

(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2005-274585

(P2005-274585A)

(43) 公開日 平成17年10月6日(2005.10.6)

(51) Int. Cl.⁷

GO 1 N 13/16

GO 1 G 3/16

F I

GO 1 N 13/16

GO 1 N 13/16

GO 1 G 3/16

テーマコード (参考)

A

C

審査請求 有 請求項の数 6 O L (全 23 頁)

(21) 出願番号 特願2005-153340 (P2005-153340)
 (22) 出願日 平成17年5月26日 (2005. 5. 26)
 (62) 分割の表示 特願2002-160482 (P2002-160482)
 の分割
 原出願日 平成14年5月31日 (2002. 5. 31)
 (31) 優先権主張番号 特願2001-184604 (P2001-184604)
 (32) 優先日 平成13年6月19日 (2001. 6. 19)
 (33) 優先権主張国 日本国 (JP)

(71) 出願人 503360115
 独立行政法人科学技術振興機構
 埼玉県川口市本町 4 丁目 1 番 8 号
 (74) 代理人 100089635
 弁理士 清水 守
 (72) 発明者 川勝 英樹
 東京都世田谷区上野毛 4 - 3 2 - 1 3

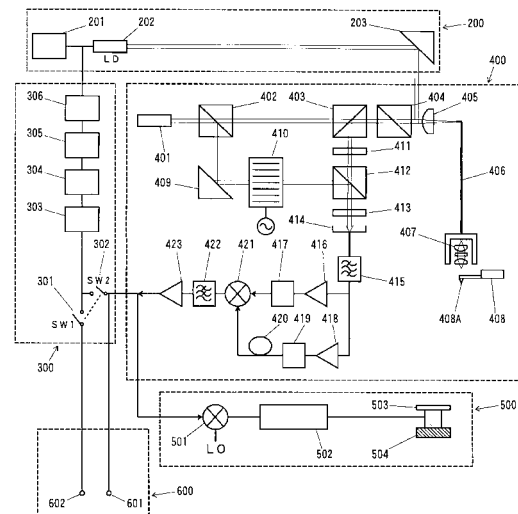
(54) 【発明の名称】 試料の光励振機能を有するヘテロダインレーザドップラー干渉計

(57) 【要約】

【課題】 構成が簡単で、的確な試料の光励振機能を有するヘテロダインレーザドップラー干渉計を提供する。

【解決手段】 試料の光励振機能を有するヘテロダインレーザドップラー干渉計において、このヘテロダインレーザドップラー干渉計の出力信号を用いて前記試料に変調された光を照射し、この照射光により試料の振動を励起し、前記試料の周波数特性や機械的特性を計測する。

【選択図】 図 1 7



【特許請求の範囲】**【請求項 1】**

試料の光励振機能を有するヘテロダインレーザドップラー干渉計において、
該ヘテロダインレーザドップラー干渉計の出力信号を用いて前記試料に変調された光を照射し、該照射光により試料の振動を励起し、前記試料の周波数特性や機械的特性を計測することを特徴とする試料の光励振機能を有するヘテロダインレーザドップラー干渉計。

【請求項 2】

請求項 1 記載の試料の光励振機能を有するヘテロダインレーザドップラー干渉計において、前記ヘテロダインレーザドップラー干渉計をループに含む試料の自励ループを構成することを特徴とする試料の光励振機能を有するヘテロダインレーザドップラー干渉計。

10

【請求項 3】

請求項 1 記載の試料の光励振機能を有するヘテロダインレーザドップラー干渉計において、

(a) ネットワークアナライザにより周波数を掃引した信号を用いて光を変調し、該変調した光を用いて試料の振動を励起し、

(b) 前記試料の振動を同時に観察している前記ヘテロダインレーザドップラー干渉計の出力を前記ネットワークアナライザの信号入力に接続することによって、前記試料の周波数特性を計測することを特徴とする試料の光励振機能を有するヘテロダインレーザドップラー干渉計。

【請求項 4】

請求項 1 記載の試料の光励振機能を有するヘテロダインレーザドップラー干渉計において、前記振動励起のための光を、前記ヘテロダインレーザドップラー干渉計の計測光に重畳することにより、一本の光路により振動計測と振動励振を行うことを特徴とする試料の光励振機能を有するヘテロダインレーザドップラー干渉計。

20

【請求項 5】

請求項 1 又は 2 記載の試料の光励振機能を有するヘテロダインレーザドップラー干渉計において、カンチレバーの固有振動数の自励を実現し、それにより前記カンチレバー先端と試料の相互作用や、前記カンチレバー先端に付着した質量の変化を、自励振動周波数の変化や、自励振動振幅、位相の変化として検出することを特徴とするカンチレバーの光励振機能を有するヘテロダインレーザドップラー干渉計。

30

【請求項 6】

ヘテロダインレーザドップラー干渉計測定光出射部と試料の間に光を透過する基板を配置し、ヘテロダインレーザドップラー計測定光と試料のなす微小キャビティを用いて一定光励振を行い、同時にヘテロダインレーザドップラー計測を行うことを特徴とする試料の光励振機能を有するヘテロダインレーザドップラー干渉計。

【発明の詳細な説明】**【技術分野】****【0001】**

本発明は、試料の光励振機能を有するヘテロダインレーザドップラー干渉計に関するものである。

40

【背景技術】**【0002】**

本願発明者は、ナノサイズの機械振動子を 1 本もしくは 1 平方センチあたり 100 万個以上アレイ状に配列したナノカンチレバーに関する提案を行ってきた。

【特許文献 1】なし**【発明の開示】****【発明が解決しようとする課題】****【0003】**

しかしながら、そのナノカンチレバーは、実際の使用にあたって種々の問題があった。

【0004】

50

本発明は、構成が簡単で、的確な試料の光励振機能を有するヘテロダインレーザドップラー干渉計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】

【0005】

本発明は、上記目的を達成するために、

〔1〕試料の光励振機能を有するヘテロダインレーザドップラー干渉計において、このヘテロダインレーザドップラー干渉計の出力信号を用いて前記試料に変調された光を照射し、この照射光により試料の振動を励起し、前記試料の周波数特性や機械的特性を計測することを特徴とする。

【0006】

〔2〕上記〔1〕記載の試料の光励振機能を有するヘテロダインレーザドップラー干渉計において、前記ヘテロダインレーザドップラー干渉計をループに含む試料の自励ループを構成することを特徴とする。

【0007】

〔3〕上記〔1〕記載の試料の光励振機能を有するヘテロダインレーザドップラー干渉計において、ネットワークアナライザにより周波数を掃引した信号を用いて光を変調し、この光を用いて試料の振動を励起し、前記試料の振動を同時に観察している前記ヘテロダインレーザドップラー干渉計の出力を前記ネットワークアナライザの信号入力に接続することによって、前記試料の周波数特性を計測することを特徴とする。

【0008】

〔4〕上記〔1〕記載の試料の光励振機能を有するヘテロダインレーザドップラー干渉計において、前記振動励起のための光を、前記ヘテロダインレーザドップラー干渉計の計測光に重畳することにより、一本の光路により振動計測と振動励振を行なうことを特徴とする。

【0009】

〔5〕上記〔1〕又は〔2〕記載の試料の光励振機能を有するヘテロダインレーザドップラー干渉計において、カンチレバーの固有振動数の自励を実現し、それにより前記カンチレバー先端と試料の相互作用や、前記カンチレバー先端に付着した質量の変化を、自励振動周波数の変化や、自励振動振幅、位相の変化として検出することを特徴とする。

【0010】

〔6〕試料の光励振機能を有するヘテロダインレーザドップラー干渉計において、ヘテロダインレーザドップラー干渉計測定光出射部と試料の間に光を透過する基板を配置し、ヘテロダインレーザドップラー計測定光と試料のなす微小キャビティを用いて一定光励振を行い、同時にヘテロダインレーザドップラー計測を行うことを特徴とする。

【発明の効果】

【0011】

本発明によれば、以下のような効果を奏することができる。

【0012】

(A) 高周波帯域において、試料としての3次元構造物の周波数特性の正確な評価を行うことができる。

【0013】

(B) 励振と検出をともに光で行うことにより、装置の機械部分の単純化、小型化とそれに伴う信頼性の向上と装置の高清浄化を図ることができる。

【0014】

(C) 励振と検出をともに光で行うことにより、試料に光を当てるだけで計測が可能となるため、高い時間効率で多数の試料の評価が可能となる。

【0015】

(D) 励振と検出をともに光で行うことにより、超高真空、極低温等の特殊環境に於いて、装置の単純化、小型化と高清浄化を図ることができる。

【0016】

10

20

30

40

50

(E) ヘテロダイナミックレーザー干渉計の計測光を試料に照射する際、試料がある光学面と干渉キャビティを生じるように配置することにより、試料の固有振動数で自励させ、前記ヘテロダイナミックレーザー干渉計を用いてその振幅や速度、周波数を計測することができる。

