

(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2014-59194

(P2014-59194A)

(43) 公開日 平成26年4月3日(2014. 4. 3)

(51) Int.Cl.

F 1

テーマコード (参考)

G O 1 Q 60/18 (2010.01)

G O 1 Q 60/18

G O 1 Q 30/20 (2010.01)

G O 1 Q 30/20

G O 1 Q 30/14 (2010.01)

G O 1 Q 30/14

審査請求 未請求 請求項の数 16 O L (全 17 頁)

(21) 出願番号 特願2012-203836 (P2012-203836)

(22) 出願日 平成24年9月18日 (2012. 9. 18)

(71) 出願人 000005108

株式会社日立製作所

東京都千代田区丸の内一丁目6番6号

(74) 代理人 100100310

弁理士 井上 学

(74) 代理人 100098660

弁理士 戸田 裕二

(74) 代理人 100091720

弁理士 岩崎 重美

(72) 発明者 中田 俊彦

神奈川県横浜市戸塚区吉田町292番地

株式会社日立製作所横浜研究所内

(72) 発明者 立▲崎▼ 武弘

神奈川県横浜市戸塚区吉田町292番地

株式会社日立製作所横浜研究所内

最終頁に続く

(54) 【発明の名称】 走査プローブ顕微鏡およびこれを用いた試料の観察方法

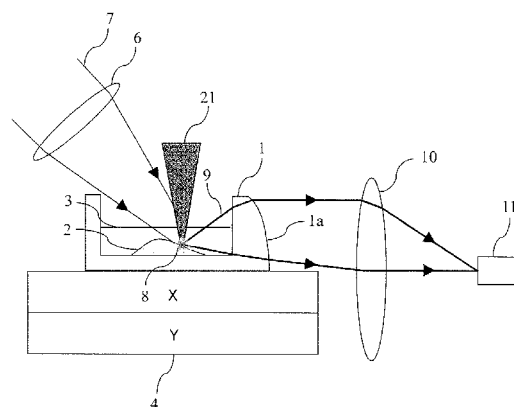
(57) 【要約】

【課題】 本発明の目的は、近接場走査顕微鏡において、検出光学系のNAを拡大することにより、測定探針と検査対象試料との間に発生した近接場光の検出光量を増加させ、近接場光画像のS N比及び測定再現性を向上させることにある。

【解決手段】 本発明は、検査対象試料を走査する測定探針と、前記測定探針にレーザー光を照射するレーザ照射系と、レーザ光の照射により前記測定探針と前記検査対象試料との間で発生した近接場光の散乱光を透過し、前記検査対象試料を保持する試料ホルダと、前記試料ホルダを透過した散乱光を検出する検出器とを備えた走査プローブ顕微鏡を提供する。

【選択図】 図1

図1



【特許請求の範囲】

【請求項 1】

検査対象試料を走査する測定探針と、
前記測定探針にレーザー光を照射するレーザ照射系と、
レーザ光の照射により前記測定探針と前記検査対象試料との間で発生した近接場光の散乱光を透過し、前記検査対象試料を保持する試料ホルダと、
前記試料ホルダを透過した散乱光を検出する検出器とを備えた走査プローブ顕微鏡。

【請求項 2】

前記試料ホルダの表面を曲面で構成されることを特徴とする請求項 1 記載の走査プローブ顕微鏡。

10

【請求項 3】

前記試料ホルダ表面にフレネルレンズを形成することを特徴とする請求項 1 記載の走査プローブ顕微鏡。

【請求項 4】

前記試料ホルダを屈折率分布レンズで形成することを特徴とする請求項 1 記載の走査プローブ顕微鏡。

【請求項 5】

前記試料ホルダをボールレンズで形成することを特徴とする請求項 1 記載の走査プローブ顕微鏡。

【請求項 6】

前記測定探針は、前記検査対象試料に向けた先端側が先鋭化されており、
前記レーザ光照射系は前記測定探針の先端にレーザ光を照射することを特徴とする請求項 1 記載の走査プローブ顕微鏡。

20

【請求項 7】

前記測定探針は、前記検査対象試料に向けた先端に微小開口が形成されており、
前記レーザ光照射系は、前記測定探針の前記検査対象試料と反対側にレーザ光を照射することで、前記微小開口から前記近接場光を発生させることを特徴とする請求項 1 記載の走査プローブ顕微鏡。

【請求項 8】

前記レーザ光照射系は、前記測定探針の前記検査対象試料と反対側にレーザ光を照射することで、前記測定探針に表面プラズモンを発生させ、表面プラズモンを前記検査対象試料に向けた先端側に伝搬させることを特徴とする請求項 1 記載の走査プローブ顕微鏡。

30

【請求項 9】

測定探針を検査対象試料に対して相対的に走査し、
レーザ光を前記測定探針に照射し、
前記測定探針と前記検査対象試料との間で近接場光を発生させ、
前記検査対象試料を保持する試料ホルダを透過した前記近接場光の散乱光を検出することを特徴とする走査プローブ顕微鏡を用いた試料の観察方法。

【請求項 10】

前記試料ホルダ表面は曲面で構成されることを特徴とする請求項 9 記載の走査プローブ顕微鏡。

40

【請求項 11】

前記試料ホルダ表面にフレネルレンズを形成することを特徴とする請求項 9 記載の走査プローブ顕微鏡。

【請求項 12】

前記試料ホルダを屈折率分布レンズで形成することを特徴とする請求項 9 記載の走査プローブ顕微鏡。

【請求項 13】

前記試料ホルダをボールレンズで形成することを特徴とする請求項 9 記載の走査プローブ顕微鏡。

50

【請求項 14】

前記測定探針の前記検査対象試料に向けた先端側にレーザ光を照射することを特徴とする請求項9記載の走査プローブ顕微鏡。

【請求項 15】

前記測定探針の前記検査対象試料と反対側にレーザ光を照射することで、前記測定探針の前記検査対象試料に向けた先端に形成された微小開口から前記近接場光を発生させることを特徴とする請求項9記載の走査プローブ顕微鏡。

【請求項 16】

前記測定探針の前記検査対象試料と反対側にレーザ光を照射することで、前記測定探針に表面プラズモンを発生させ、表面プラズモンを前記検査対象試料に向けた先端側に伝搬させることを特徴とする請求項9記載の走査プローブ顕微鏡。

10

【発明の詳細な説明】

【技術分野】

【0001】

本発明は、走査プローブ顕微鏡技術および、これを用いた試料観察方法に関する。

【背景技術】

【0002】

微細立体形状の計測技術として走査プローブ顕微鏡（SPM：Scanning Probe Microscope）が知られている。その中でも原子間力顕微鏡（AFM：Atomic Force Microscope）は、先端のとがった探針を制御して接触力を非常に小さな値に保ちながら試料表面を走査する観察技術であり、原子オーダの微細立体形状が計測できる技術として、広く用いられている。しかし、この原子間力顕微鏡は試料表面の反射率分布や屈折率分布といった光学的性質を測定することはできない。

