

(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
2010年6月17日(17.06.2010)

(10) 国際公開番号
WO 2010/067570 A1

- (51) 国際特許分類:
G01Q 20/02 (2010.01) G01Q 60/24 (2010.01)
- (21) 国際出願番号: PCT/JP2009/006658
- (22) 国際出願日: 2009年12月7日(07.12.2009)
- (25) 国際出願の言語: 日本語
- (26) 国際公開の言語: 日本語
- (30) 優先権データ:
特願 2008-314113 2008年12月10日(10.12.2008) JP
- (71) 出願人(米国を除く全ての指定国について): 国立大学法人京都大学(KYOTO UNIVERSITY) [JP/JP]; 〒6068501 京都府京都市左京区吉田本町3番地1 Kyoto (JP).
- (72) 発明者: および
- (75) 発明者/出願人(米国についてのみ): 常見英加(TSUNEMI, Eika) [JP/JP]; 〒6158510 京都府京都市西京区京都大学桂 国立大学法人京都大学工学研究科内 Kyoto (JP). 佐藤宣夫(SATO, Nobuo) [JP/JP]; 〒6158510 京都府京都市西京区京都大学桂 国立大学法人京都大学工学研究科内 Kyoto

(JP), 小林圭(KOBAYASHI, Kei) [JP/JP]; 〒6158510 京都府京都市西京区京都大学桂 国立大学法人京都大学産官学連携センター内 Kyoto (JP). 山田啓文(YAMADA, Hirofumi) [JP/JP]; 〒6158510 京都府京都市西京区京都大学桂 国立大学法人京都大学工学研究科内 Kyoto (JP). 松重和美(MATSUSHIGE, Kazumi) [JP/JP]; 〒6158510 京都府京都市西京区京都大学桂 国立大学法人京都大学工学研究科内 Kyoto (JP).

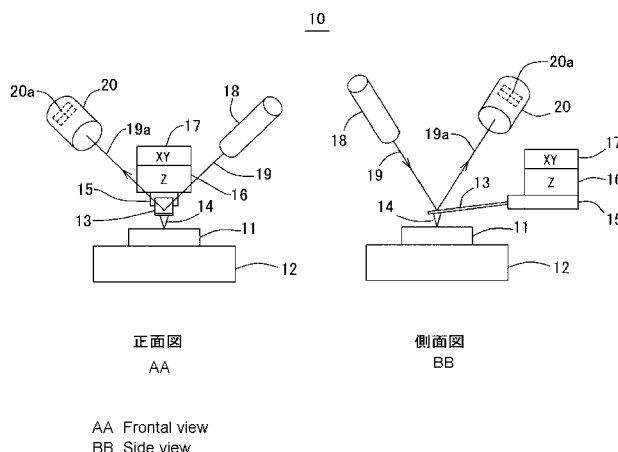
- (74) 代理人: 楠本高義(KUSUMOTO, Takayoshi); 〒5200832 滋賀県大津市粟津町4番7号 近江鉄道ビル5F 楠本特許事務所 Shiga (JP).
- (81) 指定国(表示のない限り、全ての種類の国内保護が可能): AE, AG, AL, AM, AO, AT, AU, AZ, BA, BB, BG, BH, BR, BW, BY, BZ, CA, CH, CL, CN, CO, CR, CU, CZ, DE, DK, DM, DO, DZ, EC, EE, EG, ES, FI, GB, GD, GE, GH, GM, GT, HN, HR, HU, ID, IL, IN, IS, JP, KE, KG, KM, KN, KP, KR, KZ, LA, LC, LK, LR, LS, LT, LU, LY, MA, MD, ME, MG, MK, MN, MW, MX, MY, MZ, NA, NG, NI, NO, NZ, OM, PE, PG, PH, PL, PT, RO, RS, RU, SC, SD, SE, SG, SK, SL, SM, ST,

[続葉有]

(54) Title: METHOD FOR PROCESSING OUTPUT OF SCANNING TYPE PROBE MICROSCOPE, AND SCANNING TYPE PROBE MICROSCOPE

(54) 発明の名称: 走査型プローブ顕微鏡の出力処理方法および走査型プローブ顕微鏡

[図1]



(57) Abstract: For a scanning type probe microscope for which a cantilever holding member moves finely up/down, with the conventional optical lever method, it is not possible to extract the amount of deflection (θ) and the amount of fine up/down movement (z) of a cantilever from the measurement output. Incident light (19) radiating from a laser light source (18) is reflected by the upper face of a cantilever (13) and reflected light (19a) enters a light detection means (20). The incident light (19) and the reflected light (19a) are in a plane which does not include the long axis of the cantilever (13). Because the incident light (19) and the reflected light (19a) are in a plane which does not include the long axis of the cantilever (13), displacement of the reflected light (19a) due to the change in the amount of deflection (θ) and the change in the amount of fine up/down movement (z) of the cantilever (13) are in different directions above the light detection means (20). Thus, the change in the amount of deflection (θ) and the change in the amount of fine up/down movement (z) of the cantilever (13) can be extracted from the output of the light detection means (20).

(57) 要約:

[続葉有]



WO 2010/067570 A1



SV, SY, 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, LS, MW, MZ, NA, SD, SL, SZ, TZ, UG, ZM, ZW), ユーラシア (AM, AZ, BY, KG, KZ, MD, RU, TJ, TM), ヨーロッパ (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, SE, SI, SK, SM, TR), OAPI (BF, BJ, CF, CG, CI, CM, GA, GN, GQ, GW, ML, MR, NE, SN, TD, TG).

