

(19) 日本国特許庁(JP)

(12) 公開特許公報(A)

(11) 特許出願公開番号

特開2011-33482
(P2011-33482A)

(43) 公開日 平成23年2月17日(2011.2.17)

(51) Int.Cl.	F I	テーマコード (参考)
GO1Q 10/06 (2010.01)	GO1N 13/10 IO1F	
GO1Q 60/32 (2010.01)	GO1N 13/16 IO1D	

審査請求 未請求 請求項の数 7 O L (全 18 頁)

(21) 出願番号	特願2009-180137 (P2009-180137)	(71) 出願人	504132272 国立大学法人京都大学 京都府京都市左京区吉田本町36番地1
(22) 出願日	平成21年7月31日(2009.7.31)	(74) 代理人	100075557 弁理士 西教 圭一郎
		(72) 発明者	大藪 範昭 京都府京都市左京区吉田本町 国立大学法人京都大学内
		(72) 発明者	木村 建次郎 京都府京都市左京区吉田本町 国立大学法人京都大学内
		(72) 発明者	井戸 慎一郎 京都府京都市左京区吉田本町 国立大学法人京都大学内

最終頁に続く

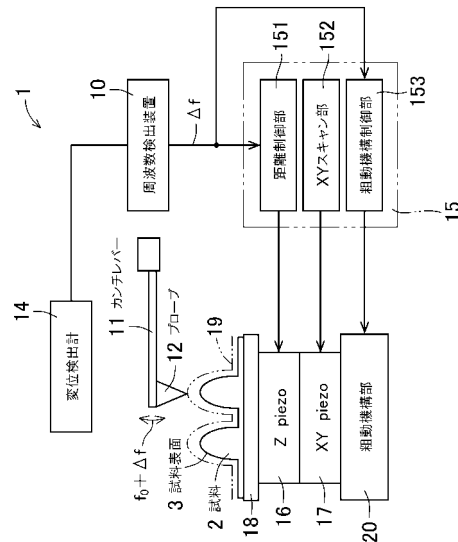
(54) 【発明の名称】 制御装置、原子間力顕微鏡、制御方法およびプログラム

(57) 【要約】

【課題】 振動体の変動周波数に距離や、経過時間や雰囲気温度に依存するゆらぎがあっても、ゆらぎによってアプローチ動作が終了することなく、かつプローブと試料間に設定値以上の短距離力が働くことを避けながら、原子間力が働く距離まで振動体と試料とを正確に接近させることができる制御装置、原子間力顕微鏡、制御方法およびプログラムを提供する。

【解決手段】 粗動機構制御部153は、プローブ12に接近する方向への試料2の移動の開始を粗動機構部20に指示した後、予め定める条件が満たされる度に、予め定める条件が満たされた時点に、周波数検出装置10からの電気信号が示す変動周波数 f に、設定されているオフセット周波数を加算した値をセットポイントの値に再設定する。そして、変動周波数 f がセットポイント以上になると、試料2の移動を停止するように粗動機構部20を制御する。

【選択図】 図1



【特許請求の範囲】**【請求項 1】**

試料と振動体とを接近させる方向に移動する機構部による試料または振動体の移動を制御する制御部と、

予め定める基準周波数に対して変動する振動体の変動周波数を検出する検出部とを含み、

制御部は、試料または振動体の移動を開始するように機構部を制御した後、予め定める条件が満たされる度に、前記予め定める条件が満たされた時点で検出部によって検出された変動周波数に予め定めるオフセット周波数を加算した周波数を閾値周波数として設定し、設定した後、検出部によって検出される変動周波数が閾値周波数以上になると、試料または振動体の移動を停止するよう機構部を制御することを特徴とする制御装置。

10

【請求項 2】

前記予め定める条件は、前記制御部が前記機構部による試料または振動体の移動を開始させたとき、または前記制御部が前記機構部による試料または振動体の移動を開始させた後、前記予め定めるオフセット周波数を加算した周波数を閾値周波数としたときから、前記機構部が試料または振動体を予め定める距離移動したという条件であることを特徴とする請求項 1 に記載の制御装置。

【請求項 3】

前記予め定める条件は、前記制御部が前記機構部による試料または振動体の移動を開始させたとき、または前記制御部が前記機構部による試料または振動体の移動を開始させた後、前記予め定めるオフセット周波数を加算した周波数を閾値周波数としたときから、予め定める時間が経過したという条件であることを特徴とする請求項 1 に記載の制御装置。

20

【請求項 4】

前記予め定める条件は、前記制御部が前記機構部による試料または振動体の移動を開始させたとき、または前記制御部が前記機構部による試料または振動体の移動を開始させた後、前記予め定めるオフセット周波数を加算した周波数を閾値周波数としたときから、前記変動周波数の変動量が予め定める変動量変化したという条件であることを特徴とする請求項 1 に記載の制御装置。

【請求項 5】

振動体と、

試料と振動体とを接近させる方向に移動する機構部と、

請求項 1 ~ 4 のいずれか 1 つに記載される制御装置とを備えることを特徴とする原子間力顕微鏡。

30

【請求項 6】

試料と振動体とを接近させる方向に移動する機構部による試料または振動体の移動を制御する制御部と、予め定める基準周波数に対して変動する振動体の変動周波数を検出する検出部とを含む制御装置が機構部を制御する制御方法であって、

機構部による試料または振動体の移動を開始する開始ステップと、

開始ステップで機構部による試料または振動体の移動が開始された後、予め定める条件が満たされる度に、前記予め定める条件が満たされた時点で検出部によって検出された変動周波数に予め定めるオフセット周波数を加算した周波数を閾値周波数として設定する閾値設定ステップと、

検出部によって検出される変動周波数が閾値設定ステップで設定された閾値周波数以上になると、機構部による試料または振動体の移動を停止する停止ステップとを含むことを特徴とする制御方法。

40

【請求項 7】

予め定める基準周波数に対して変動する振動体の変動周波数を検出する検出部と、コンピュータとを含む制御装置のコンピュータに、

試料と振動体とを接近させる方向に移動する機構部による試料または振動体の移動を開始する開始ステップと、

50

開始ステップで機構部による試料または振動体の移動が開始された後、予め定める条件が満たされる度に、前記予め定める条件が満たされた時点で検出部によって検出された変動周波数に予め定めるオフセット周波数を加算した周波数を閾値周波数として設定する閾値設定ステップと、

検出部によって検出される変動周波数が閾値設定ステップで設定された閾値周波数以上になると、機構部による試料または振動体の移動を停止する停止ステップとを実行させるためのプログラム。

【発明の詳細な説明】

【技術分野】

【0001】

本発明は、振動体と試料とを原子間力が働く距離まで接近させる制御を行う制御装置、原子間力顕微鏡、制御方法およびプログラムに関する。

【背景技術】

【0002】

周波数変調方式原子間力顕微鏡 (Frequency-Modulation Atomic Force Microscope : 略称 FM - AFM) は、カンチレバーなどの振動体の共振周波数が、カンチレバーの先端部に設けられるプローブ (以下「探針」ともいう) と試料表面との間で働く力によって変化するという原理を利用して、カンチレバーの共振周波数の変化に基づいて、プローブと試料表面との距離を一定に保ちながら試料表面を走査して、試料表面の凹凸を測定するものである。

【0003】

図4は、第1の従来技術である FM - AFM 9 の構成を模式的に示す図である。カンチレバー 11 が共振する共振周波数は、カンチレバー 11 に設けられたプローブ 12 と試料表面 3 との距離に応じて変化する。共振周波数が変動するカンチレバー 11 の変位は、変位検出計 14 によって検出される。変位検出計 14 によって検出された変位を表す信号は、周波数検出装置 10 に送られる。周波数検出装置 10 は、変位検出計 14 から受け取る変位を表す信号から、基準となる基準周波数 f_0 に対して共振周波数 f が変動する変動周波数 f を表す電気信号を生成し、制御コントローラ 95 の距離制御部 151 および粗動機構制御部 953 に送る。

