

(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2004-226237
(P2004-226237A)

(43) 公開日 平成16年8月12日(2004.8.12)

(51) Int. Cl. ⁷	F I	テーマコード (参考)
GO 1 N 13/16	GO 1 N 13/16	2 F 0 6 3
GO 1 B 7/34	GO 1 B 7/34	2 F 0 6 9
GO 1 B 21/30	GO 1 B 21/30	

審査請求 未請求 請求項の数 1 O L (全 7 頁)

(21) 出願番号	特願2003-14467 (P2003-14467)	(71) 出願人	000004271 日本電子株式会社 東京都昭島市武蔵野3丁目1番2号
(22) 出願日	平成15年1月23日(2003.1.23)	(74) 代理人	100088041 弁理士 阿部 龍吉
		(74) 代理人	100092495 弁理士 蛭川 昌信
		(74) 代理人	100092509 弁理士 白井 博樹
		(74) 代理人	100095120 弁理士 内田 亘彦
		(74) 代理人	100095980 弁理士 菅井 英雄
		(74) 代理人	100094787 弁理士 青木 健二

最終頁に続く

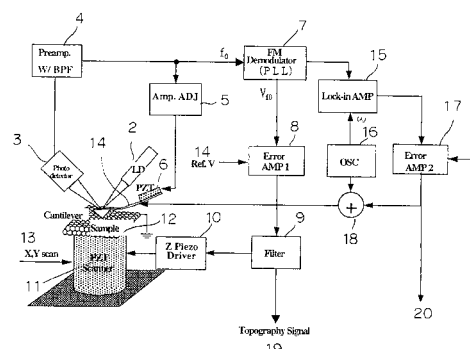
(54) 【発明の名称】 試料表面観察装置

(57) 【要約】

【課題】 NC - A F M像と電位像の同時観察において高感度での周波数の変化の検出と検出利得の向上を図る。

【解決手段】 NC - A F Mの画像信号であるカンチレバー1の固有振動数の周波数シフト信号に重畳させ、その後段でロックイン検出していた静電気力等によりNC - A F M像と電位像を観察できるようにした試料表面観察装置において、位相比較器を有し周波数シフトを電圧に変換して周波数がカンチレバーの固有振動数より一定量シフトするようにZ駆動する第1のフィードバック手段7~10と、第1のフィードバック手段の位相比較器の出力を直接取り出してフィルタを介してロックイン検出しカンチレバー1の探針・試料間の静電気力が最小となるようにカンチレバー1の電位にフィードバックする第2のフィードバック手段15~18とを備える。

【選択図】 図1



【特許請求の範囲】

【請求項 1】

探針を先端に有し該探針が試料の表面に近接配置されるカンチレバーと、前記試料と前記探針とを相対的に X, Y スキャンするスキャン手段と、前記試料と前記探針との距離を相対的に変化させる Z 動駆動手段と、前記カンチレバーの振動変位を検出する変位検出手段と、該変位検出手段の検出信号により前記カンチレバーを固有振動数で正帰還発振させる加振手段とを備え、前記変位検出手段の検出信号を Z 動駆動手段にフィードバックすると共に前記カンチレバーと試料との間の電位値としてフィードバックすることにより、非接触原子間力顕微鏡像と電位像を観察できるようにした試料表面観察装置において、前記変位検出手段の検出信号を入力とする位相比較器を有し周波数シフトを電圧に変換して周波数が前記カンチレバーの固有振動数より一定量シフトするように前記 Z 動駆動手段を Z 動駆動する第 1 のフィードバック手段と、前記第 1 のフィードバック手段の位相比較器の出力を直接取り出してフィルタを介してロックイン検出し前記カンチレバーと試料との間の電位差としてフィードバックする第 2 のフィードバック手段とを備えたことを特徴とする試料表面観察装置。

10

【発明の詳細な説明】

【0001】

【発明の属する技術分野】

本発明は、探針を先端に有し該探針が試料の表面に近接配置されるカンチレバーと、試料と探針とを相対的に X, Y スキャンするスキャン手段と、試料と探針との距離を相対的に変化させる Z 動駆動手段と、カンチレバーの振動変位を検出する変位検出手段と、該変位検出手段の検出信号によりカンチレバーを固有振動数で正帰還発振させる加振手段とを備え、変位検出手段の検出信号を Z 動駆動手段にフィードバックすると共にカンチレバーと試料との間の電位値としてフィードバックすることにより、非接触原子間力顕微鏡像と電位像を観察できるようにした試料表面観察装置に関する。

