

(19) 日本国特許庁(JP)

(12) 公表特許公報(A)

(11) 特許出願公表番号

特表2015-526739
(P2015-526739A)

(43) 公表日 平成27年9月10日(2015.9.10)

(51) Int.Cl.

GO 1 Q 20/02 (2010.01)
GO 1 Q 70/06 (2010.01)

F 1

GO 1 Q 20/02
GO 1 Q 70/06

テーマコード（参考）

| | |
|---------------|------------------------------|
| (21) 出願番号 | 特願2015-529119 (P2015-529119) |
| (86) (22) 出願日 | 平成25年8月28日 (2013. 8. 28) |
| (85) 翻訳文提出日 | 平成27年4月28日 (2015. 4. 28) |
| (86) 國際出願番号 | PCT/GB2013/052256 |
| (87) 國際公開番号 | W02014/033451 |
| (87) 國際公開日 | 平成26年3月6日 (2014. 3. 6) |
| (31) 優先権主張番号 | 1215546.1 |
| (32) 優先日 | 平成24年8月31日 (2012. 8. 31) |
| (33) 優先権主張国 | 英國 (GB) |

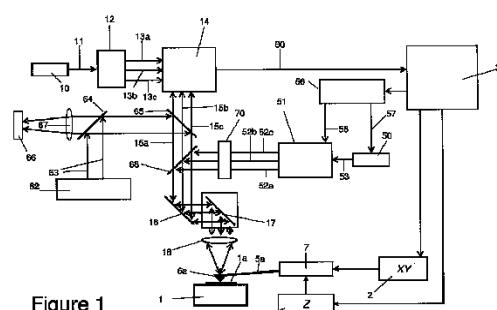
(71) 出願人 513193875
インフィニテシマ リミテッド
イギリス国 オックスフォードシャー ○
X 1 1 B Y オックスフォード ニュー
ロード オックスフォード センター^一
フォー イノベーション
(74) 代理人 100100549
弁理士 川口 嘉之
(74) 代理人 100113608
弁理士 平川 明
(74) 代理人 100123098
弁理士 今堀 克彦

最終頁に続く

(54) 【発明の名称】複数プローブの検出及び作動

(57) 【要約】

複数のプローブの位置を検出する方法。入力光線は光学装置に向けられ、互いに平行しない複数の出力光線に変換される。各出力光線は、検知光線及び関連付けられた参照光線に分割される。検知光線のそれぞれは、対物レンズを用いてプローブのうちの関連付けられた1つに向かって、反射光線を生成し、反射光線は、関連付けられた参照光線と結合されて、インターフェログラムを生成する。各インターフェログラムは測定されて、プローブのうちの関連付けられた1つの位置を特定する。同様の方法を使用して、複数のプローブを作動させる。走査移動がプローブと試料との間で生成される。入力光線は、光学装置に向けられ、互いに平行しない複数の作動光線に変換される。作動光線は、対物レンズを用いてプローブに同時に向けられる。各プローブは、プローブがそのそれぞれの作動光線によって加熱されると、試料に向かうか、又は試料から離れて移動するように変形するように構成される。入力光線は、経時に変調して、作動光線を変調し、ひいては試料に相対するプローブの位置を変調することができる。制御信号を用いて光学装置



【特許請求の範囲】**【請求項 1】**

複数のプローブの位置を検出する方法であって、
 a . 入力光線を光学装置に向けることと、
 b . 前記光学装置を用いて前記入力光線を複数の出力光線に変換することと、
 c . 各出力光線を検知光線及び関連付けられた参照光線に分割することと、
 d . 前記検知光線のそれぞれを前記プローブのうちの関連付けられた 1 つに同時に向けて、反射光線を生成することと、
 e . 各反射光線をその関連付けられた参照光線に結合して、インターフェログラムを生成することと、
 f . 各インターフェログラムを測定して、前記プローブのうちの関連付けられた 1 つの前記位置を特定することと、
 を含む、方法。

【請求項 2】

第 2 の入力光線を第 2 の光学装置に向けることと、前記第 2 の光学装置を用いて前記第 2 の入力光線を複数の作動光線に変換することと、前記作動光線のそれぞれを前記プローブのうちの関連付けられた 1 つに同時に向けることであって、各プローブは、そのそれぞれの作動光線によって照明されると、变形するように構成される、同時に向けることと、経時的に前記第 2 の入力光線の強度を変調して、前記作動光線の強度を変調し、ひいては試料に相対する前記プローブの前記位置を変調することとを更に含む、請求項 1 に記載の方法。

【請求項 3】

各反射光線を関連付けられた参照光線と結合して、インターフェログラムを生成することは、各反射光線を関連付けられた参照光線と共に、センサレンズを有するセンサに向けることを含み、前記センサは各インターフェログラムを測定して、前記プローブのうちの関連付けられた 1 つの前記位置を特定する、請求項 1 又は 2 に記載の方法。

【請求項 4】

制御信号を用いて前記光学装置を操作して、経時的に前記出力光線のうちの 1 つ又は複数の角度を変調することとを更に含む、請求項 1 ~ 3 の何れか一項に記載の方法。

【請求項 5】

複数のプローブを作動させる方法であって、
 a . 入力光線を光学装置に向けることと、
 b . 前記光学装置を用いて前記入力光線を複数の作動光線に変換することと、
 c . 前記作動光線のそれぞれを前記プローブのうちの関連付けられた 1 つに同時に向けることであって、各プローブは、そのそれぞれの作動光線によって照明されると、变形するように構成される、同時に向けることと、
 d . 経時的に前記入力光線を変調して、前記作動光線を変調し、ひいては試料に相対する前記プローブの前記位置を変調することと、
 を含む、方法。

【請求項 6】

制御信号を用いて、前記光学装置又は前記作動光線のうちの 1 つ又は複数の経路内の光学要素を操作して、経時的に前記作動光線のうちの 1 つ又は複数の強度を変調し、ひいては前記試料に相対する前記プローブのうちの 1 つ又は複数の前記位置を変調することとを更に含む、請求項 5 に記載の方法。

【請求項 7】

複数のプローブを作動させる方法であって、
 a . 入力光線を光学装置に向けることと、
 b . 前記光学装置を用いて前記入力光線を複数の作動光線に変換することと、
 c . 前記作動光線のそれぞれを前記プローブのうちの関連付けられた 1 つに同時に向けることであって、各プローブは、そのそれぞれの作動光線によって照明されると、变形す

るよう構成される、同時に向けることと、

d. 制御信号を用いて、前記光学装置又は前記作動光線のうちの1つ又は複数の経路内の光学要素を操作して、経時的に前記作動光線のうちの1つ又は複数の強度を変調し、ひいては前記試料に相対する前記プローブのうちの1つ又は複数の前記位置を変調することと、

を含む、方法。

【請求項8】

制御信号を用いて、前記光学装置又は前記作動光線のうちの1つ又は複数の経路内の光学要素を操作して、経時的に前記作動光線のうちの少なくとも1つの強度を変調し、ひいては、前記試料に相対する前記プローブのうちの少なくとも1つの前記位置を、他のプローブから独立して、変調することを更に含む、請求項6又は7に記載の方法。 10

【請求項9】

制御信号を用いて前記光学装置を操作して、経時的に前記作動光線のうちの1つ又は複数の角度を変調することを更に含む、請求項5～8の何れか一項に記載の方法。

【請求項10】

前記制御信号を用いて前記光学装置を操作して、前記作動光線のうちの少なくとも1つの前記角度を、他の前記作動光線に相対して、経時的に変調することを更に含む、請求項9に記載の方法。

【請求項11】

経時的に前記入力光線の選択された周波数範囲を変調して、前記作動光線の周波数範囲を変調することを更に含み、ひいては、選択される1つ又は複数のプローブの前記試料に相対する前記位置を、前記他のプローブから独立して変調し、前記選択される1つ又は複数のプローブは、前記他のプローブの共振周波数とは異なり、前記選択される周波数範囲に一致する共振周波数を有する、請求項5～10の何れか一項に記載の方法。 20

【請求項12】

前記光学装置は回折によって前記入力光線を変換する、請求項1～11の何れか一項に記載の方法。

【請求項13】

前記光学装置は空間可変位相又は振幅変調を前記入力光線に課す、請求項1～12の何れか一項に記載の方法。 30

【請求項14】

前記複数のプローブは10以上のプローブを含む、請求項1～13の何れか一項に記載の方法。

【請求項15】

複数のプローブの位置を検出する装置であって、入力光線を複数の出力光線に変換するように構成される光学装置と、各出力光線を検知光線及び関連付けられた参照光線に分割し、前記検知光線のそれぞれを前記プローブのうちの関連付けられた1つに同時に向けて、反射光線を形成するように構成される1つ又は複数の光線スプリッタと、各反射光線を関連付けられた参照光線と結合することによって生成されるインターフェログラムを測定して、前記プローブの前記位置を特定するように構成される1つ又は複数のセンサとを備える、装置。 40

【請求項16】

複数のプローブを作動させる装置であって、入力光線を複数の作動光線に変換し、前記作動光線のそれぞれを前記プローブのうちの関連付けられた1つに同時に向けるように構成される光学装置であって、各プローブは、そのそれぞれの作動光線によって照明されると変形し、前記プローブを試料に向けるか、又は前記試料から離れるように移動するように構成される、光学装置と、経時的に前記入力光線を変調して、前記作動光線を変調し、ひいては前記試料に相対する前記プローブの前記位置を変調するように構成されるコントローラとを備える、装置。

【請求項17】

10

20

30

40

50

制御信号を用いて、前記光学装置又は前記作動光線のうちの1つ又は複数の経路内の光学要素を操作して、経時的に前記作動光線のうちの1つ又は複数の強度を変調し、ひいては前記試料に相対する前記プローブのうちの1つ又は複数の前記位置を変調するように構成される第2のコントローラを更に備える、請求項16に記載の装置。

【請求項18】

複数のプローブを作動させる装置であって、入力光線を複数の作動光線に変換し、前記作動光線のそれぞれを前記プローブのうちの関連付けられた1つに同時に向けるように構成される光学装置であって、各プローブは、そのそれぞれの作動光線によって照明されると、変形するように構成される、光学装置と、制御信号を用いて前記光学装置を操作し、経時的に前記作動光線のうちの1つ又は複数の強度を変調し、ひいては前記試料に相対する前記プローブのうちの1つ又は複数の前記位置を変調するように構成されるコントローラとを備える、装置。

