

(19) 日本国特許庁 (JP)

(12) 特 許 公 報 (B2)

(11) 特許番号

特許第4939086号  
(P4939086)

(45) 発行日 平成24年5月23日 (2012. 5. 23)

(24) 登録日 平成24年3月2日 (2012. 3. 2)

(51) Int. Cl.

F I

GO 1 Q 20/02 (2010. 01)  
 GO 1 Q 30/06 (2010. 01)  
 GO 1 C 3/06 (2006. 01)  
 GO 1 B 11/00 (2006. 01)

GO 1 Q 20/02  
 GO 1 Q 30/06  
 GO 1 C 3/06 1 1 O B  
 GO 1 C 3/06 1 4 O  
 GO 1 B 11/00 B

請求項の数 2 (全 9 頁)

(21) 出願番号 特願2006-70132 (P2006-70132)  
 (22) 出願日 平成18年3月15日 (2006. 3. 15)  
 (65) 公開番号 特開2007-248168 (P2007-248168A)  
 (43) 公開日 平成19年9月27日 (2007. 9. 27)  
 審査請求日 平成21年3月16日 (2009. 3. 16)

(73) 特許権者 000001007  
 キヤノン株式会社  
 東京都大田区下丸子3丁目30番2号  
 (74) 代理人 100082337  
 弁理士 近島 一夫  
 (74) 代理人 100095991  
 弁理士 阪本 善朗  
 (74) 代理人 100141508  
 弁理士 大田 隆史  
 (72) 発明者 大熊 勇  
 東京都大田区下丸子3丁目30番2号 キ  
 ヤノン株式会社内

審査官 樋口 宗彦

最終頁に続く

(54) 【発明の名称】 原子間力顕微鏡

(57) 【特許請求の範囲】

【請求項 1】

カンチレバーに入射した光の反射光を受光し、被測定物との間の原子間力による前記カンチレバーの変位を測定する原子間力顕微鏡において、

互に波長の異なるレーザー光を発生する2つの独立した光源と、

前記2つの光源によるレーザー光のうち的一方を前記カンチレバーの自由端部で反射させ、他方を前記カンチレバーの固定端部で反射させる互いに独立に焦点位置が調整可能な2つの集光光学系と、

前記カンチレバーの自由端部で反射した反射光と前記カンチレバーの固定端部で反射した反射光とを略同方向に導きかつ前記反射光同士を互いに近接した空間に案内する、ミラーもしくは前記光源から照射されるレーザー光と前記反射光とを分離するビームスプリッターと、

前記カンチレバーの自由端部で反射した反射光と前記カンチレバーの固定端部で反射した反射光とをそれぞれ受光する2つの受光器と、

前記2つの受光器の入射側に配置された前記波長の異なる2つのレーザー光を分離するダイクロイックミラーと、

を有し、

前記2つの受光器による独立した2つの出力に基づいて前記カンチレバーの変位を演算することを特徴とする原子間力顕微鏡。

【請求項 2】

10

20

前記カンチレバーと、前記２つの光源および前記２つの集光光学系からなる変位検出装置を複数備えており、

前記複数の光源は互にすべて異なる波長のレーザー光を発生することを特徴とする請求項１記載の原子間力顕微鏡。

【発明の詳細な説明】

【技術分野】

【０００１】

本発明は、表面形状測定を行う原子間力顕微鏡において、カンチレバーの変位を検出するために、特に数十ピコメートルの再現性を備える原子間力顕微鏡に関するものである。

【背景技術】

【０００２】

原子間力顕微鏡は、被測定物表面とその極近傍に配置されたカンチレバーとの原子間力をカンチレバーのたわみ量（変位）として検出し、その力を一定に保ちながらたわみ方向および垂直平面上を走査する。その際、たわみ方向に走査するアクチュエータに印加した電圧値と垂直平面上の座標から、被測定物表面の形状データを取得する。

