及び/又は前記装置により取得された出力信号を処理し、前記先端部の変形によって生じるずれを補正するように構成されている、請求項 11 ~ 15 のいずれかに記載の原子間力顕微鏡装置。

【発明の詳細な説明】

【技術分野】

【0001】

本発明は、原子間力顕微鏡 (Atomic Force Microscope : AFM) 装置に関する。本発明はさらに、AFM装置の操作方法に関する。

【背景技術】

【0002】

AFM装置は、例えば半導体産業において、(半完成)製品の表面トポグラフィを測定するために広く使用されている。AFM装置は、走査軌道に沿ってサンプルの表面を走査する先端部を有する走査ヘッドを備え、AFM装置の動作は、力閾値、ベースラインオフセット、接近プロファイル、後退プロファイル、走査速度などの様々な撮像パラメータによって決定される。

【0003】

半導体産業における実際の検査用サンプルは、通常、狭隘で高アスペクト比の特徴部を持つ3Dサンプルを含む。そのため、AFM装置によって表面トポグラフィを撮像すると、様々な原因により、サンプルの実際の表面トポグラフィとはずれが生じる可能性がある。例えば、先端部が相対的に狭い特徴部上に存在する場合、接触力が相対的に高いと、先端部が狭い特徴部の上端から滑り落ち、より低いレベル(高さ)へとスライドする可能性がある。その結果、横方向位置 x , y について撮像された表面トポグラフィに示される高さの値は、その横方向位置におけるサンプルの実際の高さよりも小さくなる。また、例えば、先端部がサンプルの狭くて相対的に深い凹部の横方向位置に存在する場合、ずれが生じる可能性があることが判明している。その一例として、先端部の直径よりも適度に大きい、つまり、先端部の直径の1倍より大きく、先端部の直径の10倍よりは小さい特徴的な横方向のサイズと、幅よりも実質的に大きい、例えば直径の2倍以上の深さを有する特徴部が挙げられる。このような特徴部は、例えば、その直径が特徴的な横方向のサイズである穴や、その幅が特徴的な横方向のサイズである溝である。この場合、先端部の接触力が、凹部の壁が先端部に及ぼす摩擦力を上回るのに十分ではなく、先端部が凹部内に十分に突出しないため、ずれが生じる可能性がある。この場合、横方向位置 x , y について撮像された表面トポグラフィに示される高さの値は、その横方向位置におけるサンプルの実際の高さよりも大きくなる。なお、一般に、先端部とカンチレバーの組み合わせの剛性が相対的に高ければ、このようなずれは小さくなる。先端部とカンチレバーの組み合わせの剛性は、カンチレバーの回転剛性と先端部の曲げ剛性によって決まる。また、その他の局所的なデバイス特性も、画像表面トポグラフィに影響を与える可能性がある。例えば、撮像された3Dサンプルの表面で実際には同じレベルにある特徴部あっても、相対的に硬い材料の特徴部は、相対的に柔らかい材料の特徴部よりも、撮像された表面トポグラフィにおいて高いレベルにあるように見えることがある。

【発明の概要】

【発明が解決しようとする課題】

【0004】

本開示の第1の目的は、狭隘で高アスペクト比の特徴部が存在する場合のずれや、表面硬度の差異に関連するずれなど、局所的なデバイスの特徴に依存する、撮像された表面トポグラフィにおける実際のデバイストポグラフィからのずれを軽減することにより、3Dサンプルのより正確な撮像を可能にするAFM装置の操作方法を提供することである。

【0005】

本開示の第2の目的は、局所的なデバイスの特徴に依存する、撮像された表面トポグラフィにおける実際のデバイストポグラフィからのずれを軽減することにより、3Dサンプルのより正確な撮像を可能にするAFM装置を提供することである。

10

20

30

40

50

【 0 0 0 6 】

第1の目的によれば、AFM装置の操作方法は、先端部を有するプローブで、第1の横方向の現在の走査線に沿ってサンプルの表面を走査するステップと、先端部とサンプルとの相互作用を測定するステップと、サンプルに関する事前情報に基づいて、走査中に、力閾値を含む1つ又は複数の撮像パラメータを調整するステップとを含む。サンプルに関する事前情報は、走査の前に取得されたサンプルに関する情報を含む。走査の前に取得されたサンプルに関する事前情報は、例えば、サンプルの仕様からの情報、及び/又はレシピ作成中に取得されたサンプルに関する情報を含んでもよい。サンプルの仕様は、サンプルの所望のトポグラフィと、その特徴部に使用された材料の特性を規定する。レシピ作成中に取得されたサンプルに関する情報は、実際のトポグラフィが設計されたトポグラフィから特定の態様でずれる傾向があることを示してもよい。レシピ作成中に取得された情報は、実際のトポグラフィを完全に記述するものではないが、実際のトポグラフィがどのようにずれるかを予測するのに役立つ。例えば、レシピ作成中に取得された情報は、端部の幅が当初規定された幅よりも平均して狭いことを示してもよい。サンプルに関する事前情報により、最適な設定でサンプルの表面要素を走査することが可能になるため、これらの設定で得られる出力信号は、横方向位置の関数として、表面の実際の高さをより正確に示す。走査の前に取得されたサンプルに関する情報は、先行するデバイス検査方法から取得された情報、例えば、サンプルの電子顕微鏡画像から取得された情報をさらにも含む。

10

【 0 0 0 7 】

力閾値は、先端部がサンプルに及ぼす力の上限である。

20

【 0 0 0 8 】

走査の前に取得されたサンプルに関する情報に基づいて、現在の走査位置の領域からの情報が、現在の走査点が相対的に深くて狭い凹部内又は急峻な壁部に近い底部にあると予想されることを示す場合には、相対的に高い力閾値が選択され、領域からの情報が、相対的に急峻で高い端部/壁部から離れた相対的に広い凹部又は広い平坦部を示す場合には、相対的に低い力閾値が選択される。

【 0 0 0 9 】

走査の前に取得されたサンプルに関する情報は、必ずしもサンプルの実際のトポロジーに正確に対応するとは限らないが、この情報により、実際のトポロジーをより正確に決定するために、力閾値を最適に設定することが可能になる。

30

【 0 0 1 0 】

例えば、低いレベルに近い高いレベルを持つ表面要素は、力閾値を相対的に低く設定することで、より正確に撮像される。これにより、先端部が低いレベルに向かって横滑りする危険性が軽減する。また、先端部がサンプル表面を損傷するリスクも軽減する。別の例として、サンプル表面の相対的に狭くて深い凹部は、力閾値を相対的に高く設定することで、より正確に撮像される。これにより、先端部にかかる力は、凹部の側壁が先端部に及ぼす力、例えば摩擦による力に、より容易に打ち勝つことができる。これにより、撮像された表面トポグラフィにおいて、凹部の深さがより正確に示される。

【 0 0 1 1 】

サンプルに関する情報は、現在の走査線と実質的に平行な方向の以前の走査線による走査から取得された情報をさらにも含む。

40

【 0 0 1 2 】

本発明は、特に、トリガベースの走査の実施形態に適している。ここで、走査は、各走査位置に対する走査サイクルを含み、次の段階を有する：(a)先端部をサンプル表面の横方向位置でサンプルに接近させる、(b)先端部をサンプルから後退させる、(c)先端部を新たな横方向位置に向けて移動させる。先端部とサンプルとの相互作用を示す相互作用データが、接近及び/又は後退中に取得される。

