

(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2016-224018

(P2016-224018A)

(43) 公開日 平成28年12月28日 (2016. 12. 28)

(51) Int. Cl.	F I	テーマコード (参考)
GO 1 Q 10/06 (2010.01)	GO 1 Q 10/06	2 F 0 6 2
GO 1 B 21/20 (2006.01)	GO 1 B 21/20	F 2 F 0 6 9
GO 1 B 5/20 (2006.01)	GO 1 B 5/20	C
GO 1 Q 60/24 (2010.01)	GO 1 Q 60/24	

審査請求 有 請求項の数 16 O L (全 19 頁)

(21) 出願番号 特願2015-114853 (P2015-114853)
 (22) 出願日 平成27年6月5日 (2015. 6. 5)
 (31) 優先権主張番号 10-2015-0078223
 (32) 優先日 平成27年6月2日 (2015. 6. 2)
 (33) 優先権主張国 韓国 (KR)

申請有り

(71) 出願人 515153288
 パークシステムズ株式会社
 大韓民国京畿道水原市靈通区光教路109
 韓国ナノ技術院4階
 (74) 代理人 100107766
 弁理士 伊東 忠重
 (74) 代理人 100070150
 弁理士 伊東 忠彦
 (74) 代理人 100091214
 弁理士 大貫 進介
 (72) 発明者 チョウ, アジン
 大韓民国ソウル市江南区三成路63ギル
 32-9 サイオンビル 401号

最終頁に続く

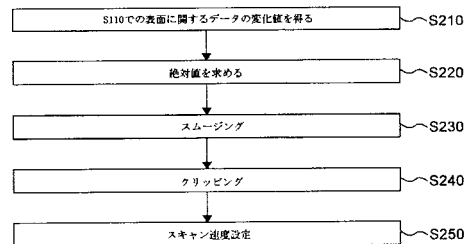
(54) 【発明の名称】 調整可能なスキャン速度を有する測定装置及び測定方法

(57) 【要約】 (修正有)

【課題】 スキャン速度を可变的に適用することにより、測定速度を高めることができる測定装置及び測定方法を提供する。

【解決手段】 感知部が測定対象の表面の複数の高速スキャンラインのうち、いずれか1つの高速スキャンライン上の表面に関するデータを得るために、前記感知部が前記いずれか1つの高速スキャンラインに沿って前記表面をスキャンする第1のステップと、前記第1のステップ後、前記いずれか1つの高速スキャンラインと最も隣接した高速スキャンラインに沿うように、前記感知部及び前記測定対象のうち1つ以上を移動させながら、前記感知部を用いて前記最も隣接した高速スキャンライン上の表面に関するデータを得る第2のステップとを含み、前記第2のステップでのスキャン速度は、少なくとも前記第1のステップで得られた表面に関するデータを用いて決定される、方法。

【選択図】 図7



【特許請求の範囲】**【請求項 1】**

感知部が測定対象の表面に沿ってスキャンしつつ、前記測定対象の表面に関するデータを取得する測定方法であって、

前記感知部が前記測定対象の表面の複数の高速スキャンライン (fast scan line) に沿って前記表面をスキャンするように、前記感知部及び前記測定対象のうち、1つ以上が移動され、

前記感知部を用いて前記複数の高速スキャンラインのうち、いずれか1つの高速スキャンライン上の表面に関するデータを得るために、前記感知部が前記いずれか1つの高速スキャンラインに沿って前記表面をスキャンする第1のステップと、

前記第1のステップ後、前記いずれか1つの高速スキャンラインと最も隣接した高速スキャンラインに沿うように、前記感知部及び前記測定対象のうちの1つ以上を移動させながら、前記感知部を用いて前記最も隣接した高速スキャンライン上の表面に関するデータを得る第2のステップと、

を含み、

前記第2のステップでのスキャン速度は、少なくとも前記第1のステップで得られた表面に関するデータを用いて決定されることを特徴とする測定方法。

【請求項 2】

前記感知部は、チップ (tip) を有したカンチレバ (cantilever) であることを特徴とする請求項 1 に記載の測定方法。

【請求項 3】

前記第2のステップにおいて、前記いずれか1つの高速スキャンライン上の表面に関するデータのスキャン距離当たりの変化率を用いてスキャン速度が決定されることを特徴とする請求項 1 に記載の測定方法。

【請求項 4】

前記表面に関するデータは、表面の形状データ (topography data) であることを特徴とする請求項 1 に記載の測定方法。

【請求項 5】

前記第2のステップでのスキャン速度は、前記第1のステップで得られた前記変化率が所定値以上になる地点に対応する地点が測定される所定時間前から低くなるように設定されることを特徴とする請求項 3 に記載の測定方法。

【請求項 6】

前記第2のステップでのスキャン速度は、前記第1のステップで得られた前記変化率が所定値以下になる地点に対応する地点が測定される所定時間後から高くなるように設定されることを特徴とする請求項 3 に記載の測定方法。

【請求項 7】

前記第2のステップでのスキャン速度を決定する方法は、

前記第1のステップでの表面に関するデータの変化値を得るステップと、

前記変化値の絶対値を求めるステップと、

前記絶対化された変化値をスムージング (smoothing) するステップと、

前記スムージングするステップを介して得られた値をスキャン速度に換算するステップと、

を含むことを特徴とする請求項 1 に記載の測定方法。

【請求項 8】

前記第2のステップでのスキャン速度を決定する方法は、

前記第1のステップでの表面に関するデータの変化値を得るステップと、

前記変化値の絶対値を求めるステップと、

前記絶対化された変化値をスムージングするステップと、

前記スムージングするステップを介して得られた値をクリッピング (clipping) するステップと、

10

20

30

40

50

前記クリッピングするステップを介して得られた値をスキャン速度に換算するステップと、

を含むことを特徴とする請求項 1 に記載の測定方法。

【請求項 9】

前記第 2 のステップでのスキャン速度を決定する方法は、

前記第 1 のステップでの表面に関するデータの変化値を得るステップと、

前記変化値の絶対値を求めるステップと、

前記絶対化された変化値をクリッピングするステップと、

前記クリッピングするステップを介して得られた値をスムージングするステップと、

前記スムージングするステップを介して得られた値をスキャン速度に換算するステップと、

を含むことを特徴とする請求項 1 に記載の測定方法。

【請求項 10】

前記第 2 のステップでのスキャン速度を決定する方法は、

前記第 1 のステップで得られた表面に関するデータをスムージングするステップと、

前記スムージングするステップを介して得られた値をスキャン速度に換算するステップと、

を含むことを特徴とする請求項 1 に記載の測定方法。

【請求項 11】

前記第 2 のステップでのスキャン速度を決定する方法は、

前記第 1 のステップで得られた表面に関するデータをスムージングするステップと、

前記スムージングするステップで得られた値をクリッピングするステップと、

前記クリッピングするステップを介して得られた値をスキャン速度に換算するステップと、

を含むことを特徴とする請求項 1 に記載の測定方法。

【請求項 12】

前記第 2 のステップでのスキャン速度を決定する方法は、

前記第 1 のステップで得られた表面に関するデータをクリッピングするステップと、

前記クリッピングするステップで得られた値をスムージングするステップと、

前記スムージングするステップを介して得られた値をスキャン速度に換算するステップと、

を含むことを特徴とする請求項 1 に記載の測定方法。

【請求項 13】

前記スムージングするステップは、ローパスフィルタリング (low pass filtering) 技法を使用して行われることを特徴とする請求項 7 ~ 12 のいずれか一項に記載の測定方法。

