

(12) 特許協力条約に基づいて公開された国際出願

(19) 世界知的所有権機関
国際事務局

(43) 国際公開日
2016年9月15日(15.09.2016)



(10) 国際公開番号
WO 2016/143052 A1

- (51) 国際特許分類:
G01Q 30/06 (2010.01)
- (21) 国際出願番号: PCT/JP2015/056918
- (22) 国際出願日: 2015年3月10日(10.03.2015)
- (25) 国際出願の言語: 日本語
- (26) 国際公開の言語: 日本語
- (71) 出願人: 株式会社島津製作所 (SHIMADZU CORPORATION) [JP/JP]; 〒6048511 京都府京都市中京区西ノ京桑原町1番地 Kyoto (JP).
- (72) 発明者: 新井 浩 (ARAI, Hiroshi); 〒6048511 京都府京都市中京区西ノ京桑原町1番地 株式会社島津製作所内 Kyoto (JP). 大田 昌弘 (OHTA, Masahiro); 〒6048511 京都府京都市中京区西ノ京桑原町1番地 株式会社島津製作所内 Kyoto (JP). 松田 政夫 (MATSUDA, Masao); 〒6048511 京都府京都市中京区西ノ京桑原町1番地 株式会社島津製作所内 Kyoto (JP).
- (74) 代理人: 特許業務法人京都国際特許事務所 (KYOTO INTERNATIONAL PATENT LAW OFFICE); 〒6008091 京都府京都市下京区東洞院通四條下ル元悪王子町37番地 豊元四條烏丸ビル Kyoto (JP).

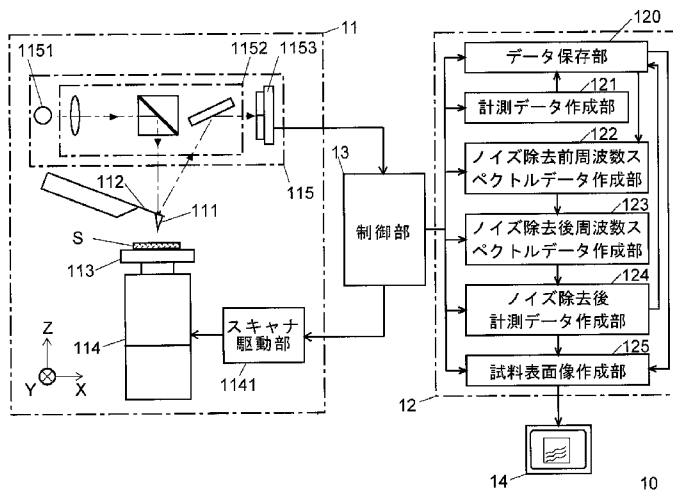
- (81) 指定国 (表示のない限り、全ての種類の国内保護が可能): AE, AG, AL, AM, AO, AT, AU, AZ, BA, BB, BG, BH, BN, BR, BW, BY, BZ, CA, CH, CL, CN, CO, CR, CU, CZ, DE, DK, DM, DO, DZ, EC, EE, EG, ES, FI, GB, GD, GE, GH, GM, GT, HN, HR, HU, ID, IL, IN, IR, IS, JP, KE, KG, KN, KP, KR, KZ, LA, LC, LK, LR, LS, LU, LY, MA, MD, ME, MG, 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, SM, ST, SV, SY, TH, TJ, TM, TN, TR, TT, TZ, UA, UG, US, UZ, VC, VN, ZA, ZM, ZW.
- (84) 指定国 (表示のない限り、全ての種類の広域保護が可能): ARIPO (BW, GH, GM, KE, LR, LS, MW, MZ, NA, RW, SD, SL, ST, SZ, TZ, UG, ZM, ZW), ユーラシア (AM, AZ, BY, KG, KZ, RU, TJ, TM), ヨーロッパ (AL, AT, BE, BG, CH, CY, CZ, DE, DK, EE, ES, FI, FR, GB, GR, HR, HU, IE, IS, IT, LT, LU, LV, MC, MK, MT, NL, NO, PL, PT, RO, RS, SE, SI, SK, SM, TR), OAPI (BF, BJ, CF, CG, CI, CM, GA, GN, GQ, GW, KM, ML, MR, NE, SN, TD, TG).

添付公開書類:

— 国際調査報告 (条約第21条(3))

(54) Title: SCANNING PROBE MICROSCOPE

(54) 発明の名称: 走査型プローブ顕微鏡



- 13 Control unit
120 Data storage unit
121 Measurement data creation unit
122 Pre-noise removal frequency spectral data creation unit
123 Post-noise removal frequency spectral data creation unit
124 Post-noise removal measurement data creation unit
125 Sample surface image creation unit
1141 Scanner driving unit

(57) Abstract: Provided is a scanning probe microscope 10 that comprises a probe 111, a sample holder 113 for holding a sample S, a scanning unit (scanner 114) for causing the probe 111 and the sample holder 113 to move relative to each other so as to scan the surface of the sample S with the probe 111, and a measuring unit 115 for measuring the interaction between the probe 111 and the sample S, and creates an image of the surface of the sample on the basis of the measurement results thereof, wherein the scanning probe microscope 10 is provided with: a measurement data storage unit (data storage unit 120) that stores measurement data obtained by the measuring unit 115; a pre-noise removal frequency spectral data creation unit 122 that, at a predetermined plurality of timings during scanning of the surface, creates pre-noise removal frequency spectral data by Fourier transforming measurement data in the measurement data storage unit obtained within a predetermined period prior to each timing; a post-noise removal frequency spectral data creation unit 123 that creates post-noise removal frequency spectral data by removing either one or both of the background and data of a predetermined frequency band from the noise removal processing data; a post-noise removal measurement data creation unit 124 that creates sample surface image creation data by inverse Fourier transforming the post-noise removal frequency spectral data; and a

sample surface image creation unit 125 that creates an image of the surface on the basis of the sample surface image creation data each time the sample surface image creation data is created.

(57) 要約:

[続葉有]



走査型プローブ顕微鏡 10 は、探針 111 と、試料 S を保持する試料ホルダ 113 と、試料 S の表面を探針 111 で走査するように探針 111 と試料ホルダ 113 を相対的に移動させる走査部（スキャナ 114）と、探針 111 と試料 S の間に生じる相互作用を計測する計測部 115 を有し、相互作用の計測結果に基づいて該表面の像を作成するものであって、計測部 115 により得られる計測データを保存する計測データ保存部（データ保存部 120）と、前記表面の走査中における所定の複数のタイミングにおいて、各タイミング以前の所定の期間内に得られた計測データ保存部中の計測データをフーリエ変換することにより、ノイズ除去前周波数スペクトルデータを作成するノイズ除去前周波数スペクトルデータ作成部 122 と、ノイズ除去処理用データからバックグラウンド及び所定の周波数帯のデータのいずれか一方又は両方を除去することにより、ノイズ除去後周波数スペクトルデータを作成するノイズ除去後周波数スペクトルデータ作成部 123 と、ノイズ除去後周波数スペクトルデータを逆フーリエ変換することにより試料表面像作成用データを作成するノイズ除去後計測データ作成部 124 と、試料表面像作成用データが作成される毎に、該試料表面像作成用データに基づいて前記表面の像を作成する試料表面像作成部 125 とを備える。

明 細 書

発明の名称：走査型プローブ顕微鏡

技術分野

[0001] 本発明は、原子間力顕微鏡（Atomic Force Microscope: AFM）や走査型トンネル顕微鏡（Scanning Tunneling Microscope: STM）等の走査型プローブ顕微鏡（Scanning Probe Microscope: SPM）に関する。

