

(19) 日本国特許庁 (JP)

(12) 特 許 公 報 (B2)

(11) 特許番号

特許第5346152号  
(P5346152)

(45) 発行日 平成25年11月20日 (2013.11.20)

(24) 登録日 平成25年8月23日 (2013.8.23)

(51) Int. Cl.	F I
<b>G O 1 B 9/02 (2006.01)</b>	G O 1 B 9/02
<b>G O 1 B 11/00 (2006.01)</b>	G O 1 B 11/00 G
<b>G O 1 D 5/38 (2006.01)</b>	G O 1 D 5/38 A

請求項の数 10 (全 20 頁)

(21) 出願番号	特願2006-346376 (P2006-346376)	(73) 特許権者	399117121
(22) 出願日	平成18年12月22日 (2006.12.22)		アジレント・テクノロジーズ・インク
(65) 公開番号	特開2007-171206 (P2007-171206A)		AGILENT TECHNOLOGIES, INC.
(43) 公開日	平成19年7月5日 (2007.7.5)		アメリカ合衆国カリフォルニア州サンタクラ
審査請求日	平成21年12月9日 (2009.12.9)		ラ スティーブンス・クリーク・プール
(31) 優先権主張番号	11/316,855		バード 5301
(32) 優先日	平成17年12月23日 (2005.12.23)	(74) 代理人	100099623
(33) 優先権主張国	米国 (US)		弁理士 奥山 尚一
		(74) 代理人	110000246
			特許業務法人OFH特許事務所

最終頁に続く

(54) 【発明の名称】 リトロ型干渉計

(57) 【特許請求の範囲】

【請求項 1】

変位方向に対する変位を測定するための装置であって、

干渉計コアに誘導される光ビームを含み、該干渉計コアは該光ビームを第1の成分のビーム及び第2の成分のビームに分割するようになっており、該第1の成分のビームは、0次回折光を除く回折光が入射光と平行となる場合のみを指すリトロ角で回折格子に誘導され、前記干渉計コアによって受光され、前記第2の成分のビームと合成され、該干渉計コアは、合成された前記第1の成分のビーム及び前記第2の成分のビームを検出器に誘導して、該合成された前記第1の成分のビーム及び前記第2の成分のビームについての測定結果を得るものであり、プロセッサは、該測定結果を前記回折格子の変位に変換し、こ

こで、前記回折格子の測定された変位の前記変位方向は、前記回折格子が形成する平面と平行な方向のものを含んでおり、前記回折格子に入射する前記第1の成分のビームに対して直交するように制限されないものである、変位を測定するための装置。

【請求項 2】

前記第1の成分のビームは測定ビームであり、前記第2の成分のビームは基準ビームである、請求項1に記載の変位を測定するための装置。

【請求項 3】

前記第1の成分のビームは測定ビームであり、前記第2の成分のビームは随伴 (companion) 測定ビームである、請求項1に記載の変位を測定するための装置。

【請求項 4】

前記光ビームは第 1 の光ビーム及び第 2 の光ビームに分割され、該第 1 の光ビームは測定成分及び基準成分を含み、該第 2 の光ビームは測定成分及び基準成分を含む、請求項 1 に記載の変位を測定するための装置。

【請求項 5】

二重周波数光源が前記光ビームを放射する、請求項 1 に記載の変位を測定するための装置。

【請求項 6】

前記第 1 の光ビーム及び前記第 2 の光ビームはそれぞれ、ビームスプリッタによって、第 1 の測定ビーム及び第 2 の測定ビーム、並びに第 1 の基準ビーム及び第 2 の基準ビームに分割され、前記干渉計は、前記第 1 の測定ビーム及び前記第 2 の測定ビームを前記リトロー角で前記回折格子上に集束させるための再誘導光学系をさらに備える、請求項 1 に記載の変位を測定するための装置。

10

【請求項 7】

前記ビームスプリッタ及び前記再誘導光学系は前記干渉計コアと一体構造である、請求項 6 に記載の変位を測定するための装置。

【請求項 8】

前記干渉計コアからのビームを反射するレトロリフレクタをさらに含み、前記第 1 の測定ビームを該レトロリフレクタで複数回反射することによって 2 度通過する第 1 の測定ビーム進行路を提供し、前記第 2 の測定ビームを該レトロリフレクタで複数回反射することによって 2 度通過する第 2 の測定ビーム進行路を提供するものである、請求項 6 に記載の変位を測定するための装置。

20

【請求項 9】

前記レトロリフレクタは、前記第 1 の基準ビームを該レトロリフレクタで複数回反射することによって 2 度通過する第 1 の基準ビーム進行路を提供し、前記第 2 の基準ビームを該レトロリフレクタで複数回反射することによって 2 度通過する第 2 の基準ビーム進行路とを提供するものである、請求項 8 に記載の変位を測定するための装置。

【請求項 10】

測定ビーム進行路及び基準ビーム進行路は前記干渉計コアの中において同じである、請求項 1 に記載の変位を測定するための装置。

【発明の詳細な説明】

30

【技術分野】

【0001】

本発明は、リトロー型干渉計に関する。

【背景技術】

【0002】

光学干渉計を用いて、様々な環境において正確な測定を行うことができる。たとえば、半導体のフォトリソグラフィ処理において小さな変位を測定し、且つステージをナノメートル精度まで正確に位置決めするために、レーザ干渉計が現在用いられている。半導体の機構サイズが小さくなるにつれて、さらに正確な変位測定を行う必要がある。既知のミラーに基づくレーザ干渉法を用いるとき、測定光ビームの一部が空気中を進行する。ビーム光路内の空気の屈折率が変化する場合には、たとえ局所的であっても、その変化は、見掛けの変位として現われる。この見掛けの変位は測定誤差を引き起こし、空気路 (air path) が長くなるほど、この誤差が深刻になる可能性が高くなる。光が進行する空気中の屈折率の変化を制御、低減又は測定するための数多くの方法が知られているが、新たな方法による改善は徐々に限界に近づきつつある。

40

【0003】

変位の大きさを測定することに加えて、レーザ干渉計が変位方向を特定することも重要である。変位方向を判定するための 2 つの既知の方法はホモサイン技法及びヘテロサイン技法である。ホモサイン技法は単一周波数の光ビームを用いる。動きの方向は、その動きが測定されている物体毎に、互いに対して光学的に位相差のある 2 つ以上の出力信号を測

50

定することによって推定される。これらの信号間の位相関係が動きの方向を示す。ヘテロダイン技法は二重周波数光源を用いる。光源からの２つの周波数を直に混合することによって形成される信号の位相を示す基準信号が生成される。その動きが測定されている物体毎に、一方の周波数の光を基準光路に導入し、他方の周波数の光を測定光路に導入することによって、第２の信号が形成される。これらの２つのビームを混合することによって形成される信号の位相を測定するとともに、２つの周波数源から直に形成される信号の位相を減算することによって変位が測定される。この位相差の任意の変化が変位に関連付けられる。基準ビームに対する測定ビームのドップラシフトが、速度の大きさ及び方向を指示する。ヘテロダイン技法によれば、単一の検出器を用いて動きの方向を特定できるようになり、ホモダイン技法に対して、低周波数雑音に対する耐性が高められる。したがって、ホモダイン方式は簡単な光源を用いるが、測定軸当たり少なくとも２つの検出チャンネルを必要とし、それらのチャンネルの利得及び位相を一致させなければならない。ヘテロダイン方式で用いられる光源は複雑ではあるが、測定軸当たり１つの検出器と、レーザ光源用のただ１つの付加的な検出器しか必要としない。

10

**【０００４】**

変位を測定するためのエンコーダも知られている。エンコーダは、測定ビームを横切る変位を測定するので、エンコーダ技術を用いて、空気路の長さを必要最小限にとどめることができる。通常、エンコーダはホモダイン技法を用いる。一例として、ハイデンハインによって作られたデバイスは、動きの方向を判定するために、３つの検出器から成るシステムを用いる。ただ残念なことに、そのデバイスは、検出器及びその関連する電子回路の利得及び位相を、ナノメートル又はサブナノメートルの精度で十分に測定できるようにさせるのは難しい。これは、曲がったり、動いたりするケーブルに沿って測定信号が進行する場合には、さらに難しくなる。したがって、エンコーダ測定変位システムは、レーザ干渉計変位測定システムによって現時点で測定できる精度よりも低い精度しか必要としない応用形態の場合に用いられる。干渉計の場合と同様に、ホモダインエンコーダは低周波数雑音の影響を受けやすい。