【請求項 14】

チップ (tip) が測定対象の表面をスキャンすることにより、前記表面に関するデータを得る測定装置であって、

前記測定対象と前記チップとの間の X Y 方向への相手移動を発生させる X Y スキャナと

、
前記測定対象と前記チップとの間の Z 方向への相手移動を発生させる Z スキャナと、

前記 X Y スキャナと前記 Z スキャナとの駆動を制御する制御装置と、

を含み、

前記表面に関するデータは、前記表面の M 個の高速スキャンライン (fast scan line) の統合により得られ (ここで、M は 2 以上の整数)、

前記制御装置は、N 番目 (ここで、N は整数であって、 $1 < N \leq M$ を満足する) の高速スキャンラインのスキャン速度を少なくとも N - 1 番目に測定された高速スキャンラインの表面に関するデータを用いて決定し、これにより、前記 X Y スキャナを駆動させることを特徴とする測定装置。

10

20

30

40

50

【請求項 15】

前記 X Y スキャナと前記 Z スキャナとは一体に形成されることを特徴とする請求項 14 に記載の測定装置。

【請求項 16】

前記測定装置は、原子間力顕微鏡であることを特徴とする請求項 14 に記載の測定装置。

【発明の詳細な説明】

【技術分野】

【0001】

本発明は、調整可能なスキャン速度を有する測定装置及び測定方法に関し、より具体的には、少なくとも直前に測定された高速スキャンラインのデータを用いてスキャン速度を可变的に適用することにより、測定速度を高めることができる測定装置及び測定方法に関する。

10

【背景技術】

【0002】

走査型プローブ顕微鏡 (SPM、Scanning Probe Microscope) は、MEMS 工程等を介して製作された微細なプローブを試料の表面上になぞるように動かし (Scanning)、その試料の表面特性を測定して 3D イメージに見せる顕微鏡をいう。このような走査型プローブ顕微鏡は、測定方式によって、原子間力顕微鏡 (AFM、Atomic Force Microscope)、走査型トンネル顕微鏡 (STM、Scanning Tunneling Microscope) などに細分化されることができる。

20

【0003】

図 1 は、従来の X Y スキャナと Z スキャナとが分離された原子間力顕微鏡の概略的な斜視図である。

【0004】

図 1 に示すように、原子間力顕微鏡 10 は、測定対象 1 の表面を接触または非接触状態で沿うカンチレバ 2 と、測定対象を X Y 平面から X 方向及び Y 方向にスキャンする X Y スキャナ 11 と、カンチレバ 2 と連結されてカンチレバ 2 を Z 方向に相対的に小さい変位で移動させる Z スキャナ 21 と、カンチレバ 2 と Z スキャナ 21 とを相対的に大きい変位で Z 方向に移動させる Z ステージ 12 と、X Y スキャナ 11 と Z ステージ 12 とを固定する固定フレーム 13 とを備えて構成される。

30

【0005】

原子間力顕微鏡 10 は、測定対象 1 の表面をカンチレバ 2 でスキャンしてトポグラフィなどのイメージを得る。測定対象 1 の表面とカンチレバ 2 の相手移動は、X Y スキャナ 11 により行われることができ、測定対象 1 の表面に沿うようにカンチレバ 2 を上下に移動させることは、Z スキャナ 21 により行われることができる。一方、カンチレバ 2 と Z スキャナ 21 とは、プローブアーム (probe arm、22) により連結される。

【0006】

このような原子間力顕微鏡 10 のような走査型プローブ顕微鏡は、測定対象 1 の表面をカンチレバ 2 で物理的に全てスキャンしなければならないが、スキャン速度 (scan rate) を高めるほど、Z スキャナ 21 のフィードバック (feedback) が難しくなることにより、イメージ品質が低くなるという問題がある。特に、測定対象 1 の表面の段差が大きい場合、カンチレバのフィードバックが難しく、スキャン速度を低めるしかなかった。すなわち、イメージ品質とスキャン速度とは、スキャンを基盤とする走査型プローブ顕微鏡で両立し難く、これにより、低いイメージスループット (throughput) が、走査型プローブ顕微鏡が産業界に広く適用されるのに障害として作用してきた。

40

【発明の概要】

【発明が解決しようとする課題】

50

【0007】

本発明は、上記のような問題点を解決するために案出されたものであって、本発明で解決しようとする課題は、少なくとも直前に測定された高速スキャンラインのデータを用いてスキャン速度を可变的に適用することにより、測定速度を高めることができる測定装置及び測定方法を提供することにある。

【0008】

本発明の課題は、以上で言及した課題等に制限されず、言及されていないさらに他の課題等は、下記の記載から当業者に明確に理解され得るであろう。

【課題を解決するための手段】

【0009】

前記課題を解決するための本発明の一実施形態に係る測定方法は、感知部が測定対象の表面に沿ってスキャンしつつ、前記測定対象の表面に関するデータを取得する測定方法である。前記感知部が前記測定対象の表面の複数の高速スキャンライン (fast scan line) に沿って前記表面をスキャンするように、前記感知部及び前記測定対象のうち、1つ以上が移動される。この測定方法は、前記感知部を用いて前記複数の高速スキャンラインのうち、いずれか1つの高速スキャンライン上の表面に関するデータを取得するために、前記感知部が前記いずれか1つの高速スキャンラインに沿って前記表面をスキャンする第1のステップと、前記第1のステップ後、前記いずれか1つの高速スキャンラインと最も隣接した高速スキャンラインに沿うように、前記感知部及び前記測定対象のうち、1つ以上を移動させながら、前記感知部を用いて前記最も隣接した高速スキャンライン上の表面に関するデータを取得する第2のステップとを含む。前記第2のステップでのスキャン速度は、少なくとも前記第1のステップで得られた表面に関するデータを用いて決定されることを特徴とする。

10

20

【0010】

本発明の他の特徴によれば、前記感知部は、チップ (tip) を有したカンチレバ (cantilever) である。

【0011】

本発明のさらに他の特徴によれば、前記第2のステップにおいて、前記いずれか1つの高速スキャンライン上の表面に関するデータのスキャン距離当たりの変化率を用いてスキャン速度が決定される。

30

【0012】

本発明のさらに他の特徴によれば、前記表面に関するデータは、表面の形状データ (topography data) である。

【0013】

本発明のさらに他の特徴によれば、前記第2のステップでのスキャン速度は、前記第1のステップで得られた前記変化率が所定値以上になる地点に対応する地点が測定される所定時間前から低くなるように設定される。

【0014】

本発明のさらに他の特徴によれば、前記第2のステップでのスキャン速度は、前記第1のステップで得られた前記変化率が所定値以下になる地点に対応する地点が測定される所定時間後から高くなるように設定される。