20

一方、32nmノード以降の極微細半導体デバイスでは、高速化のために歪シリコンが適用されているが、微小領域における応力分布の測定が歩留まり管理上不可欠である。また、さらなる微細化のためには、不純物原子の分布状況をナノメートルオーダの分解能できめ細かく管理することが要求されている。応力分布や不純物分布などの物性情報は、原子間力顕微鏡や寸法管理に用いられているCD-SEM（Critical Dimension Scanning Electron Microscope：測長SEM）では測定不可能である。ラマン分光計測法等の光学的手法の検討がされているが、通常のラマン分光顕微鏡では空間分解能が不足している。

30

【0003】

また、異物検査や欠陥検査で検出された数十nmの異物や欠陥の発生要因を特定するため、レビューSEMと呼ばれる電子顕微鏡で異物や欠陥の分類作業が行われているが、形状や凹凸情報のみに頼る手法のため、分類性能に限界がきている。こちら、光学情報を付加することにより分類性能の向上が期待できるが、やはり通常の光学顕微鏡やレーザ走査顕微鏡では空間分解能が不足している。

【0004】

これらの課題を解決し、試料表面の光学的性質や物性情報を高分解能で測定する手段として、近接場走査顕微鏡（SNOM：Scanning Near-field Optical Microscope）が知られる。この顕微鏡は、非特許文献1に開示されているように、数十nmの微小開口から漏れる近接場光を、開口と試料との間隙を同じく数十nmに保ったままで走査することにより（開口プローブ）、光の回折限界を超えて開口と同じ大きさの数十nmの分解能で、試料表面の反射率分布や屈折率分布といった光学的性質を測定するものである。同様の手法として、非特許文献2には、金属探針に外部から光を照射して、探針の微小先端部で散乱した数十nmの大きさの近接場光を走査する（散乱プローブ）方法も開示されている。

40

【0005】

また、特許文献1には、散乱プローブの別形態として、ファイバ先端に微小な球形レンズを形成して微小スポット光を形成する方法が開示されている。

50

【0006】

また、特許文献2には、同様に散乱プローブの別形態として、カーボンナノチューブ内部にフォトルミネセンス、エレクトロルミネセンスを発現するV、Y、Ta、Sb等の金属カーバイドや、ZnS蛍光体、CaS蛍光体を充填し、微小スポット光を得る方法が開示されている。

【先行技術文献】

【特許文献】

【0007】

【特許文献1】特表2006-515682号公報

【特許文献2】特開2002-267590号公報

10

【非特許文献】

【0008】

【非特許文献1】Japanese Journal of Applied Physics, Vol. 31, pp. L1302-L1304 (1992)

【非特許文献2】Optics Letters, Vol. 19, pp. 159-161 (1994)

【発明の概要】

【発明が解決しようとする課題】

【0009】

上記した近接場走査顕微鏡では、測定探針と検査対象試料との間に発生した近接場光が測定探針と相互作用して散乱光（伝搬光）が生じ、この散乱光を検出することで、実効的に近接場光画像を得ていた。しかし、上記した近接場走査顕微鏡では、この散乱光を検出するための検出レンズを試料に近づけられず、検出NA(Numerical Aperture: 開口数)を大きくすることが困難であった。このため、近接場イメージング及び分光イメージングにおいて検出光量が低下し、近接場光画像のSN比及び測定再現性が低下していた。

20

【0010】

そこで、本発明の目的は、近接場走査顕微鏡において、検出光学系のNAを拡大することにより、測定探針と検査対象試料との間に発生した近接場光の検出光量を増加させ、近接場光画像のSN比及び測定再現性を向上させることにある。

30

【課題を解決するための手段】

【0011】

上記目的を達成するために、本発明は、検査対象試料を走査する測定探針と、前記測定探針にレーザー光を照射するレーザ照射系と、レーザ光の照射により前記測定探針と前記検査対象試料との間で発生した近接場光の散乱光を透過し、前記検査対象試料を保持する試料ホルダと、前記試料ホルダを透過した散乱光を検出する検出器とを備えた走査プローブ顕微鏡を提供する。

【0012】

また、他の観点における本発明は、測定探針を検査対象試料に対して相対的に走査し、レーザ光を前記測定探針に照射し、前記測定探針と前記検査対象試料との間で近接場光を発生させ、前記検査対象試料を保持する試料ホルダを透過した前記近接場光の散乱光を検出することを特徴とする走査プローブ顕微鏡を用いた試料の観察方法を提供する。

40

【発明の効果】

【0013】

本発明によれば、近接場走査顕微鏡において、検出光学系のNAを拡大することにより、測定探針と検査対象試料との間に発生した近接場光の検出光量を増加させ、近接場光画像のSN比及び測定再現性を向上させることができる。

【図面の簡単な説明】

【0014】

【図1】実施例1における試料ホルダの正面の断面図である。

50

【図 2】実施例 2 における試料ホルダの正面の断面図である。

【図 3】実施例 3 における試料ホルダの正面の断面図である。

【図 4】実施例 4 における試料ホルダの正面の断面図である。

【図 5】実施例 5 における試料ホルダの正面の断面図である。

【図 6】実施例 6 における試料ホルダの正面の断面図である。

【図 7】実施例 7 における試料ホルダの正面の断面図である。

【図 8】実施例 8 における試料ホルダの正面の断面図である。

【図 9】実施例 9 における試料ホルダの正面の断面図である。

【図 10】実施例 10 における試料ホルダの正面の断面図である。

【図 11】実施例 1、2、3 における走査プローブ顕微鏡の概略の構成を示すブロック図である。 10

【図 12】実施例 4、5、6、7、8 における走査プローブ顕微鏡の概略の構成を示すブロック図である。

【図 13】実施例 9 における走査プローブ顕微鏡の概略の構成を示すブロック図である。

【図 14】実施例 10 における走査プローブ顕微鏡の概略の構成を示すブロック図である。

【発明を実施するための形態】

【0015】

以下、実施例を図面を用いて説明する。尚、以下で説明する実施例では、いずれの検査対象試料も液中に存在する形態となっているが、本発明はこれに限定されるものではなく、大気中に存在する検査対象試料にも適用されるものである。 20

【実施例 1】

【0016】

本発明の第 1 の実施例を、図 1 及び図 11 に基づいて説明する。図 1 は第 1 の実施例における検査対象試料を搭載する試料ホルダを示す断面図である。本実施例では、図 1 に示すように、検査対象試料 2 はアルコールや水等の溶液 3 の中に存在する。検査対象試料 2 は溶液 3 ごと試料ホルダ 1 に保持され、試料ホルダ 1 はさらに圧電素子等のアクチュエータで駆動される X Y ステージ 4 上に載置される。金や銀等の金属から成る先端が先鋭化された測定探針 21 を先端を測定試料 2 に向けて測定試料 2 上に接近させ、測定探針 21 と試料 2 表面との間隙を測定探針 21 の先端径とほぼ同程度以下に保ち、もしくは微小な接触力で接触させ、斜め上方から単一波長のレーザ光 7 を集光レンズ 6 で集光して測定探針 21 の先端に照射すると、測定探針 21 と試料 2 表面との間に微小な近接場光 8 が発生し、さらにこの近接場光 8 と測定探針 21 との相互作用により散乱光（伝搬光）9 が発生する。 30