20

【0002】

【従来技術】

SPM (Scanning Probe Microscope: 走査プローブ顕微鏡) の 1 つでありその中の NC - AFM (Noncontact Atomic Force Microscope: 非接触原子間力顕微鏡) 技術を応用した SKPM (Scanning Kelvin Probe Force Microscope: 走査ケルビンプローブフォース顕微鏡) 等に関するものとして、試料表面の電位分布等を観察する表面観察装置がある (例えば、特許文献 1 参照)。SKPM 等は、メイン信号である NC - AFM のフィードバック信号に同時に検出する静電気力等の信号を重畳させており、その検出において大気中では Slope 検出法を用いるが、真空中では FM 検出法を用いるのが一般的である。

30

【0003】

図 3 は従来試料表面観察装置の構成例を示す図、図 4 は FM デモジュレータとして用いる PLL の構成例を示す図である。

【0004】

図 3 において、カンチレバー 1 の背面には、光源 2 からのレーザー光が照射され、その反射光は、光検出器 3 により検出される。この光でこ方式によりカンチレバー 1 の振動変位が検出され、バンドパスフィルタが内蔵されたプリアンプ 4 により電氣的に増幅される。電気信号に変換されたカンチレバー 1 の変位信号は、アッテネータ 5 を介して加振用 P Z T 6 に入力されるループが組まれている。

40

図示していないが、このループには、フェーズシフタも組み込まれており、カンチレバー 1 の固有振動数で正帰還発振するように設定されている。アッテネータ 5 では、AGC 等によりカンチレバー 1 の振動振幅、あるいは加振用 P Z T 6 に入力される電圧振幅が一定になるように制御されている。

【0005】

50

発振波形は途中分岐されて、PLL (Phased Lock Loop) で構成されているFMデモジュレータ7に入力され、その発振周波数 f_0 に相当する電圧 V_{f_0} に変換して出力する(f/V 変換; f_0 から V_{f_0} に変換)。探針・試料間に作用する力の勾配 F とバネ定数 k のカンチレバー1の固有振動数 f_0 には、

$$f_0 = \frac{1}{2\pi} \sqrt{\frac{k}{m}} \quad (k - F)$$

の関係があり、 f_0 の変化(周波数シフト)はほぼ F に相当する。 f/V 変換された周波数に相当する信号は、誤差増幅器8によりその周波数が固有振動数からある一定量シフトするようにフィルタ9、Zピエゾドライバ10を介してPZTスキャナ11のZ動が制御される(フィードバック1)。

【0006】

一定に保持される周波数シフトは、基準電圧(Ref. V)14によって設定される。この時のZ動を制御している信号(フィルタ9の出力)が表面の凹凸(トポグラフィ信号)に相当し、スキャン信号(X, Yスキャン13)によりPZTスキャナ11が2次元的にスキャンされ、その時のZ動を輝度信号とすることでTopo像が得られる。

【0007】

カンチレバー1の固有振動数 f_0 は、探針・試料間の静電気力によってもシフトする。導電性のカンチレバー1にオシレータ16及び誤差増幅器17からの電圧 $[V_{DC} + V_{AC} \sin(t)]$ を印加した場合、接地された試料12と探針(カンチレバー1)との間に電位差が生じ静電気力が作用する。印加電圧の交流成分の周波数がFMデモジュレータ7の動作帯域より小さく、且つフィードバック1の帯域を越えた値(追従できない値)に設定されれば、FMデモジュレータ7の出力 V_{f_0} にその交流成分による変調が現れる。この信号をロックインアンプ15で、を参照信号として検出すると、成分の振幅に相当する出力が得られる。この出力がゼロのときカンチレバー(探針)・試料間の静電気力が最小となり、この状態を維持するように直流電圧 V_{DC} が誤差増幅器17から加算器18を経て、カンチレバー(探針)1の電位としてフィードバックされる(フィードバック2)。この V_{DC} が探針に対する試料表面のCPDであり、試料表面のTopo信号と同時に表示することで、NC-AFM像19と電位像20が同時観察される。

【0008】

FMデモジュレータ7であるPLLは、図4に示すように位相比較器21とフィルタ22とVCO(Voltage Control Oscillator)23から構成されている。カンチレバー1の固有周波数付近の発振信号を制御できるように設定されているVCO23からの発振波形と、カンチレバー1の固有振動数で発振している信号 f_0 は、位相比較器21に入力され、その位相信号は、フィルタ効果が大きい(時定数が大きい)フィルタ22を介してVCO23の制御信号となる。このループは、常に位相差がゼロとなるようなフィードバックループとなる。フィルタ22の出力が一般にNC-AFMでの周波数シフト信号として用いられるため、周波数の変化をより高感度に検出でき、且つこのフィードバックループを安定に働かせるためにフィルタ22は、フィルタ効果が大きい(時定数が大きい)定数を選ぶ必要がある。