【 0 0 1 3 】

段階(a)におけるサンプルへの接近は、接近プロファイルによって決定される。調整

50

される撮像パラメータの例としては、サンプル表面に接近する前の初期高さとサンプルに接近する速度が挙げられる。

【0014】

サンプルの後退は、後退プロファイルによって決定される。調整される撮像パラメータの例としては、力閾値、変位閾値、後退距離、速度が挙げられる。例えば、先端部が及ぼす力が事前に規定された力閾値を超えると、サンプルからの先端部の後退が開始される。別の例としては、測定された深さが深さ閾値を超えると、後退が開始される。また、別の例としては、これらの条件のいずれかが発生すると、どちらが最初であろうと、すぐに後退が開始される、あるいは、両方の条件が満たされた時点で後退が開始される。後退段階に関連する別の撮像パラメータに後退距離がある。一例では、表面の接着力が相対的に高いと判断される場所では、後退距離が増加される。また、後退距離はその場の状況に応じて調整してもよい。つまり、所定距離の後退が完了する前であっても、カンチレバーの共鳴が十分に減少していることが検出された場合には、後退を中断し、再び表面に接近させてもよい。これにより、測定速度が向上する。

10

【0015】

動作中、カンチレバーは先端部とサンプル表面の間に作用する力によって撓む。また、静電気力により、カンチレバーの撓みは、サンプルから離れた場所でも発生する可能性がある。これによりバイアスが発生するが、このバイアスはベースラインオフセットを考慮することで補正できる。必要に応じて、ベースラインオフセットは測定サイクルごとに更新してもよい。

20

【0016】

なお、動作中に複数の撮像パラメータが調整されてもよい。例えば、ベースラインオフセットと力閾値の両方が、走査される横方向位置におけるサンプルの事前情報に応じて調整されてもよく、力閾値はベースラインオフセットに対して相対的に選択される。

【0017】

上記のように、サンプルに関する事前情報は、サンプルの仕様からの情報を含んでもよい。これには、デバイス設計データ及び/又はレシビデータが含まれてもよい。通常の場合では、測定されるサンプルのトポグラフィは、サンプルに関する事前情報、例えば、サンプルの仕様及び/又はレシビ作成中に取得された情報から導出されるトポグラフィによって近似されると仮定することができる。予想されるトポグラフィによって走査中に1つ又は複数の撮像パラメータを調整することにより、実際に走査された位置が所望の走査位置からわずかにずれたり、撮像される構造のトポグラフィが実際に当初設計されたトポグラフィからある程度ずれたりする可能性はあるものの、サンプル全体の撮像に一樣な設定を使用する場合と比較して大幅な改善が得られる。

30

【0018】

また、上記のように、サンプルに関する事前情報は、現在の走査線と実質的に平行な方向の以前の走査線による走査から取得された情報を含んでもよい。現在の走査線と以前の走査線が十分に近接していれば、現在の走査線のトポグラフィは以前の走査線のトポグラフィによって近似されるため、サンプル全体の撮像に一樣な設定を使用する場合と比較して、やはり大幅な改善が得られる。

40

【0019】

いくつかの実施例では、後続の走査線は実質的に平行である。つまり、この場合、後続の走査線は互いに距離 y の位置にある。動作中、走査線 y 、 $y + y$ 、 $y + 2y$... などに沿った x 方向へのプローブの移動によって、走査は進行する。あるいは、後続の走査線間の座標 y を段階的に増加させる代わりに、走査中に y を徐々に増加させてもよい。これにより、走査経路が三角形になる。

【0020】

なお、後続の走査線は互いに正確に平行である必要はない。

【0021】

いくつかの実施形態では、撮像パラメータは、サンプルに関する事前情報に基づいて、

50

以前の走査線から取得された事前情報から、走査中に調整される。これにより、さらなる改善が達成される。

【0022】

いくつかの実施形態では、サンプルに関する事前情報は、走査中に取得された情報と組み合わせて使用される。例えば、現在の走査線 y に沿った位置 x において、トポグラフィが以前の走査線 $y - \Delta y$ に沿った位置 x におけるトポグラフィから大きくずれているようである場合、このずれは、現在の走査線に沿った後続の位置 $x + \Delta x$ に対する設定の調整を準備する際に組み込まれてもよい。

【0023】

一実施形態は、プローブ、先端部、サンプルの1つ又は複数に音響信号を供給するステップと、音響信号とサンプルとの相互作用に基づいて出力信号を分析するステップとをさらに含む。出力信号はサンプルの表面下の特性を示す。これにより、例えばオーバーレイ及び/又はアライメント分析のために、トポグラフィ情報と表面下情報の両方を共通の測定で得ることができる。

【0024】

先端部がサンプルに及ぼす力は、カンチレバーの撓みとカンチレバーの剛性に比例する。一実施形態では、プローブの振動が誘発されて、プローブがサンプルに及ぼす有効な力が変化する。振動によりカンチレバーの剛性が向上し、それによってサンプルにかかる有効な力も増加する。

【0025】

本アプローチは、同じ位置又は走査線が複数回走査されることを回避することを意図しているが、走査中に取得された画像データの分析により、異なる撮像パラメータ設定で1回又は複数回の追加走査を行うことが望ましいと判明する場合がある。その場合、追加走査により取得された画像データと元の画像データを差し替えてもよく、また、元の画像データと1回又は複数回の追加走査により取得された新しい画像データとを組み合わせてもよい。

【図面の簡単な説明】

【0026】

【図1】例示的な改良型AFM装置の一部と、装置により走査されるサンプルを模式的に示す図である。

【図2】改良型AFM装置の第1の実施形態に係るコントローラの態様を示す図である。

【図3】本発明の一実施形態における、ZアクチュエータのZ位置信号とプローブ先端部からの測定された撓み信号の2つのグラフを模式的に示す図である。

【図4】図3の特定の位置に関連する4つのプローブ撓み状況を模式的に示す図である。

【図5】改良型AFM装置の第2の実施形態に係るコントローラの態様を示す図である。

【図6】改良型AFM装置の第3の実施形態に係るコントローラの態様を示す図である。

【図7】改良型AFM装置の第4の実施形態に係るコントローラの態様を示す図である。

【発明を実施するための形態】

【0027】

以下、添付の図面を参照して具体的な実施形態を説明することにより、本発明をさらに明らかにする。詳細な説明は本発明の可能な実施例を提供するものであるが、本発明の範囲に含まれる実施形態のみを記載するものではない。本発明の範囲は特許請求の範囲に規定されており、以下の記載は本発明を限定するものではなく、例示として見なされるべきである。

【0028】

改良型原子間力顕微鏡(AFM)装置1の一実施形態について、図1及び図2を参照して説明する。図1は、例示的な改良型AFM装置の一部と、装置により走査されるサンプル9を模式的に示す。図2は、改良型AFM装置の第1の実施形態に係るコントローラの態様を示す。

【0029】

10

20

30

40

50

図 1 に示すように、AFM 装置 1 は、サンプル 9 を走査するための少なくとも 1 つの走査ヘッド 10 を備える。走査ヘッド 10 は、カンチレバー 12 と、カンチレバーに配置されたプローブ先端部 13 とを備えるプローブ 11 を含む。

【0030】

AFM 装置 1 は第 1 のアクチュエータ 20 をさらに備える。第 1 のアクチュエータ 20 は、プローブ先端部でサンプルの表面 91 を走査するために、サンプル表面 91 に平行な 1 つ又は複数の方向 x 、 y にプローブ先端部 13 とサンプル 9 とを相対的に移動させるために基板ホルダ 95 と協働する。他の実施形態では、第 1 のアクチュエータは走査ヘッドと協働し、さらに他の実施形態では、表面 91 の走査を行うために、走査ヘッド及び基板ホルダとそれぞれ協働する第 1 のアクチュエータが設けられる。

10

【0031】

AFM 装置 1 は、走査中に、走査ヘッド 10 及びサンプルに対するプローブ先端部 13 の相対的な動き / 位置を測定するように構成されたカンチレバー撓み検出部 30 をさらに備える。検出部 30 はまた、先端部とサンプルとの相互作用や、(静的領域における) 加えられた力によるカンチレバーの撓みを示す出力信号 S_{out} を供給するように構成されている。