10

【請求項19】

前記コントローラは、経時的に前記入力光線の選択される周波数範囲を変調して、前記作動光線の周波数範囲を変調し、ひいては前記試料に相対する選択される1つ又は複数のプローブの前記位置を、前記他のプローブから独立して変調するように構成され、前記選択される1つ又は複数のプローブは、前記他のプローブの共振周波数とは異なり、前記選択される周波数範囲に一致する共振周波数を有する、請求項16に記載の装置。

【請求項20】

前記光学装置は回折によって前記入力光線を変換する、請求項15～19の何れか一項に記載の装置。

20

【請求項21】

前記インターフェログラムを測定することによって特定される前記プローブの前記位置に従って、前記試料に相対する前記プローブの前記位置を変調することを更に含む、請求項1に記載の方法。

【発明の詳細な説明】

【技術分野】

【0001】

本発明は、複数のプローブの位置を検出する方法、複数のプローブを作動させる方法、及びそのような方法を実行するように動作可能な装置に関する。

30

【背景技術】

【0002】

プローブ顕微鏡内の走査速度は、各プローブからデータを同時に取得するように、2つ以上のカンチレバーを並列に動作させることによって増大することができる。走査型プローブ顕微鏡(SPM)での並列動作は、複数のプローブ検出を実施しなければならず、且つ各カンチレバーに独立した作動システムを実施しなければならないため、困難である。結果として、並列SPMシステムは過去、従来のSPMシステムとは大きく異なっていた。例えば、幾つかのシステムは、圧電抵抗センサ及び酸化亜鉛Zアクチュエータが統合されたカンチレバーを配している(Quateら、Applied Physics Letters vol. 67 No 263918 (1995))。そのような統合システムに伴う主な問題は、センサの複雑性及び対応するコストである。カンチレバーのピッチ又はばね定数等の単純なパラメータを変更すると、レイアウト及びコストのかかる製造を再設計する必要もあるため、設計も柔軟性がない。その結果、この種の並列SPMシステムは広く使用されてきてない。したがって、動作及び構成が柔軟な並列プローブ顕微鏡が必要とされる。さらに、そのようなシステムは、SPMで広く使用されるカンチレバープローブとの互換性を保ちながら、少なくとも従来のSPMの性能を有するプローブ検出システム及びプローブ作動システムを組み込むべきである。

40

【0003】

従来のプローブ顕微鏡は、圧電素子を利用して、カンチレバー又は標本をナノメートルレベル以上の精度で走査する。しかし、そのような圧電素子は多くの場合、サイズ及び機

50

械的特性に起因して、限られた応答速度を有する。カンチレバーに統合可能な素子が小さいほど、高速の走査用途に利用することができるが、必要とされる製造及び電気接続が難しくなる。したがって、光熱作動が開発され、赤外線レーザがカンチレバーに集束され、z 作動及び共振励起の両方でカンチレバーの光熱湾曲を誘導するのに使用される (Yamashitaら、Rev. Sci. Instrum. Vol 78, 083702 (2007))。この手法は強力で柔軟であり、微小機械カンチレバーのサイズが小さく、熱時定数が短いことに起因して、高速応答時間を達成することができる。しかし、この手法は、位置合わせ及び集束に必要な光学構成要素の数の増大に起因して、並列プローブ制御に使用されていない。

【0004】

10

従来の走査型プローブ顕微鏡は通常、カンチレバーの移動を検知する光学レバー検出に頼るが、これらのシステムは、複数のプローブを用いて動作することが非現実的であり、その理由は、位置合わせに時間がかかり、自動化が難しいためである。ホモダイン及びヘテロダインの両方の干渉計に基づく移動検知も SPM に使用されてきたが、並列プローブ検知用のシステムは報告されていない。これは、複雑性、位置合わせの難しさ、及び対応する、干渉計システムをスケーリングする際に要求される光学構成要素の増大に起因することが多い。

【0005】

20

マイクロカンチレバーバイオセンサは、チップ上の化学的検出及び生物学的検出に高感度のツールとして実証されている。マイクロカンチレバーバイオセンサは、2つの異なる動作モード、すなわち静的及び動的モードで使用することができる。静的モードでは、カンチレバーへの標的分子の結合は、分子に起因する表面応力及びカンチレバー湾曲の結果として検出される。動的モードでは、カンチレバーが作動し、その共振周波数が特定される。分子の結合は、質量変化及びその結果生じる共振周波数シフトに起因して検出される。液体に浸漬した共振カンチレバーは、高ダンパー損失及び感度低下という欠点を有する。

【0006】

30

両モードでのカンチレバー検知の主な問題の1つは、カンチレバー変位の測定である。この測定の最も一般的な方法は、光学レバー手法である。集束レーザ光線は、カンチレバー表面から反射され、PSD（位置高感度検出器）によって捕捉される。カンチレバー変位は、PSD上でレーザスポットを移動させ、その出力電圧を変化させる。この方法は非常に高感度であるが、テスト中の装置へのレーザ光線の精密な位置合わせとともに、精巧な自由空間光学系を必要とする。さらに、カンチレバーの変位に対する PSD 信号の関係は、カンチレバー上のレーザスポットの厳密な位置に依存する。この関係は、共振周波数測定では重要ではないが、静的動作モードでは大きな影響を有する。例えば、わずかなレーザ位置合わせずれに起因する PSD 出力の変化は、カンチレバー湾曲として誤って解釈されるおそれがある。位置合わせは完全には再現することができないため、レーザは、静的モード実験全体を通してカンチレバーに位置合わせされた状態を保たなければならない。これは並列測定を複雑にする。カンチレバーアレイが試料に露出される場合、1つの装置の応答しか捕捉できない。幾つかのカンチレバーを並列に測定するレーザ及び PSD のカスタムメードアレイが示されている。しかし、この手法は、機器の複雑性及び位置合わせの難しさの大幅な増大に繋がる。チップ上のカンチレバーの数は、容易に 100 単位、さらには 1000 単位にすることができるが、レーザの数を更に増大させることは実現不可能である。

40

【0007】

50

カンチレバー応答を測定する別の一般的な方法は、オンチップ変位センサの統合を含む。この手法は、複数の装置を並列で測定可能であるのみならず、外部測定セットアップを簡易化もする。内蔵センサは、圧電抵抗、圧電、容量性、トランジスタベース、又は光学であり得る。不都合なことに、これらの技術は全て、単純で安価、且つ使い捨てであるべきカンチレバーの製造複雑性及びコストを大幅に増大させる。

【0008】

したがって、適度に安価であり、自動化動作が可能であり、ガスから複雑な流体生理学系までの広範囲の環境に対応する、静的動作又は動的動作の両方に適する並列カンチレバーアレイ読み出し機器が必要とされる。

【発明の概要】**【0009】**

本発明の第1の態様は、複数のプローブの位置を検出する方法を提供し、本方法は、入力光線を光学装置に向けることと、光学装置を用いて入力光線を複数の出力光線（任意選択的に、互いに平行しない）に変換することと、各出力光線を検知光線及び関連付けられた参照光線に分割することと、検知光線のそれぞれをプローブのうちの関連付けられた1つに同時に向けて（任意選択的に、対物レンズを用いて）、反射光線を生成することと、各反射光線を関連付けられた参照光線に結合して、インターフェログラムを生成することと、各インターフェログラムを測定して、プローブのうちの関連付けられた1つの位置を特定すること、とを含む。

10

【0010】

本発明の第2の態様は、複数のプローブを作動させる方法を提供し、本方法は、入力光線を光学装置に向けることと、光学装置を用いて入力光線を複数の作動光線（任意選択的に、互いに平行しない）に変換することと、作動光線のそれぞれをプローブのうちの関連付けられた1つに同時に向ける（任意選択的に、対物レンズを用いて）ことであって、各プローブは、それぞれの作動光線によって照明されると、変形するように構成される、同時に向けることと、経時的に入力光線を変調して、作動光線を変調し、ひいては試料に相対するプローブの位置を変調することとを含む。

20

【0011】

本発明の第3の態様は、複数のプローブを作動させる方法を提供し、本方法は、入力光線を光学装置に向けることと、光学装置を用いて入力光線を複数の作動光線（任意選択的に、互いに平行しない）に変換することと、各作動光線をプローブのうちの関連付けられた1つに同時に向ける（任意選択的に、対物レンズを用いて）ことであって、各プローブは、そのそれぞれの作動光線によって照明されると、変形するように構成される、同時に向けることと、制御信号を用いて、光学装置又は作動光線のうちの1つ又は複数の経路内の光学要素を操作して、経時的に作動光線のうちの1つ又は複数の強度を変調し、ひいては試料に相対するプローブのうちの1つ又は複数の位置を変調することとを含む。

30

【0012】

本発明の更なる態様は、添付の特許請求の範囲に記載される上記方法を実行するように構成される装置を提供する。

【0013】

したがって、本発明の第4の態様は、複数のプローブの位置を検出する装置を提供し、本装置は、入力光線を複数の出力光線（任意選択的に、互いに平行しない）に変換するように構成される光学装置と、各出力光線を検知光線及び関連付けられた参照光線に分割し、各検知光線をプローブのうちの関連付けられた1つに同時に向けて（任意選択的に、対物レンズを用いて）、反射光線を生成するように構成される1つ又は複数の光線スプリッタと、各反射光線を関連付けられた参照光線と結合することによって生成されるインターフェログラムを測定して、プローブの位置を特定するように構成される1つ又は複数のセンサとを備える。

40

【0014】

本発明の第5の態様は、複数のプローブを作動させる装置を提供し、本装置は、入力光線を複数の作動光線（任意選択的に、互いに平行しない）に変換し、各作動光線をプローブのうちの関連付けられた1つに同時に向ける（任意選択的に、対物レンズを用いて）ように構成される光学装置であって、各プローブは、そのそれぞれの作動光線によって照明される（且つ、任意選択的に加熱される）と、プローブを移動させる（任意選択的に、試料に向けて又は離れて）よう変形するように構成される、光学装置と、経時的に入力信号

