

(19) 日本国特許庁(JP)

(12) 特許公報(B2)

(11) 特許番号

特許第4546535号
(P4546535)

(45) 発行日 平成22年9月15日(2010.9.15)

(24) 登録日 平成22年7月9日(2010.7.9)

(51) Int.Cl.		F I		
GO1Q 60/38	(2010.01)	GO1N 13/16	1O1G	
GO1Q 60/26	(2010.01)	GO1N 13/16	1O1A	
GO1Q 20/02	(2010.01)	GO1N 13/10	111C	

請求項の数 14 (全 30 頁)

(21) 出願番号	特願2007-536526 (P2007-536526)	(73) 特許権者	503360115
(86) (22) 出願日	平成19年2月14日 (2007.2.14)		独立行政法人科学技術振興機構
(86) 国際出願番号	PCT/JP2007/052626		埼玉県川口市本町四丁目1番8号
(87) 国際公開番号	W02007/094365	(74) 代理人	100088155
(87) 国際公開日	平成19年8月23日 (2007.8.23)		弁理士 長谷川 芳樹
審査請求日	平成19年9月20日 (2007.9.20)	(74) 代理人	100124291
(31) 優先権主張番号	特願2006-37030 (P2006-37030)		弁理士 石田 悟
(32) 優先日	平成18年2月14日 (2006.2.14)	(72) 発明者	福澤 健二
(33) 優先権主張国	日本国(JP)		愛知県名古屋市東区矢田3-12-69
			名大矢田町宿舍214
		(72) 発明者	式田 光宏
			愛知県名古屋市名東区陸前町1304-2
		(72) 発明者	寺田 諭
			愛知県名古屋市千種区仲田2-11-3-3A

最終頁に続く

(54) 【発明の名称】 測定プローブ、試料表面測定装置、及び試料表面測定方法

(57) 【特許請求の範囲】

【請求項1】

試料の表面を測定するために用いられる測定プローブであって、
ベース部と、
表面測定用の探針が設けられたヘッド部と、
前記探針が突出する探針軸に略直交する第1軸を支持軸として前記ベース部に対して前記ヘッド部を支持する支持構造部とを備え、
前記支持構造部は、前記探針軸の方向について変形可能に構成され前記ベース部側に設けられた第1ばね構造部と、前記探針軸及び前記第1軸に略直交する第2軸の方向について変形可能に構成され前記ヘッド部側に設けられた第2ばね構造部との2つのばね構造部によって構成され、

前記第1ばね構造部は、前記第2軸の方向に延びるように配置され、前記支持構造部の他の部分と前記ベース部との間を連結するとともに挟み変形可能な挟み梁を含み、

前記ヘッド部は、前記探針とは反対側に設けられ、その反射率が面内で異なるように変化する反射パターンで形成された反射面を有し、前記ヘッド部の前記反射面は、その反射率が面内で前記第2軸の方向において変化する前記反射パターンで形成されていることを特徴とする測定プローブ。

【請求項2】

前記ベース部は、前記支持構造部を前記第2軸の方向で挟むように配置された一对の支持部を有し、

前記第 1 ばね構造部は、前記振り梁として、前記支持構造部の他の部分と前記一对の支持部のそれぞれとの間を連結する一对の振り梁を含むことを特徴とする請求項 1 記載の測定プローブ。

【請求項 3】

前記第 2 ばね構造部は、それぞれ前記第 2 軸の方向を向くように互いに平行に配置された少なくとも 2 枚の板ばねを含むことを特徴とする請求項 1 または 2 記載の測定プローブ。

【請求項 4】

前記ヘッド部の前記反射面は、前記第 1 軸の方向の中心軸に沿って延びる第 1 反射領域と、前記第 1 反射領域とは異なる反射率を有する第 2 反射領域とを少なくとも含む前記反射パターンで形成されていることを特徴とする請求項 1 ~ 3 のいずれか一項記載の測定プローブ。

10

【請求項 5】

試料の表面を測定するための請求項 1 ~ 4 のいずれか一項記載の測定プローブと、前記測定プローブでの前記支持構造部の変形を測定するための測定光を供給する測定光供給手段と、

前記測定プローブの前記ヘッド部に設けられた前記反射面で前記測定光が反射されて生成された反射光像を検出する反射光像検出手段と、

前記反射光像検出手段での前記反射光像の検出結果に基づいて、前記試料の表面情報を取得する表面情報処理手段とを備え、

20

前記反射光像検出手段で検出される前記反射光像は、前記測定光の前記反射面への照射パターンと、前記反射面での前記反射パターンとによって生成される 2 次元光像であり、

前記表面情報処理手段は、前記反射光像の前記検出結果に基づいて、前記探針軸の方向についての表面情報、及び前記第 2 軸の方向についての表面情報の両者を取得することを特徴とする試料表面測定装置。

【請求項 6】

前記反射光像検出手段は、前記反射光像を検出する少なくとも 4 分割された分割型フォトダイオードを有することを特徴とする請求項 5 記載の試料表面測定装置。

【請求項 7】

前記反射光像は、前記分割型フォトダイオードを構成する複数の光検出部に対し、前記測定プローブが前記探針軸の方向に変形した場合の前記反射光像の変位方向について、その方向に並んで位置する少なくとも 2 つの光検出部によってそれぞれ検出されるように入射することを特徴とする請求項 6 記載の試料表面測定装置。

30

【請求項 8】

前記反射光像は、前記分割型フォトダイオードを構成する複数の光検出部に対し、前記測定プローブが前記第 2 軸の方向に変形した場合の前記反射光像の変位方向について、その方向に並んで位置する少なくとも 2 つの光検出部によってそれぞれ検出されるように入射することを特徴とする請求項 6 または 7 記載の試料表面測定装置。

【請求項 9】

前記表面情報処理手段は、前記反射光像の位置の変化、及び前記反射光像内での前記反射光の検出パターンの変化を参照して、前記表面情報を取得することを特徴とする請求項 5 ~ 8 のいずれか一項記載の試料表面測定装置。

40

【請求項 10】

試料の表面を測定するための請求項 1 ~ 4 のいずれか一項記載の測定プローブを用い、前記測定プローブでの前記支持構造部の変形を測定するための測定光を供給する測定光供給ステップと、

前記測定プローブの前記ヘッド部に設けられた前記反射面で前記測定光が反射されて生成された反射光像を検出する反射光像検出ステップと、

前記反射光像検出ステップでの前記反射光像の検出結果に基づいて、前記試料の表面情報を取得する表面情報処理ステップとを備え、

50

前記反射光像検出ステップにおいて検出される前記反射光像は、前記測定光の前記反射面への照射パターンと、前記反射面での前記反射パターンとによって生成される2次元光像であり、

前記表面情報処理ステップにおいて、前記反射光像の前記検出結果に基づいて、前記探針軸の方向についての表面情報、及び前記第2軸の方向についての表面情報の両者を取得することを特徴とする試料表面測定方法。

【請求項11】

前記反射光像検出ステップにおいて、前記反射光像を少なくとも4分割された分割型フォトダイオードによって検出することを特徴とする請求項10記載の試料表面測定方法。

【請求項12】

前記反射光像は、前記分割型フォトダイオードを構成する複数の光検出部に対し、前記測定プローブが前記探針軸の方向に変形した場合の前記反射光像の変位方向について、その方向に並んで位置する少なくとも2つの光検出部によってそれぞれ検出されるように入射することを特徴とする請求項11記載の試料表面測定方法。

【請求項13】

前記反射光像は、前記分割型フォトダイオードを構成する複数の光検出部に対し、前記測定プローブが前記第2軸の方向に変形した場合の前記反射光像の変位方向について、その方向に並んで位置する少なくとも2つの光検出部によってそれぞれ検出されるように入射することを特徴とする請求項11または12記載の試料表面測定方法。

【請求項14】

前記表面情報処理ステップにおいて、前記反射光像の位置の変化、及び前記反射光像内での前記反射光の検出パターンの変化を参照して、前記表面情報を取得することを特徴とする請求項10～13のいずれか一項記載の試料表面測定方法。

【発明の詳細な説明】

【技術分野】

【0001】

本発明は、試料の表面を測定するために用いられる測定プローブ、測定プローブを用いた試料表面測定装置、及び試料表面測定方法に関するものである。

【背景技術】

【0002】

試料表面の摩擦力分布を測定することでナノメートル・スケールでの材料評価等が可能な技術として、摩擦力顕微鏡（FFM：Friction Force Microscope）、あるいは水平力顕微鏡（LFM：Lateral Force Microscope）と呼ばれる試料表面測定装置がある（例えば、文献1：特開2000-171381号公報、文献2：特開2000-258331号公報参照）。摩擦力顕微鏡では、例えば、図8に示すように、ベース部60に固定されたレバー部62を有する微小（長さが100 μ mのオーダ、厚さが1 μ mのオーダ）なカンチレバー6を測定プローブとし、レバー部62の端部に設けられた、先端径を数nm以下に先鋭化させた探針61を用いて試料Sの表面を測定する。

【0003】

すなわち、レバー部62の長軸である支持軸の方向、及び探針61が突出する探針軸の方向に直交する方向を走査方向として、カンチレバー6で試料の表面を走査する。このとき、探針61に走査軸（水平軸）の方向の摩擦力（水平力）が働き、レバー部62に「擦れ」が生じる。また、試料表面の形状に応じて探針61に荷重（垂直力）が働き、レバー部62に「撓み」が生じる。これらのレバー部62の擦れ、及び撓みを測定することにより、試料を走査することで生じる水平力・垂直力の2方向の力を求めることができ、試料の表面情報を取得することができる。また、水平力・垂直力の比によって、試料表面の摩擦係数も求められる。

【0004】

このような測定方法によれば、例えば、航空機の機体等に用いられているカーボンファイバなどを樹脂で固めて作製した強化プラスチック、あるいはガラスに新機能を持たせる

10

20

30

40

50

微粒子分散ガラスなどの複合材料を試料として、材料の断面を作製し、上記装置を用いてその表面上での摩擦係数の分布を測定することにより、その複合材料における構成材料の分布を把握することができる。あるいは、水平力及び垂直力を測定することで、材料表面の摩擦特性や潤滑特性をナノメートル・スケールで測定することができる。

【特許文献 1】特開 2 0 0 0 - 1 7 1 3 8 1 号公報

【特許文献 2】特開 2 0 0 0 - 2 5 8 3 3 1 号公報

【特許文献 3】特開 2 0 0 0 - 2 5 8 3 3 2 号公報

【特許文献 4】特開平 1 1 - 1 6 6 8 2 3 号公報

【特許文献 5】特開 2 0 0 1 - 5 6 2 8 1 号公報

【非特許文献 1】B.W.Chui et al., Applied Physics Letters, Vol.72, No.11, pp.1388-1390 (1998) 10

【非特許文献 2】S.A.Joyce and J.E.Housion, Rev. Sci. Instrum. Vol.62, No.3, pp.710-715 (1991)

【発明の開示】

【発明が解決しようとする課題】

【0005】

上記したカンチレバー 6 を用いた試料表面の測定において、レバー部 6 2 に生じる捩れ及び撓みによる変形は、光てこ法を用いて測定することができる。光てこ法では、測定光であるレーザ光をレバー部 6 2 の背面に照射し、背面で反射される光の反射角を 4 分割フォトダイオード等を用いて検出することで、レバー部 6 2 の捩れ及び撓みをととも測定することができる。光てこ法は、通常の原子間力顕微鏡 (A F M : Atomic Force Microscope) における原子間力検出での撓みの測定にも用いられており、反射光検出用の光検出器を撓み測定用の 2 分割型から捩れ・撓み測定用の 4 分割型に変更すれば、通常の A F M 装置で摩擦力測定が可能になるという利点がある。 20