【0032】

サンプルのトポグラフィは、カンチレバーの撓みによって示される先端部とヘッド間の距離を引いた AFM ヘッドの高さから導出される。

【0033】

図示の実施形態では、サンプル 9 の表面 91 と接触したときの先端部 13 の変形を示す感知信号 S_{tdf} を供給する先端部変形センサ 15 も設けられている。AFM 装置 1 は、カンチレバー撓み検出部 30 からの出力信号 S_{out} を受信して分析し、サンプル 9 の表面 91 及び / 又は表面下のサンプル特性を撮像するように構成されたコントローラ 40 をさらに備える。図 1 の実施形態では、コントローラ 40 はさらに、 XY アクチュエータ 20 の制御信号及び / 又は変位センサ 21 によって示されるプローブ先端部の横方向位置を示す位置信号 x 、 y 、 Z アクチュエータ 60 の制御信号及び / 又は変位センサ 61 によって示されるプローブの z 位置などの、分析のための追加情報を受信する。図示の例では、コントローラ 40 はまた、先端部 13 の変形を示す感知信号 S_{tdf} も受信する。コントローラ 40 は、示された先端部の変形が所定の限度を超えた場合に力閾値を下げるように構成されている。あるいは及び / 又はさらに、コントローラ 40 は、先端部 13 の変形によって生じるずれを補正するために、装置により取得された出力信号を処理するように構成されてもよい。

20

30

【0034】

AFM 装置は、各走査位置に対して、以下の段階を含む走査サイクルを実行するように構成されている。

【0035】

第 1 段階では、先端部 13 は、サンプル 9 上の基準位置 z から開始する接近プロファイルに従ってサンプル 9 に接近する。接近プロファイルが規定する基準位置 z は、例えば、サンプル 9 の表面 91 におけるどの z 値よりも高い所定の z 値である。あるいは、基準位置 z は、接近する横座標 x 、 y における表面の予想 z 値を基準とした、所定の距離における相対位置である。接近プロファイルはさらに、表面 91 に接近する速度を規定する。この速度は、例えば一定である。あるいは、速度は可変であり、例えば、相対的に高い速度で開始し、接近するにつれて段階的に又は徐々に速度を低下させる。

40

【0036】

第 2 段階では、先端部 13 がサンプル表面 91 から後退する。第 1 段階から第 2 段階への移行は、以下のうち 1 つ又は複数によって決定してもよい。1 つのオプションとしては、先端部又はプローブがサンプルに向かって所定の距離を進んだ場合に移行が行われる。別のオプションとしては、先端部が及ぼす力が閾値を超えた場合に移行が行われる。さらに別のオプションとしては、これらの条件のいずれかが発生すると、どちらが最初である

50

うと、すぐに後退が開始される、あるいは、両方の条件が満たされた時点で後退が開始される。後退段階に関連する別の撮像パラメータに後退の速度がある。第2段階での動作は、後退が実行される速度によって決定する。接近プロファイルの場合と同様に、速度は一定値でもよいし、後退中に変化してもよい。

【0037】

第3段階では、先端部は次の横方向位置に向かって変位する。横方向の距離の大きさは、さらに別の撮像パラメータの一例である。

【0038】

第1段階及び/又は第2段階の間に、先端部とサンプルとの相互作用を示す相互作用データが取得される。一例では、先端部とサンプルの間の力を、先端部がサンプルに向かう変位及び/又はサンプルから離れる変位の関数として規定する、先端部-サンプル力曲線が決定される。

10

【0039】

様々な実用的なタイプのサンプルがそうであるように、図1に示すサンプル9は、異なるレベル(高さ)の表面部91B、91S、及び91Tを有する。図1に示す例では、先端部13は、底部91Bを有する肩部91Sの端部に位置している。先端部13に下向きの力が作用するため、カンチレバー12及び/又は先端部に変形が生じて、先端部13が底部91Bに向かってスライドし、その結果、カンチレバー撓み検出部30が、先端部13が元々配置されていた位置 x 、 y よりも低い z 値を示すおそれがある。この現象は、レベルが低い表面部を有する表面部の端部付近でのみ発生するが、アスペクト比が高い表面特徴部を持つサンプルでは測定誤差が大きくなる。先端部13が底部91Bの位置 x 、 y に位置する場合、先端部13に近い底部91Bの壁部91BWは、先端部が底部91Bに十分に接近することを妨げる可能性がある力を先端部に及ぼすため、カンチレバー撓み検出部30は、先端13の位置 x 、 y における実際の z 値よりも高い z 値を示す。また、この種の測定誤差は、アスペクト比、つまり底部91Bの横方向寸法に対する深さの比が大きくなると、より顕著になる。

20

【0040】

本明細書に開示される改良型AFM装置1は、コントローラ40が、現在走査されているサンプルの横方向位置におけるサンプル特性に関する情報に応じて、走査中に1つ又は複数の撮像パラメータを自動的に調整するように構成されていることで、これらの誤差の原因を軽減する。サンプル特性に関する情報は、サンプルの仕様からの情報、サンプルを製造するためのレシピ、及び現在の走査線と実質的に平行な方向の以前の走査線による走査から取得された情報のうちの1つ又は複数を含む。さらに、軌道の走査中に取得した情報を使用して、その場の状況に応じて追加の調整を行ってもよい。その調整により、撮像パラメータは、適切な Z 測定のために局所的に最適化される。一例として、より低いレベルの表面を有する端部に近い、相対的に高いレベルを持つ表面上の位置であると予測される x 、 y 位置では、相対的に低い力閾値が選択される。また、別の例として、壁部に近い底部の一部であると予測される横方向(x 、 y)の位置では、相対的に高い力閾値が選択される。さらなる例として、横方向位置での予測高さに応じたベースラインオフセットの調整が挙げられる。さらに別の例として、先端部の横方向位置におけるサンプル表面の推定接着力に応じて、後退プロファイルを調整することが挙げられる。

30

40

【0041】

図1に模式的に示すように、AFM装置は、プローブ11、先端部13、サンプル9のうちの1つ又は複数に音響信号を供給する音響信号発生部51a、51b、51cと、音響信号とサンプル9との相互作用に基づいて出力信号を分析する信号分析モジュール52を備えてもよい。この場合、先端部撓みセンサの出力信号 S_{out} はさらに、サンプルの表面下の特性を示す。これにより、例えばオーバーレイ及び/又はアライメント分析のために、トポグラフィ情報と表面下情報の両方を共通の測定で得ることができる。

【0042】

さらに、又はあるいは、AFM装置は、カンチレバー12の有効剛性を高めるためにブ

50

プローブ 11 に振動を誘発する信号源として、例えば信号源 51a を備えてもよい。振動によりカンチレバー 12 の剛性が向上し、それによってサンプルにかかる有効な力も増加する。誘導振動がない場合、カンチレバーの剛性はカンチレバーの静的ばね定数で決まる。振動を与えることで剛性が高まる。カンチレバー 12 の撓みは、先端部 13 を介してプローブ 11 がサンプル 9 に及ぼす力をカンチレバーの剛性で割った比率に比例するため、サンプルにかかる有効な力は、例えば計算モジュール 53 を使用して、カンチレバーの撓みとその有効剛性から誘導振動の関数として計算することができる。

【0043】

図 1 に示す例では、AFM 装置は、先端部 13 の変形を示す先端部変形信号 S_{tdf} を供給する先端部変形センサ 15 を備える。この例では、AFM 装置のコントローラ 40 は、示された先端部の変形が所定の限度を超えた場合に力閾値を下げるように構成されている。あるいは、又はさらに、AFM 装置は、この変形について再構成画像を補正するように構成されてもよい。このオプション機能は、AFM 装置の設定を制御するために取られる他の手段の代替として、又は他の手段と組み合わせて提供されてもよい。

10

【0044】

図の明瞭性のために、コントローラ 40 とコントローラによって制御される構成要素との間の相互接続、及びカンチレバー撓み検出部 30 と先端部変形センサ 15 への接続については、図示を省略している。より詳細な構成は以降の図面に示される。

