

(19) 日本国特許庁(JP)

(12) 特 許 公 報(B2)

(11) 特許番号
特許第4272946号
(P4272946)

(45) 発行日 平成21年6月3日(2009.6.3)

(24) 登録日 平成21年3月6日(2009.3.6)

(51) Int.Cl.
G O 1 B 11/00 (2006.01)

F I
G O 1 B 11/00 B

請求項の数 7 (全 8 頁)

(21) 出願番号	特願2003-270260 (P2003-270260)	(73) 特許権者	000001007
(22) 出願日	平成15年7月2日(2003.7.2)		キヤノン株式会社
(65) 公開番号	特開2005-24490 (P2005-24490A)		東京都大田区下丸子3丁目30番2号
(43) 公開日	平成17年1月27日(2005.1.27)	(74) 代理人	100086483
審査請求日	平成18年7月3日(2006.7.3)		弁理士 加藤 一男
		(72) 発明者	井辻 健明
			東京都大田区下丸子3丁目30番2号 キ
			ヤノン株式会社内
		審査官	▲うし▼田 真悟

最終頁に続く

(54) 【発明の名称】 被測定物の変位検出装置

(57) 【特許請求の範囲】

【請求項 1】

被測定物の変位を、該被測定物から来る検出光の角度変化を利用して検出する変位検出装置であって、
前記被測定物から来る検出光が入射する様に配置された屈折率が周期的に変化する屈折率周期構造体と、
該屈折率周期構造体からの検出光の角度変化を計測する光検出手段と、を有し、
前記屈折率周期構造体は、前記検出光が該屈折率周期構造体に入射する角度の変化に比べて、該検出光が該屈折率周期構造体内を伝播する角度の変化が増幅されるように構成され、且つ該屈折率周期構造体を透過して出射した前記検出光が、前記伝播する角度を保持して前記光検出手段に入射するように構成されることを特徴とする変位検出装置。

【請求項 2】

前記屈折率周期構造体は、前記検出光が入射する該屈折率周期構造体の入射面の法線に対して該屈折率周期構造体内を伝播する光の伝播方向が成す伝播角度と、前記入射面の法線に対して該屈折率周期構造体から出射する検出光の伝播方向が成す出射角度とが等しくなるように、該検出光が出射する該屈折率周期構造体の端面が球面形状に加工され、前記検出光が前記入射面の中心に入射されるように構成されていることを特徴とする請求項 1 に記載の変位検出装置。

【請求項 3】

前記検出光が出射する前記屈折率周期構造体の端面と前記光検出手段とが密着して設けら

れていることを特徴とする請求項 1 に記載の変位検出装置。

【請求項 4】

前記被測定物は、光導波路と、該被測定物の先端に該光導波路と光学的に結合したレンズと、を有し、

前記被測定物と前記屈折率周期構造体とは、

前記光導波路を伝播した前記検出光が、前記レンズで集光されて出射し、前記屈折率周期構造体に入射するように配置されることを特徴とする請求項 1 乃至 3 のいずれかに記載の変位検出装置。

【請求項 5】

前記被測定物はカンチレバーで、且つ該カンチレバーはプローブを有し、
測定物と前記プローブとの間に存在する物理量によって撓む前記カンチレバーの撓み量を検出することを特徴とする請求項 1 乃至 4 のいずれかに記載の変位検出装置。

10

【請求項 6】

光を発生させるための光源と、

前記光源が発生した光を前記光導波路に結合させるための導波路と、を有することを特徴とする請求項 4 に記載の変位検出装置。

【請求項 7】

前記屈折率周期構造体は、スーパープリズム効果が起きるように結晶構造が制御されているフォトリック結晶であることを特徴とする請求項 1 乃至 6 のいずれか 1 項に記載の変位検出装置。

20

【発明の詳細な説明】

【技術分野】

【0001】

本発明は、被測定物から来る検出光の角度変化により被測定物の変位を検出する装置に関する。

【背景技術】

【0002】

近年、導体の電子構造を直接観察できる走査型トンネル顕微鏡 (STM) の開発以来、原子間力顕微鏡 (AFM)、走査型容量顕微鏡 (SCAM)、近接場顕微鏡 (SNOM) といった、先端の尖ったプローブを用いてサンプル上を走査することにより、サンプルの様々な情報とその分布を得る顕微鏡装置が次々と開発されている。現在、これらの顕微鏡は、走査型プローブ顕微鏡 (SPM) と総称され、原子、分子レベルの解像度を持つ微細構造の観察手段として広く用いられている。