背景技術

[0002] SPMは、探針で試料の表面を走査しながら、探針と試料の間に生じる相互作用に基づいて、試料表面の微細構造の像を得るものである。ここで検出する相互作用として原子間力を用いるものがAFM、トンネル電流を用いるものがSTMである。AFMでは一般に、カンチレバー（片持ち梁）の先端付近に探針を設け、圧電素子によってカンチレバーを上下に振動させながら探針による試料表面の走査を行い、その振動の振幅、位相及び／又は周波数の変化から原子間力の変化を求める。これにより、試料表面の走査中におけるわずかな原子間力の変化を精度良く計測することができる。

[0003] これら原子間力やトンネル電流等の計測データには種々の要因によってノイズが重畳される。例えば、探針による試料表面の走査やAFMにおけるカンチレバーへの振動の付与等に用いる電力を供給する電気回路から、計測データの信号に電氣的なノイズが重畳される。また、SPMの装置が床面や周囲の騒音（音波）から受ける機械的振動もノイズの原因となる。

[0004] SPMにおけるこれらのノイズの影響を排除するために、従来より種々の対策がなされている。例えば特許文献1及び非特許文献1には、SPMにより得られた計測データの電気信号に対して高速フーリエ変換（Fast Fourier Transform: FFT）を行うことによりパワースペクトルを作成し、そのパワースペクトルから特定の周波数においてピークを有するノイズやバックグラウンドをカットしたうえで、逆FFTを行うことによりノイズが除去された像を得ることが記載されている。

[0005] 特許文献2には、架台と該台上に空気ばねを用いて浮上させた定盤を有する除振機構に試料ステージを載置すると共に、試料ステージを防音カバーで覆ったSPMが記載されている。このSPMでは、床面からの機械的振動は除振機構により、周囲の騒音による機械的振動は防音カバーにより、それぞれ抑えられ、それにより像へのノイズの影響を低減させることができる。また、特許文献3には、SPMにおいて、試料台駆動機構の上に、鋳鉄や鉛等の制振合金から成る制振合金スペーサを介して試料台を設けることにより、試料が床面からの機械的振動を受けることを抑えることが記載されている。

先行技術文献

特許文献

[0006] 特許文献1：特開平10-073600号公報

特許文献2：特開平10-282118号公報

特許文献3：特開2007-218677号公報

非特許文献

[0007] 非特許文献1：「標準技術集 表面構造の原子領域分析 3. 走査型プローブ顕微鏡の要素技術 3-C. 信号処理とデータ処理 3-C-2. データ画像処理 3-C-2-c. データ加工 3-C-2-c2. フィルタリング」, [online], 2003年3月28日, 日本国特許庁, [2015年3月2日検索], インターネット<URL: http://www.jpo.go.jp/shiryou/s_sonota/hyoujun_gijutsu/spm/3_c_2_c2.htm>

発明の概要

発明が解決しようとする課題

[0008] SPMでは、試料表面のうち探針で走査し終えたところから順次、試料表面の像をディスプレイに表示してゆくことにより、ほぼリアルタイムで観測することが可能である。しかしながら、特許文献1及び非特許文献1に記載のSPMでは、SPMにより試料表面全体の計測データを取得した後に、FFT等のデータ処理を行うことによってノイズの除去を行うため、ノイズが除去された像を

リアルタイムで表示することはできない。

[0009] 一方、特許文献2及び3に記載のSPMでは、ほぼリアルタイムでの観測は可能である。しかし、これらのSPMで用いられる除振機構、防音カバー及び制振合金スペーサ等の除振装置は機械的振動を緩和するだけに過ぎず、機械的振動を十分には除去することができない。

[0010] 本発明が解決しようとする課題は、試料表面の像をほぼリアルタイムで観測することができ、且つ、機械的ノイズも十分に低減することができるSPMを提供することである。

課題を解決するための手段

[0011] 上記課題を解決するために成された本発明に係る走査型プローブ顕微鏡の第1の態様のものは、探針と、試料を保持する試料ホルダと、該試料ホルダに保持された試料の表面を該探針で走査するように該探針と試料ホルダを相対的に移動させる走査部と、該探針と該試料の間に生じる相互作用を計測する計測部を有し、該計測部による該相互作用の計測結果に基づいて該表面の像を作成する走査型プローブ顕微鏡であって、

- a) 前記計測部により得られる計測データを保存する計測データ保存部と、
 - b) 前記走査部による前記表面の走査中における所定の複数のタイミングにおいて、各タイミング以前の所定の期間内に得られた前記計測データ保存部中の計測データに対してノイズ除去処理を行うことにより試料表面像作成用データを作成する試料表面像作成用データ作成部と、
 - c) 前記試料表面像作成用データが作成される毎に、該試料表面像作成用データに基づいて前記表面の像を作成する試料表面像作成部と
- を備えることを特徴とする。

[0012] 第1の態様の走査型プローブ顕微鏡によれば、試料表面の走査中に、所定の複数のタイミング毎にノイズ除去処理が行われた試料表面像作成用データが作成され、その結果、それらのタイミング毎に順次、試料表面像作成部によって試料表面の画像が作成されてゆくため、ほぼリアルタイムで、ノイズが除去された試料表面像を得ることができる。また、計測データに対してこ

のようなデータ処理を行うことにより、電氣的なノイズばかりでなく、機械的振動によるノイズも低減することができる。

[0013] 上記タイミングは特に問わないが、例えば、試料表面の1方向に走査し、該方向に垂直な方向にわずかにずらしたうえで走査する場合において、1方向の走査を1回（片道1回）毎、あるいは2回（往復1回）毎等とすることができる。

[0014] 試料表面像作成用データ作成部における前記ノイズ除去処理には、計測データに対してフーリエ変換を行うことにより周波数スペクトルのデータを作成し、当該周波数スペクトルのデータからバックグラウンドやノイズである周波数帯のデータを除去したうえで逆フーリエ変換することにより試料表面像作成用データを作成するという、フーリエ変換による処理を好適に用いることができる。すなわち、上記試料表面像作成用データ作成部は、

b-1) 前記所定の複数のタイミングにおいて、各タイミング以前の所定の期間内に得られた前記計測データ保存部中の計測データをフーリエ変換することにより、ノイズ除去前周波数スペクトルデータを作成するノイズ除去前周波数スペクトルデータ作成部と、

b-2) 前記ノイズ除去前周波数スペクトルデータからバックグラウンド及び所定の周波数帯のデータのいずれか一方又は両方を除去することにより、ノイズ除去後周波数スペクトルデータを作成するノイズ除去後周波数スペクトルデータ作成部と、

b-3) 前記ノイズ除去後周波数スペクトルデータを逆フーリエ変換することにより試料表面像作成用データを作成するノイズ除去後計測データ作成部とを備えることが望ましい。

[0015] 前記ノイズ除去処理には、フーリエ変換を用いる方法の他に、例えば以下の方法を用いることができる。

(1) 移動平均法

処理対象のデータと、それよりも前又は／及び後に得られたデータを合わせた複数個のデータの平均値を、当該処理対象のデータにおけるノイズ除去

処理後の値とする。移動平均の値には、 n （自然数）個のデータの和を取って n で除することにより得られる単純移動平均値を用いてもよいし、処理対象のデータに近い時点で得られたデータにより重みを付けた加重移動平均値を用いてもよい。