【0045】

図 2 は、改良型 AFM 装置 1 の第 1 の実施形態をより詳細に示す。図示の例では、コントローラ 40 は、信号分析ユニット 41、画像メモリ 42、及び運動プロファイル生成部 45 を備える。図 2 にさらに示されるように、プローブ/カンチレバー撓み検出部 30 は、光検出素子 31 (ここでは、4 象限光検出素子)、及び撓み信号処理ユニット 32 を備える。撓み信号処理ユニット 32 は、光検出素子 31 が発信する信号 S_{31} からプローブの撓みを計算し、その信号を運動プロファイル生成部 45 に供給する。運動プロファイル生成部 45 は、Z アクチュエータ 60 を制御するための制御信号 C_z と、XY アクチュエータ 20 を制御するための制御信号 C_{xy} を生成する。運動プロファイル生成部 45 はさらに、横座標 x, y の各ピクセルについて決定された z 値を示す入力信号を画像メモリ 42 に供給する。簡略化のため、この例では、画像メモリ 42 に保存される座標 x, y, z は、運動プロファイル生成部 45 によって指定された座標であるものとする。一般的に、 z 値は、事前に定義された特定の力閾値に達した瞬間の垂直方向の「先端部位置」として定義される。実際には、指定された座標と実際の座標との間にずれが生じることがある。これを考慮して、通常、サンプル 9 の横方向位置 (x, y) とプローブ 11 の垂直位置 z を感知する位置センサ (21、61、図 1 を参照) が設けられる。これらのセンサからの感知信号は、フィードバック信号として運動プロファイル生成部 45 に供給される。走査プロセスが完了すると、サンプル 9 の表面 91 のトポグラフィ $Z(x, y)$ を画像メモリ 42 から読み出すことができる。

20

30

【0046】

図 2 に示すように、信号処理ユニット 41 は、以前の走査線からのトポグラフィデータ $z(x, y - y)$ に基づいて、横方向位置 x, y に対する力閾値設定 $F_t(x, y)$ を計算する。

40

【0047】

図 2 の実施形態について、図 3 及び図 4 を参照してさらに説明する。図 3 は、図 2 の実施形態における非共振撮像モード時のプローブ撓み信号 d_{51} と Z 位置アクチュエータ信号 z_{41} の概略グラフを示す。下段のグラフは、プローブ 11 を駆動してサンプル 9 の表面 91 に対して接近・離間させる Z 位置アクチュエータ信号 C_z を示す。横軸は時間 t を示し、軸 a43 のレベルは、プローブ先端部 13 が表面 91 にちょうど接触する Z レベルに対応する。プローブ 11 を表面 91 に向かって負の Z 方向にさらに延伸させると、プローブ先端部 13 に対する表面 91 の反力が増加する。したがって、軸 a43 より下の Z レベルでは、正のプローブ-サンプル相互作用力がプローブ先端部 13 に作用する。上段の

50

グラフは、時間の経過に伴うプローブ先端部 13 の撓み信号 d_{51} を模式的に示す。撓み信号 d_{51} はパラメータ d で表される。下段のグラフ g_{40} に示すように、遠隔の Z レベルの後退位置から開始して、Z 位置アクチュエータ信号 z_{41} は、プローブ 11 (及びプローブ先端部 13) を表面 91 に向かってさらに駆動する。縦線 t_{45} 、 t_{46} 、 t_{47} 、 t_{48} 、 t_{49} は、後述する特徴的な時点を示す。Z 位置信号 z_{41} が示すように、プローブ 11 がサンプル 9 の表面 91 に向けて延伸されているときに、時点 t_{45} において、プローブ先端部 13 が最初にサンプル 9 の表面 91 に接触する。これは、信号 z_{41} が軸 a_{43} と交差する点に対応する。撓み信号 d_{51} では、時点 t_{45} より前にプローブ 11 が表面 91 に接近している、撓み信号 d_{51} の第 1 段階 A では、この段階における撓み信号 d_{51} の平坦部分によって示されるように、プローブ先端部 13 の撓みは測定されない。図 4 において、段階 A は、表面 91 上の撓みのない状態にあるプローブ 11 及びプローブ先端部 13 の位置を表す状況 s_{60} で模式的に示されている。

10

【0048】

接触した直後、時点 t_{45} において、プローブ先端部 13 は、撓み信号 d_{51} の下降によって示されるように、表面 91 に一時的に引き付けられる。Z 位置信号 d_{41} は、プローブ 11 が、プローブ-サンプル相互作用力を増大させるように、表面 91 に向けてさらに延伸されていることを示している。これは、Z 位置信号 z_{41} の z_{44} 部が負の Z 位置を示すことで図示される。表面 91 に向けたプローブ 11 の延伸は、時点 t_{46} においてプローブ-サンプル相互作用力の閾値レベル $F_t(x, y)$ に到達するまで継続される。その後、 t_{46} と t_{47} の間でプローブ 11 は再び後退し、Z 位置信号 z_{41} が上昇する。Z 位置信号 z_{41} が負である時点 t_{45} と t_{47} の間の期間は、撓み信号の段階 B に対応する。段階 B は、時点 t_{46} より前の撓み信号 d_{51} の最大値の前の部分と、時点 t_{46} と t_{47} の間の最大値以後の部分に対応する、第 1 部と第 2 部から成る。段階 B の状況は、図 4 において状況 s_{61} で模式的に示されている。図に示されるように、正のプローブ-サンプル相互作用力により、プローブのカンチレバー 12 が後方に曲がり、それによって、図 3 の時点 t_{45} と t_{47} の間に正の撓み信号 d_{51} が供給される。

20

【0049】

時点 t_{47} において、プローブ 11 は、プローブ-サンプル相互作用力がゼロである軸 a_{43} のレベルに対応する Z 位置にある。プローブ 11 は、プローブ先端部 13 が解放されるまで、表面 91 からさらに後退される。しかし、それより前に、時点 t_{47} と t_{48} の間に、接着力がプローブ先端部 13 を引き寄せ、プローブ先端部 13 に負の力が作用し、プローブの後退中、プローブ先端部 13 とサンプル表面 91 との接触が維持される。撓み信号のこの部分は段階 C で示される。

30

【0050】

図 4 において、段階 C は、表面 91 とプローブ先端部 13 との間の接着力により生じるプローブ先端部 13 の負の撓みを表す状況 s_{62} で示されている。時点 t_{48} では、プローブ 11 は、接着力と Z アクチュエータ 60 によって及ぼされる力との間のバランスが維持できないほど後退している。ここで、プローブ先端部 13 は表面 91 から解放され、固有振動数で振動し始める。この撓み信号 d_{51} の段階 D は共鳴と呼ばれ、図 4 において状況 s_{63} で模式的に示されている。共鳴は消失するまで続き、時点 t_{49} 以降、プローブは再び段階 A に対応する撓みのない状態になる。その後、表面への次の延伸を開始することができる。いくつかの実施例では、共鳴振幅が所定の閾値レベル未満に減少すれば、カンチレバーが撓みのない状態になる前に次の延伸が開始される。これらの実施例では、カンチレバーは表面に到達する前に撓みのない状態になる。時点 t_{48} と時点 t_{49} 後の表面への次の接近との間に、プローブは画像の次のピクセルに向かってサンプル 9 に対して横方向に移動してもよい。このプロセスは、すべてのピクセルが撮像されるまで繰り返される。各ピクセル x, y について $z(x, y)$ の値が登録され、サンプル 9 の表面 91 のトポグラフィ画像が得られる。運動プロファイル生成部 45 が使用する力閾値 $F_t(x, y)$ の選択は、信号処理ユニット 41 により決定される。

