

(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
2014年7月31日(31.07.2014)



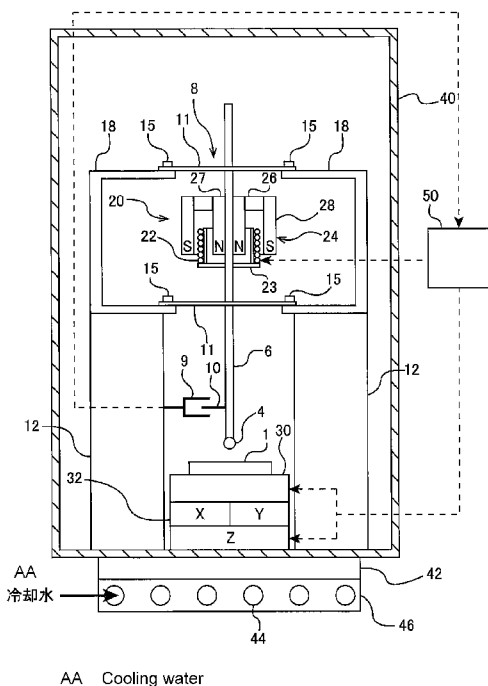
(10) 国際公開番号
WO 2014/115634 A1

- (51) 国際特許分類:
G01N 19/04 (2006.01) G01N 3/08 (2006.01)
- (21) 国際出願番号: PCT/JP2014/050666
- (22) 国際出願日: 2014年1月16日(16.01.2014)
- (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 2013-012876 2013年1月28日(28.01.2013) JP
- (71) 出願人: 株式会社エリオニクス(ELIONIX INC.)
[JP/JP]; 〒1920063 東京都八王子市元横山町3-7-6 Tokyo (JP).
- (72) 発明者: 雨宮 弘直(AMEMIYA, Hironao); 〒1920063 東京都八王子市元横山町3-7-6 株式会社エリオニクス内 Tokyo (JP). 小林 隼人(KOBAYASHI, Hayato); 〒1920063 東京都八王子市元横山町3-7-6 株式会社エリオニクス内 Tokyo (JP). 加藤 孝久(KATO, Takahisa); 〒1130031 東京都文京区本郷7-3-1 国立大学法人東京大学大学院内 Tokyo (JP).
- (74) 代理人: 渡邊 勇, 外(WATANABE, Isamu et al.); 〒1600023 東京都新宿区西新宿7丁目5番8号 GOWA西新宿4階 Tokyo (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, KE, KG, 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, 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, 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).

[続葉有]

(54) Title: SURFACE FORCE MEASUREMENT METHOD AND SURFACE FORCE MEASUREMENT DEVICE

(54) 発明の名称: 表面力測定方法および表面力測定装置



(57) Abstract: The present invention provides a method and a device for measuring force (hereinafter referred to as surface force) acting between two substance surfaces. A surface force measurement method comprises: moving an object to be measured (1) to a probe (4) until the probe (4) is adsorbed to the object to be measured (1); thereafter applying a load to a support member (6) by an electromagnetic force generator (20) in a direction in which the probe (4) separates from the object to be measured (1) while gradually increasing an electric current to be supplied to the electromagnetic force generator (20); acquiring the value of the electric current being supplied to the electromagnetic force generator (20) when the probe (4) has separated from the object to be measured (1); and converting the electric current value into surface force acting between the probe (4) and the object to be measured (1).

(57) 要約: 本発明は、2つの物質表面間に作用する力(以下、表面力と呼ぶ)を測定する方法および装置を提供する。表面力測定方法は、プローブ(4)が被測定物(1)に吸着されるまで被測定物(1)をプローブ(4)に向かって移動させ、その後、電磁力発生器(20)に供給する電流を徐々に増加させながら、電磁力発生器(20)によって、プローブ(4)が被測定物(1)から離れる方向に支持部材(6)に荷重を加え、プローブ(4)が被測定物(1)から離れたときに電磁力発生器(20)に供給されている電流の値を取得し、電流値を、プローブ(4)と被測定物(1)との間に作用する表面力に変換する。

WO 2014/115634 A1

添付公開書類:

— 国際調査報告 (条約第 21 条(3))

明 細 書

発明の名称：表面力測定方法および表面力測定装置

技術分野

[0001] 本発明は、2つの物質表面間に作用する力（以下、表面力と呼ぶ）を測定する方法および装置に関するものである。

背景技術

[0002] 一般的に、表面力を測定する方法として、原子間力顕微鏡（AFM：Atomic Force Microscope）を用いたフォースカーブ測定や表面力測定装置（例えば特許文献1参照）を用いた測定が知られている。カンチレバー（片持ちばね）の先端に取り付けられたプローブ（探針）を被測定物（試料）に接近させると、被測定物とプローブとの間に作用する表面力によりプローブが被測定物に引き寄せられ、プローブが被測定物に接触する。この状態から、プローブを被測定物から引き離そうとするとき、表面力によってプローブが被測定物に接触した状態が続き、ある位置でプローブが被測定物から離れる。このときのカンチレバーのたわみ量（すなわちプローブの変位）とカンチレバーのばね定数とを乗算することで表面力が算出される。

[0003] カンチレバーを用いて表面力を測定する場合、表面力の測定可能な範囲はカンチレバーのばね定数に依存する。測定する表面力に対してばね定数が小さすぎる場合にはカンチレバーのたわみ量が大きくなる。カンチレバーがたわむときのプローブの軌道は、カンチレバーが取り付けられている支点を中心とした円軌道であるため、プローブの変位方向は表面力の作用方向と一致しない。したがって、プローブの変位方向と表面力の作用方向が一致しないことによって生ずる測定値と実際の表面力との誤差が無視できなくなる。また、測定する表面力に対してばね定数が大きすぎる場合にはカンチレバーのたわみ量が小さくなるため、プローブの変位測定の誤差が大きくなる。

以上の理由から、カンチレバーを用いて表面力を正確に測定するためには、表面力の測定範囲に適したばね定数を有するカンチレバーを選定しなければ

ばならないが、測定条件ごとにカンチレバーを交換することは手間と時間がかかってしまう。しかし、このような不都合を課題として認識することはなされておらず、示唆もされていない。