【発明を実施するための最良の形態】

【0017】

本発明の試料の光励振機能を有するヘテロダイナミックレーザー干渉計は、このヘテロダイナミックレーザー干渉計の出力信号を用いて前記試料に変調された光を照射し、この照射光により試料の振動を励起し、前記試料の周波数特性や機械的特性を計測する。よって、高周波帯域において、励振と計測の混信無く、試料としての3次元構造物の周波数特性の正確な評価を行うことができる。

10

【実施例】

【0018】

以下、本発明の実施の形態について詳細に説明する。

【0019】

図1は本発明の参考例(その1)を示すナノカンチレバーアレイの模式図である。

【0020】

この図において、1は試料(基板)、2はその基板1の摺動面、3はナノカンチレバーアレイ、4は多数のコンプライアントなナノカンチレバー(振動子)、5はナノカンチレバーアレイ3の摺動方向である。

20

【0021】

このように、多数のコンプライアントなカンチレバー4からなるナノカンチレバーアレイ3を用いて摺動方向5に作用させると、摺動面2で磨耗条件に極めて達しにくい条件が実現できる。

【0022】

図2は本発明の参考例(その2)を示すナノカンチレバーアレイの模式図である。

【0023】

この図において、11は試料(基板)、12は基板11の表面、13は基板11の表面12に密に配置したナノカンチレバーアレイ、14はカンチレバー(振動子)、15は表面弾性波の伝搬方向、16はカンチレバー14の振動方向である。

30

【0024】

このように、カンチレバー14を基板11の表面12に密に配置し、その基板11に表面弾性波を伝搬させる。ナノカンチレバーアレイ13は真空中で10,000程度のQ値を有するため、振幅が数nmの表面弾性波はカンチレバー(振動子)14のQ値によって増幅される。

【0025】

この現象を用いて、アクチュエータや、光変調素子の効率を向上させることが可能である。

【0026】

なお、カンチレバーの形状や、支持部に対する対称性、非対称性は目的に応じて変えることができる。

40

【0027】

図3は本発明の参考例(その3)を示す固有振動数が異なる様に形成されたナノカンチレバーアレイの模式図である。

【0028】

この図において、21は試料(基板)、22は基板上面、23はカンチレバーアレイ、24A~24Eはカンチレバー、25は探針質量、26は試料、27はカンチレバーの振動方向である。

【0029】

この参考例(その3)では、カンチレバーアレイ23において、カンチレバーの固有振

50

動数が異なる様にカンチレバー 24A ~ 24E を作製する。つまり、カンチレバー 24A は最も固有振動数の高いカンチレバー（探針質量小）、カンチレバー 24E は最も固有振動数の低いカンチレバー（探針質量大）である。カンチレバー 24A ~ 24E の固有振動数を互いに異なったものにするには、カンチレバーの質量となる探針の大きさを変えるか、カンチレバーの長さを変える。探針の大きさを変えるには、SOI 基板のトップシリコン層の厚さに勾配をあらかじめ持たせる。カンチレバーの長さを変えるには、マスクのピッチに勾配を持たせるなどの方法がある。

【0030】

カンチレバーアレイ 23 に特定の試料 26 を固定し、スペクトロスコピーを行うことが可能になる。つまり、試料 26 の持つ、特定の周波数特性に最も近い固有振動数を有するカンチレバー 24A ~ 24E のいずれかが反応し、カンチレバーの振動振幅として検出される。

10

【0031】

なお、単結晶シリコンを用いたカンチレバーの作製方法を用いると、数センチメートル平方のチップ上に数 100 万から数億個のカンチレバーの一括作製が可能となる。

【0032】

また、多数のカンチレバーを観察対象とする周波数帯に設けることにより、細かい周波数間隔でのスペクトロスコピーが可能となる。

【0033】

図 4 は本発明の参考例（その 4）を示す単結晶シリコンから作製したカンチレバーアレイを示す図であり、図 4（a）はそのカンチレバーアレイの斜視図、図 4（b）はその拡大斜視図である。

20

【0034】

これらの図において、31 はベース基板、32 はカンチレバーアレイ、33 は対向する探針、34, 35 は電極、36 は電源である。

【0035】

単結晶シリコンから作製したカンチレバーアレイ 32 の各列の電位を制御し、対向する探針 33 間に高電界を生じさせる。それにより、液中の電気泳動や、気体中での電界を用いたカーボンナノチューブ等ウイスカ結晶の方向性を指定した成長制御が可能となる。

【0036】

今までは、微小針状試料の成長箇所と方向の制御が困難であったが、対向するカンチレバーアレイ 32 の各列の電位を制御することにより、その問題を解決する。しかも、カンチレバーアレイ 32 では数 100 万から数億個のカンチレバーを一括で作製可能であるため、針状微小試料の一括作製も可能となる。単結晶シリコンカンチレバーアレイは各カンチレバーの列ごとにベース基板 31 のシリコンから酸化シリコンの層で電氣的に絶縁されている。そのために、列ごとに電位を外部から配線や電荷照射により与えることが可能である。

30

【0037】

図 5 は本発明の参考例（その 5）を示す針状結晶の成長の方法の説明図である。

【0038】

この図において、41 はチャンバ、42 はガス導入口、43 はガス排気口、44 は基板、45 は基板 44 の上面、46 は単結晶シリコンカンチレバーアレイ、47 は針状結晶成長箇所、48 は平板電極、49 は交流電源、50 はリード線である。

40

【0039】

単結晶シリコンカンチレバーアレイ 46 の面と対向する形で平板電極 48 を配置し、各探針先端に電界集中を生じさせ、基板 44 の法線方向に針状結晶の成長を行う。

【0040】

図 6 は本発明の参考例（その 6）を示す自走式走査型プローブ顕微鏡の模式図である。

【0041】

この図において、51 は試料、52 はその試料 51 の摺動面、53 はプローブ（ナノカ

50

ンチレバーアレイ)、54は多数のコンプライアントなナノカンチレバー(振動子)、55は試料51の摺動方向である。

【0042】

この参考例(その6)は、自走式走査型プローブ顕微鏡や案内機構として構成したものであり、図1にも示したように、各プローブ53は各カンチレバー54を有するチップの自重を分担して受け持ち、かつ、各プローブ53での面圧がある範囲内に収まるように受動的に制御している。そのため、探針法線方向に能動制御を行わなくても数10nN以下の力で走査が行える自走式走査型プローブ顕微鏡が実現できる。

【0043】

カンチレバー54の変位計測は、カンチレバーアレイ53のうち的一本、数本、もしくはすべてを対象とする。 10

【0044】

なお、自走のために、基板とカンチレバー54の間に光の定在波を発生させ、各カンチレバーにその構造から生じる摺動方向55に異方性のある振動を生じさせる方法が用いられる。

【0045】

もしくは、試料51やカンチレバーアレイ53に表面弾性波を発生させ、カンチレバーアレイ53の変位を生じさせる方法がある。

【0046】

図7は本発明の参考例(その7)を示す走査型プローブ顕微鏡や物質又は質量センサの模式図である。 20

【0047】

この図において、61は試料、62はその試料61の表面、63はプローブ(ナノカンチレバーアレイ)、64は多数のコンプライアントなナノカンチレバー(振動子)、65は反射防止膜、66はビームスプリッタやハーフミラー、67は光てこ入射光、68は反射光、69は結像レンズ、70はCCDカメラ等の撮像装置(撮像素子)、60は試料61の摺動方向である。

【0048】

この参考例(その7)では、光てこ入射光67をプローブ63に入射して、ナノカンチレバー64の変位により、試料61の表面62の微小凹凸としての反射光68が結像レンズ69を介して撮像装置70に取り込まれる。 30

【0049】

すなわち、カンチレバー64を結像レンズ69とCCDカメラ等の撮像装置70を用いて観察し、カンチレバー64に光てこ入射光67を照射する。各カンチレバー64の姿勢に応じて反射光68が撮像装置70に入射する。カンチレバー64の角度変位によって、試料61の表面62の微小な凹凸が輝度変化としてCCD等の撮像装置70に変換される。

【0050】

カンチレバー64のピッチをカバーするに足る範囲で試料61を面内走査することにより、試料61の表面62全体の観察が可能になる。 40

【0051】

このように、光てこ入射光による多数のカンチレバーを用いた試料の表面全体の観察を行うことができる。

【0052】

図8は本発明の参考例(その8)を示す走査型プローブ顕微鏡や物質センサ、質量センサの模式図である。

【0053】

この図において、71は試料、72はその試料71の表面、73はプローブ(ナノカンチレバーアレイ)の微小干渉キャビティ、74は多数のコンプライアントなナノカンチレバー(振動子)、75は基準面、76はビームスプリッタやハーフミラー、77は入射光 50