20

**【発明の開示】****【発明が解決しようとする課題】****【０００５】**

従来技術のもとでこれまでに行うことができた分解能よりも高い分解能で変位を測定し、制御するための改善された方法及び装置が依然として必要とされている。

30

**【課題を解決するための手段】****【０００６】**

上記の課題を解決するため、この発明は次のような構成をとる。一形態では、干渉計コアに誘導される光ビームを含み、該干渉計コアは該光ビームを第１の成分のビーム及び第２の成分のビームに分割するようになっており、該第１の成分のビームは概ねリトロ角で回折格子に誘導され、前記干渉計コアによって受光され、前記第２の成分のビームと合成され、合成された前記第１の成分のビーム及び前記第２の成分のビームは、合成された該第１の成分のビーム及び該第２の成分のビームを測定して前記回折格子の変位を判定するようになっている検出器に誘導される、変位を測定するための装置である。

40

**【０００７】**

もう一つの形態では、回折格子の変位を測定するための方法であって、光ビームを第１の成分の光ビーム及び第２の成分の光ビームに分割すること、前記第１の成分の光ビームを概ねリトロ角で前記回折格子に誘導すること、前記第１の成分の光ビームの回折ビームを受光すること、前記第１の成分の光ビームの前記回折ビームを前記第２の成分の光ビームと合成すること、及び合成された前記第１の成分の光ビーム及び前記第２の成分の光ビームを測定することであって、それによって、前記回折格子の変位を判定する、測定することを含む、回折格子の変位を測定するための方法である。

**【０００８】**

さらにもう一つの形態では、光ビームを放射するようになっている光源と、回折格子と

50

、検出器と、偏光ビームスプリッタ境界面を有する干渉計コアであって、該偏光ビームスプリッタ境界面は前記光ビームを第１の成分のビーム及び第２の成分のビームに分割するようになっており、該干渉計コアは前記光源と前記回折格子との間に配置され、前記光ビームを受光し、少なくとも前記第１の成分のビームを概ねリトロ角で前記回折格子に向かって誘導するように配置される、干渉計コアと、前記検出器において測定する前に、前記第１の成分のビームと前記第２の成分のビームとを合成するようになっている出力光学系とを備える、装置である。

【発明を実施するための最良の形態】

【０００９】

添付の図面と合わせて読むと、以下に記述される詳細な説明から、本教示が最も深く理解される。種々の機構が必ずしも縮尺どおりに描かれていないことを強調しておきたい。実際には、説明を明確にするために、寸法は恣意的に拡大又は縮小される場合がある。

【００１０】

以下の詳細な説明では、限定するためではなく、説明するために、本開示を理解するための具体的な細部を開示する例示的な実施形態を述べる。本開示により当業者は、本明細書に開示される具体的な細部と異なる、本教示による他の実施形態も依然として添付の特許請求の範囲の中にあることが明らかであろう。さらに、例示的な実施形態の説明をわかりやすくするため、よく知られている装置及び方法の記述は省略される場合もあるが、明らかに本教示の範囲内で考慮する。同じ、又は類似の構造は、本教示による複数の実施形態を示す図において同じ参照符号を付す。明確にするために、別個の光ビームと一緒に表示されている。

【００１１】

エンコーダを使った既知の変位測定システムは、小さな空隙しか必要としないというエンコーダ属性を十分に活用していない。本教示は、この属性を利用して、高精度の計測学の利点を提供する。エンコーダとともにヘテロダイン技法を用いることにより、本教示の利点とともに明らかになる、さらに別の利点が提供される。具体的に図面の図１を参照すると、本教示による第１の実施形態が示されており、第１の光源１０１が、干渉計コア１０３に向かって光ビーム１０２を誘導する。１つの具体的な実施形態では、干渉計コア１０３は、光ビームを受光し、誘導するために、偏光ビームスプリッタと、それと組み合わせて用いられるさらに別の光学系とを備える。光ビーム１０２には、ホモダイン光ビーム又はヘテロダイン光ビームを用いることができる。本教示によるヘテロダインの実施形態では、光ビーム１０２は、２つの異なる周波数の光を含み、それぞれｐ偏光成分及びｓ偏光成分と呼ばれる直交する偏光成分を有する。本教示によるホモダインの実施形態では、光ビーム１０２は、水平方向に対して概ね４５°の角度で直線偏光を放射する単一周波数の光を含み、結果として、ｓ偏光成分及びｐ偏光成分が概ね等しくなる。ヘテロダインの実施形態では、干渉計コア１０３は、偏光ビームスプリッタ境界面１０４を有するビームスプリッタキューブを備える。１つの具体的な実施形態では、偏光ビームスプリッタ境界面１０４は、ｐ方向に直線偏光された光（ｐ偏光）を透過し、ｓ方向に直線偏光された光（ｓ偏光）を反射するという特性を有する。ビームスプリッタキューブ１０３の２つの面にはそれぞれ、第１の偏光変換デバイス１０５及び第２の偏光変換デバイス１２０が取り付けられる。一実施形態では、偏光変換デバイスには４分の１波長リターダを用いることができる。別の具体的な実施形態及び図１に示される実施形態では、各偏光変換デバイス１０５及び１２０は、半波長リターダ１２５及びファラデー回転子１２７の組み合わせである。ファラデー回転子１２７は環状の磁石によって取り囲まれることは当業者には理解されよう。別法では、必要とされる磁界は、材料内に組み込むことができる。リトロ角で回折格子１００上に入射する光ビームは最適に直線偏光され、その偏光は回折格子１００内の溝に対して平行又は垂直であることが知られている。半波長リターダ１２５及びファラデー回転子１２７の組み合わせは、偏光状態を回転させて、回折格子１００に突き当たる光ビームの光学特性を最適にすることができる。回折格子１００に向かって進行する各測定ビームは、偏光変換デバイス１０５、１２０のそれぞれ一方を回転させることによ

10

20

30

40

50

って、最適な性能を得るために、その偏光状態が別個に位置合わせされる。ファラデー回転子 127 は入力ビームの偏光を 45° だけ回転させ、半波長リターダ 125 は、そのビームの角度をさらに回転させて、その偏光が回折格子 100 上の溝に対して厳密に平行に、又は厳密に垂直になるようにする。回折格子 100 に入射する光ビームは直線偏光され、回折格子 100 から回折される光は、概ね同じ方向に直線偏光される。回折されたビームが半波長リターダ 125 及びファラデー回転子 127 の組み合わせを横切った後に、そのビームは直線偏光され、その偏光が、回折格子 100 に向かって偏光変換デバイス 105、120 を最初に通過する前の偏光に対して垂直になる。ファラデー回転子 127 及び半波長リターダ 125 の位置は、偏光変換デバイス 105、120 の機能を変更することなく、入れ替えることができる。偏光変換デバイス 105、120 は、ファラデー回転子 127 と回折格子 100 との間に偏光子（図示せず）をさらに含むこともできる。追加される偏光子は、回折格子 100 に入射する前に干渉計コア 103 から離れ、その後、回折格子 100 から回折した後干渉計コア 103 に再び戻るビーム偏光を純化することができる。偏光変換デバイス 105、120 の一部として偏光子が追加される実施形態では、偏光子は、回折格子 100 に対する出力ビームの向きを規定する。したがって、各ビームの向きを別個に最適化する調整は、特定のビームに関連付けられる半波長リターダ 125 の回転を含む。別の具体的な実施形態では、測定ビーム光路内にある偏光変換デバイス 105、120 は、付加的な偏光子の有無にかかわらず、半波長リターダ 125 及びファラデー回転子 127 の組み合わせであり、基準ビーム光路の一部である偏光変換デバイス 105、120 は、ミラーコーティング 106 を有する 4 分の 1 波長リターダ、又はファラデー回転子 127 に結合されるミラーのような反射表面 106 を有する半波長リターダ 125 及びファラデー回転子 127 の組み合わせを含み、回折格子 100 まで進行することなく、反射して干渉計コア 103 にビームを戻す。