先行技術文献

特許文献

[0004] 特許文献1：特開2001-108603号公報

特許文献2：特開2003-161684号公報

発明の概要

発明が解決しようとする課題

[0005] 本発明は、上述した不都合を解決するためになされたもので、表面力を広い範囲で正確に測定することができる表面力測定方法および表面力測定装置を提供することを目的とする。

課題を解決するための手段

[0006] 上記目的を達成するために、支持部材と、前記支持部材に固定されたプローブと、前記支持部材を弾性的に保持し、該支持部材に直線運動のみを許容するばね機構と、前記支持部材に荷重を加えるための電磁力を発生させる電磁力発生器とを備えた装置を用いた表面力測定方法であって、前記プローブが被測定物に吸着されるまで前記被測定物を前記プローブに向かって移動させ、その後、前記電磁力発生器に供給する電流を徐々に増加させながら、前記電磁力発生器によって、前記プローブが前記被測定物から離れる方向に前記支持部材に荷重を加え、前記プローブが前記被測定物から離れたときに前記電磁力発生器に供給されている電流の値を取得し、前記電流値を、前記プローブと前記被測定物との間に作用する表面力に変換することを特徴とする。

[0007] 本発明の好ましい態様は、前記プローブが前記被測定物に吸着された後に、前記プローブと前記被測定物とが接触したまま前記プローブがその初期位置に戻るまで前記プローブおよび前記被測定物を移動させ、その後、前記電

磁力発生器に供給する電流を徐々に増加させながら、前記電磁力発生器によって、前記プローブが前記被測定物から離れる方向に前記支持部材に荷重を加えることを特徴とする。

本発明の好ましい態様は、前記被測定物、前記プローブ、前記支持部材、前記ばね機構、および前記電磁力発生器が配置される空間を真空にすることを特徴とする。

本発明の好ましい態様は、前記被測定物、前記プローブ、前記支持部材、前記ばね機構、および前記電磁力発生器の温度を制御することを特徴とする。

本発明の好ましい態様は、前記電流値と前記表面力との相関を表す所定の関係式を用いて、前記電流値を前記表面力に変換することを特徴とする。

[0008] 本発明の他の態様は、支持部材と、前記支持部材に固定されたプローブと、前記支持部材を弾性的に保持し、該支持部材に直線運動のみを許容するばね機構と、前記支持部材に荷重を加えるための電磁力を発生させる電磁力発生器と、前記プローブの変位を測定する変位測定器と、被測定物の位置決めを行う第1位置決め機構と、前記第1位置決め機構よりも精密に前記被測定物の位置決めを行う第2位置決め機構と、前記電磁力発生器、前記第1位置決め機構、および前記第2位置決め機構の動作を制御する動作制御装置とを備え、前記動作制御装置は、前記第2位置決め機構により、前記プローブが前記被測定物に吸着されるまで前記被測定物を前記プローブに向かって移動させ、その後、前記電磁力発生器に供給する電流を徐々に増加させながら、前記電磁力発生器によって、前記プローブが前記被測定物から離れる方向に前記支持部材に荷重を加え、前記プローブが前記被測定物から離れたときに前記電磁力発生器に供給されている電流の値を取得し、前記電流値を、前記プローブと前記被測定物との間に作用する表面力に変換するように構成されていることを特徴とする表面力測定装置である。

[0009] 本発明の好ましい態様は、前記動作制御装置は、前記プローブが前記被測定物に吸着された後に、前記第2位置決め機構により、前記プローブと前記

被測定物とが接触したまま前記プローブがその初期位置に戻るまで前記プローブおよび前記被測定物を移動させることを特徴とする。

本発明の好ましい態様は、前記被測定物、前記プローブ、前記支持部材、前記ばね機構、前記電磁力発生器、前記変位測定器、前記第1位置決め機構、および前記第2位置決め機構が内部に配置される真空チャンバをさらに備えたことを特徴とする。

本発明の好ましい態様は、前記被測定物、前記プローブ、前記支持部材、前記ばね機構、前記電磁力発生器、前記変位測定器、前記第1位置決め機構、および前記第2位置決め機構の温度を制御する温度制御装置をさらに備えたことを特徴とする。

本発明の好ましい態様は、前記動作制御装置は、前記電流値と前記表面力との相関を表す所定の関係式を記憶しており、前記所定の関係式を用いて前記電流値を前記表面力に変換することを特徴とする。

発明の効果

[0010] 本発明によれば、表面力は、プローブが被測定物から離れた瞬間の電流値を基に決定される。表面力を算出するためにはばね定数は不要であり、ばね定数に依存せずに表面力を測定することができる。したがって、広い範囲での表面力の測定が可能となる。さらに、ばね機構は支持部材の直線運動のみを許容するので、プローブの変位方向は表面力の作用方向に一致する。したがって、表面力を正確に測定することができる。

図面の簡単な説明

[0011] [図1]本発明の一実施形態に係る表面力測定装置の全体構造を示す模式図である。

[図2]ばね機構の詳細を示す斜視図である。

[図3]図2に示すE字型板ばねの平面図である。

[図4]支持棒にその軸方向に力を加えたとき、E字型ばねが変形した状態を示す模式図である。

[図5]時間軸に沿ったプローブと被測定物の変位を示したグラフである。

発明を実施するための形態

[0012] 以下、本発明の実施形態について図面を参照して説明する。

図1は、本発明の一実施形態に係る表面力測定装置の全体構造を示す模式図である。図1に示すように、表面力測定装置は、プローブ（探針）4と、プローブ4を支持する支持棒（支持部材）6と、支持棒6を弾性的に保持するばね機構8と、支持棒6に鉛直方向の荷重を加えるための電磁力を発生させる電磁力発生器20と、プローブ4の変位を計測する変位計9とを備えている。支持棒6は、鉛直方向に延びており、その先端（下端）にプローブ4が固定されている。

[0013] ばね機構8は、2つの支持台12，12によって支持されている。変位計9は、これら2つの支持台12，12のうち一方に固定されている。支持棒6には測定ターゲット10が固定されており、この測定ターゲット10は支持棒6およびプローブ4と一体に鉛直方向に上下動する。変位計9は、この測定ターゲット10の鉛直方向の変位からプローブ4の鉛直方向の変位を測定する。変位計9としては、非接触式の変位センサが好ましく用いられる。