【0006】

ここで、このようにレバー部 6 2 の捩れ・撓みによって水平力・垂直力を求める方法では、同一のレバーの変形を測定しているため、2 方向の変形が干渉しあって原理的な高精度化が困難であるという問題があった。これに対して、図 9 に示すように、ベース部 7 0 に固定されてその端部に探針 7 1 が設けられるレバー部において、垂直力測定用の板ばね部 7 2 と、水平力測定用の板ばね部 7 3 とを設ける構成の測定プローブ 7 が提案されている (上記文献 2 : 特開 2 0 0 0 - 2 5 8 3 3 1 号公報参照)。 30

【0007】

しかしながら、この方法では、2 方向の変形の干渉による測定精度の低下という問題を改善することが可能であるが、2 つの板ばね部の変形を別々に測定する必要がある。このとき、例えば光てこ法では、図 9 に実線矢印及び破線矢印で示すように、2 本の光てこ用レーザ光を用いる特殊な測定系が必要となり、A F M 装置の通常の仕様では測定ができないという問題がある。

【0008】

本発明は、以上の問題点を解決するためになされたものであり、特殊な測定系を用いることなく試料表面の測定精度を向上することが可能な測定プローブ、測定プローブを用いた試料表面測定装置、及び試料表面測定方法を提供することを目的とする。 40

【課題を解決するための手段】

【0009】

このような目的を達成するために、本発明による測定プローブは、試料の表面を測定するために用いられる測定プローブであって、(1)ベース部と、(2)表面測定用の探針が設けられたヘッド部と、(3)探針が突出する探針軸に略直交する第 1 軸を支持軸としてベース部に対してヘッド部を支持する支持構造部とを備え、(4)支持構造部は、探針軸の方向について変形可能に構成された第 1 ばね構造部と、探針軸及び第 1 軸に略直交する第 2 軸の方向について変形可能に構成された第 2 ばね構造部との 2 つのばね構造部によって構成され、(5)ヘッド部は、探針とは反対側に設けられ、その反射率が面内で異なる 50

るように変化する反射パターンで形成された反射面を有することを特徴とする。

【0010】

上記した測定プローブにおいては、固定部であるベース部と、探針を有するヘッド部との間に設けられる支持構造部として、探針軸（垂直軸）の方向に変形可能な第1ばね構造部（第1変形構造部）、及び第2軸（水平軸）の方向に変形可能な第2ばね構造部（第2変形構造部）によって構成された構造部を用いている。このように、垂直力測定及び水平力測定に用いられる2つのばね構造部を設ける構成によれば、2方向の変形が干渉することが防止され、試料表面の測定精度を向上することができる。なお、ここでは、ばね構造部とは弾性的に変形する構造部分をいい、例えば板ばね、絞りばね等を含む。

【0011】

さらに、支持構造部の端部に設けられるヘッド部に、光てこ法によってばね構造部の変形を測定する際に用いられる反射面を設けるとともに、反射面内において、その反射率が所定パターンで変化する構成としている。このような反射面に対して光てこ法での測定光を照射した場合、得られる反射光において、反射面での反射パターンが反映された2次元光像が生成される。そして、この2次元光像を光検出器で検出することにより、第1ばね構造部での垂直軸の方向の変形と、第2ばね構造部での水平軸の方向の変形とを、特殊な測定系を用いることなく、1本の測定光で測定することが可能となる。

【0012】

本発明による試料表面測定装置は、(a)試料の表面を測定するための上記測定プローブと、(b)測定プローブでの支持構造部の変形を測定するための測定光を供給する測定光供給手段と、(c)測定プローブのヘッド部に設けられた反射面で測定光が反射されて生成された反射光像を検出する反射光像検出手段と、(d)反射光像検出手段での反射光像の検出結果に基づいて、試料の表面情報を取得する表面情報処理手段とを備え、(e)反射光像検出手段で検出される反射光像は、測定光の反射面への照射パターンと、反射面での反射パターンとによって生成される2次元光像であり、(f)表面情報処理手段は、反射光像の検出結果に基づいて、探針軸の方向についての表面情報、及び第2軸の方向についての表面情報の両者を取得することを特徴とする。

【0013】

また、本発明による試料表面測定方法は、(a)試料の表面を測定するための上記測定プローブを用い、(b)測定プローブでの支持構造部の変形を測定するための測定光を供給する測定光供給ステップと、(c)測定プローブのヘッド部に設けられた反射面で測定光が反射されて生成された反射光像を検出する反射光像検出ステップと、(d)反射光像検出ステップでの反射光像の検出結果に基づいて、試料の表面情報を取得する表面情報処理ステップとを備え、(e)反射光像検出ステップにおいて検出される反射光像は、測定光の反射面への照射パターンと、反射面での反射パターンとによって生成される2次元光像であり、(f)表面情報処理ステップにおいて、反射光像の検出結果に基づいて、探針軸の方向についての表面情報、及び第2軸の方向についての表面情報の両者を取得することを特徴とする。

【0014】

上記した試料表面測定装置、及び測定方法においては、上記構成の測定プローブを用いることにより、特殊な測定系を用いることなく、測定プローブに対して測定光を供給してその反射光像を検出することで、高い測定精度で試料の表面情報を取得することが可能となる。特に、測定プローブのヘッド部に設けられた反射面での反射パターンに対応した2次元光像となる反射光像を検出することにより、第1ばね構造部における垂直軸の方向の変形と、第2ばね構造部における水平軸の方向の変形とを、1本の測定光で測定することができ、垂直軸、及び水平軸の方向についての表面情報の両者を簡単な構成で取得することが可能となる。

【発明の効果】

【0015】

本発明の測定プローブ、試料表面測定装置、及び試料表面測定方法によれば、垂直軸の

10

20

30

40

50

方向に変形可能な第1ばね構造部、及び水平軸の方向に変形可能な第2ばね構造部によって構成された支持構造部を用いるとともに、支持構造部の端部に設けられるヘッド部に反射面を設け、反射面内において、その反射率が所定パターンで変化する構成とすることにより、特殊な測定系を用いることなく試料表面の測定精度を向上することが可能となる。

【図面の簡単な説明】

【0016】

【図1】図1は、試料表面測定装置の一実施形態の構成を概略的に示すブロック図である。

【図2】図2は、測定プローブの一実施形態の構成を示す斜視図である。

【図3】図3は、測定プローブを用いた試料表面測定方法の一例を示す模式図である。

10

【図4】図4は、試料の表面情報の取得方法の一例を示す模式図である。

【図5】図5は、測定プローブの作製方法の一例を示す図である。

【図6】図6は、測定プローブの作製方法の一例を示す図である。

【図7】図7は、測定プローブの作製方法の一例を示す図である。

【図8】図8は、従来の測定プローブの構成の一例を示す図である。

【図9】図9は、従来の測定プローブの構成の他の例を示す図である。

【図10】図10は、測定プローブの一作製例の全体構成を示すSEM画像である。

【図11】図11は、図10に示した測定プローブのヘッド部の上面に設けられた反射面の構成を拡大して示すSEM画像である。

【図12】図12は、図10に示した測定プローブのヘッド部の下面に設けられた探針の構成を拡大して示すSEM画像である。

20

【図13】図13は、図10に示した測定プローブを用いて測定された垂直力についての試料のAFM画像を示す図である。

【図14】図14は、図10に示した測定プローブを用いて測定された水平力についての試料のFFM画像を示す図である。

【図15】図15は、図14に示したFFM画像のIII-III断面を示すグラフである。

【図16】図16は、市販の測定プローブの構成を示すSEM画像である。

【図17】図17は、市販の測定プローブを用いて測定された水平力についての試料のFFM画像を示す図である。

【図18】図18は、測定プローブの構成の一例を示す図である。

30

【符号の説明】

【0017】

1...測定プローブ、10...ベース部、11、12...支持部、15...支持構造部、20...第1ばね構造部、21、22...挟り梁、23...連結部、25...第2ばね構造部、26、27...板ばね、30...ヘッド部、31...探針、32...反射面、321...第1反射領域、322...第2反射領域、40...測定光源、41...4分割フォトダイオード、41a~41d...光検出部、45...XYZステージ、50...測定制御装置、51...測定条件設定部、52...表面情報処理部、56...入力装置、57...表示装置。

【発明を実施するための最良の形態】

【0018】

40

以下、図面とともに本発明による測定プローブ、試料表面測定装置、及び試料表面測定方法の好適な実施形態について詳細に説明する。なお、図面の説明においては同一要素には同一符号を付し、重複する説明を省略する。また、図面の寸法比率は、説明のものとは必ずしも一致していない。

【0019】

まず、本発明による試料表面測定装置の全体構成について説明する。図1は、本発明による試料表面測定装置の一実施形態の構成を概略的に示すブロック図である。本試料表面測定装置は、測定プローブ1と、測定光源40と、4分割フォトダイオード41と、測定制御装置50とを備えて構成されている。

【0020】

50

測定プローブ1は、その端部に設けられた探針31を用いて試料Sの表面を測定するために用いられるプローブ機構である。特に、本実施形態による試料表面測定装置は、試料Sの表面に対して直交する方向（以下、垂直方向）についての垂直力と、表面に対して平行な方向（以下、水平方向）についての水平力とを測定可能な摩擦力顕微鏡として構成されている。

【0021】

これらの力のうち、垂直力は探針31にかかる荷重であり、例えば試料Sの表面の形状を反映している。また、水平力は探針31にかかる摩擦力であり、例えば試料Sの各部の構成材料を反映している。また、表面の測定対象となる試料Sは、X軸方向及びY軸方向（水平方向）と、Z軸方向（垂直方向）とに可動に構成されたXYZステージ45上に載置されており、このXYZステージ45を駆動することで、測定プローブ1による測定位置の設定、及び走査が可能となっている。

10

【0022】

この試料Sの表面測定用の測定プローブ1に対し、測定光源40と、4分割フォトダイオード41とが設置されている。測定光源40は、後述する測定プローブ1での支持構造部の変形を測定するための測定光を供給する測定光供給手段であり、例えばレーザー光などの測定光を測定プローブ1に対して照射する。また、4分割フォトダイオード41は、測定プローブ1に設けられた反射面で測定光が反射されて生成された反射光像を検出する反射光像検出手段である。

【0023】

測定制御装置50は、例えばPCを用いて構成され、本測定装置における試料Sの表面測定の設定、実行、及びデータ解析等の必要な処理を行う制御手段である。本実施形態においては、測定制御装置50は、測定条件設定部51と、表面情報処理部52とを有している。測定条件設定部51は、試料Sを載置するXYZステージ45、測定光を供給する測定光源40等を制御することにより、試料Sの表面に対する測定位置、走査速度等の測定条件を設定する。なお、このようなXYZステージ45、測定光源40等の制御については、制御装置50によって自動で制御せずに、操作者が手動で制御する構成としても良い。

20

【0024】

表面情報処理部52は、反射光像検出手段である4分割フォトダイオード41での反射光像の検出結果を入力し、その検出結果に基づいて、試料Sの表面情報を取得する処理手段である。特に、本測定装置においては、表面情報処理部52は、反射光像の検出結果に基づいて、垂直軸の方向についての表面情報、及び水平軸の方向についての表面情報の両者を取得する。

30

【0025】

また、この測定制御装置50に対して、入力装置56と、表示装置57とが接続されている。入力装置56は、例えばキーボードやマウスであり、試料Sの表面測定に必要な指示の入力等に用いられる。また、表示装置57は、例えば液晶ディスプレイであり、試料Sの表面測定に関する情報の表示、あるいは、表面測定によって取得された表面情報の表示等に用いられる。