50

を変調して、作動光線を変調し、ひいては試料に相対するプローブの位置を変調するよう構成されるコントローラとを備える。

【0015】

本発明の第6の態様は、複数のプローブを作動させる装置を提供し、本装置は、入力光線を複数の作動光線（任意選択的に、互いに平行しない）に変換し、各作動光線をプローブのうちの関連付けられた1つに同時に向ける（任意選択的に、対物レンズを用いて）ように構成される光学装置であって、各プローブは、そのそれぞれの作動光線によって照明される（且つ、任意選択的に加熱される）と、プローブを移動させる（任意選択的に、試料に向けて又は離れて）よう変形するように構成される、光学装置と、制御信号を用いて、光学装置又は作動光線のうちの1つ又は複数の経路内の光学要素を操作して、経時的に作動光線のうちの1つ又は複数の強度を変調し、ひいては試料に相対するプローブのうちの1つ又は複数の位置を変調するように構成されるコントローラとを備える。

10

【0016】

それぞれが各レーザによって生成される複数の入力光線を使用する代わりに、単一の入力光線が複数の光線に変換され、次に、それらの光線は、位置検出（本発明の第1及び第4の態様において）又は作動（第2、第3、第5、及び第6の態様において）のためにプローブに向けられる。

【0017】

光線が作動に使用される場合、入力光線を時間にわたって（規則正しい周期で、又は非周期的に）変調して、作動光線を変調し、ひいては試料に相対するプローブの位置を変調することができる。各プローブの独立した作動は、全ての動作モードで必ずしも要求されるわけではない。しかし、プローブの独立した作動が要求される場合、本方法は、経時に入力光線の選択された周波数範囲を変調して、作動光線の周波数範囲を変調し、ひいては、その他のプローブから独立して、試料に相対する選択された1つ又は複数のプローブの位置を変調することを更に含み得、選択される1つ又は複数のプローブは、他のプローブの共振周波数とは異なり、選択された周波数範囲に一致する共振周波数を有する。これは、高変調速度が光学装置を用いて可能ではない場合、そのような変調速度でプローブを独立して作動させる方法を提供するが、これは周期的共振運動の変更にのみ適する。

20

【0018】

対物レンズは、各作動光線及び／又は検知光線をプローブのうちの関連付けられた1つに同時に向けるように構成し得る。そのような対物レンズが提供される場合、作動光線及び／又は検知光線は通常、対物レンズに入る際に互いに平行とならない。

30

【0019】

各プローブは通常、そのそれぞれの作動光線によって照明されると、プローブを試料に相対して、通常は試料に向けて又は試料から離れて移動させるように変形するように構成される。

【0020】

プローブの変形は、撓み変形、捻り変形、又は任意の他の変形であり得る。変形は静的又は動的であり得る。

【0021】

好みしくは、各作動光線は、光熱効果によって各プローブを加熱させ変形させる。本明細書では、「光熱効果」という用語は、一般的に言えば、プローブの加熱によって生じるプローブの変形を指すために使用され、プローブのそのような加熱は照明によって誘導される。代替的には、作動光線は、放射圧等の何らかの他のメカニズムによってプローブを変更させてよい。放射圧は、高反射性プローブコーティングと、理想的には何らかの形態のキャビティ、可能な場合にはプローブに取り付けられたミラーと組み合わせて使用することができる。

40

【0022】

各プローブは、異なる熱膨張係数を有する2つ以上の材料を含み得、これらの材料は、プローブがそのそれぞれの作動光線によって加熱されると、試料に相対してプローブを移

50

動させるように構成される。代替的には、各プローブは単一の材料で作り得、この場合、プローブのある領域を加熱し、それにより、通常は作動光線によって加熱されるプローブの側とプローブの逆側との間に機械的応力を誘導することによって誘導される熱勾配に起因してプローブは変形する。

【0023】

通常、各反射光線及び関連付けられた参照光線は、センサレンズを有するセンサに向かされ、センサは各インターフェログラムを測定して、複数のプローブのうちの関連付けられた1つの位置を特定する。

【0024】

光学装置は、経時的に光線の強度又は角度を変調することができない受け身的装置であり得る。代替的には、制御信号（通常、電気信号）を用いて操作されて、経時的に作動光線のうちの1つ又は複数の強度（電力）を変調し（規則正しい周期又は非周期的に）、ひいては試料に相対するプローブのうちの1つ又は複数の位置を変調し得る。全てのプローブはこのようにユニゾンで移動して、例えば、検知位置までユニゾンで移動し得る。代替的には、プローブのうちの1つ又は複数の位置は、プローブのうちの他のものから独立して、試料に相対して光学装置によって変調し得、例えば、撮像目的で試料からの各プローブの隔たりを独立して制御するか、又は撮像位置にプローブのうちの1つ又は複数を移動させ、その間、残りのプローブを、試料と相互作用しない非アクティブ位置に残し得る。

【0025】

制御信号を用いて光学装置を操作して、対物レンズの光軸に相対して、光線のうちの1つ又は複数の角度を経時的に変調し得る。ここでも、全ての光線の角度は、ユニゾンで変調して、例えば、プローブの走査アレイを追跡し得、又は光学装置を操作して、光線のうちの1つ又は複数の角度を、光学装置によって出力される他の光線に相対して、独立して変調し得る。

【0026】

光学装置は通常、回折によって入力光線を変換するが、代替として、例えば、微小電子機械（MEMS）ミラーのアレイを使用して反射によって入力ビームを変換し得る。

【0027】

光学装置は通常、空間可変位相及び／又は振幅変調を入力ビームに課す。

【0028】

光学装置は、回折光学要素（DOE）を備え得る。好ましくは、光学装置は、液晶空間変調器（SLM）等のSLMを備える。

【0029】

通常、複数のプローブは10以上のプローブを含む。任意選択的に、複数のプローブは100以上のプローブを含み得る。

【0030】

プローブは、単一の直線又は二次元アレイに配置し得る。

【0031】

プローブは、例えば、極紫外線（EUV）マスク検査及びレビューのための走査型プローブ顕微鏡、複数のバイオマーカーを検出するためのバイオセンシング、走査型プローブが化学化合物を基板上に堆積するディップペンナノリソグラフィ等のナノリソグラフィ、又は温度を独立して上昇させて、ポリマー基板を溶融させ、その後、プローブによるインプリント動作で、二進数を表す窪みを生成するヒータを各プローブが有するデータストレージを含む（が、これらに限定されない）幾つかの用途で使用し得る。

【0032】

これより、本発明の実施形態について添付図面を参照して説明する。

【図面の簡単な説明】

【0033】

【図1】走査型プローブ顕微鏡の概略図である。

【図2】干渉計を詳細に示す。

10

20

30

40

50

【図3-4】2つの代替のフォトダイオードアレイを示す。

【図5】作動システムを詳細に示す。

【図6】7つのプローブの線形アレイと、関連付けられた検知光線及び作動光線によって生成される照明スポットとを示す。

【図7】バイオセンサの概略図である。

【図8】対物レンズが使用されず、光線は、プローブを照明する際に平行となる一実施形態を示す。

【図9】対物レンズが使用されず、光線は、プローブを照明する際に平行とならない一実施形態を示す。

【発明を実施するための形態】

10

【0034】

図1を参照して、本発明による、干渉計に基づく検知システムと、光熱作動システムとを組み込んだ走査型プローブ顕微鏡を示す。顕微鏡は、表面が熱作動バイモルフプローブのアレイによって調べられる試料1aを受けるように構成される可動ステージ1を備え、図1にはそのうちの1つのみが示される。走査能力は、2つの従来の駆動システムによって提供される：SPMコントローラ3によって操作可能であり、試料1aの平面(x, y)でのプローブアレイの相対移動を提供するx, yスキャナ2及びプローブアレイの光熱作動によって達成可能なものよりも広い範囲にわたりプローブ及び試料を互いに向かって、及び互いから離れて(z方向)移動させるように動作可能な圧電駆動装置4を備えるz位置決めシステム。

20

【0035】

プローブアレイはカンチレバービーム5aの線形アレイを備え、各カンチレバービームは先端部6aを担持し、先端部6aは先細り形であり、カンチレバービームの遠位端部に向かって配置される各カンチレバービーム5aの他端部(基端部又は近位端部)はマウント7によって支持される。この実施形態では、z位置決めシステム4は、プローブマウント7に接続される。代替的に、z位置決めシステム4は試料ステージ1に接続してもよい。

20

【0036】

プローブ先端部6aは、各カンチレバービーム5aの自由端部に配置される三次元の、多くの場合、円錐形又はピラミッド構造を備える。先端部は、検査中の表面と相互作用する最近傍点である一点に向けて先細りする。カンチレバーは、先端部を除いてビーム自体であり、一端部において先端部を支持し、他端部において、顕微鏡装置によって保持される。カンチレバー5a及び先端部6aは一緒にプローブと呼ばれる。

30

【0037】

各プローブは一般に、ケイ素又は窒化ケイ素から製造される。通常、カンチレバー5aは長さ約50μm～200μm、幅20μm～50μm、厚さ約0.2μm～2μmであるが、当然ながら、このサイズは用途に従って可変である。形状も可変である：通常、矩形又は三角形であり、三角形の場合、先端部は先端頂点の近傍に先端部がある。先端部は通常、ベースでは5μmであり、高さ3μm～10μmであり、端部曲率半径2nm～20nmである。使用に当たり、先端部6aの端部における細いポイントは、試料1aに向けられる。最近、より小さな寸法のプローブが、より高速の撮像速度で使用するために製造されている。これらのプローブは、長さ約5μm～20μm、幅3μm～10μmであり、それに対応してより小さな先端部を有するカンチレバーを有する。先端部は、カンチレバービーム製造プロセスの一環として形成してもよく、又は例えば、電子ビーム堆積(EBD)を使用して、ダイヤモンドライクカーボン(DLC)スパイクを生成する後処理ステップとして追加されてもよい。さらに、カンチレバービームは、金属、通常は金又はアルミニウムでコーティングされて、検出方法に光学方法を使用する場合のカンチレバービームの反射率を増大させる。

40

【0038】

システムは、原理上、任意の従来のSPM撮像モードが可能であり、半導体ウェーハ又

50

はフォトマスクの検査等の工業検査用に開発されたより高度なモードも可能である。システムは SLM ユニットを使用して、干渉計検知システム及び光熱作動システム内の複数の光線の生成、誘導、及び変調を行い、それにより、カンチレバープローブアレイの並列動作を可能にする。