添付公開書類:

- 国際調査報告 (条約第 21 条(3))

【課題】 カンチレバー保持部を上下微動させる走査型プローブ顕微鏡において、従来の光てこ法ではカンチレバーのたわみ量 θ と上下微動量 z を測定出力から切り分けることができなかった。【解決手段】 レーザー光源 18 から出射した入射光 19 はカンチレバー 13 上面で反射し、反射光 19 a が光検出手段 20 に入射する。入射光 19 と反射光 19 a は、カンチレバー 13 の長軸を含まない平面内にある。入射光 19 と反射光 19 a がカンチレバー 13 の長軸を含まない平面内にあるため、カンチレバー 13 のたわみ量 θ 変化と上下微動量 z 変化による反射光 19 a の移動は、光検出手段 20 の上で異なる方向となる。これにより、カンチレバー 13 のたわみ量 θ 変化と上下微動量 z 変化を、光検出手段 20 の出力から切り分けることができる。

明 細 書

発明の名称：

走査型プローブ顕微鏡の出力処理方法および走査型プローブ顕微鏡

技術分野

[0001] 本発明は走査型プローブ顕微鏡、特に、光てこ法によりカンチレバーのたわみ量を検出し、プローブが上下微動して探針と試料間の距離を制御する点に特徴のある走査型プローブ顕微鏡に関する。

背景技術

[0002] 走査型プローブ顕微鏡は、先端の鋭利な探針を試料に接近させ、探針と試料の間に生じる力を測定することにより、試料表面の形状などを原子的なレベルで計測する装置である。

[0003] 走査型プローブ顕微鏡は、カンチレバーと呼ばれる、非常にばね定数の小さい片持ち梁を備える。カンチレバーの先端には探針を有する。探針の先端はnmオーダーで極めて鋭利である。試料または探針を水平方向に走査しながら、探針と試料表面の間に働く原子間力によるカンチレバーのたわみ量を測定し、試料表面の形状などを測定する。カンチレバーの基部はカンチレバー保持部に固定されている。

[0004] 走査型プローブ顕微鏡の動作モードとして、コンタクトモードとダイナミックモードが知られている。コンタクトモードにおいては、走査の際、試料と探針の間の力が一定になるように、試料の上下微動量 z を調整する。したがって走査中、カンチレバーのたわみ量 θ は一定である。カンチレバーのたわみ量 θ が一定となるように調整したときの、試料の上下微動量 z の出力から、試料表面形状を知ることができる。

[0005] ダイナミックモードにおいては、探針を常に振動させながら、試料表面を走査する。探針が試料に原子レベルで接近すると、試料による引力または斥力の影響を受けて、探針の振動の振幅や共振周波数が変化する。そこで、探針の振幅もしくは共振周波数が一定となるように、試料の上下微動量 z を調

整する。試料の上下微動量 z の出力から、試料表面形状を知ることができる。

- [0006] カンチレバーのたわみ量 θ を測定する手段として、一般に光てこ方式と呼ばれる検出光学系が用いられる。図 4 (a) に従来の光てこ方式の検出光学系 40 の一例を示す。カンチレバー保持部 41 の先端に取り付けられたカンチレバー 42 の上方に、カンチレバー 42 の長軸を含む平面内で、レーザー光源 43 と光検出手段 44 が配置される。光検出手段 44 は例えば 4 分割フォトダイオードである。
- [0007] レーザー光源 43 から出射された入射光 45 は、カンチレバー 42 の上面で反射し、反射光 45 a が光検出手段 44 に入射する。光検出手段 44 (4 分割フォトダイオード) は 4 個の受光領域 44 a を有する。カンチレバー 42 のたわみ量 θ が基準値にあるとき、反射光 45 a は 4 個の受光領域 44 a の中心に入射する。
- [0008] 図 4 (b) に示すように、カンチレバー 42 にたわみが生じて破線のカンチレバー 42 a のように変化すると、反射光 45 a は破線の反射光 45 b のように、光検出手段 44 の中心から移動する。4 個の受光領域 44 a は受光した光の強度に応じた電圧を出力する。このため反射光 45 a が移動すると、各受光領域 44 a の出力電圧に差が生じる。生じた出力電圧の差から、反射光 45 b の移動量を知ることができ、そこからカンチレバー 42 のたわみ量 θ を知ることができる。
- [0009] 光てこ方式の検出光学系 40 における検出感度 S は、光検出手段 44 上での反射光 45 b の変位を D 、カンチレバー 42 の長さを K 、反射光 45 b の光路長を L 、カンチレバー 42 先端のたわみ変位を d とすると、 $S = D / d = 2L / K$ で与えられる。ここで例えば $L = 50 \text{ mm}$ 、 $K = 100 \mu\text{m}$ とすると、 $S = 1,000$ となる。このように光てこ方式の検出光学系 40 を用いると、簡単な構成で非常に感度の高い変位検出を行なうことができる。
- [0010] 図 5 は光てこ方式の走査型プローブ顕微鏡 50 の一例である。レーザーダイオード 51 からの入射光 52 をカンチレバー 53 の真上に配置したミラー

54で曲げてカンチレバー53に照射する。カンチレバー53で反射した反射光52aは光検出手段55に入射する。光検出手段55は4分割フォトダイオードである。

[0011] 試料56は試料ホルダー57上に固定されており、試料ホルダー57は微動機構58上に設けられている。微動機構58には通常圧電素子（ピエゾ素子）が用いられる。微動機構58は試料56の上下微動量を調整するための上下微動機構59と、試料56を水平面内で走査させるための水平微動機構60を備える。

[0012] 試料56の走査中は、カンチレバー53のたわみ量 θ が常に基準値になるように、上下微動機構59により、試料56の上下微動量 z を調節する。上下微動機構59は圧電素子に電圧を印加することで作動する。上下微動機構59の動作から、試料56の表面形状を知ることができる。光学顕微鏡61により、カンチレバー53と試料56を観察することができる。

[0013] 一方、試料は固定し、カンチレバー保持部を上下微動させる構造の走査型プローブ顕微鏡もある。これは半導体ウェハのような大型試料を観察する場合や、複数のカンチレバーを独立に駆動させる場合に用いられる。この構造では、光検出手段上の反射光の位置は、カンチレバーのたわみ量 θ だけでなく上下微動量 z の影響も受ける。そのため測定出力には、カンチレバーのたわみ量 θ と上下微動量 z の影響が含まれている。したがってカンチレバー保持部の上下微動量 z の出力による試料の表面形状の精度と信頼性には問題がある。

[0014] 図4(c)に破線で示すように、カンチレバー42が上下微動（上下微動量 z ）することがある。カンチレバー42のたわみ量 θ は変化していないが、光検出手段44に入射する反射光45aは、破線の反射光45cのように移動する。この移動は、見かけ上、図4(b)に示すカンチレバー42のたわみ量 θ が変化したときと同じである。このため、反射光45aが光検出手段44上で移動したとき、カンチレバー42のたわみ量 θ の変化によるものか、上下微動量 z によるものか区別ができない。