、 78 は反射光、 79 は結像レンズ、 80 は CCD カメラ等の撮像装置（撮像素子）である。

【 0054 】

このように、カンチレバー 74 を結像レンズ 79 と CCD カメラ等の撮像装置 80 を用いて観察し、カンチレバー 74 に光を照射する。各カンチレバー 74 が基準面 75 となすマイクロキャピティ長に応じた干渉輝度が撮像装置 80 に入射する。

【 0055 】

このように、カンチレバー 74 のピッチをカバーするに足る範囲で試料 71 を面内走査することにより、試料 71 の表面 72 全体の観察が可能になる。

【 0056 】

この参考例（その 8）では、光干渉計により多数のカンチレバーの変位を検知する走査型プローブ顕微鏡や物質センサ、質量センサを構築することができる。

【 0057 】

また、本発明の参考例（その 9）として、光干渉計により多数のカンチレバーの変位を検出する場合に、光でこ以外に起因する干渉を低減する方法として、光源として SLD（スーパーluminescent diode）等の低コヒーレンス光源や、白色光源を用い、干渉の生じる位置の範囲を制限し、寄生干渉の影響を低減する方法がある。

【 0058 】

図 9 は本発明の参考例（その 10）を示すヘテロダインレーザドップラー計を用いた走査型力顕微鏡や物質センサ、質量センサ（その 1）の模式図である。

【 0059 】

この図において、90 は光ファイバ、91 はレーザ出射部、92 は 1/4 波長板、93 はハーフミラー、94 は対物レンズ、95 は試料 96 の x y z ピエゾスキャナー、96 は試料、97 はカンチレバー、98 はミラー、99 は結像レンズ、100 は x y ステージ、101 は CCD カメラ等の撮像装置（撮像素子）、102 は光学系ユニット、103 はその光学系ユニット 102 の x y z 位置決め機構、104 は AFM ベースプレート、105 は真空チャンバ隔壁、106 はステージ支持バネである。

【 0060 】

図 10 は本発明の参考例（その 11）を示すヘテロダインレーザドップラー計を用いた走査型力顕微鏡や物質センサ、質量センサ（その 2）の模式図である。

【 0061 】

この図において、110 は真空チャンバ、111 は光半導体装置、112 は電極、113 はその電極 112 へ電力を供給するためのリード線、114 は試料の x y z ピエゾスキャナー、115 は試料、116 はカンチレバー、117 は対物レンズ、118 は反射光、119 は結像レンズ、120 は x y ステージ、121 は CCD カメラ等の撮像装置（撮像素子）である。

【 0062 】

図 11 は本発明の参考例（その 12）を示すヘテロダインレーザドップラー計を用いた走査型力顕微鏡や物質センサや質量センサ（その 3）の模式図である。

【 0063 】

この図において、122 は試料準備用真空チャンバ、123 ~ 125 は試料、カンチレバー搬送棒、126 は光ファイバ、127 は光学系ユニット、128 はレーザ出射部、129 はビームスプリッタ、130 は試料、131 はカンチレバー、132 は CCD カメラ等の撮像装置（撮像素子）である。

【 0064 】

図 12 は本発明の参考例（その 13）を示すヘテロダインレーザドップラー計を用いた走査型力顕微鏡や物質センサ、質量センサ（その 4）の模式図である。

【 0065 】

この図において、133 は試料準備用真空チャンバ、134 , 135 は試料、カンチレバー搬送棒、136 は試料観察用真空チャンバ、137 は光ファイバ、138 はカンチレ

10

20

30

40

50

バー検出光学系、139はレーザ出射部xyzステージ、140はヘテロダインレーザドップラー出射部、141は試料xyzステージ、142は試料、143はカンチレバー、144はCCDカメラ等の撮像装置(撮像素子)である。図9~図12に示したように、ヘテロダインレーザドップラー計を用いてカンチレバーの振動検出と制御を行い、走査型力顕微鏡や物質センサや質量センサを構成することができる。つまり、ヘテロダインレーザドップラー計をカンチレバーの振動検出と制御に用いることができる。

【0066】

従来広く用いられている光てこ機構は、レーザスポットを小さくすると検出分解能が低下する。ヘテロダインレーザドップラー計では、1ミクロンオーダーにレーザスポット径を小さくすることが可能で、かつ、原理的に、光てこ計のように、スポット径を小さくすることが検出感度を劣化させることにならない。

10

【0067】

光てこ機構や、ホモダイン干渉計では、検出信号の周波数が高くなることは、 $1/f$ ノイズの低下以外にはSN比改善の点で利点とならない。これに対して、ヘテロダインレーザドップラー計の信号はドップラー効果により速度を検出するため、被測定対象の速度や振動周波数が高くなるほど信号強度が高くなる。

【0068】

そのため、固有振動数の高い小型カンチレバーの振動検出と制御にヘテロダインレーザドップラー計を用いることができるという利点がある。すなわち、ヘテロダイン計測を行うことにより、よりSN比の高い検出と制御が可能となる。

20

【0069】

上記した参考例(その10~13)は、カンチレバーのねじれを計測することにも応用可能であり、堅いカンチレバーの、周波数の高いねじれ固有振動を検出し、探針の試料面内振動振幅の計測に応用可能である。

【0070】

図13は本発明の参考例(その14)を示す光学顕微鏡をヘテロダインレーザドップラー計式カンチレバー検出光学系と同軸に持つ走査型力顕微鏡や物質センサ、質量センサの模式図である。

【0071】

この図において、151はレーザ出射部、152は $1/4$ 波長板、153はダイクロイックミラー、154は対物レンズ、155はカンチレバー、156は結像レンズ、157はCCDカメラ等の撮像装置(撮像素子)である。

30

【0072】

このように、光学顕微鏡を同軸に持つレーザヘテロダイン干渉計を用いることによって、光学顕微鏡の視覚情報を用いて微小振動子上にレーザスポットを位置決めすることが可能となる。

【0073】

図14は本発明の参考例(その15)を示すカンチレバーの励振装置の構成図である。

【0074】

この図に示すように、ここでは、上記参考例(その14)における、結像レンズ156、CCD157とダイクロイックミラー153を除去した構成とする。

40

【0075】

次に、本発明の参考例(その16)、参考例(その17)について説明する。

【0076】

従来の光ファイバ式干渉計では、632nm程度の赤色レーザを用いた場合、コアが4 μ m、クラディングが125 μ mの光ファイバを切断したものをカンチレバーから数 μ mのところを位置決めさせ、ホモダイン干渉計測を行っていた。この場合、以下の点が問題となっていた。

【0077】

(1) 4 μ mより小さい試料へ光を照射した場合、損失が大きい。

50

【0078】

(2) 125 μmのクラディングが大きいため、100 μmより小さなカンチレバーの場合、カンチレバーのベース部とクラディングの位置的干渉が生じやすい。

【0079】

(3) 光ファイバ端面での屈折率の変化により生じる、全光量の4%程度の反射光をホモダイン計測の基準光としているため、干渉の信号強度が小さい。

【0080】

(4) カンチレバーと光ファイバとの距離が自由に選べない。

【0081】

そこで、上記の問題を解消するために、以下のように構成する。

10

【0082】

図15は本発明の参考例(その16)を示す微小カンチレバー用光ファイバ式ホモダインレーザ干渉計の構成図である。

【0083】

この図において、160は光ファイバ、161は第1の支持部材、162はレーザ出射部、163はビームスプリッタ、164は第2の支持部材、165はミラー位置決め機構、166は基準ミラー、167は対物レンズ、168はカンチレバー支持部材、169はカンチレバーである。

【0084】

光ファイバ160を用いることにより、真空環境、低温環境への光の導入、光計測を容易にするとともに、光ファイバ160の計測側の端部にコリメートレンズ(図示なし)、ビームスプリッタ163、基準ミラー166、対物レンズ167等を配置し、ミクロン大のレーザの焦点を1mm以上離れた位置に配置する。

20

【0085】

これにより、従来の光ファイバコアを直接カンチレバーに対向させる方法と比べて、よりミクロン大のカンチレバー169の変位や振動周波数の計測を可能とし、より強い参照光を用いた干渉計測を可能とすることができる。また、より高い信号対雑音比を実現し、より高い空間設計の自由度を与えることができる。