【0039】

図 1 及び図 2 の両方を参照すると、検出レーザ 10 は検出入力光線 11 を生成し、これは空間光変調器 (SLM) 12 に入射して、必要数の光線 13a ~ 13c に分割される。通常、光線 11 は、アレイ内のカンチレバー毎に 1 つの光線 13a ~ 13c に分割される。代替的には、光線 11 をカンチレバー毎に 2 つ以上の光線 13a ~ 13c に分割して、異なる位置での高さ又は相対高さを測定（例えば、先端部に 1 つ、ベースに 1 つあり、カンチレバーの湾曲を測定）し得る。10

【0040】

実際には、このために受け身的光学要素を実施することは困難であり、複雑であるため、SLM 12 が、高速位置合わせのコンピュータ制御を可能にしながら、光学システムへの統合の柔軟性及び容易さのために利用される。SLM 12 の原理の概説は以下である。適する SLM は、XY シリーズ製品等の米国コロラド州に所在の Boulder Non linear Systems 及び X10468 シリーズ製品等の Hamamatsu によって供給されている。

【0041】

例示的な SLM では、入射光の位相を変調するために、ネマチック液晶 SLM が平坦構成で位置合わせされる。ここで、液晶ダイレクタ（すなわち、分子の長軸）は、入射光に平行するように向けられる。電圧が印加されると、分子は、光場の伝搬方向に平行する方向に傾斜する。これにより、入射光は屈折率低減を受ける。屈折率の変化は、光路の変化、したがって入射光の位相シフトにそのまま繋がる。十分な電圧が印加される場合、屈折率の変化は、並外れた屈折率（電圧が印加されない場合）から通常の屈折率（分子の最大傾斜）までの範囲である。最大印加電圧の場合の屈折率の典型的な変化は 0.2 である。好ましい実施形態では、SLM 12 は超大規模集積回路 (VLSI) を使用して、液晶変調器のアレイにアドレス指定する。VLSI アドレス指定により、多重化が可能であり、光学アパーチャ全体にわたる個々のアドレス指定可能なピクセルを達成する。この柔軟性により、位相補正の潜在性を有する光学フェーズドアレイとして機能するランダムにアクセス可能な位相マスクが生成される。SLM 光学ヘッド自体は、カバーガラスと VLSI バックプレーンとの間に挟まれる液晶の層からなる。20

【0042】

次に、光線 13a ~ 13c は、図 2 に詳細に示される干渉計 14 には入り、ビームスプリッタ 20 によって検知光線 15a ~ 15c 及び参照光線 16a ~ 16c に分割される。ビームスプリッタ 20 は、光線の側方シフトを生み出しが、角度偏位は生み出さない。

【0043】

検知光線 15a ~ 15c は干渉計を出て、固定ミラー 16 によって追跡ミラー 17（図 1 に示されるが、図 2 からは省略）によって反射され、追跡ミラー 17 は、XY 走査中、カンチレバー上に最適に位置決めされた状態を保つように光線を操縦する。追跡ミラー 17 は、x, y スキヤナ 2 と同期して変化する角度で光線 15a ~ 15c を反射する走査ミラーを備える。代替的には、速度要件に応じて、追跡ミラー 17 を省き得、この操縦機能は SLM 12 によって行われる。検知光線 15a ~ 15c は、追跡ミラー 17 又は SLM 12 によって操縦され、次に、対物レンズ 18 によってカンチレバーの端部に集束され、そこで対物レンズ 18 に向かって反射する。レンズ 18 は、反射光線 19a ~ 19c を集めてコリメートし、元の干渉計 14 に投射し、そこで、位相シフトビームスプリッタ 21 によって 2 つの成分 30a ~ 30c 及び 31a ~ 31c に分割され、フォトダイオード 22、23 に入射する。参照光線 16a ~ 16c はそれぞれ、位相シフトビームスプリッタ 21 によって 2 つの成分 32a ~ 32c 及び 33a ~ 33c に分割され、フォトダイオード 22、23 に入射し、そこで、関連付けられた参照光線 30a ~ c 及び 31a ~ 31c 4050

によって干渉される。位相シフトビームスプリッタのコーティングは、重複する参照光線 32a～32c 及び 33a～33c と、関連付けられた参照光線 30a～c 及び 31a～31c とによって生成されるインターフェログラム光線対間に直交位相関係を生成する。

【0044】

レンズ 18 は単一のレンズ要素として示されるが、複数のレンズ要素の組立体を備えてよいことが理解されよう。

【0045】

信号処理後、信号は干渉計 14 から SPM コントローラ 3 に送信され、SPM コントローラ 3 は、並列動作用に適合され、各データチャネルは、参照点に関するアレイ内のカンチレバー上の点の位置を表す。

10

【0046】

参照光線 16a～16c は、適宜位置決めされた再帰反射器に向けられ、その後、ビームスプリッタ 21 に向けられ、そこで、参照光線は分割され、2つの検知光線成分と再結合されて、相対位相シフト 90 度を有する第 1 及び第 2 のインターフェログラムを生成する。インターフェログラムは、第 1 及び第 2 のフォトダイオード 22、23 によってそれぞれ検出される。そのようなホモダイン干渉計での 2 つのコヒーレントビーム間の経路差を抽出する干渉方法は、当分野で周知であるため、本明細書では説明しない。

【0047】

2つのインターフェログラムは、理想的には、位相差 90 度を有する相補的な正弦信号及び余弦信号である信号をフォトダイオードから生成すべきである。信号は、DC オフセットなしで等しい振幅を有するべきであり、カンチレバーの変位及びレーザの波長にのみ依存する。不完全な光学成分及び位置合わせ等の現実的な制限に起因して、信号は通常、振幅が等しく、直交位相であり、DC オフセットがない状態で、完全には高調波ではない。したがって、既知の方法を使用して、光路長差を変更しながら、フォトダイオード出力信号を監視して、これらの誤差の補正を決定して適用することができる。

20

【0048】

フォトダイオードからの直交位相信号は、例えば、専用ハードウェア、FPGA 等のプログラマブルハードウェアを使用して、又はプログラムされたコンピュータとして実施し得る従来の干渉計リバーシブル干渉縞計数及び干渉縞再分割技法との併用に適する。直交信号の逆正接に基づいて再分割又は補間する方法は周知であり、サブナノメートル分解能を提供することができる。

30

【0049】

なお、任意選択的に、逆反射器 24 は、レンズ及び平坦ミラーで置換し得る。これは、プローブが対物レンズ 18 の焦点面にない非無限遠補正システムで有利であり得る。

【0050】

光線 13a～13c は、検知光線 15a～15c が対物レンズ 18 の光軸 25 に相対して異なる角度で伝搬し、対物レンズ 18 に達すると、各光線を、無限遠補正システムの場合のレンズ焦点面の、アレイ内の各カンチレバーの背後の所要平面に集束するように、SLM 12 によって操縦される。SLM 12 は、レーダシステムに類似する光学フェーズドアレイを用いてこの回折光線操縦を達成する。なお、干渉計の軸からの光線の角度偏位は、大きくても数度のみであり、したがって、図 2 では誇張されている。それに対応して、対物レンズ 18 による光線の、カンチレバーアレイへの隔たりも、見ることができるよう大きく誇張されている。次に、各光線はカンチレバーから反射し、対物レンズ 18 によって集められる。次に、光線は、対物レンズによってコリメートされ、元のビームスプリッタ 21 に向かって伝搬するが、システムの光軸に関して同じ角度方向大きさを保持する。その一方で、各参照光線は逆反射器 24 を透過し、ビームスプリッタ 21 及び対応する参照光線は、マルチセグメントフォトダイオード 22 及び 23 の前で、レンズ 26、27 に向かって伝搬する際に検知光線に重なる。これらのレンズ 26、27 は、コリメート光線を、それぞれがアレイ内のカンチレバーに対応するマルチセグメントフォトダイオード 22、23 上の一連のスポットに集束する。各スポットの位置は、光軸からの光線の角度

40

50

偏位に直接関連し、したがって、参照光線及び検知光線を再結合して、それらの間の光路長に関連することができる強度信号を生成する。このようにして、アレイ内の各カンチレバーの平行干渉位置検知を、サブナノメートル分解能且つ高帯域幅で達成することができる。本明細書に記載の干渉計は、ホモダイインシステムの一例である。記載の特定のシステムは、本願に幾つかの利点を提供する。2つの直交位相インターフェログラムの使用により、複数の干渉縞にわたる、ひいては大きな変位範囲にわたるカンチレバー変位を測定することができる。位相直交インターフェログラム対の生成に使用されるビームスプリッタ 106 の位相シフトコーティングの使用により、例えば、光線がカンチレバーから反射される際の偏光変化から生じる偏光の影響への干渉計の感度を低減する。これらの原理に基づく干渉計の例は、米国特許第 6 6 7 8 0 5 6 号明細書及び国際公開第 2 0 1 0 / 0 6 7 1 2 9 号パンフレットに記載されている。光路長の変化を測定可能な代替の干渉計システムを本発明と共に利用することもでき、例えば、ホモダイイン干渉計を、偏光方法を使用して実施して、2つの位相直交インターフェログラムを生成することができ、又は二重周波数レーザ A に適するホモダイイン偏光ベースの干渉計を使用することによって実施されるヘテロダイイン干渉計は、欧州特許第 1 8 9 2 7 2 7 号明細書に記載されており、適するヘテロダイイン干渉計は、本発明と併用するように構成可能な米国特許第 5 1 4 4 1 5 0 号明細書に記載される。

10

【0051】

プローブの位置は、反射光線 19a ~ 19c の経路と、フォトダイオード 22、23 上の関連付けられたスポットの位置とに影響する。プローブの角度は、光線の反射角に影響するが、特に重要なのは、対物レンズ 18 の焦点面でのプローブの高さ及び位置である。理論上、対物レンズ 18 の焦点面の単一点から任意の角度から伝搬する光は、フォトダイオード 22、23 上の単一点に辿り着く。これは、フォトダイオードの前の集束レンズ 26、27 が、対物レンズ 18 の焦点面に配置される物体、すなわちプローブアレイの像を形成するためである。これを視覚化する一方法は、対物レンズ 18 の焦点面での単一点から任意の角度から伝搬する光が、対物レンズ後、コリメートされた光線を生成し、この光線が、集束レンズ 26、27 により単一点に集束することを考慮することである。なお、これは、プローブ及びフォトダイオード 22、23 が、対物レンズ 18 及び集束レンズ 26、27 のそれぞれの焦点面である無限遠補正光学系の場合である。