[0015] ダイナミックモードの場合、光検出手段 4 4 の出力信号を交流信号と直流信号に区分し、交流信号を探針と試料の距離の制御に使用し、直流信号をカンチレバー保持部 4 1 の上下微動の変位量として画像化する方法がある（例えば特許文献 1）。このようにすればカンチレバー保持部 4 1 と光学系の相対位置の変化による影響を除外できるとともに、カンチレバー保持部 4 1 の実際の変位量を画像化しているため、上下微動素子のヒステリシスによる表面形状の誤差を除くことができる。

[0016] しかし、特許文献 1 のような、光検出手段の出力信号を交流信号と直流信号に区分する方法は、ダイナミックモードにのみ有効であり、コンタクトモードには利用できない。

[0017] 測定精度をより高くするため、レーザー光学系、光検出手段をカンチレバーと連動して上下微動させ、カンチレバー保持部の上下微動を完全に補償する方法がある（非特許文献 1）。しかし、この方法は機構が非常に複雑になり、一般的ではない。

特許文献 1：特開 2004-69445 号公報

非特許文献 1：Atomic forcemicroscope with improved scan accuracy, scan speed and optical vision (REVIEW OF SCIENTIFIC INSTRUMENTS, VOLUME 74, NUMBER 10, OCTOBER 2003)

発明の開示

発明が解決しようとする課題

[0018] カンチレバーを上下微動させる方式の走査型プローブ顕微鏡では、光検出手段上の反射光が、カンチレバーのたわみ量 θ だけでなく上下微動量 z の影響を受ける。しかし従来は、カンチレバーのたわみ量 θ と上下微動量 z の影響を測定手段の出力から切り分けることができなかった。そのため測定結果の精度と信頼性に問題があった。本発明は、試料を固定し、カンチレバーを上下微動させる走査型プローブ顕微鏡において、カンチレバーのたわみ量 θ と上下微動量 z の影響を測定出力から切り分ける方法を提供し、測定結果の精度と信頼性を確立することを目的とする。

課題を解決するための手段

[0019] 本発明の走査型プローブ顕微鏡においては、カンチレバーはカンチレバー保持部に片持ち支持され、カンチレバー保持部は上下微動機構と水平走査機構により三次元的に駆動される。レーザー光源から出射した入射光はカンチレバー上面で反射し、反射光が光検出手段に入射する。入射光と反射光は、カンチレバーの長軸を含まない平面内にある。入射光と反射光がカンチレバーの長軸を含まない平面内にあるため、カンチレバーのたわみ量 θ 変化による反射光の移動と、上下微動量 z 変化による反射光の移動は、光検出手段の上で異なる方向となる。そのため、カンチレバーのたわみ量 θ 変化と上下微動量 z 変化を、光検出手段の出力から切り分けることができる。

[0020] 本発明の要旨は以下の通りである。

(1) 本発明の走査型プローブ顕微鏡の出力処理方法は、探針を先端に有するカンチレバーと、カンチレバーに入射光を照射するレーザー光源と、カンチレバーによる反射光を検出する光検出手段と、カンチレバーの上下微動手段とを備え、入射光と反射光が、カンチレバーの長軸を含まない平面内にあり、上下微動手段によりカンチレバーの上下微動量を制御しながら探針を走査させる走査型プローブ顕微鏡の出力処理方法において、光検出手段の出力を、演算により、カンチレバーのたわみ量と上下微動量とに分解することを特徴とする。

(2) 本発明の走査型プローブ顕微鏡の出力処理方法は、カンチレバーのたわみ量を θ 、上下微動量を z とし、光検出手段上の反射光の位置を (X, Y) とし、 A, B, C, D を当該走査型プローブ顕微鏡に固有の定数として、

(X, Y) と (θ, z) の関係を

$$X = A\theta + Bz \cdots (1)$$

$$Y = C\theta + Dz \cdots (2)$$

として、(1)、(2)式から下記(3)、(4)式を求め、

$$Y - (D/B)X = (C - AD/B)\theta \cdots (3)$$

$$X - (A/C)Y = (B - AD/C)z \cdots (4)$$

光検出手段の反射光の位置 (X, Y) から、(3)、(4) 式を用いて、カンチレバーのたわみ量 θ と上下微動量 z を求めることを特徴とする。

(3) 本発明の走査型プローブ顕微鏡の出力処理方法は、カンチレバーのたわみ量 $\theta = 0$ を維持しながら、カンチレバー保持部の上下微動量 z を変化させて、(3) 式の右辺が 0 になるように D/B の値を決定し、カンチレバー保持部の上下微動量 $z = 0$ を維持しながら、カンチレバーのたわみ量 θ を変化させて、(4) 式の右辺が 0 になるように A/C の値を決定することを特徴とする。

(4) 本発明の走査型プローブ顕微鏡の出力処理方法は、(3) 式のたわみ量 θ が一定となるようにカンチレバーの上下微動量 z を制御し、(4) 式から得られた上下微動量 z を画像化することを特徴とする。

(5) 本発明の走査型プローブ顕微鏡の出力処理方法は、探針を先端に有するカンチレバーと、カンチレバーに入射光を照射するレーザー光源と、カンチレバーによる反射光を検出する光検出手段としての 4 分割フォトダイオードと、カンチレバーの上下微動手段とを備え、入射光と反射光が、カンチレバーの長軸を含まない平面内にあり、微動手段によりカンチレバーの上下微動量を制御しながら、探針を走査させる走査型プローブ顕微鏡の出力処理方法において、4 分割フォトダイオードの受光領域の境界と、カンチレバーのたわみまたは上下微動による反射光の移動方向を一致させ、4 分割フォトダイオードの出力から、カンチレバーのたわみ量 θ または上下微動量 z を算出することを特徴とする。