40

【0026】

次に、本実施形態による試料表面測定装置に用いられている測定プローブ1の構成について説明する。図2は、本発明による測定プローブの一実施形態の構成を示す斜視図である。また、図3は、図2に示した測定プローブを用いた試料表面測定方法の一例を示す模式図である。本実施形態による測定プローブ1は、ベース部10と、支持構造部15と、ヘッド部30とを備えている。

【0027】

ここで、説明の便宜のため、図2に示すようにX軸、Y軸、及びZ軸を定義する。すなわち、試料Sの表面に直交する垂直軸であって、測定プローブ1の探針31が突出する方向となる探針軸をZ軸、探針軸に直交する方向であって測定プローブ1での支持軸をX軸

50

(水平方向の第1軸)、Z軸及びX軸に直交する水平軸をY軸(水平方向の第2軸)とする。このような各軸の定義において、Z軸の方向についての力が垂直力、Y軸の方向についての力が水平力である。

【0028】

ベース部10は、測定プローブ1の装置側部分を構成しており、支持構造部15、及びヘッド部30を装置に対して保持するプローブ保持部となっている。本実施形態においては、このベース部10は、支持構造部15をY軸の方向で挟む(図2中において左右から挟む)ように配置された一对の支持部11、12を有している。また、これらの支持部11、12は、それぞれベース部10の側部からX軸に沿って前方に突出するように形成されている。

10

【0029】

また、ヘッド部30は、測定プローブ1の先端側部分を構成しており、その一方側の面(図2中の下面)に探針31が設けられている。この探針31は、測定対象となる試料Sの表面に向かって、Z軸に沿って下方に突出した状態で設けられている。また、この探針31は、例えばその先端径が数nm以下に先鋭化されており、高分解能での表面測定が可能となっている。

【0030】

これらのベース部10とヘッド部30との間には、X軸を支持軸としてベース部10に対してヘッド部30を支持する支持構造部15が設けられている。測定プローブ1を用いた表面測定では、試料Sの表面を走査したときに支持構造部15に生じる垂直軸・水平軸の方向の変形を測定することによって試料Sの表面情報を取得する。本実施形態においては、この支持構造部15は、ベース部10側の第1ばね構造部20と、ヘッド部30側の第2ばね構造部25とによって構成されている。

20

【0031】

第1ばね構造部(第1変形構造部)20は、垂直軸(Z軸)の方向について弾性変形が可能に構成されており、試料Sの表面測定において、垂直力の測定に用いられる。具体的には、この第1ばね構造部20は、振り梁21、22と、連結部23とによって構成されている。振り梁21、22は、それぞれ水平軸の方向に延びるように配置され、ベース部10と支持構造部15(振り梁21、22を除く支持構造部15の他の部分)との間を連結している。また、これらの振り梁21、22は、図3に示すように振り変形可能に構成

30

【0032】

また、図2に示す構成においては、一对の支持部11、12が設けられたベース部10の構成に対応して、支持構造部15の他の部分と一对の支持部11、12のそれぞれとの間を連結する一对の振り梁21、22が設けられている。また、連結部23は、ベース部10及び第1ばね構造部20と、第2ばね構造部25とを連結する部分である。上記した振り梁21、22は、この連結部23と支持部11、12との間に設けられている。

【0033】

第2ばね構造部(第2変形構造部)25は、水平軸(Y軸)の方向について弾性変形が可能に構成されており、試料Sの表面測定において、水平力の測定に用いられる。具体的には、この第2ばね構造部25は、2枚の板ばね26、27によって構成されている。これらの板ばね26、27は、それぞれその板面が水平軸の方向を向くように配置され、図3に示すように撓み変形可能に構成されている。また、2枚の板ばね26、27は、互いに平行に配置された平行板ばねを構成している。また、第1ばね構造部20の連結部23は、これらの板ばね26、27を支持する平行板ばね支持部として機能している。

40

【0034】

第2ばね構造部25の板ばね26、27の前方側には、上述したように、表面測定用の探針31が設けられたヘッド部30が接続されている。また、このヘッド部30には、探針31とは反対側の面(図2中の上面)に、光てこ法による支持構造部15の変形(第1ばね構造部20、及び第2ばね構造部25のそれぞれの変形)の測定に用いられる反射面

50

32が設けられている。反射面32は、その反射率が面内で所定の反射パターンで変化するように形成されている。すなわち、反射面32は、その反射率が面内で異なるように変化する反射パターンで形成されている。

【0035】

図2及び図3においては、そのような反射面32の一例として、X軸方向の反射面32の中心軸に沿って帯状に延びる第1反射領域321と、第1反射領域321とは異なる反射率を有する第2反射領域322とを含む構成を示している。このような構成において、測定光源40(図1参照)から光てこ法の測定光が反射面32に照射されると、その反射光は、反射面32への測定光の照射パターンと、反射面32での測定光の反射パターンとによって生成される2次元光像となる。

10

【0036】

このような反射光像に対して、反射光像検出用の4分割フォトダイオード41は、光の入射側(図2、図3の紙面とは反対側)からみて、左上の第1光検出部41a、右上の第2光検出部41b、左下の第3光検出部41c、及び右下の第4光検出部41dの4つの光検出部を有する4分割型に構成されている。このような4分割フォトダイオード41の光入射面において、測定プローブ1の反射面32からの反射光像は、図3に示すように、反射面32上での第1反射領域321に対応する光像部分R1と、第2反射領域322に対応する光像部分R2とを含む光像Rとして4分割フォトダイオード41に入射する。

【0037】

以上の構成において、測定プローブ1の探針31によって試料Sの表面を測定、走査するとともに、支持構造部15の変形を測定するための測定光を測定光源40から測定プローブ1へと供給する(測定光供給ステップ)。このとき、上記のように所定の反射パターンを有するヘッド部30の反射面32で測定光が反射されることにより、反射光像Rが生成される。そして、この反射光像Rが、反射光像検出手段である4分割フォトダイオード41によって検出される(反射光像検出ステップ)。さらに、測定制御装置50の表面情報処理部52は、4分割フォトダイオード41による反射光像Rの検出結果に基づいて、試料Sの垂直軸の方向についての表面情報(垂直力の情報)、及び水平軸の方向についての表面情報(水平力の情報)の両者を取得する(表面情報処理ステップ)。

20

【0038】

特に、この反射光像Rでは、支持構造部15における第1ばね構造部20の垂直方向についての変形、及び第2ばね構造部25の水平方向についての変形によって生じるヘッド部30の変位により、その4分割フォトダイオード41への入射条件、検出条件等が変化する。具体的には、支持構造部15の垂直方向、水平方向の変形により、4分割フォトダイオード41に対する反射光像R自体の検出位置、あるいは光像R内での反射光の検出パターンが変化する。表面情報処理部52では、この反射光像Rの位置の変化、及び反射光像R内での反射光の検出パターンの変化を参照して、試料Sの表面情報が取得される。

30

【0039】

本実施形態による測定プローブ、試料表面測定装置、及び試料表面測定方法の効果について説明する。

【0040】

図1～図3に示した測定プローブにおいては、装置側の固定部であるベース部10と、試料S側で探針31を有するヘッド部30との間に設けられる支持構造部15として、探針軸(垂直軸)の方向に変形可能な第1ばね構造部20、及び第2軸(水平軸)の方向に変形可能な第2ばね構造部25によって構成された支持構造部15を用いている。このように、2つのばね構造部20、25を設けて、垂直力、水平力を独立に測定する構成によれば、原理的に垂直力・水平力が干渉することが防止され、独立で垂直力・水平力の同時測定を行うことが可能となる。これにより、試料Sの表面の測定精度を向上することができる。

40

【0041】

さらに、上記の測定プローブ1においては、支持構造部15の端部に設けられるヘッド

50

部30に、光でこ法によって支持構造部15での変形を測定するための反射面32を設けるとともに、反射面32内において、その反射率が所定パターンで異なるように変化する構成としている。このような反射面32に対して測定光源40からの測定光を照射した場合、図3に4分割フォトダイオード41で検出される反射光像Rを例示したように、得られる反射光において、反射面32での反射パターンが反映された2次元光像が生成される。

【0042】

このような2次元の反射光像Rに対して、反射光検出用の光検出器として光像についての情報を取得可能な反射光像検出手段を用いることにより、第1ばね構造部20における垂直軸の方向の変形と、第2ばね構造部25における水平軸の方向の変形とを、同時に測定することができる。特に、このような構成では、特殊な測定系を用いることなく1本の測定光で試料の表面を測定することができ、通常のAFM装置に標準装備されている摩擦力顕微鏡の変位検出系をそのまま利用することで、AFM装置に容易に組み込むことが可能となる。

10

【0043】

また、上記構成の測定プローブ1を用いた試料表面測定装置、及び測定方法では、測定プローブ1に対して測定光を供給してその反射光像Rを検出することで、高い測定精度で試料Sの表面情報を取得することが可能となる。また、上記したように特殊な測定系を用いる必要がないため、垂直軸、及び水平軸の方向についての表面情報の両者を簡単な構成で取得することが可能となる。

20

【0044】

なお、文献2：特開2000-258331号公報には、カンチレバーのヘッド上に位置によって測定光の反射角度が異なる反射面を設けることが記載されている。しかしながら、このような構成では、探針が0.1nm~1.0nm程度移動した場合でも反射角度が変化するような反射角度分布で反射面を作製する必要があるが、このような反射面の作製は困難である。これに対して、本発明による測定プローブ1は、ヘッド部30上に反射率が所定パターンで変化する反射面32を形成し、この反射面32で測定光が反射されて得られる反射光像を光検出器面に投影することで、垂直力・水平力の高精度での測定を実現するものである。

【0045】

ここで、支持構造部15における第1ばね構造部20及び第2ばね構造部25の具体的な構成については、上記したように、試料Sの表面測定における垂直力、水平力を独立に測定可能な構成とすることが好ましい。なお、ここでは、ばね構造部とは弾性的に変形する構造部分をいい、例えば板ばね、捩りばね等の様々な形態のものを含む。

30

【0046】

垂直力の測定に用いられる第1ばね構造部20は、上記構成で示した捩り梁21、22のように、水平軸の方向に延びるように配置され、支持構造部15の他の部分とベース部10との間を連結するとともに、捩れ変形可能な捩り梁を含むことが好ましい。このように捩り梁21、22を設けた構成では、捩り梁21、22が水平軸上で捩れて垂直軸の方向についての変形を起こすことにより、ヘッド部30が垂直軸の方向に変位する。このとき、(垂直方向の撓み)×(捩り梁21、22の等価的なばね定数)により、試料Sの表面での垂直力を精度良く測定することが可能となる。

40

【0047】

また、水平力の測定に用いられる第2ばね構造部25は、上記構成で示した平行板ばね26、27のように、それぞれ水平軸の方向を向くように、互いに平行に配置された2枚の板ばねを含むことが好ましい。このように平行板ばね26、27を設けた構成では、板ばね26、27が水平軸の方向についての変形を起こすことにより、ヘッド部30が水平軸の方向に変位する。このとき、(水平方向の撓み)×(平行板ばね26、27のばね定数)により、試料Sの表面での水平力を精度良く測定することが可能となる。

【0048】

50

以上のように、水平軸方向に延びる捩り梁 2 1、2 2 を有する第 1 ばね構造部 2 0 と、水平軸方向を向く平行板ばね 2 6、2 7 を有する第 2 ばね構造部 2 5 とを組み合わせ、支持構造部 1 5 を構成することにより、試料 S の表面測定において、その垂直力・水平力をそれぞれ高精度で測定することが可能となる。このような支持構造部 1 5 の構造は、垂直力測定用の平行板ばねと水平力測定用の平行板ばねとを組み合わせた構造等に比べて、例えば、支持構造部 1 5 の共振周波数を高く取ることが容易で、主に低周波数域の機械振動からなる外部雑音に影響されにくい構造が得られるなど、垂直力・水平力の分離測定、及びその測定精度などの点で有利である。なお、第 2 ばね構造部 2 5 を構成する平行板ばねの枚数については、少なくとも 2 枚であれば良く、例えば 3 枚以上でも良い。