20

【0052】

ここで、プローブの高さ変化を考慮すると、これは、フォトダイオード上のスポットの形成に影響する。実際、スポットの位置に影響するのみならず、スポットの形状にも影響し、すなわち、ピンボケする。これは、参照光線とのインターフェログラムを作成する能力に影響する。これは、対物レンズ後がわずかに集束又は発散する反射光線で視覚化することができ、したがって、光線の波面は参照光線と比較して歪み、これは干渉計のコントラストに影響する。

30

【0053】

しかし、検知光線及び参照光線がフォトダイオード 22、23 上で完全に重なる必要はない。図 3 は、検知光線 30a ~ 30c 及び参照光線 33a ~ c に関連付けられた重複スポットと共に、フォトダイオード 22 の部分を示す。光線が重なる領域はインターフェログラムを形成し、重なりが大きいほど、検知光線と参照光線との間の経路長変化に関連付けられた建設的干渉及び相殺的干渉の強度変化も大きい。重ならない領域は単純に、フォトダイオードによって測定される強度に DC オフセットを形成する。スポット間の重なりの程度が変化する場合、干渉に起因する強度変動の大きさが変化するが、測定される平均 DC オフセットは同じままである。明らかに、スポットの重なり、ひいては信号対雑音比を最大化することが好ましいが、重なりの変動にも対応することができる。

40

【0054】

フォトダイオード 22 は、本体 40 と、3つの感光領域 41a ~ 41c とを有する。光学システムは、光線の各重複対を感光領域 41a ~ 41c のそれぞれ 1 つの中央に向けるように構成され、それにより、各領域 41a ~ 41c の出力は、z 方向でのプローブのう

50

ちの関連付けられた 1 つの真の瞬間高さを表す。これは先端、すなわち、偏向の先端に相対するプローブのベースの位置から独立している。

【 0 0 5 5 】

図 3 の場合、各インターフェログラムの強度は、各インターフェログラムがフォトダイオード 22 の別個の領域 41a ~ 41c に配置されるため、独立して監視される。インターフェログラムのピッチ及び位置は、光学システムの倍率によって制御され、倍率は、フォトダイオードレンズ 26、27 の焦点距離を、対物レンズ 18 の焦点距離で除算することによって決まる。

【 0 0 5 6 】

任意選択的に、インターフェログラムよりも大きな数のフォトダイオード領域を図 4 に示されるように使用することができ、図 4 では、フォトダイオード 22 は 9 つの領域 42a ~ 42i を有し、各インターフェログラムがかかる領域を合算して、インターフェログラムの強度を特定することができる。これにより、プローブピッチの変化に対応する必要があり得るインターフェログラムのピッチを調整が可能である。

10

【 0 0 5 7 】

なお、プローブの 2D アレイひいてはインターフェログラムを測定すべき場合、2D フォトダイオードアレイを使用することが可能である。

【 0 0 5 8 】

図 1 に戻ると、顕微鏡は、これより説明するプローブを湾曲させる光熱作動システムを有する。IR レーザ 50 からの光は、第 2 の SLM 51 に入射し、ここで、アレイ内のカンチレバー毎に少なくとも 1 つずつの作動光線 52a ~ 52c に分割される。次に、光線 52a ~ 52c はダイクロイックミラー 68 及び追跡ミラー 17 (干渉計 14 と共有される) によって反射され、追跡ミラー 17 は、光線が XY において走査される際に、光線をカンチレバー上の所定位置に維持する。次に、光線 52a ~ 52c は、対物レンズ 18 によってカンチレバー上に集束し、精密な位置決めが、SLM 51 を使用して光線を操縦することによって達成される。光熱作動システムは、大きな柔軟性及び制御性を持って、幾つかの方法でカンチレバーを制御することができる。例えば、カンチレバーのベースに各光線を操縦することにより、光熱効果を使用して、カンチレバー選択のために又は代替として、従来の SPM フィードバック制御の場合には z 作動のために、カンチレバーを上下に偏向させることができる。幾つかの SPM 撮像モードでは一般的な要件である、カンチレバーを共振させる必要がある場合、IR レーザ 50 を変調して、共振周波数のうちの 1 つ又は複数でカンチレバーを駆動することができる。さらに、異なるカンチレバーを異なる周波数で共振するように別様に設計し製造することができ、それにより、完全に独立した動作が可能である。動作モードの上記例は、決して限定を意図せず、並列プローブ SPM の能力範囲の幾つかの例を与える。

20

30

40

50

【 0 0 5 9 】

図 5 を参照して、並列プローブ光熱作動システムのより詳細な図を示す。レーザ源 50 からの光 53 は、平行光線に拡大され、SLM 51 に入射するように向かって、SLM 51 のアパーチャを充填する。この図は SLM 51 への 45 度の入射角を示すが、効率を高めるために、他の角度を利用することもできる。図を簡潔にするために、ビーム経路を示す、各光線 52a 及び 52b からの 1 つのみの光線が示される。SLM 51 がオフに切り替えられる場合、入射光は SLM 51 からスペクトル的に反射され、対物レンズ 18 の光軸に沿った点線 55 の経路を辿り、ビームスプリッタ 54 を介して対物レンズの背面に向けられる。簡潔にするために、2 つのみのカンチレバー 5a 及び 5b がこの図に示される。2 つのカンチレバーを照明するために、光線を分割する必要がある。これは SLM 51 によって達成され、SLM 51 は、各光線 52a、52b を、光軸 55 の近傍で対物レンズ 18 の背面に向けて操縦するようにプログラムされ、それにより、対物レンズは、光線 52a、52b を対物レンズの焦点面における各カンチレバー 5a、5b の背面上の所要位置に集束する。これは、対物レンズ 18 の光学中心を通る 2 つの光線経路で示される。光軸に対する光線の角度は、説明のために大きく誇張されている。SLM 51 は、SL

M 1 2 と同様に動作するが、S L M 1 2 は入力光線を透過する一方で、S L M 5 1 は入力光線を反射する。S L M 2 1 のように、S L M 5 1 は、レーダシステムに類似する光学フェーズドアレイを用いて回折光線操縦を達成する。回折光学フェーズドアレイは、量子化マルチレベル位相グレーティングとして考えることができる。アレイで使用される位相レベルが多いほど、回折効率は高い。例えば、バイナリ位相グレーティングは理想的には、2つの一次回折光線のそれぞれで 40 . 5 % の回折効率を提供する。

【 0 0 6 0 】

図 6 は、マウント 7 の近位端部での各作動光線 5 2 a ~ 5 2 g と、先端部 6 a (カンチレバーの逆側にあるため、図 6 には示されていない) の上の遠位端部での各検知光線 1 5 a ~ 1 5 g とでそれぞれ示される 7 つのカンチレバー 5 a ~ 5 g の線形アレイを示す図である。適する対物レンズ 1 8 を用いて、作動光線 5 2 a ~ 5 2 g 及び検知光線 1 5 a ~ 1 5 g にわずか数 μm のスポットサイズを達成することが可能であり、効率的な光熱作動に必要な、カンチレバー上の特定の位置への赤外線放射線の精密な適用が可能である。S L M を使用して、図 6 に示されるように、各光線によって生成される集束スポットのサイズを制御することも可能であり、図 6 では、作動光線 5 2 a ~ 5 2 g は、検知光線 1 5 a ~ 1 5 g によって生成されるスポットよりも大きなスポットを生成する。

【 0 0 6 1 】

カンチレバー 5 a ~ 5 g は、加熱されたときに膨張差を受ける材料の熱的バイオモルフ構造体である。すなわち、カンチレバー 5 a ~ 5 g は、異なる熱膨張を有する 2 つ (又は 3 つ以上) の材料で構成される。通常、これは、金又はアルミニウムのコーティングを有するケイ素又は窒化ケイ素ベースである。コーティングは、カンチレバーの長さを拡張し、先端部から逆側を覆う。作動光源 5 0 は、好ましくは、特定のコーティングでの吸収スペクトルの最大又はピークがある 1 つ又は複数の波長の光 5 3 を発する。例えば、波長は、約 810 nm でアルミニウム吸収ピークの前後であり得る。他のコーティング / 波長組み合わせを使用することもでき、例えば、金は 500 nm 未満の光でより高い吸収を有する。この光がカンチレバーのコーティング側に入射すると、アルミニウムは窒化ケイ素よりも大きな程度、拡大し、先端部が下方に、試料に向かって移動するようにカンチレバーを湾曲させる。したがって、照明強度が増大する場合、先端部は試料表面のより近傍に移動する。逆に、強度が下がる場合、湾曲は低減し、先端部は試料から離れて移動する。コーティング及びベース材料の他の構成は、照明に応答して逆方向に湾曲されることになり得る。

【 0 0 6 2 】

カンチレバー 5 a ~ 5 g は一定間隔 (ピッチ) で示されるが、任意選択的に、隣接するカンチレバーの間隔は、アレイの幅にわたって可変である。S L M 1 2 は、そのような可変ピッチを有するプローブアレイに適合するように制御することができる。

【 0 0 6 3 】

図 1 を参照すると、作動光源 5 0 は信号生成器 5 6 によって制御され、次いで信号生成器 5 6 は、S P M コントローラ 3 にリンクされる。信号生成器 5 6 は、作動光源 5 0 から発せられる光 5 3 の強度を制御するように動作可能であり、通常、100 kHz 代 ~ 10 KHz 代の高変調速度で光線 5 2 a ~ 5 2 c の強度をユニゾンで制御する。他方、S L M 5 1 は、光線 5 2 a ~ 5 2 c の個々の 1 つを独立して制御することができるが、通常 100 Hz 代であるが、1 kHz 以下より低い速度である。光線 5 2 a ~ 5 3 c の強度は、熱的バイオモルフプローブ (材料の詳細に関係なく) によって示される湾曲の程度を決め、したがって、走査の過程中的先端部 - 試料の隔たり距離を支配する。