【0017】

ここで、試料ホルダ 1 は、散乱光 9 が透過する材料で構成されると共に、その側面はある曲率をもった曲面 1a から成り、検出レンズとして機能する。その結果、散乱光 9 は試料ホルダ 1 を透過して曲面 1a のレンズ効果（1 点から出た光を所定の角度で屈折させ、平行光にしたり、集光したり、発散させたり、あるいはその逆を行うことができる）により平行光となった後、結像レンズ 10 により集光され、光電子増倍管やホットダイオード等の検出器 11 で受光される。尚、試料ホルダ 1 の内壁と溶液 3 の界面での反射を抑えるため、試料ホルダ 1 の屈折率は、溶液の屈折率に近いことが望ましい。この試料ホルダ 1 によれば、実効的に試料 2 のごく近傍数 mm の範囲に検出レンズを配置すると等価となるため、大きな NA（Numerical Aperture：開口数；ある 1 点から出た光を取り込める最大角度に対応したレンズの評価指数であり、NA が大きいほどより多くの光を取り込める）で検出光を捉えることができ、検出光量が格段に増加し、近接場光画像の SN 比及び測定再現性が向上する。 40

【0018】

図 11 に、この試料ホルダを組み込んだ走査プローブ顕微鏡の構成を示す。走査プローブ顕微鏡は、試料 2 を搭載し散乱光を検出する試料ホルダ 1 と、それを載置して試料 2 を 50

X Y方向に走査するX Y圧電素子ステージ4と、先端に試料2を走査する測定探針21を固定した支持部としてのカンチレバー25とカンチレバー25をZ方向に微小振動させる圧電素子アクチュエータ26とカンチレバー15をZ方向に走査するZ圧電素子ステージ27と、カンチレバーのたわみを検知することで、測定探針と試料との接触力を検知する光てこ検出系95と、レーザ光7を測定探針21先端に照射する励起レーザ照射系70と、散乱光を集光し光電変換する散乱光検出系200と、得られた散乱光信号とX Y Z変位信号から近接場光画像と凹凸画像を生成し出力する信号処理・制御系300とを備えて構成される。X Y圧電素子ステージ4とZ圧電素子ステージ27によって測定探針21を試料2に対して相対的に走査する駆動部が構成される。

【0019】

光てこ検出系95では、半導体レーザ71からのレーザ光72をカンチレバー25の背面に照射し、その反射光を4分割センサ73で受光し、反射光の位置変化からカンチレバー25のたわみ量を検出し、さらにたわみ量から測定探針21と試料2との接触力を検出して、常に接触力が予め設定した値となるように、信号処理・制御系300の制御部100でZ圧電素子ステージ27をフィードバック制御する。

【0020】

測定探針21は、発振器80によりカンチレバー25の共振周波数でZ方向に微小振動されるので、発生する近接場光8及び散乱光9も同じ周波数で強度変調される。検出器11から出力される強度変調された光信号はロックインアンプ90で同期検波され、この周波数成分のみが出力される。励起用レーザ光7によって、測定探針の根元や試料表面で直接散乱した背景散乱光は、カンチレバー25の微小振動には反応せず直流成分であるので、ロックインアンプ90の出力信号には含まれない。これにより、背景雑音を抑圧して近接場光成分のみを選択的に検出することができる。共振周波数の2倍波、3倍波といった高調波成分を検出することで、さらに信号S N比を向上させることができる。

【0021】

ロックインアンプ90からの光信号は信号処理・制御系300の制御部100に送られ、X Y圧電素子ステージ4からのX Y信号と組み合わせられて近接場光画像が生成され、ディスプレイ110に出力される。同時に、Z圧電素子ステージ27からのZ信号も制御部100でX Y信号と組み合わせられて試料表面の凹凸画像が生成され、ディスプレイ110に出力される。

【0022】

本実施例によれば、前述の通り、実効的に試料2のごく近傍数mmの範囲に検出レンズを配置すると等価となるため、大きなNAで検出光を捉えることができ、検出光量が格段に増加し、近接場光画像のS N比及び測定再現性が向上する。

【0023】

この結果、ナノメートルオーダーの分解能でかつ高いS N比と高い測定再現性で、試料表面の光学情報、分光情報、凹凸情報の測定が可能になる。その結果、半導体試料の応力分布や不純物分布などの物性情報や分光情報、表面凹凸情報の測定が可能になる。また、異物や欠陥の分類に寄与する光学情報や凹凸情報を測定できるので異物・欠陥分類性能が向上する。また、これらの測定結果を半導体製造プロセス条件にフィードバックすることで、信頼性の高い半導体デバイスの高歩留まり生産が可能になる。

【実施例2】

【0024】

本発明の第2の実施例を、図2及び図11に基づいて説明する。図2は第2の実施例における検査対象試料を搭載する試料ホルダを示す断面図である。試料ホルダ1の形態とその機能は第1の実施例と同じであるので、説明を省略する。本実施例では、測定探針の形態が異なる。測定探針22は、試料2に向ける先端が先鋭化された石英ファイバ22aの周囲を金や銀等の金属膜22bでコーティングし、試料2に向ける先端のみ金属膜を除去して微小開口を形成したものである。石英ファイバ22aの上方（測定探針22に対して試料2がある側とは反対側）からレーザ光7を集光レンズ6で集光して照射すると、測定

探針 2 2 先端の開口部から近接場光 8 が発生し、さらにこの近接場光 8 と測定探針 2 2 との相互作用により散乱光（伝搬光）9 が発生する。

【0025】

図 1 1 に、この試料ホルダを組み込んだ走査プローブ顕微鏡の構成を示す。この走査プローブ顕微鏡の構成とその機能は第 1 の実施例と同じであるので、説明を省略する。

【0026】

本実施例によれば、前述の通り、実効的に試料 2 のごく近傍数 mm の範囲に検出レンズを配置すると等価となるため、大きな NA で検出光を捉えることができ、検出光量が格段に増加し、近接場光画像の SN 比及び測定再現性が向上する。また、本実施例では、石英ファイバ 2 2 a を通してレーザ光 7 を照射し近接場光 8 を生成するので、測定探針先端にレーザ光 7 を照射する第 1 の実施例に比べ、背景雑音の影響が小さいという利点がある。

【実施例 3】

【0027】

本発明の第 3 の実施例を、図 3 及び図 1 1 に基づいて説明する。図 3 は第 3 の実施例における検査対象試料を搭載する試料ホルダを示す断面図である。試料ホルダの形態とその機能は第 1 の実施例と同じであるので、説明を省略する。本実施例では、測定探針の形態が異なる。測定探針 2 3 は、試料 2 に向ける先端の径が数 nm に先鋭化されたカーボンナノチューブ（Carbon Nanotube: CNT）から成る。CNT には、内部に金ナノ構造や銀ナノ構造を充填してもよい。この測定探針は、図 1 1 に示すように、カンチレバー 2 5 の先端に固定され、斜め上方（測定探針 2 2 に対して試料 2 がある側とは反対側）から励起用レーザ光 7 が照射される。このレーザ光 7 は CNT の自由電子の集団振動であるプラズモンに変換され、図 3 の破線で示すように、表面プラズモン 1 5 として CNT 上端（測定探針 2 2 に対して試料 2 がある側とは反対側）から下端（試料 2 がある側）に伝搬し、先端部で電界集中して、近接場光 8 a が生じる。さらに、この近接場光 8 a と測定探針 2 3 との相互作用により散乱光（伝搬光）9 が発生する。