(2) 局所フィルタ法

処理対象のデータが得られた点、及びその点の周囲にマトリクス状に配置された複数の点で得られたデータの平均値や中央値等を、当該処理対象のデータにおけるノイズ除去処理後の値とする。

(3) ノイズライン除去法

1 方向の走査を 1 回行う毎に得られるラインにつき、処理対象のラインで得られたデータの平均値や中央値などの指標値と、当該処理対象ラインよりも前又は／及び後に得られたラインで得られた指標値を比較し、それら指標値の差が所定値以上である場合には、当該処理対象ラインをノイズラインと判定する。そのうえで、ノイズラインの各点におけるデータと、各データに対応する、前又は／及び後に得られたラインのデータの平均値を取るか、あるいはノイズラインのデータを使用することなく前又は／及び後に得られたラインのデータを用いた補間処理を行うことにより、当該処理対象のデータにおけるノイズ除去処理後の値とする。

[0016] 本発明に係る走査型プローブ顕微鏡の第 2 の態様のものは、探針と、試料を保持する試料ホルダと、該試料ホルダに保持された試料の表面を該探針で走査するように該探針と試料ホルダを相対的に移動させる走査部と、該探針と該試料の間に生じる相互作用を計測する計測部を有し、該計測部による該相互作用の計測結果に基づいて該試料の表面の像を作成する走査型プローブ顕微鏡であって、

a) 前記試料ホルダに設けられた、該試料ホルダの振動を計測する振動計測部と、

b) 前記走査部による前記表面の走査中に、前記振動計測部により計測された該試料ホルダの振動のデータに基づいて、該試料ホルダの振動を打ち消す

ノイズ除去振動波形を前記走査部への駆動信号に重畳するノイズ除去振動付与部と、

c) 前記走査部による前記表面の走査中に順次、前記計測部により得られる計測データに基づいて前記表面の像を作成する試料表面像作成部とを備えることを特徴とする。

[0017] 第2の態様の走査型プローブ顕微鏡は、機械的振動によるノイズを十分に除去するものである。この走査型プローブ顕微鏡では、振動計測部により計測された外部振動のデータに基づいて該外部振動を打ち消すノイズ除去振動波形を走査部に与えることにより、外部から試料に与えられる機械的振動に起因したノイズを確実に除去することができる。この操作は試料表面の走査中に行うため、ほぼリアルタイムで、ノイズが除去された試料表面像を得ることができる。また、探針と試料ホルダの相対的な動きに対してノイズ除去振動を与えるという能動的な操作を行うことにより、除振装置によって受動的にノイズの抑制を行う場合よりも、試料表面像のノイズを低減することができる。

[0018] 第1の態様の走査型プローブ顕微鏡に更に、第2の態様の走査型プローブ顕微鏡において用いられる前記振動計測部及び前記ノイズ除去振動付与部を設けてもよい。

発明の効果

[0019] 本発明に係る第1及び第2の態様の走査型プローブ顕微鏡によれば、ノイズが除去された試料表面の像を、ほぼリアルタイムで観測することができ、且つ、機械的な除振装置のみを用いた場合よりもノイズを低減させることができる。

図面の簡単な説明

[0020] [図1]一般的な走査型プローブ顕微鏡において取得したデータに対してフーリエ変換によるノイズ除去処理を行う前(a)と行った後(b)の表面像の例を示す画像。

[図2]本発明に係る第1の態様の走査型プローブ顕微鏡の一実施例（第1実施

例)を示す概略構成図。

[図3]本発明に係る第2の態様の走査型プローブ顕微鏡の一実施例(第2実施例)を示す概略構成図。

[図4]第1実施例の走査型プローブ顕微鏡の構成と第2実施例の走査型プローブ顕微鏡の構成を組み合わせたものである第3実施例を示す概略構成図。

発明を実施するための形態

[0021] 本発明に係る第1の態様の走査型プローブ顕微鏡の例を第1実施例として、第2の態様の走査型プローブ顕微鏡の例を第2実施例として、それぞれ説明する。

実施例

[0022] [第1実施例]

図1は、一般的な走査型プローブ顕微鏡(同図の例では原子間力顕微鏡)によって得られたマイカ(雲母)の表面像である。従来の走査型プローブ顕微鏡では、ノイズ除去処理を行う前の表面像(図1(a))のデータに対してフーリエ変換を用いたノイズ除去処理を行うことにより、図1(b)に示すように、より鮮明な表面像が得られる。但し、図1(b)に示した画像は、画像1枚分のデータを全て取得した後に当該ノイズ除去処理を行ったものである。従来の走査型プローブ顕微鏡ではデータの取得中にはこのような鮮明な画像を得ることができなかった。第1実施例の走査型プローブ顕微鏡10は、データの取得中に上記ノイズ除去処理を行うことによって鮮明な画像を得るものである。

[0023] 第1実施例の走査型プローブ顕微鏡10の構成を説明する。この走査型プローブ顕微鏡10は原子間力顕微鏡であり、図2に示すように、測定部11、データ処理部12、制御部13及びディスプレイ14を有する。

[0024] 測定部11は、探針111、カンチレバー112、試料ホルダ113、スキャナ(走査部)114、及び計測部115を有する。探針111はカンチレバー112の先端付近に取り付けられており、試料ホルダ113に取り付けられる試料Sの表面に対向するように配置されている。カンチレバー11

2には圧電素子を取り付けられているが、圧電素子を動作させず固定状態とする場合(コンタクトモード)と、該圧電素子に所定の周波数の交流電圧が印加されることにより、カンチレバー112は該所定周期で上下方向(Z軸方向とする)に振動する場合とがある。スキャナ114は(カンチレバー112に取り付けられたものとは別の)圧電素子(図示せず)とスキャナ駆動部1141を備え、スキャナ駆動部1141から該圧電素子に印加される電圧によって試料ホルダ113(すなわち試料ホルダ113に取り付けられる試料S)を試料表面に平行なX、Yの二軸方向に走査し、且つZ軸方向に移動させるものである。

[0025] 計測部115はカンチレバー112の上方に設けられており、レーザ光源1151、レーザ光学系1152及び光検出器1153を有している。レーザ光学系1152は、レーザ光源1151が発するレーザ光をカンチレバー112の先端付近に照射し、その反射光を光検出器1153に導入するよう、レンズ、ビームスプリッタ、ミラー等により構成されている。光検出器1153は、カンチレバー112の変位方向に複数に分割された受光面を有し、各受光面において受光された光の強度を電気信号に変換し、制御部13に送信するものである。

[0026] データ処理部12は、データ保存部120と、計測データ作成部121と、ノイズ除去前周波数スペクトルデータ作成部122と、ノイズ除去後周波数スペクトルデータ作成部123と、ノイズ除去後計測データ作成部124と、試料表面像作成部125を有し、いずれも制御部13により制御される。ノイズ除去前周波数スペクトルデータ作成部122、ノイズ除去後周波数スペクトルデータ作成部123及びノイズ除去後計測データ作成部124を合わせたものが上記試料表面画像作成用データ作成部に該当する。これらデータ処理部12及び制御部13はいずれも、コンピュータのハードウェア及びソフトウェアにより実現されている。