【 0 0 6 4 】

作動光源 5 0 から発せられる光 5 3 の強度は、次のセクションで説明されるパラメータに従って走査が進むにつれて変調される。基本的に、作動光源 5 0 及び S L M 5 1 は、z 位置フィードバック及びプローブ振動の両方の駆動機構を提供するものと見なすことができる。すなわち、各カンチレバープローブの振動を駆動し、各プローブ - 走査の過程中的試料隔たり距離 - を調整するように設定される。代替の一実施形態では、光源から発せら

10

20

30

40

50

れる光 5 3 の強度を変調するか、又は S L M 5 1 の動作によって個々の光線 5 2 a ~ 5 2 c の強度を変調する代わりに、個々の光線 5 2 a ~ 5 2 c の強度は、 S L M 5 1 とプローブとの間の光線経路内の音響光学変調器 (A O M) 又は電子光学変調器 (E O M) 等の光学要素 7 0 によって変調することができる。

【 0 0 6 5 】

これより、 S P M の撮像モードの特定の実施形態についてより詳細に説明する。

【 0 0 6 6 】

並列プローブ顕微鏡は特に、大きく略平坦な表面エリアを調べて、効率的な産業用途に必要とされる高速で、ナノメートル尺度で特徴を検出するのに適する。そのような用途の主な一例は、極紫外線 (E U V) マスクの検査である。 E U V リソグラフィの商業化のために対処すべき重要な問題は、マスク、特にプランクマスク上の欠陥の検出及び低減である。プランクマスク上の典型的な欠陥は、多層堆積中に基板又は多層スタックの最上部を起点とし得るピット又は粒子である。埋められた欠陥は特に問題であり、 1 0 n m 欠陥及び小さな欠陥は問題であると見なされ得る。例えば、マスク基板平坦度での 3 n m 変動に起因する位相シフトは、プリント可能な欠陥を生成するのに十分である。 S P M は原理上、そのような欠陥の検出に適するが、単一のプローブ機器は、産業用途には低速すぎる。通常、許容可能な走査速度を達成するには、 1 0 以上 のプローブの並列プローブ機器が必要である。各プローブの循環振動に基づくそのような機器の例示的な動作モードについて、以下のセクションで説明する。

10

【 0 0 6 7 】

試料の像を撮影するに当たり、 S P M は以下のように動作する。信号生成器 5 6 は、所望の周波数及び振幅で振動するソース信号 5 7 を提供する。この信号 5 7 は、作動 I R 光源 5 0 への入力において、 S L M によって発せられる光線 5 2 a ~ 5 2 c のそれぞれに、信号の波形に関連して強度を変調させる。

20

【 0 0 6 8 】

この変調光は、各カンチレバーに入射すると、強度変調に伴って変わるカンチレバーの屈曲を生じさせる。したがって、プローブ先端部は、自由空間で、駆動信号 5 7 と同じ周波数及び振幅で試料に向かって及び試料から離れて駆動される。プローブ振動周波数は通常、共振又はその近傍であるように選ばれる。代替的には、プローブは、オフ共振であるが、それでもなお高周波数で駆動することができる。プローブは略同じ共振周波数を有するように製造することができるため、各プローブを単一の信号駆動信号 5 7 (S L M 5 1 による更なる変調なしで) により共振で駆動可能なことに留意することが重要である。限られた応答速度を有する S L M 5 1 を使用して、後述する動作モードで必要とされる第 2 の駆動信号 5 8 に従って、各光線 5 2 a ~ 5 2 c の全体振幅及び角度 (ひいてはカンチレバー上の位置) を独立して変調することができる。代替的には、各プローブは、適する設計により、例えば、カンチレバーの幅等の寸法を変更することにより、いくらか異なる共振周波数を有するように製造することができる。この場合、駆動信号 5 7 は、 I R レーザ 5 0 に、それぞれが選択されたプローブ (又はプローブ群) の共振に対応する複数の周波数成分を含む入力光線 5 3 を生成させる。その場合、各プローブの振動振幅は、信号 5 7 を介して関連する信号周波数成分の振幅を変更することによって調整し得る。この場合、制御信号 5 8 は、 S L M 5 1 に光線 5 2 a ~ 5 2 c の位置及び相対強度を制御させるだけである。

30

【 0 0 6 9 】

動作に当たり、各カンチレバープローブは、上述したように、各変調強度光線 5 2 a ~ 5 2 c によって同時に照明され、それにより、所望の自由空間振幅で振動する。次に、プローブマウント 7 は、全てのプローブが表面の指定範囲内にあるように、 z アクチュエータ 4 を使用して試料に向かって移動する。これは、表面が略平坦である場合、比較的単純である。プローブマウント 7 の初期 z 位置決め後、表面上の各プローブの高さに幾らかのばらつきがある。これは、全てのプローブが表面上の同じ高さになるまで、マウント 7 を機械的に傾斜させることによって補償することができる。代替的には、レーザ 5 0 を用い

40

50

てプローブを照明し、S L M 5 1を使用して、個々のプローブ（又はプローブ群）が表面に向かって湾曲し、範囲になったときに停止するよう、第2の駆動信号5 8に従って各光線5 2 a～5 2 cの振幅を独立して変調することによって補償することができる。代替的には、上記の組み合わせによって補償することができる。

【0070】

さらに、表面の上の設定された高さの撮像位置にプローブのサブセットのみを有することが望ましいことがある。例えば、10個のプローブのアレイを用いる場合、隨時、撮像位置に5つのみのプローブ（例えば、1つ置きのプローブ）を有することが望ましいことがある。その場合、5個のプローブのうちの1つが破損すると、5個のプローブを試料1aから退避させることができ、他の5個のプローブが所定位置に移動する。そのような低速の全体的プローブz位置決めは、アレイ内の他のプローブから独立して撮像位置から個々のプローブ（又はプローブ群）を選択又は退避せるように動作可能なS L M 5 1及び制御信号5 8によって達成することができる。

10

【0071】

次に、信号生成器5 6は、作動光源5 0への信号5 7を増大させ、それにより、プローブ先端部は、表面と断続的に接触するように係合し始める。表面に断続的に接触する振動プローブの性質は複雑であり、プローブの設計、先端部の幾何学的形状及び化学的性質、並びに表面のトポグラフィ及び化学的性質を含む多くの要因に依存する。しかし、広義の用語で、各プローブの振動振幅は、先端部が表面に向かって移動し、表面に接触し始めるにつれて低減され、それにより、先端部振動の最低点は、先端部が試料表面に接触する点に対応する。このようにして、各プローブは、作動レーザ駆動周波数によって決まる周波数で表面を効率的にサンプリングする。

20

【0072】

振動振幅は、各先端部への力が設定レベル内に保たれて、先端部又は表面に破損が発生しないことを保証するように制御される。そのような振幅制御は、幾つかの方法で達成することができる。第1に、z位置決めシステム4は、プローブマウント7を移動させ、プローブを試料に向けて、又は試料から離してユニゾンで移動させるように動作することができる。第2に、駆動信号5 7は、I Rレーザ5 0に入力信号5 3を生成させることができ、入力信号5 3の振幅は変更され、したがって、プローブの移動振幅がユニゾンで変更される。第3に、S L M 5 1及び制御信号5 8は、アレイ内の他のプローブから独立して、個々のプローブ（又はプローブ群）の移動振幅をゆっくりと変更するように動作することができる。第4に、各プローブは、適する設計により、例えば、カンチレバーの幅等の寸法を変更することにより、いくらか異なる共振周波数を有するように製造することができる。この場合、駆動信号5 7は、I Rレーザ5 0に入力光線5 3を生成させ、入力光線5 3は、それぞれが選択されたプローブ（又はプローブ群）の共振に対応する複数の周波数成分を含む。次に、各プローブ（又はプローブ群）の振動振幅は、信号5 7を介して関連する信号周波数成分の振幅を変更することによって他のプローブから独立して素早く調整することができる。

30

【0073】

各プローブは、並列干渉法検出システム1 4によって振動全体を通して連続監視され、このシステムは、所与の時点でのプローブの瞬間位置に対応する信号6 0を各プローブに出力する。高速走査システムの場合、このようにして相当量のデータが生成される。したがって、S P Mコントローラ3は、必要な処理能力を提供するように構成されるフィールドプログラマブルゲートアレイ（F P G A）を組み込む。当分野で既知のように、デジタル信号処理（D S P）又は専用アナログ若しくはデジタル電子法等の代替の信号処理技法を使用してもよい。プローブ循環移動は通常、1 0 k H z代から1 0 0 k H z代の周波数範囲を有し、データ記録のサンプリング周波数は1 0 0 M H z辺りにある。したがって、プローブ移動の各サイクルは、1 0 0 0回～1 0 0 0 0回の辺りでサンプリングされ、これは、高さ検出器信号6 0を分析して、アレイ内の各先端部の表面高さ検出点を得るのに十分過ぎるほどである。瞬間高さ検出信号を処理して、任意の所与のプローブの表面高さ

40

50

読み取り値を導出する幾つかの方法がある。しかし、最も単純な場合、読み取り値は、プローブ先端部が表面に実質的に接触する（又は接触に近い）と見なされるときの、プローブ振動サイクルでの最低記録点に基づくことができる。

【0074】

x y スキャナ2は、試料表面にわたりカンチレバーアレイを並進移動させて、表面の像を生成する。コントローラ3は、IR作動源50及び検出源10の両方からの光が、各プローブが移動する際にアレイ内の各プローブ上の位置（図6に示される）を維持するように、追跡システム17がスキャナ2によって駆動される走査パターンに一致することを保証する。コントローラ3は、特定の制約及び機械的挙動に応じて、スキャナ2及び追跡システム17に異なる駆動信号を計算し得る。試料が走査される場合、プローブ、検出システム、及び作動システムが固定された位置合わせに保たれるように試料が移動するとき、追跡システムが必要ないことがある。

10

【0075】

このようにして、プローブアレイは表面上を走査し、顕微鏡はアレイ内の各プローブからデータを収集して、サブナノメートル垂直及び水平分解能を有するデータ点で形成される、表面の空間マップを提供する。必要とされる検査上方の種類に応じて、多くの走査動作パターンを辿ってデータを収集することができることが理解されよう。EUVマスク上の欠陥を検査する場合、欠陥のレベルが低いことに起因して、大きな表面面積を検査しなければならない。通常、走査パターンはラスタパターンを辿り、10個の並列プローブが、単一プローブ顕微鏡の場合と比較して約10倍のデータ取得速度増大を提供する。