【0004】

微動機構部 (図4では「Z piezo」と記す) 16 は、圧電素子によって構成され、距離制御部 151 の指示によって、試料 2 を載置するテーブル 18 を鉛直方向、つまり Z 軸方向に移動し、プローブ 12 の先端部と試料表面 3 との距離を変化させる。XY 軸方向移動部 (図4では「XY piezo」と記す) 17 は、圧電素子によって構成され、XY スキャン部 152 の指示によって、テーブル 18 を Z 軸に直交する方向に移動し、試料表面 3 の全面の測定を可能とする。

【0005】

距離制御部 151 は、周波数検出装置 10 からの変動周波数 f を表す電気信号が一定の値になるように、すなわち、プローブ 12 の先端部と試料表面 3 との距離が一定になるように、微動機構部 16 を制御する。制御コントローラ 15 は、試料 2 を XY 軸方向に移動させるとき、Z 軸方向のテーブル 18 の位置、すなわちプローブ 12 の先端部と試料表面 3 との距離を記憶しておき、記憶した Z 軸方向の位置を XYZ 座標系でプロットすることによって、試料表面 3 の凹凸を画像として出力することができる。

【0006】

図5は、粗動機構部 20 による試料 2 の移動範囲を示す図である。カンチレバー 11 および試料 2 を FM - AFM 9 に設置するとき、プローブ 12 の先端部と試料 2 とは数 cm ~ 数 mm 離れた状態であり、たとえば距離 $L_1 =$ 数 mm である。FM - AFM 9 で試料表面 3 を観測するためには、プローブ 12 の先端部と試料表面 3 との距離を、短距離相互作用力 (以下「短距離力」ともいう) が働く距離 L_2 、たとえば数 nm まで接近させる必要がある。

10

20

30

40

50

【 0 0 0 7 】

粗動機構部 20 は、試料 2 をプローブ 12 に接近および離反させる方向、つまり Z 軸方向に移動させる機構である。粗動機構部 20 は、試料 2 を移動するが、図 5 では、カンチレバー 11 を相対的に移動したように示している。粗動機構部 20 は、プローブ 12 の先端部と試料表面 3 との距離を数 cm から数 nm まで接近させることができる。

【 0 0 0 8 】

図 6 は、粗動機構制御部 953 による粗動基本処理を示すフローチャートである。粗動機構制御部 953 は、図示しない操作部から、試料 2 のアプローチが指示されると、ステップ B1 に移る。アプローチとは、カンチレバー 11 および試料 2 が FM - AFM9 に設置されたときの位置から、つまり図 5 に示した距離 L_1 離れた位置から、プローブ 12 の先端部と試料表面 3 との間に短距離力が働く距離 L_2 まで、粗動機構部 20 によって、試料 2 をプローブ 12 に接近させることである。

【 0 0 0 9 】

ステップ B1 では、粗動機構制御部 953 は、粗動機構部 20 に、プローブ 12 に近接する方向への試料 2 の移動の開始を指示した後、粗動機構部 20 を用いて試料 2 をプローブ 12 に接近させる。ステップ B2 では、粗動機構制御部 953 は、微動機構部 16 の制御距離範囲内で入力がセットポイントを超えるか否かを判定する。判定方法には、微動機構部 16 を縮めた状態で粗動機構部 20 を用いて試料 2 を接近させ、粗動機構部 20 による移動停止後に、微動機構部 16 を伸ばし微動機構部 16 が伸びきるまでの間で、入力がセットポイントを超えるか否かを判定する方法と、距離フィードバック機能を用いて微動機構部 16 を伸ばした状態にして、粗動機構部 20 を用いてプローブ 12 と試料表面 3 間距離を接近させたとき、入力がセットポイントを超えないようにするため、距離フィードバック出力が微動機構部 16 を伸ばしきらない状態になったか否かを判定方法があり、いずれの判定方法としてもよい。

【 0 0 1 0 】

微動機構部 16 の制御距離範囲は、一般に数 μm である。入力は、周波数検出装置 10 からの変動周波数 f を表す電気信号である。セットポイントは、プローブ 12 の先端部と試料表面 3 との距離が、短距離力が働く距離、つまり距離 L_2 になったと粗動機構制御部 953 が判定するための変動周波数 f の閾値周波数である。セットポイントは、たとえば粗動機構制御部 953 のメモリなどに記憶され、予め図示しない操作部から操作者によって設定される。粗動機構制御部 953 は、周波数検出装置 10 からの変動周波数 f を表す電気信号に基づいて、変動周波数 f がセットポイント以上になったか否かを判定する。

【 0 0 1 1 】

粗動機構制御部 953 は、変動周波数 f がセットポイント以上になったとき、微動機構部 16 の制御距離範囲内で入力がセットポイントを超えたと判定し、移動を停止するように粗動機構部 20 を制御した後、粗動基本処理を終了する。粗動機構制御部 953 は、変動周波数 f がセットポイント未満であるとき、微動機構部 16 の制御距離範囲内で入力がセットポイントを超えていないと判定し、ステップ B1 に戻る。

【 0 0 1 2 】

図 7 は、変動周波数 f とセットポイントとの関係を示す図である。横軸が試料 2 の微動機構部 16 による移動距離 z (nm) であり、縦軸が変動周波数 f (Hz) である。図 7 では、移動距離 z の基点は、プローブ 12 の先端部と試料表面 3 との距離が数 nm である位置を 0 としている。変動周波数 f は、移動距離 z が $0\text{ nm} \sim 2.5\text{ nm}$ の範囲では、ほぼ -250 Hz から 250 Hz の範囲で変動しているが、移動距離 z が 2.5 nm を超えると、短距離力が働き、急激に上昇している。

【 0 0 1 3 】

セットポイントは、短距離力が働き始め、変動周波数 f が急激に上昇しているときの周波数に設定される。たとえば、セットポイントを、微動機構部 16 による移動距離 z が $0\text{ nm} \sim 2.5\text{ nm}$ の範囲での最大の変動周波数 f から大きく離れた周波数 $SP1$ 、た

10

20

30

40

50

例えば約 1700 Hz に設定した場合、粗動機構制御部 953 は、微動機構部 16 による移動距離 z が $z_2 = 2.9 \text{ nm}$ で距離 L_2 になったと判定する。また、セットポイントを、微動機構部 16 による移動距離 z が $0 \text{ nm} \sim 2.5 \text{ nm}$ の範囲での最大の変動周波数 f からあまり離れない周波数 SP_2 、たとえば約 450 Hz に設定した場合、粗動機構制御部 953 は、微動機構部 16 による移動距離 z が $z_1 = 2.7 \text{ nm}$ で距離 L_2 になったと判定する。

【0014】

実験では、試料 2 の厚さのばらつきなどにより、遠い距離、たとえば距離 $L_1 = \text{数 mm}$ からプローブ 12 に近づける場合、どれだけ接近させたときに短距離力が働くかを事前に知ることは困難である。

10

【0015】

短距離力が働く距離で表面観察が可能となるが、アプローチ時にセットポイントが大きいと、プローブ 12 と試料表面 3 間の相互作用力が大きい距離になるまで両者が接近したと判断されないため、大きな相互作用力によってプローブと試料表面の破壊が引き起こされる可能性が高くなる。そのためアプローチ時のセットポイントは、小さいことが望ましい。しかしながら、セットポイントが小さすぎると、入力信号のノイズなどによってアプローチが終了したと判断される場合があるため、入力に対して適切な差を持ったものをセットポイントとする必要がある。