【0028】

図 1 1 に、この試料ホルダを組み込んだ走査プローブ顕微鏡の構成を示す。この走査プローブ顕微鏡の構成とその機能は第 1 の実施例と同じであるので、説明を省略する。

【0029】

本実施例によれば、前述の通り、実効的に試料 2 のごく近傍数 mm の範囲に検出レンズを配置すると等価となるため、大きな NA で検出光を捉えることができ、検出光量が格段に増加し、近接場光画像の SN 比及び測定再現性が向上する。また、本実施例では測定探針 2 3 に先端径が数 nm の CNT を用いているので、空間分解能が数 nm となり、第 1 及び第 2 の実施例に比べ、空間分解能が約 10 倍に向上する。

【実施例 4】

【0030】

本発明の第 4 の実施例を、図 4 及び図 1 2 に基づいて説明する。図 4 は第 4 の実施例における検査対象試料を搭載する試料ホルダを示す断面図である。本実施例では、図 4 に示すように、検査対象試料 2 はアルコールや水等の溶液 3 の中に存在する。検査対象試料 2 は溶液 3 ごと試料ホルダ 3 1 に保持され、試料ホルダ 3 1 はさらに圧電素子等のアクチュエータで駆動される中央に開口部を設けた XY ステージ 4 0 上に載置される。金や銀等の金属から成る先端が先鋭化された測定探針 2 1 を測定試料 2 上に接近させ、測定探針 2 1 と試料 2 表面との間隙を測定探針 2 1 の先端径とほぼ同程度以下に保ち、もしくは微小な接触力で接触させ、斜め上方からレーザ光 7 を集光レンズ 6 で集光して測定探針 2 1 の先端に照射すると、測定探針 2 1 と試料 2 表面との間に微小な近接場光 8 が発生し、さらにこの近接場光 8 と測定探針 2 1 との相互作用により散乱光（伝搬光）1 7 が発生する。

【0031】

ここで、試料ホルダ 3 1 は、散乱光 1 7 が透過する材料で構成されると共に、その底面はある曲率をもった曲面 3 1 a から成り、検出レンズとして機能する。その結果、散乱光 1 7 は試料ホルダ 3 1 を透過して曲面 3 1 a のレンズ効果により平行光となり、XY ステ

ージ40の開口部を通過した後、結像レンズ18により集光され、光電子増倍管やフォトダイオード等の検出器19で受光される。尚、試料ホルダ31の内壁と溶液3の界面での反射を抑えるため、試料ホルダ31の屈折率は、溶液の屈折率に近いことが望ましい。この試料ホルダ31によれば、実効的に試料2のごく近傍数mmの範囲に検出レンズを配置すると等価となるため、大きなNAで検出光を捉えることができ、検出光量が格段に増加し、近接場光画像のSN比及び測定再現性が向上する。

【0032】

図12に、この試料ホルダを組み込んだ走査プローブ顕微鏡の構成を示す。この走査プローブ顕微鏡において、試料ホルダ31以外の構成とその機能は第1の実施例と同じであるので、説明を省略する。

10

【0033】

本実施例によれば、前述の通り、実効的に試料2のごく近傍数mmの範囲に検出レンズを配置すると等価となるため、大きなNAで検出光を捉えることができ、検出光量が格段に増加し、近接場光画像のSN比及び測定再現性が向上する。さらに、本実施例では、第1～第3の実施例のように側方散乱光を検出する構成ではなく、試料ホルダ31の底面から、すなわち前方散乱光を検出する構成であるため、図4に示すように、検出のNAをさらに大きくすることができ、散乱光の検出光量を格段に増加させることができ、近接場光画像のSN比及び測定再現性を向上させることができる。

【実施例5】

【0034】

20

本発明の第5の実施例を、図5及び図12に基づいて説明する。図5は第5の実施例における検査対象試料を搭載する試料ホルダを示す断面図である。試料ホルダ31の形態とその機能は第4の実施例と同じであるので、説明を省略する。本実施例では、測定探針の形態が異なる。測定探針22は、先端が先鋭化された石英ファイバ22aの周囲を金や銀等の金属膜22bでコーティングし、先端のみ金属膜を除去して微小開口を形成したものである。石英ファイバ22aの上方からレーザ光7を集光レンズ6で集光して照射すると、測定探針22先端の開口部から近接場光8が発生し、さらにこの近接場光8と測定探針22との相互作用により散乱光（伝搬光）17が発生する。

【0035】

図12に、この試料ホルダを組み込んだ走査プローブ顕微鏡の構成を示す。この走査プローブ顕微鏡の構成とその機能は第1の実施例と同じであるので、説明を省略する。

30

【0036】

本実施例によれば、前述の通り、実効的に試料2のごく近傍数mmの範囲に検出レンズを配置すると等価となるため、大きなNAで検出光を捉えることができ、検出光量が格段に増加し、近接場光画像のSN比及び測定再現性が向上する。さらに、本実施例では、第1～第3の実施例のように側方散乱光を検出する構成ではなく、試料ホルダ31の底面から、すなわち前方散乱光を検出する構成であるため、図5に示すように、検出のNAをさらに大きくすることができ、散乱光の検出光量を格段に増加させることができ、近接場光画像のSN比及び測定再現性を向上させることができる。

【実施例6】

【0037】

40

本発明の第6の実施例を、図6及び図12に基づいて説明する。図6は第6の実施例における検査対象試料を搭載する試料ホルダを示す断面図である。試料ホルダ31の形態とその機能は第4の実施例と同じであるので、説明を省略する。本実施例では、測定探針の形態が異なる。測定探針23は、先端径が数nmに先鋭化されたカーボンナノチューブ（Carbon Nanotube：CNT）、もしくは内部に金ナノ構造や銀ナノ構造を充填したCNTから成る。この測定探針は、図12に示すように、カンチレバー25の先端に固定され、斜め上方から励起用レーザ光7が照射される。このレーザ光7は自由電子の集団振動であるプラズモンに変換され、図3の破線で示すように、表面プラズモン15としてCNT上端から下端に伝搬し、先端部で電界集中して、近接場光8aが生じる。

50

さらに、この近接場光 8 a と測定探針 2 3 との相互作用により散乱光（伝搬光） 1 7 が発生する。

【0038】

図 1 2 に、この試料ホルダを組み込んだ走査プローブ顕微鏡の構成を示す。この走査プローブ顕微鏡の構成とその機能は第 1 の実施例と同じであるので、説明を省略する。

【0039】

本実施例によれば、前述の通り、実効的に試料 2 のごく近傍数 mm の範囲に検出レンズを配置すると等価となるため、大きな NA で検出光を捉えることができ、検出光量が格段に増加し、近接場光画像の SN 比及び測定再現性が向上する。さらに、本実施例では、第 1 ～第 3 の実施例のように側方散乱光を検出する構成ではなく、試料ホルダ 3 1 の底面から、すなわち前方散乱光を検出する構成であるため、図 6 に示すように、検出の NA をさらに大きくすることができ、散乱光の検出光量を格段に増加させることができ、近接場光画像の SN 比及び測定再現性を向上させることができる。また、本実施例では測定探針 2 3 に先端径が数 nm の CNT を用いているので、空間分解能が数 nm となり、第 1 及び第 2 の実施例に比べ、空間分解能が約 10 倍に向上する。