40

【0015】

本発明のさらに他の特徴によれば、前記第2のステップでのスキャン速度を決定する方法は、前記第1のステップでの表面に関するデータの変化値を得るステップと、前記変化値の絶対値を求めるステップと、前記絶対化された変化値をスムージング (smoothing) するステップと、前記スムージングするステップを介して得られた値をスキャン速度に換算するステップとを含む。

【0016】

本発明のさらに他の特徴によれば、前記第2のステップでのスキャン速度を決定する方法は、前記第1のステップでの表面に関するデータの変化値を得るステップと、前記変化

50

値の絶対値を求めるステップと、前記絶対化された変化値をスムージングするステップと、前記スムージングするステップを介して得られた値をクリッピング (clipping) するステップと、前記クリッピングするステップを介して得られた値をスキャン速度に換算するステップとを含む。

【0017】

本発明のさらに他の特徴によれば、前記第2のステップでのスキャン速度を決定する方法は、前記第1のステップでの表面に関するデータの変化値を得るステップと、前記変化値の絶対値を求めるステップと、前記絶対化された変化値をクリッピングするステップと、前記クリッピングするステップを介して得られた値をスムージングするステップと、前記スムージングするステップを介して得られた値をスキャン速度に換算するステップとを含む。

10

【0018】

本発明のさらに他の特徴によれば、前記第2のステップでのスキャン速度を決定する方法は、前記第1のステップで得られた表面に関するデータをスムージングするステップと、前記スムージングするステップを介して得られた値をスキャン速度に換算するステップとを含む。

【0019】

本発明のさらに他の特徴によれば、前記第2のステップでのスキャン速度を決定する方法は、前記第1のステップで得られた表面に関するデータをスムージングするステップと、前記スムージングするステップで得られた値をクリッピングするステップと、前記クリッピングするステップを介して得られた値をスキャン速度に換算するステップとを含む。

20

【0020】

本発明のさらに他の特徴によれば、前記第2のステップでのスキャン速度を決定する方法は、前記第1のステップで得られた表面に関するデータをクリッピングするステップと、前記クリッピングするステップで得られた値をスムージングするステップと、前記スムージングするステップを介して得られた値をスキャン速度に換算するステップとを含む。

【0021】

本発明のさらに他の特徴によれば、前記スムージングするステップは、ローパスフィルタリング (low pass filtering) 技法を使用して行われる。

【0022】

本発明の一実施形態に係る測定装置は、チップ (tip) が測定対象の表面をスキャンすることにより、前記表面に関するデータを得る測定装置である。この測定装置は、前記測定対象と前記チップとの間のXY方向への相手移動を発生させるXYスキャナと、前記測定対象と前記チップとの間のZ方向への相手移動を発生させるZスキャナと、前記XYスキャナと前記Zスキャナとの駆動を制御する制御装置とを含む。前記表面に関するデータは、前記表面のM個の高速スキャンライン (fast scan line) の統合により得られ (ここで、Mは2以上の整数)、前記制御装置は、N番目 (ここで、Nは整数であって、 $1 < N \leq M$ を満足する) の高速スキャンラインのスキャン速度を少なくともN-1番目に測定された高速スキャンラインの表面に関するデータを用いて決定し、これにより、前記XYスキャナを駆動させることを特徴とする。

30

40

【0023】

本発明のさらに他の特徴によれば、前記XYスキャナと前記Zスキャナとは一体に形成される。

【0024】

本発明のさらに他の特徴によれば、前記測定装置は、原子間力顕微鏡である。

【発明の効果】

【0025】

本発明に係る測定方法及び測定装置によれば、測定速度を高めながらも、高い品質の測定対象の表面のイメージを提供することができる。これにより、高いスループットを期待することができる。

50

【図面の簡単な説明】

【0026】

【図1】従来のXYスキャナとZスキャナとが分離された原子間力顕微鏡の概略的な斜視図である。

【図2】本発明に係る測定方法が利用され得る原子間力顕微鏡の構成を示した概略的な概念図である。

【図3a】測定対象の表面のデータ取得ポイントのマップである。

【図3b】測定対象の表面に対するスキャン経路を示したものである。

【図4】スキャン速度と測定対象の傾斜度に対する相関関係を説明するための概念図である。

10

【図5】以前の高速スキャンラインと直後の高速スキャンラインとをスキャンするチップと測定対象の表面を示した概略的な側面図である。

【図6】本方法によるスキャン方法を示した順序図である。

【図7】図6の第2のステップでのスキャン速度を決定する方法を示した順序図である。

【図8】図7の各ステップで得られるデータを示す。

【図9】図7の各ステップで得られるデータを示す。

【図10】他の実施形態に係る第2のステップでのスキャン速度を決定する方法の各ステップで得られるデータを示す。

【図11】例示的な測定対象のトポグラフィイメージとラインプロファイル(line profile)を示す。

20

【図12】直後の高速スキャンラインのスキャン速度を求める過程を示したグラフ等である。

【図13】一定のスキャン速度で測定されたラインプロファイルと本発明の方法を使用して得られたスキャン速度で測定されたラインプロファイルとの比較を示す。

【発明を実施するための形態】

【0027】

本発明の利点及び特徴、そして、それらを達成する方法は、添付される図面とともに詳細に後述されている実施形態を参照すれば明らかになるであろう。しかし、本発明は、以下において開示される実施形態に限定されるものではなく、互いに異なる様々な形で実現されるはずであり、単に、本実施形態等は、本発明の開示が完全なようにし、本発明の属する技術分野における通常の知識を有した者に発明の範疇を完全に知らせるために提供されるものであり、本発明は、請求項の範疇により定義されるだけである。

30

【0028】

素子(elements)または層が他の素子または層「上(on)」として呼ばれることは、他の素子の真上にまたは中間に他の層または他の素子を介在した場合を全て含む。

【0029】

例えば、第1、第2などが多様な構成要素を述べるために使用されるが、これらの構成要素は、これらの用語により制限されないことは勿論である。これらの用語は、単に1つの構成要素を他の構成要素と区別するために使用するものである。したがって、以下において言及される第1の構成要素は、本発明の技術的思想内で第2の構成要素でありうることは勿論である。

40

【0030】

明細書の全体にわたって同一参照符号は、同一構成要素を示す。

【0031】

図面に示された各構成の大きさ及び厚さは、説明の便宜のために図示されたものであり、本発明が、図示された構成の大きさ及び厚さに必ず限定されるものではない。

【0032】

本発明の種々の実施形態の各々の特徴が部分的にまたは全体的に互いに結合または組み合わせ可能であり、当業者が十分理解できるように技術的に様々な連動及び駆動が可能で

50

あり、各実施形態が互いに対して独立的に実施可能でありうるし、相関関係により、共に実施可能でありうる。

【0033】

装置及びスキャンを介したイメージ取得方法

本明細書では、原子間力顕微鏡に基づいて本発明について記述するが、原子間力顕微鏡によってのみ測定方法が実現されることと限定しようとするものではなく、物理的スキャンを用いて測定対象表面のデータを得る他の測定装置でも本方法が利用可能であることはもちろんである。例えば、本方法は、走査型プローブ顕微鏡に広く使用されることができ