【 0 0 4 9 】

反射光の 2 次元光像を検出する反射光像検出手段としては、上記したように垂直軸、及び水平軸の方向の変形を測定可能なように光像の情報を取得可能なものであれば、様々な光検出器を用いて良い。そのような光検出器としては、上記実施形態で例示した 4 分割フォトダイオード 4 1 がある。反射光像検出に 4 分割フォトダイオード 4 1 を用いることにより、通常の A F M 装置での装備を活用して、第 1 ばね構造部 2 0 における垂直軸の方向の変形と、第 2 ばね構造部 2 5 における水平軸の方向の変形とを、好適かつ容易に測定することができる。

【 0 0 5 0 】

また、4 分割フォトダイオード以外の光検出器を用いても良い。一般には、反射光像検出手段として、少なくとも 4 分割された分割型フォトダイオードを用いることが好ましい。このような分割型フォトダイオードとしては、例えば上記した 4 分割フォトダイオード以外に、1 6 分割フォトダイオード等が挙げられる。ただし、この分割型フォトダイオードとしては、フォトダイオードの構造、及び分割型フォトダイオードから出力される検出信号の信号処理の簡単化等の観点から、4 分割フォトダイオードを用いることが特に好ましい。

【 0 0 5 1 】

また、測定制御装置 5 0 の表面情報処理部 5 2 での表面情報の取得方法については、4 分割フォトダイオード 4 1 で検出される反射光像 R の位置の変化、及び反射光像 R 内での反射光の検出パターンの変化を参照して、表面情報を取得することが好ましい。具体的な表面情報の取得方法については、測定プローブ 1 のヘッド部 3 0 に設けられた反射面 3 2 での反射パターンに応じて設定することが好ましい。

【 0 0 5 2 】

図 4 は、図 3 に示した構成の測定プローブ 1 及び 4 分割フォトダイオード 4 1 を用いた場合の試料 S の表面情報の取得方法の一例を示す模式図である。ここで、4 分割フォトダイオード 4 1 の第 1 光検出部 4 1 a から出力される検出信号を A、第 2 光検出部 4 1 b から出力される検出信号を B、第 3 光検出部 4 1 c から出力される検出信号を C、第 4 光検出部 4 1 d から出力される検出信号を D とする。

【 0 0 5 3 】

試料 S の表面測定において、水平力によって第 2 ばね構造部 2 5 の平行板ばね 2 6、2 7 に撓みによる水平方向（第 2 軸の方向）の変形が生じた場合、ヘッド部 3 0 の反射面 3 2 は水平方向に変位する。このとき、図 4 (a) に示すように、4 分割フォトダイオード 4 1 で検出される反射光像 R では、光像 R の位置自体は変化せず、反射面 3 2 での反射領域 3 2 1、3 2 2 に対応する光像部分 R 1、R 2 による光像パターンが水平方向に変位して、光像 R 内での反射光の検出パターンが変化する。

【 0 0 5 4 】

このとき、左右の光検出部での検出信号強度の差を次式

$$(A + C) - (B + D)$$

から求めることにより、支持構造部 1 5 の水平方向の変形、及び試料 S の表面情報としての水平力を検出することができる。この場合、4 分割フォトダイオードなどの分割型フォトダイオードに対する反射光像の入射条件については、反射光像は、分割型フォトダイオ

10

20

30

40

50

ードを構成する複数の光検出部に対し、測定プローブが第2軸の方向に変形した場合の反射光像の変位方向（上記の例では水平方向）について一方側に位置する光検出部（41a、41c）と、他方側に位置する光検出部（41b、41d）とによってそれぞれ検出されるように入射することが好ましい。一般には、反射光像は、反射光像の変位方向について、その方向に並んで位置する少なくとも2つの光検出部によってそれぞれ検出されるように入射することが好ましい。

【0055】

一方、試料Sの表面測定において、垂直力によって第1ばね構造部20の捩り梁21、22に捩れによる垂直方向（探針軸の方向）の変形が生じた場合、ヘッド部30の反射面32は垂直方向に変位する。このとき、図4（b）に示すように、4分割フォトダイオード41で検出される反射光像Rでは、光像R内での反射光の検出パターンは変化せず、光像R自体の位置が垂直方向に変位する。

10

【0056】

このとき、上下の光検出部での検出信号強度の差を次式

$$(A + B) - (C + D)$$

から求めることにより、支持構造部15の垂直方向の変形、及び試料Sの表面情報としての垂直力を検出することができる。この場合、4分割フォトダイオードなどの分割型フォトダイオードに対する反射光像の入射条件については、反射光像は、分割型フォトダイオードを構成する複数の光検出部に対し、測定プローブが探針軸の方向に変形した場合の反射光像の変位方向（上記の例では垂直方向）について一方側に位置する光検出部（41a、41b）と、他方側に位置する光検出部（41c、41d）とによってそれぞれ検出されるように入射することが好ましい。一般には、反射光像は、反射光像の変位方向について、その方向に並んで位置する少なくとも2つの光検出部によってそれぞれ検出されるように入射することが好ましい。

20

【0057】

このように、図2及び図3に示した構成の測定プローブ1では、4分割フォトダイオード41で検出される反射光像Rの位置の変化によって垂直力を検出し、同時に、反射光像R内での反射光の検出パターンの変化によって水平力を垂直力とは独立に検出することが可能である。

【0058】

上記実施形態による測定プローブ1の作製方法について概略的に説明する。図5～図7は、測定プローブ1の作製方法の一例を示す図である。ここでは、測定プローブ1を作製するための加工材料として電子半導体産業で用いられる単結晶（100）シリコン基板を用いた例を示している。また、各図において、図5（b）、図6（b）、図7（b）は各工程での基板の平面図、図5（a）、図6（a）、図7（a）はI-I面での断面図、図5（c）、図6（c）、図7（c）はII-II面での断面図を示している。

30

【0059】

加工材料として単結晶シリコン基板を用いた場合、化学エッチング液に対する結晶面のエッチング速度の違い（結晶異方性エッチング）、あるいは反応性イオンエッチングなどを利用することにより、板厚さが1μmのオーダ、幅が100μmのオーダの平行板ばねの作製が可能である。このような平行板ばねを用いれば、1nNオーダでの高感度の水平力測定も可能である。また、同様の方法によって厚さが1μmのオーダ、幅が10μmのオーダの捩り梁の作製が可能である。このような捩り梁を用いれば、垂直力測定についても、同様に1nNオーダでの高感度の測定が可能である。この捩り梁の構造としては、例えば、断面が20×20μm²で長さが1mm程度の細長い角柱状の構造がある。

40

【0060】

図5～図7に示す測定プローブ1の作製例では、まず、図5に示すように、（100）シリコン基板100を用意し、その一方の面（測定プローブ1での下面）101側に、探針31となる突出構造102、及び捩り梁21、22となる段差構造103を形成する。また、他方の面（測定プローブ1での上面）106側に、反射面32での反射パターンと

50

なる溝構造 107 を形成する。この溝構造 107 は、反射面 32 において、測定光を反射しない（反射率が低い）第 1 反射領域 321 となり、それ以外で測定光を反射する第 2 反射領域 322 とともに反射面 32 の反射パターンを構成する。

【0061】

次に、図 6 に示すように、シリコン基板 100 の面 101、106 上に、それぞれシリコン酸化膜 111、116 を形成する。また、面 106 上のシリコン酸化膜 116 に対して、図 6 (b) に破線でその範囲を示すように、シリコンエッチング用のスリット状開口 117 を形成する。

【0062】

続いて、図 7 に示すように、シリコン基板 100 を水酸化カリウム水溶液に浸漬し、シリコンをエッチングする。このとき、シリコンの結晶異方性から (100)、(010) 面が選択的に露出し、(010) 面による垂直面が形成される。これにより、図 7 (b) に破線でその範囲を示すように、測定プローブ 1 において支持構造部 15、及びヘッド部 30 となる構造が形成される。

10

【0063】

ここで、このシリコン基板 100 のエッチングでは、段差構造 103 がエッチングされる前にエッチングを終了する。また、段差構造 103 の下側にあらかじめ、酸化シリコンなどのエッチングされない材料からなる埋込層を設けておいても良い。この場合、段差構造 103 が埋込層によって保護されることとなり、測定プローブの作製の精度、及びその容易性が向上される。最後に、酸化膜をフッ酸水溶液などで除去することによって、測定プローブ 1 が完成する。なお、図 5 ~ 図 7 においては図示していないが、測定プローブ 1 のベース部 10 についても、同様にシリコン基板から作製することができる。

20

【0064】

本発明による測定プローブ、試料表面測定装置、及び試料表面測定方法について、具体的な測定プローブの作製例等とともにさらに説明する。

【0065】

図 10 は、測定プローブの一作製例の全体構成を示す SEM (Scanning Electron Microscope: 走査型電子顕微鏡) 画像である。本作製例による測定プローブは、図 5 ~ 図 7 に関して上述した作製方法を用いて作製されたものである。また、図 11 は、図 10 に示した測定プローブのヘッド部の上面に設けられた反射面の構成を拡大して示す SEM 画像である。また、図 12 は、図 10 に示した測定プローブのヘッド部の下面に設けられた探針の構成を拡大して示す SEM 画像である。

30

【0066】

これらの画像からわかるように、本作製例では、探針 31、及び第 1 反射領域 321、第 2 反射領域 322 を含む反射面 32 が設けられたヘッド部 30 と、振り梁 21、22 による第 1 ばね構造部 20、及び板ばね 26、27 による第 2 ばね構造部 25 を含む支持構造部 15 とを含む構成の測定プローブが好適に作製されている。

【0067】

図 10 ~ 図 12 に示した作製例の測定プローブを用いて、試料表面に対する水平力、垂直力の測定を行った。ここでは、測定試料として、シリコン基板にフッ素系の液体潤滑膜を塗布したものをを用いた。潤滑膜は、ほぼ平坦であって、かつ適当な摩擦分布を持たせるために、ディップ法により膜厚約 3.5 nm となるように塗膜した。また、塗膜後に、紫外線を照射して比較的強く基板に吸着させた後、再度溶剤に浸漬して過剰な潤滑剤を除いた。

40

【0068】

このような測定試料に対し、図 10 に示した構成の測定プローブを用い、試料表面に対して水平力、及び垂直力の同時測定を行った。ここで、表面測定に用いた測定プローブの水平方向、垂直方向のばね定数の測定値は、それぞれ、2.3 N/m、7.7 N/m であった。

【0069】

50

図13は、図10に示した測定プローブを用いて測定された垂直力についての試料のAFM画像を示す図である。また、図14は、図10に示した測定プローブを用いて測定された水平力についての試料のFFM画像を示す図である。ここで、図14のFFM画像では、信号強度が大きく画像が明るいほど、水平力である摩擦力は小さくなる表示となっている。また、図15は、図14に示したFFM画像のIII-III断面を示すグラフである。

【0070】

図13に示すように、コンタクト・モードAFMによる試料の垂直力測定画像では、試料表面には微細構造がほとんど見られない。一方、図14及び図15に示す試料の水平力測定画像では、測定試料の潤滑膜の表面上に比較的大きい粒状構造 P_L （直径 $0.7\mu\text{m}$ 程度）と、小さい粒状構造 P_S （直径 $0.2\mu\text{m}$ 程度）との2種類の粒状構造が生じていることを示す水平力の分布像が得られた。