#### 【0012】

1 つの具体的な実施形態では、光 102 は、その偏光に応じてビームスプリッタ境界面 104 によって、第 1 の成分のビーム及び第 2 の成分のビームに分離され、第 1 の成分のビームは測定ビーム 107 であり、第 2 の成分のビームは基準ビーム 108 である。その具体的な実施形態では、測定ビーム 107 は p 偏光成分であり、基準ビーム 108 は s 偏光成分である。p 偏光測定ビーム 107 はビームスプリッタ境界面 104 及び第 2 の偏光変換デバイス 120 を横切る。出射する測定ビーム 121 は、ここでは によって表されるリトロ角 109 で、ピッチ p を有する回折格子 100 に入射する。光ビームが、リトロ角 109 で、ピッチ p を有する回折格子に誘導されるとき、回折される光ビームは入射する光ビームと同一直線上にある。光ビーム 102 の波長が である場合には、リトロ角 109 は以下の式によって与えられる。

$$= \sin^{-1}(\lambda / 2p) \quad (1)$$

#### 【0013】

したがって、例示される実施形態では、リトロ角で回折格子 100 に向かって誘導される測定ビーム 121 は、入射する測定ビーム 121 と概ね同一直線上にある回折された測定ビーム 122 として、回折格子 100 から回折される。回折された測定ビーム 122 は、再び第 2 の偏光変換デバイス 120 を横切り、それにより測定ビームは s 偏光になる。s 偏光の回折された測定ビーム 123 は、ビームスプリッタ境界面 104 から反射し、混合偏光子 126 を通って干渉計コア 103 から出射する。1 つの実用的な実施形態では、リトロ条件が確実に満たされるようにするために、光源 101 の周波数を調整して、回折格子 100 のピッチ内の小さな変動を補償することができる。

#### 【0014】

光ビーム 102 の s 偏光成分は基準ビーム 108 であり、それはビームスプリッタキューブ 103 に入射し、ビームスプリッタ境界面 104 において、第 1 の偏光変換デバイス 105 に向かって反射する。s 偏光基準ビーム 108 は、第 1 の偏光変換デバイス 105 を横切り、反射表面 106 において反射し、偏光変換デバイス 105 を再び横切り、p 偏光の反射された基準ビーム 124 として出射する。p 偏光の反射された基準ビーム 124

は、ビームスプリッタ境界面 104 を透過する。ビームスプリッタキューブ 103 から出射する、s 偏光の反射された測定ビーム 123 及び p 偏光の反射された基準ビーム 124 は概ね同一直線上にある。混合偏光子 126 は、ビームスプリッタキューブ 103 の出射面に配置され、それにより、測定ビーム 123 及び基準ビーム 124 が合成され、干渉する。合成された基準ビーム 124 及び測定ビーム 123 の光出力は検出器 110 に誘導され、そこで測定される。測定ビーム 123 及び基準ビーム 124 は異なる周波数を有するので、検出器 110 の出力は、合成された信号のビート周波数に対応し、測定ビーム 123 及び基準ビーム 124 の強め合う干渉及び弱め合う干渉に対応する高いレベル及び低いレベルを繰り返す。回折格子 100 が静止している場合には、ビート信号の周波数は、測定ビーム 123 と基準ビーム 124 との間の周波数の差に等しい。回折格子 100 が動くとき、検出器 110 において別のサイクルが現われ、一般的に「フリンジ」として知られている、これらの別のサイクルは、それぞれ N によって表される。方向軸 x 及び z を参照すると、回折格子 100 が x 方向に距離 x だけ動き、z 方向に距離 z だけ動く場合には、検出器 110 において記録される、フリンジの数  $N_1$  は、以下の式によって表される。

$$N_1 = (x/p) + (z/p) | \cot | \quad (2)$$

【0015】

$N_1$  は x 及び z の両方に依存するので、回折格子 100 が x 方向にだけ、又は z 方向にだけ動くように制限される場合には、その変位は式 (2) から推定できる。しかしながら、回折格子 100 が x 方向及び z 方向の両方に同時に動くような場合には、ただ 1 つのフリンジ数  $N_1$  から、x 及び z のそれぞれの値を求めることはできない。この問題を解決するための方法は、第 2 のフリンジ測定値  $N_2$  の第 2 の干渉計システムを追加し、2 つの未知数を有する 2 つの式を解く。

【0016】

別の実施形態によれば、且つ図面の図 1 をさらに参照すると、第 2 の測定システムを追加することによって、2 次元において変位を検出することができる。第 2 の測定システムは第 1 の測定システムに類似であり、第 2 の光源 111 と、第 2 の光ビーム 112 と、ビームスプリッタ境界面 104 を有する第 2 の偏光ビームスプリッタキューブ 113 と、反射表面 106 を有する第 1 の偏光変換光学デバイス 105、及び第 2 の偏光変換光学デバイス 120 と、混合偏光子 126 と、第 2 の検出器 119 とを備える。光ビーム 112 の s 偏光成分及び p 偏光成分のための進行路は、第 1 の干渉計コア 103 に関して記述されるのと同じである。この第 2 の干渉計コア 113 の場合、フリンジ数  $N_2$  と変位 x 及び z との関係は以下の式によって表される。

$$N_2 = - (x/p) + (z/p) | \cot | \quad (3)$$

【0017】

式 (2) 及び (3) を同時に解くことにより、以下の結果が導かれる。

$$x = (p/2) (N_1 - N_2) \text{ 及び } z = (p/2) (N_1 + N_2) | \tan | \quad (4)$$

【0018】

こうして、第 2 の干渉計コア 113 を追加することにより、x 方向及び z 方向の変位を同時に求めることができる。x 方向の測定値は 2 つのフリンジ数の差をとることによって計算されるので、両方のフリンジ数に共通である誤差源は相殺される。一例として、空気の屈折率の変化は両方の干渉計において等しいフリンジ数を生成するが、それは、式 (4) に従って x 方向の変位を計算する際に減算される。同様に、光源の波長の変化は、同相モード誤差を生成するが、それも減算によって相殺される。

【0019】

図面の図 2 を参照すると、図 1 の教示を複光路動作に構成し直すことができる。具体的には、第 1 の偏光変換デバイス 105 の反対側にある、キューブの面にレトロリフレクタ 201 を追加するとともに、図面の図 1 に示される混合偏光子 126 の代わりに用いる。適当なレトロリフレクタ 201 の一実施形態が Belt に対する米国特許第 6,736,5

10

20

30

40

50

18号に開示されており、その特許の内容は参照によって本明細書に援用される。複光路動作は、回折格子100の傾きに対する位置合わせ感度を緩和するという利点がある。図示及び説明される実施形態では、光源101は、2つの直交する偏光成分を有する、ヘテロダイン光ビーム102を生成する。測定ビーム107は、光源101から放射される光102のp偏光成分を含む。測定ビーム107はビームスプリッタ境界面104及び第2の偏光変換デバイス120を横切り、出射する測定ビーム121は、リトロ角109で、回折格子100に突き当たる。出射する測定ビーム121の回折ビーム122は、第2の偏光変換デバイス120を横切り、それによりビーム122はs偏光になる。s偏光の回折された測定ビーム123は、ビームスプリッタ境界面104において反射し、レトリフレクタ201の中を進行して、ビームスプリッタ境界面104において再び反射し、第2の偏光変換デバイス120を横切る。2度目に通過する、出現する測定ビーム223は、リトロ角109で、回折格子100に入射する。2度目に通過する、出現する測定ビーム223の回折ビームは入射ビームと同一直線上にあり、第2の偏光変換デバイス120を再び横切り、2度目に通過するp偏光測定ビーム225になる。2度目に通過するp偏光測定ビーム225は、ビームスプリッタ境界面104及び混合偏光子126を横切り、検出器110まで進む。

#### 【0020】

基準ビーム108は、光源101から放射される光102のs偏光成分を含む。基準ビーム108は、ビームスプリッタ境界面104において反射され、第1の偏光変換デバイス105を横切る。基準ビーム108は反射表面106において反射し、第1の偏光変換デバイス105を再び横切り、p偏光になる。p偏光の反射された基準ビーム124は、ビームスプリッタ境界面104を横切り、レトリフレクタ201に入射し、ビームスプリッタ境界面104を通過して、第1の偏光変換デバイス105まで進む。第1の偏光変換デバイス105を通過した後、ビームは第1の偏光変換デバイス105の反射表面106において反射し、第1の偏光変換デバイス105を再び横切って、s偏光になる。s偏光の反射された基準ビーム130は、ビームスプリッタ境界面104において反射され、検出器110において検出及び測定するために、混合偏光子126においてp偏光の測定ビーム225と合成される。x方向及びz方向において同時に変位を検出するために、図面の図1に示される実施形態と同じようにして、図2の実施形態に第2のシステムを追加できることは当業者には理解されよう。