[0014] 図2は、ばね機構8の詳細を示す斜視図である。図2に示すように、ばね機構8は、E字型板ばね11，11と、ボルト15と、固定フレーム18，18とを備えている。支持棒6はE字型板ばね11，11に弾性的に保持されている。E字型板ばね11，11は、支持棒6の軸上に互いに平行に配置されている。E字型板ばね11における側部ばね片13，13の自由端はボルト15，15により固定フレーム18，18に固定されており、中央部ばね片14の自由端には支持棒6が固定されている。固定フレーム18，18は図1に示す支持台12，12にそれぞれ支持されている。

[0015] 図3は、図2に示すE字型板ばねの平面図である。図3に示すように、E字型ばね11は、一対の矩形状の側部ばね片13，13と、これら側部ばね片13，13の中間に位置する矩形状の中央部ばね片14と、側部ばね片13，13と中央部ばね片14とを一端部で連結する連結部19とから構成さ

れている。一对の側部ばね片 13, 13 は、同一形状および同一寸法に形成されており、連結部 19 からの長さが L、幅が W に設定されている。中央部ばね片 14 は、連結部 19 からの長さが L、幅が 2W に設定されている。連結部 19、側部ばね片 13、および中央部ばね片 14 は、同一の厚さを有している。これにより、一对の側部ばね片 13, 13 を合わせたばね定数が中央部ばね片 14 のばね定数と同一になっている。

[0016] 図 3 に示すように構成された各 E 字型ばね 11 は図 2 に示す位置に配置される。すなわち、一对の側部ばね片 13, 13 の自由端に形成された孔 13a, 13a にボルト 15, 15 を挿入し、一对の側部ばね片 13, 13 の自由端を固定フレーム 18, 18 に固定する。そして、中央部ばね片 14 の自由端に形成された孔 14a に支持棒 6 を挿入し、中央部ばね片 14 の自由端に支持棒 6 を固定する。すなわち、側部ばね片 13, 13 の自由端を固定フレーム 18 に固定し、中央部ばね片 14 の自由端を支持棒 6 に固定する。これにより、側部ばね片 13, 13 を一端が固定部に固定された固定部ばね片、中央部ばね片 14 を一端が支持棒 6 を運動可能に支持する運動部ばね片として機能させる。そして、E 字型ばね 11 は支持棒 6 の軸上に平行に 2 枚以上配置される（図 2 では E 字型ばね 11 を 2 枚配置した例を示している）。

[0017] 図 2 に示す構成において、支持棒 6 にその軸方向に荷重を加えたとき、固定部ばね片としての側部ばね片 13, 13 および運動部ばね片としての中央部ばね片 14 がともに変形する。この変形とともに、平行に配置された一对の E 字型ばね 11 における、固定部ばね片としての側部ばね片 13, 13 および運動部ばね片としての中央部ばね片 14 で円運動が打ち消し合い、支持棒 6 はその軸方向に直線運動することのみが許容される。結果として、プローブ 4 は被測定物 1 に対し、常に同じ向きを保持し、プローブ 4 は鉛直方向に沿って直線的に移動する。

[0018] 図 4 は支持棒 6 にその軸方向に荷重を加えたとき、E 字型ばね 11, 11 が変形した状態を示す模式図である。図 4 に示すように、側部ばね片 13 および中央部ばね片 14 は変形し、連結部 19 の端部は、側部ばね片 13 を固

定フレーム 18 に固定した固定点 P1 を中心として円運動 M1 を行なう。また支持棒 6 を中央部ばね片 14 に固定した運動点 P2 は、連結部 19 の端部を中心として円運動 M2 を行なう。この結果、点 P2 は点 P1 の鉛直方向において下方に位置する。即ち、固定部ばね片としての側部ばね片 13, 13 および運動部ばね片としての中央部ばね片 14 で円運動が打ち消し合い、支持棒 6 およびプローブ 4 は鉛直方向にのみ直線移動する。

[0019] 図 1 に示すように、電磁力発生器 20 は、支持棒 6 に連結されたコイル 22 と、磁界を発生させる磁界発生部 24 とを備えている。コイル 22 は円筒形状を有しており、その下端には円板部材 23 が取り付けられている。円板部材 23 の中心部は支持棒 6 に固定されており、これにより、コイル 22 と支持棒 6 とプローブ 4 とは一体に鉛直方向に直線的に移動可能となっている。磁界発生部 24 は、環状の永久磁石 26 と、永久磁石 26 の内周面に固定された円筒状のヨーク 27 と、永久磁石 26 の外周面に固定された円筒状のヨーク 28 とを備えている。永久磁石 26、ヨーク 27、およびヨーク 28 は同心状に配置されている。コイル 22 はヨーク 27 とヨーク 28 との間に配置されている。

[0020] ヨーク 27 とヨーク 28 との間には磁界が形成されており、コイル 22 は磁界の中に置かれている。この状態で、コイル 22 に電流を流すとコイル 22 を鉛直方向に移動させる電磁力が発生する。この電磁力はコイル 22 に連結されている支持棒 6 に荷重を与える。したがって、支持棒 6 およびプローブ 4 は、電磁力発生器 20 からの荷重を受けて鉛直方向に移動（変位）する。この荷重はコイル 22 に流す電流によって制御することが可能である。

[0021] 表面力測定装置は、被測定物 1 を水平方向および鉛直方向に移動させる粗動ステージ（XYZステージ）32 と、被測定物 1 の正確な位置決めを行うための微動ステージ 30 とをさらに備えている。微動ステージ 30 は、被測定物 1 を鉛直方向にのみ移動させるように構成されている。微動ステージ 30 は粗動ステージ 32 上に配置されており、被測定物 1 は微動ステージ 30 の上に載置される。微動ステージ 30 および被測定物 1 は、一体に水平方向