【0034】

図2は、本発明に係る測定方法が利用され得る原子間力顕微鏡の構成を示した概略的な概念図であり、図3aは、測定対象の表面のデータ取得ポイントのマップであり、図3bは、測定対象の表面に対するスキャン経路を示したものである。

【0035】

図2に示すように、原子間力顕微鏡は、XYスキャナ11と、Zスキャナ21と、コントローラ30とを備えて構成される。その他の構成は、図1の原子間力顕微鏡10の構成を参照すればよい。

【0036】

XYスキャナ11は、測定対象1を支持し、測定対象1をXY方向にスキャンする。XYスキャナ11の駆動は、例えば、圧電アクチュエータ (piezoelectric actuator) により発生することができ、本実施例のように、Zスキャナ21と分離された場合には、積層された圧電駆動機 (stacked piezo) を使用することもできる。XYスキャナ11については、本出願人が登録権者である韓国登録特許第10-0523031号 (発明の名称: 走査型プローブ顕微鏡でのXYスキャナ及びその駆動方法) 及び第10-1468061号 (発明の名称: スキャナの制御方法とこれを利用したスキャナ装置) を参照する。

【0037】

Zスキャナ21は、チップを有したカンチレバ2と連結されて、カンチレバ2の高さを調節することができる。Zスキャナ21の駆動も、XYスキャナ11のように圧電アクチュエータにより行われることができる。Zスキャナ21については、本出願人が登録権者である韓国登録特許第10-1476808号 (発明の名称: スキャナ装置及びこれを含む原子間力顕微鏡) を参照する。

【0038】

XYスキャナ11とZスキャナ21とは、図1及び図2のように分離されて別の部材として存在することができるが、チューブ型圧電アクチュエータにより1つの部材に統合されて存在することもできる。このようなチューブ型圧電アクチュエータの場合、XY方向の移動とZ方向の移動とを共に行うことができるが、XY方向への拳動とZ方向への拳動とがカップリングされてイメージを歪めるという問題を有している。しかし、このような限界にもかかわらず、本発明が活用され得ることはもちろんである。このようなXYZ統合型スキャナは、米国特許公開第2012-0079635A1 (発明の名称: Methods and devices for correcting errors in atomic force microscopy) などに開示されており、その他にも、公知の原子間力顕微鏡の構造が使用され得る。

【0039】

レーザ発生ユニット15では、レーザ光 (点線で図示) をカンチレバ2の表面に照射し、カンチレバ2の表面から反射されたレーザ光は、PSPD (Position Sensitive Photo Detector) のような2軸のディテクタ (detector、14) に結ばれる。このようなディテクタ14で検出される信号はコントローラ30に送られる。

【0040】

10

20

30

40

50

コントローラ30は、XYスキャナ11とZスキャナ21とが連結されて、XYスキャナ11とZスキャナ21の駆動を制御する。また、コントローラ30は、ディテクタ14から得られた信号をADCコンバータによりデジタル信号に変換し、これを活用してカンチレバ2の撓み、歪みなどの程度を判断することができる。コントローラ30にはコンピュータが統合されていることができ、別のコンピュータとコントローラ30とが連結されていることもできる。コントローラ30は、1つに統合されてラックに入れられることができるが、2個以上に分割されて存在することもできる。

【0041】

コントローラ30は、測定対象1をXYスキャナ11によりXY方向にスキャンするようにXYスキャナ11を駆動する信号を送る一方、カンチレバ2が測定対象1の表面と所定の相互の力を有するように(すなわち、所定程度の撓みを維持するように)Zスキャナ21を制御する。すなわち、コントローラ30は、ソフトウェア的または電気回路的な廃ループフィードバックロジック(closed loop feedback logic)を有する。また、コントローラ30は、Zスキャナ21の長さ(または、Zスキャナ21に使用されたアクチュエータの長さ)を測定するか、Zスキャナ21に使用されたアクチュエータに印加される電圧などを測定することにより、測定対象1の表面の形状データ(topography)を得る。

10

【0042】

ここで、カンチレバ2のチップは、測定対象1の表面と接触状態にありうるし(これを「接触モード」という)、非接触状態にありうるし(これを「非接触モード」という)、また、測定対象1の表面を叩く状態にありうるが(これを「タッピングモード」という)、これは、測定対象1の表面状態、カンチレバ2の条件、測定条件などによって変わることができ、いかなるモードを使用しても本発明の範疇に属するであろう。

20

【0043】

一方、コントローラ30が得る測定対象1の表面に関するデータは、形状データの他に、様々でありうる。例えば、カンチレバ2に磁気力を浮かべるか、静電力などを加える特殊な処理をすることにより、測定対象1の表面の磁気力に関するデータ、静電気力に関するデータなどを得ることができる。このような原子間力顕微鏡のモード等は、MFM(Magnetic Force Microscopy)、EFM(Electrostatic Force Microscopy)などがあり、これは、公知の方法を使用して実現されることができる。その他にも、測定対象1の表面に関するデータは、表面の電圧、表面の電流などでありうる。

30

【0044】

図3aに示すように、コントローラ30は、カンチレバ2のチップがデータを得なければならない地点に対するマッピングデータ(mapping data)を有する。このようなマッピングデータは、多様に保有され得るし、ユーザの設定により変更可能でもある。

【0045】

ユーザは、測定対象1の表面の測定領域Mを設定する。例えば、ユーザは、 $10\mu\text{m} \times 10\mu\text{m}$ の領域のデータを得るようにコントローラ30に命令をすることができる。このようなユーザが設定した領域内でデータを得なければならない地点を決定するようになるが、細かく指定するほど解像度が高くなる。例えば、指定領域M内で 256×256 個、 512×512 個、 512×1024 個などのデータを得るように多様に設定されることができる。指定領域M内で $i \times j$ のデータ個数を得るために、図3aのように $i \times j$ 個の格子型マッピングデータが選択され得る。

40

【0046】

図3aの全ての点にカンチレバ2のチップが位置するようにXYスキャナ11は測定対象1をスキャンする。図3bのように、X方向に一行を速くスキャンし、その後、下一間降りて、-X方向に一行を速くスキャンし、さらに一間降りてスキャンする方式でXYスキャナ11が駆動され得る。ここで、X方向(-X方向も含む)を高速スキャン方向(

50

fast scan direction) と呼び、Y 方向を低速スキャン方向 (slow scan direction) と呼ぶことができる。このような高速スキャン方向は、図 3 b のように X 方向でありうるし、これとは異なり、Y 方向でもありうるし、その他にも、異なる方向であっても関係ない。

【0047】

高速スキャン方向に沿うラインを高速スキャンライン (fast scan line) と呼ぶことができ、図 3 b では、 l_1 、 l_2 、 l_3 、 l_4 等に表示される。図 3 a のようなマップでは、合計 j 個の高速スキャンラインが存在するようになる。

【0048】

一方、これと異なり、 $A(1, 1)$ 、 $A(i, 1)$ 、 $A(1, 1)$ 、 $A(1, 2)$ 、 $A(i, 2)$ 、 $A(1, 2)$ 、 $A(1, 3)$... の順序どおりに 1 つの高速スキャンラインを往復するようにスキャンして測定対象 1 を測定することもできる。