#### 【0021】

図面の図3を具体的に参照すると、ホモダイン単一周波数光源101とともに用いられるようになっている、本教示による1つの実施形態が示される。その動作は、図面の図2について開示された教示に類似する。ホモダインの実施形態では、放射される光ビーム102は単一周波数のビーム102であり、それは水平方向に対して約45°で直線偏光されるので、s偏光及びp偏光の電力は概ね等しい。p偏光成分は測定ビーム107であり、s偏光成分は基準ビーム108である。測定ビーム107及び基準ビーム108は、図面の図2に関して記述されたように、干渉計コア103、レトリフレクタ201及び回折格子100との間で同じ光路に従う。したがって、ヘテロダイン又はホモダインの実施形態に応じて、実際の光ビームが異なる光学特性を有する場合であっても、2つの構成要素は同じ参照符号を付される。図面の図2及び図3はいずれも、干渉計コア103と測定とを示す。この測定とは、測定ビームをリトロ角109で回折格子100に誘導する測定である。本教示によるホモダインシステムの例示される実施形態では、測定ビーム225及び基準ビーム130は、検出システムに誘導される際に合成される。検出システムは、出力ビーム130、225の光路内に非偏光ビームスプリッタ250を含む。非偏光ビームスプリッタ250は、出力ビーム130、225の一部を透過し、出力ビーム130、225の残りを反射する。透過される出力ビームは第1の出力リターダ255を通過し、1つの具体的な実施形態では、それは4分の1波長リターダである。そのリターダは、p偏光測定ビーム225とs偏光測定ビーム130との間に光学的な位相シフトを導入するように位置合わせされる。1つの具体的な実施形態では、この光学的な位相シフトは90°。

10

20

30

40

50

である。出力ビームは、光検出器 261 に達する前に混合偏光子 257 を通過する。反射された出力ビーム 130、225 は、光検出器 262 に達する前に混合偏光子 258 を通過する。

#### 【0022】

図面の図 4 を具体的に参照すると、単一の干渉計コア 103 を用いて、2 つの複光路測定を行うことができる、本教示による別の実施形態が示される。図面の図 4 の実施形態は 2 次元の測定を提供するのに有用であるが、同じ干渉計コア 103 が 2 つの異なる光ビームに用いられるので、図面の図 1 ~ 図 3 に示されるよりも小さな空間内で測定を実施する。図 4 の実施形態では、第 1 の反射プリズム 300 及び第 2 の反射プリズム 301 が干渉計コア 103 に含まれる。反射プリズム 300、301 を用いない場合、その装置は、測定ビームを用いて 2 次元の変位測定を実現するが、それらのビームは干渉計コア 103 を出射するときに発散する。反射プリズム 300、301 は、図に示されるように、干渉計コア 103 から出射する光を反射し、それにより測定ビームは、回折格子 100 に入射する前に、発散するのではなく、集束する。測定ビームが集束することによって、測定のために必要とされる回折格子 100 の表面積が減少する。図面の図 4 に示される構成は、2 つの光源に対して単一の干渉計コア 103 を用いており、それにより、変位測定を行うために用いられる干渉計コアの数が削減される。さらに、図面の図 4 に示される構成は、空気中の光の進行路を制限するので、変位測定が、空気中の局在する環境変化による影響を受けにくくなる。偏光変換デバイス 105、120 は、第 1 のプリズム 300 及び第 2 のプリズム 301 と回折格子 100 との間に配置される。干渉計コア 103 は、ビームスプリッタ境界面 104 及びレトロリフレクタ 201 を含む。プリズム 300、301 は、それぞれの反射表面 303、304 を含み、それにより、干渉計コア 103 から出射した発散光ビームは曲がり、偏光変換デバイス 105 又は 120 を通って、互いに向かって回折格子 100 まで誘導され、結果として、その光ビームは集束し、より小さな表面積において回折格子 100 に突き当たるようになる。1 つの例示的な実施形態では、反射プリズム 300、301 は干渉計コア 103 及びレトロリフレクタ 201 と一体構造を成し、有利な小型のパッケージを実現する。反射プリズム 300、301、干渉計コア 103 及びレトロリフレクタ 201 の一体構造は、適当な接着剤によって、静電力によって、又はその両方によって、互いに接着される 2 つ以上の構成要素を含むことができることに留意されたい。図示される具体的な実施形態では、第 1 の偏光変換デバイス 105 及び第 2 の偏光変換デバイス 120 はそれぞれ、半波長リターダ 125 及びファラデー回転子 127 の組み合わせから成る 2 つの矩象部分 (quartile portion) を含む。第 1 の偏光変換デバイス 105 及び第 2 の偏光変換デバイス 120 の残りの矩象部分は反射表面 106 を含み、その構成は、個々の測定ビーム及び基準ビームがとる光路に関する以下の説明から明らかになる。二重光源の実施形態は、ただ 1 つのビームスプリッタ境界面 104 しか必要としないので、干渉計コア 103 が、二重ビームスプリッタを用いる干渉計コアよりも小型、軽量になり、熱安定性が高くなるという利点がある。

#### 【0023】

図面の図 4、図 5 及び図 6 を具体的に参照すると、第 1 の測定ビーム 107 の進行路が表される。図面の図 5 及び図 6 に濃い線で示される辺は、図面の図 4 において示される干渉計コア 103 の目に見える辺を表す。第 1 の測定ビーム 107 は、光ビーム 102 の s 偏光成分として干渉計コア 103 に入射し、干渉計コア 103 の出入面 307 の第 1 の入射象限 306 に入射する。第 1 の測定ビーム 107 は、ビームスプリッタ境界面 104 において反射し、第 1 のプリズム 300 に入射し、第 1 のプリズム 300 の反射表面 303 において反射し、第 1 の偏光変換デバイス 105 の第 1 の透過象限 308 において、第 1 の偏光変換デバイス 105 を横切る。1 つの具体的な実施形態では、第 1 の透過象限 308 は、半波長リターダ 125 及びファラデー回転子 127 の組み合わせを含む。図には示されないが、ファラデー回転子 127 と回折格子 100 との間に偏光子を配置することができる。出射する第 1 の測定ビーム 121 は、リトロ角 109 で、回折格子 100 に向かって誘導される。出射する第 1 の測定ビーム 121 の回折ビーム 122 は、入射する出

10

20

30

40

50



射測定ビーム 1 2 1 と同一直線上にある。回折された第 1 の測定ビーム 1 2 2 は、第 1 の偏光変換デバイス 1 0 5 の第 1 の透過象限 3 0 8 において、偏光変換デバイス 1 0 5 を再び横切り、第 1 のプリズム 3 0 0 の反射表面 3 0 3 において反射する。回折された第 1 の測定ビーム 1 2 2 が第 1 の偏光変換デバイス 1 0 5 を横切ることによって、その偏光が p 偏光に変化する。p 偏光の回折された第 1 の測定ビーム 1 2 3 は、ビームスプリッタ境界面 1 0 4 を横切り、レトロリフレクタ 2 0 1 の中を進行し、ビームスプリッタ境界面 1 0 4 を再び横切り、第 1 のプリズム 3 0 0 に入射し、第 1 のプリズム 3 0 0 の反射表面 3 0 3 において、偏光変換デバイス 1 0 5 に向かって反射する。p 偏光の回折された第 1 の測定ビーム 1 2 3 は、第 1 の偏光変換デバイス 1 0 5 の第 2 の透過象限 3 0 9 において、第 1 の偏光変換デバイス 1 0 5 を横切り、2 度目に通過する第 1 の測定ビーム 3 0 5 になる。2 度目に通過する第 1 の測定ビーム 3 0 5 は、リトロ角 1 0 9 で回折格子 1 0 0 に突き当たり、回折される。回折された 2 度目に通過する第 1 の測定ビーム 3 0 4 は、入射する、2 度目に通過する第 1 の測定ビーム 3 0 5 と同一直線上にあり、第 2 の透過象限 3 0 9 において第 1 の偏光変換デバイス 1 0 5 を再び横切り、s 偏光になる。s 偏光の 2 度目に通過する第 1 の測定ビームの 3 1 0 は、第 1 のプリズム 3 0 0 の反射表面 3 0 3 において反射し、干渉計コア 1 0 3 に入射する。ビームスプリッタ境界面 1 0 4 が、s 偏光の 2 度目に通過する第 1 の測定ビーム 3 1 0 と再びかかると、s 偏光の 2 度目に通過する第 1 の測定ビーム 3 1 0 はビームスプリッタ境界面 1 0 4 において反射され、出入面 3 0 7 の第 1 の出射象限 3 0 2 において、混合偏光子 1 2 6 を通って干渉計コア 1 0 3 から出射する。