30

【0003】

例えば、AFMは、プローブを有するレバー (カンチレバー) を用いて、プローブ先端とサンプル表面との間に働く原子間力の影響により生じるレバーの微小な撓み量を検出する。この撓みの検出方法の一つとして、カンチレバーの先端にレーザ光を照射し、その反射光の変位を計測する方式 (光てこ方式) が知られている。

【0004】

一方、屈折率の異なる物質を波長程度の間隔で周期的に配列した「フォトリック結晶」と呼ばれる新しい人工結晶が提案され、注目を集めている (非特許文献 1 参照)。この人工結晶は、半導体のバンド構造に類似した、いわゆるフォトリックバンド構造に起因する光の禁制帯 (フォトリックバンドギャップ) を有し、さらに見かけ上の屈折率異常に起因する特異な効果を有することから、光学素子としての研究開発が盛んに行われている (特許文献 1 参照)。このフォトリック結晶材料は、フォトリック結晶に外部から光を入射させた場合に、その光によって誘起される透過波がフォトリックバンドギャップ内に存在し、回折波がフォトリックバンドギャップ外に存在し、伝播方向が大きく変化する回折波のみが伝播する様に構成されている (この現象が上記見かけ上の屈折率異常に関わる)。このような効果をスーパープリズム効果と呼び、スーパープリズム効果とは、フォトリック結晶に光を入射させたとき、わずかな入射角の違いでフォトリック結晶構造中の光のエネ

40

50

ルギーの進行方向が大きく変化する現象である（非特許文献 2 参照）。

【非特許文献 1】E. Yablono v i t c h , P h y s . R e v . L e t t . , 58 (1987) 2059-2062

【非特許文献 2】日本物理学会誌第 5 5 巻（2000）3月号172-179

【特許文献 1】特開2000-066002号公報

【発明の開示】

【発明が解決しようとする課題】

【 0 0 0 5 】

上述した光てこ方式では、検出感度を上げるためには、例えば、検出光の光路を長くするなどの工夫が必要である。しかし、十分に長い光路を用いる場合、複雑な光学系が必要になり、装置の大型化やコストがかかるという問題点があった。特に、上述した A F M のように、非常に微小な角度変化を光てこ方式で検出しようとする場合に、この問題は顕著になる。

【課題を解決するための手段】

【 0 0 0 6 】

本発明の変位検出装置は、被測定物の変位を、該被測定物から来る検出光の角度変化を利用して検出する変位検出装置であって、

前記被測定物から来る検出光が入射する様に配置された屈折率が周期的に変化する屈折率周期構造体（上記特許文献 1 の段落（ 0 0 0 7 ）でも説明されている様に、一般に、フォトリソニック結晶とも呼ばれる。）と、

該屈折率周期構造体からの検出光の角度変化を計測する光検出手段と、を有し、
前記屈折率周期構造体は、前記検出光が該屈折率周期構造体に入射する角度の変化に比べて、該検出光が該屈折率周期構造体内を伝播する角度の変化が増幅されるように構成され、且つ該屈折率周期構造体を透過して出射した前記検出光が、前記伝播する角度を保持して前記光検出手段に入射するように構成されることを特徴とする。

上記伝播角度は、検出光が入射する屈折率周期構造体の入射面の法線に対して屈折率周期構造体内の伝播光の伝播方向が成す角度である。この基本構成に基づいて、以下のごとき態様が可能である。前記屈折率周期構造体は、屈折率周期構造体中の検出光の伝播角度と、屈折率周期構造体の端面から出射する検出光の出射角度（検出光が出射する屈折率周期構造体の出射面の法線に対して屈折率周期構造体外に出射する検出光の伝播方向が成す角度である）が等しくなるように、前記出射する端面が加工された形態をとり得る。また、前記検出光が出射する前記屈折率周期構造体の端面と前記光検出手段とが密着して設け得る。前記被測定物はカンチレバーであったりする。この場合、カンチレバーは、その中を伸びる光導波路を有し、検出光は、該光導波路を伝播して出射させて前記屈折率周期構造体に入射させ得る。さらには、カンチレバーは、その先端に前記光導波路と光学的に結合したマイクロレンズを有し、検出光は、該レンズを通して出射させて前記屈折率周期構造体に入射させ得る。或いは、検出光は、前記カンチレバーの反射面で反射させて前記屈折率周期構造体に入射させてもよい。前記屈折率周期構造体は、検出光の波長、偏光状態、この屈折率周期構造体への光の入射角を考慮して、入射面に対する伝播角度が屈折率周期構造体の上記屈折率異常のものとなる様に、その屈折率変調構造（周期、屈折率変化態様など）が設計されている。