(6) 本発明の走査型プローブ顕微鏡は、上記の出力処理方法を用いて得られたカンチレバーの上下微動量 z を画像化することを特徴とする。

(7) 本発明の走査型プローブ顕微鏡は、カンチレバーと光検出手段とを複数有することを特徴とする。

発明の効果

[0021] 本発明により、カンチレバーを上下微動させる走査型プローブ顕微鏡において、簡易な方法で、カンチレバーのたわみ量 θ と上下微動量 z を測定手段

の出力から切り分ける方法が提供され、測定結果の精度と信頼性が確立された。

発明を実施するための最良の形態

[0022] 図1は、本発明の走査型プローブ顕微鏡10の一実施例の主要部の正面図と側面図である。試料11は試料台12に載せられる。試料台12はXYステージで、試料11の観察位置を選択する際に、試料11を粗移動するのに使われる。試料台12は試料11を測定するときは固定される。試料台12に載せられた試料11の表面に、カンチレバー13先端の探針14が接する。カンチレバー13はカンチレバー保持部15に片持ち支持される。カンチレバー保持部15は、上下微動機構16と水平走査機構17により、三次元的に駆動される。レーザー光源18から出射した入射光19はカンチレバー13上面で反射し、反射光19aが光検出手段20に入射する。入射光19と反射光19aは、カンチレバー13の長軸を含まない平面内にある。もし、入射光19と反射光19aがカンチレバー13の長軸を含む平面内にあると、カンチレバー13のたわみ量 θ 変化と上下微動量 z 変化による反射光19aの移動は、光検出手段20の上で同一の方向となる。その場合、カンチレバー13のたわみ量 θ 変化と上下微動量 z 変化を、光検出手段20の出力から切り分けることができない。そのため、入射光19と反射光19aは、カンチレバー13の長軸を含まない平面内にある。

[0023] 入射光19と反射光19aが、カンチレバー13の長軸を含まない平面内にあるため、カンチレバー13の直上に光学顕微鏡（図示しない）を設置することも容易にできる。光学顕微鏡を設置すれば、カンチレバー13、探針14、試料11を拡大観察できるため、走査位置の特定が容易になる。

[0024] 測定にあたり、試料11および探針14を光学顕微鏡で観察しながら、探針14の先端と試料11が接触しない位置に、探針14の高さを設定する。入射光19をカンチレバー13上面に照射し、反射光19aを光検出手段20（例えば4分割フォトダイオード20a）に入射させ、反射光19aが光検出手段20の中心に来るように調整する。即ちカンチレバー13に外力が

加わっていないとき、反射光 19 a が光検出手段 20 の中心に来る。このときのカンチレバー 13 のたわみ量 θ を基準値 ($\theta = 0$) とする。光検出手段 20 が 4 分割フォトダイオード 20 a の場合、反射光 19 a が 4 分割フォトダイオード 20 a の中心にあるとき、4 個の受光領域の出力は等しい。

[0025] つまり、カンチレバー 13 のたわみ量 $\theta = 0$ 、カンチレバー保持部 15 の上下微動量 $z = 0$ のとき、反射光 19 a は光検出手段 20 (4 分割フォトダイオード 20 a) の中心に来る。

[0026] 図 2 は光検出手段 20 (4 分割フォトダイオード 20 a) の受光面の模式図であり、D 1 ~ D 4 は 4 つの受光領域である。中心が原点 O であり、直交する X 軸、Y 軸が各受光領域 D 1 ~ D 4 の境界である。カンチレバー 13 のたわみ量 $\theta = 0$ 、カンチレバー保持部 15 の上下微動量 $z = 0$ のとき、反射光 19 a の位置は $X = 0$, $Y = 0$ である。カンチレバー 13 のたわみ量 θ と上下微動量 z が (θ , z) のとき、受光領域 D 1 ~ D 4 上の反射光 19 a の位置を (X , Y) とする。

[0027] なお、反射光 19 a の位置 (X , Y) は、実際は次の電気信号の出力として得られる。

$$X = (D 1 \text{ の出力}) + (D 4 \text{ の出力}) - (D 2 \text{ の出力}) - (D 3 \text{ の出力})$$

$$Y = (D 1 \text{ の出力}) + (D 2 \text{ の出力}) - (D 3 \text{ の出力}) - (D 4 \text{ の出力})。$$

[0028] 次に、入射光 19 と反射光 19 a の属する平面と、カンチレバー 13 の長軸のなす角度が、光検出手段 20 (4 分割フォトダイオード 20 a) 上での反射光 19 a の動きに与える影響を説明する。

[0029] 入射光 19 と反射光 19 a の属する平面と、カンチレバー 13 の長軸が垂直に交わる場合、たわみ量に対応する θ 成分と上下微動量に対応する z 成分が直交する。 θ 成分と z 成分が直交するとき、光検出手段 20 (4 分割フォトダイオード 20 a) を適切に回転させると、図 3 (a) のように、 θ 成分が X 軸に、 z 成分が Y 軸に現われる。この場合は特に演算をしなくても、 θ 成分と z 成分が同時に直接求められる。

[0030] 入射光 19 と反射光 19 a の属する平面と、カンチレバー 13 の長軸が斜

めに交わる場合、 θ 成分と z 成分は直交しない（斜めに交わる）。 θ 成分と z 成分が斜めに交わる時、光検出手段20（4分割フォトダイオード20a）を適切な角度に回転させると、図3（b）のように、 θ 成分が X 軸に現われないようにすることができる。このとき、 X 信号を z 信号として用いればよく、特に演算を必要としない。また、光検出手段20（4分割フォトダイオード20a）を別の角度に適切に回転させると、図3（c）のように、 z 成分が Y 軸に現われないようにすることができる。このとき、 Y 信号を θ 信号として用いればよく、特に演算を必要としない。しかし、図3（b）、図3（c）の場合、 θ 成分、 z 成分を同時に算出するためには以下の演算が必要である。

[0031] カンチレバー13のたわみ量が θ 、上下微動量が z のとき、4分割フォトダイオード20a上の反射光19aの位置（ X 、 Y ）は近似的に次のように表わされる。

$$X = A\theta + Bz \cdots (1)$$

$$Y = C\theta + Dz \cdots (2)$$

ここで A 、 B 、 C 、 D は装置（走査型プローブ顕微鏡）の構成で決まる定数である。

（1）、（2）式から下記（3）、（4）式が導かれる。

$$Y - (D/B)X = (C - AD/B)\theta \cdots (3)$$

$$X - (A/C)Y = (B - AD/C)z \cdots (4)$$

（3）式の右辺は定数・ θ 、（4）式の右辺は定数・ z であるから、 X 、 Y の出力から（3）、（4）式の左辺を計算すれば、たわみ量 θ 、上下微動量 z を独立して求めることができる。