#### 【 0 0 2 4 】

図面の図 5、図 7 及び図 8 を参照すると、本教示による装置の一実施形態の基準ビーム 1 0 8 の進行路が表される。図面の図 8 に濃い線で示される辺は、図面の図 7 において示される偏光変換デバイス 1 2 0 の目に見える辺を表す。第 1 の基準ビーム 1 0 8 は、第 1 の光ビーム 1 0 2 の p 偏光成分として、出入面 3 0 7 の第 1 の入射象限 3 0 6 において、干渉計コア 1 0 3 に入射する。基準ビーム 1 0 8 は、ビームスプリッタ境界面 1 0 4 を横切り、第 2 のプリズム 3 0 1 に入射し、第 2 のプリズム 3 0 1 の反射面 3 0 4 から反射し、第 1 の反射象限 3 1 2 において、第 2 の偏光変換デバイス 1 2 0 を横切る。基準ビーム 1 0 8 がかわる第 2 の偏光変換デバイス 1 2 0 の部分は反射表面を有するので、基準ビーム 1 0 8 は直ちに、第 2 の偏光変換デバイス 1 2 0 を再び横切って、基準ビームは s 偏光に変化する。s 偏光の基準ビーム 1 3 0 は、第 2 のプリズム 3 0 1 の反射表面 3 0 4 において反射し、ビームスプリッタ境界面 1 0 4 において反射し、レトロリフレクタ 2 0 1 の中を進行し、ビームスプリッタ境界面 1 0 4 において再び反射する。s 偏光の基準ビーム 1 3 0 は、第 2 のプリズム 3 0 1 に入射し、第 2 のプリズム 3 0 1 の反射表面 3 0 4 において反射し、第 2 の偏光変換デバイス 1 2 0 の第 2 の反射象限 3 1 3 に誘導される。s 偏光の基準ビーム 1 3 0 は反射し、第 2 の反射象限 3 1 3 において第 2 の偏光変換デバイス 1 2 0 を再び横切り、それにより、s 偏光の基準ビーム 1 3 0 の偏光が p 偏光に変化する。p 偏光の基準ビーム 1 3 1 は第 2 のプリズム 3 0 1 に入射し、第 2 のプリズム 3 0 1 の反射表面 3 0 4 において反射し、干渉計コア 1 0 3 に入射し、ビームスプリッタ境界面 1 0 4 を通って、出入面 3 0 7 の第 1 の出射象限 3 0 2 において出射する。s 偏光の第 1 の測定ビーム 3 1 0 及び p 偏光の第 1 の基準ビーム 1 3 1 は出入面 3 0 7 の同じ象限において、混合偏光子 1 2 6 を通って合成され、検出し、測定するために干渉計コア 1 0 3 から出射する。

#### 【 0 0 2 5 】

図面の図 5、図 8 及び図 9 を具体的に参照すると、本教示による、干渉計コア 1 0 3 を通る第 2 の測定ビーム 3 1 5 の進行路が表される。第 2 の光ビーム 3 1 4 の p 偏光成分を含む第 2 の測定ビーム 3 1 5 は、出入面 3 0 7 の第 2 の入射象限 3 1 6 において、干渉計コア 1 0 3 に入射する。第 2 の測定ビーム 3 1 5 は、ビームスプリッタ境界面 1 0 4 を横切り、第 2 のプリズム 3 0 1 の反射表面 3 0 4 において反射し、第 1 の透過象限 3 1 7 において、第 2 の偏光変換デバイス 1 2 0 を横切る。第 2 の偏光変換デバイス 1 2 0 から出

10

20

30

40

50

射するビームは、第2の出射する測定ビーム311であり、リトロ角109で、回折格子100に向かって誘導される。回折された第2の出射する測定ビーム132は、入射する第2の出射測定ビーム311と同一直線上にあり、第1の透過象限317において、第2の偏光変換デバイス120を再び横切り、第2のプリズム301に入射する前にs偏光になる。s偏光の第2の測定ビーム133は、第2のプリズム301の反射表面304において反射し、ビームスプリッタ境界面104において反射し、レトロリフレクタ201の中を進行し、ビームスプリッタ境界面104において再び反射し、第2のプリズム301の反射表面304において反射し、第2の偏光変換デバイス120の第2の透過象限318において、第2の偏光変換デバイス120を横切る。そのビームは2度目に通過する第2の測定ビーム319として現われ、リトロ角109で、回折格子100に向かって誘導される。回折された2度目に通過する第2の測定ビーム320は、入射ビームと同一直線上にあり、第2の偏光変換デバイス120を横切って、p偏光になる。p偏光の2度目に通過する第2の測定ビーム332は、第2のプリズム301の反射表面304において反射し、ビームスプリッタ境界面104を横切り、出入面307の第2の出射象限321において、干渉計コア103から出射する。

#### 【0026】

図面の図5、図6及び図10を参照すると、第2の基準ビーム322の進行路が現われる。第2の基準ビーム322は、第2の光ビーム314のs偏光成分として、出入面307の第2の入射象限316において干渉計コア103に入射する。第2の基準ビーム322は、ビームスプリッタ境界面104において反射し、第1のプリズム300の反射表面303において反射し、第1の反射象限323において、第1の偏光変換デバイス105を横切る。第2の基準ビーム322がかかわる第1の偏光変換デバイス105の部分は反射表面を有するので、第2の基準ビーム322は直ちに、第1の偏光変換デバイス105を再び横切り、ビーム322の偏光がp偏光に変化する。p偏光の基準ビーム333はビームスプリッタ境界面104を横切り、レトロリフレクタ201の中を進行し、ビームスプリッタ境界面104を再び横切り、第1のプリズム300の反射表面303において反射し、第1の偏光変換デバイス105の第2の反射象限324において、第1の偏光変換デバイス105を横切る。そのビームは反射し、第1の偏光変換デバイス105を再び横切り、それにより、ビームの偏光がs偏光に変化する。s偏光の第2の基準ビーム334は、第1のプリズム300の反射表面303において反射し、ビームスプリッタ境界面104において反射し、出入面307の第2の出射象限321において出射する。p偏光の回折された2度目に通過する第2の測定ビーム332及び第2の基準ビーム334は混合偏光子126を通して合成され、検出し、測定するために、出入面307の同じ象限において干渉計コア103から出射する。

#### 【0027】

図面の図11及び図12を具体的に参照すると、x方向の変位が測定され、その測定がz方向の変位による影響を受けない、本教示による別の実施形態が示される。干渉計コア103、及び光ビームの光路は、図面の図4～図10に示されるのに概ね類似である。図11及び図12の実施形態では、反射表面106は除去され、光ビームの全ての成分が回折格子100に達することができるようになる。この実施形態では、光ビーム102は、ビームスプリッタ境界面104において、測定ビーム107及び随伴測定ビーム325に分割される。各ビーム107、325は、干渉計コア103の中を通り、回折格子との間を行き来する光路に従う。第1の測定ビーム107は、光ビーム102のs偏光成分であり、図面の図7に開示されるのと同じ光路に従う。随伴測定ビーム325は、光ビーム102のp偏光成分である。随伴測定ビーム325は、ビームスプリッタ境界面104を横切り、第2のプリズム301の反射表面304から反射し、第2の偏光変換デバイス120を横切る。出射する随伴測定ビーム326は、リトロ角109で、回折格子100に入射する。出射する随伴測定ビーム326の回折ビーム327は入射ビームと同一直線上にあり、偏光変換デバイス120を横切り、ビームの偏光がs偏光に変化する。s偏光の随伴測定ビーム328は第2のプリズム301の反射表面304から反射し、干渉計コア

103に入射する。s偏光の随伴測定ビーム328はビームスプリッタ境界面104において反射し、レトロリフレクタ201の中を進行し、ビームスプリッタ境界面104において反射し、第2のプリズム301の反射表面304において反射し、偏光変換デバイス120を通過する。2度目に通過する出射随伴測定ビーム329は、リトロ角109で、回折格子100に入射する。2度目に通過する出射随伴測定ビーム329の回折ビーム330は入射ビームと同一直線上にあり、第2の偏光変換デバイス120を再び横切り、そのビームはp偏光に変化する。p偏光の随伴測定ビーム331はビームスプリッタ境界面104を横切り、混合偏光子126を通過する。s偏光の第1の測定ビーム310及びp偏光の随伴測定ビーム331は、混合偏光子126を通過して検出器（図示せず）まで進むときに合成され、干渉する。2つの信号の干渉は、1つの方向のみの回折格子100の変位を指示し、他の2つの方向の回折格子100の変位による影響を受けないフリンジを生成する。例示される複光路の実施形態を用いて、回折格子100の変位は以下のように計算することができる。

$$x = N p / 4$$

(5)