【0016】

特許文献 1 に記載される第 2 の従来技術である非接触型原子間力顕微鏡は、試料の表面を走査するとき、往復時の測定信号の相関とエラー信号とをモニタしながら、最適な測定条件を探索する。測定条件は、セットポイント、フィードバック系のゲイン、走査速度および励振強度などの条件である。エラー信号は、カンチレバー振幅の設定値からのずれを示す信号である。第 2 の従来技術でのセットポイントは、フィードバック系により一定に保つべきカンチレバーの振幅値である。

20

【0017】

特許文献 2 に記載される第 3 の従来技術である走査プローブ顕微鏡は、変位検出機構によってカンチレバーの振幅を検出しながら、粗動機構によって探針とサンプルつまり試料とを近接させるとき、変位検出機構によって検出される振幅が設定された振幅量になった時点で、粗動機構を停止させる。振動方式でカンチレバーを加振する周波数を低周波側動作点にする場合、振幅量は、探針サンプル間距離が少なくなると、徐々に減少し、変曲点付近で増加した後、変曲点を過ぎると急激に減少する。設定する振幅量を、振幅が増加するときの振幅量とする。振幅が増加しないことがあり得るときは、振幅が急激に減少するときの振幅量を用いる。

30

【0018】

特許文献 3 に記載される第 4 の従来技術である走査プローブ顕微鏡の探針接近方法は、粗動機構部によって、試料を高さ方向に相対的に大きな距離で移動させながら、微動機構部によって、探針を 3 次元方向に相対的に微小な距離で、試料と探針との間に働く原子間力が一定に保たれる距離まで移動させる。粗動機構部は、試料を高さ方向に移動させるとき、1 回の移動で、微動機構部による最大変位量よりも小さい単位変位量だけ移動させ、微動機構部による移動によって原子間力が一定に保たれる距離まで移動させることができないときは、さらに単位変位量だけ移動させることを繰り返す。

40

【0019】

特許文献 4 に記載される第 5 の従来技術である走査プローブ顕微鏡は、 piezo 駆動素子によって z 方向の移動が行われるカンチレバーに設けられる探針によって、試料表面の凹凸を測定するとき、レバー変位検出機構によって検出されるカンチレバーの振動振幅に対応する電圧と、セットポイントを規定する電圧との差をアンプで増幅し、積分回路を通して z 駆動電圧として piezo 駆動素子に供給する。この走査プローブ顕微鏡は、測定した後測定場所を移動するとき、セットポイントを変更することによって探針を退避させ、試料ステージによって探針を次の測定場所に移動し、アンプのゲインを下げる。そして、セ

50

ットポイントを測定時の値に戻して探針を試料に接近させた後、ゲインを測定時の値に戻して測定する。アンプのゲインを下げることによって、探針と試料とが急激に接近し、瞬間的に探針が試料と接触することを防止するものである。

【先行技術文献】

【特許文献】

【0020】

【特許文献1】特開2000-39390号公報

【特許文献2】特開2009-19943号公報

【特許文献3】特開2002-372488号公報

【特許文献4】特開2000-46716号公報

10

【発明の概要】

【発明が解決しようとする課題】

【0021】

図8は、近傍領域で微動機構部16の移動距離に対する変動周波数 f と、遠方領域での粗動機構部20による移動距離に対する変動周波数 f との相違を説明するための図である。図8(a)は、近傍領域K1での変動周波数 f を示し、図7に示した変動周波数 f と同じである。近傍領域K1は、プローブ12の先端部と試料表面3との距離が数nm程度の範囲である。図8(a)に示した変動周波数 f には、0から2.5nmの間ではゆらぎはない。

【0022】

20

図8(b)は、遠方領域K2での変動周波数 f を示す。遠方領域K2は、プローブ12の先端部と試料表面3との距離が数百 μm に及ぶ範囲である。図8(b)では、移動距離 z の基点は、プローブ12の先端部と試料表面3との距離が数百 μm である位置を0としている。変動周波数 f は、移動距離 z が0 μm で約0Hzであるが、移動距離 z が0 μm ~50 μm で-600Hz付近まで低下する。そして、変動周波数 f は、移動距離 z が200 μm 付近まで、-600Hzから-400Hzまで増加し、さらに、移動距離 z が350 μm 付近まで、-400Hzから400Hzまで増加している。すなわち、遠方領域K2では、変動周波数 f は、ゆらぎが生じている。

【0023】

FM-AFM9では、プローブ12と試料2間の静電気力やファンデルワールス力などの遠距離力によって遠距離で変動周波数が変化することがあり、遠距離力による影響は、真空中、気体中、および液体中などのすべての環境下で起こりうる。一方、液体中で試料2を観測するとき、図8(b)に示すように、変動周波数 f は、雰囲気温度変化、液体の対流などの影響を受けて、距離再現性、あるいは経過時間再現性の低いランダムなゆらぎが生じる。

30

【0024】

図9は、変動周波数のゆらぎに起因する問題点を説明するための図である。図8(b)のような遠距離でのゆらぎがあるとき、図9(a)は、微動機構部16を縮ませた状態で粗動機構部20を用いて、70 μm 接近させた後、微動機構部16を伸ばして接近させたときに短距離力が働く場合の模式図である。図9(b)は、微動機構部16を縮ませた状態で粗動機構部20を用いて、350 μm 接近させた後、微動機構部16を伸ばして接近させた時に短距離力が働く場合の模式図である。短距離力が働くと図9に示すように急峻に変動周波数が変化する。図9(a), (b)に示した例では、セットポイントをSP3 = 200Hzとしている。

40

【0025】

図9(a), (b)に示した変動周波数 f のゆらぎは、たとえば移動距離 $z_3 = 70\mu\text{m}$ 付近で、SP3に対する変動周波数 f の差が $f_3 = -800\text{Hz}$ と、周波数が低くなる方向に大きく揺らいでいる。移動距離 z_3 の位置でプローブ12の先端部と試料表面3との間に短距離力が働くと仮定した場合、移動距離 z_3 の手前で変動周波数 f が仮想線のように急激に上昇する。この時、微動機構を伸ばしていったときアプローチが終了

50

したと判断されるセットポイントは+800Hzとなり、始めに設定した200Hzを大きく上回る。また、図9(b)は、たとえば移動距離 $z_4 = 350\mu\text{m}$ 付近で、SP3に対する変動周波数 f の差が $f_4 = +200\text{Hz}$ と、周波数が高くなる方向に揺らいでいる。移動距離 z_4 の位置でプローブ12の先端部と試料表面3との間に短距離力が働くと仮定した場合、短距離力が働く前にゆらぎによってセットポイントを超えアプローチが終了してしまう。

【0026】

このような場合、プローブ12の先端部と試料表面3とを適切なセットポイントで接近させるためには、変動周波数のゆらぎに応じてセットポイントを再調整する必要があり、セットポイントの再調整を行う度に、アプローチ動作の停止と再開を手動で行う必要がある。

10

【0027】

第2の従来技術は、表面観察時における最適な測定条件、たとえばセットポイントを探索するものであり、試料をプローブに近接するものではない。第3の従来技術は、振幅量の増減に注目して、試料をプローブに近接させるものであるが、変動周波数にゆらぎがある場合、第1の従来技術と同様に、手動で再調整を行う必要がある。第4,5の従来技術も、試料をプローブに近接させるものであるが、変動周波数にゆらぎがある場合、第1の従来技術と同様に、手動で再調整を行う必要がある。

【0028】

本発明の目的は、振動体の変動周波数に距離や、経過時間や雰囲気温度に依存するゆらぎがあっても、ゆらぎによってアプローチ動作が終了することなく、かつプローブと試料間に設定値以上の短距離力が働くことを避けながら、原子間力が働く距離まで振動体と試料とを正確に接近させることができる制御装置、原子間力顕微鏡、制御方法およびプログラムを提供することである。