[0027] データ保存部120は、次に述べる計測データ作成部121により作成された計測データを保存すると共に、後述のノイズ除去後計測データ作成部1

24で作成された試料表面像作成用データを保存するメモリである。計測データ作成部121は、光検出器1153から制御部13に送られた電気信号に基づいて、計測データ（ノイズ除去処理を行う前の生のデータ）を作成するものである。以下、ノイズ除去の方法として、周波数スペクトルデータを用いて除去する方法をとった場合について説明する。ノイズ除去前周波数スペクトルデータ作成部122は、計測中（試料表面の走査中）の所定期間毎に、データ保存部120から計測データを取得してフーリエ変換することにより、ノイズ除去前周波数スペクトルデータを作成するものである。ノイズ除去後周波数スペクトルデータ作成部123は、ノイズ除去前周波数スペクトルデータに対して後述の操作を行うことにより、ノイズが除去されたノイズ除去後周波数スペクトルデータを作成するものである。ノイズ除去後計測データ作成部124は、ノイズ除去後周波数スペクトルデータを逆フーリエ変換することにより試料表面像作成用データを作成するものである。試料表面像作成部125は、ノイズ除去後計測データ作成部124において試料表面像作成用データが作成される毎に、そのデータに基づいて試料表面像を作成するものである。作成された試料表面像はディスプレイ14に表示される。

[0028] 第1実施例の走査型プローブ顕微鏡10の動作を説明する。

試料ホルダ113に試料Sを取り付けた状態で、所定の操作により測定を開始する。まず、スキャナ114は試料ホルダ113をZ方向に移動させることにより探針111を試料Sの表面に近づける。その状態で、カンチレバー112を振動させずに、もしくはZ方向の振動を与えながら、試料Sの表面に対する探針111の位置（以下、単に「探針111の位置」とする）を正のX方向に一定速度で移動させるよう、スキャナ114は試料ホルダ113を移動させる。このように試料ホルダ113を移動させる間、計測部115のレーザ光源1151はレーザ光学系1152を介して、レーザ光をカンチレバー112の先端付近に照射し、その反射光を光検出器1153に導入する。そして、光検出器1153に入射するレーザ光のスポットを検出する

。ここで、カンチレバー 1 1 2 の振動に対応してレーザ光のスポット位置も振動すること、及びカンチレバー 1 1 2 の振幅の大きさが探針 1 1 1 の先端の原子と試料 S 表面の原子の原子間力、すなわち探針 1 1 1 と試料 S 表面間の距離に依存することを利用する。すなわち、探針 1 1 1 の位置を X 方向に移動させる間、レーザ光のスポット位置の振幅が一定になるように試料 S 表面の Z 方向の位置をスキャナ 1 1 4 の動作によって調整し、この間の試料 S 表面の Z 方向の位置を求めることにより、計測データ作成部 1 2 1 は試料 S 表面の凹凸形状の計測データを得ることができる。得られた計測データは順次、試料 S に対する探針 1 1 1 の X Y 面内の座標と共に、データ保存部 1 2 0 に保存される。

[0029] 探針 1 1 1 が X 方向の移動範囲の端部まで達したとき、スキャナ 1 1 4 は探針 1 1 1 の位置をわずかに正の Y 方向に移動させ、次いで、これまでとは逆である負の X 方向に探針 1 1 1 の位置を移動させる。そして、X 方向の移動範囲の（先程とは反対側の）端部まで達したとき、スキャナ 1 1 4 は探針 1 1 1 の位置をわずかに正の Y 方向に移動させる。ここまでの、探針 1 1 1 の位置は X 方向に 1 往復したことになる。以後、同様の操作を繰り返すことにより、試料 S の表面を探針 1 1 1 で 2 次元状に走査してゆく。

[0030] 本実施例では、探針 1 1 1 が X 方向の移動範囲の端部に達する毎、すなわち X 方向に片道 1 回移動する毎に、ノイズ除去前周波数スペクトルデータ作成部 1 2 2 は、この片道の移動の間に得られた測定データをデータ保存部 1 2 0 から取得し、フーリエ変換を行う。これにより得られるノイズ除去前周波数スペクトルデータには、床の振動等のノイズに起因して、特定の周波数を頂点とするピークが生じる。ノイズ除去後周波数スペクトルデータ作成部 1 2 3 は、ノイズ除去前周波数スペクトルデータからこのピークが存在する周波数範囲を検出したうえで該範囲内のデータを削除することにより、ノイズ除去後周波数スペクトルデータを作成する。あるいは、ノイズによるピークが生じる周波数帯が予め分かっている場合には、ノイズ除去前周波数スペクトルデータから当該周波数帯のデータを削除する。そして、ノイズ除去後

計測データ作成部 124 は、ノイズ除去後周波数スペクトルデータを逆フーリエ変換する。これにより、ノイズの影響が排除された試料表面像作成用データが作成される。その後、試料表面像作成部 125 が試料表面像作成用データに基づいて、探針 111 が X 方向に片道 1 回移動した間に得られた、ノイズ除去処理が施された後の試料表面像を作成し、ディスプレイ 14 に表示する。そして、本段落で説明した操作を繰り返すことにより、探針 111 が X 方向に片道 1 回移動する毎に、その移動の間に得られた試料表面像が順次ディスプレイ 14 に表示されてゆくため、測定中にリアルタイムに近い感覚で、ノイズ除去処理が施された試料表面像を得ることができる。

[0031] 本実施例では、ノイズ除去処理を行って試料表面像を表示するタイミングを、探針 111 が X 方向に片道 1 回移動する毎としたが、往復 1 回（片道 2 回）移動する毎としてもよいし、それら以外のタイミングとしてもよい。また、本実施例では、ノイズ除去前周波数スペクトルデータ作成部 122 がデータ保存部 120 から取得する測定データを、探針 111 が X 方向に片道移動する間に得られた分としたが、データ保存部 120 に保存されている全ての測定データを取得するようにしてもよい。その場合、ノイズ除去前周波数スペクトルデータ作成部 122 で行うフーリエ変換はそれら全ての測定データを用いて行うこととなる。

[0032] なお、本実施例では、ほぼリアルタイムで試料表面像を表示する他に、ノイズ除去後計測データをデータ保存部 120 に保存しておき、計測終了後に、試料表面像作成部 125 がデータ保存部 120 から試料表面像作成用データを読み出して画像表示処理を行うことにより、改めてノイズ除去処理を行うことなくノイズが除去された試料表面像をディスプレイ 14 に表示することもできる。但し、このことは本発明においては必須ではなく、例えばデータ保存部 120 にはノイズ除去処理前の計測データのみを保存しておき、計測終了後に試料表面像を作成する際にはデータ保存部 120 から計測データを読み出してノイズ除去処理を行ったうえで試料表面像を作成するようにしてもよい。

[0033] また、試料表面画像作成用データ作成部としてフーリエ変換による処理を行うもの（ノイズ除去前周波数スペクトルデータ作成部 1 2 2、ノイズ除去後周波数スペクトルデータ作成部 1 2 3 及びノイズ除去後計測データ作成部 1 2 4 を合わせたもの）の代わりに、移動平均法、局所フィルタ法、ノイズライン除去法による処理を行うものを用いてもよい。これら各方法ではいずれも、試料表面画像作成用データ作成部は、所定のタイミングで、平均値や中央値等の計算に必要な複数個の測定データをデータ保存部 1 2 0 から取得して、それら平均値や中央値等の計算を行うことにより、試料表面画像作成用データを作成する。

[0034] [第 2 実施例]

第 2 実施例の走査型プローブ顕微鏡 2 0 の構成を、図 3 を用いて説明する。この走査型プローブ顕微鏡 2 0 は原子間力顕微鏡であり、測定部 2 1、データ処理部 2 2、制御部 2 3、ノイズ除去振動波形生成部 2 5 及びディスプレイ 1 4 を有する。