10

【0049】

XY スキャナ 11 が図 3 b のようなスキャン経路を利用して測定対象 1 の表面をスキャンすれば、カンチレバ 2 のチップは、Z スキャナ 21 により測定対象 1 の表面に沿うようになるにつれて、トポグラフィなどの測定対象 1 の表面に対するデータが各地点 (A_{ij} 、ここで、 i 、 j は 1 以上の整数) で収集される。これを用いてコントローラ 30 は、3 次元的なイメージを生成して、ユーザに提供する。

【0050】

本発明の理論的説明

20

図 4 は、スキャン速度と測定対象の傾斜度に対する相関関係を説明するための概念図である。

【0051】

チップ 2 の Z 方向への速度 (dz/dt) は、下記のように定義される。

【0052】

【数 1】

$$\frac{dz}{dt} = \frac{dz}{dx} \times \frac{dx}{dt} = \text{slope} \times \text{scanrate} \quad (1)$$

30

上記の数式 (1) によれば、チップ 2 の Z 方向の速度は、測定対象 1 の傾斜度 (slope) と X 方向へのスキャン速度 (scan rate) との積で定義されることができる。一方、チップ 2 は、Z スキャナ 21 による廃ループフィードバック制御により Z 方向に移動されるので、 dz/dt は、次のように定義されることもできる。

【0053】

【数 2】

$$\frac{dz}{dt} = \text{Gain} \times \text{Error} \quad (2)$$

40

数式 (1) と数式 (2) によれば、数式 (3) が得られる。

【0054】

【数 3】

$$Error = \frac{slope \times scanrate}{Gain} \quad (3)$$

数式(3)によれば、測定対象1の傾斜度が大きいか、スキャン速度が高いほどエラー値は大きくなる。すなわち、測定対象1の傾斜度が大きい場合には、スキャン速度を小さくしてはじめてエラー値があまり大きくなり、フィードバック制御が正しく行われ得る。逆に、測定対象1の傾斜度が小さい場合には、スキャン速度を高めてもフィードバック制御が円滑に行われ得る。結論的に、エラー値を所定範囲内に維持してイメージ品質を低下させないようにするならば、測定速度1の傾斜度によってスキャン速度をよく調節しなければならない必要があるものである。

【0055】

図5は、以前の高速スキャンラインと直後の高速スキャンラインとをスキャンするチップと測定対象の表面を示した概略的な側面図である。

【0056】

図5に示すように、以前の高速スキャンラインと直後の高速スキャンラインとが物理的に近接しているため、以前の高速スキャンラインをスキャンするチップ(点線で図示)と直後の高速スキャンラインをスキャンするチップ(実線で図示)とは、各々測定対象1の一部領域Sに対してファンデルワールス力(Van der Waals interaction)等(この他にも、磁気力、静電力等)により影響を受けるようになる。すなわち、以前の高速スキャンラインで測定された表面に関するデータは、直後の高速スキャンラインで測定された表面に関するデータに影響を及ぼす。したがって、直後の高速スキャンラインでの表面に関するデータは、以前の高速スキャンラインでの表面に関するデータと類似し、以前の高速スキャンラインでの表面に関するデータにてある程度予測可能である。

【0057】

このような理論的根拠は、原子間力顕微鏡に使用される常用のチップ2の添付の半径が約5~20nmであるが、5x5μmの領域を512x512pixelのイメージ品質として得る場合、高速スキャンライン間の間隔が約10nmであることによって支持される。

【0058】

したがって、以前の高速スキャンラインを用いて直後の高速スキャンラインのスキャン速度を決定することは理論的に妥当である。

【0059】

調整可能なスキャン速度を有する測定方法

図6は、本方法によるスキャン方法を示した順序図であり、図7は、図6の第2のステップでのスキャン速度を決定する方法を示した順序図である。また、図8及び図9は、各ステップで得られるデータを示す。

【0060】

本発明の一実施形態に係る測定方法は、感知部が測定対象の表面に沿ってスキャンしつつ、測定対象の表面に関するデータを測定する測定方法に関するものである。ここで、感知部は、例えば、チップ(tip)でありうる。本発明による測定方法は、例えば、原子間力顕微鏡を含む走査型プローブ顕微鏡などの測定装置に使用されることができ、本明細書では、原子間力顕微鏡を例として説明する。

【0061】

一方、感知部は、測定対象の表面の仮想の複数の高速スキャンラインに沿って相手移動

され、高速スキャンラインに対することは、前述した図3 a及び図3 bと、その関連説明を参照すればよい。ここで、感知部は、それ自体が移動してもよく、測定対象が移動してもよく、両方共が移動してもよい。すなわち、感知部が測定対象の表面に沿って相手移動さえすればよく、ある部材が実際に移動されるかは、方式によって決定されれば足りる（例えば、チューブスキャナを使用した場合、XYスキャナとZスキャナとを分離して使用した場合など）。

【0062】

図6に示すように、本発明の一実施形態に係る測定方法は、複数の高速スキャンラインのうち、いずれか1つの高速スキャンラインに沿って測定対象の表面をスキャンするステップ（以下、「第1のステップ」、S110）及び第1のステップ後、いずれか1つの高速スキャンラインと最も隣接した高速スキャンラインに沿うように感知部及び測定対象のうち1つ以上を移動させながら、感知部を用いて最も隣接した高速スキャンライン上の表面に関するデータを得るステップ（以下、「第2のステップ」、S120）を含む。

10

【0063】

第1のステップにおいて、いずれか1つの高速スキャンラインは、最初に高速スキャンされる高速スキャンライン（図3 bの l_1 ）でありうるし、それ以後にスキャンされる任意の高速スキャンラインでありうる。第1のステップによりいずれか1つの高速スキャンライン上の表面に関するデータが得られる。データを得る方法は、公知の原子間力顕微鏡により測定される方法を参考すればよい。表面に関するデータは、前述したように、形状データ、EFMデータ、MFMデータ、電圧データ、電流データなどでありうる。

20

【0064】

第1のステップ後、感知部は、第1のステップでスキャンされた高速スキャンラインと最も隣接した高速スキャンラインに沿って相手移動される。例えば、第1のステップにおいて、図3 bの l_1 が第1のステップでの高速スキャンラインであれば、第2のステップでは l_2 に沿って感知部が相手移動される。

【0065】

上記で説明した「本発明の理論的説明」によれば、隣接する高速スキャンライン同士は、同じ領域からファンデルワールス力などのような力を同時に受けるようになるので、以前にスキャンされた高速スキャンライン上の表面に関するデータを用いて直後の高速スキャンライン上の表面に関するデータをある程度予測可能である。

30

【0066】

本発明は、直後の高速スキャンラインでのスキャン速度の決定において、少なくとも直前にスキャンされた高速スキャンライン上の表面に関するデータを用いることにより、スキャン速度を最適化して測定速度を極大化することを特徴とする。

【0067】

図7に示すように、第2のステップでのスキャン速度を決定する方法は、第1のステップで得られた表面に関するデータの変化値を得るステップ（S210）、変化値の絶対値を求めるステップ（S220）、スムージングするステップ（S230）、クリッピング（clipping）するステップ（S240）、及びスキャン速度を決定するステップ（S250）を含む。