20

【課題を解決するための手段】

【0029】

本発明は、試料と振動体とを接近させる方向に移動する機構部による試料または振動体の移動を制御する制御部と、

予め定める基準周波数に対して変動する振動体の変動周波数を検出する検出部とを含み、

30

制御部は、試料または振動体の移動を開始するように機構部を制御した後、予め定める条件が満たされる度に、前記予め定める条件が満たされた時点で検出部によって検出された変動周波数に予め定めるオフセット周波数を加算した周波数を閾値周波数として設定し、設定した後、検出部によって検出される変動周波数が閾値周波数以上になると、試料または振動体の移動を停止するよう機構部を制御することを特徴とする制御装置である。

【0030】

また本発明は、前記予め定める条件は、前記制御部が前記機構部による試料または振動体の移動を開始させたとき、または前記制御部が前記機構部による試料または振動体の移動を開始させた後、前記予め定めるオフセット周波数を加算した周波数を閾値周波数としたときから、前記機構部が試料を予め定める距離移動したという条件であることを特徴とする。

40

【0031】

また本発明は、前記予め定める条件は、前記制御部が前記機構部による試料または振動体の移動を開始させたとき、または前記制御部が前記機構部による試料または振動体の移動を開始させた後、前記予め定めるオフセット周波数を加算した周波数を閾値周波数としたときから、予め定める時間が経過したという条件であることを特徴とする。

【0032】

また本発明は、前記予め定める条件は、前記制御部が前記機構部による試料または振動体の移動を開始させたとき、または前記制御部が前記機構部による試料または振動体の移動を開始させた後、前記予め定めるオフセット周波数を加算した周波数を閾値周波数とし

50

たときから、前記変動周波数の変動量が予め定める変動量変化したという条件であることを特徴とする。

【0033】

また本発明は、振動体と、
試料と振動体とを接近させる方向に移動する機構部と、
前記制御装置とを備えることを特徴とする原子間力顕微鏡である。

【0034】

また本発明は、試料と振動体とを接近させる方向に移動する機構部による試料または振動体の移動を制御する制御部と、予め定める基準周波数に対して変動する振動体の変動周波数を検出する検出部とを含む制御装置が機構部を制御する制御方法であって、

10

機構部による試料または振動体の移動を開始する開始ステップと、

開始ステップで機構部による試料または振動体の移動が開始された後、予め定める条件が満たされる度に、前記予め定める条件が満たされた時点で検出部によって検出された変動周波数に予め定めるオフセット周波数を加算した周波数を閾値周波数として設定する閾値設定ステップと、

検出部によって検出される変動周波数が閾値設定ステップで設定された閾値周波数以上になると、機構部による試料または振動体の移動を停止する停止ステップとを含むことを特徴とする制御方法である。

【0035】

また本発明は、予め定める基準周波数に対して変動する振動体の変動周波数を検出する検出部と、コンピュータとを含む制御装置のコンピュータに、

20

試料と振動体とを接近させる方向に移動する機構部による試料または振動体の移動を開始する開始ステップと、

開始ステップで機構部による試料または振動体の移動が開始された後、予め定める条件が満たされる度に、前記予め定める条件が満たされた時点で検出部によって検出された変動周波数に予め定めるオフセット周波数を加算した周波数を閾値周波数として設定する閾値設定ステップと、

検出部によって検出される変動周波数が閾値設定ステップで設定された閾値周波数以上になると、機構部による試料または振動体の移動を停止する停止ステップとを実行させるためのプログラムである。

30

【発明の効果】

【0036】

本発明によれば、制御部によって、試料と振動体とを接近させる方向に移動する機構部による試料または振動体の移動が制御される。検出部によって、振動体が振動する周波数が予め定める基準周波数に対して変動する変動周波数が検出される。そして、制御部によって、試料または振動体の移動を開始するように機構部を制御した後、予め定める条件が満たされる度に、前記予め定める条件が満たされた時点で検出部によって検出された変動周波数に予め定めるオフセット周波数を加算した周波数が閾値周波数とされ、検出部によって検出される変動周波数が閾値周波数以上になると、試料または振動体の移動を停止するよう機構部が制御される。

40

【0037】

すなわち、閾値周波数が変動周波数のゆらぎに応じて再設定されるので、変動周波数にゆらぎがあっても、ゆらぎによってアプローチ動作が終了することなく、かつプローブおよび試料に損傷を与えることなく、原子間力が働く距離まで振動体と試料とを正確に接近させることができる。

【0038】

また本発明によれば、前記予め定める条件は、前記制御部が前記機構部による試料または振動体の移動を開始させたとき、または前記制御部が前記機構部による試料または振動体の移動を開始させた後、前記予め定めるオフセット周波数を加算した周波数を閾値周波数としたときから、前記機構部が試料を予め定める距離移動したという条件であるので、

50

機構部による移動を制御する制御部自身の情報によって機構部を制御することができる。

【0039】

また本発明によれば、前記予め定める条件は、前記制御部が前記機構部による試料または振動体の移動を開始させたとき、または前記制御部が前記機構部による試料または振動体の移動を開始させた後、前記予め定めるオフセット周波数を加算した周波数を閾値周波数としたときから、予め定める時間が経過したという条件であるので、制御装置が計時機能を有していれば、その機能を利用して機構部を制御することができる。

【0040】

また本発明によれば、前記予め定める条件は、前記制御部が前記機構部による試料または振動体の移動を開始させたとき、または前記制御部が前記機構部による試料または振動体の移動を開始させた後、前記予め定めるオフセット周波数を加算した周波数を閾値周波数としたときから、前記変動周波数の変動量が予め定める変動量変化したという条件であるので、検出部が検出する変動周波数に基づいて機構部を制御することができる。

10

【0041】

また本発明によれば、振動体と、試料と振動体とを接近させる方向に移動する機構部と、前記制御装置とを備えるので、振動体の変動周波数にゆらぎがあっても、ゆらぎによってアプローチ動作が終了することなく、かつプローブおよび試料に損傷を与えることなく、原子間力が働く距離まで振動体と試料とを正確に接近させることができる原子間力顕微鏡を実現することができる。

【0042】

また本発明によれば、試料と振動体とを接近させる方向に移動する機構部による試料または振動体の移動を制御する制御部と、振動体が振動する周波数が予め定める基準周波数に対して変動する変動周波数を検出する検出部とを含む制御装置が機構部を制御するにあたって、開始ステップでは、機構部による試料または振動体の移動を開始する。閾値設定ステップでは、開始ステップで機構部による試料または振動体の移動が開始された後、予め定める条件が満たされる度に、前記予め定める条件が満たされた時点で検出部によって検出された変動周波数に予め定めるオフセット周波数を加算した周波数を閾値周波数とする。そして、停止ステップでは、検出部によって検出される変動周波数が閾値設定ステップで設定された閾値周波数以上になると、機構部による試料または振動体の移動を停止する。

20

30

【0043】

すなわち、閾値周波数が変動周波数のゆらぎに応じて再設定されるので、変動周波数にゆらぎがあっても、ゆらぎによってアプローチ動作が終了することなく、かつプローブおよび試料に損傷を与えることなく、原子間力が働く距離まで振動体と試料とを正確に接近させることができる。

【0044】

また本発明によれば、振動体が振動する周波数が予め定める基準周波数に対して変動する変動周波数を検出する検出部と、コンピュータとを含む制御装置のコンピュータに、試料と振動体とを接近させる方向に移動する機構部による試料または振動体の移動を開始する開始ステップと、開始ステップで機構部による試料または振動体の移動が開始された後、予め定める条件が満たされる度に、前記予め定める条件が満たされた時点で検出部によって検出された変動周波数に予め定めるオフセット周波数を加算した周波数を閾値周波数とする閾値設定ステップと、検出部によって検出される変動周波数が閾値設定ステップで設定された閾値周波数以上になると、機構部による試料または振動体の移動を停止する停止ステップとを実行させるためのプログラムとして提供することができる。