【０００３】

被測定物表面とカンチレバーの間の原子間力の変化は、ＡＣモードとＤＣモードと呼ばれる動作で検出される。前者はカンチレバーを共振周波数付近で加振し、原子間力が変化した際の振幅もしくは位相の変化を検出して、一定に保つ制御を行う。後者はカンチレバーのたわみ量を原子間力の変化として検出し、一定に保つ制御を行う。両者ともカンチレバーのたわみ量検出法は、レーザー光をカンチレバーによって反射させ、拡大された変位量を受光器で検出する「光てこ」方式が多く用いられている。

【０００４】

しかし、原子間力顕微鏡で数十ピコメートルの再現性を達成するためには、以下のようなノイズ成分の低減が必要となる。

【０００５】

- １．光路の揺らぎおよび光学系振動
- ２．装置振動
- ３．カンチレバーの熱ドリフト
- ４．圧電素子のヒステリシス
- ５．受光器および回路のノイズ

【０００６】

特にＤＣモードの測定では、上記すべてのノイズ要因を低減させなければならない。

【０００７】

従来の光てこ光学系における光路の揺らぎや光学系振動のノイズ低減方法には、特許文献１に開示されたように、偏光を利用したものがある。この方法について図３を参照しながら説明する。レーザー光源１０１からレーザー光を射出させ、レンズ１４７を通じて一旦収束させた後発散させる。この発散光をビームスプリッタ１４８に入射させ、その透過光を偏光方向により分離角が異なるプリズム１４９（ウォーラストンプリズム）を通して２つの測定光Ｐ、Ｓに分離する。分離した測定光Ｐ、Ｓをレンズ１５０を通して、カンチレバー１０５の自由端付近と固定端付近によって反射させる。２つの反射光を再びレンズ１５０とプリズム１４９を通し、ビームスプリッタ１４８によってレーザー光源１０１とは異なる方向に反射させ、さらに偏光ビームスプリッタ１５１を通して分離する。こうして分離された測定光Ｐ、Ｓは、それぞれの焦点位置で光検出素子１０８、１０９に入射する。

【０００８】

光検出素子１０８、１０９上の変位情報は、処理回路により電圧値情報に変換され、測定光Ｐ、Ｓの変位情報の差分をとることで、光路揺らぎと光学系振動成分は同相成分としてキャンセルされるため、カンチレバー１０５のたわみ量のみを検出することができる。

【特許文献１】特開平０５－００５６２２号公報

10

20

30

40

50

## 【発明の開示】

## 【発明が解決しようとする課題】

## 【0009】

しかしながら、上記従来例では、1箇所のウォラストンプリズムの微動により、2つのレーザースポット径を調節するため、以下のような欠点があった。

## 【0010】

まず、2つのレーザースポット径を独立して設定できないため、カンチレバーの幅より小さい径にすることが難しく、散乱光が発生し、検出感度が落ちる。

## 【0011】

また、上記従来例のように偏光を利用した方法では、微小範囲内での測定点が3つ以上になると、干渉・迷光により互の信号を区別できないため、微小範囲内にカンチレバーを複数配置して測定することが不可能であった。

## 【0012】

本発明は上記従来の技術の有する未解決の課題に鑑みてなされたものであり、複数のレーザースポット径を独立して調整自在であり、ノイズの影響を受けることなく数十ピコメートルの再現性を実現できる原子間力顕微鏡を提供することを目的とするものである。

## 【課題を解決するための手段】

## 【0013】

上記目的を達成するため、本発明の原子間力顕微鏡は、カンチレバーに入射した光の反射光を受光し、被測定物との間の原子間力による前記カンチレバーの変位を測定する原子間力顕微鏡において、互に波長の異なるレーザ光を発生する2つの独立した光源と、前記2つの光源によるレーザ光のうちの一方を前記カンチレバーの自由端部で反射させ、他方を前記カンチレバーの固定端部で反射させる互いに独立に焦点位置が調整可能な2つの集光光学系と、前記カンチレバーの自由端部で反射した反射光と前記カンチレバーの固定端部で反射した反射光とを略同方向に導きかつ前記反射光同士を互いに近接した空間に案内する、ミラーもしくは前記光源から照射されるレーザ光と前記反射光とを分離するビームスプリッタと、前記カンチレバーの自由端部で反射した反射光と前記カンチレバーの固定端部で反射した反射光とをそれぞれ受光する2つの受光器と、前記2つの受光器の入射側に配置された前記波長の異なる2つのレーザ光を分離するダイクロイックミラーと、を有し、前記2つの受光器による独立した2つの出力に基づいて前記カンチレバーの変位を演算することを特徴とする。