[0035] 測定部 2 1 は、探針 1 1 1、カンチレバー 1 1 2、試料ホルダ 1 1 3、スキャナ（走査部） 2 1 4、計測部 1 1 5、及び試料ホルダ振動センサ 2 1 6 を有する。スキャナ 2 1 4 及び試料ホルダ振動センサ 2 1 6 以外の構成は、第 1 実施例の走査型プローブ顕微鏡 1 0 と同様であるため、説明を省略する。

[0036] スキャナ 2 1 4 は、圧電素子（図示せず）とスキャナ駆動部 2 1 4 1 を備える。スキャナ駆動部 2 1 4 1 は、試料ホルダ 1 1 3 を X 及び Y の二軸方向に走査すると共に Z 軸方向に移動させるよう所定周波数の交流電圧（走査部への駆動信号）に、後述のように該圧電素子がノイズ除去振動を生成するようにノイズ除去振動波形生成部 2 5 により生成されるノイズ除去電圧（ノイズ除去振動波形）を重畳して、該圧電素子に印加するものである。従って、スキャナ 2 1 4 はノイズ除去振動波形生成部 2 5 と共に前記ノイズ除去振動付与部として機能する。

[0037] 試料ホルダ振動センサ 2 1 6 は、試料ホルダに生じる機械的振動を計測す

るセンサであり、カンチレバー 1 1 2 及びスキャナ 2 1 4 に設けられたものとは別の圧電素子により構成される。試料ホルダ振動センサ 2 1 6 は、X、Y 及び Z の 3 方向についてそれぞれ、試料ホルダの機械的振動により生じる圧電素子への圧力の変化を電圧の変化として電気信号化し、制御部 2 3 を介してノイズ除去振動波形生成部 2 5 に送信するものである。

[0038] ノイズ除去振動波形生成部 2 5 は、試料ホルダ振動センサ 2 1 6 から送出された電気信号に基づいてノイズ除去電圧を生成するものである。

[0039] データ処理部 2 2 は、計測データ保存部 2 2 0 と、計測データ作成部 2 2 1 と、試料表面像作成部 2 2 5 を有し、いずれも制御部 2 3 により制御される。計測データ作成部 2 2 1 は基本的には第 1 実施例における計測データ作成部 1 2 1 と同様のものである。但し、作成された計測データが計測データ保存部 2 2 0 に送信されるだけでなく、試料表面像作成部 2 2 5 にも送信される点において第 1 実施例と相違している。計測データ保存部 2 2 0 は、計測データ作成部 2 2 1 で作成されたデータを保存するものである。第 1 実施例のデータ保存部 1 2 0 とは異なり、計測データ保存部 2 2 0 にはノイズ除去後計測データは保存されない。試料表面像作成部 2 2 5 は、計測データ作成部 2 2 1 において計測データが作成される毎に、そのデータに基づいて試料表面像を作成するものである。作成された試料表面像はディスプレイ 1 4 に表示される。

[0040] 第 2 実施例の走査型プローブ顕微鏡 2 0 の動作を説明する。

試料ホルダ 1 1 3 に試料 S を取り付けた状態で、所定の操作により測定を開始する。スキャナ 1 1 4 は第 1 実施例と同様に、試料ホルダ 1 1 3 を Z 方向に移動させることにより探針 1 1 1 を試料 S の表面に近づけた後、カンチレバー 1 1 2 に対して Z 方向の振動を与えながら、もしくは振動させずに、試料 S の表面に対する探針 1 1 1 の位置を移動させるよう、試料ホルダ 1 1 3 を移動させる。この移動の間、第 1 実施例と同様の方法により、計測部 1 1 5 はカンチレバー 1 1 2 の振動を検出し、スキャナ 2 1 4 はこの振動の振幅が一定（すなわち探針 1 1 1 の先端の原子と試料 S 表面の原子の原子間力

が一定)になるように試料S表面のZ方向の位置を調整し、計測データ作成部221はこの位置に基づいて試料S表面の凹凸形状の計測データを作成する。

[0041] 試料ホルダ振動センサ216は、これら試料S表面の走査及び計測データの作成と同時並行で、試料ホルダ113の機械的振動を計測する。計測された試料ホルダの機械的振動のデータは電気信号として試料ホルダ振動センサ216から制御部23を介してノイズ除去振動波形生成部25に送出される。ノイズ除去振動波形生成部25ではこの電気信号に基づいて、計測された試料ホルダの機械的振動を打ち消すようにスキャナ214の圧電素子を振動させるよう、該圧電素子に印加するノイズ除去電圧を生成する。例えば、振動とは逆位相の信号を生成するなどがある。このノイズ除去電圧はスキャナ駆動部2141において、試料S表面の走査のための電圧に重畳され、スキャナ214の圧電素子に印加される。これにより、試料ホルダ113の機械的振動が打ち消される。

[0042] データ処理部22では、計測データ作成部221により作成された計測データに基づいて随時、試料表面像作成部225により試料Sの表面の像が作成され、ディスプレイ14に表示されてゆく。これにより、試料ホルダ113の機械的振動によるノイズが無い状態で試料Sの表面の像がほぼリアルタイムで得られる。

[0043] なお、走査部には、本実施例では試料ホルダ113のみを移動させるものを用いたが、探針111と試料ホルダ113を相対的に移動させるものであればよい。すなわち、探針111のみを移動させるものや、探針111と試料ホルダ113の双方を移動させるものも、走査部として用いることができる。探針111のみを移動させるものや、探針111と試料ホルダ113の双方を移動させるものを走査部として用いる場合には、ノイズ除去振動波形はこれらの移動するものに対する駆動信号に重畳すればよい。

[0044] また、本実施例では、ほぼリアルタイムで試料表面像を表示する他に、計測データを計測データ保存部220に保存しておき、計測終了後に、試料表

画像作成部 225 が計測データ保存部 220 から計測データを読み出して画像表示処理を行うことにより、改めて試料表面像をディスプレイ 14 にすることができる。但し、このことは本発明において必須要件ではない。

[0045] [第 3 実施例]

以上、第 1 及び第 2 実施例の走査型プローブ顕微鏡について説明したが、図 4 に示す走査型プローブ顕微鏡 30 のように、第 1 実施例における計測中にフーリエ変換によるノイズ除去処理を行うための構成と、第 2 実施例におけるノイズとなる振動をキャンセルする振動を探針に与える構成を組み合わせ用いてもよい（第 3 実施例）。

符号の説明

[0046] 10、20、30…走査型プローブ顕微鏡

11、21…測定部

111…探針

112…カンチレバー

113…試料ホルダ

114、214…スキャナ

1141、2141…スキャナ駆動部

115…計測部

1151…レーザ光源

1152…レーザ光学系

1153…光検出器

12、22…データ処理部

120…データ保存部

121、221…計測データ作成部

122…ノイズ除去前周波数スペクトルデータ作成部

123…ノイズ除去後周波数スペクトルデータ作成部

124…ノイズ除去後計測データ作成部

125、225…試料表面像作成部

1 3、2 3 …制御部

1 4 …ディスプレイ

2 1 6 …試料ホルダ振動センサ

2 2 0 …計測データ保存部

2 5 …ノイズ除去振動波形生成部

請求の範囲

[請求項1]

探針と、試料を保持する試料ホルダと、該試料ホルダに保持された試料の表面を該探針で走査するように該探針と試料ホルダを相対的に移動させる走査部と、該探針と該試料の間に生じる相互作用を計測する計測部を有し、該計測部による該相互作用の計測結果に基づいて該表面の像を作成する走査型プローブ顕微鏡であって、