また、本発明の他の変位検出装置は、カンチレバーの変位を、カンチレバーから来る検出光の角度変化を利用して検出する変位検出装置であって、

前記カンチレバーから来る検出光が入射する様に配置された屈折率が周期的に変化する屈折率周期構造体と、

前記屈折率周期構造体からの検出光の角度変化を計測する光検出手段と、を有し、
前記屈折率周期構造体は、前記検出光が該屈折率周期構造体に入射する角度の変化に比べて、該検出光が該屈折率周期構造体内を伝播する角度の変化が増幅されるように構成され、且つ該屈折率周期構造体を透過して出射した前記検出光が、前記伝播する角度を保持して前記光検出手段に入射するように構成され、

10

20

30

40

50

前記カンチレバーは、光導波路と、該カンチレバーの先端に該光導波路と光学的に結合したレンズと、を有し、

前記カンチレバーと前記屈折率周期構造体とは、

前記光導波路を伝播した前記検出光が、前記レンズで集光されて出射し、前記屈折率周期構造体に入射するように配置されることを特徴とする。

更に、本発明の他の変位検出装置は、プローブを有し、測定物と該プローブとの間に存在する物理量によって撓む被測定物の撓み量を検出するための変位検出装置であって、

光の入射角の変化を検出するための光検出手段と、

屈折率が周期的に変化するように構成される屈折率周期構造体と、を備え、

前記被測定物は、光を導波するための光導波路と、前記被測定物の先端の端面に密着されたレンズと、を有し、

前記光導波路により導波され且つ前記レンズにより集光された光が、前記屈折率周期構造体に入射するように構成されることを特徴とする。

【発明の効果】

【0007】

本発明の被測定物の変位を検出光の角度変化として検出する変位検出装置ないし方法によれば、検出光の光路中に角度変位を増幅させる素子を導入することによって、従来、高感度検出に必要であった長い光路を用いることなく、高感度な検出が可能になる。また、複雑な光学系が必要なくなり、単純な装置構成になり得る効果がある。また、比較的コンパクトで安価な装置になり得るという効果がある。

【発明を実施するための最良の形態】

【0008】

本発明の好適な実施の形態について、図1を用いて説明する。本実施形態では、変位検出装置として、原子間力顕微鏡への適用例を示すが、これに限定されるものではなく、被測定物の変位を検出光の角度変化として検出するものであれば、どのような装置でもよい。

【0009】

図1は、本実施形態における変位検出装置の構成を示す図である。本実施形態の検出装置は、偏向素子101、フォトディテクタ102、カンチレバー103、光源104で構成される。特に、カンチレバー103は、レバーの先端に非常に微細なプローブ103aを有している。

【0010】

サンプル105とカンチレバー103のプローブ103aの先端が近接すると、サンプル105とプローブ103aの先端との間に存在する物理量（例えば原子間力）によってカンチレバー103が撓む。この撓み量を検出することでサンプル105の形状を観察することが可能になる。撓み量の検出には、偏向素子101、フォトディテクタ102、光源104を用いる。

【0011】

撓み量の検出方法を述べる。光源104は、検出光として、所望の波長のレーザ光を出射する。この検出光は、カンチレバー103の先端に照射され、その反射光が偏向素子101に入射する。偏向素子101は、フォトリック結晶と呼ばれる素子内部の屈折率が周期的に変化する結晶で構成されている。フォトリック結晶特有の屈折率異常の効果（スーパープリズム効果）により、偏向素子101は、結晶に入射する検出光の伝播角度を増幅するような作用を行う。こうして伝播角度が増幅されることで、カンチレバー103の変位に伴う検出光の角度変位を増幅できることになる。フォトディテクタ102は、4分割フォトダイオードのように、光の入射位置によって出力が変化する素子で構成する。伝播角度が増幅した検出光を、フォトディテクタ102で検出することにより、カンチレバー103の撓み量が微小であっても、大きな角度変位としてカンチレバー103の撓み量を検出することができる。