[0032] カンチレバー13を振動させないで（たわみ量 $\theta = 0$ を維持）、カンチレバー保持部15の上下微動量を変化させる（上下微動量 $z \neq 0$ ）。このとき（3）式の右辺に相当する出力信号（ θ 信号）が0になるように、 D/B の値を決定する。次にカンチレバー保持部15の上下微動を止め（上下微動量 $z = 0$ を維持）、カンチレバー13を振動させる（たわみ量 $\theta \neq 0$ ）。この

とき(4)式の右辺に相当する出力信号(z 信号)が0になるように、 A/C の値を決定する。以上の手順において、個々の A 、 B 、 C 、 D の値が分からなくても、 D/B の値、 A/C の値を決定することができる。

[0033] 次に、カンチレバー13のたわみ量 θ の目標値を決め、 θ 信号がそれに相当する値になるまで、探針14を試料11に近づける。カンチレバー13のたわみ量 θ と θ 信号の換算値は、あらかじめ熱振動ノイズ測定などで求めておく。

[0034] この状態で、カンチレバー13を水平移動させて試料11の走査を行なう。試料11の表面の凹凸に応じてカンチレバー13のたわみ量 θ が変化し、光検出手段20(4分割フォトダイオード)の出力が変化する。このとき(3)式の θ 信号(カンチレバー13のたわみ量 θ に対応)が一定となるように、カンチレバー保持部15の上下微動量 z を制御する。

[0035] 上記の制御に伴う、カンチレバー保持部15の上下微動量 z の値が、従来の走査型プローブ顕微鏡の試料11の表面の凹凸に相当する。実際には、カンチレバー保持部15の上下微動量 z を直接求めることはできないので、上下微動機構16の圧電素子に印加した電圧から換算して、カンチレバー保持部15の上下微動量 z とする。すなわち上下微動機構16に入力した電圧制御信号を画像化することにより、試料11の表面形状を得る。しかし、一般に、上下微動機構16は非直線性やヒステリシスなどによる誤差があることが知られており、得られた表面形状像はこの誤差を含んでいる。

[0036] 一方、上記の走査により(4)式から得られる上下微動量 z の信号は、カンチレバー13の実際の上下微動量 z を検出したものである。この出力から、上下微動量 z の信号を画像化することによって、表面形状像を得ることができる。この表面形状像は、上下微動機構16の誤差の影響を受けない。したがって、上下微動機構16に入力した電圧制御信号を画像化した表面形状像より、(4)式から得られる上下微動量 z の信号を画像化した表面形状像の方が精度がよい。

図面の簡単な説明

- [0037] [図1]本発明の走査型プローブ顕微鏡の正面図と側面図
[図2]光検出手段としての4分割フォトダイオードの模式図
[図3]光検出手段上の θ 成分と z 成分の模式図
[図4]従来の光てこ方式検出光学系の模式図
[図5]従来の走査型プローブ顕微鏡の概略図

符号の説明

- [0038] 1 0 走査型プローブ顕微鏡
1 1 試料
1 2 試料台
1 3 カンチレバー
1 4 探針
1 5 カンチレバー保持部
1 6 上下微動機構
1 7 水平走査機構
1 8 レーザー光源
1 9 入射光
1 9 a 反射光
2 0 光検出手段
2 0 a 4分割フォトダイオード
4 0 検出光学系
4 1 カンチレバー保持部
4 2 カンチレバー
4 2 a カンチレバー
4 3 レーザー光源
4 4 光検出手段
4 4 a 受光領域
4 5 入射光
4 5 a 反射光

4 5 b	反射光
4 5 c	反射光
5 0	走査型プローブ顕微鏡
5 1	レーザーダイオード
5 2	入射光
5 2 a	反射光
5 3	カンチレバー
5 4	ミラー
5 5	光検出手段
5 6	試料
5 7	試料ホルダー
5 8	微動機構
5 9	上下微動機構
6 0	水平微動機構
6 1	光学顕微鏡

請求の範囲

[請求項1] 探針を先端に有するカンチレバーと、
前記カンチレバーに入射光を照射するレーザー光源と、
前記カンチレバーによる反射光を検出する光検出手段と、
前記カンチレバーの上下微動手段とを備え、
前記入射光と反射光が、前記カンチレバーの長軸を含まない平面内にあり、
前記上下微動手段により前記カンチレバーの上下微動量を制御しながら、前記探針を走査させる走査型プローブ顕微鏡の出力処理方法において、
前記光検出手段の出力を、演算により、前記カンチレバーのたわみ量と上下微動量とに分解することを特徴とする走査型プローブ顕微鏡の出力処理方法。

[請求項2] 前記カンチレバーのたわみ量を θ 、上下微動量を z とし、前記光検出手段上の前記反射光の位置を (X, Y) とし、 A, B, C, D を当該走査型プローブ顕微鏡に固有の定数として、 (X, Y) と (θ, z) の関係を

$$X = A \theta + B z \cdots (1)$$

$$Y = C \theta + D z \cdots (2)$$

として、前記 (1)、(2) 式から下記 (3)、(4) 式を求め、

$$Y - (D/B) X = (C - AD/B) \theta \cdots (3)$$

$$X - (A/C) Y = (B - AD/C) z \cdots (4)$$

前記光検出手段の反射光の位置 (X, Y) から、(3)、(4) 式を用いて、前記カンチレバーのたわみ量 θ と上下微動量 z を求め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の出力処理方法。

[請求項3] 前記カンチレバーのたわみ量 $\theta = 0$ を維持しながら、前記カンチレバー保持部の上下微動量 z を変化させて、前記 (3) 式の右辺が 0 に

なるように、 D/B の値を決定し、
前記カンチレバー保持部の上下微動量 $z = 0$ を維持しながら、前記カンチレバーのたわみ量 θ を変化させて、前記（４）式の右辺が 0 になるように、 A/C の値を決定することを特徴とする請求項 2 に記載の走査型プローブ顕微鏡の出力処理方法。