- a) 前記計測部により得られる計測データを保存する計測データ保存部と、
- b) 前記走査部による前記表面の走査中における所定の複数のタイミングにおいて、各タイミング以前の所定の期間内に得られた前記計測データ保存部中の計測データ
に対してノイズ除去処理を行うことにより試料表面像作成用データを作成する試料表面像作成用データ作成部と、
- c) 前記試料表面像作成用データが作成される毎に、該試料表面像作成用データに基づいて前記表面の像を作成する試料表面像作成部とを備えることを特徴とする走査型プローブ顕微鏡。

[請求項2]

- d) 前記試料ホルダに設けられた、該試料ホルダの振動を計測する振動計測部と、
- e) 前記走査部による前記表面の走査中に、前記振動計測部により計測された該試料ホルダの振動のデータに基づいて、該試料ホルダの振動を打ち消すノイズ除去振動波形を前記走査部への駆動信号に重畳するノイズ除去振動付与部と
を備えることを特徴とする請求項1に記載の走査型プローブ顕微鏡。

[請求項3]

探針と、試料を保持する試料ホルダと、該試料ホルダに保持された試料の表面を該探針で走査するように該探針と試料ホルダを相対的に移動させる走査部と、該探針と該試料の間に生じる相互作用を計測する計測部を有し、該計測部による該相互作用の計測結果に基づいて該試料の表面の像を作成する走査型プローブ顕微鏡であって、

a) 前記試料ホルダに設けられた、該試料ホルダの振動を計測する振動計測部と、

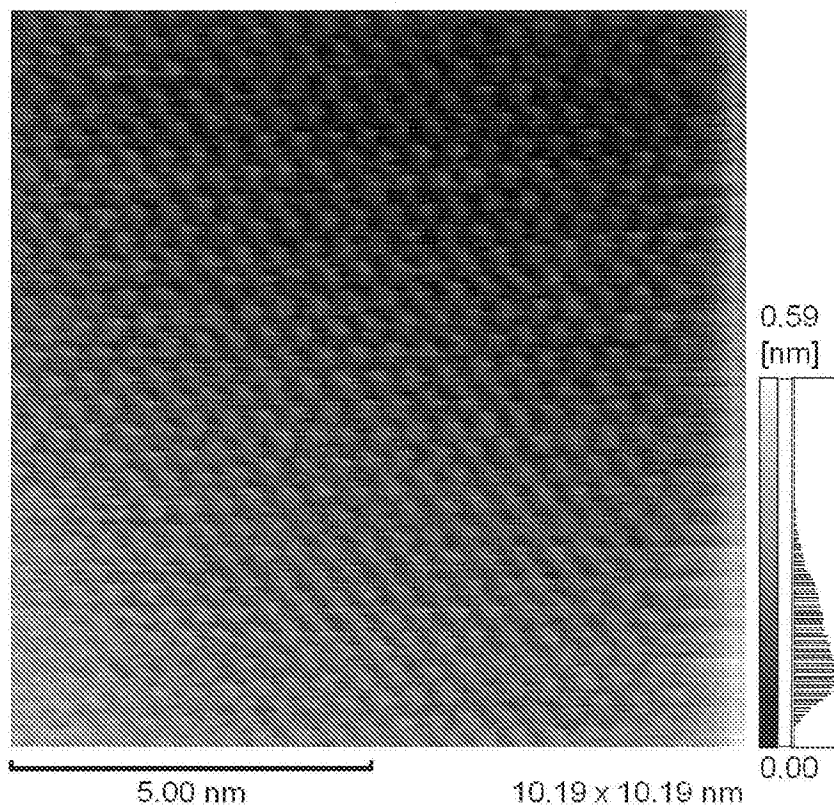
b) 前記走査部による前記表面の走査中に、前記振動計測部により計測された該試料ホルダの振動のデータに基づいて、該試料ホルダの振動を打ち消すノイズ除去振動波形を前記走査部への駆動信号に重畳するノイズ除去振動付与部と、

c) 前記走査部による前記表面の走査中に順次、前記計測部により得られる計測データに基づいて前記表面の像を作成する試料表面像作成部と

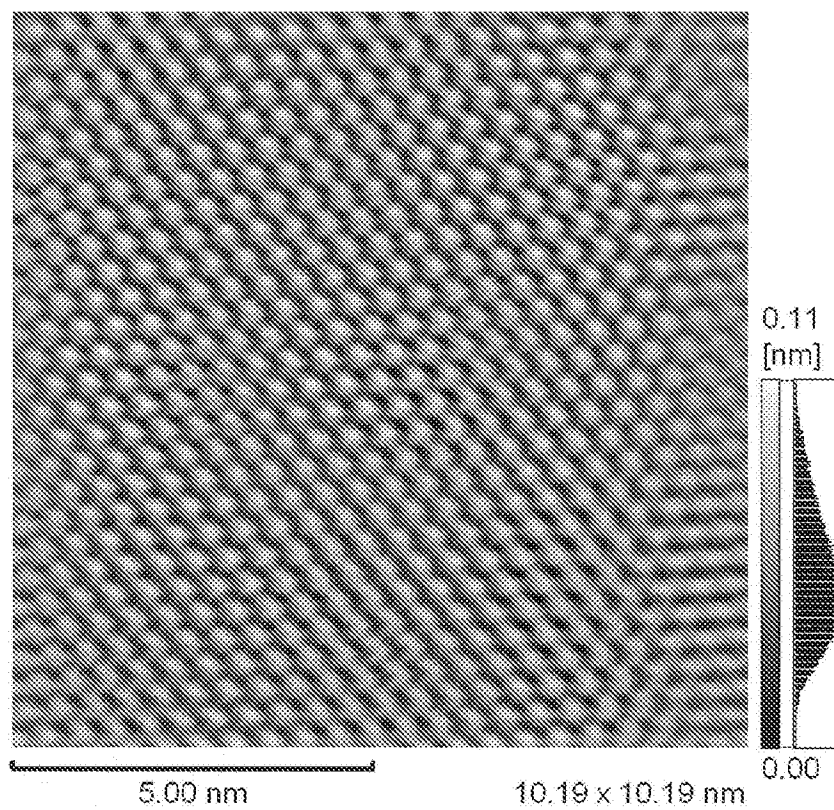
を備えることを特徴とする走査型プローブ顕微鏡。

[図1]