## 【発明の効果】

## 【0014】

カンチレバーの固定端と自由端の近傍の変位を検出するための波長の異なる2つのレーザ光が、それぞれ2つの受光器上で検出され、演算回路でその差分をとることにより、光路の揺らぎや光学系の振動によるノイズを同相成分として相殺する。また、カンチレバーによって反射する2つのレーザースポット径を互に独立して調整できるため、カンチレバーの幅より小さい径にすることができる。従って、被測定物の表面への散乱光が減り、受光器に入射する迷光を減少させ、検出感度を向上させることができる。

## 【0015】

また、2つのレーザ光の光路が隣接するように光学系を構成することで、2つの光路をほぼ同じ空間とすることとなり、光路の揺らぎおよび光学系の振動による影響を極力抑えることが可能となる。

## 【0016】

また、隣接して配置された2つの光を、2つの受光器の直前（入射側）にダイクロイックミラーを配置し分離することで、2つの光路が通る空間を極力等しくすることができる。また、受光器の受光面より小さな範囲内に2つのレーザ光が集光点を持つ場合でも、互に干渉せずに独立して変位を検出できる。

## 【0017】

このような変位検出装置を具備することで、数十ピコメートルの再現性と省スペース構造を有する原子間力顕微鏡を実現することができる。

【0018】

さらに、約1平方mm程度の範囲内に配置された複数のカンチレバーの変位を互に干渉させることなく、かつ同時に測定できるため、数十ピコメートルの再現性と装置の省スペース化に加えて、測定時間の短縮が可能となる。

【発明を実施するための最良の形態】

【0019】

本発明を実施するための最良の形態を図面に基づいて説明する。

【0020】

図1に示すように、独立した光源である2つのレーザー光源1、2を有し、これらは互に異なる波長のレーザー光3、4を発生する。カンチレバー5の背面には、レーザー光3、4を反射するミラー面を形成してある。2つのレーザー光3、4は、各レーザー光源1、2に対応して、それぞれコリメータレンズを含む2組の独立した集光光学系23、24を経て、カンチレバー5のミラー面上で焦点を結ぶように構成されている。

【0021】

第1のレーザー光3はカンチレバー5の自由端部のミラー面に入射して焦点を結び、ミラー6およびダイクロイックミラー7を経て第1の受光器8に入射する。第2のレーザー光4はカンチレバー5の固定端部のミラー面に入射して焦点を結び、ミラー6と、第2のレーザー光4の波長近傍のみを反射するダイクロイックミラー7で反射した後、第2の受光器9に入射する。2つの受光器8、9に入射したレーザー光3、4の位置情報は、それぞれ信号処理回路により電圧値(出力)に変換され、この電圧値の差分から、補正されたカンチレバー変位を得る。

【0022】

この時レーザー光3、4は、隣接して配置されており、これに伴い集光光学系23、24も隣接して配置している。またダイクロイックミラー7は、2つの受光器8、9の直前に配置されている。これによりレーザー光3、4の通過する空間を極力等しくすることができる。

【0023】

図1においては1つのミラー6により、レーザー光3、4の両方を反射しているが、それぞれが反射される2つのミラーを配置することもできる。ただしこの場合、隣接して配置される。

【0024】

また、前記ダイクロイックミラー7の代わりに、一方のレーザー光の光路のみを遮る反射ミラーとすることも可能である。しかしながら、2つのレーザー光3、4が非常に近接しているため、一方の光は透過し、他方の光は反射するダイクロイックミラー7が好ましい。