【実施例 7】

【0040】

本発明の第 7 の実施例を、図 7 及び図 1 2 に基づいて説明する。図 7 は第 7 の実施例における検査対象試料を搭載する試料ホルダを示す断面図である。本実施例では、図 7 に示すように、検査対象試料 2 はアルコールや水等の溶液 3 の中に存在する。検査対象試料 2 は溶液 3 ごと試料ホルダ 4 1 に保持され、試料ホルダ 4 1 はさらに圧電素子等のアクチュエータで駆動される中央に開口部を設けた XY ステージ 4 0 上に載置される。金や銀等の金属から成る先端が先鋭化された測定探針 2 1 を測定試料 2 上に接近させ、測定探針 2 1 と試料 2 表面との間隙を測定探針 2 1 の先端径とほぼ同程度以下に保ち、もしくは微小な接触力で接触させ、斜め上方からレーザ光 7 を集光レンズ 6 で集光して測定探針 2 1 の先端に照射すると、測定探針 2 1 と試料 2 表面との間に微小な近接場光 8 が発生し、さらにこの近接場光 8 と測定探針 2 1 との相互作用により散乱光（伝搬光） 1 7 が発生する。

【0041】

ここで、試料ホルダ 4 1 は、散乱光 1 7 が透過する材料で構成されると共に、その底面にはフレネルレンズ 4 1 a（底面の表面に不等間隔の回折格子を形成することにより、1 点から出た光を所定の角度で回折させ、平行光にしたり、集光したり、発散させたり、あるいはその逆を行うことができる）が形成され、検出レンズとして機能する。その結果、散乱光 1 7 は試料ホルダ 4 1 を透過してフレネルレンズ 4 1 a により平行光となり、XY ステージ 4 0 の開口部を通過した後、結像レンズ 1 8 により集光され、光電子増倍管やホトダイオード等の検出器 1 9 で受光される。尚、試料ホルダ 4 1 の内壁と溶液 3 の界面での反射を抑えるため、試料ホルダ 4 1 の屈折率は、溶液の屈折率に近いことが望ましい。この試料ホルダ 4 1 によれば、実効的に試料 2 のごく近傍数 mm の範囲に検出レンズを配置すると等価となるため、大きな NA で検出光を捉えることができ、検出光量が格段に増加し、近接場光画像の SN 比及び測定再現性が向上する。

【0042】

図 1 2 に、この試料ホルダを組み込んだ走査プローブ顕微鏡の構成を示す。この走査プローブ顕微鏡において、試料ホルダ 4 1 以外の構成とその機能は第 1 の実施例と同じであるので、説明を省略する。

【0043】

本実施例によれば、前述の通り、実効的に試料 2 のごく近傍数 mm の範囲に検出レンズを配置すると等価となるため、大きな NA で検出光を捉えることができ、検出光量が格段に増加し、近接場光画像の SN 比及び測定再現性が向上する。さらに本実施例では、試料ホルダ 4 1 の底面を曲率をもったレンズではなくフレネルレンズで構成しているので、底面の肉厚を薄くすることができ、試料ホルダ 4 1 のコスト低減につながるという効果を有する。

【実施例 8】

【0044】

本発明の第 8 の実施例を、図 8 及び図 12 に基づいて説明する。図 8 は第 8 の実施例における検査対象試料を搭載する試料ホルダを示す断面図である。本実施例では、図 8 に示すように、検査対象試料 2 はアルコールや水等の溶液 3 の中に存在する。検査対象試料 2 は溶液 3 ごと試料ホルダ 51 に保持され、試料ホルダ 51 はさらに圧電素子等のアクチュエータで駆動される中央に開口部を設けた X Y ステージ 40 上に載置される。金や銀等の金属から成る先端が先鋭化された測定探針 21 を測定試料 2 上に接近させ、測定探針 21 と試料 2 表面との間隙を測定探針 21 の先端径とほぼ同程度以下に保ち、もしくは微小な接触力で接触させ、斜め上方からレーザ光 7 を集光レンズ 6 で集光して測定探針 21 の先端に照射すると、測定探針 21 と試料 2 表面との間に微小な近接場光 8 が発生し、さらにこの近接場光 8 と測定探針 21 との相互作用により散乱光（伝搬光）17 が発生する。

10

【0045】

ここで、試料ホルダ 51 は、散乱光 17 が透過する材料で構成されると共に、その底部は中央で屈折率が大きく、周辺に行くに従い屈折率が小さくなる屈折率分布レンズ 51a で形成され、検出レンズとして機能する。その結果、散乱光 17 は試料ホルダ 51 を透過して屈折率分布レンズ 51a により平行光となり、X Y ステージ 40 の開口部を通過した後、結像レンズ 18 により集光され、光電子増倍管やホトダイオード等の検出器 19 で受光される。この試料ホルダ 51 によれば、実効的に試料 2 のごく近傍数 mm の範囲に検出レンズを配置すると等価となるため、大きな NA で検出光を捉えることができ、検出光量が格段に増加し、近接場光画像の SN 比及び測定再現性が向上する。

20

【0046】

図 12 に、この試料ホルダを組み込んだ走査プローブ顕微鏡の構成を示す。この走査プローブ顕微鏡において、試料ホルダ 51 以外の構成とその機能は第 1 の実施例と同じであるので、説明を省略する。

【0047】

本実施例によれば、前述の通り、実効的に試料 2 のごく近傍数 mm の範囲に検出レンズを配置すると等価となるため、大きな NA で検出光を捉えることができ、検出光量が格段に増加し、近接場光画像の SN 比及び測定再現性が向上する。さらに本実施例では、試料ホルダ 41 の底面を屈折率分布レンズで構成しているので、底面の表面加工が不要となり、試料ホルダ 41 のコスト低減につながるという効果を有する。

30

【実施例 9】

【0048】

本発明の第 9 の実施例を、図 9 及び図 13 に基づいて説明する。図 9 は第 9 の実施例における検査対象試料を搭載する試料ホルダを示す断面図である。本実施例では、図 9 に示すように、検査対象試料 2 はアルコールや水等の溶液 3 の中に存在する。検査対象試料 2 は溶液 3 ごと試料ホルダ 61 に保持され、試料ホルダ 61 はさらに圧電素子等のアクチュエータで駆動される中央に開口部を設けた X Y ステージ 40 上に載置される。測定探針 23 は、先端径が数 nm に先鋭化されたカーボンナノチューブ（Carbon Nanotube：CNT）、もしくは内部に金ナノ構造や銀ナノ構造を充填した CNT から成る。この測定探針は、図 13 に示すように、カンチレバー 25 の先端に固定され、斜め上方から励起用レーザ光 7 が照射される。このレーザ光 7 は自由電子の集団振動であるプラズモンに変換され、図 9 の破線で示すように、表面プラズモン 15 として CNT 上端から下端に伝搬し、先端部で電界集中して、近接場光 8a が生じる。さらに、この近接場光 8a と測定探針 23 との相互作用により散乱光（伝搬光）17 が発生する。

40

【0049】

ここで、試料ホルダ 61 は、散乱光 17 が透過する材料で構成されると共に、上部に凹形の試料保持部 61b を加工した球形のボールレンズ 61a（球形の表面で光を屈折させることで、1 点から出た光を平行光にしたり、集光したり、発散させたり、あるいはその逆を行うことができる）で形成され、検出レンズとして機能する。その結果、散乱光 17