および鉛直方向に粗動ステージ32によって移動される。なお、微動ステージ30の上に粗動ステージ32を配置し、粗動ステージ32の上に被測定物1を載置してもよい。

[0022] 粗動ステージ32としては、そのアクチュエータとしてボールねじ機構の組み合わせを用いることが好ましく、微動ステージ30としては、そのアクチュエータとしてピエゾ素子を用いることが好ましい。粗動ステージ32は、被測定物1の大まかな位置決めを行う第1位置決め機構であり、微動ステージ30は粗動ステージ32よりも精密な位置決めを行う第2位置決め機構である。

[0023] プローブ4、支持棒6、ばね機構8、支持台12, 12、電磁力発生器20、微動ステージ30、および粗動ステージ32は真空チャンバ40内に配置されている。真空チャンバ40は図示しない真空装置に接続されており、真空装置を駆動することで真空チャンバ40内に真空が形成される。これにより、周囲雰囲気の影響を受けない環境下で表面力を測定することができ、安定した測定が確保される。真空チャンバ40は除振台42の上に配置されており、除振台42によって真空チャンバ40の振動が除去される。

[0024] 除振台42の下には、循環配管44を有する温度制御装置46が配置されており、図示しない冷却水供給源から冷却水が温度制御装置46の循環配管44に供給されるようになっている。冷却水が循環配管44内に供給されることにより、真空チャンバ40の内部空間が所定の温度に保たれる。温度制御装置46によって、真空チャンバ40内に配置された機器（例えばプローブ4、支持棒6、ばね機構8、電磁力発生器20など）および被測定物1の温度が安定し、これらの熱膨張が防止される。なお、図1では除振台42は真空チャンバ40の下に配置されているが、除振台42を真空チャンバ40の中に配置し、粗動ステージ32および支持台12, 12を除振台42の上に配置してもよい。

[0025] 図1に示すように、真空チャンバ40の外部には動作制御装置50が配置されている。動作制御装置50は、電磁力発生器20、微動ステージ30、

および粗動ステージ 32 の動作を制御する装置である。

[0026] 被測定物 1 とプローブ 4 との間に作用する表面力は、被測定物 1 に接触している状態のプローブ 4 を被測定物 1 から引き離すために必要な力を測定することで決定される。具体的には次のようにして表面力が測定される。まず、プローブ 4 が被測定物 1 に表面力によって吸着されるまで、被測定物 1 をプローブ 4 に向かって移動させる。次に、プローブ 4 が被測定物 1 に吸着された状態で、コイル 22 に流す電流を徐々に増加させてプローブ 4 を被測定物 1 から引き離す。そして、プローブ 4 が被測定物 1 から引き離された瞬間のコイル 22 に流れる電流値を、電磁力発生器 20 が発生した荷重（電磁力）に変換し、この変換された荷重を被測定物 1 とプローブ 4 との間に作用する表面力として決定する。コイル 22 に流れる電流値は、制御装置 50 に予め記憶されている所定の関係式を用いて電磁力発生器 20 が発生した荷重（電磁力）に変換される。

[0027] 図 5 は、表面力を測定するときのプローブ 4 および被測定物 1 の位置の変化を示すグラフである。図 5 において、縦軸はプローブ 4 および被測定物 1 の鉛直方向の位置を示し、横軸は時間を示す。太線はプローブ 4 の移動軌跡を示し、細線は被測定物 1 の移動軌跡を示す。まず、粗動ステージ 32 が駆動されて、被測定物 1 がプローブ 4 に接触するまで被測定物 1 をプローブ 4 に向かって移動させる（ $t_0 \rightarrow t_1$ ）。被測定物 1 がプローブ 4 に接触した後、粗動ステージ 32 によって被測定物 1 を反対方向に移動させてプローブ 4 から被測定物 1 を離間させる（ $t_1 \rightarrow t_2$ ）。被測定物 1 がプローブ 4 に接触した時点、および被測定物 1 がプローブ 4 から離れた時点は、変位計 9 によって測定されるプローブ 4 の変位から決定することができる。

[0028] 次に、微動ステージ 30 が駆動されて被測定物 1 をプローブ 4 に向かって徐々に移動させる（ $t_2 \rightarrow t_3$ ）。被測定物 1 がプローブ 4 に接近するにつれて、被測定物 1 とプローブ 4 との間に表面力が作用する。プローブ 4 は、E 字型板ばね 11、11 の反力に抗って下降し、ついにはプローブ 4 は被測定物 1 に接触する（ t_3 ）。その結果、プローブ 4 はその初期位置 P_{ini} （プ

プローブ4の変位がゼロの位置)から下方に変位する。被測定物1がプローブ4を引き付ける力は吸着力と呼ばれる。この吸着力はプローブ4の初期位置 P_{ini} からの変位(図5にて記号D1で示す)にE字型板ばね11, 11のばね定数を掛けることによって求めることができる。

[0029] 本実施形態では、プローブ4を被測定物1から引き離すために必要な荷重(力)から表面力を決定する。しかしながら、プローブ4がその初期位置 P_{ini} から下方に変位すると、E字型ばね11, 11の反力がプローブ4を被測定物1から引き離す方向に作用する。このため、プローブ4が下方方向に変位したまま表面力の測定を開始すると、表面力の測定値と実際の表面力との間に誤差が生じることがある。そこで、この誤差を限りなく小さくするために、プローブ4および被測定物1が互いに接触した状態で、プローブ4がその初期位置 P_{ini} に戻るまでプローブ4および被測定物1を微動ステージ30により上昇させる($t_4 \rightarrow t_5$)。プローブ4が初期位置 P_{ini} にあるとき、E字型ばね11, 11のたわみ量は実質的にゼロであるので、E字型ばね11, 11内のストレスがゼロとなる。この状態で、表面力の測定が開始される。すなわち、コイル22への電流供給が開始される。

[0030] コイル22に流す電流を徐々に増大させ、支持棒6に作用する上向きの荷重を増大させる。この上向きの荷重は、プローブ4を被測定物1から引き離す力としてプローブ4に作用する。上向きの荷重が表面力と等しくなったとき、プローブ4は被測定物1から離れる(t_6)。動作制御装置50は、プローブ4が被測定物1から離れた瞬間にコイル22に流れている電流の値を取得し、この電流値に基づいてプローブ4を被測定物1から引き離す力を決定する。このようなプローブ4を被測定物1から引き離す力は凝着力と呼ばれる。この凝着力は表面力に相当する。