【実施例1】

【0025】

図1は実施例1による原子間力顕微鏡の構成を示す。第1のレーザー光源1および第2のレーザー光源2は、互に50~100nm程度波長の異なるレーザー光3、4を発生する。レーザー光源1、2はそれぞれコリメータレンズを備え、カンチレバー5に入射する際にスポット径が焦点を結ぶようにそれぞれ独立して調整することで、レーザー光3、4のスポット径をカンチレバー5の幅より小さくすることができる。これによって、被測定物Wへの散乱光が減り、受光器8、9に入射する迷光を減少させ、検出感度を向上させることができる。

【0026】

第1のレーザー光3はカンチレバー5の自由端付近で、第2のレーザー光4はカンチレバー5の固定端付近で、それぞれ反射され、さらにミラー6によって反射される。ミラー6の代わりに、被測定物Wに入射する光と反射光を分離するビームスプリッタを設けても

10

20

30

40

50

よい。

【 0 0 2 7 】

レーザー光 4 は、その波長近傍のみを反射するダイクロイックミラー 7 によって、光路を変化させ、受光器 9 に入射する。この受光器の代わりに、四分割ダイオードあるいは 2 次元位置検出素子を用いることもできる。受光器 9 に入射したレーザー光 4 の変位情報は、電気回路中の減算器 1 3、加算器 1 4、除算器 1 5 により信号処理され、レーザー光 4 の強度に依存しない電圧値に変換される。

【 0 0 2 8 】

この場合、受光器 9 に入射したレーザー光 4 のスポット径は、カンチレバー 5 上でのスポット径より大きくても、受光器 9 に要求される分解能を満たすことができる径、具体的にはスポット径 1 mm 程度であればよい。

10

【 0 0 2 9 】

一方、レーザー光 3 は、ダイクロイックミラー 7 をまっすぐ透過し、受光器 8 に入射する。この受光器の代わりに、四分割ダイオードあるいは 2 次元位置検出素子を用いてもよい。受光器 8 に入射したレーザー光 3 の変位情報も同様に、電気回路中の減算器 1 0、加算器 1 1、除算器 1 2 により信号処理され、レーザー光 3 の強度に依存しない電圧値に変換される。この場合、受光器 8 に入射したレーザー光 3 のスポット径は、カンチレバー 5 上でのスポット径より大きくても、受光器 8 に要求される分解能を満たすことができる径、具体的にはスポット径 1 mm 程度であればよい。

20

【 0 0 3 0 】

受光器 8 の電圧信号からは、カンチレバー 5 のたわみ角の情報を変位に変換した信号だけでなく、光路揺らぎと光学系振動によるノイズ成分を足し合わせた信号が検出される。一方、受光器 9 の電圧信号からは、光路揺らぎと光学系振動によるノイズ成分を足し合わせた信号が検出される。そして受光器 8 の電圧信号と前記受光器 9 の電圧信号から、減算器 1 6 で差分の電圧信号を得る。このようにして、光路揺らぎと光学系振動によるノイズ成分を取り除いた、カンチレバー 5 の微小なたわみ角の情報を変位データに変換した信号のみを得ることができる。

【 0 0 3 1 】

以上の手順で得られたカンチレバー 5 の微小なたわみ量を表わす電圧を一定に保つように、制御部 1 7 は駆動回路 1 8 に指令を出し、変位データはデータ処理部 1 9 に導入される。カンチレバー 5 の駆動部は X ピエゾ 2 0、Z ピエゾ 2 1、Z 加振ピエゾ 2 2 を有し、駆動回路 1 8 は Z ピエゾ 2 1 を駆動する。これにより、カンチレバー 5 と被測定物 W の距離を常に一定に保ちながら X ピエゾ 2 0 でスキャンして、データ処理部 1 9 が被測定物 W の表面の形状を表わす変位データを得る。

30

【 実施例 2 】

【 0 0 3 2 】

図 2 は実施例 2 による原子力間顕微鏡の構成を示す。これは、実施例 1 のカンチレバー 5 に加えて第 2 のカンチレバー 5 a を用いるもので、カンチレバー 5 a にもカンチレバー 5 と同様の変位検出系が配設される。なお、付加するカンチレバーおよび変位検出系は複数でもよい。