10

【0071】

これらの測定結果は、上記構成の測定プローブでは、水平方向、垂直方向の変形が、互いの干渉がほとんどない独立な状態で生じていることを示し、水平力、垂直力の独立測定が可能であることを示している。また、この測定は荷重一定のコンタクト・モードで行われていることから、図14に示す水平力分布は摩擦係数の分布に相当すると解釈することができる。

【0072】

また、上記の測定試料に対し、比較のため、図16のSEM画像に示す市販のFFM測定プローブを用いて試料表面に対する水平力測定を行った。ここで、表面測定に用いたFFM測定プローブの水平方向のばね定数は、約 200N/m であった。

20

【0073】

図17は、上記した市販のFFM測定プローブを用いて測定された水平力についての試料のFFM画像を示す図である。この水平力測定画像では、測定試料の潤滑膜の表面について、粒状構造などの構造が観測されていないことがわかる。これに対して、本発明による測定プローブを用いた図14の水平力測定画像では、上記したように、比較的大きい粒状構造 P_L と、小さい粒状構造 P_S との2種類の粒状構造が明瞭に観測されている。これは、上記構成の測定プローブの優位性を示すものである。

【0074】

本発明による測定プローブの好適な構造について、さらに検討する。図2に示した構成の測定プローブ1では、上記したように、垂直力測定に用いられる第1ばね構造部20の構成について、水平軸の方向に延びるように配置され、支持構造部15の他の部分とベース部10との間を連結するとともに、捩れ変形可能な捩り梁を含む構成とすることが好ましい。

30

【0075】

このように、捩り梁による第1ばね構造部20と、平行板ばねによる第2ばね構造部25とを組み合わせた構成によれば、例えば、ともに平行板ばねからなる第1、第2ばね構造部を2段階に連結した構成等に比べて、水平力と垂直力とを独立性良く測定、制御することができる。また、このような構成では、測定プローブの設計が簡単化されるとともに、その製造工程も容易化される。

40

【0076】

また、このように捩り梁を用いた構成では、図2に示すように、測定プローブ全体での支持軸方向の長さが短くなる。このとき、測定プローブの垂直方向についての共振周波数を高くすることができる。このことは、上述したように、低周波数域の成分が多い外部からの振動雑音の影響を受けにくくなるという点で有効である。

【0077】

上記した共振周波数を高くする効果について、簡単化したモデルで計算を行った。具体的には、図18の下面図(a)、前面図(b)、及び側面図(c)に模式的に示す測定プローブの構成において、第2ばね構造部25の板ばね26、27の長さを $l_d = 1200\mu\text{m}$ 、幅を $b_d = 185\mu\text{m}$ 、厚さを $h_d = 5\mu\text{m}$ 、平行板ばねの間隔を $w_h = 400\mu$

50

mとし、また、ヘッド部30及び連結部23の長さをそれぞれ $l_h = 300 \mu m$ に設定した。

【0078】

そして、このような構成において、第1ばね構造部20を垂直方向のばね定数が約13 N/mの振り梁とした場合について計算すると、垂直方向の共振周波数の概略値は約3 kHzとなった。また、同様の構成において、第1ばね構造部20を垂直方向のばね定数が同じく約13 N/mの平行板ばねとした場合について計算すると、垂直方向の共振周波数の概略値は約2 kHzとなった。この計算結果は、第1ばね構造部20に振り梁を用いることにより、共振周波数を高くすることができることを示している。

【0079】

なお、第1ばね構造部20としては、個々の測定プローブで必要とされる特性条件等に応じて、平行板ばね等の振り梁以外の構成を用いることも可能である。また、振り梁の構成については、図18に示す構成において、その幅 b_t と厚さ h_t とが等しい($b_t = h_t$)角柱状の構成を用いることができる。そのような構成の具体例としては、上記したように、 $b_t = h_t = 20 \mu m$ とする構成が挙げられる。あるいは、振り梁の構成として、その幅 b_t が厚さ h_t よりも大きい($b_t > h_t$)平板状の構成を用いることができる。そのような構成の具体例としては、 $b_t = 70 \mu m$ 、 $h_t = 20 \mu m$ とする構成が挙げられる。

【0080】

本発明による測定プローブ、試料表面測定装置、及び試料表面測定方法は、上記実施形態及び構成例に限られるものではなく、様々な変形が可能である。例えば、ヘッド部に設けられる反射面での反射パターンについては、上記構成例では、支持構造部の支持軸(第1軸)方向の中心軸に沿って帯状に伸びる第1反射領域と、第1反射領域とは異なる反射率を有する第2反射領域とを含むパターンとしているが、第1反射領域を中心軸に沿った長方形の領域とするなど、他の反射パターンを用いても良い。

【0081】

この場合、ヘッド部の反射面を、その反射率が面内で水平軸(第2軸)の方向において変化する反射パターンで形成することが好ましい。一般には、反射光像検出手段として用いられる光検出器の種類(例えば4分割フォトダイオード)に応じて、その光検出器で変位が識別可能な反射パターンとすることが好ましい。また、ヘッド部の反射面における反射パターンの形成方法については、具体的には様々な方法を用いてよい。例えば、上記した構成例のように第1、第2反射領域を有する反射パターンを形成する場合には、第1反射領域を溝構造によって形成する方法以外にも、例えば反射面の所定の領域に反射防止膜(AR膜)を形成して第1反射領域とする方法を用いることができる。

【0082】

ここで、上記実施形態による測定プローブでは、試料の表面を測定するために用いられる測定プローブであって、(1)ベース部と、(2)表面測定用の探針が設けられたヘッド部と、(3)探針が突出する探針軸に略直交する第1軸を支持軸としてベース部に対してヘッド部を支持する支持構造部とを備え、(4)支持構造部は、探針軸の方向について変形可能に構成された第1ばね構造部と、探針軸及び第1軸に略直交する第2軸の方向について変形可能に構成された第2ばね構造部との2つのばね構造部によって構成され、(5)ヘッド部は、探針とは反対側に設けられ、その反射率が面内で所定の反射パターンで変化するように形成された反射面を有する構成を用いている。

【0083】

また、支持構造部の具体的な構成については、第1ばね構造部は、第2軸の方向に伸びるように配置され、支持構造部の他の部分とベース部との間を連結するとともに捩れ変形可能な振り梁を含むことが好ましい。また、このような構成においては、特に、ベース部が、支持構造部を第2軸の方向で挟むように配置された一対の支持部を有し、第1ばね構造部は、上記振り梁として、支持構造部の他の部分と一対の支持部のそれぞれとの間を連結する一対の振り梁を含むことが好ましい。このように振り梁を設けた構成では、振り梁

10

20

30

40

50

が第2軸（水平軸）上で捩れて探針軸（垂直軸）の方向に変形して捩りばねとして機能することにより、ヘッド部が垂直軸の方向に変位する。これにより、試料表面での垂直力を好適に測定することが可能となる。

【0084】

また、第2ばね構造部は、それぞれ第2軸の方向を向くように互いに平行に配置された少なくとも2枚の板ばねを含むことが好ましい。このように、平行板ばねを設けた構成では、板ばねが第2軸（水平軸）の方向に変形することにより、ヘッド部が水平軸の方向に変位する。これにより、試料表面での水平力を好適に測定することが可能となる。

【0085】

また、ヘッド部の反射面における測定光の反射パターンについては、ヘッド部の反射面は、その反射率が面内で第2軸の方向において変化する反射パターンで形成されていることが好ましい。このように第2軸の方向に変化する反射パターンとしては、好ましくは、第1軸の方向の中心軸に沿って伸びる第1反射領域と、第1反射領域とは異なる反射率を有する第2反射領域とを少なくとも含む反射パターンを用いることができる。このような反射パターンによれば、光てこ法による支持構造部の変形の測定、及びそれによる垂直力及び水平力の測定を好適に実現することができる。

【0086】

上記実施形態による試料表面測定装置では、(a)試料の表面を測定するための上記測定プローブと、(b)測定プローブでの支持構造部の変形を測定するための測定光を供給する測定光供給手段と、(c)測定プローブのヘッド部に設けられた反射面で測定光が反射されて生成された反射光像を検出する反射光像検出手段と、(d)反射光像検出手段での反射光像の検出結果に基づいて、試料の表面情報を取得する表面情報処理手段とを備え、(e)反射光像検出手段で検出される反射光像は、測定光の反射面への照射パターンと、反射面での反射パターンとによって生成される2次元光像であり、(f)表面情報処理手段は、反射光像の検出結果に基づいて、探針軸の方向についての表面情報、及び第2軸の方向についての表面情報の両者を取得する構成を用いている。

【0087】

また、上記実施形態による試料表面測定方法では、(a)試料の表面を測定するための上記測定プローブを用い、(b)測定プローブでの支持構造部の変形を測定するための測定光を供給する測定光供給ステップと、(c)測定プローブのヘッド部に設けられた反射面で測定光が反射されて生成された反射光像を検出する反射光像検出ステップと、(d)反射光像検出ステップでの反射光像の検出結果に基づいて、試料の表面情報を取得する表面情報処理ステップとを備え、(e)反射光像検出ステップにおいて検出される反射光像は、測定光の反射面への照射パターンと、反射面での反射パターンとによって生成される2次元光像であり、(f)表面情報処理ステップにおいて、反射光像の検出結果に基づいて、探針軸の方向についての表面情報、及び第2軸の方向についての表面情報の両者を取得する構成を用いている。

【0088】

上記した試料表面測定装置、及び測定方法においては、上記構成の測定プローブを用いることにより、特殊な測定系を用いることなく、測定プローブに対して測定光を供給してその反射光像を検出することで、高い測定精度で試料の表面情報を取得することが可能となる。特に、測定プローブのヘッド部に設けられた反射面での反射パターンに対応した2次元光像となる反射光像を検出することにより、第1ばね構造部における垂直軸の方向の変形と、第2ばね構造部における水平軸の方向の変形とを、1本の測定光で測定することができ、垂直軸、及び水平軸の方向についての表面情報の両者を簡単な構成で取得することが可能となる。

【0089】

ここで、試料表面測定装置は、反射光像検出手段が、反射光像を検出する少なくとも4分割された分割型フォトダイオードを有することが好ましい。同様に、試料表面測定方法は、反射光像検出ステップにおいて、反射光像を少なくとも4分割された分割型フォトダ

10

20

30

40

50

イオードによって検出することが好ましい。このように、分割型フォトダイオードで反射光像を検出することにより、第1ばね構造部における垂直軸の方向の変形と、第2ばね構造部における水平軸の方向の変形とを好適に測定することができる。また、この分割型フォトダイオードとしては、フォトダイオードの構造、及び分割型フォトダイオードから出力される検出信号の信号処理の簡単化等の観点から、4分割フォトダイオードを用いることが特に好ましい。

【0090】

また、上記のように反射光像検出に分割型フォトダイオードを用いた場合、反射光像は、分割型フォトダイオードを構成する複数の光検出部に対し、測定プローブが探針軸の方向に変形した場合の反射光像の変位方向について、その方向に並んで位置する少なくとも2つの光検出部によってそれぞれ検出されるように入射することが好ましい。また、反射光像は、分割型フォトダイオードを構成する複数の光検出部に対し、測定プローブが第2軸の方向に変形した場合の反射光像の変位方向について、その方向に並んで位置する少なくとも2つの光検出部によってそれぞれ検出されるように入射することが好ましい。このような構成は、例えば、測定プローブの反射面から分割型フォトダイオードへと反射光像を導く導光光学系を適切に設計することで実現することができる。