40

【図面の簡単な説明】

【0045】

【図1】本発明の一実施形態である周波数変調方式原子間力顕微鏡1の構成を模式的に示す図である。

【図2】粗動機構制御部153による粗動制御処理を示すフローチャートである。

50

【図 3】変動周波数とセットポイントとの関係を示す図である。

【図 4】第 1 の従来技術である周波数変調方式原子間力顕微鏡 9 の構成を模式的に示す図である。

【図 5】粗動機構部 20 による試料 2 の移動範囲を示す図である。

【図 6】粗動機構制御部 953 による粗動基本処理を示すフローチャートである。

【図 7】変動周波数とセットポイントとの関係を示す図である。

【図 8】近傍領域で微動機構部 16 の移動距離に対する変動周波数 f と、遠方領域での粗動機構部 20 による移動距離に対する変動周波数 f との相違を説明するための図である。

【図 9】変動周波数のゆらぎに起因する問題点を説明するための図である。

10

【発明を実施するための形態】

【0046】

図 1 は、本発明の一実施形態である周波数変調方式原子間力顕微鏡 (Frequency-Modulation Atomic Force Microscope: 略称 FM - AFM) 1 の構成を模式的に示す図である。FM - AFM 1 は、カンチレバー 11、変位検出計 14、周波数検出装置 10、制御コントローラ 15、微動機構部 (図 1 では「Z piezo」と記す) 16、XY 軸方向移動部 (図 1 では「XY piezo」と記す) 17、テーブル 18 および粗動機構部 20 を含んで構成される。周波数検出装置 10 および制御コントローラ 15 は、制御装置を構成する。本発明に係る制御方法は、制御コントローラ 15 で処理される。

【0047】

20

振動体であるカンチレバー 11 は、一端が FM - AFM 1 の図示しない筐体に支持され、他端にプローブ 12 が設けられる。カンチレバー 11 は、図示しない圧電素子によって、プローブ 12 が試料 2 に近接および離反する方向に振動される。カンチレバー 11 の共振周波数は、プローブ 12 の先端部と試料表面 3 との距離によって変化する。これは、プローブ 12 の先端部と試料表面 3 との間に働く原子間力、つまり短距離相互作用力 (以下「短距離力」ともいう) が、距離によって変化するためである。カンチレバー 11 の共振周波数 f は、図示しない圧電素子によってカンチレバー 11 を振動させる基準となる基準周波数を f_0 とし、プローブ 12 の先端部と試料表面 3 との距離によって変動する変動分の変動周波数を f とすると、 $f = f_0 + f$ である。

【0048】

30

変位検出計 14 は、共振周波数 f で振動するカンチレバー 11 の変位を、たとえばレーザー光を利用して検出し、検出した変位を表す電気信号を生成し、生成した電気信号を入力信号として周波数検出装置 10 に送る。

【0049】

試料 2 は、微動機構部 16 の鉛直方向上部に固定されるテーブル 18 に載置される。微動機構部 16 は、たとえば圧電素子によって構成され、距離制御部 151 から指示される電圧に応じて、テーブル 18 を Z 軸方向に移動する。Z 軸方向は、鉛直方向であり、テーブル 18 の面のうち試料 2 が載置される平面に垂直な方向であり、XY 軸は、Z 軸方向に直交する平面上の座標軸である。XY 軸方向移動部 17 は、たとえば圧電素子によって構成され、XY スキャン部 152 から指示される電圧に応じて、微動機構部 16 を X 軸方向

40

および Y 軸方向に移動する。

【0050】

機構部である粗動機構部 20 は、ステッピングモータあるいは直流モータを用いて構成され、試料 2、テーブル 18、微動機構部 16 および XY 軸方向移動部 17 を一体に載置し、後述する粗動機構制御部 153 の指示によって、載置した試料 2 などを Z 軸方向に移動する。粗動機構部 20 は、図 5 に示したように、プローブ 12 の先端部と試料表面 3 との距離が距離 L_1 から距離 L_2 までの範囲で、たとえば数 μm から数 nm までの範囲で、試料 2 をプローブに近接または離反させることができる。また、粗動機構部 20 は、カンチレバー 11 を移動させる部位に設置し、カンチレバー 11 を接近させてもよい。

【0051】

50

検出部である周波数検出装置 10 は、ヘテロダイン回路および位相同期 (Phase Locked Loop : 略称 PLL) 回路などを含んで構成され、変位検出計 14 から受け取る入力信号に基づいて、変動周波数 f を表す電気信号を生成し、生成した電気信号を出力信号として制御コントローラ 15 に送る。

【0052】

制御コントローラ 15 は、距離制御部 151、XY スキャン部 152 および粗動機構制御部 153 を含んで構成される。制御コントローラ 15 は、たとえば図示しない中央処理装置 (以下「CPU」という) および図示しない記憶装置によって構成される。記憶装置は、たとえば半導体メモリからなり、CPU で実行されるプログラムおよびプログラムを実行するために必要な情報を記憶する。CPU は、記憶装置に記憶されるプログラムを実行することによって、距離制御部 151、XY スキャン部 152 および粗動機構制御部 153 などの機能を実現する。

10

【0053】

距離制御部 151 は、周波数検出装置 10 から受け取る出力信号、つまり変動周波数 f を表す電気信号が一定の値になるように、すなわち、プローブ 12 の先端部と試料表面 3 との距離が一定になるように、微動機構部 16 を制御する。微動機構部 16 は、距離制御部 151 からの指示に応じて、テーブル 18 を上下し、プローブ 12 の先端部と試料表面 3 との距離を一定に保つ。

【0054】

XY スキャン部 152 は、テーブル 18 を X 軸方向および Y 軸方向に移動し、試料表面 3 の全面を走査するように、XY 軸方向移動部 17 を制御する。制御コントローラ 15 は、テーブル 18 が XY 軸方向に移動するとき、プローブ 12 の先端部と試料表面 3 との距離が一定になる Z 軸方向のテーブル 18 の位置を記憶する。そして、記憶した Z 軸方向の位置を XYZ 軸の座標系でプロットすることによって、試料表面 3 の凹凸を画像として出力することができる。

20

【0055】

制御部である粗動機構制御部 153 は、カンチレバー 11 および試料 2 が FM - AFM 1 に設置された後、図示しない操作部から操作者によって試料 2 のアプローチが指示されると、粗動機構部 20 に、プローブ 12 に接近する方向への試料 2 の移動の開始を指示する。アプローチとは、カンチレバー 11 および試料 2 が FM - AFM 1 に設置されたときの位置から、つまり図 2 に示した距離 L_1 離れた位置から、プローブ 12 の先端部と試料表面 3 との間に短距離力が働く距離 L_2 まで、粗動機構部 20 によって、試料 2 をプローブ 12 に接近させることである。

30

【0056】

粗動機構制御部 153 は、周波数検出装置 10 から受け取る出力信号、つまり変動周波数 f を表す電気信号に基づいて、変動周波数 f がセットポイント以上になったか否かを判定し、変動周波数 f がセットポイント以上になると、試料 2 の移動を停止するように粗動機構部 20 を制御する。セットポイントは、変動周波数 f が、プローブ 12 の先端部と試料表面 3 との間に短距離力が働く距離、つまり距離 L_2 になったと判定するための閾値周波数である。