【0086】

このように構成することにより、上記の問題点(1)~(4)すべてを解決することができる。

30

【0087】

また、微小カンチレバー用光ファイバはホモダインレーザ干渉計において、カンチレバーや試料の像を観察する必要がある場合は、以下のような構成とする。

【0088】

図16は本発明の参考例(その17)を示すカンチレバーや試料の像を観察するための微小カンチレバー用光ファイバ式ホモダインレーザ干渉計の構成図である。

【0089】

この図において、170は光ファイバ、171はレーザ出射部、172はダイクロイックミラー、173は第1の支持部材、174はビームスプリッタ、175は第2の支持部材、176はミラー位置決め機構、177は基準ミラー、178は対物レンズ、179はカンチレバー支持部材、180はカンチレバー、181はカメラである。

40

【0090】

このように、ダイクロイックミラー172を用いて測定光を導入し、ダイクロイックミラー172を透過する光を用いてカメラ181により像観察を行う。

【0091】

これらの方法において、測定光と異なる波長の光を変調してカンチレバーの加振を行うことが可能である。

【0092】

次に、本発明の第1実施例について説明する。

50

【0093】

従来、 piezo素子によって励振可能な周波数は、素子の厚さ、素子中の音速、温度、素子の構造等の影響を受け、 piezo素子自身が固有の周波数特性を持つ。この問題点は、励起しようとする周波数が MHz 程度以上になるとより顕著となる。

【0094】

例えば、 50 μm の厚さの piezo素子に電極と絶縁板を接着した素子で励振可能な振動は、数 MHz 程度までで、それ以上は離散的な周波数でしか励振可能でない。

【0095】

この問題点のため、 MHz 以上の帯域で、 piezo素子などを用いて試料の振動励起を行い、試料の周波数特性の計測を行なう場合、試料の周波数特性に piezo素子の周波数特性が重畳し、試料の周波数特性の評価を困難、もしくは不可能にしていた。更に、高周波になるほど、 piezo素子への試料の固定方法や接着の善し悪しによる測定結果の差が生じ、試料の特性の評価をより困難にしていた。

10

【0096】

同様に、 piezo素子などを用いて、走査型プローブ顕微鏡の力検出用カンチレバーの振動励振を行なう場合、 MHz 以上の帯域でカンチレバー固有振動数の高周波化が進むと、励振がより困難になる。その原因としては、カンチレバーの励振を行う場合も、 piezo素子とカンチレバーの固定方法により、励振特性の測定結果や測定効率に差が生じることが考えられる。また、真空中で励振を行う場合、カンチレバー支持部材に振動励起用 piezo素子を設け、この piezo素子への配線を行う必要があり、装置を複雑にしていた。

20

【0097】

その結果、装置の信頼性の低下、真空度の劣化、走査型プローブ顕微鏡の大型化、高温加熱が困難、等の問題を招いていた。

【0098】

この第1実施例では、上記状況に鑑みて、高周波領域や真空環境における測定、また、小型化、高信頼化を可能にする試料の光励振機能を有するヘテロダインレーザドップラー干渉計を提供する。

【0099】

図17は、本発明の第1実施例を示す、試料の光励振機能を有するヘテロダインレーザドップラー干渉計を用いた試料の特性の測定装置の構成図である。

30

【0100】

この図において、この実施例の試料の特性の測定装置は、光学的励起部200、信号処理部300、ヘテロダインレーザドップラー干渉部400、AFM(原子力顕微鏡)試料ステージ制御部500、ネットワークアナライザ600からなる。

【0101】

光学的励起部200は、レーザダイオード(LD)ドライバー201、そのLDドライバー201によって駆動されるレーザダイオード(LD)202、ミラー203からなる。

【0102】

また、信号処理部300は、第1スイッチ(sw1)301、第2スイッチ(sw2)302、ディジタイザ303、位相シフター304、フィルター305、増幅器306からなる。

40

【0103】

ヘテロダインレーザドップラー干渉部400は、He-Neレーザ401、第1のPBS(ポラライジングビームスプリッタ)402、第2のPBS403、合波器404、レンズ405、偏波面保存ファイバ406、センサヘッド(レーザ出射部)407(レンズ- / 4波長板- レンズ組み立て体)、ナノカンチレバー408、探針(プローブ)408A、ミラー409、AOM(音響・光変調器)410、 / 2波長板411、第3のPBS412、偏光子413、ホトダイオード414、BPF(バンドパスフィルタ)415、アンプ416, 418, 423、ディジタイザ417, 419、遅延ライン420

50

、DBM (Double Balanced Mixer ; ダブルバランスドミキサ) 421、LPF (ローパスフィルタ) 422 からなる。

【0104】

さらに、AFM 試料ステージ制御部 500 は、LO (ローカルオシレータ) に接続される DBM 501、コントローラ 502、試料 503、その試料 503 の piezo 素子 504 からなる。

【0105】

ネットワークアナライザ 600 は、信号入力端子 601、評価出力端子 602 を有している。

【0106】

そこで、この第 1 実施例では、例えば、780 nm の波長を有するレーザダイオード (LD) 202 の出力光を、632 nm の波長を有する He - Ne (ヘリウム - ネオン) レーザ 401 のヘテロダインレーザドップラー干渉計の計測光に重畳させ、それを 4 μm コアの偏波面保存ファイバ 406 に導入し、レーザ出射部 407 を経て試料 503 に照射する。ただし、波長は、上記に限定されない。

【0107】

計測方法によって以下の使い方ができる。

【0108】

(1) ヘテロダインレーザドップラー干渉部 400 の出力信号を移相、増幅、場合によってはフィルタリングや 2 値化し、その信号を用いて 780 nm の波長を有するレーザダイオード 202 の変調を行う。これにより、試料 503 の固有振動数において自励を生じさせることが可能となる。つまり、フィルター特性を選択することにより、特定の振動モードを励振することが可能となり、ナノメートルオーダからマイクロメートルオーダの試料としての 3 次元構造物の自励を実現することが可能となる。

【0109】

また、走査型プローブ顕微鏡の力検出素子であるカンチレバー 408 に光を照射することにより、カンチレバー 408 の自励を生じさせ、自励周波数の変化からカンチレバー 408 先端に配置した探針 408 A と試料 503 の相互作用や質量変化を検出することが可能となる。

【0110】

(2) ネットワークアナライザ 600 で周波数を掃引した信号を発生させ、その信号を用いて 780 nm の波長を有するレーザダイオード 202 の変調を行う。ヘテロダインレーザドップラー干渉部 400 の出力信号をネットワークアナライザ 600 の信号入力端子 601 に接続する。これにより、試料 503 の周波数特性を、ネットワークアナライザ 600 と、光励振機能を有するヘテロダインレーザドップラー干渉部 400 を用いて計測することが可能となる。

【0111】

なお、計測光と振動励起光は重畳させて同一の光学系を用いることも、異なる光路を用いて試料に照射させることも可能である。

【0112】

また、ヘテロダインレーザドップラー干渉部 400 の光計測プローブ光 401 にカンチレバー 408 の振動を励振するための LD 202 で発生した光を重畳させる。その際、励振のための光は、ヘテロダインレーザドップラー干渉部 400 の速度信号出力に移相、2 値化、増幅等の処理を行い、その信号を用いてレーザダイオード 202 等の光源の変調を行ったものか、発信器によって指定された周波数、もしくは掃引された周波数で変調したものをを用いる。

【0113】

以上により、ヘテロダインレーザドップラー干渉計で計測しようとするカンチレバー 408 に固有の振動が励起され、カンチレバー 408 の周波数特性の計測や、振動を応用した計測や加工が可能となる。

10

20

30

40

50

【0114】

次に、本発明の第2実施例について説明する。

【0115】

従来、ヘテロダインレーザドップラー干渉計で試料の振動特性の評価を行う場合、試料にピエゾ素子を貼り付け加振するか、試料に変調された光を照射する必要があった。図18は本発明の第2実施例を示す試料の周波数特性の測定装置の模式図である。

【0116】

この図において、701はレーザ、702はレンズ、703はそのレンズ支持部、704は干渉キャビティ(空隙)、705は試料、706は試料支持部である。

【0117】

ここでは、ヘテロダインレーザドップラー干渉計の、一定光量の測定光であるレーザ701と、試料705がその一端をなす干渉キャビティ704を用いることにより、試料705をその固有振動数で自励させ、ヘテロダインレーザドップラー干渉計を用いてその振幅や速度、周波数を計測する。

【0118】

ヘテロダインレーザドップラー干渉計の計測光を試料705に照射する際、試料705がある光学面と干渉キャビティ704を生じるようにする。ヘテロダインレーザドップラー干渉計の1/2波長の整数倍に干渉キャビティ704がなった場合、試料705の振動が生じる。その振動は試料705の固有振動数と一致している。この振動はヘテロダインレーザドップラー干渉計によって計測される。

【0119】

この振動機能を用いることにより、光励振用の変調された光を用いなくても試料の振動励振が可能となる。

【0120】

以下、本発明の参考例(その18)について説明する。

【0121】

従来、3次元のナノ・マイクロ構造物を振動させ、それをセンサーやアクチュエータとして用いる場合、ピエゾ素子や表面弾性波素子が用いられてきた。

【0122】

本発明の実施例では、光を用いた励振機能を、振動性を有する構造体に適応し、アクチュエーション、加工、センシングを行うものである。なお、干渉によって光の定在波が生じる様な構造体で、その一部が振動性を有する場合、自励を生じることや、強度変調された光により振動を生じることが、以下の論文等で既に知られている。

【0123】

(1) "Optically activated vibrations in a micromachined silica structure", S. Venkatesh, Electron letters, 21 315 (1985).