40

【 0 0 3 3 】

カンチレバー 5、5 a にそれぞれ対応するレーザー光源 1、2、1 a、2 a は、互に 50 ~ 100 nm 程度波長の違うレーザー光 3、4、3 a、4 a を発生する。また、レーザー光源 1、2、1 a、2 a はそれぞれ図示しないコリメータレンズを備えており、カンチレバー 5、5 a に入射する際にスポット径が焦点を結ぶようにそれぞれ独立して調整できる。この構成により、レーザー光 3、4、3 a、4 a のカンチレバー 5、5 a におけるスポット径を、カンチレバー 5、5 a の幅より小さくすることができる。その結果、被測定物 W の表面への散乱光が減り、受光器 8、9、8 a、9 a に入射する迷光を減少させ、検出感度を向上させることができる。また、1 平方 mm 程度の微小範囲内に設置された複数のカンチレバー変位を、互に干渉することなく検出することを可能にする。

50

## 【 0 0 3 4 】

レーザー光 3 はカンチレバー 5 の自由端付近で、レーザー光 4 はカンチレバー 5 の固定端付近でそれぞれ反射する。また、レーザー光 3 a はカンチレバー 5 a の自由端付近で、レーザー光 4 a はカンチレバー 5 a の固定端付近でそれぞれ反射する。

## 【 0 0 3 5 】

カンチレバー 5 から反射したレーザー光 3、4 とカンチレバー 5 a から反射したレーザー光 3 a、4 a はすべてミラー 6 で反射する。その後、レーザー光 4 a は、その近傍の波長のみを反射するダイクロイックミラー 7 a で反射され、受光器 9 a で検出され、残りのレーザー光 3、4、3 a は透過する。続いて、レーザー光 3 a は、その近傍の波長のみを反射するダイクロイックミラー 7 b で反射され、受光器 8 a で検出され、残りのレーザー光 3、4 は透過する。さらに、レーザー光 4 は、その近傍の波長のみを反射するダイクロイックミラー 7 で反射されて受光器 9 で検出され、残りのレーザー光 3 はダイクロイックミラー 7 を透過する。最後に、レーザー光 3 は受光器 8 で検出される。

10

## 【 0 0 3 6 】

受光器 9 に入射したレーザー光 4 の変位情報は、電気回路中の減算器 1 3、加算器 1 4、除算器 1 5 により信号処理され、レーザー光 4 の強度に依存しない電圧値に変換される。また、受光器 8 に入射したレーザー光 3 の変位情報も同様に、電気回路中の減算器 1 0、加算器 1 1、除算器 1 2 により信号処理され、レーザー光 3 の強度に依存しない電圧値に変換される。そして前記受光器 8 の電圧信号と前記受光器 9 の電圧信号から、減算器 1 6 で差分の電圧信号を得る。このようにして、光路揺らぎと光学系振動によるノイズ成分を取り除いた、カンチレバー 5 の微小なたわみ角の情報を変位に変換した信号のみを得ることができる。

20

## 【 0 0 3 7 】

一方、受光器 9 a に入射したレーザー光 4 a の変位情報は、電気回路中の減算器 1 3 a、加算器 1 4 a、除算器 1 5 a により信号処理され、レーザー光 4 a の強度に依存しない電圧値に変換される。また、受光器 8 a に入射したレーザー光 3 a の変位情報も同様に、電気回路中の減算器 1 0 a、加算器 1 1 a、除算器 1 2 a により信号処理され、レーザー光 3 a の強度に依存しない電圧値に変換される。そして受光器 8 a の電圧信号と受光器 9 a の電圧信号から、減算器 1 6 a で差分の電圧信号を得る。このようにして、光路揺らぎと光学系振動によるノイズ成分を取り除いた、カンチレバー 5 a の微小なたわみ角の情報を変位に変換した信号のみを得ることができる。

30

## 【 0 0 3 8 】

カンチレバー 5 a に対応する制御部 1 7 a、駆動回路 1 8 a、データ処理部 1 9 a、Z ピエゾ 2 1 a、Z 加振ピエゾ 2 2 a は、カンチレバー 5 に対応するものと同様である。