[0031] プローブ4は、被測定物1の真上に位置しているので、表面力は鉛直方向に発生する。E字型板ばね11, 11は支持棒6の鉛直方向のみの移動を許容するので、支持棒6に固定されたプローブ4は鉛直方向に移動する。すなわち、プローブ4を被測定物1から引き離す力の作用方向は、プローブ4と

被測定物 1 との間に作用する表面力の方向と一致する。したがって、表面力測定装置は、被測定物 1 とプローブ 4 との間に作用する表面力を正確に計測することができる。

[0032] 動作制御装置 50 は、プローブ 4 が被測定物 1 に吸着されたこと、およびプローブ 4 が被測定物 1 から引き離されたことを、変位計 9 によって測定されるプローブ 4 の変位から検出することができる。すなわち、動作制御装置 50 は、プローブ 4 の下方への変位（図 5 に符号 D 1 で示す）が所定の第 1 のしきい値を超えた時点に基づいて、プローブ 4 が被測定物 1 に吸着された時点を決し、プローブ 4 の上方への変位（図 5 に符号 D 2 で示す）が所定の第 2 のしきい値を超えた時点に基づいて、プローブ 4 が被測定物 1 から離れた時点を決する。

[0033] コイル 22 に流れる電流の値を表面力に変換する方法の一例について説明する。動作制御装置 50 は、所定の関係式を用いて電流値を表面力に変換する。この関係式は次のようにして予め取得される。重さの異なる複数のサンプルおもりを用意し、これらのサンプルおもりのうちの 1 つを支持棒 6 に取り付ける。この状態でコイル 22 に電流を流し、さらにサンプルおもりが電磁力発生器 20 によって持ち上げられるまで電流を少しずつ増加させる。サンプルおもりが取り付けられる前の支持棒 6 の高さ（初期位置）まで、サンプルおもりが持ち上げられた時点の電流値を取得し、この電流値をサンプルおもりの重さに関連付ける。同様の作業をすべてのサンプルおもりについて実行することによって、電流値と重さとの相関が取得される。サンプルおもりの重さは、プローブ 4 と被測定物 1 との間に作用する表面力に相当する。したがって、電流値と重さとの相関は、電流値と表面力との相関に相当する。この電流値と表面力との相関は、一次関数式として表される。このようにして得られた一次関数式は動作制御装置 50 に予め記憶される。動作制御装置 50 は、プローブ 4 が被測定物 1 から離れた瞬間の電流値を一次関数式に入力することによって、表面力を決定することができる。

[0034] これまで本発明の実施形態について説明したが、本発明は上述の実施形態

に限定されず、その技術思想の範囲内において、種々の異なる形態で実施されてよいことは勿論である。

産業上の利用可能性

[0035] 本発明は、2つの物質表面間に作用する力を測定する方法および装置に利用可能である。

符号の説明

[0036]	1	被測定物
	4	プローブ
	6	支持棒
	8	ばね機構
	9	変位計
	10	測定ターゲット
	11	E字型板ばね
	12	支持台
	13	側部ばね片
	14	中央部ばね片
	15	ボルト
	18	固定フレーム
	19	連結部
	20	電磁力発生器
	22	コイル
	23	円板部材
	24	磁界発生部
	26	永久磁石
	27, 28	ヨーク
	30	微動ステージ
	32	粗動ステージ
	40	真空チャンバ

- 4 2 除振台
- 4 4 循環配管
- 4 6 温度調整装置
- 5 0 動作制御装置

請求の範囲

- [請求項1] 支持部材と、
前記支持部材に固定されたプローブと、
前記支持部材を弾性的に保持し、該支持部材に直線運動のみを許容するばね機構と、
前記支持部材に荷重を加えるための電磁力を発生させる電磁力発生器とを備えた装置を用いた表面力測定方法であって、
前記プローブが被測定物に吸着されるまで前記被測定物を前記プローブに向かって移動させ、
その後、前記電磁力発生器に供給する電流を徐々に増加させながら、前記電磁力発生器によって、前記プローブが前記被測定物から離れる方向に前記支持部材に荷重を加え、
前記プローブが前記被測定物から離れたときに前記電磁力発生器に供給されている電流の値を取得し、
前記電流値を、前記プローブと前記被測定物との間に作用する表面力に変換することを特徴とする表面力測定方法。
- [請求項2] 前記プローブが前記被測定物に吸着された後に、前記プローブと前記被測定物とが接触したまま前記プローブがその初期位置に戻るまで前記プローブおよび前記被測定物を移動させ、
その後、前記電磁力発生器に供給する電流を徐々に増加させながら、前記電磁力発生器によって、前記プローブが前記被測定物から離れる方向に前記支持部材に荷重を加えることを特徴とする請求項1に記載の表面力測定方法。
- [請求項3] 前記被測定物、前記プローブ、前記支持部材、前記ばね機構、および前記電磁力発生器が配置される空間を真空にすることを特徴とする請求項1または2に記載の表面力測定方法。
- [請求項4] 前記被測定物、前記プローブ、前記支持部材、前記ばね機構、および前記電磁力発生器の温度を制御することを特徴とする請求項1乃至

3のいずれか一項に記載の表面力測定方法。

[請求項5] 前記電流値と前記表面力との相関を表す所定の関係式を用いて、前記電流値を前記表面力に変換することを特徴とする請求項1乃至4のいずれか一項に記載の表面力測定方法。

[請求項6] 支持部材と、
前記支持部材に固定されたプローブと、
前記支持部材を弾性的に保持し、該支持部材に直線運動のみを許容するばね機構と、
前記支持部材に荷重を加えるための電磁力を発生させる電磁力発生器と、
前記プローブの変位を測定する変位測定器と、
被測定物の位置決めを行う第1位置決め機構と、
前記第1位置決め機構よりも精密に前記被測定物の位置決めを行う第2位置決め機構と、
前記電磁力発生器、前記第1位置決め機構、および前記第2位置決め機構の動作を制御する動作制御装置とを備え、
前記動作制御装置は、
前記第2位置決め機構により、前記プローブが前記被測定物に吸着されるまで前記被測定物を前記プローブに向かって移動させ、
その後、前記電磁力発生器に供給する電流を徐々に増加させながら、前記電磁力発生器によって、前記プローブが前記被測定物から離れる方向に前記支持部材に荷重を加え、
前記プローブが前記被測定物から離れたときに前記電磁力発生器に供給されている電流の値を取得し、
前記電流値を、前記プローブと前記被測定物との間に作用する表面力に変換するように構成されていることを特徴とする表面力測定装置。