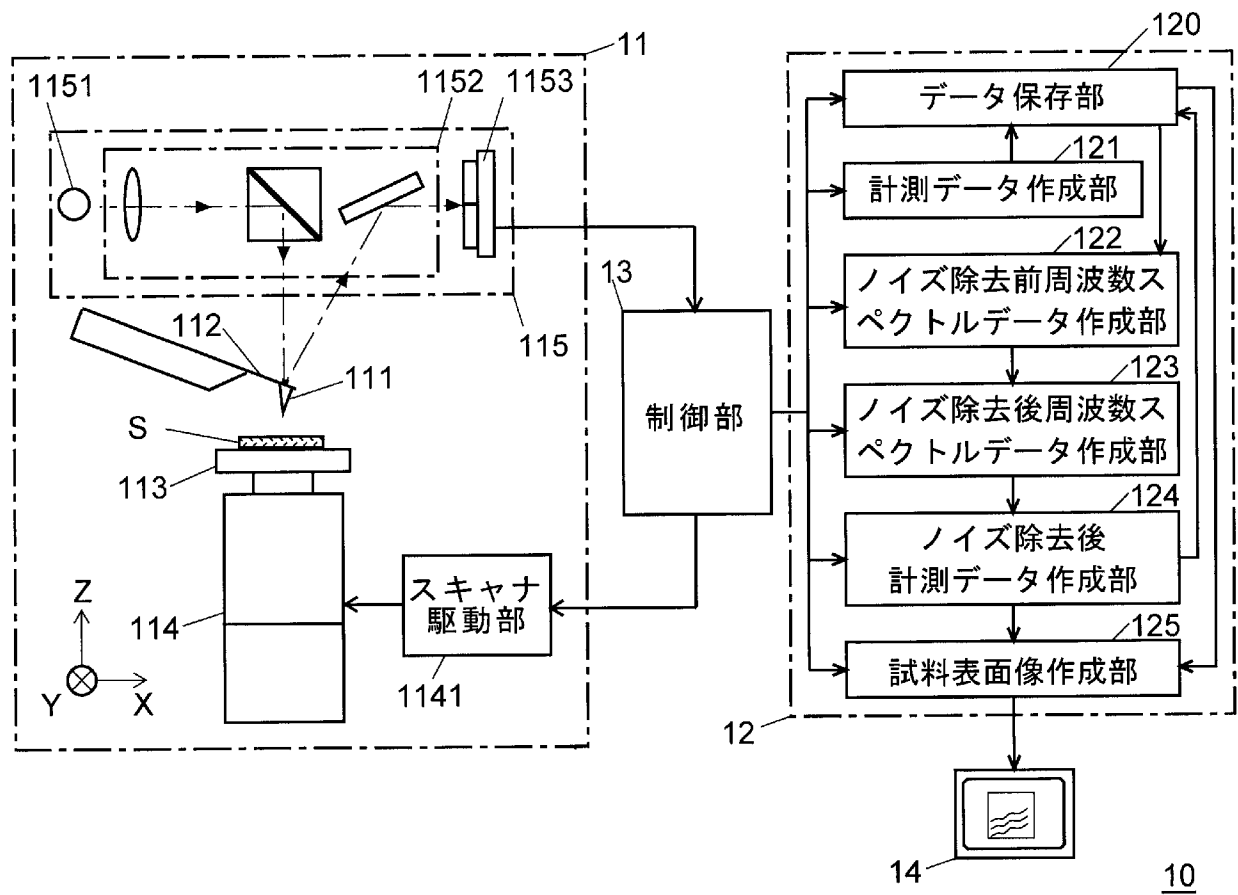
(a) ノイズ除去前



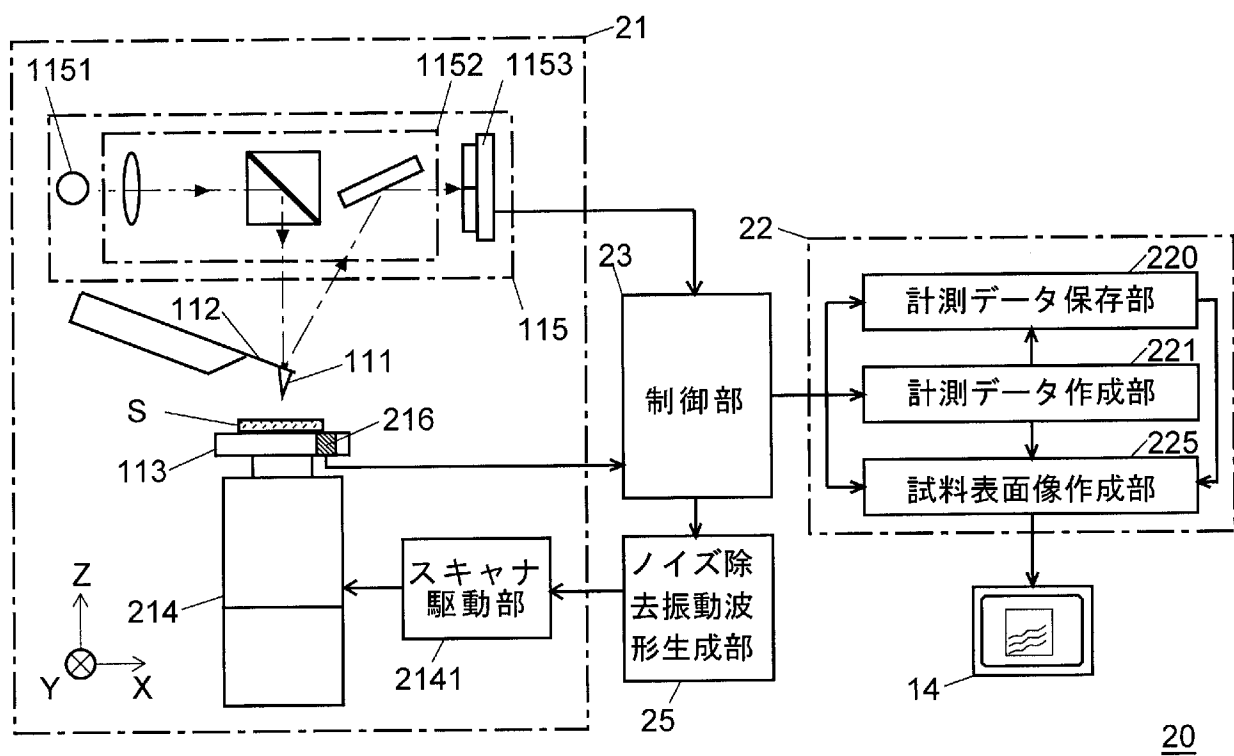
(b) ノイズ除去後



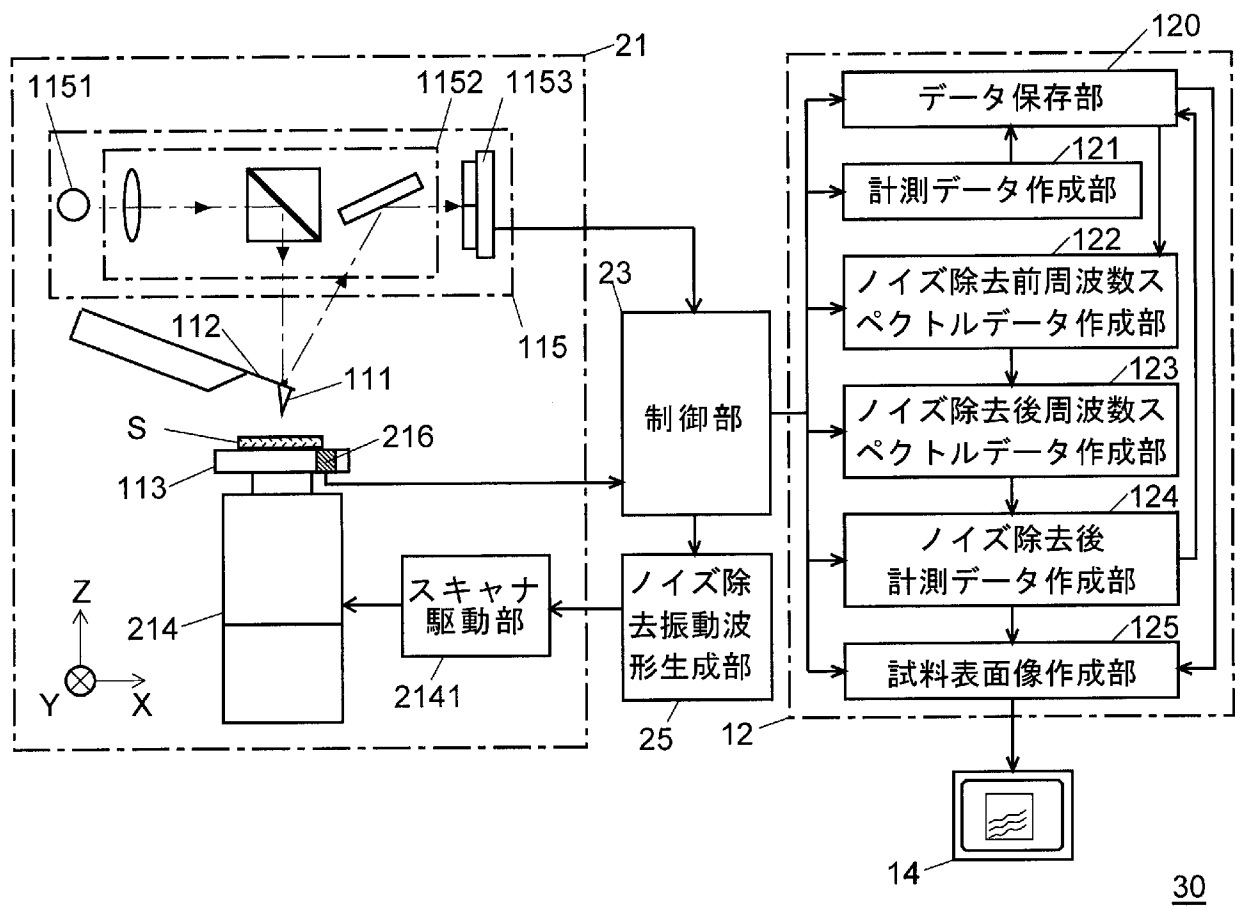
[図2]