【0009】

【特許文献1】

特開平11-23588号公報

【0010】

【発明が解決しようとする課題】

f/V 変換に使用されているPLL内のフィルタ22は、周波数の変化をより高感度で検出でき、且つこのフィードバックループを安定に働かせるために、比較的時定数の大きなフィルタが用いられているので、結果として f/V 変換の帯域を数kHzまで落とすことになる。そのため、SKPMによる静電気力等のNC-AFMのフィードバック信号に重畳させTopo像と同時に他の物理量をロックインアンプを用いて検出する場合、その変調周波数が f/V 変換の帯域に制限され、より利得を稼ぐための高周波数変調ができない。

10

20

30

40

50

【 0 0 1 1 】

【 課題を解決するための手段 】

本発明は、上記課題を解決するものであって、NC - AFM像と電位像の同時観察において高感度での周波数の変化の検出と検出利得の向上を図るものである。

【 0 0 1 2 】

そのために本発明は、探針を先端に有し該探針が試料の表面に近接配置されるカンチレバーと、前記試料と前記探針とを相対的にX, Yスキャンするスキャン手段と、前記試料と前記探針との距離を相対的に変化させるZ動駆動手段と、前記カンチレバーの振動変位を検出する変位検出手段と、該変位検出手段の検出信号により前記カンチレバーを固有振動数で正帰還発振させる加振手段とを備え、前記変位検出手段の検出信号をZ動駆動手段にフィードバックすると共に前記カンチレバーと試料との間の電位値としてフィードバックすることにより、非接触原子間力顕微鏡像と電位像を観察できるようにした試料表面観察装置において、前記変位検出手段の検出信号を入力とする位相比較器を有し周波数シフトを電圧に変換して周波数が前記カンチレバーの固有振動数より一定量シフトするように前記Z動駆動手段をZ動駆動する第1のフィードバック手段と、前記第1のフィードバック手段の位相比較器の出力を直接取り出してフィルタを介してロックイン検出し前記カンチレバーと試料との間の電位差としてフィードバックする第2のフィードバック手段とを備えたことを特徴とするものである。

10

【 0 0 1 3 】

【 発明の実施の形態 】

以下、本発明の実施の形態を図面を参照しつつ説明する。図1は本発明に係る試料表面観察装置の実施の形態を示す図、図2は本発明に係る試料表面観察装置のFMデモジュレータを構成するPLLの実施の形態を示す図である。図中、1はカンチレバー、2は光源、3は光検出器、4はプリアンプ、5はアッテネータ、6は加振用PZT、7はFMデモジュレータ、8、17は誤差増幅器、9、22、24はフィルタ、10はピエゾドライバ、11はPZTスキャナ、12は試料、13はX, Yスキャン、14は基準電圧、15はロックインアンプ、16はオシレータ、18は加算器、19はNC - AFM像、20は電位像、21は位相比較器、23はVCOを示す。

20

【 0 0 1 4 】

図1において、カンチレバー1は、探針を先端に有しその探針が試料12の表面に近接配置され、その背面には、光源(LD)2からのレーザー光が照射され、その反射光は、光検出器(PD)3により検出される。この光でこの方式の振動変位検出手段によりカンチレバー1の振動変位が検出され、バンドパスフィルタが内蔵されたプリアンプ4により電氣的に増幅される。電気信号に変換されたカンチレバー1の変位信号は、アッテネータ5を介して加振用PZT6に入力されるループが組まれている。図示していないが、このループには、フェーズシフタも組み込まれており、カンチレバー1の固有振動数で正帰還発振するように設定されている。アッテネータ5では、AGC等によりカンチレバー1の振動振幅、あるいは加振用PZT6に入力される電圧振幅が一定になるように制御されている。