【0012】

このように、被測定物の変位を検出光の角度変化として検出する測定系において、検出光の光路に伝播角度を増幅するように光を偏向する素子を導入することで、微小な被測定物の変位も簡単な構成で測定することが可能になる。

【実施例1】

【 0 0 1 3 】

更に具体的な実施例を以下に説明する。

図 2 に実施例 1 の構成を示す。図 2 中、上記のものと同一部に関しては同符号を用いる。本実施例の偏向素子101の出射面は、増幅された検出光の伝播角度と偏向素子101の端面から出射する検出光の出射角度が等しくなるように、加工されている（典型的には、検出光の入射位置をほぼ中心とする球面形状である）。そのため、偏向素子101によって、伝播角度が増幅された検出光は、増幅された角度を保持したまま、フォトディテクタ102に入射することができる。

【 0 0 1 4 】

フォトディテクタ102としては、4分割フォトニックダイオードを用いる。光源104として 10
は、波長660nmのレーザを用いる。そして、偏向素子101はこのレーザ光の帯域において、屈折率異常（スーパープリズム効果）が起きるように、結晶構造が制御されている。

【 0 0 1 5 】

これらの素子を用いてサンプル105上をカンチレバー103で走査することにより、カンチレバー103の微小な変位も精度良く簡単な構成で観察することが可能になる。

【 実施例 2 】

【 0 0 1 6 】

図 3 に実施例 2 の構成を示す。図中、上記のものと同一部に関しては同符号を用いる。本実施例の偏向素子101は、フォトディテクタ102の光検出面と密着している。そのため、偏向素子101によって伝播角度が増幅された検出光は、増幅された角度を保持したまま、フ 20
ォトディテクタ102に直接入射される。

【 0 0 1 7 】

ここでも、フォトディテクタ102としては、4分割フォトニックダイオードを用いる。光源104としては、波長660nmのレーザを用いる。そして勿論、偏向素子101はこのレーザ光の帯域において、屈折率異常（スーパープリズム効果）が起きるように、結晶構造が制御されている。

【 0 0 1 8 】

これらの素子を用いても、サンプル105上をカンチレバー103で走査することにより、カンチレバー103の微小な変位も精度良く簡単な構成で観察することが可能になる。

【 実施例 3 】

【 0 0 1 9 】

図 4 に実施例 3 の構成を示す。図中、上記のものと同一部に関しては同符号を用いる。本実施例のカンチレバー103は、内部に光導波路を有している。この導波路部は、カンチレバー103の外部にある導波路402と結合しており、光源104の光をカンチレバー103内部に導波させる。さらに、カンチレバー103先端の端面にはマイクロレンズ403が密着されており、導波されてきた光を集光させて外部に出力する。

【 0 0 2 0 】

本実施例の偏向素子101の出射面は、増幅された検出光の伝播角度と偏向素子101の端面から出射する検出光の出射角度が等しくなるように、加工されている。そのため、偏向素子101によって伝播角度が増幅された検出光は、増幅された角度を保持したまま、フォト 40
ディテクタ102に入射することができる。

【 0 0 2 1 】

ここでも、フォトディテクタ102としては、4分割フォトニックダイオードを用いる。光源104としては、波長660nmのレーザを用いる。勿論、偏向素子101はこのレーザ光の帯域において、屈折率異常（スーパープリズム効果）が起きるように、結晶構造が制御されている。

【 0 0 2 2 】

本実施例では、光源104からの検出光はカンチレバー103先端のマイクロレンズ403から出射して、偏向素子101に入射する。したがって、カンチレバー103の変位に伴ってマイクロレンズ403からの出射方向が変位し、この変位が偏向素子101で増幅されることになる。こ 50