[請求項4] 前記（３）式のたわみ量 θ が一定となるように前記カンチレバーの上下微動量 z を制御し、前記（４）式から得られた上下微動量 z を画像化することを特徴とする請求項 2 または 3 に記載の走査型プローブ顕微鏡の出力処理方法。

[請求項5] 探針を先端に有するカンチレバーと、
前記カンチレバーに入射光を照射するレーザー光源と、
前記カンチレバーによる反射光を検出する光検出手段としての 4 分割フォトダイオードと、
前記カンチレバーの上下微動手段とを備え、
前記入射光と反射光が、前記カンチレバーの長軸を含まない平面内にあり、
前記微動手段により前記カンチレバーの上下微動量を制御しながら、
前記探針を走査させる走査型プローブ顕微鏡の出力処理方法において、
前記 4 分割フォトダイオードの受光領域の境界と、前記カンチレバーのたわみまたは上下微動による反射光の移動方向を一致させ、
前記 4 分割フォトダイオードの出力から、前記カンチレバーのたわみ量 θ または上下微動量 z を算出することを特徴とする走査型プローブ顕微鏡の出力処理方法。

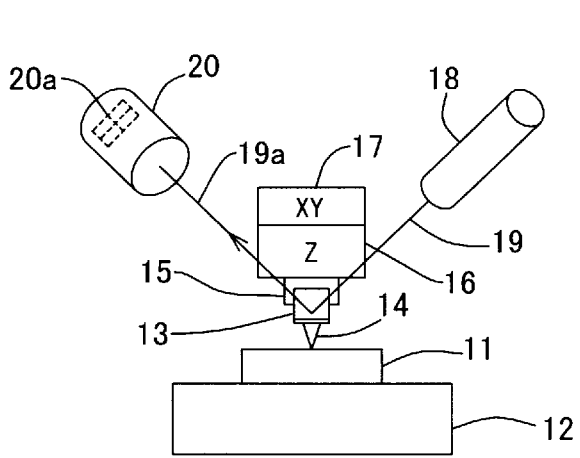
[請求項6] 請求項 1 から 5 のいずれかの出力処理方法を用いて得られたカンチレバーの上下微動量 z を画像化することを特徴とする走査型プローブ顕微鏡。

[請求項7] 前記カンチレバーと前記光検出手段とを複数有することを特徴とす

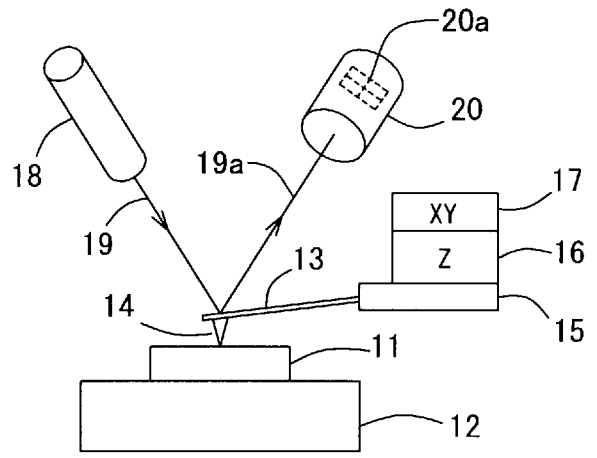
る請求項6に記載の走査型プローブ顕微鏡。

[図1]