30

【 0 0 1 5 】

電気信号に変換されたカンチレバー1の発振波形は途中分岐されて、PLLで構成されているFMデモジュレータ7に入力され、その発振周波数 f_0 に相当する電圧 V_{f_0} に変換して出力する。探針・試料間に作用する力の勾配Fとバネ定数kのカンチレバー1の固有振動数 f_0 には、

$$f_0 = \frac{1}{2\pi} \sqrt{\frac{k}{m}}$$
 の関係があり、 f_0 の変化(周波数シフト)はほぼFに相当する。 f/V 変換された周波数に相当する信号は、誤差増幅器8によりその周波数が固有振動数からある一定量シフトするようにフィルタ9、Zピエゾドライバ10を介してPZTスキャナ11のZ動が制御される(第1のフィードバック手段)。

40

【 0 0 1 6 】

50

一定に保持される周波数シフトは、基準電圧 (R e f . V) 1 4 によって設定される。この時の Z 動を制御している信号 (フィルタ 9 の出力) が表面の凹凸 (トポグラフィ信号) に相当し、スキャン信号 (X , Y スキャン 1 3) により P Z T スキャナ 1 1 が 2 次元的にスキャンされ、その時の Z 動を輝度信号とすることで T o p o 像が得られる。P Z T スキャナ 1 1 は、接地された試料 1 2 を X , Y スキャン及び Z 動駆動するスキャン手段である。

【 0 0 1 7 】

カンチレバー 1 の固有振動数 f_0 は、探針・試料間の静電気力によってもシフトする。導電性のカンチレバー 1 にオシレータ 1 6 及び誤差増幅器 1 7 からの電圧 $[V_{DC} + V_A \sin(\omega t)]$ を印加した場合、試料 1 2 と探針 (カンチレバー 1) との間に電位差が生じ静電気力が作用する。F M デモジュレータ 7 の位相比較器 2 1 の動作帯域は、カンチレバー 1 の固有振動数 (数 1 0 0 k H z) より十分大きいと、印加電圧の交流成分の周波数は、カンチレバー 1 の固有振動数より小さく、且つフィードバック 1 の帯域を越えた値 (追従できない値) に設定されれば、位相比較器 2 1 の出力 V_f にその交流成分による変調が含まれる。この信号をロックインアンプ 1 5 で、 V_f を参照信号として検出すると、 V_f 成分の振幅に相当する出力が得られる。この出力がゼロのときカンチレバー 1 の探針・試料間の静電気力が最小となり、この状態を維持するように直流電圧 V_{DC} が誤差増幅器 1 7 から加算器 1 8 を経て、カンチレバー 1 の探針の電位としてフィードバックされる (第 2 のフィードバック手段) 。この V_{DC} が探針に対する試料表面の C P D であり、試料表面の T o p o 信号と同時に表示することで、N C - A F M 像 1 9 と電位像 2 0 が同時観察される。

10

20

【 0 0 1 8 】

本実施形態における P L L は、図 2 に示すように位相比較器 2 1 、フィルタ 2 2 、V C O 2 3 からなる P L L としてのフィードバックループは従来のもと同じであるが、位相比較器 2 1 の出力から重畳信号検出用の出力を取り出している。その出力には、必要に応じてフィルタ 2 4 を設ける。この出力を図 1 に示すロックインアンプ 1 5 の入力に接続することにより、従来より高利得で電位信号が検出でき、その結果電位分解能が向上した N C - A F M 像 1 9 と電位像 2 0 が同時観察できるようにしている。

【 0 0 1 9 】

本実施形態では、このように F M デモジュレータ 7 、誤差増幅器 8 、フィルタ 8 、Z ピエゾドライバ 1 0 からなる第 1 のフィードバック手段において、変位検出手段 (2 ~ 4) の検出信号を入力とする F M デモジュレータ 7 の位相比較器 2 1 、フィルタ 2 2 で周波数シフトを電圧に変換して周波数がカンチレバー 1 の固有振動数より一定量シフトするようにスキャン手段の P Z T スキャナ 1 1 を Z 動制御している。そして、ロックインアンプ 1 5 、オシレータ 1 6 、誤差増幅器 1 7 、加算器 1 8 からなる第 2 のフィードバック手段において、第 1 のフィードバック手段の位相比較器 2 1 の出力を直接取り出してフィルタ 2 4 を介してロックイン検出しカンチレバー 1 の電位にフィードバックしている。

30

【 0 0 2 0 】

なお、本発明は、上記実施の形態に限定されるものではなく、種々の変形が可能である。例えば上記実施の形態では、P Z T スキャナにより 2 次元的に X , Y スキャンすると共に、Z 動駆動を行うようにしたが、スキャン手段により試料と探針とを相対的に X , Y スキャンし、別に試料と探針との距離を相対的に変化させる Z 動駆動手段を設ける構成としてもよい。