40

【0057】

粗動機構制御部 153 は、プローブ 12 に接近する方向への試料 2 の移動の開始を粗動機構部 20 に指示した後、予め定める条件が満たされる度に、予め定める条件が満たされた時点で、周波数検出装置 10 からの電気信号が示す変動周波数 f に、オフセット周波数を加算した値をセットポイントの値として再設定する。したがって、再設定は、再設定された後、予め定める条件が満たされる度に、繰り返されることになる。オフセット周波数は、操作者が試料 2 のアプローチを指示する前に、予め図示しない操作部によって操作者が設定し、設定されたオフセット周波数は、制御コントローラ 15 の記憶装置に記憶される。

【0058】

50

予め定める条件は、移動開始から、または移動開始後再設定されてから、たとえば試料 2 の移動距離が予め定める距離になったという条件、予め定める時間が経過したという条件、または変動周波数 f の変動量が予め定める変動量になったという条件である。いずれの条件でも、プローブ 1 2 の先端部と試料表面 3 との距離が短距離力が働き始める距離になってから、変動周波数 f が急激に上昇するとき、その上昇を検出することができる必要がある。

【0059】

予め定める条件を試料 2 の移動距離が予め定める距離になったという条件にする場合、予め定める距離は、短距離力が働き始めたことによる変動周波数 f の上昇幅が、ゆらぎによる変動周波数 f の変動幅を超える上昇幅となる第 1 の距離以上であり、かつ短距離力が働き始めてからプローブ 1 2 の先端部と試料表面 3 とが接触する第 2 の距離未満の範囲とする必要がある。好ましくは、この範囲内で第 1 の距離にできるだけ近い距離とし、プローブ 1 2 と試料 2 との接触の危険性を少なくする。

10

【0060】

予め定める条件を予め定める時間が経過したという条件にする場合、予め定める時間は、短距離力が働き始めたことによる変動周波数 f の上昇幅が、ゆらぎによる変動周波数 f の変動幅を超える上昇幅となる第 1 の時間以上であり、かつ短距離力が働き始めてからプローブ 1 2 の先端部と試料表面 3 とが接触する第 2 の時間未満の範囲とする必要がある。好ましくは、この範囲内で第 1 の時間にできるだけ近い時間とし、プローブ 1 2 と試料 2 との接触の危険性を少なくする。

20

【0061】

予め定める条件を変動周波数 f の変動量が予め定める変動量になったという条件にする場合、予め定める変動量は、短距離力が働き始めたことによる変動周波数 f の上昇幅が、ゆらぎによる変動周波数 f の上昇幅を超える変動幅となる第 1 の変動量以上であり、かつ短距離力が働き始めてからプローブ 1 2 の先端部と試料表面 3 とが接触する第 2 の変動量未満の範囲とする必要がある。好ましくは、この範囲内で第 1 の変動量にできるだけ近い変動量とし、プローブ 1 2 と試料 2 との接触の危険性を少なくする。

【0062】

図 2 は、粗動機構制御部 1 5 3 による粗動制御処理を示すフローチャートである。粗動機構制御部 1 5 3 は、図示しない操作部から、試料 2 のアプローチが指示されると、ステップ B 1 に移る。

30

【0063】

開始ステップであるステップ A 1 では、粗動機構制御部 1 5 3 は、プローブ 1 2 に接近する方向への試料 2 の移動の開始を粗動機構部 2 0 に指示した後、粗動機構部 2 0 を用いて試料 2 をプローブ 1 2 に接近させる。停止ステップであるステップ A 2 では、粗動機構制御部 1 5 3 は、微動機構部 1 6 の制御距離範囲内で入力が入力がセットポイントを超えるか否かを判定する。微動機構部 1 6 の制御距離範囲は、一般的に数 μm である。入力は、周波数検出装置 1 0 からの変動周波数 f を表す電気信号である。粗動機構制御部 1 5 3 は、周波数検出装置 1 0 からの変動周波数 f を表す電気信号に基づいて、変動周波数 f がセットポイント以上になったか否かを判定する。

40

【0064】

粗動機構制御部 1 5 3 は、変動周波数 f がセットポイント以上になったとき、微動機構部 1 6 の制御距離範囲内で入力が入力がセットポイントを超えたと判定し、移動を停止するように粗動機構部 2 0 を制御した後、粗動制御処理を終了する。粗動機構制御部 1 5 3 は、変動周波数 f がセットポイント未満であるとき、微動機構部 1 6 の制御距離範囲内で入力が入力がセットポイントを超えていないと判定し、ステップ A 3 に進む。

【0065】

閾値設定ステップであるステップ A 3 では、粗動機構制御部 1 5 3 は、セットポイントを再設定して、ステップ A 1 に戻る。セットポイントの再設定は、予め定める条件が満たされているときのみ行われ、予め定める条件が満たされた時点で、周波数検出装置 1 0 か

50

らの変動周波数 f を表す電気信号が示す変動周波数 f に、オフセット周波数を加算した周波数を、新たなセットポイントとして設定する。

【0066】

図3は、変動周波数 f とセットポイントとの関係を示す図である。横軸が試料2の移動距離 z (nm) であり、縦軸が変動周波数 f (Hz) である。変動周波数曲線 df は、試料2の移動距離 z に応じて変化する変動周波数 f を示し、セットポイント曲線 SP は、予め定める条件が満たされる度に、その時点での変動周波数曲線 df の値に応じて再設定されるセットポイントを示す。セットポイントは、変動周波数曲線 df が示す変動周波数 f に、オフセット周波数を加算した値である。図3に示した例では、オフセット周波数は、200 Hz である。

10

【0067】

このように、粗動機構制御部153は、予め定める条件が満たされる度に、予め定める条件が満たされた時点で、周波数検出装置10からの電気信号が示す変動周波数 f に、設定されているオフセット周波数を加算した値をセットポイントの値として再設定するので、変動周波数 f にゆらぎがあっても、プローブ12の先端部と試料表面3との間に短距離力が働く距離になったことによる変動周波数 f の上昇を的確に判断することができる。

【0068】

上述した実施形態では、制御コントローラ15のCPUに実行させるプログラムであって、粗動制御処理を行うプログラムを含むプログラムを記憶装置に記憶したが、記憶装置をRAM (Random Access Memory) などの半導体メモリによって構成する場合は、他の装置に記憶される粗動制御処理を行うプログラムを含むプログラムを、通信回線を介してダウンロードしてRAMに記憶するか、あるいは着脱可能な記録媒体に記憶されるプログラムを読み込んでRAMに記憶する構成としてもよい。

20

【0069】

また、上述した実施形態では、粗動機構制御部153をFM-AFM1、つまり周波数変調方式の原子間力顕微鏡に適用した例を示したが、周波数変調方式に限定されるものではなく、目的とするプローブと試料表面間での相互作用力が短距離で働き距離に依存する信号に加えて、距離や経過時間や温度変化などに起因する信号のゆらぎや遠距離力が働くような場合に有効であり、コンタクト方式の原子間力顕微鏡や、振幅変調方式原子間力顕微鏡や、磁気力顕微鏡などにも応用することができる。

30

【0070】

このように、粗動機構制御部153によって、試料2とカンチレバー11とを接近させる方向に移動する粗動機構部20による試料2またはカンチレバー11の移動が制御される。周波数検出装置10によって、予め定める基準周波数に対して変動するカンチレバー11の変動周波数 f が検出される。そして、粗動機構制御部153によって、試料2またはカンチレバー11の移動を開始するように粗動機構部20を制御した後、予め定める条件が満たされる度に、前記予め定める条件が満たされた時点で周波数検出装置10によって検出された変動周波数 f に予め定めるオフセット周波数を加算した周波数がセットポイントとして設定され、設定された後、周波数検出装置10によって検出される変動周波数 f がセットポイント以上になると、試料2またはカンチレバー11の移動を停止するよう粗動機構部20が制御される。