(2) "Optical activation of a silicon vibrating sensor", M. V. Andres, K. W. H. Foulds, M. J. Tudor, Electronics Letters 22, 1099, (1986).

(3) "Self-excited vibration of a self-supporting thin film caused by laser irradiation", K. Hane, K. Suzuki, Sensors and Actuators A51, 179-182 (1996).

シリコンマイクロマシン技術により、近年、100万本/cm²以上の高密度でカンチレバーアレイを作製することが可能になり、それを用いた計測、加工、アクチュエーションが期待されている。しかし、アレイ中の特定のカンチレバーの集合の励振や、すべてのカンチレバーの励振方法はまだ確立されていない。

【0124】

10

20

30

40

50

ここでは、光励振による励振方法をカンチレバーアレイに適應させる方法、それにより新しい機能を実現することに関する。以下に、順次説明する。

【0125】

図19は本発明の参考例(その18)を示すカンチレバーの励振方法の説明図である。

【0126】

この図において、800は基板、801は干渉キャビティ、802は基板800上に形成されたそれぞれ干渉キャビティ801を有する複数個の探針付きカンチレバー、803はそれらのカンチレバー802によって構成されるカンチレバーアレイ、804はレーザー光である。

【0127】

ここでは、カンチレバーアレイ803と基板800の間に存在する干渉キャビティ(空隙)801の間隔(干渉キャビティ長)を、光励振に用いる波長の整数倍に選び、基板800背面から一定光量の振動励起光であるレーザー光804を照射する。干渉キャビティ(空隙)801に存在する光の定在波と、光によるカンチレバー802の特性変化によりカンチレバー802が自励を生じる。カンチレバーアレイ803を構成するカンチレバー802の固有振動数が同一でなくても、各々のカンチレバー802はその固有振動数において自励を生じる。各カンチレバーの振動の計測には、振動により変調された光を直接計測することも、ヘテロダインレーザードップラー計を用いることもできる。

【0128】

図20は本発明の参考例(その19)を示すカンチレバーの励振方法の説明図である。

【0129】

この図において、800は基板、815, 816, 817, 818はその基板800上に形成された、それぞれ干渉キャビティ811, 812, 813, 814を有する探針付きカンチレバー、819はそれらのカンチレバー815, 816, 817, 818によって構成されるカンチレバーアレイ、820は一定光量のレーザー光(波長)である。

【0130】

ここでは、カンチレバーアレイ819において、カンチレバーの集合815, 816, 817, 818ごとに、基板800となす干渉キャビティ(空隙)811, 812, 813, 814の間隔空隙を変える。それにより、振動励振光の波長を選ぶことができ、意図したカンチレバーの集合のみを励振させることが可能となる。各カンチレバーの振動の計測には、振動により変調された光を直接計測することも、ヘテロダインレーザードップラー計を用いることもできる。

【0131】

図21は本発明の参考例(その20)を示すカンチレバーの励振方法の説明図である。

【0132】

この図において、800は基板、832はその基板800上に形成された干渉キャビティ831を有する探針付きカンチレバー、833はそれらのカンチレバー832によって構成されるカンチレバーアレイ、834は強度変調されたレーザー光である。

【0133】

ここでは、カンチレバーアレイ833の基板800の背面から光量変調された振動励振光であるレーザー光834を照射する。光量変調の周波数と固有振動数の一致したカンチレバー832が励振される。これにより、特定のカンチレバーの集合を選択的に励振することが可能となる。各カンチレバーの振動の計測には、振動により変調された光を直接計測することも、ヘテロダインレーザードップラー計を用いることもできる。

【0134】

図22は本発明の参考例(その21)を示すカンチレバーの励振方法の説明図である。

【0135】

この図において、800は基板、842はその基板800上に形成された干渉キャビティ841を有する探針付きカンチレバー、843はそれらのカンチレバー842によって構成されるカンチレバーアレイ、844は強度一定のレーザー光(波長)、845は探針

10

20

30

40

50

先端の軌跡、846はスライダー、847はスライダー846の変位方向である。

【0136】

ここでは、一平方センチメートルあたり100万本の探針付きカンチレバー842を有する基板800の自重は約0.1gであるため、すべての探針で自重を支えた場合、個々の探針は1nNの荷重を受け持つことになる。この状態において、光励振を行うと、カンチレバー842の振動が励起される。探針先端が楕円振動を描くような異方性を有すると、振動の励起に伴ってカンチレバーアレイ843を有する基板800が面内方向に変位する。

【0137】

また、探針を上に向け、その上に物体であるスライダー846をおいた場合、そのスライダー846が変位させられる。すべての探針が同時にスライダー846に接触すると、スライダー846のQ値が下がり、振動体に十分な振動エネルギーが蓄えられない場合は、探針の高さを不均一にするなどして、探針とスライダー846との接触する頻度が小さくなるように設計する。

【0138】

図23は本発明の参考例(その22)を示すカンチレバーの励振方法の説明図である。

【0139】

この図において、800は基板、855, 856, 857, 858はその基板800上に形成された干渉キャビティ851, 852, 853, 854を有するカンチレバー(855は反応膜a付きカンチレバー、856は反応膜b付きカンチレバー、857は反応膜c付きカンチレバー、858は反応膜d付きカンチレバー)、859はそれらのカンチレバーによって構成されるカンチレバーアレイ、860は一定光量のレーザー光(波長)である。

【0140】

ここでは、カンチレバーの集合に特定の薄膜を塗布し、特定の物質と反応するようにしておく。特定の物質の有無を調べる場合、上記した方法により、そのカンチレバーの集合が振動励起されるような振動周波数、もしくは光の波長を選ぶ。それにより、カンチレバーアレイ859の中の特定のカンチレバーの集合のみを用いて計測を行うことが可能となる。各カンチレバーの振動の計測には、振動により変調された光を直接計測することも、ヘテロダインレーザドップラー計を用いることもできる。

【0141】

図24は本発明の参考例(その23)を示すカンチレバーの励振方法の説明図である。

【0142】

この図において、800は基板、862, 863, 864, 865, 866はその基板800上に形成された干渉キャビティ861を有する固有振動数のそれぞれ異なるカンチレバー、867はそれらのカンチレバーによって構成されるカンチレバーアレイ、868は基板800の背面から照射される強度一定のレーザー光(波長)、869は異なる強度変調周波数を有するレーザー光(波長)である。

【0143】

ここでは、カンチレバーアレイ867に強度一定のレーザー光868を照射し、それによりカンチレバー862, 863, 864, 865, 866の振動を励起し、それにより干渉キャビティ861の間隔をある周波数で変化させ、それにより反射光や透過光の光量を同一の周波数で変調させる。異なる固有振動数を有するカンチレバーの集合からなるカンチレバーアレイ867に強度一定のレーザー光868を照射すると、複数の変調周波数で変調された光869を反射光や透過光として得ることができる。各カンチレバーの振動の計測には、振動により変調された光を直接計測することも、ヘテロダインレーザドップラー計を用いることもできる。

【0144】

図25は本発明の参考例(その24)を示すカンチレバーの励振方法の説明図である。

【0145】

10

20

30

40

50

この図において、800は基板、872, 873, 874, 875, 876はその基板800上に形成された干渉キャビティ871を有する固有振動数のそれぞれ異なるカンチレバー、877はそれらのカンチレバーによって構成されるカンチレバーアレイ、878は基板800の背面から照射される強度一定のレーザ光(波長)、879は基板800の斜め上方から照射される一定波長の入射光、880は異なる周波数を有するレーザ光(波長 $\lambda_1, \lambda_2, \dots, \lambda_5$)である。

【0146】

ここでは、カンチレバーアレイ877に強度一定のレーザ光878を照射し、それによりカンチレバー877面上に波を発生させ、それにより反射光や透過光の周波数を変調させる。各カンチレバーの振動の計測には、振動により変調された光を直接計測することも、ヘテロダインレーザドップラー計を用いることもできる。