40

【 0 0 2 1 】

【 発明の効果 】

以上の説明から明らかなように、本発明によれば、N C - A F M の画像信号であるカンチレバーの固有振動数の周波数シフト信号に重畳させ、その後段でロックイン検出していた静電気力等の信号検出において、周波数シフトを電圧変換する P L L 内でその帯域を制限していたフィルタを通さない信号、すなわち位相比較器の出力を直接ロックイン検出することで重畳信号の変調周波数を高くすることができ、その検出利得を向上させることがで

50

きる。また、位相比較器の出力を直接取り出しPLL内のフィルタよりフィルタ効果の小さいフィルタを介してロックイン検出することで重畳信号の変調周波数を高くすることができ、その検出利得の向上を図ることができる。

【図面の簡単な説明】

【図1】本発明に係る試料表面観察装置の実施の形態を示す図である。

【図2】本発明に係る試料表面観察装置のFMデモジュレータを構成するPLLの実施の形態を示す図である。

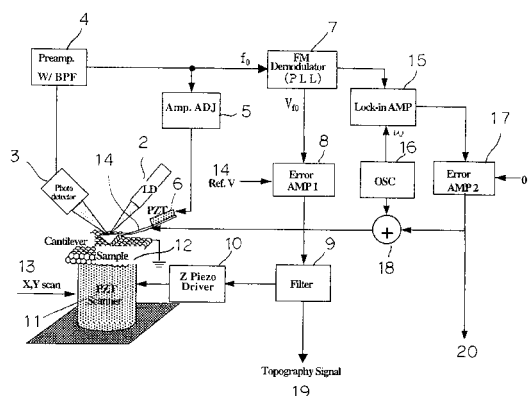
【図3】従来の試料表面観察装置の構成例を示す図である。

【図4】FMデモジュレータとして用いるPLLの構成例を示す図である。

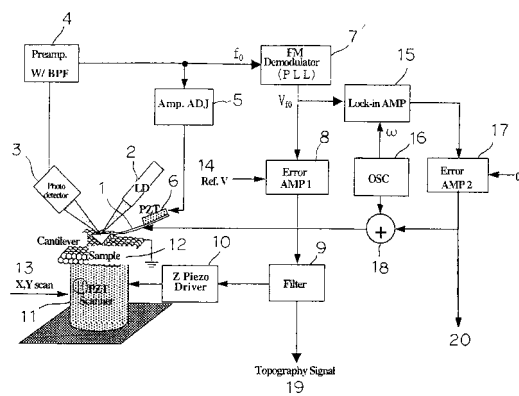
【符号の説明】

1 ... カンチレバー、2 ... 光源、3 ... 光検出器、4 ... プリアンプ、5 ... アッテネータ、6 ... 加振用PZT、7 ... FMデモジュレータ、8、17 ... 誤差増幅器、9、22、24 ... フィルタ、10 ... ピエゾドライバ、11 ... PZTスキャナ、12 ... 試料、13 ... X、Yスキャン、14 ... 基準電圧、15 ... ロックインアンプ、16 ... オシレータ、18 ... 加算器、19 ... NC-AFM像、20 ... 電位像、21 ... 位相比較器、23 ... VCO

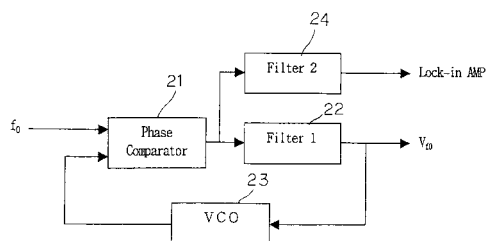
【図1】



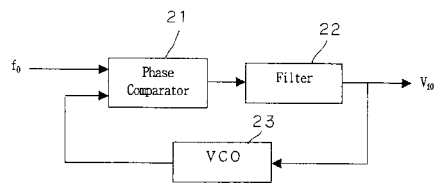
【図3】



【図2】



【図4】



フロントページの続き

(74)代理人 100097777

弁理士 葦澤 弘

(74)代理人 100091971

弁理士 米澤 明

(74)代理人 100109748

弁理士 飯高 勉

(72)発明者 北村 真一

東京都昭島市武蔵野三丁目1番2号 日本電子株式会社内

Fターム(参考) 2F063 AA43 DA01 DB05 DD08 EB23 KA01 KA04 LA01 LA06 LA11

2F069 AA60 GG04 GG06 GG18 GG59 HH04 JJ14 LL03 MM23 NN00

NN02