[図3]



[図4]



INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.

PCT/JP2015/056918

A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER

G01Q30/06(2010.01) i

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)

G01Q30/06

Documentation searched other than minimum documentation to the extent that such documents are included in the fields searched

Jitsuyo Shinan Koho	1922-1996	Jitsuyo Shinan Toroku Koho	1996-2015
Kokai Jitsuyo Shinan Koho	1971-2015	Toroku Jitsuyo Shinan Koho	1994-2015

Electronic data base consulted during the international search (name of data base and, where practicable, search terms used)

C. DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
Y	JP 4-181642 A (Olympus Optical Co., Ltd.), 29 June 1992 (29.06.1992), page 4, upper left column, line 12 to page 5, lower left column, line 8; fig. 1, 2 (Family: none)	1-2
Y	JP 5-340712 A (Olympus Optical Co., Ltd.), 21 December 1993 (21.12.1993), paragraph [0019] (Family: none)	1-2
Y	JP 5-79811 A (Nikon Corp.), 30 March 1993 (30.03.1993), paragraphs [0006] to [0007]; fig. 1 (Family: none)	2-3

☒ Further documents are listed in the continuation of Box C.

☐ See patent family annex.

* Special categories of cited documents:

"A" document defining the general state of the art which is not considered to be of particular relevance

"E" earlier application or patent but published on or after the international filing date

"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)

"O" document referring to an oral disclosure, use, exhibition or other means

"P" document published prior to the international filing date but later than the priority date claimed

"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

"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

"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

"&" document member of the same patent family

Date of the actual completion of the international search
02 June 2015 (02.06.15)

Date of mailing of the international search report
16 June 2015 (16.06.15)

Name and mailing address of the ISA/
Japan Patent Office
3-4-3, Kasumigaseki, Chiyoda-ku,
Tokyo 100-8915, Japan

Authorized officer

Telephone No.

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.

PCT/JP2015/056918

C (Continuation). DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
Y	JP 11-264834 A (Peter Heiland), 28 September 1999 (28.09.1999), paragraphs [0014] to [0021]; fig. 1 & US 6308557 B1 & EP 922929 A1	2-3
A	JP 10-267945 A (Olympus Optical Co., Ltd.), 09 October 1998 (09.10.1998), paragraphs [0039] to [0049] (Family: none)	1-3

A. 発明の属する分野の分類（国際特許分類（I P C））

Int.Cl. G01Q30/06(2010.01)i

B. 調査を行った分野

調査を行った最小限資料（国際特許分類（I P C））

Int.Cl. G01Q30/06

最小限資料以外の資料で調査を行った分野に含まれるもの

日本国実用新案公報	1 9 2 2 - 1 9 9 6 年
日本国公開実用新案公報	1 9 7 1 - 2 0 1 5 年
日本国実用新案登録公報	1 9 9 6 - 2 0 1 5 年
日本国登録実用新案公報	1 9 9 4 - 2 0 1 5 年

国際調査で使用した電子データベース（データベースの名称、調査に使用した用語）

C. 関連すると認められる文献

引用文献の カテゴリー*	引用文献名 及び一部の箇所が関連するときは、その関連する箇所の表示	関連する 請求項の番号
Y	JP 4-181642 A（オリンパス光学工業株式会社）1992. 06. 29, 第4頁左上欄第12行－第5頁左下欄第8行, 第1図, 第2図 (ファミリーなし)	1-2
Y	JP 5-340712 A（オリンパス光学工業株式会社）1993. 12. 21, 【0019】（ファミリーなし）	1-2
Y	JP 5-79811 A（株式会社ニコン）1993. 03. 30, 【0006】－【0007】, 【図1】（ファミリーなし）	2-3

☒ C欄の続きにも文献が列挙されている。☐ パテントファミリーに関する別紙を参照。

* 引用文献のカテゴリー

「A」特に関連のある文献ではなく、一般的技術水準を示すもの
「E」国際出願日前の出願または特許であるが、国際出願日以後に公表されたもの
「L」優先権主張に疑義を提起する文献又は他の文献の発行日若しくは他の特別な理由を確立するために引用する文献（理由を付す）
「O」口頭による開示、使用、展示等に言及する文献
「P」国際出願日前で、かつ優先権の主張の基礎となる出願

の日の後に公表された文献

「T」国際出願日又は優先日後に公表された文献であって出願と矛盾するものではなく、発明の原理又は理論の理解のために引用するもの
「X」特に関連のある文献であって、当該文献のみで発明の新規性又は進歩性がないと考えられるもの
「Y」特に関連のある文献であって、当該文献と他の1以上の文献との、当業者にとって自明である組合せによって進歩性がないと考えられるもの
「&」同一パテントファミリー文献

国際調査を完了した日

0 2 . 0 6 . 2 0 1 5

国際調査報告の発送日

1 6 . 0 6 . 2 0 1 5

国際調査機関の名称及びあて先

日本国特許庁（I S A / J P）
郵便番号100-8915
東京都千代田区霞が関三丁目4番3号

特許庁審査官（権限のある職員）

後藤 大思

2 J

5 2 6 1

電話番号 0 3 - 3 5 8 1 - 1 1 0 1 内線 3 2 5 2

C (続き) . 関連すると認められる文献		
引用文献の カテゴリー*	引用文献名 及び一部の箇所が関連するときは、その関連する箇所の表示	関連する 請求項の番号
Y	JP 11-264834 A (ペーター ハイラント) 1999. 09. 28, 【0014】－【0021】, 【図1】 & US 6308557 B1 & EP 922929 A1	2-3
A	JP 10-267945 A (オリンパス光学工業株式会社) 1998. 10. 09, 【0 039】－【0049】 (ファミリーなし)	1-3