これらの素子を用いても、サンプル105上をカンチレバー103で走査することにより、カンチレバー103の微小な変位も精度良く簡単な構成で観察することが可能になる。

【実施例 4】

【0023】

図5に実施例4の構成を示す。図中、上記のものと同一部に関しては同符号を用いる。本実施例のカンチレバー103も、実施例3のものと同一である。本実施例の偏向素子101は、フォトディテクタ102の光検出面と密着している。そのため、偏向素子101によって伝播角度が増幅された検出光は、増幅された角度を保持したまま、フォトディテクタ102に直接入射される。

【0024】

10

ここでも、フォトディテクタ102としては、4分割フォトニックダイオードを用いる。光源104としては、波長660nmのレーザを用いる。勿論、偏向素子101はこのレーザ光の帯域において、屈折率異常（スーパープリズム効果）が起きるように、結晶構造が制御されている。

【0025】

これらの素子を用いても、サンプル105上をカンチレバー103で走査することにより、カンチレバー103の微小な変位も精度良く簡単な構成で観察することが可能になる。

【図面の簡単な説明】

【0026】

20

【図1】本発明の実施の形態を示す図である。

【図2】本発明の実施例1を説明する図である。

【図3】本発明の実施例2を説明する図である。

【図4】本発明の実施例3を説明する図である。

【図5】本発明の実施例4を説明する図である。

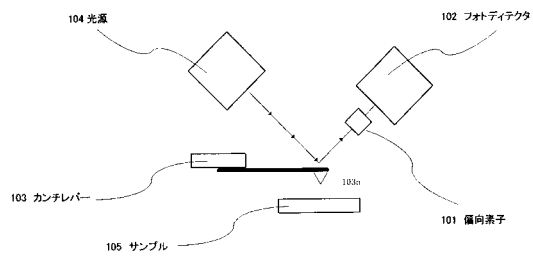
【符号の説明】

【0027】

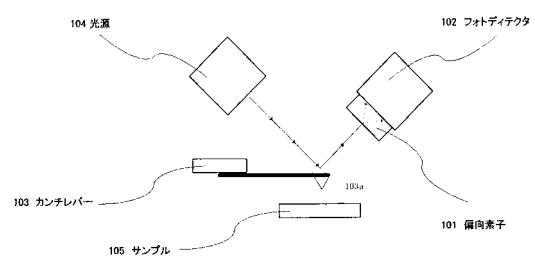
- 101 偏向素子
- 102 フォトディテクタ
- 103 カンチレバー
- 103 a プローブ
- 104 光源
- 105 サンプル
- 402 導波路
- 403 レンズ

30

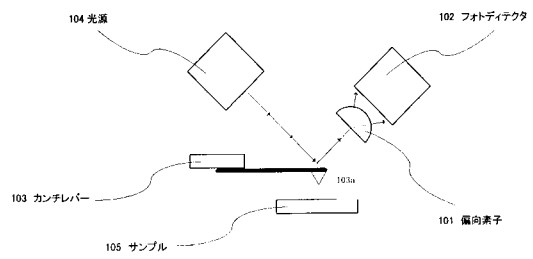
【図 1】



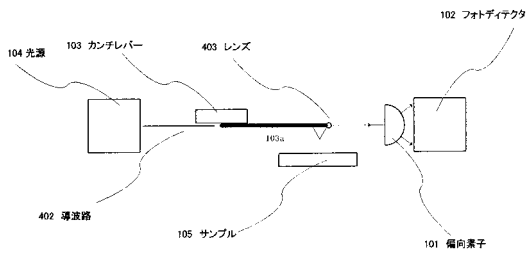
【図 3】



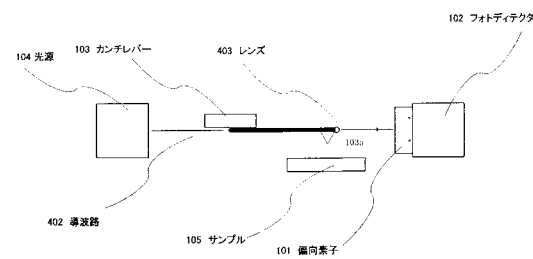
【図 2】



【図 4】



【図 5】



フロントページの続き

(56)参考文献 特開2002-071982(JP,A)
特開平04-110713(JP,A)
特開平06-137846(JP,A)
特開平08-219742(JP,A)

(58)調査した分野(Int.Cl., DB名)
G01B 11/00 - 11/30