40

【0051】

50

表面の高さプロファイル $z(x, y)$ は、図 3 及び図 4 を参照して説明したように、ヘッドの位置とカンチレバーの撓みから推定される。運動プロファイル生成部は、撓み d が現在の力閾値 F_t を超えたことを示す場合、プローブを後退させる。近傍で推定された高さプロファイル、例えば $z(x, y - \Delta y)$ は、位置 x, y における高さプロファイル $z(x, y)$ の指標として使用され、この情報を用いて、最適な力閾値 $F_t(x, y)$ が信号処理ユニット 41 によって選択される。上述のように、最適な力閾値 $F_t(x, y)$ の選択は、さらに、又はあるいは、サンプルに関する事前の知識、例えば、指定されたトポグラフィデータ及び / 又はレシピ作成データ及び / 又は現在の走査線から、つまり近傍 $z(x - \Delta x, y)$ から取得された分析結果によって決定されてもよい。

【0052】

10

一実施形態では、信号処理ユニット 41 は、対応する x 座標を有する、又は現在走査されている座標 x の領域内の x 座標を有する、以前の走査線 $y - \Delta y$ に対して取得された画像データに基づいて、力閾値 $F_t(x, y)$ の値を決定する。いくつかの実施形態では、力閾値に達した時点で測定された z 値のみが登録されるのではなく、代わりに、距離 z と加えられた力との関係を規定する完全な力 - 距離曲線が登録される。

【0053】

一例では、横座標の位置に対する力閾値 $F_t(x, y)$ は、次の基準に従って、先行する走査線 ($y - \Delta y$) で測定された z 値に応じて、少なくとも相対的に低い閾値 F_{tlow} 及び相対的に高い閾値 F_{thigh} から選択される。

【数 1】

20

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

【0054】

例えば、より前の走査線 $-2 \Delta y$ 、 $-3 \Delta y$ からのさらなる情報を使用することも考えられる。このさらなる情報は、現在の位置 x, y におけるサンプルの特性についての予測性は低い、適切な重み付け係数で重み付けされてもよい。別の例では、力閾値の選択は、先行する走査線までの距離によって定義される幅 Δy と、現在の走査線の最近走査された部分の長さ d_x とを有する領域に、次のように依存する。

30

【数 2】

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

【0055】

つまり、現在の走査位置 (x, y) の領域に関する知識に基づいて低い z 値を持つ特徴部が予想される兆候がある場合、その位置に対して相対的に高い力閾値 $F_t(x, y)$ が選択される。相対的に高い力閾値 $F_t(x, y)$ は、そのような特徴部の底面への先端部の突出を容易にする。したがって、この選択により、 z 値が低い特徴部の測定が改善される。

40

【0056】

また、別の例では、力閾値 $F_t(x, y)$ は次のように決定される。

【数 3】

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

【0057】

これは、現在の走査位置 (x, y) の領域に関する知識に基づいて高い z 値を持つ特徴部が予想される兆候がある場合、その位置に対して相対的に低い力閾値 $F_t(x, y)$ が

50

選択されることを意味する。相対的に低い力閾値 $F_t(x, y)$ は、先端部が高い z 値を持つ特徴部から低い位置へと滑るのを防ぐことを意図している。したがって、この選択により、 z 値が高い特徴部の測定が改善される。

【0058】

また、領域の幅は、先行するいくつかの走査線にまたがる場合がある。

【0059】

さらに他の実施形態では、閾値力は、サンプルに関する事前情報、及び/又は先行する走査線又は現在の走査線の走査中にサンプルから取得された情報に基づいて、サンプル位置 x, y における材料特性に従って調整される。その一例では、サンプルに関する事前情報及び/又は走査中にサンプルから取得された情報に基づいて、走査される位置における表面の硬度が相対的に低いと予想される場合には、相対的に低い閾値力が使用され、走査される位置における表面の硬度が相対的に高いと予想される場合には、相対的に高い閾値力が使用される。

10

【0060】

これらの例では、力閾値 $F_t(x, y)$ は所定の閾値からの選択によって決定される。他の実施形態では、力閾値は、例えば多項式関数、例えば補間関数、例えば3次補間関数を使用して、サンプルに関する事前情報から連続関数として決定され、近傍の位置で既知の複数の所定の閾値から、ある位置の補間閾値を計算する。さらに別の例では、ルックアップテーブルが使用される。

【0061】

なお、信号処理ユニット41による力閾値 F_t の決定は、さらに、現在の走査線 y から最近取得された撮像データに基づいてもよい。例えば、信号処理ユニット41は、座標 $x - x, y$ の横方向位置に対して決定された z 値 $z(x - x, y)$ が、座標 $x, y - y$ の横方向位置に対して決定された z 値 $z(x, y - y)$ から大幅に外れる場合、以前の走査線 $y - y$ に基づく決定を無効にしてもよい。

20

【0062】

あるいは、信号処理ユニット41は、現在の走査線からの撮像データに基づいて決定された閾値 $F_t(x, y)$ と、以前の走査線からの撮像データに基づいて決定された閾値 $F_t(y, x, y)$ との平均値を、次式を用いて計算してもよい。

【数4】

$$F_t(x, y) = a_x F_t \Delta x(x, y) + a_y F_t \Delta y(x, y)$$

30

【0063】

なお、上式において、 $0 < a_x, a_y < 1$ であり、 $a_x + a_y = 1$ である。

【0064】

図5は別の実施形態を示す。図5に示す例では、信号処理ユニット41は、サンプル9の仕様又はレシピから取得可能であって、トポグラフィ記憶ユニット43に保存されるトポグラフィ情報 $z_s(x, y)$ を使用する。運動プロファイル生成部45及び/又は変位センサ21は、現在走査されている位置の横座標 x, y を信号処理ユニット41に供給する。これにより、信号処理ユニット41は、図2の実施形態について説明したのと類似の方法で、その位置 $z_s(x, y)$ の予想 z 値及び/又は隣接する位置の予想 z 値をトポグラフィ記憶ユニット43から読み出し、その横方向位置 x, y に対して運動プロファイル生成部45が使用する力閾値 $F_t(x, y)$ を決定することができる。一実施形態では、力閾値 $F_t(x, y)$ を決定するプロセスは、閾値の決定に関与する値の不確実性を推定することを含む。この不確実性の大きさに応じて、様々な手法を用いて、力閾値の各々の推定値に異なる重みを割り当ててもよい。不確実性が高い、つまり信頼性が低い推定値には、不確実性が低い推定値よりも低い重みが割り当てられる。この場合、運動プロファイル生成部45が使用する力閾値 $F_t(x, y)$ は、割り当てられた重みに従って、様々な力閾値推定値の加重平均により決定してもよい。上述のように、閾値は、事前の知識及び以前

40

50

の走査線及び/又は現在の走査線上の先行する位置から取得されたトポグラフィ情報に基づいて推定することができる。

【0065】

また、この実施形態では、図2の実施形態について上述したように、信号処理ユニット41による力閾値 F_t の決定は、さらに、現在の走査線 y から最近取得された撮像データに基づいてもよい。

【0066】

さらに別の実施形態では、信号処理ユニット41は、図5を参照して説明したサンプル9の仕様又はレシピからのトポグラフィ情報 $z_s(x, y)$ と、図2を参照して説明した以前の走査線 $y - y$ から取得されたトポグラフィ情報 $z(x, y - y)$ との組み合わせに基づいて、走査される横座標 x, y の位置に対する力閾値 $F_t(x, y)$ を決定するように構成される。そのいくつかの例では、信号処理ユニット41はまた、同じ走査線から最近取得された画像データもさらに用いて、横座標 x, y の位置に対する力閾値 $F_t(x, y)$ を決定するように構成される。