40

【0068】

以下では、各細部ステップを図8及び図9を参照して詳しく説明する。

【0069】

まず、第1のステップで得られた表面に関するデータの変化値を得る（S210）。図8の（a）に示すように、第1のステップでいずれか1つの高速スキャンラインに沿って感知部がスキャンされることにより、いずれか1つの高速スキャンライン上の測定対象の表面に関するデータが得られる。本説明では、理解を容易にするために、表面に関するデータを表面形状データ（topography data）として例示する。

【0070】

ここで、データの変化値とは、各データ取得地点（図3 aの点A）でのデータの傾斜度

50

(例えば、数式(3)のslope)でありうるし、ディテクタ(図2の図面符号“14”)により第1のステップでのスキャンの際、各データ取得地点で測定されるZ方向のエラー信号(数式(2)及び(3)のError)でありうる。すなわち、本ステップ(S210)での変化値は、第1のステップ(S110)を行った後に計算されることができ、第1のステップ(S110)が完了するとともに得られることもでき、このような変化値の取得時点は、後述するS220ステップまたはS230ステップ以前であれば足りる。

【0071】

本ステップ(S210)で図8の(b)のようなデータの変化値が得られる。図8の(b)に示すように、扁平な部分では変化値が0に近く、段差が大きい部分では変化値が大きく発生する。具体的に、段差がスキャン方向に対して大きくなる部分では正の変化値を有し、小さくなる部分では負の変化値を有する。

10

【0072】

S210ステップで得られたデータの変化値は絶対化される(S220)。すなわち、負の変化値は、正の変化値に変換される。図8の(c)は、本ステップ(S220)を介して得られた変化値の絶対値を図示する。

【0073】

S220ステップで得られた絶対値はスムージングされる(S230)。スムージングとは、平滑化過程ともいうが、急激に変動する信号を軟らかく変動するように変更することをいう。図9の(d)に示すように、データがスムージングされて、軟らかく変動されるように変更されたことが分かる。

20

【0074】

一方、スムージングの技法としては、既存の様々な方法が採用され得る。例えば、スムージングは、ローパスフィルタリング(low pass filtering)技法により実現されることもできる。

【0075】

スムージングを行う理由は、急激なスキャン速度の変動が必要でないか、好ましくないためであり、さらに、高周波のノイズを除去するためでもある。

【0076】

S230ステップで得られた値はクリッピングされる(S240)。具体的に、予め決められた最大値より大きいデータは、最大値と同じように調整するか、完全に除く。また、予め決められた最小値より小さいデータは、最小値と同じように調整するか、ある所定の数値になるように調整することができる。ここで、クリッピングステップ(S240)で最大値及び最小値のうち、いずれか1つのみを設定することもできる。

30

【0077】

例えば、図9の(e)に示すように、予め決められた最大値(点線で図示)を越える値は、最大値になるように制限される。仮りに、全ての絶対値が最大値以下であれば、以後のステップで絶対値をそのまま反映する。

【0078】

クリッピングを行う理由は、非正常的に大きく得られるか、小さく得られるデータをスキャン速度に反映する必要がないためである。また、スキャン速度の最大値及び最小値を設定するためである。例えば、クリッピングしなければ、必要以上にスキャン速度が低いか、高い場合が生じるであろう。

40

【0079】

最後に、S240ステップで得られたデータを用いてスキャン速度を算出する(S250)。S240ステップで得られたデータは、以前の高速スキャンライン上の表面に関するデータの変化値に絶対化、スムージング、クリッピングの過程を行ったものであるから、速度の次元ではない。したがって、これを用いてスキャン速度の次元に変換する過程が必要である。

【0080】

50

図9の(e)において、得られた値が大きければスキャン速度は小さくならず、小さければスキャン速度は大きくなければならぬ。すなわち、S240ステップを介して得られた値とスキャン速度とは反比例しなればならぬので、図9の(f)のように反転された形態のスキャン速度グラフが算出されることが好ましい。S240ステップで得られた値を変換する式は様々に設定され得るが、これは、当該測定対象の最大スキャン速度、最低スキャン速度などを考慮して設定することができる。

【0081】

一方、S220ステップないしS240ステップの前後関係は変更され得る。例えば、S230ステップが先行され、S220ステップを行っても関係ない。また、S240ステップは省略されても関係ない。

10

【0082】

例えば、本発明の測定方法は、S110での表面に関するデータの変化値を得るし(S210)、この変化値の絶対値を求め(S220)、この絶対化された変化値をスムージングし(S230)、このスムージングされた値をスキャン速度に換算することにより(S250)、行われることができる。

【0083】

また、S110での表面に関するデータの変化値を得るし(S210)、この変化値の絶対値を求め(S220)、この絶対化された変化値をクリッピングし(S240)、このクリッピングされた値をスムージングし(S230)、このスムージングされた値をスキャン速度に換算することにより(S250)、行われることもできる。

20

【0084】

図10は、他の実施形態に係る第2のステップでのスキャン速度を決定する方法の各ステップで得られるデータを示す。

【0085】

他の実施形態に係る第2のステップ(S120)でのスキャン速度を決定する方法は、第1のステップ(S110)で得られた表面に関するデータをスムージングするステップと、スムージングするステップを介して得られた値をスキャン速度に換算するステップとを含む。その他にも、スムージングするステップ後にクリッピングするステップが選択的に本方法にさらに含まれ得る。

【0086】

本実施形態の測定方法は、図7に例示された測定方法とデータの絶対値を求めずに、第1のステップ(S110)で得られた表面に関するデータを直接スムージング、クリッピングすることにより、第2のステップ(S120)でのスキャン速度を求めるという点においてのみ差異があり、スムージング、クリッピングステップの具体的な事項は同様である。

30

【0087】

図10の(a)に示すように、第1のステップ(S110)を介して表面に関するデータ(本実施形態では表面電圧)が得られる。その後、図10の(b)のように、表面に関するデータをスムージングし、図10の(c)のように、スムージングしたデータをクリッピングする。その後、図10の(d)のように、クリッピングされたデータはスキャン速度に換算される。

40

【0088】

例えば、本発明の測定方法は、S110での表面に関するデータをスムージングし、このスムージングされた値をスキャン速度に換算することにより、行われることができる。また、本発明の測定方法は、S110での表面に関するデータをスムージングし、このスムージングされた値をクリッピングし、このクリッピングされた値をスキャン速度に換算することにより、行われることができる。また、本発明の測定方法は、S110での表面に関するデータをクリッピングし、このクリッピングされた値をスムージングし、このスムージングされた値をスキャン速度に換算することにより、行われることもできる。

【0089】

50

本方法は、表面の電圧のように、その値が大きい部分（綿密な測定が不要な部分）ではスキャン速度を高め、その値が小さい部分（綿密な測定が必要な部分）ではスキャン速度を低める必要がある表面に関するデータの測定において適している。逆に、場合によっては、スキャン速度に換算するステップで値が小さい部分ではスキャン速度を低め、値が大きい部分ではスキャン速度を高めるようにスキャン速度を換算してもよい。