40

【0071】

すなわち、セットポイントが変動周波数 f のゆらぎに応じて再設定されるので、変動周波数 f にゆらぎがあっても、ゆらぎによってアプローチ動作が終了することなく、かつプローブ12および試料2に損傷を与えることなく、原子間力が働く距離までカンチレバー11と試料2とを正確に接近させることができる。

【0072】

さらに、前記予め定める条件は、粗動機構制御部153が粗動機構部20による試料2またはカンチレバー11の移動を開始させたとき、または粗動機構制御部153が粗動機

50

構部 20 による試料 2 またはカンチレバー 11 の移動を開始させた後、前記予め定めるオフセット周波数を加算した周波数を閾値周波数としたときから、粗動機構部 20 が試料 2 を予め定める距離移動したという条件であるので、粗動機構部 20 による移動を制御する粗動機構制御部 153 自身の情報によって制御することができる。

【0073】

さらに、前記予め定める条件は、粗動機構制御部 153 が粗動機構部 20 による試料 2 またはカンチレバー 11 の移動を開始させたとき、または粗動機構制御部 153 が粗動機構部 20 による試料 2 またはカンチレバー 11 の移動を開始させた後、前記予め定めるオフセット周波数を加算した周波数を閾値周波数としたときから、予め定める時間が経過したという条件であるので、制御装置が計時機能を有していれば、その機能を利用して制御することができる。

10

【0074】

さらに、前記予め定める条件は、粗動機構制御部 153 が粗動機構部 20 による試料 2 またはカンチレバー 11 の移動を開始させたとき、または粗動機構制御部 153 が粗動機構部 20 による試料 2 またはカンチレバー 11 の移動を開始させた後、前記予め定めるオフセット周波数を加算した周波数を閾値周波数としたときから、変動周波数 f の変動量が予め定める変動量変化したという条件であるので、周波数検出装置 10 が検出する変動周波数 f に基づいて制御することができる。

【0075】

さらに、カンチレバー 11 と、試料 2 とカンチレバー 11 とを接近させる方向に移動する粗動機構部 20 と、周波数検出装置 10 および制御コントローラ 15 とを備えるので、カンチレバー 11 の変動周波数 f にゆらぎがあっても、ゆらぎによってアプローチ動作が終了することなく、かつプローブ 12 および試料 2 に損傷を与えることなく、原子間力が働く距離までカンチレバー 11 と試料 2 とを正確に接近させることができる FM - AFM 1 を実現することができる。

20

【0076】

さらに、試料 2 とカンチレバー 11 とを接近させる方向に移動する粗動機構部 20 による試料 2 またはカンチレバー 11 の移動を制御する粗動機構制御部 153 と、予め定める基準周波数に対して変動するカンチレバー 11 の変動周波数 f を検出する周波数検出装置 10 とを含む制御装置が粗動機構部 20 を制御するにあたって、図 2 に示したフローチャートで、ステップ A1 では、粗動機構部 20 による試料 2 またはカンチレバー 11 の移動を開始する。ステップ A3 では、ステップ A1 で粗動機構部 20 による試料 2 またはカンチレバー 11 の移動が開始された後、予め定める条件が満たされる度に、前記予め定める条件が満たされた時点で周波数検出装置 10 によって検出された変動周波数 f に予め定めるオフセット周波数を加算した周波数をセットポイントとして設定する。そして、ステップ A2 では、周波数検出装置 10 によって検出される変動周波数 f がステップ A3 で設定されたセットポイント以上になると、粗動機構部 20 による試料 2 またはカンチレバー 11 の移動を停止する。

30

【0077】

すなわち、セットポイントが変動周波数 f のゆらぎに応じて再設定されるので、変動周波数 f にゆらぎがあっても、ゆらぎによってアプローチ動作が終了することなく、かつプローブ 12 および試料 2 に損傷を与えることなく、原子間力が働く距離までカンチレバー 11 と試料 2 とを正確に接近させることができる。

40

【0078】

さらに、予め定める基準周波数に対して変動するカンチレバー 11 の変動周波数 f を検出する周波数検出装置 10 と、コンピュータを含む制御装置のコンピュータに、試料 2 とカンチレバー 11 とを接近させる方向に移動する粗動機構部 20 による試料 2 またはカンチレバー 11 の移動を開始する図 2 に示したステップ A1 と、ステップ A1 で粗動機構部 20 による試料 2 またはカンチレバー 11 の移動が開始された後、予め定める条件が満たされる度に、前記予め定める条件が満たされた時点で周波数検出装置 10 によって検

50

出された変動周波数 f に予め定めるオフセット周波数を加算した周波数をセットポイントとして設定する図 2 に示したステップ A 3 と、周波数検出装置 10 によって検出される変動周波数 f がステップ A 3 で設定されたセットポイント以上になると、粗動機構部 20 による試料 2 またはカンチレバー 11 の移動を停止する図 2 に示したステップ A 2 とを実行させるためのプログラムとして提供することができる。

【符号の説明】

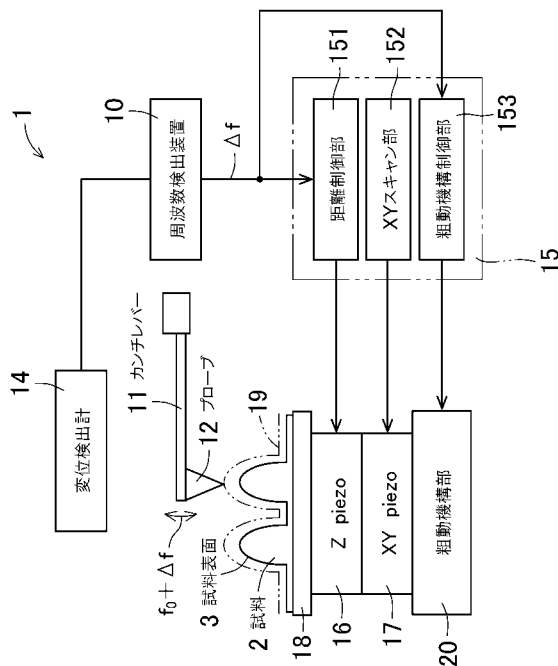
【0079】

- 1, 9 FM - AFM
- 2 試料
- 3 試料表面
- 10 周波数検出装置
- 11 カンチレバー
- 12 プローブ
- 14 変位検出計
- 15, 95 制御コントローラ
- 16 微動機構部
- 17 XY 軸方向移動部
- 18 テーブル
- 20 粗動機構部
- 151 距離制御部
- 152 XY スキャン部
- 153, 953 粗動機構制御部