10

【0091】

また、測定装置は、表面情報処理手段が、反射光像の位置の変化、及び反射光像内での反射光の検出パターンの変化を参照して、表面情報を取得することが好ましい。同様に、測定方法は、表面情報処理ステップにおいて、反射光像の位置の変化、及び反射光像内での反射光の検出パターンの変化を参照して、表面情報を取得することが好ましい。具体的な表面情報の取得方法については、測定プローブのヘッド部に設けられた反射面での反射パターンに応じて設定することが好ましい。

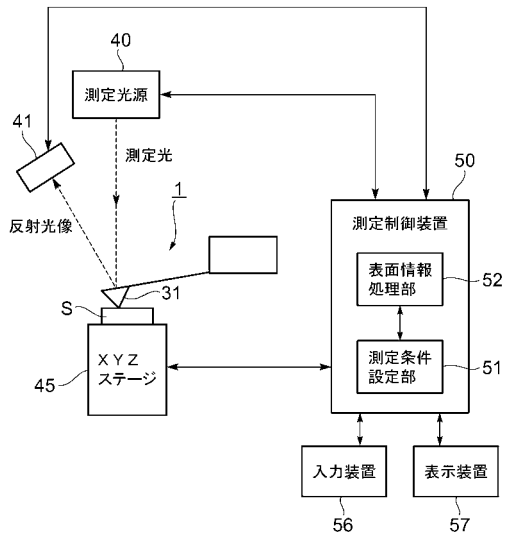
20

【産業上の利用可能性】

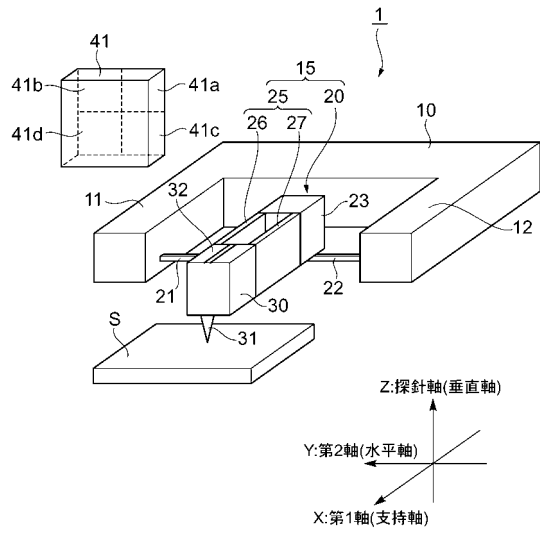
【0092】

本発明は、特殊な測定系を用いることなく試料表面の測定精度を向上することが可能な測定プローブ、測定プローブを用いた試料表面測定装置、及び試料表面測定方法として利用可能である。