50

は試料ホルダ61を透過してボールレンズ61aにより平行光となり、XYステージ40の開口部を通過した後、結像レンズ18により集光され、光電子増倍管やホトダイオード等の検出器19で受光される。この試料ホルダ61によれば、実効的に試料2のごく近傍数mmの範囲に検出レンズを配置すると等価となるため、大きなNAで検出光を捉えることができ、検出光量が格段に増加し、近接場光画像のSN比及び測定再現性が向上する。

【0050】

図13に、この試料ホルダを組み込んだ走査プローブ顕微鏡の構成を示す。この走査プローブ顕微鏡において、試料ホルダ61以外の構成とその機能は第1の実施例と同じであるので、説明を省略する。

【0051】

本実施例によれば、前述の通り、実効的に試料2のごく近傍数mmの範囲に検出レンズを配置すると等価となるため、大きなNAで検出光を捉えることができ、検出光量が格段に増加し、近接場光画像のSN比及び測定再現性が向上する。また、本実施例では測定探針23に先端径が数nmのCNTを用いているので、空間分解能が数nmとなり、第1及び第2の実施例に比べ、空間分解能が約10倍に向上する。さらに本実施例では、試料ホルダ61を単純な形状のボールレンズで構成しているので、試料ホルダ41の加工コスト低減につながるという効果を有する。

【実施例10】

【0052】

本発明の第10の実施例を、図10及び図14に基づいて説明する。図10は第10の実施例における検査対象試料を搭載する試料ホルダを示す断面図である。本実施例では、図10に示すように、検査対象試料2はアルコールや水等の溶液3の中に存在する。検査対象試料2は溶液3ごと試料ホルダ61に保持され、試料ホルダ61はさらに圧電素子等のアクチュエータで駆動される中央に開口部を設けたXYステージ40上に載置される。測定探針23は、先端径が数nmに先鋭化されたカーボンナノチューブ(Carbon Nanotube: CNT)、もしくは内部に金ナノ構造や銀ナノ構造を充填したCNTから成る。この測定探針は、図14に示すように、カンチレバー25の先端に固定され、斜め上方から励起用レーザ光7が照射される。このレーザ光7は自由電子の集団振動であるプラズモンに変換され、図10の破線で示すように、表面プラズモン15としてCNT上端から下端に伝搬し、先端部で電界集中して、近接場光8aが生じる。さらに、この近接場光8aと測定探針23との相互作用により散乱光(伝搬光)9、17が発生する。

【0053】

ここで、試料ホルダ61は、第9の実施例と同様、散乱光9、17が透過する材料で構成されると共に、上部に凹形の試料保持部61bを加工した球形のボールレンズ61aで形成され、検出レンズとして機能する。その結果、散乱光9、17は試料ホルダ61を透過してボールレンズ61aにより各々平行光となり、結像レンズ10、18により集光され、光電子増倍管やホトダイオード等の検出器11、19で受光される。この試料ホルダ61によれば、実効的に試料2のごく近傍数mmの範囲に検出レンズを配置すると等価となるため、大きなNAで検出光を捉えることができ、検出光量が格段に増加し、近接場光画像のSN比及び測定再現性が向上する。

【0054】

図14に、この試料ホルダを組み込んだ走査プローブ顕微鏡の構成を示す。散乱光検出系200において、検出器11、19からの光信号は加算器85で加算された後、ロックインアンプ90で同期検波される。以降の処理、機能、及び全体構成は第1の実施例と同じであるので、説明を省略する。

【0055】

本実施例によれば、前述の通り、実効的に試料2のごく近傍数mmの範囲に検出レンズを配置すると等価となるため、大きなNAで検出光を捉えることができ、検出光量が格段に増加し、近接場光画像のSN比及び測定再現性が向上する。また、本実施例では測定探針23に先端径が数nmのCNTを用いているので、空間分解能が数nmとなり、第1及

10

20

30

40

50

び第 2 の実施例に比べ、空間分解能が約 10 倍に向上する。さらに本実施例では、試料ホルダ 61 を単純な形状のボールレンズで構成しているので、試料ホルダ 61 の加工コスト低減につながるという効果を有する。また、本実施例では、側方散乱光と前方散乱光の二つの散乱光を検出しているので、第 1 ～ 第 9 の実施例に比べ、さらに検出光量が増加し、近接場光画像の S/N 比及び測定再現性が向上する。

【0056】

尚、上記の総ての実施例では励起用レーザ光 7 はいずれも単色光としたが、本発明はこれに限定されるものではなく、赤、緑、青の 3 波長のレーザ光を用いてカラー近接場イメージングを行うことも可能である。また、白色レーザ光と分光器を用いて近接場分光計測することも可能であるし、励起用レーザ光と同一の波長ではなく、例えばラマンシフトした波長を検出する近接場ラマン分光計測することも可能である。

10

【符号の説明】

【0057】

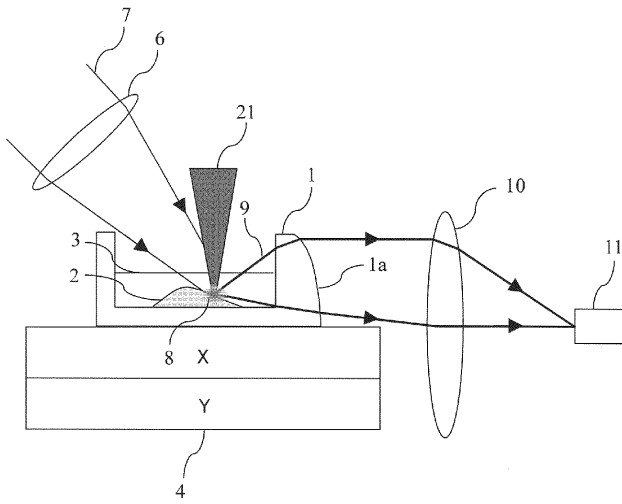
- 1、31、41、51、61・・・試料ホルダ
- 2・・・試料
- 3・・・溶液
- 4、40・・・XY 圧電素子ステージ
- 8、8a・・・近接場光
- 9、17・・・散乱光
- 11、19・・・検出器
- 21、22、23・・・測定探針
- 25・・・カンチレバー
- 26・・・圧電素子アクチュエータ
- 27・・・Z 圧電素子ステージ
- 70・・・励起レーザ照射系
- 80・・・発振器
- 90・・・ロックインアンプ
- 95・・・光てこ検出系
- 100・・・制御部
- 110・・・ディスプレイ
- 200・・・散乱光検出系
- 300・・・信号処理・制御系