20

【0076】

アレイがX Y 平面で並進移動する際、各プローブ先端部が、表面と係合するにつれて、各プローブ振動サイクルの下点で異なる表面セグメントに直面することが理解されよう。表面は完全には平滑ではないため、先端部は、振動サイクル及び上述したように抽出される所与のセグメントの表面高さで異なるポイントにおいて係合する。フィードバックループが動作する従来のSPMのように、セグメント単位でのセグメント上のカンチレバーベース高さ調整は行われない。しかし、略平坦な試料の場合、試料と一定の隔たりでアレイを走査し、いかなる調整も行わないことは許容可能であり得、大きな利点を与える。例えば、従来のSPMを用いる場合のように、このモードで動作する場合、並列プローブ顕微鏡の走査速度がz作動フィードバックループによって制限されないことが強調されるべきである。並列プローブ顕微鏡は、程々に平坦な試料でフィードバックによって課される制限をかなり上回る走査速度で動作することが可能である。並列干渉系検出システム14によって抽出される高さ情報は、従来のSPMで利用されるZアクチュエータサーボ制御ループの出力ではなく、プローブの真の瞬間高さを表す。しかし、SPMコントローラ3を使用して、より長期にわたり、プローブアレイを適する表面範囲に維持する。これは、各プローブの高さデータを処理して、例えば、表面上のプローブ先端部の滞留時間を示すパラメータを抽出することによって達成される。他のパラメータを利用することもできる。次に、各プローブのこれらのパラメータ値が処理され、信号58を調整する比較的低速のz作動制御ループの駆動に使用され、その唯一の目的は、プローブの移動を設定限度内に維持することである。

30

【0077】

任意選択的に、図1の顕微鏡は、プローブ上に光線の像を生成する光学システムも有し、これについてこれより説明する。照明源62は、ビームスプリッタ64、65（ダイクロイックミラー等）及び対物レンズ18を介してプローブを照明する照明光線63を生成する。ビームスプリッタ65は、光線15a～15cを透過するが、光線15a～15cとは異なる波長を有する照明光線63を反射する。

40

【0078】

プローブからの反射光は、チューブレンズ67を介して電荷結合素子（「CCD」）カメラ66に向けられる。CCDカメラ66は、プローブの完全なアレイ（図6と同様）の像を生成し、この像是コントローラ3に入力される。次に、コントローラ3は像を使用し

50

て、光線が撮像前にプローブ上の必要とされる位置（例えば、プローブの中央又は一縁部）になるように、プローブアレイの X Y 位置及び / 又は S L M 1 2 、 5 1 からの光線の角度を調整することができる。光線が、 C C D カメラ 6 6 からの画像を使用してプローブ上に大まかに位置決めされると、コントローラ 3 は干渉計フォトダイオード 2 2 からの信号を使用して、光線がプローブ上に正確に位置決めされるように、プローブのアレイの X Y 位置及び / 又は S L M 1 2 、 5 1 からの光線の角度を調整することができる。これは、光線がプローブの左縁部から落ちる（且つフォトダイオードからの関連付けられた信号が、急激に変化するか、又は事前設定されるレベル未満に下がる）まで、光線又はプローブをプローブの左側に動かし、次に、光線がプローブの右縁部から落ちる（且つフォトダイオードからの関連付けられた信号が、急激に変化するか、又は事前設定されるレベル未満に下がる）まで、光線又はプローブをプローブの右側に動かすことによって行われる。次に、光線又はプローブをこれらの点の中間点又は何らかの他の所望の位置に移動させることができる。同様のプロセスを使用して、カンチレバーの遠位端部に相対して光線を正確に位置決めすることができる。

10

【 0 0 7 9 】

この正確な x y 位置合わせは、プローブサポート 7 を移動することにより、より好ましくは制御信号 5 8 の動作によって S L M 1 2 、 5 1 からの光線の角度を独立して調整することにより、プローブをユニゾンで移動することによって達成することができる。

20

【 0 0 8 0 】

これより、マイクロカンチレバーバイオセンサについて図 7 を参照して説明する。構成要素の多くは図 1 に示される構成要素と同等であり、同じ参照番号がそのような同等の構成要素に使用される。しかし、プローブアレイ走査への要件はなく、プローブアレイはマイクロ流体カートリッジ 7 0 内に収容され、このカートリッジは、光学アクセスを可能にしながら、分析すべき流体をプローブアレイに送ることが可能な光学ポートを有する。そのようなマイクロ流体システムが当分野で周知であり、したがって、本明細書ではこれ以上説明されないことが理解されよう。図 1 からの追跡ミラー 1 7 は省かれ、固定傾斜ダイクロイックミラー 1 7 a で置換されている。

20

【 0 0 8 1 】

プローブアレイは、先端部は必要ないことを除いて、上述したようにケイ素又は窒化ケイ素で構成することができるが、その理由は、カンチレバーの能動的バイオセンサエリアが一般に、先端部ではなくカンチレバー背面上の明確に画定されたエリアであるためである。したがって、カンチレバーの背面上のエリアは、光熱作動のためにバイメタル層でコーティングされ、一方、別のセグメントは通常、一般に、光崩壊を回避するために、作動レーザ及び検出レーザの両方からかなり離れて、バイオセンサ用に金でコーティングされる。金はチオール修飾生化学エンティティの固定化に適するため、多くの場合、金が使用される。これらは、標的分子（リガンド）をバイオセンサ表面に結合し、それにより、表面応力を誘導し、プローブ全体の質量を増大させるレセプタである。多くのレセプタ - リガンド組み合わせが存在し、当分野で周知であるため、本明細書では詳細に説明しないことが理解されよう。臨床用途は複数の標的分子を有することが多いため、アレイ内のプローブの厳密な数もバイオセンサ用途に応じて変化する。通常、アレイは、能動カンチレバー及び参照カンチレバーの両方を含め、 1 0 代又は 1 0 0 代のカンチレバーからなり得る。参照カンチレバーが通常、マイクロ流体動作及び検体測定中に温度補償のために使用される。

30

【 0 0 8 2 】

カンチレバープローブアレイ及びマイクロ流体システム 7 0 は、図 1 の S P M と略同じように並列干渉計及び光熱作動システムに組み込まれる。バイオセンサアレイは、上述したように静的モード又は動的モードで動作することができる。動的モードについてより詳細に以下に説明する。

40

【 0 0 8 3 】

動的モードでは、各プローブの質量の増大は、アレイを囲むマイクロ流体キャビティ内

50

のリガンドの存在及び濃度を記録するのに使用することができる共振周波数の低減を生み出す。並列バイオセンサシステムには、干渉計 14 内で適宜機能化され位置合わせされたプローブアレイが構成され、光線は、プローブを作動させ、プローブの位置を検出する SLM 12、51 によって各カンチレバー上に位置決めされる。この場合、各プローブは、同じ共振周波数を有するように設計され製造されるが、幾らかの小さなばらつきは不可避であり、システムの動作にとって重要ではない。分析流体は、マイクロ流体システム 70 に導入され、通常、分析のためにプローブアレイキャビティにポンピングされるか、又は毛細管作用によって運ばれる。

【 0 0 8 4 】

リガンドがレセプタに結合する際に生じる共振周波数シフトを検知するために、信号 57 はまず、IR レーザ 50 をプローブアレイの非結合共振周波数に近い周波数で駆動する。ここで考慮される事例では、駆動周波数は、共振未満であり、プローブ振動の振幅が周波数に伴って概ね線形に変化する共振曲線領域内にある。任意の所与のプローブで、新しいプローブ共振周波数は、リガンドが結合される際に低下し始め、プローブ共振周波数を光熱駆動周波数により近い周波数にする。その結果、プローブ振動の振幅が、リガンドの結合質量に伴って概ね線形に増大する。位相高感度動作に基づく代替の検出方式は当分野で既知であるため、本明細書に説明しない。上で与えられた簡略化された説明を、バイオセンサ動作の成功に必要な補償方式及び較正等のより詳細な考慮事項の多くを考慮に入れるように展開可能なことが理解されよう。そのような詳細は、本願の範囲外であり、当分野で周知である。

10

20

30

40

【 0 0 8 5 】

上述した並列干渉法検出及び作動様式は、バイオセンサ動作に多くの利点を提供する。臨床用途は多くの場合、複数の標的、ひいては複数のプローブを必要とし、従来の PSD 検出を非現実的なものにする。本発明によるシステムは、原理上、数百代のプローブにスケーリングすることができ、これは多くの臨床診断要件をカバーする。並列干渉法検出及び作動システムは、柔軟でもあり、異なる寸法及び特徴のバイオセンサアレイと動作するようにコントローラ 3 を再プログラミングすることによって再構成することができる。プローブアレイ自体は、単純、安価、且つ多くの用途で必須のディスポーバブルである。通常、マイクロ流体力カートリッジ 70 に集積されるプローブアレイは、システムに素早く導入することができ、必要とされる最適な検出及び光熱作動条件に達するまで、SLM によってコンピュータ制御下で光線を向けることができるため、位置合わせを完全に自動化することができる。

【 0 0 8 6 】

上述した本発明の実施形態では、対物レンズ 18 を使用して、検知光線及び作動光線をプローブに向ける。しかし、対物レンズの使用は必須ではなく、図 8 は、対物レンズが使用されない一実施形態を示す。図 8 の実施形態は、図 1 の実施形態と共通する様々な要素を有し、同じ参照番号がこれらの要素に使用されている。レンズ又は追加の光学構成要素を使用して、所望の光線構成を生成する。この場合、レンズ 80 が各 DOE 12、51 の後に使用されて、光線の平行アレイを生成し、この光線の平行アレイはプローブを照明する際にも平行する。なお、レンズ（図示せず）を各フォトダイオード 22、23 の前に設けて、光線を部分的にフォトダイオード上に集束させて、例えば、スポット間隔をフォトダイオードジオメトリに一致させることができる。フォトダイオード 22、23 は、各レンズの焦点面に配置されず、その理由は、光線が平行し、レンズの焦点面での单ースポットに集束するためである。