【0067】

上述したように、信号処理ユニット41は、現在の走査点近傍の単一の位置からの情報に基づいて閾値力を計算する必要はない。代わりに、現在の走査点 x, y の領域、例えば、先行する走査線の領域 $x - dx < x' < x + dx$ からの情報、又は、設計データやレシピデータで規定された現在の走査点の領域、例えば、領域 $x - dx < x' < x + dx, y - dy < y' < y + dy$ からの情報に基づいて計算してもよい。例示的な実施形態では、信号処理ユニット41は、領域からの情報が、現在の走査点が高い溝内にあると予想されることを示す場合には、相対的に高い力閾値を選択し、領域からの情報が、広い溝又は他の相対的に平坦な領域を示す場合には、相対的に低い力閾値を選択する。設定可能な距離（例えば先端部の直径の10倍）内で、最大表面レベルと最小表面レベルとの差が、設定可能な係数（例えば先端部の高さの0.5倍）より小さい場合、現在の走査点は平坦な領域にあると判断される。設定可能な距離と設定可能な係数の正確な値は、先端部とカンチレバーの組み合わせの剛性に依存する。先端部とカンチレバーの組み合わせの剛性が相対的に高い場合、設定可能な距離は相対的に小さく、設定可能な係数は相対的に高くなるように選択してもよい。先端部とカンチレバーの組み合わせの剛性が相対的に低い場合、設定可能な距離は相対的に大きく、設定可能な係数は相対的に小さくなるように選択してもよい。

【0068】

上述の例示的な実施形態では、信号処理ユニット41によって調整される撮像パラメータは、横座標 x, y の関数としての力閾値 F_t であるが、他の実施形態では、調整される撮像パラメータは、ベースラインオフセット、接近プロファイル、又は後退プロファイルである。

【0069】

図6は例示的な実施形態を示す。図6に示す例では、コントローラ40は、接着信号処理ユニット47を備える。接着信号処理ユニット47は、運動プロファイル生成部45によって使用される後退プロファイルの後退距離、つまり、運動プロファイル生成部45によりZアクチュエータ60がプローブ11をサンプル9から離れるように後退させる距離を示す制御信号 $d_r(x, y)$ を決定する。図示の例では、撓み曲線信号処理ユニット46が、各走査位置の撓み曲線データ $d_z(x, y)$ を受信する。撓み曲線データ $d_z(x, y)$ は、プローブ z の移動の関数として測定される撓み d を示し、特に、 t_{47} から t_{48} までの時間間隔におけるプローブの撓みを示す。図3、4を参照して説明したように、この時間間隔の間、プローブ11の撓みは実質的に、先端部13とサンプル9との間の接着力によって決定する。このデータを用いて、撓み曲線信号処理ユニット46は、サンプルの横方向位置 x, y における接着力の大きさ $A_{dh}(x, y)$ を推定し、その値をメモリ44に保存する。接着信号処理ユニット47は、以前の走査線 $x, y - y$ についての接着力 $A_{dh}(x, y - y)$ に対して取得されたデータを読み出し、 $A_{dh}(x, y$

)は $A d h(x, y - y)$ にほぼ等しいという仮定に基づいて、後退プロファイルの最適な後退距離を計算する。現在の走査位置で相対的に高い接着力が予想される場合には、後退距離は、相対的に低い接着力が予想される場合よりも大きな値に設定される。別の実施形態では、接着信号処理ユニット 47 は、サンプル 9 の仕様又はレシピからの接着に関する情報に基づいて計算を行う。さらに別の実施形態では、接着信号処理ユニット 47 は、サンプル 9 の仕様又はレシピからの接着情報と、以前の走査線 $y - y$ から取得された接着に関する情報との組み合わせに基づいて、走査される横座標 x, y の位置に対する後退プロファイルの後退距離を決定するように構成される。そのいくつかの例では、接着信号処理ユニット 47 はまた、同じ走査線から最近取得された接着情報もさらに用いて、横座標 x, y の位置に対する後退距離を決定するように構成される。

10

【0070】

図 7 はさらに別の実施形態を示す。図 6 に示す例と同様に、撓み曲線信号処理ユニット 48 は、各走査位置の撓み曲線データ $d z(x, y)$ を受信する。ただし、本実施形態の撓み曲線信号処理ユニット 48 は、 $t 45$ 以降、 $t 46$ でプローブが後退する時点までの、力が正となる時間間隔において決定される横方向位置 (x, y) の力 - 距離データを計算する。力 - 距離データは、それぞれの力に対して測定された 2 つ以上の距離 z を含んでもよい。信号処理ユニット 41 は、力 - 距離データにアクセスすることができ、それに基づき、 $x, y - y$ 又はその近傍の座標 x' を持つ横方向位置に対して保存されたそれぞれの力に対して測定された 2 つ以上の距離 $z 1(x, y - y)$ 、 $z 2(x, y - y)$ に基づいて、横方向位置 x, y にどの閾値力 $F t(x, y)$ を選択するかを決定する。いくつかの実施例では、信号処理ユニット 41 はまた、現在の走査線から取得された力 - 距離データ、例えば、以前の走査位置 $x - x, y$ から取得された力 - 距離データに基づいて、閾値力 $F t(x, y)$ の計算を行う。

20

【0071】

上述したように、撮像パラメータの設定は、設計情報、レシピ情報、以前の走査線の撮像データから取得された情報、現在の走査線の最近の撮像データから取得された情報などのサンプルに関する事前情報を 2 つ以上含む、様々なソースから得られる入力データの組み合わせに基づいて決定してもよい。組み合わせに使用される事前情報が一貫していれば、それは、その情報が信頼できることを示す。そうでない場合、1 つのアプローチでは、設定される撮像パラメータを予測するために使用される入力パラメータの値は、様々なソースから得られる入力データの平均値、例えば加重平均値として計算されてもよい。すなわち、撮像パラメータの設定は、様々なソースから得られる各入力データに基づいて計算されてもよく、実際に使用される撮像パラメータの設定は、様々な入力データに基づいて計算された設定の平均値、例えば加重平均値として計算されてもよい。また、別のアプローチでは、入力パラメータの設定は、各入力データに基づいて個別に予測された設定の中で、最も保守的な設定である。例えば、サンプルの損傷リスクを最小限に抑えるために、複数の力閾値の設定から最も低い値の設定が選択される。

30

【0072】

本発明についてその具体的な実施形態を説明してきたが、添付図面及び本明細書に示される実施形態は例示に過ぎず、いかなる方法又は手段によっても本発明を限定することを意図するものではないことが理解されよう。本発明の動作及び構成は、以上の説明及び添付図面から明らかになるものと考えられる。本発明は、本明細書に記載された実施形態に限定されるものではなく、添付の特許請求の範囲内で変更が可能であることは、当業者には明白であろう。また、運動学的逆転も本質的に開示されており、本発明の範囲内であると考えられる。

40

【0073】

さらに、開示された様々な実施形態の構成部品又は要素のいずれも、必要、望ましい、又は好ましいと考えられる場合、特許請求の範囲に定義される本発明の範囲から逸脱することなく、組み合わせたり、他の実施形態に組み込んだりすることができる。

【0074】

50

特許請求の範囲において、参照符号は特許請求の範囲を限定するものとして解釈されるべきではない。本明細書又は添付の特許請求の範囲で使用される用語「含む (c o m p r i s i n g) 」及び「含む (i n c l u d i n g) 」は、排他的又は網羅的な意味で解釈されるべきではなく、包括的な意味で解釈されるべきである。したがって、本明細書で使用される「含む」という表現は、請求項に記載されているものに加えて、他の要素又はステップの存在を排除するものではない。また、「a」及び「an」という語は、「1つだけ」に限定して解釈されるものではなく、「少なくとも1つ」という意味で使用され、複数を排除するものではない。具体的又は明示的に記載又は特許請求されていない特徴も、本発明の範囲内で本発明の構造にさらに含めることができる。「...するための手段」などの表現は、「...するように構成されたコンポーネント」又は「...するように構成された部材」と解釈されるべきであり、開示された構造の均等物を含むと解釈されるべきである。「重要な」、「好ましい」、「特に好ましい」などの表現の使用は、本発明を限定することを意図したものではない。当業者の知識の範囲内での追加、削除、修正は、一般に、特許請求の範囲によって定まる本発明の精神及び範囲から逸脱することなく行うことができる。本発明は、本明細書で具体的に説明した以外の方法で実施することができ、添付の特許請求の範囲によってのみ限定されるものである。