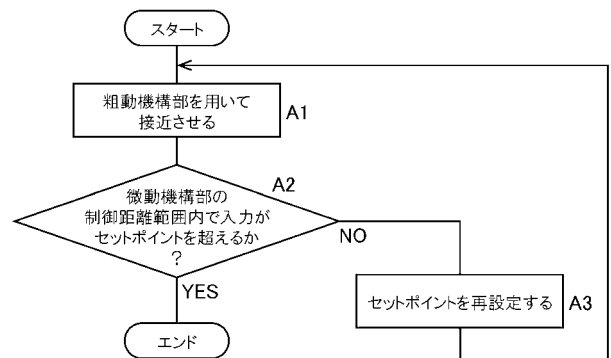
10

20

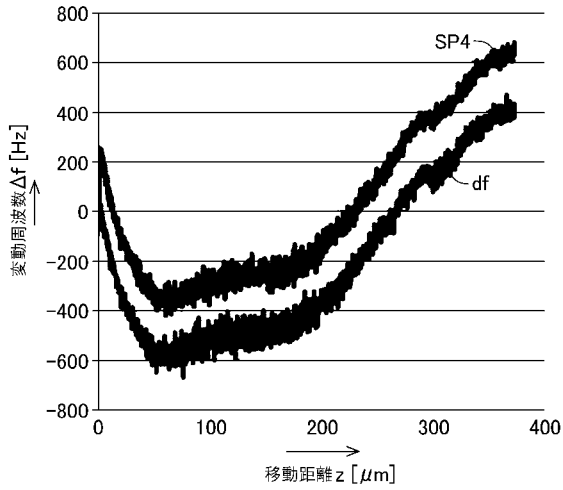
【図 1】



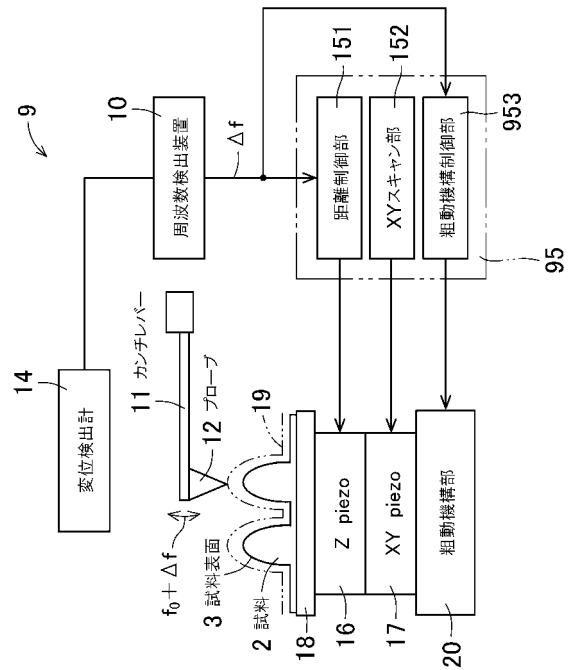
【図 2】



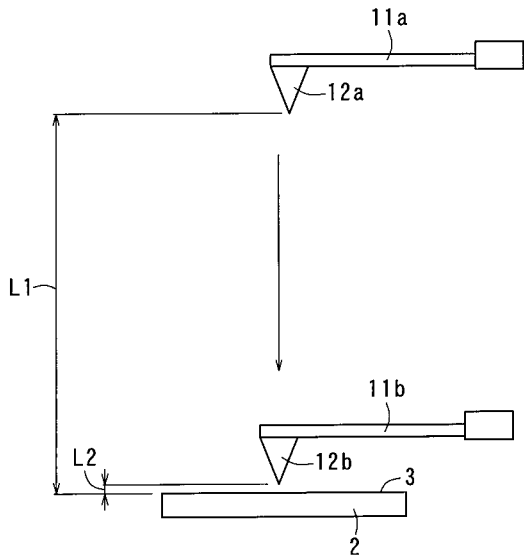
【 図 3 】



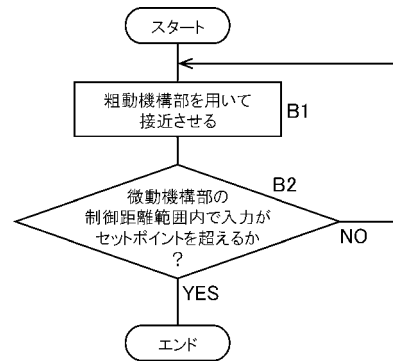
【 図 4 】



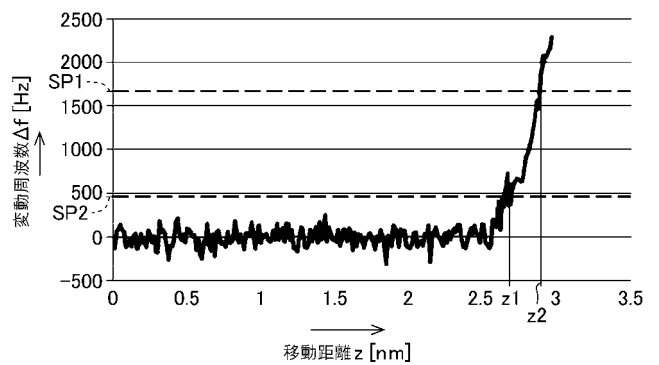
【 図 5 】



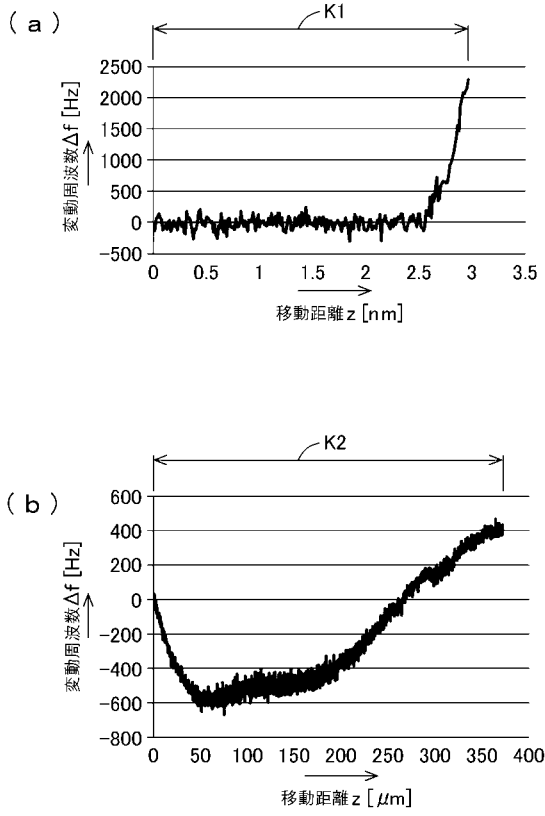
【 図 6 】



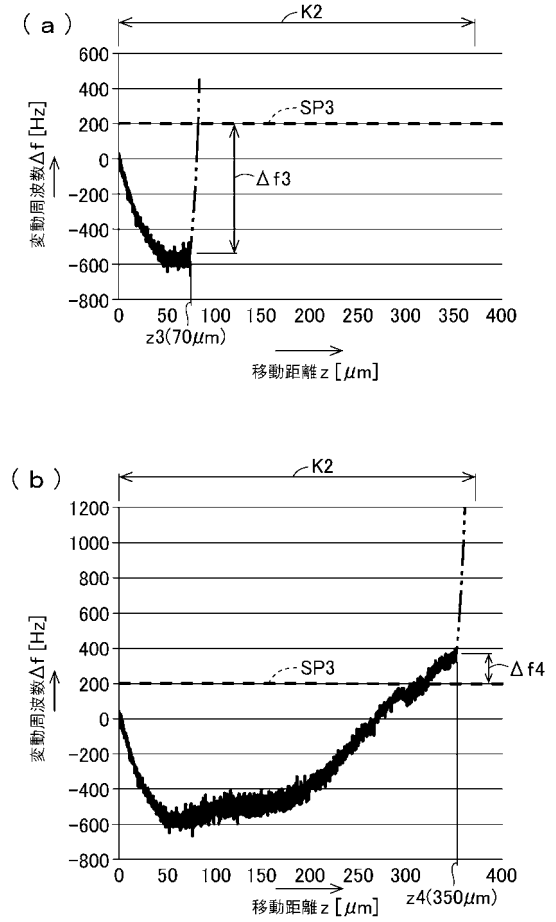
【 図 7 】



【 図 8 】



【 図 9 】



フロントページの続き

- (72)発明者 鈴木 一博
京都府京都市左京区吉田本町 国立大学法人京都大学内
- (72)発明者 小林 圭
京都府京都市左京区吉田本町 国立大学法人京都大学内
- (72)発明者 山田 啓文
京都府京都市左京区吉田本町 国立大学法人京都大学内