【0090】

実際の実現例

図11は、例示的な測定対象のトポグラフィイメージとラインプロファイル（line profile）を示し、図12は、直後の高速スキャンラインのスキャン速度を求める過程を示したグラフである。また、図13は、一定のスキャン速度で測定されたラインプロファイルと、本発明の方法を使用して得られたスキャン速度で測定されたラインプロファイルとを示す。

10

【0091】

図11に示すように、例示的な測定対象は、高速スキャン方向をX方向として測定される。図11に示すデータは、全て本出願人のXEシリーズの原子間力顕微鏡により得られたものである。

【0092】

以前の高速スキャンラインのデータを用いて得られた直後の高速スキャンラインのスキャン速度は、前述した「調整可能なスキャン速度を有する測定方法」を利用して得られ、各ステップを通過したデータのグラフは、図12に示される。算出される詳細な原理は、

20

【0093】

図13に示すように、1Hzのスキャン速度で得られたラインプロファイルは、フォワード方向（forward direction、図13において右側方向）とバックワード方向（backward direction、図13において左側方向）とが互いに不一致する。すなわち、スキャン速度があまり速くて、変化値が大きい部分でフィードバックが適宜行われなかったためである。スキャン速度を低めれば低めるほど、フォワード方向とバックワード方向のラインプロファイルは互いに一致するようになる。しかし、0.2Hzのスキャン速度では、図10のようにトポグラフィイメージを得るために1280秒が必要である（1つの高速スキャンラインをスキャンするのに5秒がかかり、高速スキャンラインが256個である場合）。

30

【0094】

これに対し、本発明に係る方法を適用してトポグラフィイメージを得る場合、227秒がかかり、ラインプロファイルは、0.2Hzと類似した品質で得られることが分かる。すなわち、イメージ品質は高めながらも、測定速度は画期的に減少することが分かる。これにより、原子間力顕微鏡のスループットに関する根本的な問題点を解決することができる。

【0095】

前述した構成以外の構成は、本特許の出願人であるパーク・システムズ株式会社のXEシリーズ、NXシリーズなどのヘッド及び原子間力顕微鏡の構成にしたがうことができる。しかし、これに限定されるものではない。

40

【0096】

以上、添付された図面を参照して本発明の実施形態を説明したが、本発明の属する技術分野における通常の知識を有した者は、本発明のその技術的思想や必須的な特徴を変更せずに、他の具体的な形態で実施され得るということが理解できるであろう。したがって、以上において記述した実施形態等は、あらゆる面において例示的なものであり、限定的でないものと理解すべきである。