## 【0028】

この実施形態がホモダイン動作又はヘテロダイン動作の場合にも適していることは当業者には理解されよう。また、類似であるが、異なる計算により、単光路の実施形態及び3光路以上の実施形態の変位測定に当てはまることも当業者には理解されよう。

## 【0029】

図13～図18を具体的に参照すると、本教示による干渉計の別の実施形態が示される。図13～図18に示される具体的な実施形態は、入力非偏光ビームスプリッタ361及び入力プリズム362を含む入力スプリッティング光学系360を備える。1つの具体的な実施形態では、入力光ビーム363はヘテロダインビームである。しかしながら、1つ又は複数の別の実施形態は、ホモダイン光源を都合よく用いることができる。非偏光ビームスプリッタキューブ361は、その光の約半分を透過し、残りの半分を反射する。ビームスプリッタを透過する半分は、入力プリズム362の反射表面において反射される。結果として、第1の入力光ビーム364及び第2の入力光ビーム365が生成される。第1の光ビーム364及び第2の光ビーム365は概ね等しい電力を有し、互いに対して平行に、且つ空間的にオフセットされて干渉計コア103に入射する。

## 【0030】

図面の図13を具体的に参照すると、第1の測定ビーム及び基準ビームの光路が示される。第1の入力ビーム364のp偏光成分は干渉計コア103に入射し、ビームスプリッタ境界面104を横切り、第1のプリズム300に入射する。図13の実施形態では、第1のプリズム300及び第2のプリズム301はそれぞれ、互いに対して垂直な2つの反射表面303、304を有する。第1の入力光ビーム364のp偏光成分は、2つの反射表面303から2度反射され、第1の偏光変換デバイス105を横切る。第1の出射する測定ビーム366は、リトロ角109で、回折格子100に入射する。第1の出射するビーム366の回折ビーム359は、第1の出射するビーム366と同一直線上にあり、第1の偏光変換デバイス105を再び横切り、s偏光になる。s偏光の第1の測定ビーム367は、第1のプリズム300において2度反射する。s偏光の第1の測定ビーム367はビームスプリッタ境界面104において反射し、レトロリフレクタ201の中を進行し、ビームスプリッタ境界面104において再び反射し、第1のプリズム300に入射する。s偏光の第1の測定ビーム367は、第1のプリズム300の反射表面303において2度反射し、第1の偏光変換デバイス105を通過する。出射する2度目に通過する第1の測定ビーム368は、リトロ角109で、回折格子100に入射し、出射する2度目に通過する第1の測定ビーム368の同一直線上にある回折ビーム369は、第1の偏光変換デバイス105を再び横切り、p偏光になる。p偏光の第1の測定ビーム370は、第1のプリズム300の2つの反射表面303において反射し、ビームスプリッタ境界面104を横切る。図18を具体的に参照すると、p偏光の第1の測定ビーム370は、出力プリズム371を通過して、干渉計コア103から出射する。p偏光の第1の入力ビー

10

20

30

40

50

ム 3 7 0 は、出力反射表面 3 7 2 において反射し、混合偏光子 1 2 6 を通って、出力プリズム 3 7 1 から出射する。

#### 【 0 0 3 1 】

図 1 3 を具体的に参照すると、第 1 の入力ビーム 3 7 3 の s 偏光成分はビームスプリッタ境界面 1 0 4 において反射し、第 2 のプリズム 3 0 1 の反射表面 3 0 4 から 2 度反射する。第 1 の入力ビーム 3 7 3 の s 偏光成分は、第 2 の偏光変換デバイス 1 2 0 を横切り、第 2 の偏光変換デバイス 1 2 0 の第 1 の反射象限 3 1 2 から反射し、第 2 の偏光変換デバイス 1 2 0 を再び横切り、そのビームは p 偏光の第 1 の基準ビーム 3 7 5 に変化する。p 偏光の第 1 の基準ビーム 3 7 5 は、第 2 のプリズム 3 0 1 の反射表面 3 0 4 において 2 度反射し、ビームスプリッタ境界面 1 0 4 を横切り、レトロリフレクタ 2 0 1 の中を通過して、ビームスプリッタ境界面 1 0 4 を通って、第 2 のプリズム 3 0 1 の反射表面 3 0 4 において 2 度反射する。p 偏光の第 1 の基準ビーム 3 7 5 は、第 2 の偏光変換デバイス 1 2 0 の第 2 の反射象限 3 1 3 において、第 2 の偏光変換デバイス 1 2 0 を横切り、反射し、第 2 の偏光変換デバイス 1 2 0 を再び横切り、そのビームは s 偏光の第 1 の基準ビーム 3 7 7 に変化する。図面の図 1 6 及び図 1 7 は、第 1 の偏光変換デバイス 1 0 5 及び第 2 の偏光変換デバイス 1 2 0 の構成を表しており、濃い線は、図面の図 1 3 及び図 1 4 に示される図から目で見ることができるデバイス 1 0 5、1 2 0 の辺を表す。s 偏光の第 1 の基準ビーム 3 7 7 は、第 2 のプリズム 3 0 1 の反射表面 3 0 4 において 2 度反射し、ビームスプリッタ境界面 1 0 4 において反射し、干渉計コア 1 0 3 から出射して、出力プリズム 3 7 1 に入射する。s 偏光の基準ビーム 3 7 7 は、出力反射表面 3 7 2 において反射し、混合偏光子 1 2 6 を通って出力プリズム 3 7 1 から出射して、p 偏光の第 1 の測定ビーム 3 7 0 と合成される。

#### 【 0 0 3 2 】

図面の図 1 4 を具体的に参照すると、第 2 の測定ビーム及び基準ビームの光路が示されており、第 2 の入力光ビーム 3 6 5 は、非偏光ビームスプリッタを横切り、入力プリズム 3 6 2 において反射し、その後、干渉計コア 1 0 3 に入射する。第 2 の入力光ビーム 3 7 8 の p 偏光成分は第 2 の基準ビームであり、偏光ビームスプリッタ境界面 1 0 4 を横切り、第 1 のプリズム 3 0 0 の反射表面 3 0 3 から反射し、第 1 の反射象限 3 2 3 において、第 1 の偏光変換デバイス 1 0 5 を横切る。そのビームは反射し、第 1 の偏光変換デバイス 1 0 5 を横切り、反射し、第 1 の偏光変換デバイス 1 0 5 を再び横切って、ビームは s 偏光に変化する。s 偏光の第 2 の基準ビーム 3 7 9 は、第 1 のプリズム 3 0 0 の両方の表面 3 0 3 において反射し、ビームスプリッタ境界面 1 0 4 において反射し、レトロリフレクタ 2 0 1 の中を進行し、ビームスプリッタ境界面 1 0 4 において再び反射し、第 1 のプリズム 3 0 0 の両方の表面 3 0 3 において 2 度反射し、第 2 の反射象限 3 2 4 において、第 1 の偏光変換デバイス 1 0 5 を横切る。そのビームは反射し、第 1 の偏光変換デバイス 1 0 5 を再び横切り、その偏光が p 偏光に変化する。p 偏光の第 2 の基準ビーム 3 8 0 は、第 1 のプリズム 3 0 0 の両方の表面 3 0 3 において反射し、ビームスプリッタ境界面 1 0 4 を横切って、出力プリズム 3 7 1 に入射する。p 偏光の第 2 の基準ビーム 3 8 0 は出力反射表面 3 7 2 において反射し、混合偏光子 1 2 6 を横切る。

#### 【 0 0 3 3 】

図 1 4 を具体的に参照すると、第 2 の入力光ビーム 3 6 5 の s 偏光成分は第 2 の測定ビーム 3 8 1 である。第 2 の測定ビーム 3 8 1 はビームスプリッタ境界面 1 0 4 において反射し、第 2 のプリズム 3 0 1 の表面 3 0 4 において 2 度反射し、第 1 の透過象限 3 1 7 において、第 2 の偏光変換デバイス 1 2 0 を横切る。出射する第 2 の測定ビーム 3 8 2 は、リトロ角 1 0 9 で、回折格子 1 0 0 に入射し、出射する第 2 の測定ビーム 3 8 2 の同一直線上にある反射ビーム 3 8 3 は、第 1 の透過象限 3 1 7 において第 2 の偏光変換デバイス 1 2 0 を再び横切り、そのビームの偏光が p 偏光に変化する。p 偏光の第 2 の測定ビーム 3 8 4 は、第 2 のプリズム 3 0 1 の表面 3 0 4 において 2 度反射し、ビームスプリッタ境界面 1 0 4 を横切り、レトロリフレクタ 2 0 1 の中を進行し、ビームスプリッタ境界面 1 0 4 を再び横切り、2 度目に通過するために第 2 のプリズム 3 0 1 の表面 3 0 4 におい