[請求項7] 前記動作制御装置は、前記プローブが前記被測定物に吸着された後

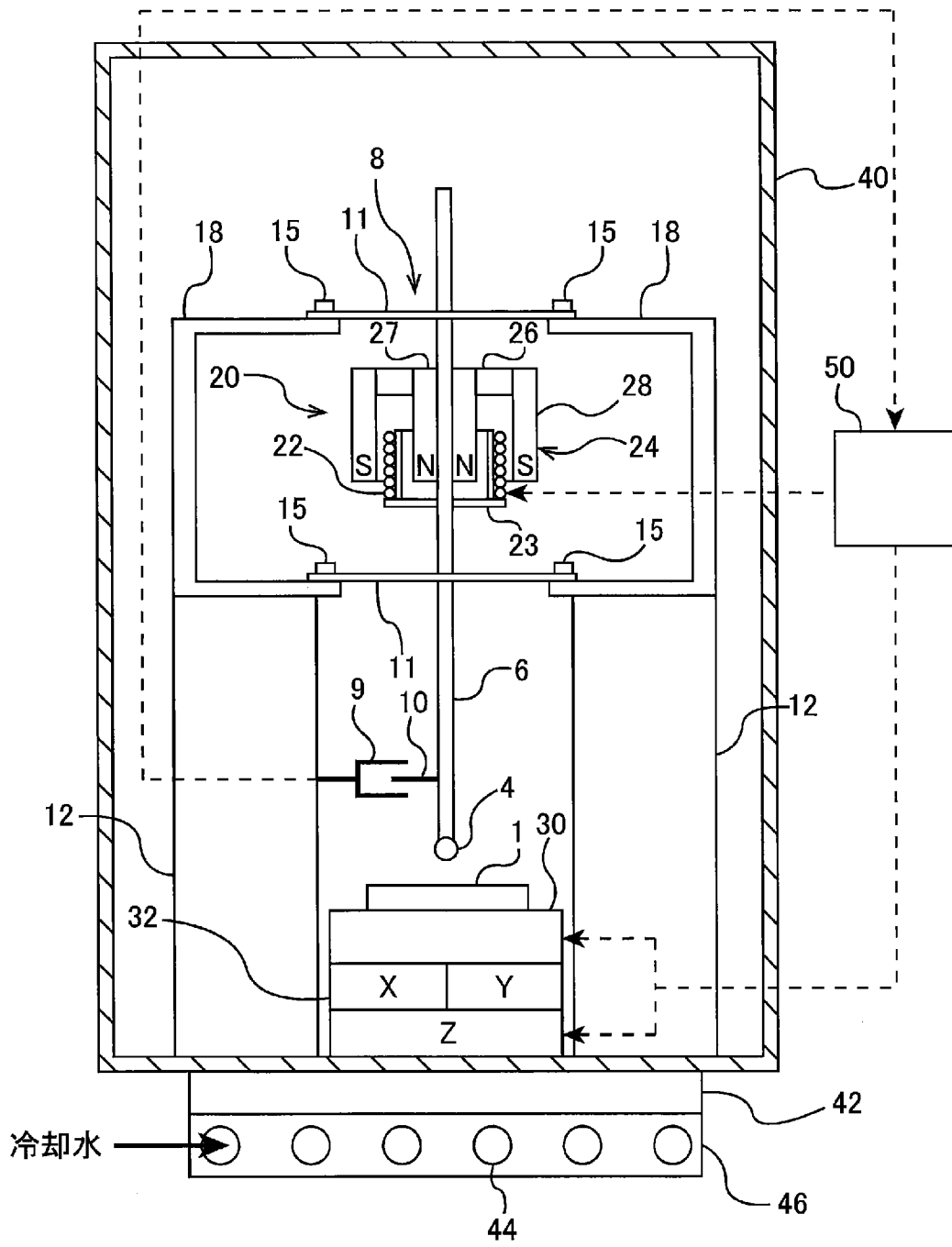
に、前記第2位置決め機構により、前記プローブと前記被測定物とが接触したまま前記プローブがその初期位置に戻るまで前記プローブおよび前記被測定物を移動させることを特徴とする請求項6に記載の表面力測定装置。

[請求項8] 前記被測定物、前記プローブ、前記支持部材、前記ばね機構、前記電磁力発生器、前記変位測定器、前記第1位置決め機構、および前記第2位置決め機構が内部に配置される真空チャンバをさらに備えたことを特徴とする請求項6または7に記載の表面力測定装置。