10

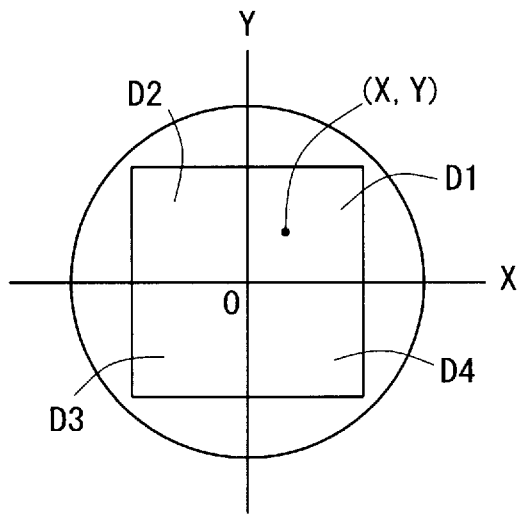


正面図

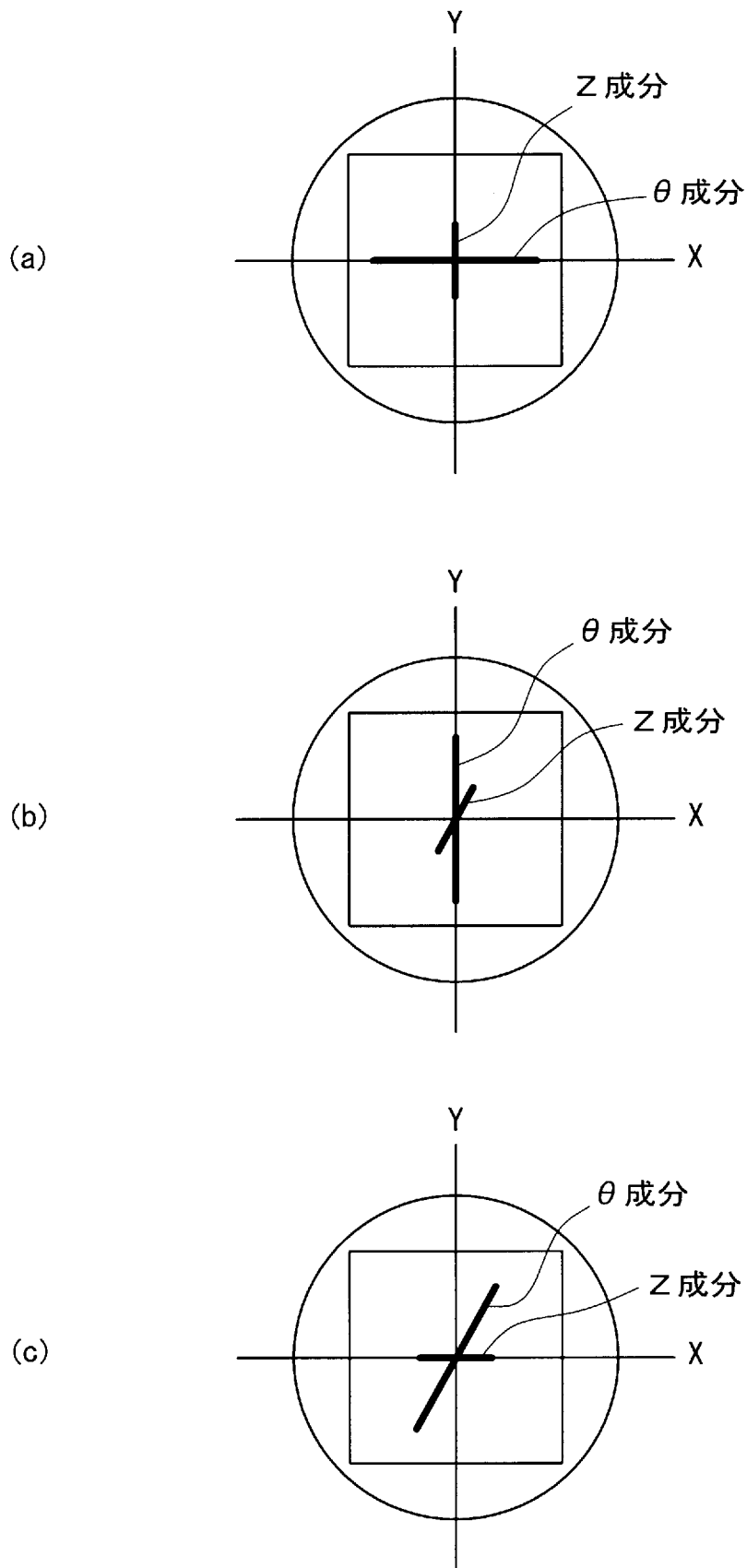


側面図

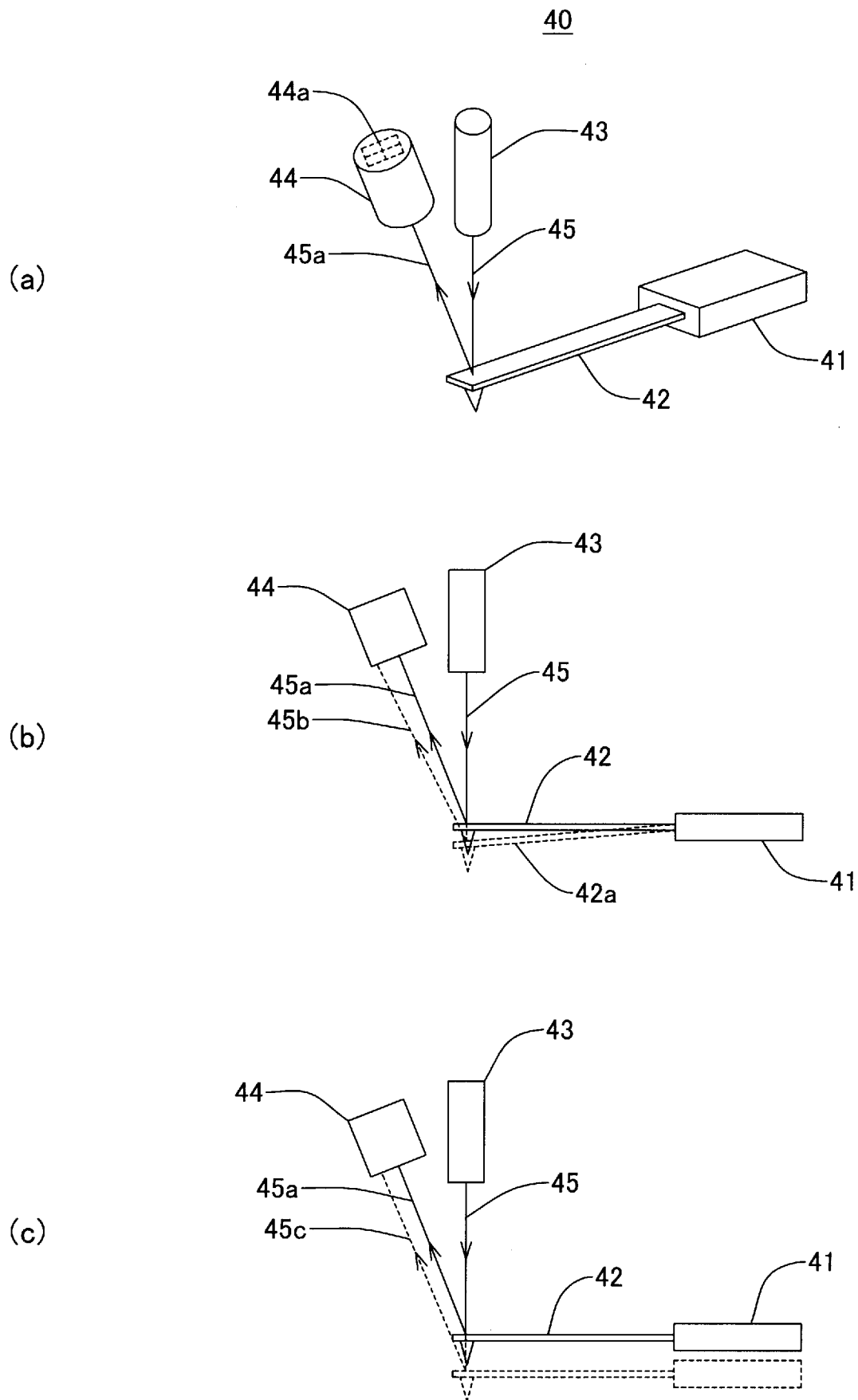
[図2]