10

【0147】

なお、光音響変調を生じさせる構造はカンチレバーに限られず、両端支持梁などの振動性構造体を含むことができる。

【0148】

なお、本発明は上記実施例に限定されるものではなく、本発明の趣旨に基づき種々の変形が可能であり、これらを本発明の範囲から排除するものではない。

【産業上の利用可能性】

【0149】

本発明のレーザドップラー干渉計は、構成が簡単で、的確な試料の光励振機能を有するレーザドップラー干渉計として利用可能である。

20

【図面の簡単な説明】

【0150】

【図1】本発明の参考例(その1)を示すナノカンチレバーアレイの模式図である。

【図2】本発明の参考例(その2)を示すナノカンチレバーアレイの模式図である。

【図3】本発明の参考例(その3)を示す固有振動数が異なる様に形成されたナノカンチレバーアレイの模式図である。

【図4】本発明の参考例(その4)を示す単結晶シリコンから作製したカンチレバーアレイを示す図である。

【図5】本発明の参考例(その5)を示す針状結晶の成長の方法の説明図である。

30

【図6】本発明の参考例(その6)を示す自走式走査型プローブ顕微鏡の模式図である。

【図7】本発明の参考例(その7)を示す走査型プローブ顕微鏡や物質又は質量センサの模式図である。

【図8】本発明の参考例(その8)を示す走査型プローブ顕微鏡や物質センサ、質量センサの模式図である。

【図9】本発明の参考例(その10)を示すヘテロダインレーザドップラー計を用いた走査型力顕微鏡や物質センサ、質量センサ(その1)の模式図である。

【図10】本発明の参考例(その11)を示すヘテロダインレーザドップラー計を用いた走査型力顕微鏡や物質センサ、質量センサ(その2)の模式図である。

【図11】本発明の参考例(その12)を示すヘテロダインレーザドップラー計を用いた走査型力顕微鏡や物質センサや質量センサ(その3)の模式図である。

40

【図12】本発明の参考例(その13)を示すヘテロダインレーザドップラー計を用いた走査型力顕微鏡や物質センサ、質量センサ(その4)の模式図である。

【図13】本発明の参考例(その14)を示す光学顕微鏡をカンチレバー検出光学系と同軸に持つ走査型力顕微鏡や物質センサ、質量センサの模式図である。

【図14】本発明の参考例(その15)を示すカンチレバーの励振装置の構成図である。

【図15】本発明の参考例(その16)を示す微小カンチレバー用光ファイバ式ホモダインレーザ干渉計の構成図である。

【図16】本発明の参考例(その17)を示すカンチレバーや試料の像を観察するための微小カンチレバー用光ファイバ式ホモダインレーザ干渉計の構成図である。

50

【図17】本発明の第1実施例を示す、試料の光励振機能を有するヘテロダインレーザドップラー干渉計を用いた試料の特性の測定装置の構成図である。

【図18】本発明の第2実施例を示す試料の周波数特性の測定装置の模式図である。

【図19】本発明の参考例(その18)を示すカンチレバーの励振方法の説明図である。

【図20】本発明の参考例(その19)を示すカンチレバーの励振方法の説明図である。

【図21】本発明の参考例(その20)を示すカンチレバーの励振方法の説明図である。

【図22】本発明の参考例(その21)を示すカンチレバーの励振方法の説明図である。

【図23】本発明の参考例(その22)を示すカンチレバーの励振方法の説明図である。

【図24】本発明の参考例(その23)を示すカンチレバーの励振方法の説明図である。

【図25】本発明の参考例(その24)を示すカンチレバーの励振方法の説明図である。

10

【符号の説明】

【0151】

- 1, 11, 21 試料(基板)
- 2 基板の摺動面
- 3, 13, 23, 32 ナノカンチレバーアレイ
- 4, 54, 64, 74 多数のコンプライアントなナノカンチレバー(振動子)
- 5 ナノカンチレバーアレイの摺動方向
- 12 基板の表面
- 14, 24A~24E, 97, 116, 131, 143, 155, 169, 180, 802, 815, 816, 817, 818, 832, 842, 855, 856, 857, 858, 862, 863, 864, 865, 866, 872, 873, 874, 875, 876
- 76 カンチレバー(振動子)
- 15 表面弾性波の伝搬方向
- 16, 27 カンチレバーの振動方向
- 22, 45 基板上面
- 25 探針質量
- 26, 51, 61, 71, 96, 115, 130, 142, 503, 705 試料
- 31 ベース基板
- 33 対向する探針
- 34, 35, 112 電極
- 36 電源
- 41 チャンバ
- 42 ガス導入口
- 43 ガス排気口
- 44, 800 基板
- 46 単結晶シリコンカンチレバーアレイ
- 47 針状結晶成長箇所
- 48 平板電極
- 49 交流電源
- 50, 113 リード線
- 52 試料の摺動面
- 53, 63 プロブ(ナノカンチレバーアレイ)
- 55, 60 試料の摺動方向
- 62, 72 試料の表面
- 65 反射防止膜
- 66, 76 ビームスプリッタやハーフミラー
- 67 光てこ入射光
- 68, 78, 118 反射光
- 69, 79, 99, 119, 156 結像レンズ
- 70, 80, 101, 121, 132, 144, 157 撮像装置(撮像素子)

20

30

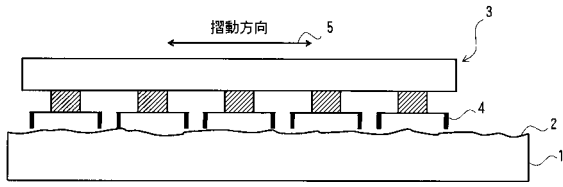
40

50

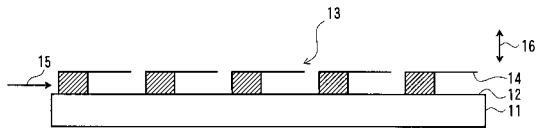
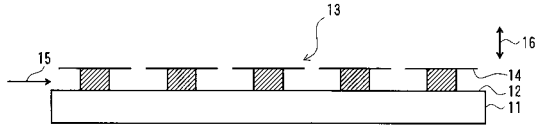
7 3	プローブ (ナノカンチレバーアレイ) の微小干渉キャビティ	
7 5	基準面	
7 7	入射光	
9 0 , 1 2 6 , 1 3 7 , 1 6 0 , 1 7 0	光ファイバ	
9 1 , 1 2 8 , 1 5 1 , 1 6 2 , 1 7 1	レーザ出射部	
9 2 , 1 5 2	1 / 4 波長板	
9 3	ハーフミラー	
9 4 , 1 1 7 , 1 5 4 , 1 6 7 , 1 7 8	対物レンズ	
9 5 , 1 1 4	試料の x y z ピエゾスキャナー	
9 8 , 2 0 3 , 4 0 9	ミラー	10
1 0 0 , 1 2 0	x y ステージ	
1 0 2 , 1 2 7	光学系ユニット	
1 0 3	光学系ユニットの x y z 位置決め機構	
1 0 4	A F M ベースプレート	
1 0 5	真空チャンバ隔壁	
1 0 6	ステージ支持パネ	
1 1 0	真空チャンバ	
1 1 1	光半導体装置	
1 2 2 , 1 3 3	試料準備用真空チャンバ	
1 2 3 ~ 1 2 5 , 1 3 4 , 1 3 5	試料、カンチレバー搬送棒	20
1 2 9 , 1 6 3 , 1 7 4	ビームスプリッタ	
1 3 6	試料観察用真空チャンバ	
1 3 8	カンチレバー検出光学系	
1 3 9	レーザ出射部 x y z ステージ	
1 4 0	レーザドップラー出射部	
1 4 1	試料 x y z ステージ	
1 5 3 , 1 7 2	ダイクロイックミラー	
1 6 1 , 1 7 3	第 1 の支持部材	
1 6 4 , 1 7 5	第 2 の支持部材	
1 6 5 , 1 7 6	ミラー位置決め機構	30
1 6 6 , 1 7 7	基準ミラー	
1 6 8 , 1 7 9	カンチレバー支持部材	
1 8 1	カメラ	
2 0 0	光学的励起部	
2 0 1	レーザダイオード (L D) ドライバー	
2 0 2	レーザダイオード (L D)	
3 0 0	信号処理部	
3 0 1	第 1 スイッチ (s w 1)	
3 0 2	第 2 スイッチ (s w 2)	
3 0 3 , 4 1 7 , 4 1 9	ディジタイザ	40
3 0 4	位相シフター	
3 0 5	フィルター	
3 0 6	増幅器	
4 0 0	レーザドップラー干渉部	
4 0 1	He - Ne レーザ	
4 0 2	第 1 の P B S (ポラライジングビームスプリッタ)	
4 0 3	第 2 の P B S	
4 0 4	合波器	
4 0 5 , 7 0 2	レンズ	
4 0 6	偏波面保存ファイバ	50