【符号の説明】

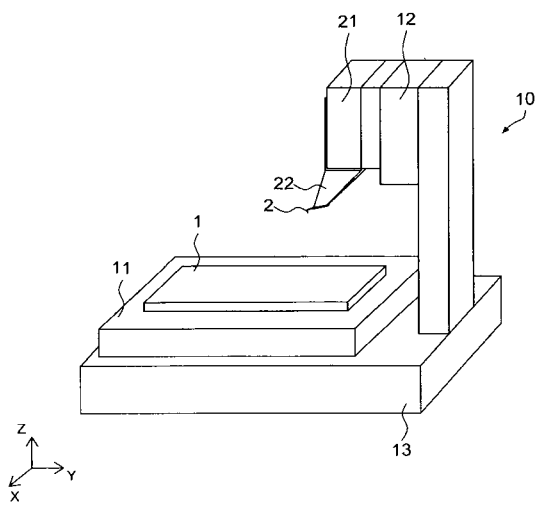
【0097】

1 測定対象

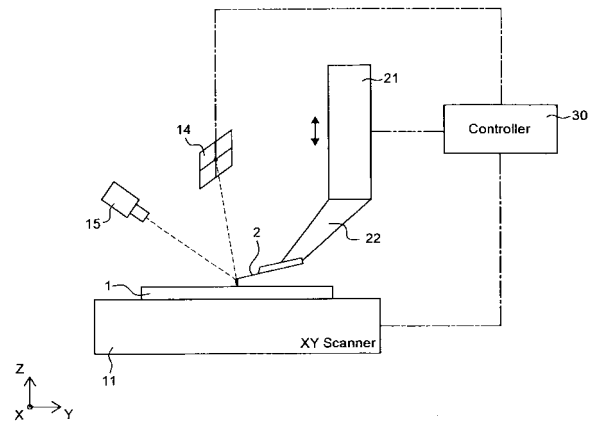
50

- 2 カンチレバ
- 2' チップ
- 11 XYスキャナ
- 14 ディテクタ
- 15 レーザ発生ユニット
- 21 Zスキャナ
- 30 制御装置

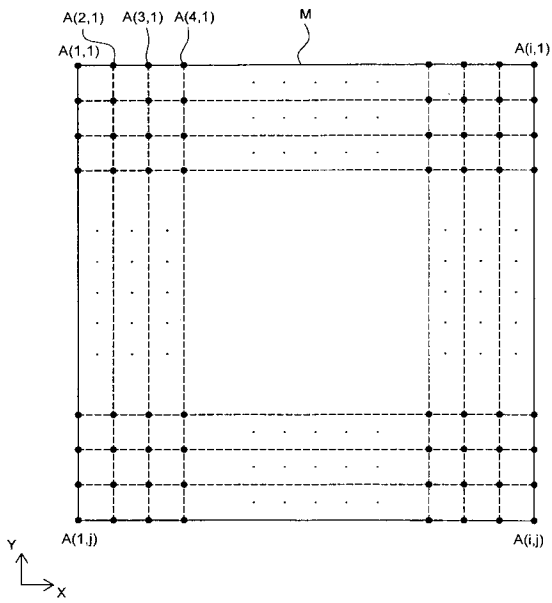
【図1】



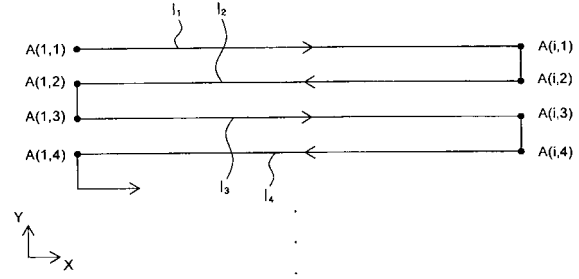
【図2】



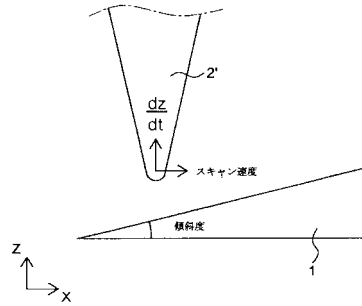
【 図 3 a 】



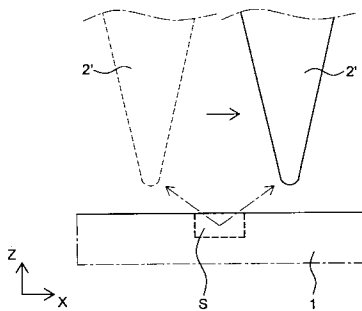
【 図 3 b 】



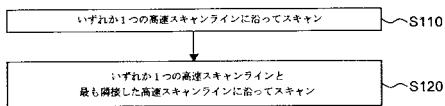
【 図 4 】



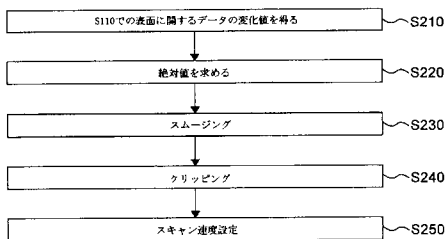
【 図 5 】



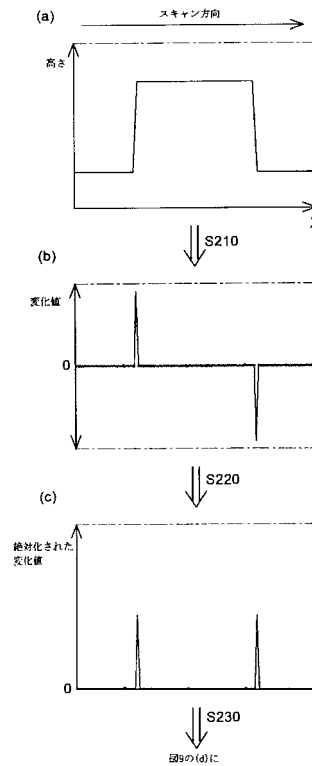
【 図 6 】



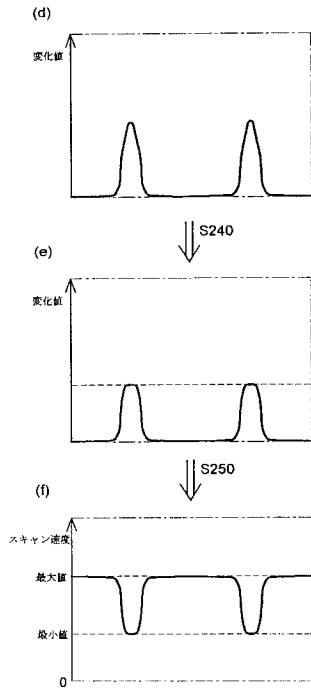
【 図 7 】



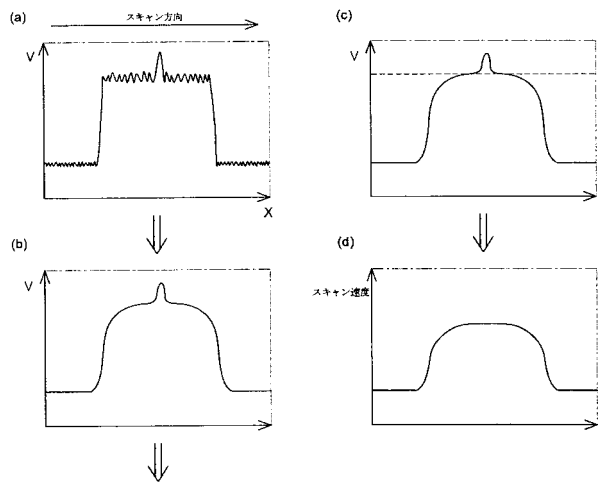
【 図 8 】



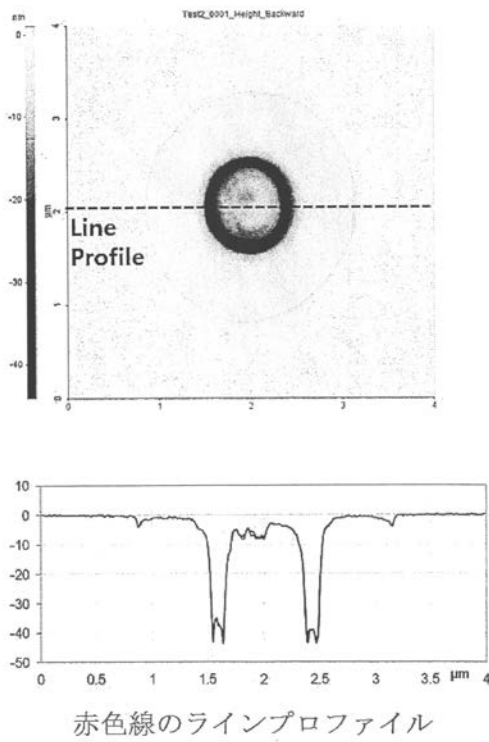
【 図 9 】



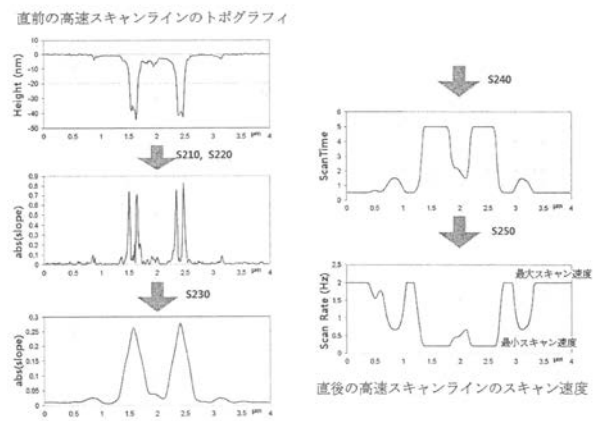
【 図 10 】



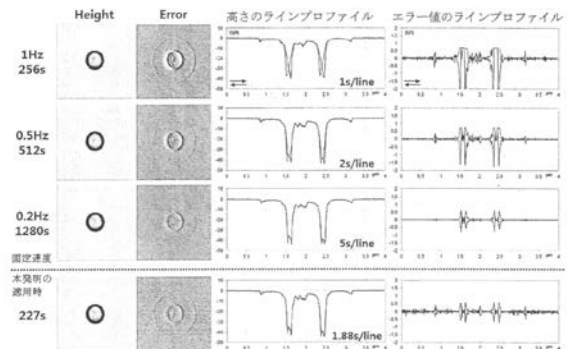
【 図 11 】



【 図 12 】



【 図 13 】



フロントページの続き

- (72)発明者 イ, ジュソク
大韓民国京畿道水原市靈通区靈通路 2 3 2 8 0 1 棟 2 0 2 号
- (72)発明者 チョウ, ヨンソン
大韓民国京畿道水原市長安区鍊武路 2 0 ボンギル 2 4
- (72)発明者 チョン, サンハン
大韓民国ソウル市瑞草区ソウン路 1 9 7 1 0 3 棟 2 3 0 2 号
- (72)発明者 パク, サンイル
大韓民国京畿道城南市盆唐区板橋院路 8 2 ボンギル 3 0 山雲マウル 1 3 団地アパート 1 3 0
5 棟 3 2 0 4 号

Fターム(参考) 2F062 AA02 AA63 CC27 EE01 EE09 EE62 FF03 FF14 FF26 FG07
FG08 GG61 GG71 HH05
2F069 AA02 AA06 AA62 AA63 DD15 GG01 GG04 GG06 GG07 JJ06
JJ14 JJ27 JJ30 MM24 MM32 MM34 NN02 NN08