【 0 0 8 7 】

図 9 は、対物レンズがない別の実施形態を示す。この場合、DOE 12、51 の後にレンズ 80 もなく、プローブを照明する光線は平行とならない。レーザ 90、91 はフォトダイオード 22、23 の前に示される。

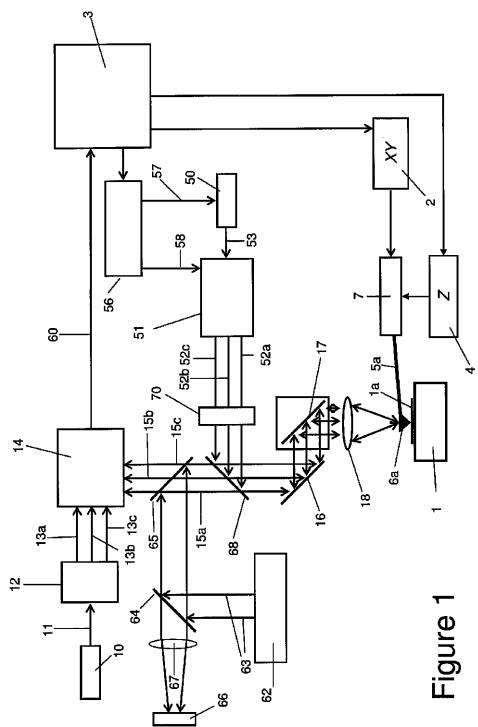
【 0 0 8 8 】

本発明について 1 つ又は複数の好ましい実施形態を参照して上述したが、添付の特許請

50

求の範囲に規定される本発明の範囲から逸脱せずに、様々な変更及び変形を行い得ることが理解されよう。

【図1】



【図3】

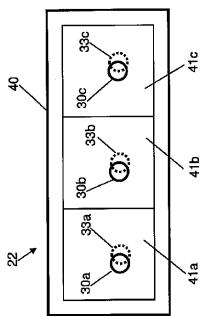


Figure 3

【図4】

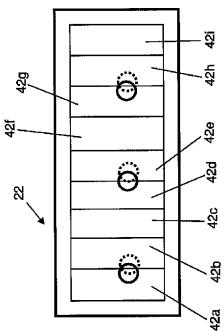


Figure 4

【図5】

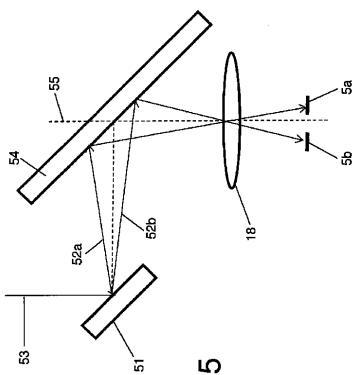


Figure 5

【図6】

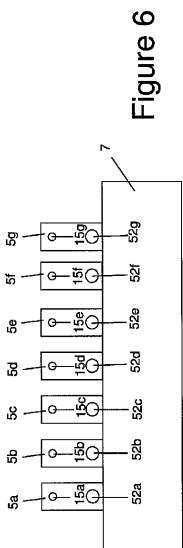


Figure 6

【図7】

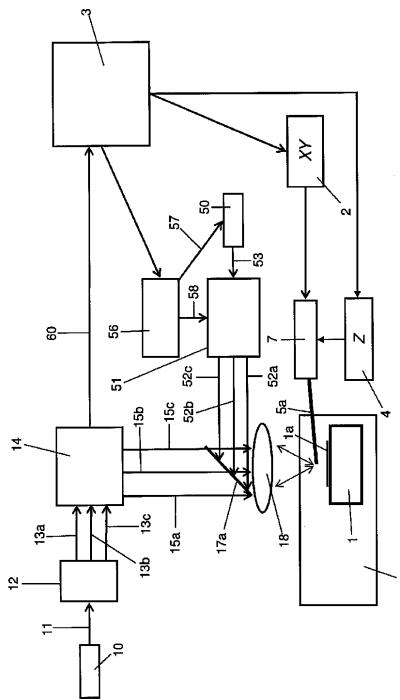


Figure 7

【図8】

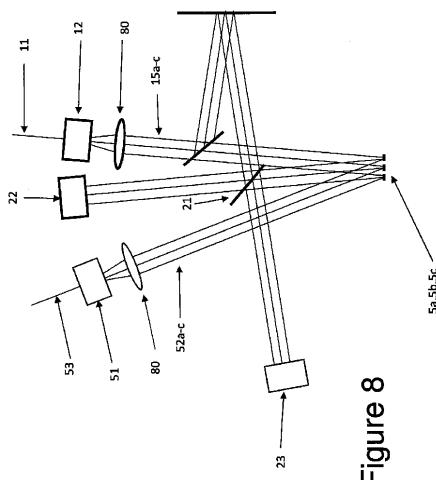


Figure 8

【図9】

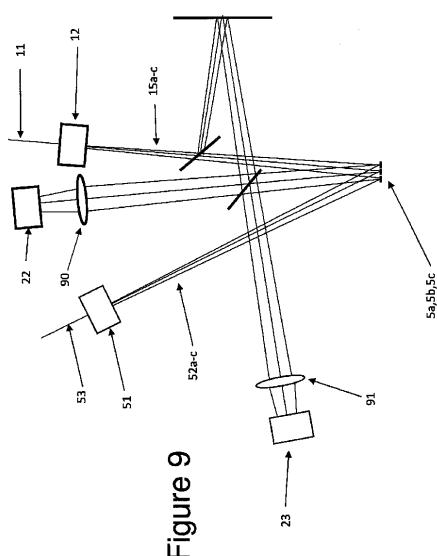


Figure 9

【国際調査報告】

| INTERNATIONAL SEARCH REPORT | | |
|---|---|---|
| | | International application No PCT/GB2013/052256 |
| A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER INV. G01Q10/04 G01Q20/02 G01Q70/06 G01N29/036 ADD. B82Y35/00 G03F7/20 G11B9/14 | | |
| 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) G01Q G01N G03F G11B | | |
| Documentation searched other than minimum documentation to the extent that such documents are included in the fields searched | | |
| Electronic data base consulted during the international search (name of data base and, where practicable, search terms used) EPO-Internal, WPI Data | | |
| C. DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT | | |
| Category* | Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages | Relevant to claim No. |
| X | WO 2006/055961 A2 (SALSMAN KENNETH E [US]; SCT RA INC [US]; SALSMAN KENNETH E [US]; SO DAN) 26 May 2006 (2006-05-26) figure 3 paragraph [0042] | 1,15 |
| Y | ----- WO 2012/059828 A2 (KOC UNIVERSITESI [TR]; UREY HAKAN [TR]; ALACA BURHANETTIN ERDEM [TR];) 10 May 2012 (2012-05-10) figures 16,17 paragraph [0045] - paragraph [0046] | 3,4, 12-14, 20,21 |
| Y | ----- EP 0 397 416 A1 (AMERSHAM INT PLC [GB]) 14 November 1990 (1990-11-14) figures 11,12 column 11, line 33 - column 13, line 23 | 3,4, 12-14,20 |
| A | ----- paragraph [0045] - paragraph [0046] | 1,15,21 |
| Y | ----- -/- | 21 |
| <input checked="" type="checkbox"/> Further documents are listed in the continuation of Box C. | | <input checked="" type="checkbox"/> See patent family annex. |
| * Special categories of cited documents : "A" document defining the general state of the art which is not considered to be of particular relevance "E" earlier application or patent but published on or after the international filing date "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) "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 1 October 2013 | | Date of mailing of the international search report 09/10/2013 |
| Name and mailing address of the ISA/ European Patent Office, P.B. 5818 Patentlaan 2 NL - 2280 HV Rijswijk Tel. (+31-70) 340-2040, Fax: (+31-70) 340-3016 | | Authorized officer Polesello, Paolo |

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

| |
|---|
| International application No PCT/GB2013/052256 |
|---|

C(Continuation). DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

| Category* | Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages | Relevant to claim No. |
|-----------|--|-----------------------|
| A | LAVRIK NICKOLAY V ET AL: "Femtogram mass detection using photothermally actuated nanomechanical resonators", APPLIED PHYSICS LETTERS, AIP, AMERICAN INSTITUTE OF PHYSICS, MELVILLE, NY, US, vol. 82, no. 16, 21 April 2003 (2003-04-21), pages 2697-2699, XP012033838, ISSN: 0003-6951, DOI: 10.1063/1.1569050 figure 2 page 697, column 2, line 5 - line 24 ----- | 1-21 |

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

Information on patent family members

| |
|------------------------------|
| International application No |
| PCT/GB2013/052256 |

| Patent document cited in search report | Publication date | Patent family member(s) | Publication date |
|--|------------------|--|--|
| WO 2006055961 A2 | 26-05-2006 | EP 1846983 A2 JP 2008521015 A US 2006284774 A1 US 2012007585 A1 WO 2006055961 A2 | 24-10-2007 19-06-2008 21-12-2006 12-01-2012 26-05-2006 |
| WO 2012059828 A2 | 10-05-2012 | CA 2816374 A1 EP 2635900 A2 WO 2012059828 A2 | 10-05-2012 11-09-2013 10-05-2012 |
| EP 0397416 A1 | 14-11-1990 | CA 2016002 A1 EP 0397416 A1 JP H0365248 A US 5047633 A | 08-11-1990 14-11-1990 20-03-1991 10-09-1991 |

フロントページの続き

(81)指定国 AP(BW,GH,GM,KE,LR,LS,MW,MZ,NA,RW,SD,SL,SZ,TZ,UG,ZM,ZW),EA(AM,AZ,BY,KG,KZ,RU,TJ,TM),EP(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,R,S,SE,SI,SK,SM,TR),OA(BF,BJ,CF,CG,CI,CM,GA,GN,GQ,GW,KM,ML,MR,NE,SN,TD,TG),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,H,R,HU,ID,IL,IN,IS,JP,KE,KG,KN,KP,KR,KZ,LA,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

(72)発明者 ハンフリス , アンドリュー

イギリス国 オックスフォードシャー O X 1 4 3 P F アビンドン ヴィントナー ロード
27

【要約の続き】

を操作し、作動光線のうちの1つ又は複数の強度を経時に変調し、ひいては試料に相対するプローブのうちの1つ又は複数の位置を変調することができる。