10

20

30

40

50

【 図 面 】

【 図 1 】

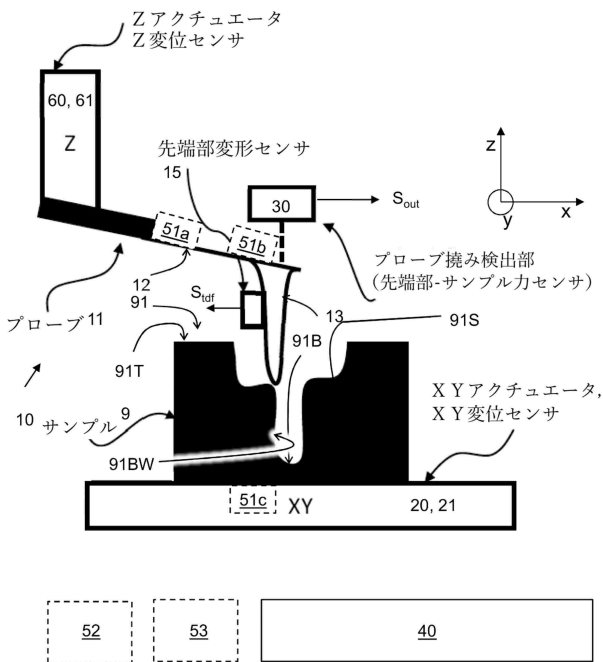


FIG. 1

1

【 図 2 】

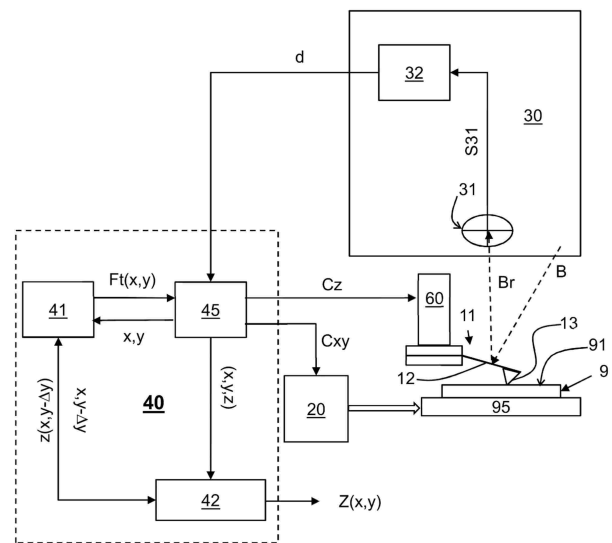


FIG. 2

1

【 図 3 】

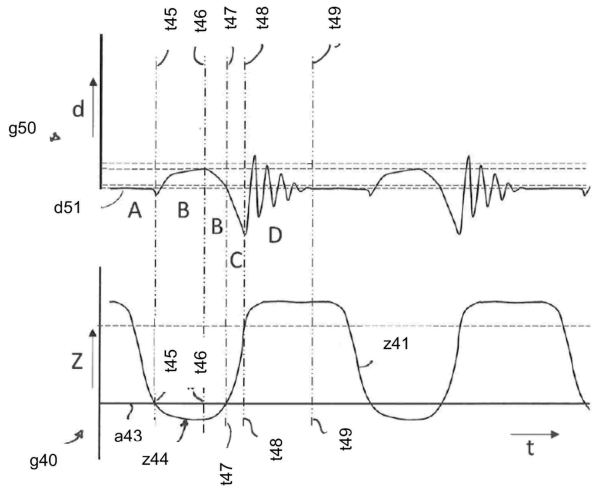


FIG. 3

【 図 4 】

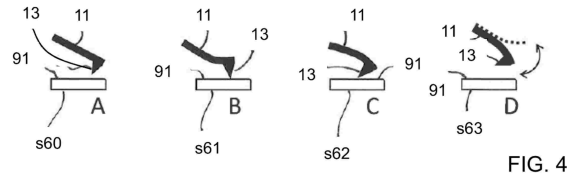


FIG. 4

10

【 図 5 】

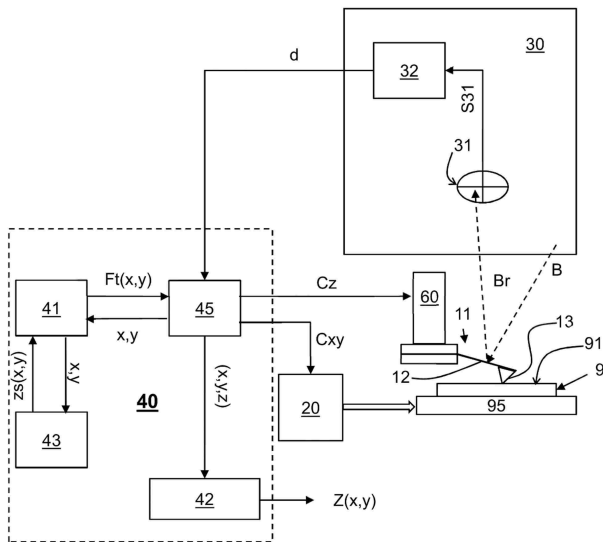


FIG. 5

【 図 6 】

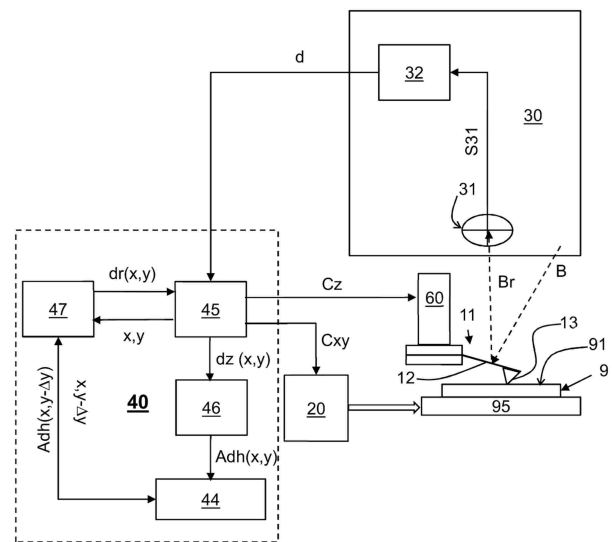


FIG. 6

20

30

40

50

【 7 】

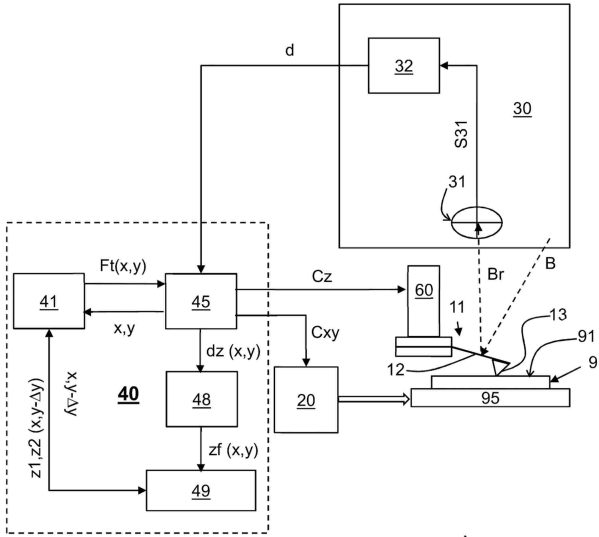


FIG. 7

10

20

30

40

50

【 国際調査報告 】

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No PCT/NL2022/050755
--

A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER INV. G01Q10/06 G01Q30/06 ADD. According to International Patent Classification (IPC) or to both national classification and IPC												
B. FIELDS SEARCHED Minimum documentation searched (classification system followed by classification symbols) G01Q												
Documentation searched other than minimum documentation to the extent that such documents are included in the fields searched												
Electronic data base consulted during the international search (name of data base and, where practicable, search terms used) EPO-Internal, WPI Data												
C. DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT												
Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.										
A	US 2021/125809 A1 (SUN YU [CA] ET AL) 29 April 2021 (2021-04-29) figures 1-3 paragraph [0008] paragraph [0023] - paragraph [0046] -----	1-16										
A	US 2017/227577 A1 (LIU CHANGCHUN [US] ET AL) 10 August 2017 (2017-08-10) figures 2,7-10 paragraph [0021] paragraph [0062] - paragraph [0069] ----- -/--	1-16										
<input checked="" type="checkbox"/> Further documents are listed in the continuation of Box C. <input checked="" type="checkbox"/> See patent family annex.												
* Special categories of cited documents : <table border="0"> <tr> <td>"A" document defining the general state of the art which is not considered to be of particular relevance</td> <td>"T" later document published after the international filing date or priority date and not in conflict with the application but cited to understand the principle or theory underlying the invention</td> </tr> <tr> <td>"E" earlier application or patent but published on or after the international filing date</td> <td>"X" document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered novel or cannot be considered to involve an inventive step when the document is taken alone</td> </tr> <tr> <td>"L" document which may throw doubts on priority claim(s) or which is cited to establish the publication date of another citation or other special reason (as specified)</td> <td>"Y" document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered to involve an inventive step when the document is combined with one or more other such documents, such combination being obvious to a person skilled in the art</td> </tr> <tr> <td>"O" document referring to an oral disclosure, use, exhibition or other means</td> <td>"&" document member of the same patent family</td> </tr> <tr> <td>"P" document published prior to the international filing date but later than the priority date claimed</td> <td></td> </tr> </table>			"A" document defining the general state of the art which is not considered to be of particular relevance	"T" later document published after the international filing date or priority date and not in conflict with the application but cited to understand the principle or theory underlying the invention	"E" earlier application or patent but published on or after the international filing date	"X" document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered novel or cannot be considered to involve an inventive step when the document is taken alone	"L" document which may throw doubts on priority claim(s) or which is cited to establish the publication date of another citation or other special reason (as specified)	"Y" document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered to involve an inventive step when the document is combined with one or more other such documents, such combination being obvious to a person skilled in the art	"O" document referring to an oral disclosure, use, exhibition or other means	"&" document member of the same patent family	"P" document published prior to the international filing date but later than the priority date claimed	