4 0 7	センサヘッド (レーザ出射部)	
4 0 8	ナノカンチレバー	
4 0 8 A	探針 (プローブ)	
4 1 0	A O M (音響・光変調器)	
4 1 1	/ 2 波長板	
4 1 2	第 3 の P B S	
4 1 3	偏光子	
4 1 4	ホトダイオード	
4 1 5	B P F	
4 1 6 , 4 1 8 , 4 2 3	アンプ	10
4 2 0	遅延ライン	
4 2 1 , 5 0 1	D B M	
4 2 2	L P F	
5 0 0	A F M 試料ステージ制御部	
5 0 2	コントローラ	
5 0 4	試料のピエゾ素子	
6 0 0	ネットワークアナライザ	
6 0 1	ネットワークアナライザの信号入力端子	
6 0 2	ネットワークアナライザの評価出力端子	
7 0 1	レーザ	20
7 0 3	レンズ支持部	
7 0 4 , 8 0 1 , 8 1 1 , 8 1 2 , 8 1 3 , 8 1 4 , 8 3 1 , 8 4 1 , 8 5 1 , 8 5 2 , 8 5 3 , 8 5 4 , 8 6 1 , 8 7 1	干渉キャビティ	
7 0 6	試料支持部	
8 0 3 , 8 1 9 , 8 3 3 , 8 4 3 , 8 5 9 , 8 6 7 , 8 7 7	カンチレバーアレイ	
8 0 4	レーザ光	
8 2 0 , 8 6 0	一定光量のレーザ光 (波長)	
8 3 4	強度変調されたレーザ光	
8 4 4 , 8 6 8 , 8 7 8	強度一定のレーザ光 (波長)	
8 4 5	探針先端の軌跡	30
8 4 6	スライダ	
8 4 7	スライダの変位方向	
8 6 9	異なる強度変調周波数を有するレーザ光 (波長)	
8 7 9	基板の斜め上方から照射される一定波長の入射光	
8 8 0	異なる周波数を有するレーザ光 (波長 λ_1 , λ_2 , ... , λ_5)	