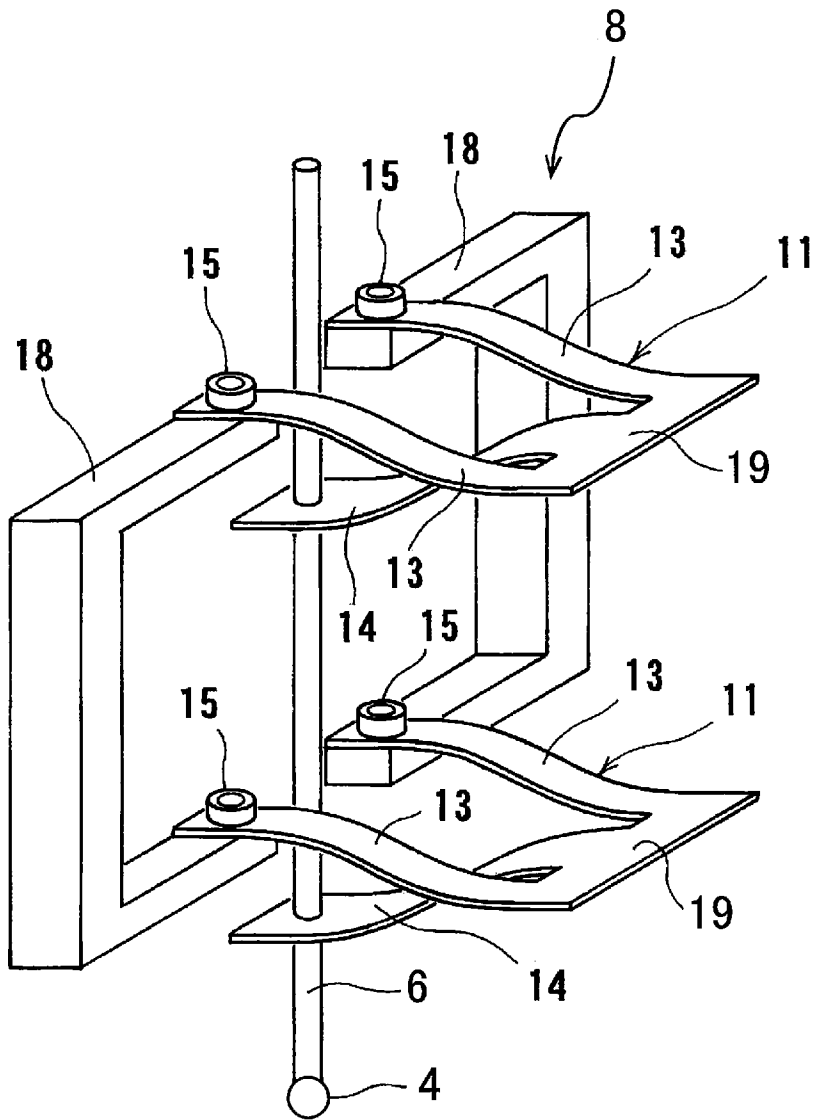
[請求項9] 前記被測定物、前記プローブ、前記支持部材、前記ばね機構、前記電磁力発生器、前記変位測定器、前記第1位置決め機構、および前記第2位置決め機構の温度を制御する温度制御装置をさらに備えたことを特徴とする請求項6乃至8のいずれか一項に記載の表面力測定装置。

[請求項10] 前記動作制御装置は、前記電流値と前記表面力との相関を表す所定の関係式を記憶しており、前記所定の関係式を用いて前記電流値を前記表面力に変換することを特徴とする請求項6乃至9のいずれか一項に記載の表面力測定装置。

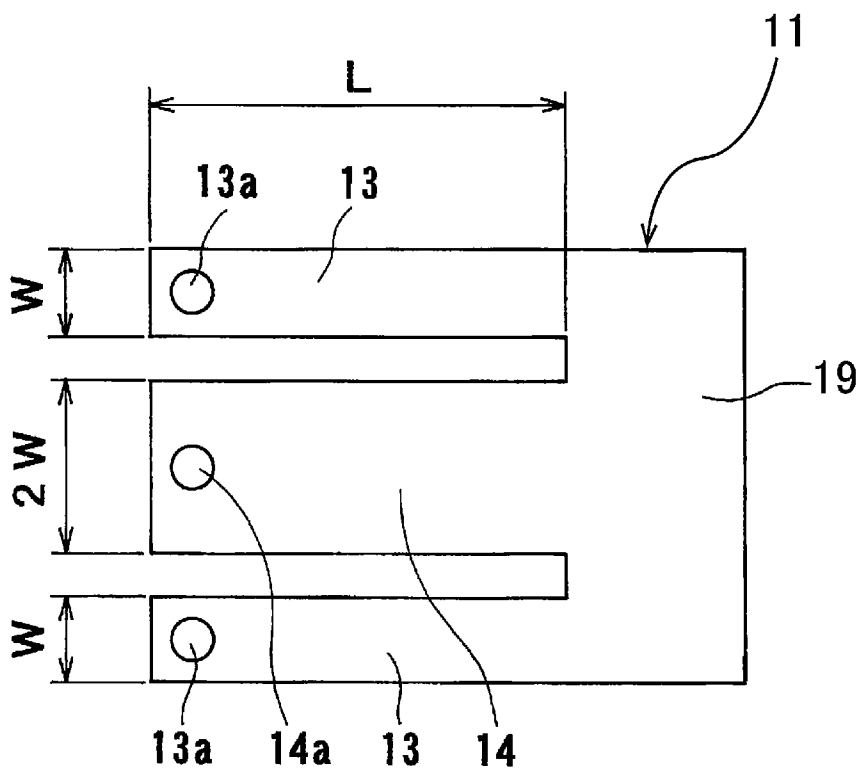
[図1]



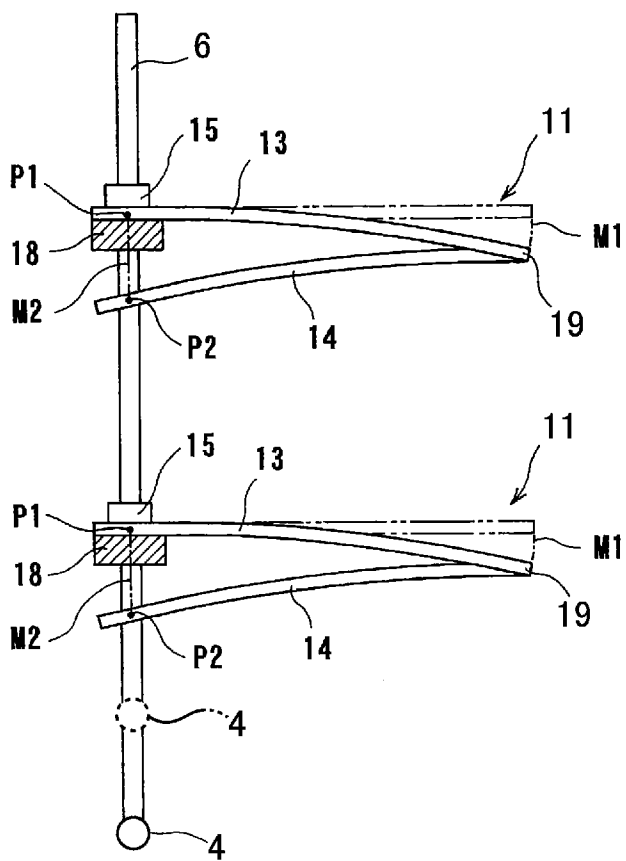
[図2]