"A" document defining the general state of the art which is not considered to be of particular relevance	"T" later document published after the international filing date or priority date and not in conflict with the application but cited to understand the principle or theory underlying the invention											
"E" earlier application or patent but published on or after the international filing date	"X" document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered novel or cannot be considered to involve an inventive step when the document is taken alone											
"L" document which may throw doubts on priority claim(s) or which is cited to establish the publication date of another citation or other special reason (as specified)	"Y" document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered to involve an inventive step when the document is combined with one or more other such documents, such combination being obvious to a person skilled in the art											
"O" document referring to an oral disclosure, use, exhibition or other means	"&" document member of the same patent family											
"P" document published prior to the international filing date but later than the priority date claimed												
Date of the actual completion of the international search		Date of mailing of the international search report										
9 March 2023		27/03/2023										
Name and mailing address of the ISA/ European Patent Office, P.B. 5818 Patentlaan 2 NL - 2280 HV Rijswijk Tel. (+31-70) 340-2040, Fax: (+31-70) 340-3016		Authorized officer Polesello, Paolo										

Form PCT/ISA/210 (second sheet) (April 2005)

page 1 of 2

10

20

30

40

50

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No PCT/NL2022/050755

C(Continuation). DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT		
Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
A	<p>INAGAKI K ET AL: "ULTRASONIC FORCE MICROSCOPY IN WAVEGUIDE MODE UP TO 100 MHZ", 1998 IEEE ULTRASONICS SYMPOSIUM PROCEEDINGS. SENDAI, MIYAGI, JP, OCT. 5 - 8, 1998; [IEEE ULTRASONICS SYMPOSIUM PROCEEDINGS], NEW YORK, NY : IEEE, US, 5 October 1998 (1998-10-05), pages 1255-1259, XP000871836, ISBN: 978-0-7803-4096-1 figure 1 paragraph [II.Experimental]</p> <p>-----</p>	1-16
A	<p>US 2006/113469 A1 (BABA SHUICHI [JP] ET AL) 1 June 2006 (2006-06-01) figure 17(e) paragraph [0138]</p> <p>-----</p>	1-16
A	<p>US 2007/018097 A1 (KOJIMA HIDEO [JP]) 25 January 2007 (2007-01-25) figures 1-7 paragraph [0036] - paragraph [0088]</p> <p>-----</p>	1-16
A	<p>US 2016/356808 A1 (JO AH JIN [KR] ET AL) 8 December 2016 (2016-12-08) figures 2-10 paragraph [0048] - paragraph [0107]</p> <p>-----</p>	1-16

10

20

30

40

50

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

Information on patent family members

International application No

PCT/NL2022/050755

Patent document cited in search report	Publication date	Patent family member(s)	Publication date
US 2021125809 A1	29-04-2021	CN 112955996 A	11-06-2021
		US 2021125809 A1	29-04-2021
		WO 202000400 A1	02-01-2020

US 2017227577 A1	10-08-2017	CN 106030316 A	12-10-2016
		CN 110082014 A	02-08-2019
		EP 3077831 A1	12-10-2016
		US 2015160259 A1	11-06-2015
		US 2017227577 A1	10-08-2017
		US 2018299479 A1	18-10-2018
		WO 2015085316 A1	11-06-2015

US 2006113469 A1	01-06-2006	JP 2004264039 A	24-09-2004
		US 2006113469 A1	01-06-2006
		US 2008047334 A1	28-02-2008
		WO 2004074816 A1	02-09-2004

US 2007018097 A1	25-01-2007	JP 4727499 B2	20-07-2011
		JP 2007047150 A	22-02-2007
		US 2007018097 A1	25-01-2007

US 2016356808 A1	08-12-2016	JP 6161658 B2	12-07-2017
		JP 2016224018 A	28-12-2016
		KR 20160142483 A	13-12-2016
		US 2016356808 A1	08-12-2016

10

20

30

40

50

フロントページの続き

MK,MT,NL,NO,PL,PT,RO,RS,SE,SI,SK,SM,TR),OA(BF,BJ,CF,CG,CI,CM,GA,GN,GQ,GW,KM,ML,MR,N
E,SN,TD,TG),AE,AG,AL,AM,AO,AT,AU,AZ,BA,BB,BG,BH,BN,BR,BW,BY,BZ,CA,CH,CL,CN,CO,CR,CU,
CV,CV,CZ,DE,DJ,DK,DM,DO,DZ,EC,EE,EG,ES,FI,GB,GD,GE,GH,GM,GT,HN,HR,HU,ID,IL,IN,IQ,IR,IS,I
T,JM,JO,JP,KE,KG,KH,KN,KP,KR,KW,KZ,LA,LC,LK,LR,LS,LU,LY,MA,MD,ME,MG,MK,MN,MW,MX,
MY,MZ,NA,NG,NI,NO,NZ,OM,PA,PE,PG,PH,PL,PT,QA,RO,RS,RU,RW,SA,SC,SD,SE,SG,SK,SL,ST,SV,
SY,TH,TJ,TM,TN,TR,TT,TZ,UA,UG,US,UZ,VC,VN,WS,ZA,ZM,ZW
テルダム ヴァレーゼウエグ 5 シーオー