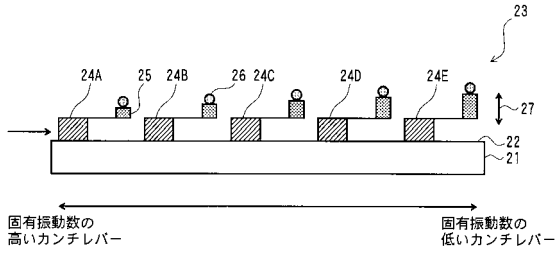
【 図 1 】



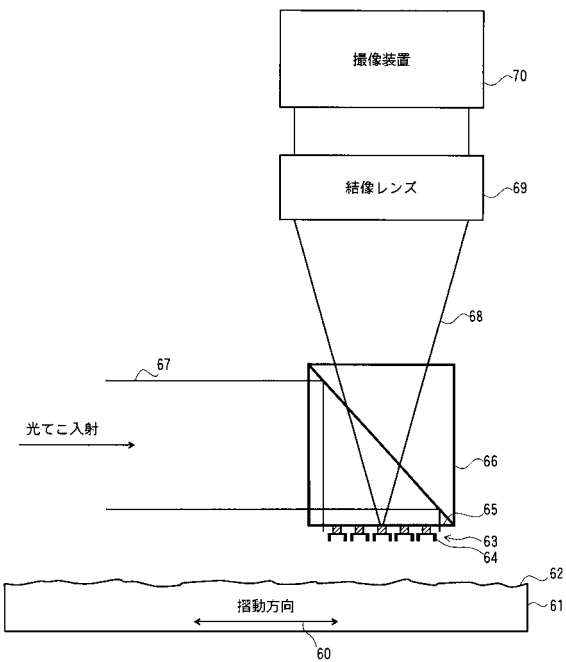
【 図 2 】



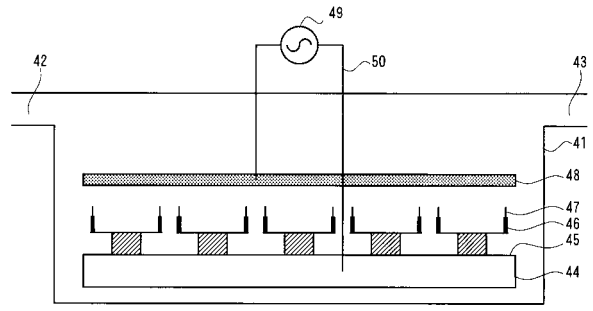
【 図 3 】



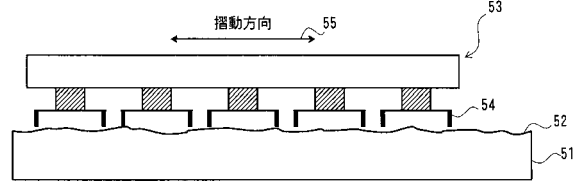
【 図 7 】



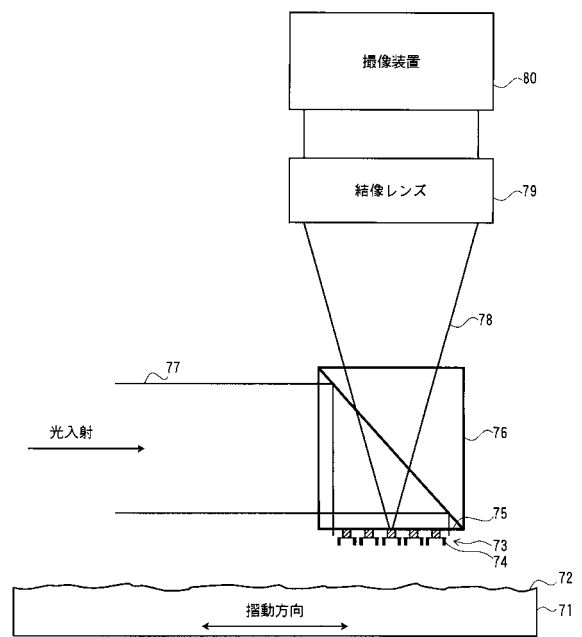
【 図 5 】



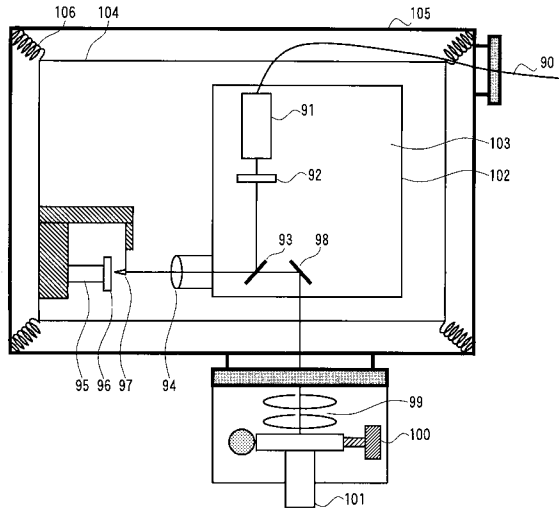
【 図 6 】



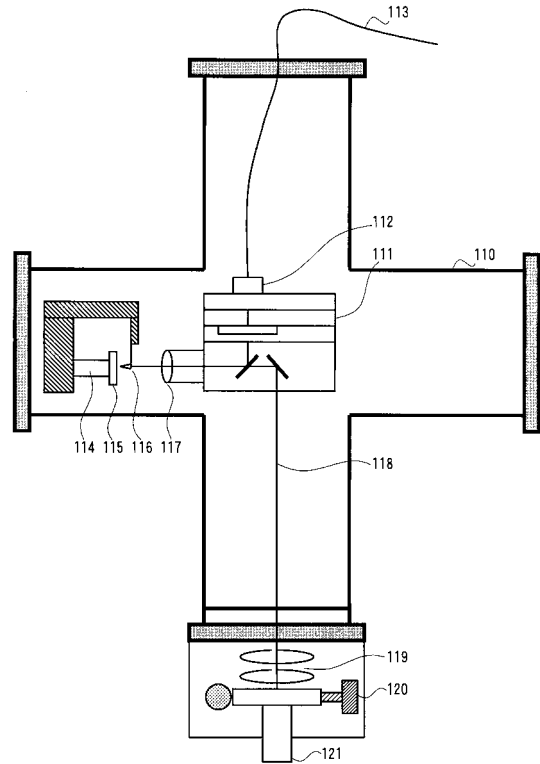
【 図 8 】



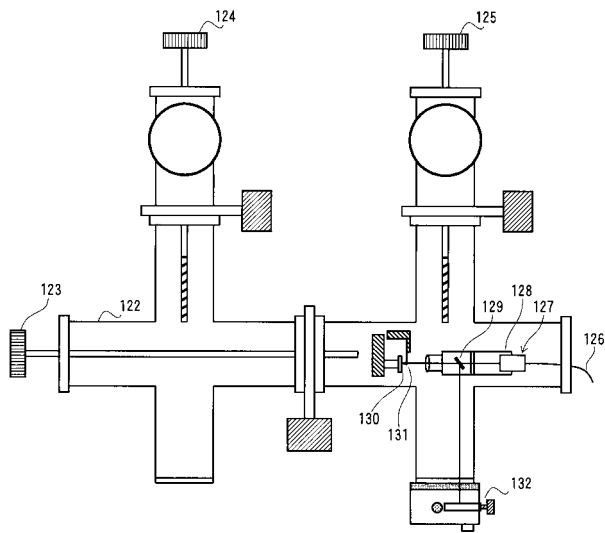
【 図 9 】



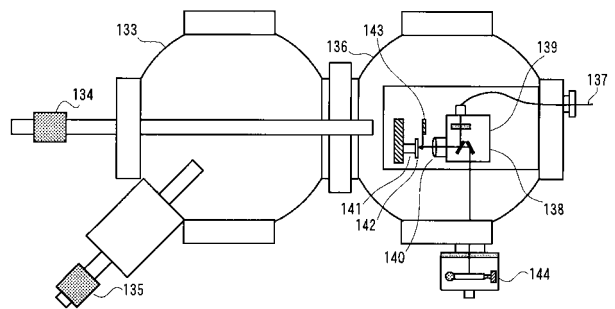
【 図 10 】



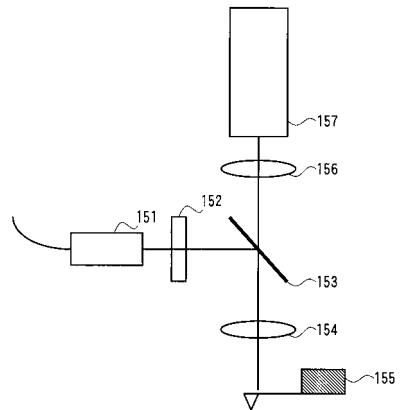
【 図 11 】



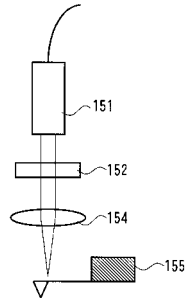
【 図 12 】



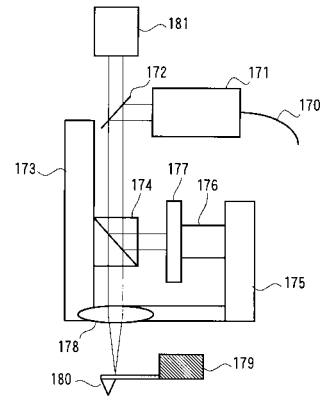
【 図 13 】



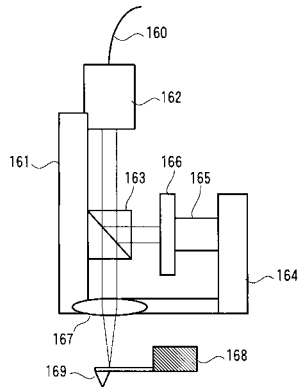
【 図 1 4 】



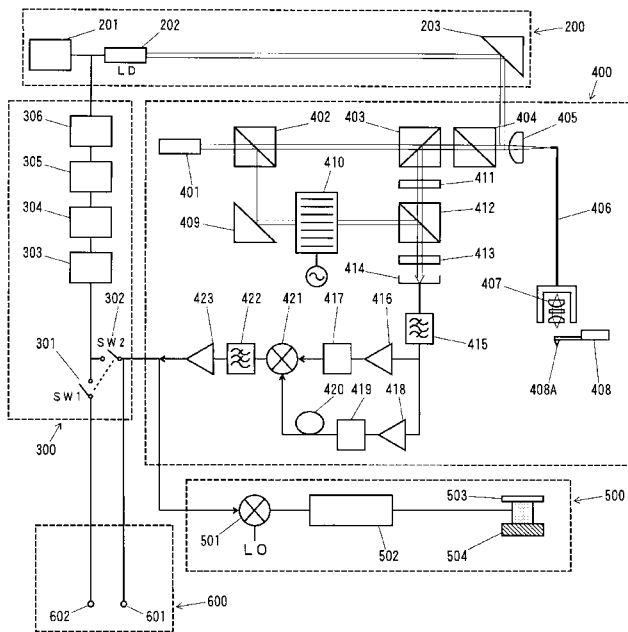
【 図 1 6 】



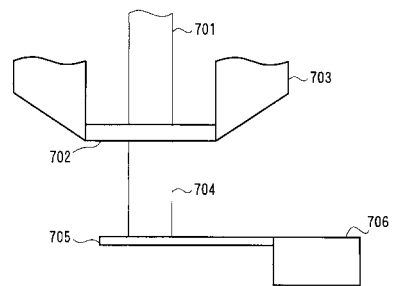
【 図 1 5 】



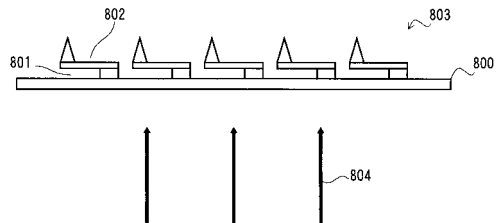
【 図 1 7 】



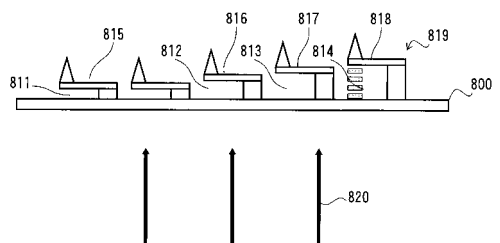
【 図 1 8 】



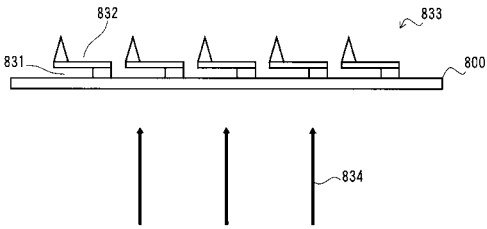
【 図 1 9 】



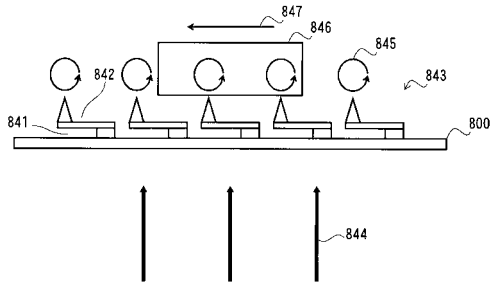
【 図 2 0 】



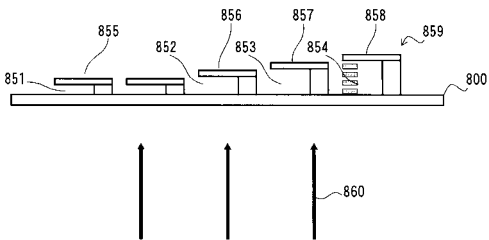
【 図 2 1 】



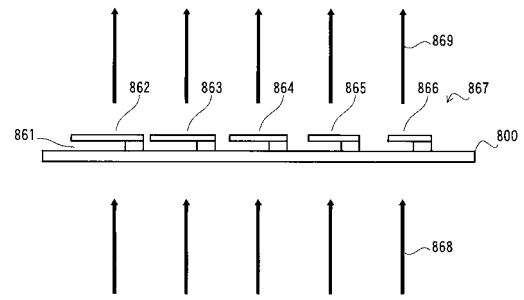
【 図 2 2 】



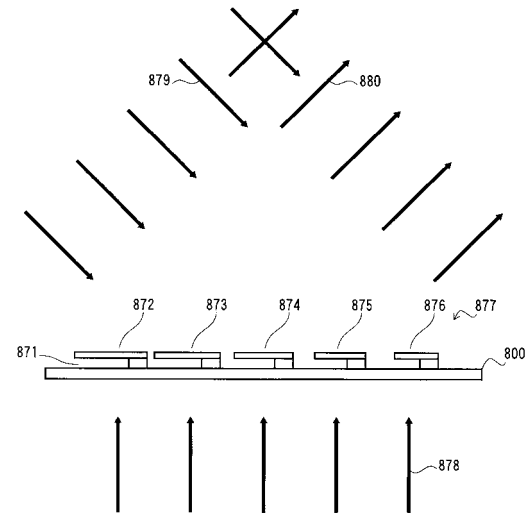
【 図 2 3 】



【 図 2 4 】



【 図 2 5 】



【 図 4 】