20

30

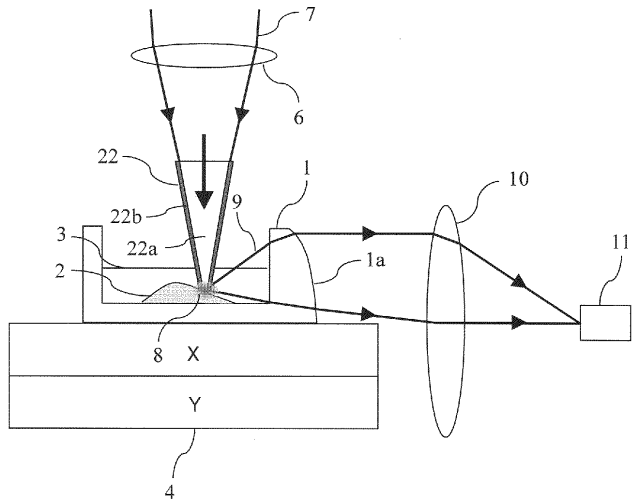
【図 1】

図1



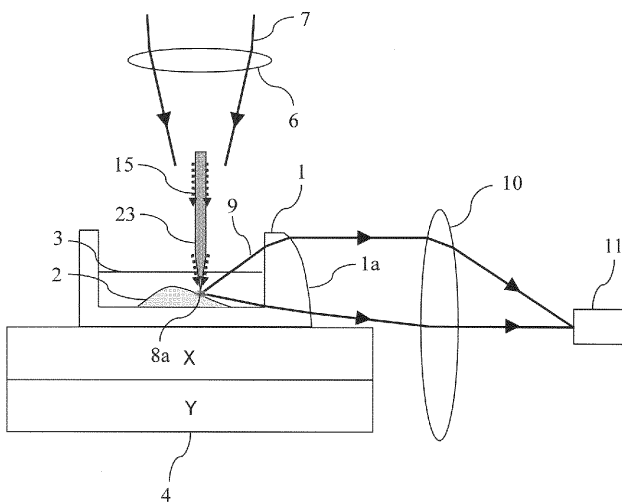
【図 2】

図2



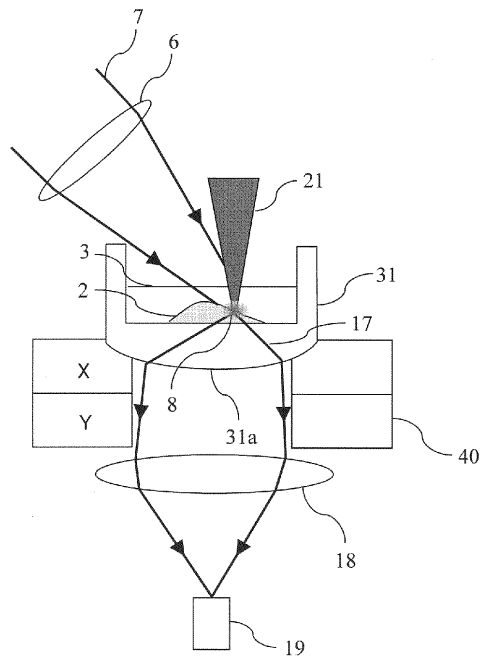
【図 3】

図3



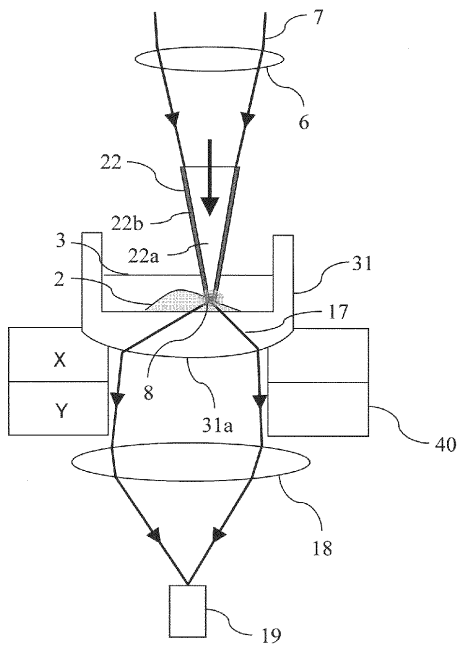
【図 4】

図4



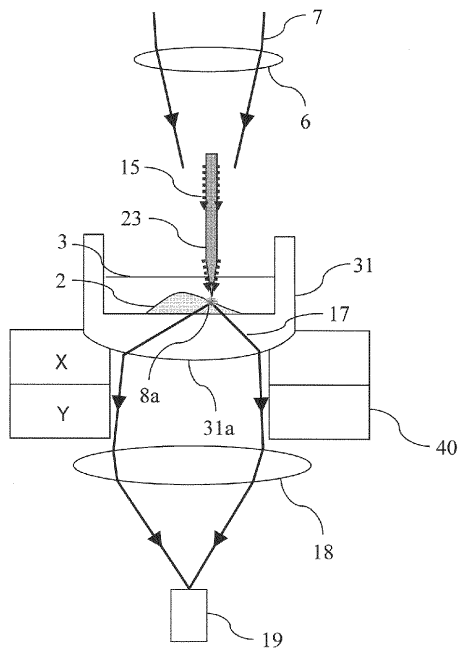
【図 5】

図5



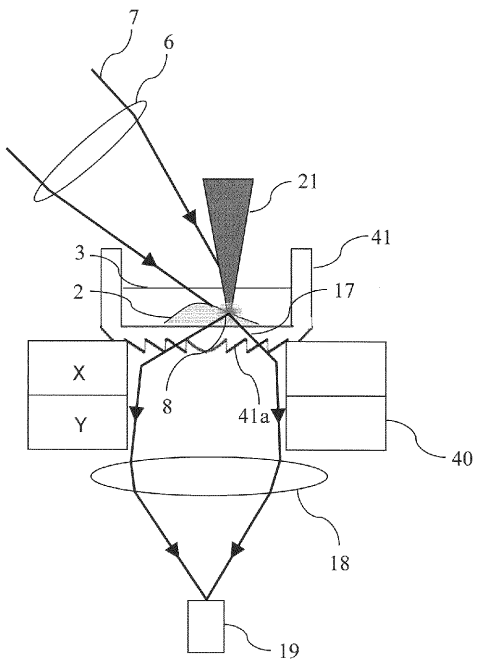
【図 6】

図6



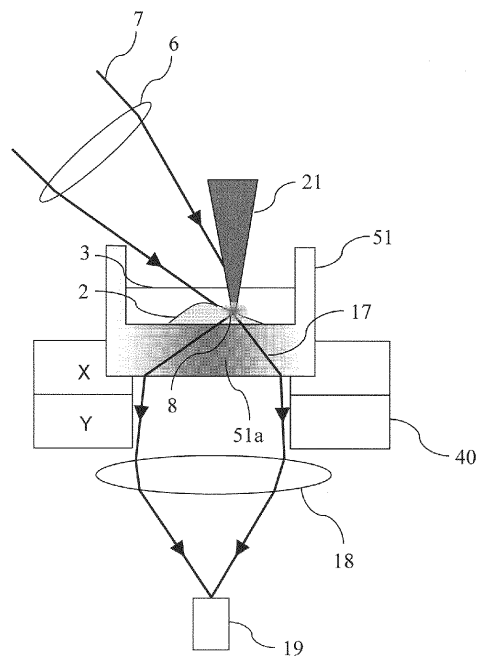
【図 7】

図7