10

20

30

40

50

て2度反射し、第2の透過象限318において、第2の偏光変換デバイス120を横切る。2度目の出射する第2の測定ビーム387は、リトロ角109で、回折格子100に入射し、2度目の出射する第2の測定ビーム387の同一直線上にある反射ビーム385は、第2の偏光変換デバイス120を再び横切り、s偏光になる。s偏光の第2の測定ビーム386は、第2のプリズム301の両方の表面304から反射し、ビームスプリッタ境界面104において再び反射する。s偏光の第2の測定ビーム386は、干渉計コア103から出射し、出力プリズム371に入射し、出力反射表面372から反射して、混合偏光子126において、p偏光の第2の基準ビーム380と合成される。

#### 【0034】

図面の図19を具体的に参照すると、本教示による干渉システムの応用形態の一実施形態が示される。図面の図19は、回折格子100の溝側の平面図と、回折格子100に対する干渉計の位置を示す2つの立面図とを示す。回折格子100は、工作機械又は半導体チップリソグラフィシステムの一部として用いられるような精密ステージに取り付けることができるか、又は高精度変位測定を用いる任意の他のシステムの一部にすることができる。本開示のために、回折格子100に対して座標系が定義される。回折格子100は、x方向353及びy方向355によって定義される平面内に存在する。z方向354は回折格子100の平面に対して垂直である。3つの付加的な座標、Rx356、Ry357及びRz358も、それぞれx軸353、y軸355及びz軸354を中心にした回折格子の回転を記述するために定義される。図面の図13～図18に示される干渉計の実施形態を用いるシステムでは、各干渉計350、351及び352は2つの別個の次元を測定する。第1の干渉計350、第2の干渉計351及び第3の干渉計352は回折格子100上の場所に配置される。第1の干渉計350及び第2の干渉計351はx方向及びz方向の変位を測定し、第3の干渉計352はy方向及びz方向の変位を測定する。変位測定から、各軸を中心にした回転の変位をさらに計算することができる。1つの具体的な実施形態では、x方向353の変位は、第1の干渉計350及び第2の干渉計351からのx方向変位測定値の平均値から計算される。y方向355の変位は、第3の干渉計352における変位測定値から計算される。z方向354の変位は、第1の干渉計350及び第2の干渉計351からのz方向の変位測定値の平均値から計算される。x軸を中心にした回転、Rx356は、z方向測定値の差から計算することができる。y軸を中心にした回転、Ry357は、第3の干渉計352からのz方向の変位と、第1の干渉計350及び第2の干渉計351からのz方向変位の平均値との間の差から計算することができる。z軸を中心にした回転Rz358は、第1の干渉計350及び第2の干渉計351のx方向変位の差から計算することができる。

#### 【0035】

別の実施形態は、4つ以上の干渉計を備えるシステムを含む。付加的な干渉計は、重複性及び自己一致性検査(self-consistency check)のために用いられ、行われる測定の信頼性を高めることができる。一方向又は複数方向の変位を対象としない場合には、干渉計の数を減らすこともできる。1つの具体的な実施形態では、回折格子は約500mm×500mmである。別法では、2つ以上の別個の回折格子を用いることができ、各回折格子が別個に照明される。別個のリターダが用いられる場合には、それらが同じ平面内、又は同じ相対的な向きで存在する必要はない。測定値を受信するプロセッサが種々の向きの予備知識を有する場合には、特定のシステム構成及び回折格子の向きを考慮に入れて、適当な測定値を計算することができる。1つの具体的な実施形態では、回折格子100は、第1の向きにおいて1組の溝と、第2の向きにおいて別の1組の溝とを有する。第1の向き及び第2の向きは、互いに対して概ね垂直にすることができるか、又は他の相対的な角度を成すことができる。第1の向き及び第2の向きの溝のピッチは同じである必要はなく、回折格子は第1の向きだけにおいて溝を有することもできる。本教示による干渉計は個別に調整することができるので、各干渉計で行われる測定を最適化することができ、且つ位置合わせ不良の結果としての測定誤差を較正することができるという利点がある。本教示によれば、当業者には数多くの他のシステムの実施形態が思い浮かぶであろう。

## 【 0 0 3 6 】

例示するために、本明細書では、本教示による特定の実施形態が記述される。具体的には記述されない場合であっても、本教示の助けを借りた当業者には、具体的には述べられない他の実施形態が思い浮かぶはずであり、それらも添付の特許請求の範囲内にあるものと見なされる。たとえば、プリズム及び関連する出力面の幾何学的形状は、具体的なリトロ角の要件に応じて異なる場合がある。異なる回折格子パラメータに合わせながら、干渉計コアのための一貫した幾何学的形状を保持することができるという利点がある。開示される実施形態では、透過象限及び反射象限を参照しながら、第1の偏光変換デバイス105及び第2の偏光変換デバイス120を通して測定ビーム及び基準ビームが出射することが記述される。本教示は3つ以上の光ビームの場合にも拡張することができ、その場合には、第1の偏光変換デバイス及び第2の偏光変換デバイスが、付加的な透過部分及び反射部分に関して機能的に定義される。それゆえ、本明細書の実施形態及び説明図は例示することを意図しており、本教示の範囲は、添付の特許請求の範囲によってのみ制限される。