## 【 0 0 3 9 】

この構成により、1 平方 mm 程度の微小範囲内に複数のカンチレバーが設置された場合でも、互に干渉することなく、光路揺らぎと光学系振動によるノイズ成分を取り除いた高精度なカンチレバー変位を表わす信号のみを得ることができる。このように、微小範囲内の表面粗さ測定を 2 箇所で行うことができるため、原子間力顕微鏡の測定時間を低減することができる。

40

## 【図面の簡単な説明】

## 【 0 0 4 0 】

【図 1】実施例 1 の構成を示す模式図である。

【図 2】実施例 2 の構成を示す模式図である。

【図 3】従来例を示す模式図である。

## 【符号の説明】

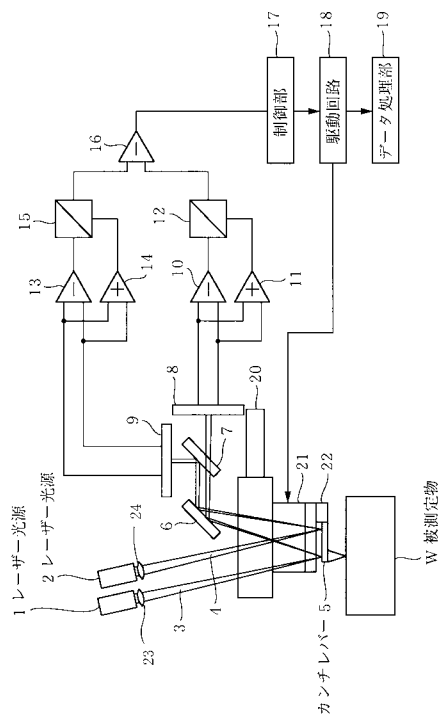
## 【 0 0 4 1 】

- 1、1 a、2、2 a      レーザー光源
- 3、3 a、4、4 a      レーザー光
- 5、5 a      カンチレバー

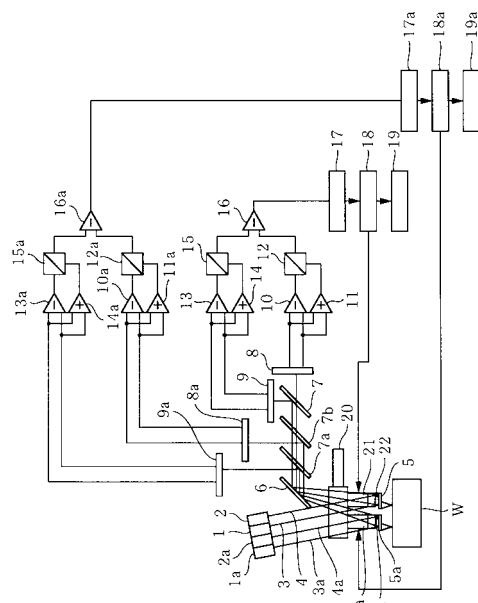
50

7、7 a、7 b     ダイクロイックミラー  
 8、8 a、9、9 a     受光器

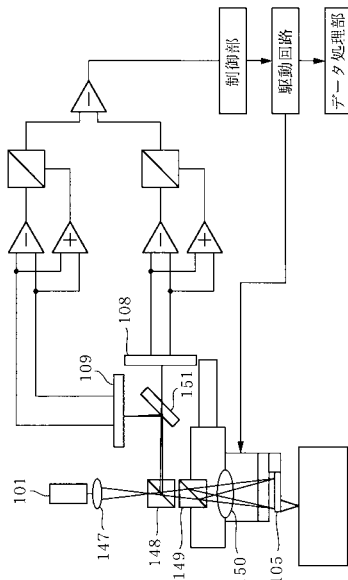
【図 1】



【図 2】



【図 3】





---

フロントページの続き

(56)参考文献 特開平07-301516(JP,A)  
特開平07-004909(JP,A)  
特開2004-061349(JP,A)  
特開2000-234994(JP,A)  
特開2003-014611(JP,A)  
特開2001-304833(JP,A)

(58)調査した分野(Int.Cl., DB名)  
G01Q10/00-90/00