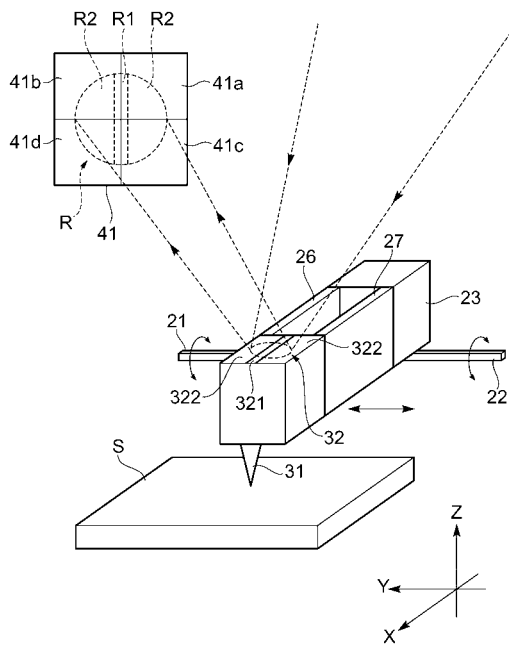
【図1】



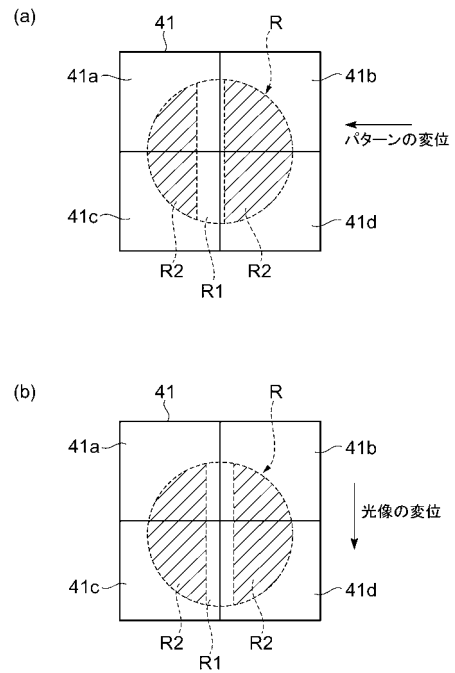
【図2】



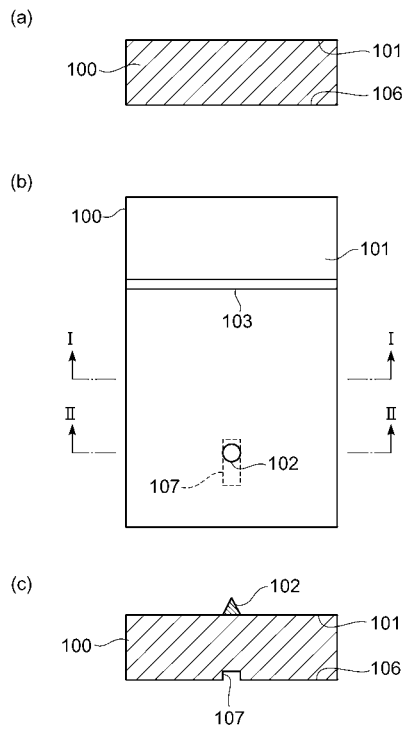
【図3】



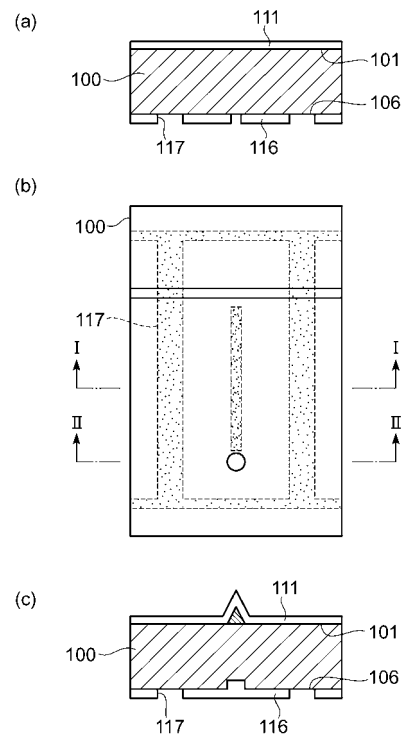
【図4】



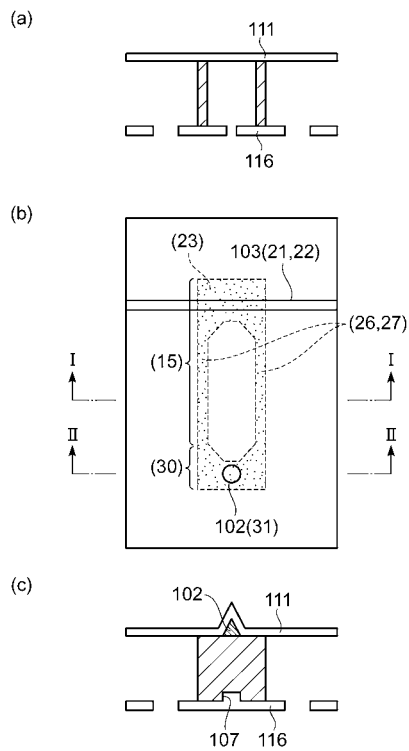
【 図 5 】



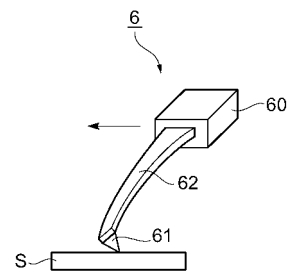
【 図 6 】



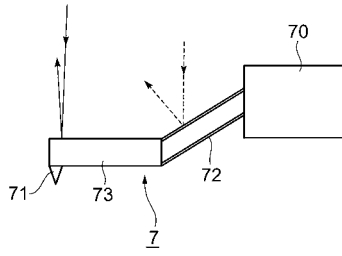
【 図 7 】



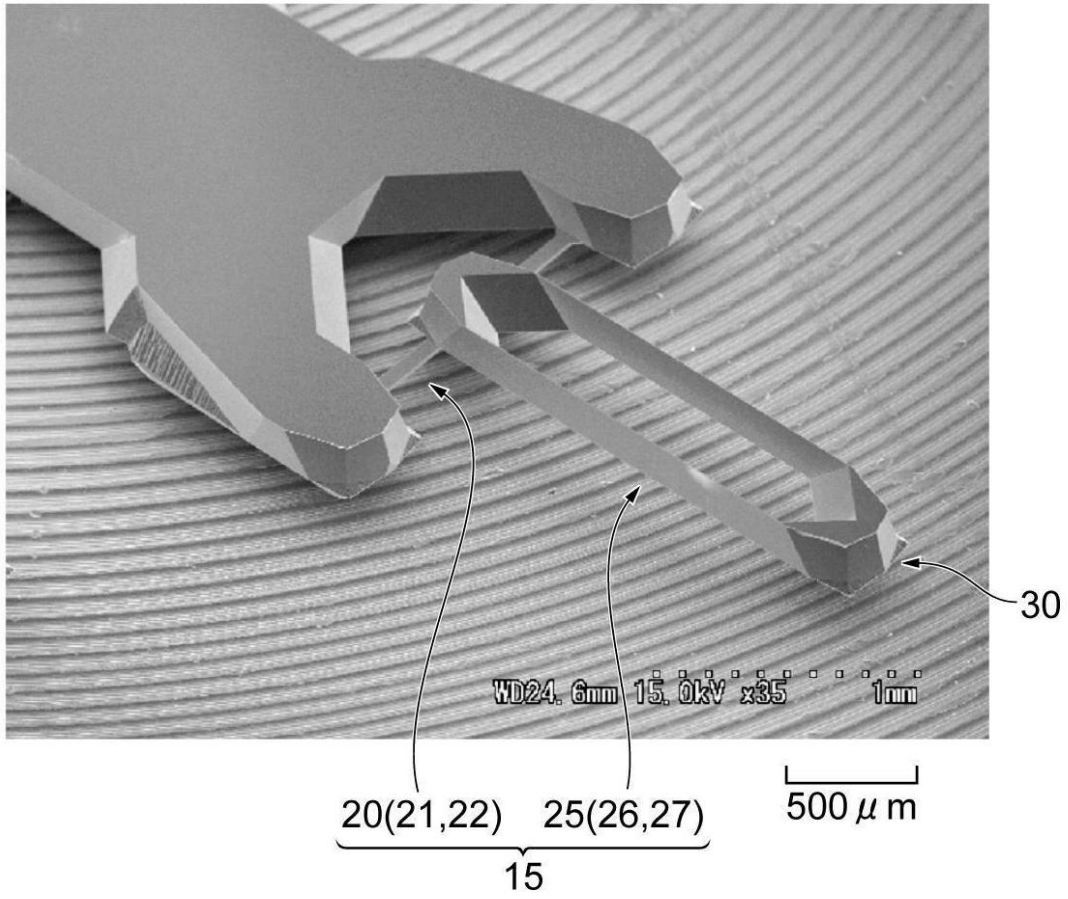
【 図 8 】



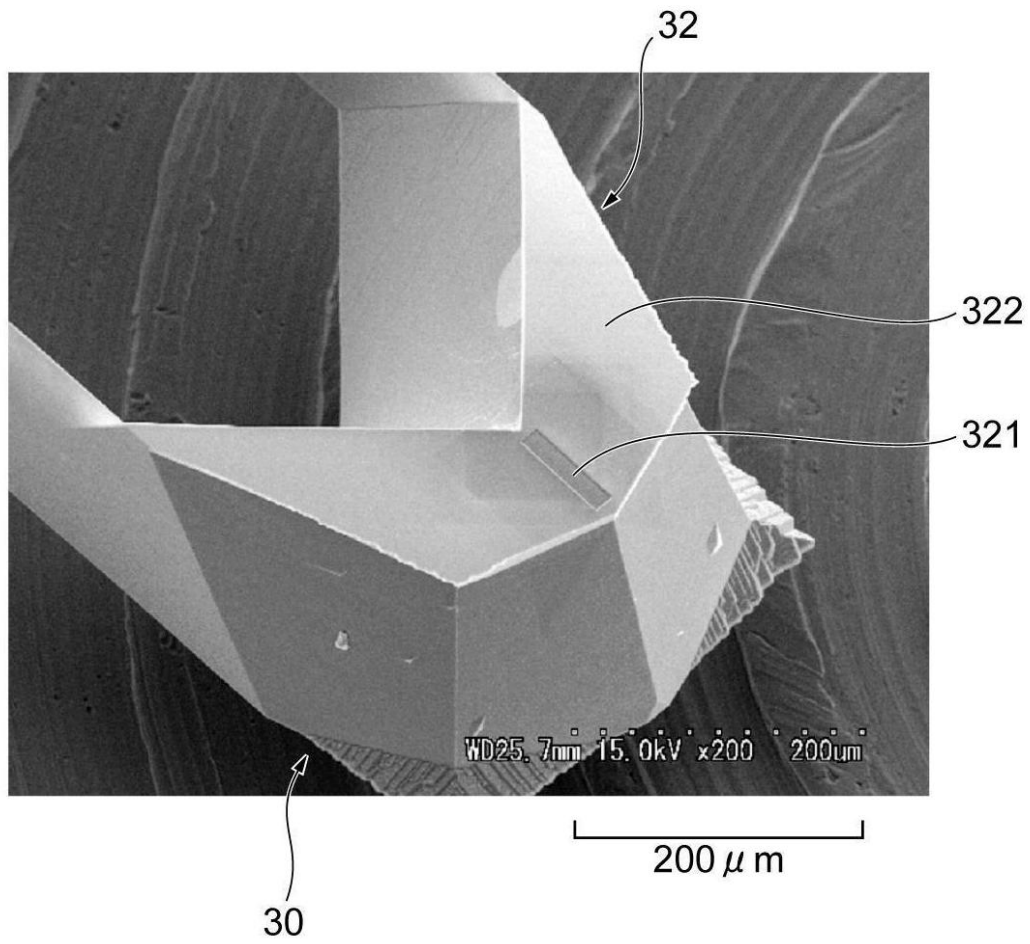
【 図 9 】



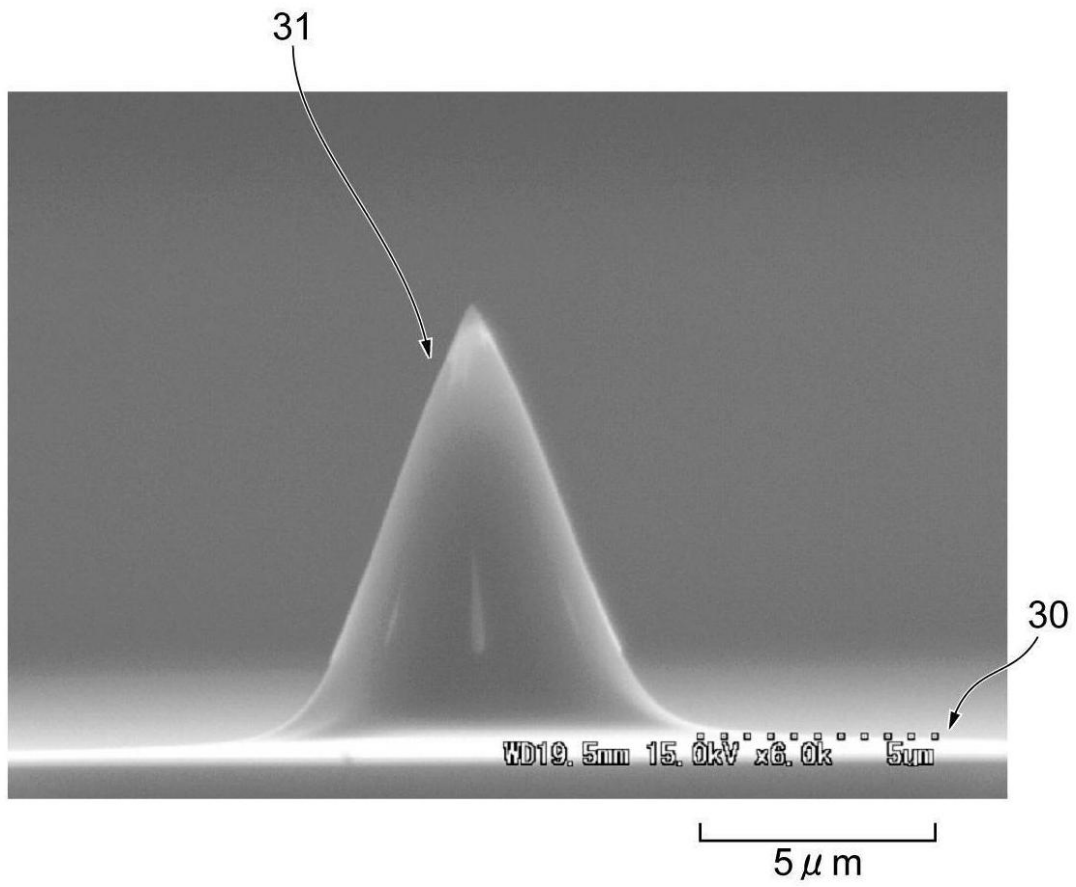
【図10】




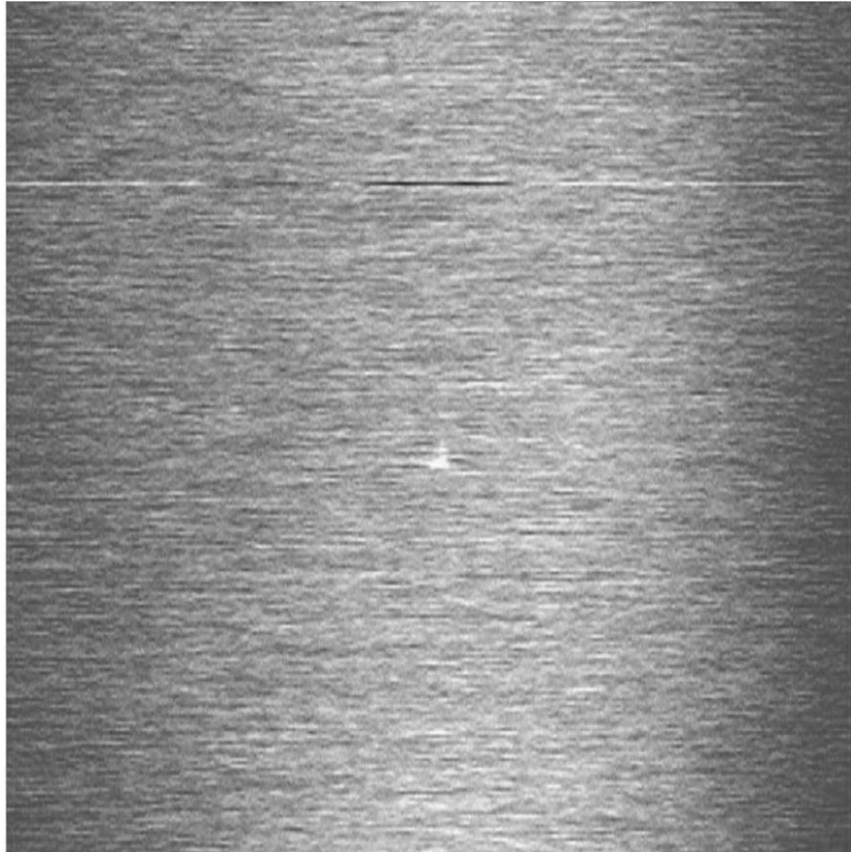
【図 11】



【 図 1 2 】