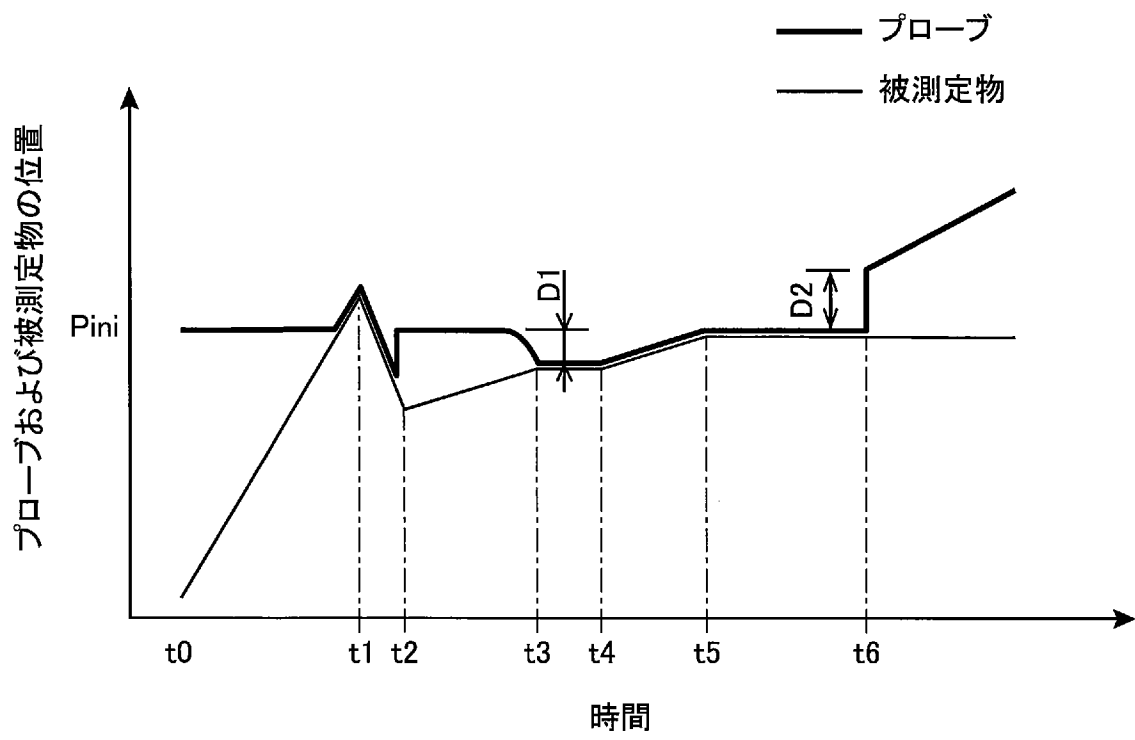
[図3]



[図4]



[図5]



INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.

PCT/JP2014/050666

A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER

G01N19/04(2006.01)i, G01N3/08(2006.01)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)

G01N3/00-3/62, G01N17/00-19/10, 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	1996-2014
Kokai Jitsuyo Shinan Koho	1971-2014	Toroku Jitsuyo Shinan Koho	1994-2014

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 2003-161684 A (Elionix Inc.), 06 June 2003 (06.06.2003), entire text; all drawings (Family: none)	1-10
Y	JP 9-72925 A (Nikon Corp.), 18 March 1997 (18.03.1997), paragraphs [0018] to [0027] (Family: none)	1-10
Y	JP 2006-284598 A (SII NanoTechnology Inc.), 19 October 2006 (19.10.2006), paragraph [0019] (Family: none)	1-10

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
28 January, 2014 (28.01.14)

Date of mailing of the international search report
10 February, 2014 (10.02.14)

Name and mailing address of the ISA/
Japanese Patent Office

Authorized officer

Facsimile No.

Telephone No.

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.

PCT/JP2014/050666

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 6-11435 A (Kabushiki Kaisha Resuka), 21 January 1994 (21.01.1994), paragraphs [0029] to [0033] (Family: none)	1-10
Y	JP 2011-38851 A (SII NanoTechnology Inc.), 24 February 2011 (24.02.2011), paragraph [0028] (Family: none)	1-10

A. 発明の属する分野の分類 (国際特許分類 (IPC)) Int.Cl. G01N19/04(2006.01)i, G01N3/08(2006.01)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. G01N3/00-3/62 G01N17/00-19/10 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 <table border="0"> <tr> <td>日本国実用新案公報</td> <td>1922-1996年</td> </tr> <tr> <td>日本国公開実用新案公報</td> <td>1971-2014年</td> </tr> <tr> <td>日本国実用新案登録公報</td> <td>1996-2014年</td> </tr> <tr> <td>日本国登録実用新案公報</td> <td>1994-2014年</td> </tr> </table>			日本国実用新案公報	1922-1996年	日本国公開実用新案公報	1971-2014年	日本国実用新案登録公報	1996-2014年	日本国登録実用新案公報	1994-2014年
日本国実用新案公報	1922-1996年									
日本国公開実用新案公報	1971-2014年									
日本国実用新案登録公報	1996-2014年									
日本国登録実用新案公報	1994-2014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 2003-161684 A (株式会社エリオニクス) 2003.06.06, 全文、全図 (ファミリーなし)	1-10								
Y	JP 9-72925 A (株式会社ニコン) 1997.03.18, 【0018】 - 【0027】 (ファミリーなし)	1-10								
Y	JP 2006-284598 A (エスアイアイ・ナノテクノロジー株式会社) 2006.10.19, 【0019】 (ファミリーなし)	1-10								
<input checked="" type="checkbox"/> C欄の続きにも文献が列挙されている。 <input type="checkbox"/> 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 28.01.2014	国際調査報告の発送日 10.02.2014									
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) 阿部 知 電話番号 03-3581-1101 内線 3252	2 J 4635								

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 6-11435 A (株式会社レスカ) 1994.01.21, 【0029】 - 【0033】 (ファミリーなし)	1-10
Y	JP 2011-38851 A (エスアイアイ・ナノテクノロジー株式会社) 2011.02.24, 【0028】 (ファミリーなし)	1-10