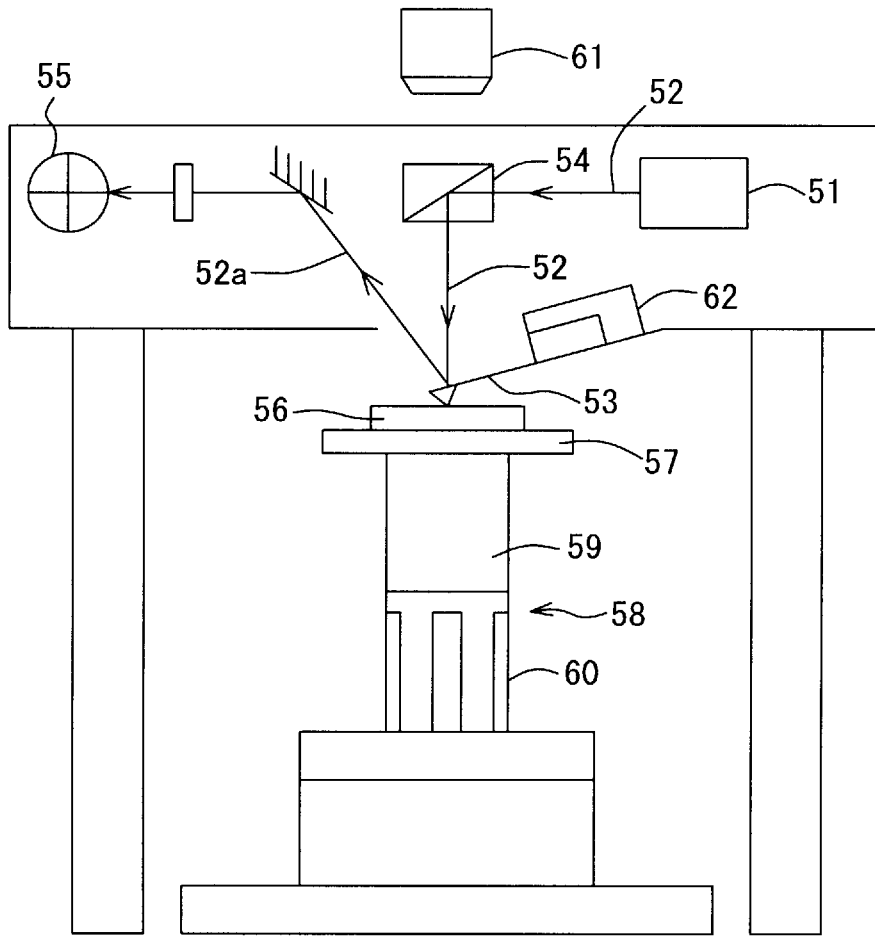
[図3]



[図4]



[図5]

50

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.

PCT/JP2009/006658

A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER
G01Q20/02 (2010.01) i, *G01Q60/24* (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)
 G01Q10/00-90/00

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	1996-2010
Kokai Jitsuyo Shinan Koho	1971-2010	Toroku Jitsuyo Shinan Koho	1994-2010

Electronic data base consulted during the international search (name of data base and, where practicable, search terms used)
 JSTPlus/JMEDPlus/JST7580 (JDreamII)

C. DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
Y A	JP 7-301516 A (Olympus Optical Co., Ltd.), 14 November 1995 (14.11.1995), paragraphs [0006] to [0008], [0018] to [0021]; fig. 1, 7, 8 (Family: none)	1, 6-7 2-5
Y A	JP 6-102038 A (Nikon Corp.), 12 April 1994 (12.04.1994), abstract; fig. 1 to 5 (Family: none)	1, 6-7 2-5
Y	JP 2003-501647 A (Daewoo Electronics Co., Ltd.), 14 January 2003 (14.01.2003), claims 1, 9; fig. 1 (Family: none)	7

Further documents are listed in the continuation of Box C. See patent family annex.

* Special categories of cited documents:	"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
"A" document defining the general state of the art which is not considered to be of particular relevance	"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
"E" earlier application or patent but published on or after the international filing date	"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
"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)	"&" document member of the same patent family
"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	

Date of the actual completion of the international search 10 February, 2010 (10.02.10)	Date of mailing of the international search report 23 February, 2010 (23.02.10)
---	--

Name and mailing address of the ISA/ Japanese Patent Office	Authorized officer
Facsimile No.	Telephone No.

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.

PCT/JP2009/006658

C (Continuation). DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
A	JP 7-280818 A (Nikon Corp.), 27 October 1995 (27.10.1995), entire text; all drawings (Family: none)	1-7
A	US 2008/0266575 A1 (Angelo Gaitas), 30 October 2008 (30.10.2008), entire text; all drawings (Family: none)	1-7
E,A	JP 2010-14591 A (Mitsutoyo Corp.), 21 January 2010 (21.01.2010), entire text; all drawings (Family: none)	1-7

A. 発明の属する分野の分類 (国際特許分類 (IPC))

Int.Cl. G01Q20/02(2010.01)i, G01Q60/24(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 (IPC))

Int.Cl. G01Q10/00 - 90/00

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	1922-1996年
日本国公開実用新案公報	1971-2010年
日本国実用新案登録公報	1996-2010年
日本国登録実用新案公報	1994-2010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)

JSTPlus/JMEDPlus/JST7580(JDreamII)

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 A	JP 7-301516 A (オリンパス光学工業株式会社) 1995. 11. 14, 【0006】～【0008】、【0018】～【0021】、図1, 7, 8 (ファミリーなし)	1, 6-7 2-5
Y A	JP 6-102038 A (株式会社ニコン) 1994. 04. 12, 【要約】、図1～5 (ファミリーなし)	1, 6-7 2-5

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

10.02.2010

国際調査報告の発送日

23.02.2010

国際調査機関の名称及びあて先

日本国特許庁 (ISA/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)

渡▲辺▼ 純也

2 J

3606

電話番号 03-3581-1101 内線 3252

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 2003-501647 A (デーウー・エレクトロニクス・カンパニー・リミテッド) 2003.01.14, 請求項1, 9、図1 (ファミリーなし)	7
A	JP 7-280818 A (株式会社ニコン) 1995.10.27, 全文全図 (ファミリーなし)	1-7
A	US 2008/0266575 A1 (Angelo Gaitas) 2008.10.30, 全文全図 (ファミリーなし)	1-7
E, A	JP 2010-14591 A (株式会社ミットヨ) 2010.01.21, 全文全図 (ファミリーなし)	1-7