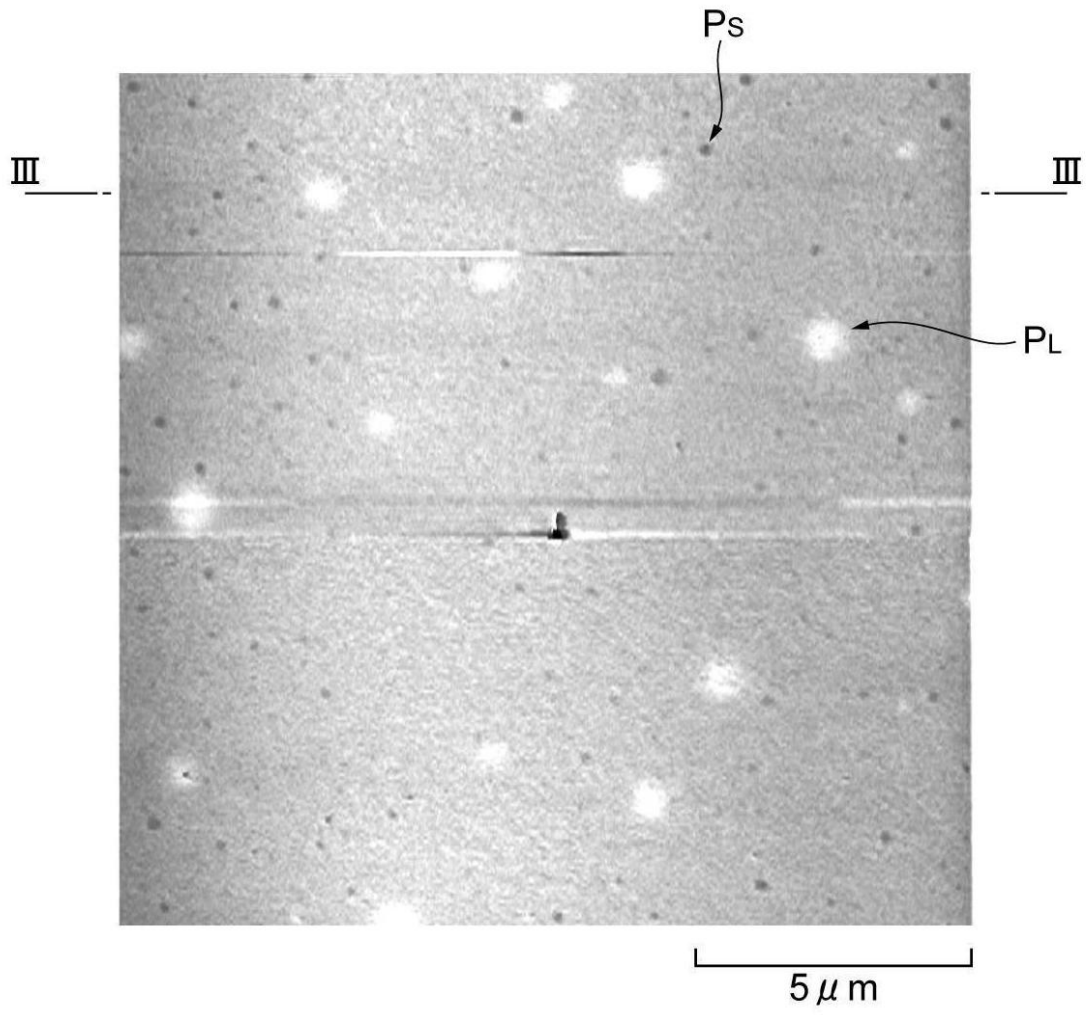


【 1 3】

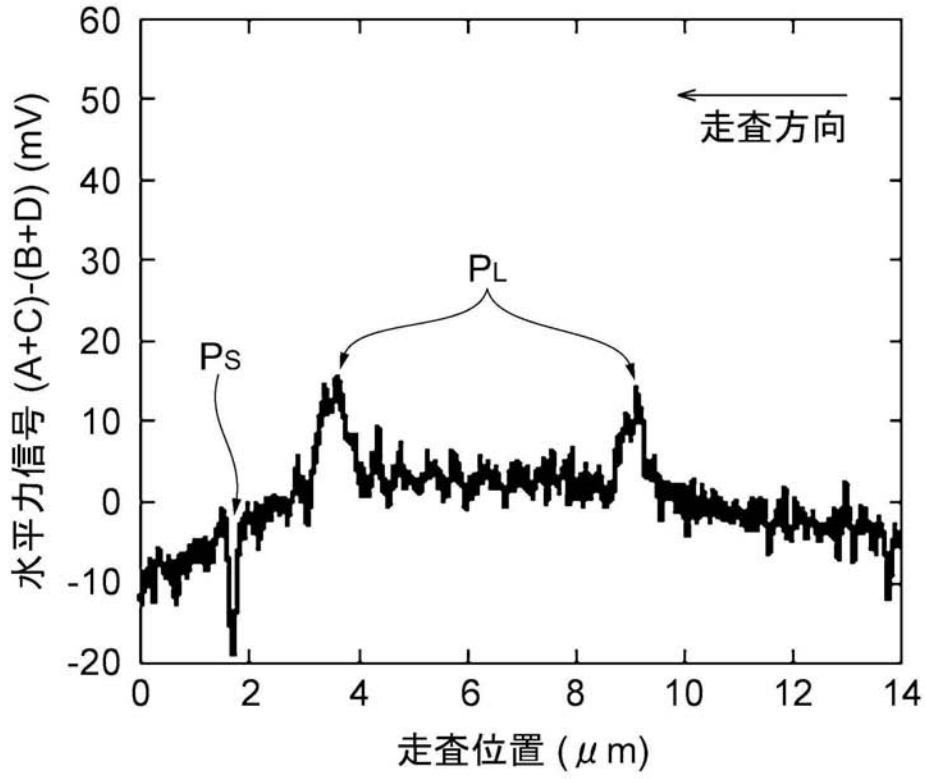



5 μ m

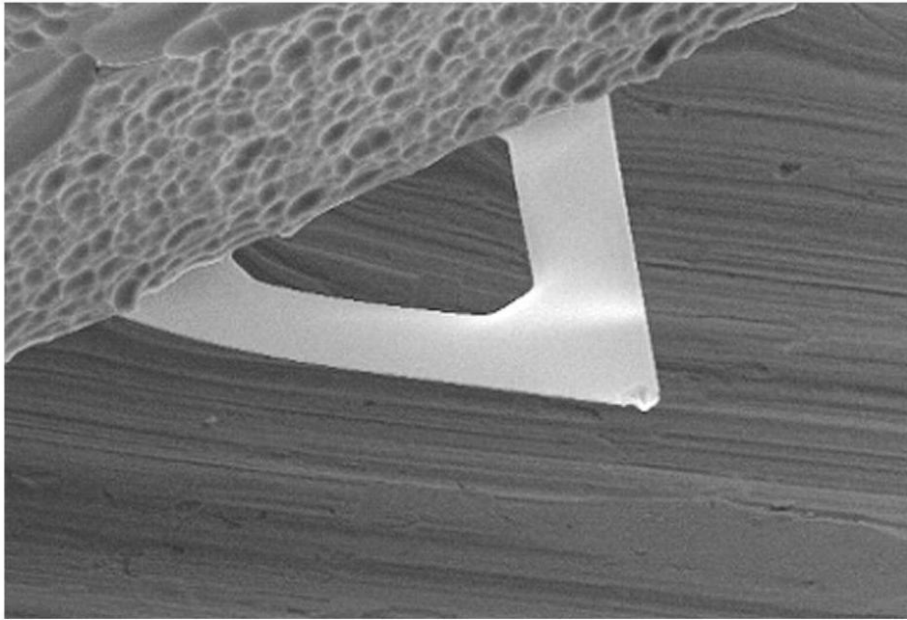
【 図 1 4 】

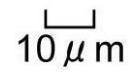



【图 15】

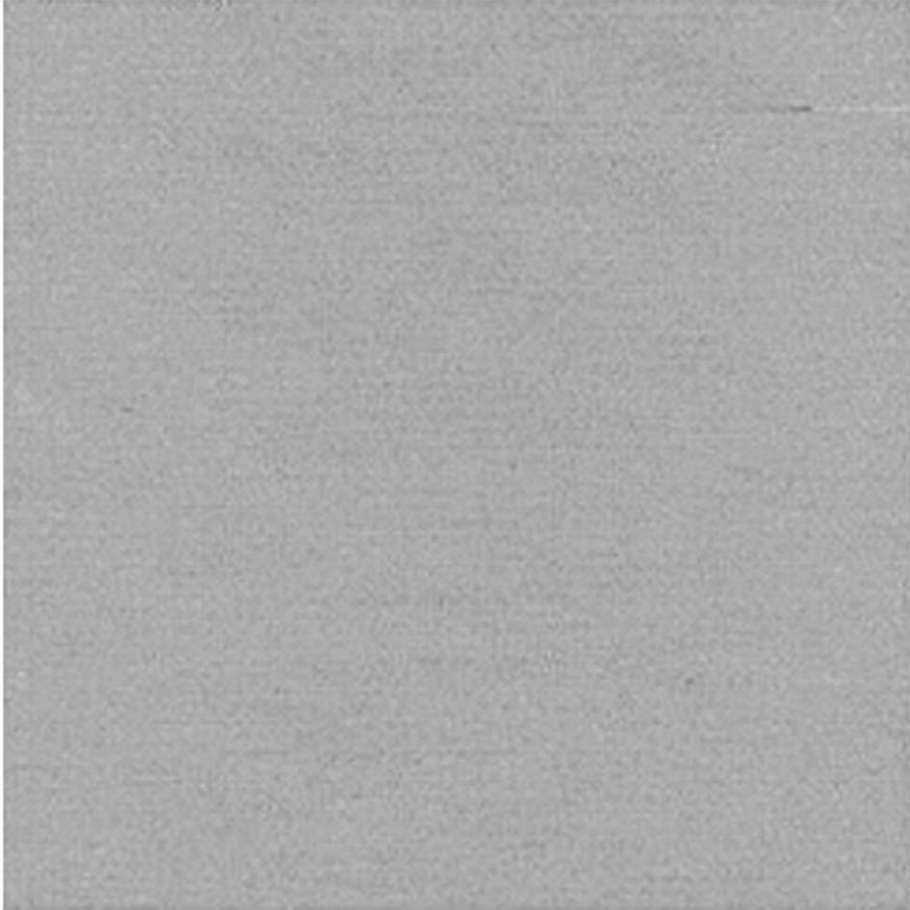



【 16】



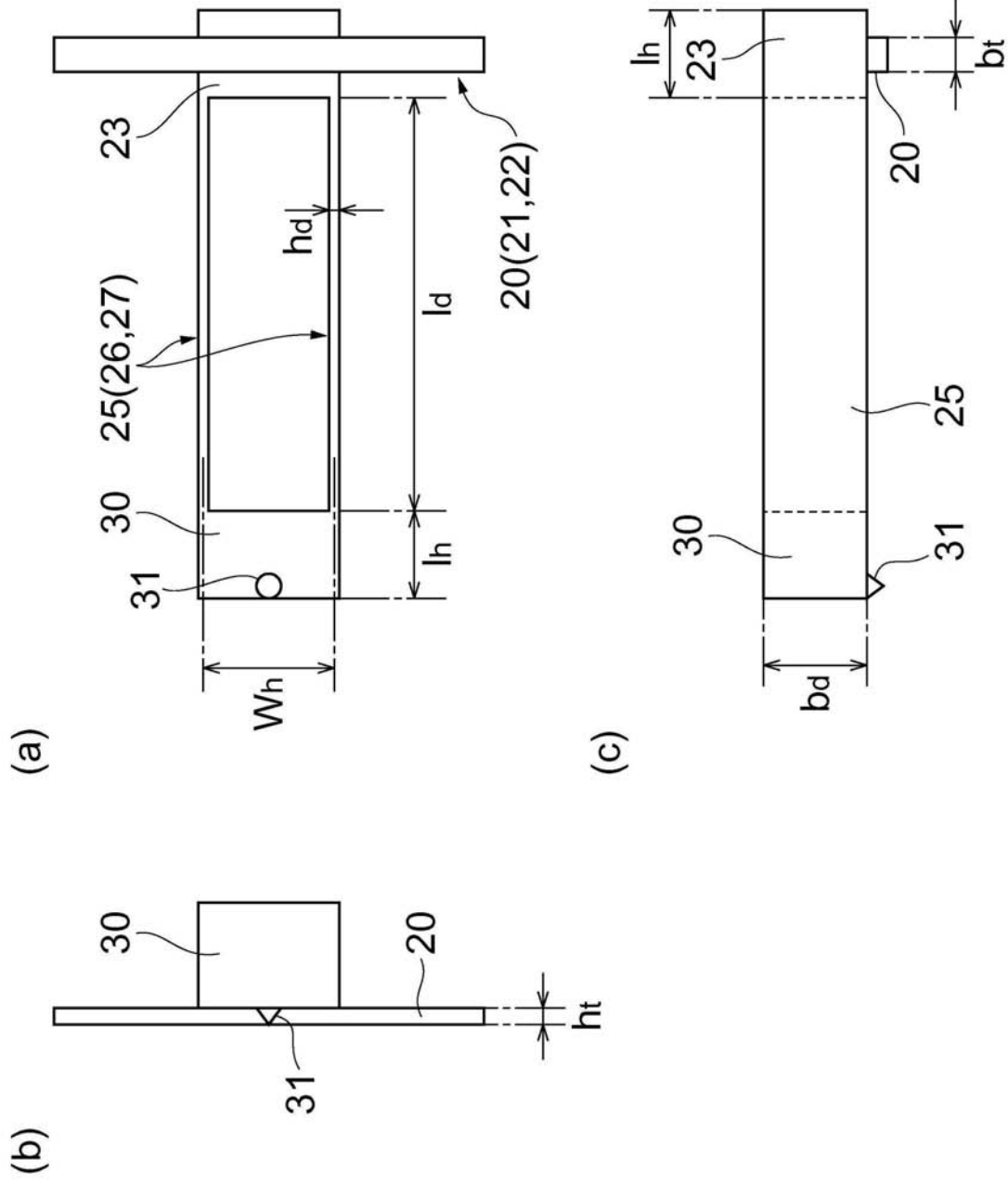
 10 μ m

【 17】



 5 μ m

【 図 1 8 】



フロントページの続き

審査官 福田 裕司

- (56)参考文献 特開2000-258331(JP,A)
特開平10-221355(JP,A)
特開平09-281121(JP,A)
特開平10-282130(JP,A)
特許第2755333(JP,B2)
特開2000-171381(JP,A)
特開2000-105184(JP,A)
特開平6-294638(JP,A)

(58)調査した分野(Int.Cl., DB名)

G01Q 10/00-90/00