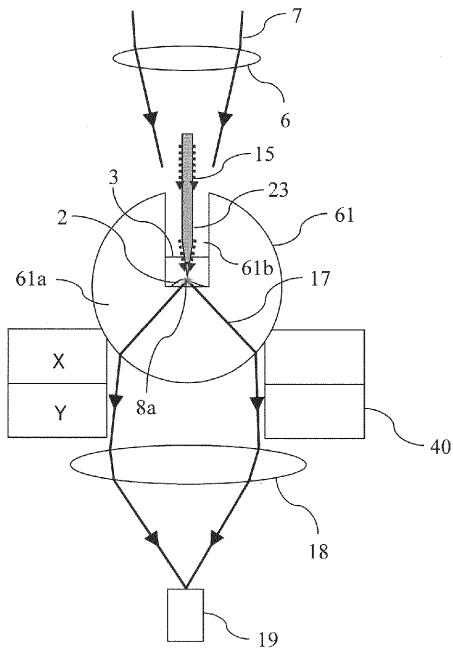
【図 8】

図8



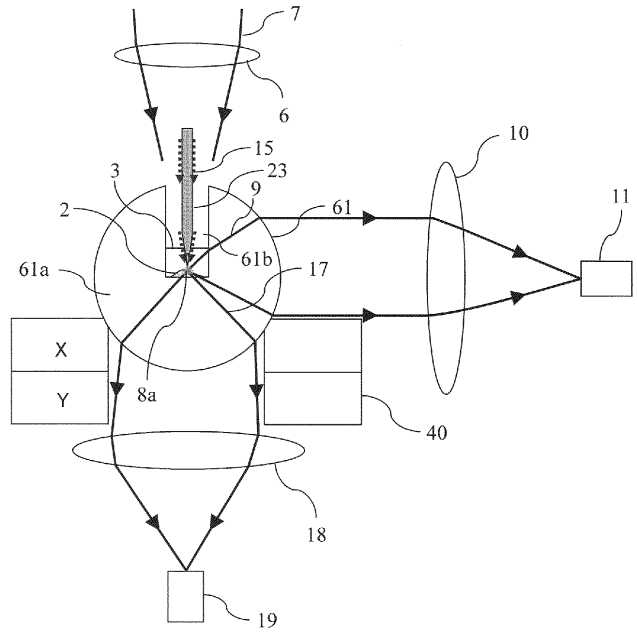
【図 9】

図9



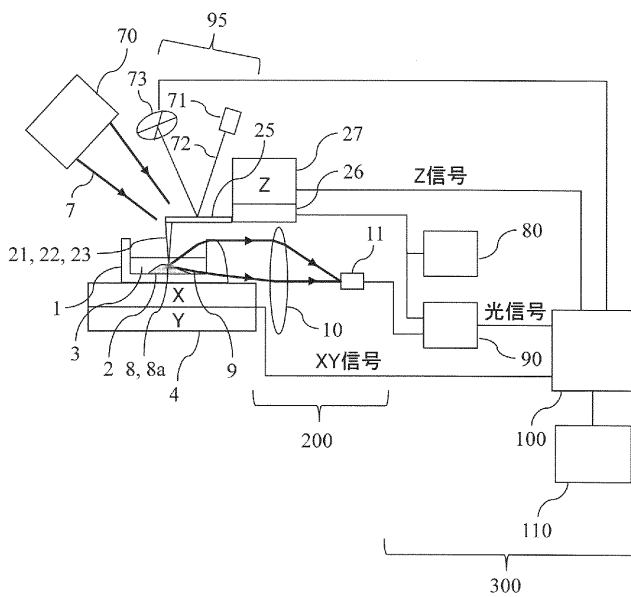
【図 10】

図10



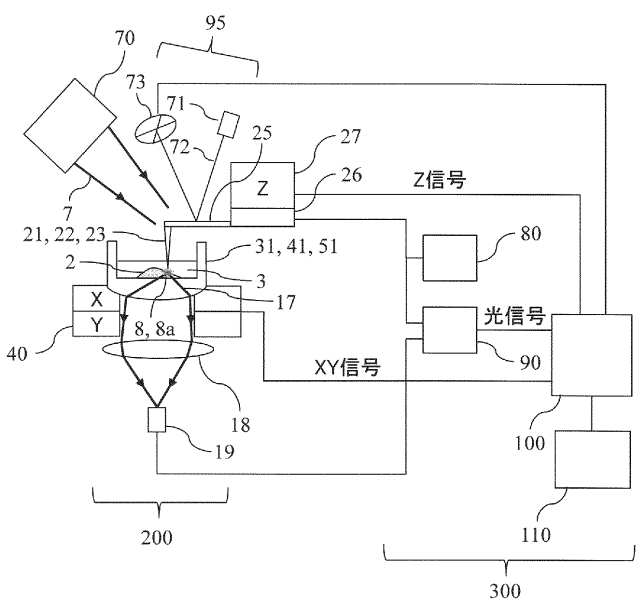
【図 11】

図11



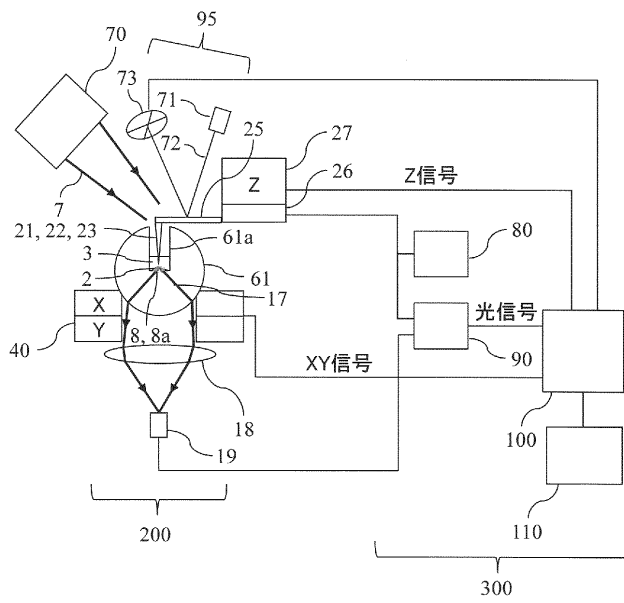
【図 12】

図12



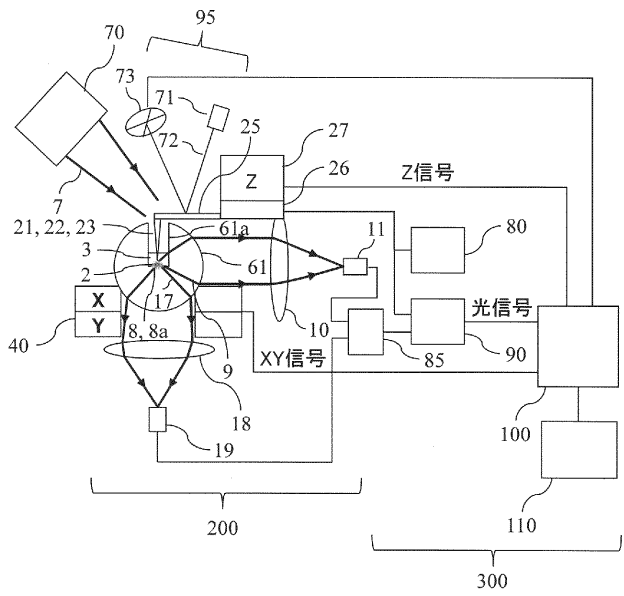
【図 1 3】

図13



【図 1 4】

図14



フロントページの続き

(72)発明者 渡辺 正浩

神奈川県横浜市戸塚区吉田町２９２番地 株式会社日立製作所横浜研究所内