10

## 【 図面の簡単な説明 】

## 【 0 0 3 7 】

【 図 1 】 本教示による装置の単光路の実施形態を示す図である。

【 図 2 】 本教示による装置の複光路の実施形態を示す図である。

【 図 3 】 ホモダイン光源用に構成される、本教示による装置の複光路の実施形態を示す図である。

20

【 図 4 】 装置の中を通る光の進行路も合わせて表示する、本教示による装置の別の実施形態を示す図である。

【 図 5 】 装置の中を通る光の進行路も合わせて表示する、本教示による装置の別の実施形態を示す図である。

【 図 6 】 装置の中を通る光の進行路も合わせて表示する、本教示による装置の別の実施形態を示す図である。

【 図 7 】 装置の中を通る光の進行路も合わせて表示する、本教示による装置の別の実施形態を示す図である。

【 図 8 】 装置の中を通る光の進行路も合わせて表示する、本教示による装置の別の実施形態を示す図である。

30

【 図 9 】 装置の中を通る光の進行路も合わせて表示する、本教示による装置の別の実施形態を示す図である。

【 図 10 】 装置の中を通る光の進行路も合わせて表示する、本教示による装置の別の実施形態を示す図である。

【 図 11 】 1つの方向における変位を判定し、別の方向の変位による影響を受けない、本教示による別の実施形態を示す図である。

【 図 12 】 1つの方向における変位を判定し、別の方向の変位による影響を受けない、本教示による別の実施形態を示す図である。

【 図 13 】 本教示による別の実施形態を示す図である。

【 図 14 】 本教示による別の実施形態を示す図である。

40

【 図 15 】 本教示による別の実施形態を示す図である。

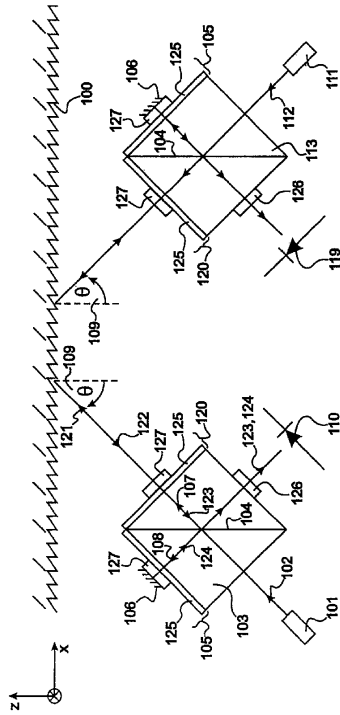
【 図 16 】 本教示による別の実施形態を示す図である。

【 図 17 】 本教示による別の実施形態を示す図である。

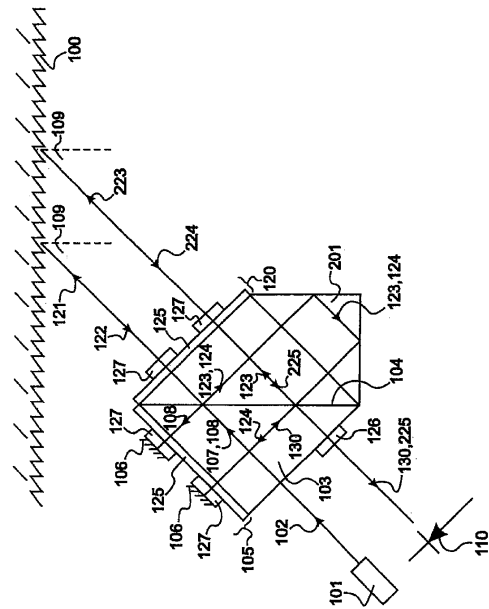
【 図 18 】 本教示による別の実施形態を示す図である。

【 図 19 】 本教示の実施形態とともに用いるのに適した応用形態を示す図である。

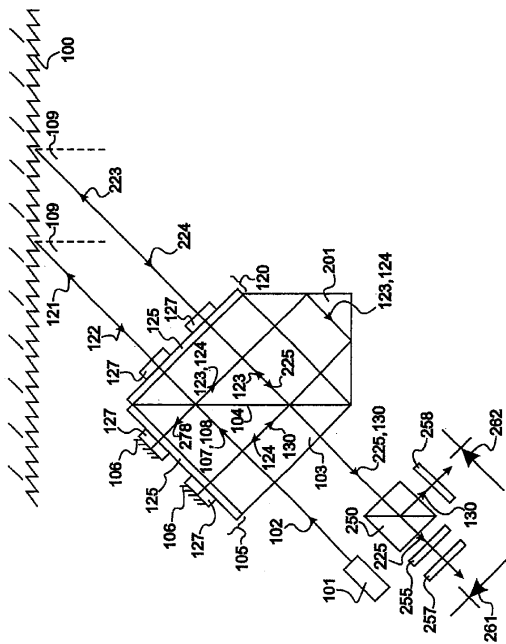
【図 1】



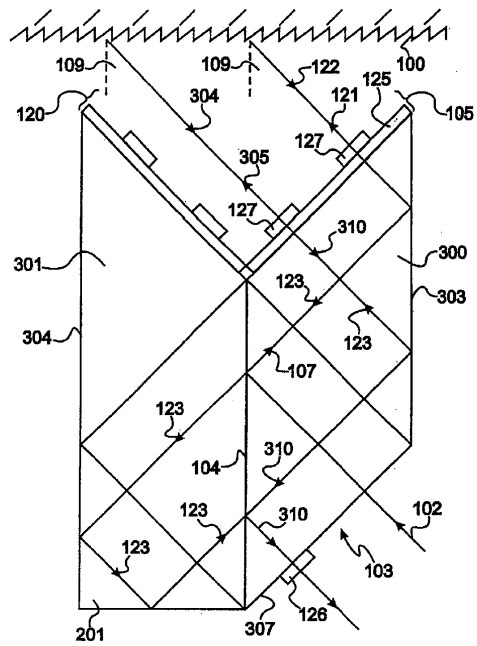
【図 2】



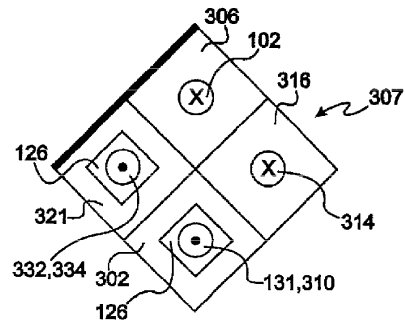
【図 3】



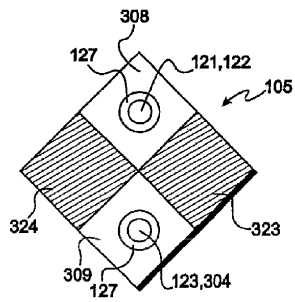
【図 4】



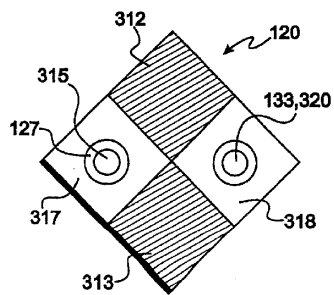
【図 5】



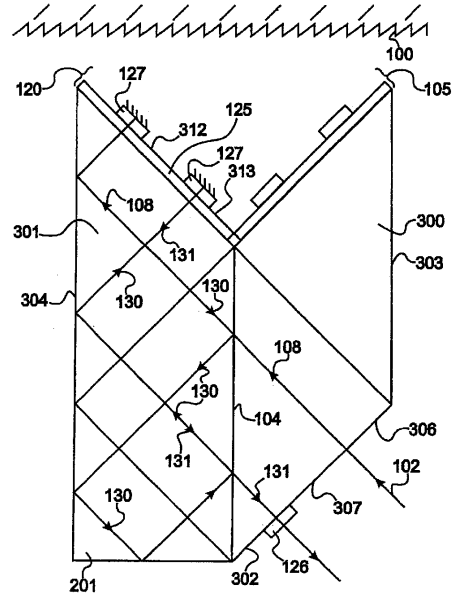
【図 6】



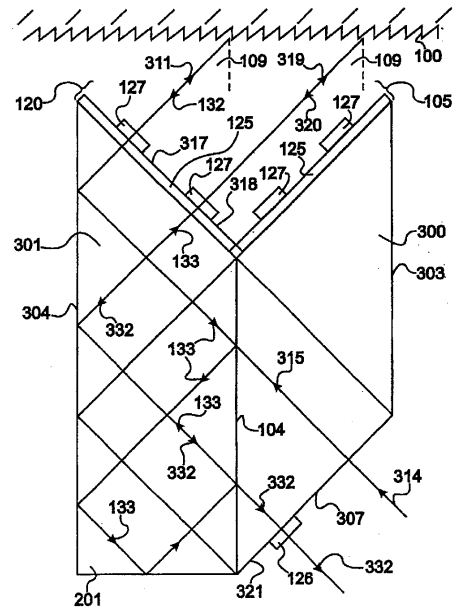
【図 8】



【図 7】

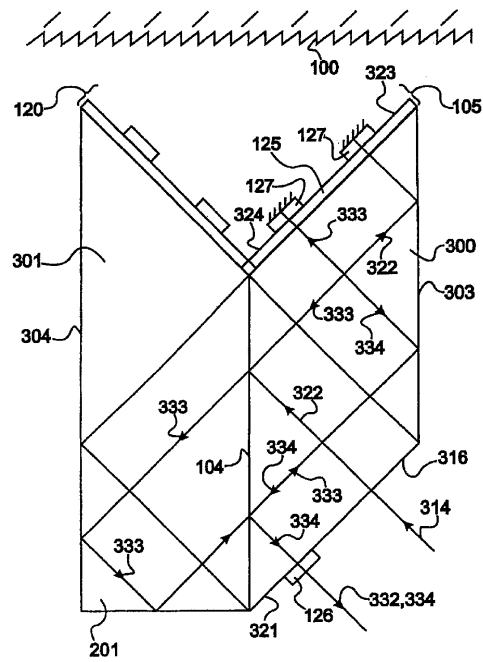


【図 9】

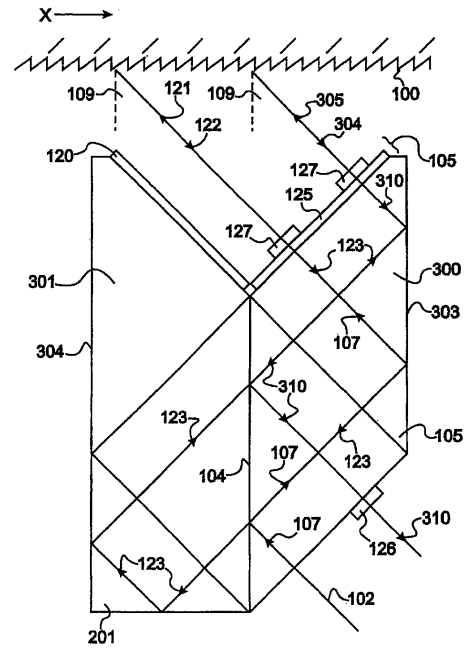




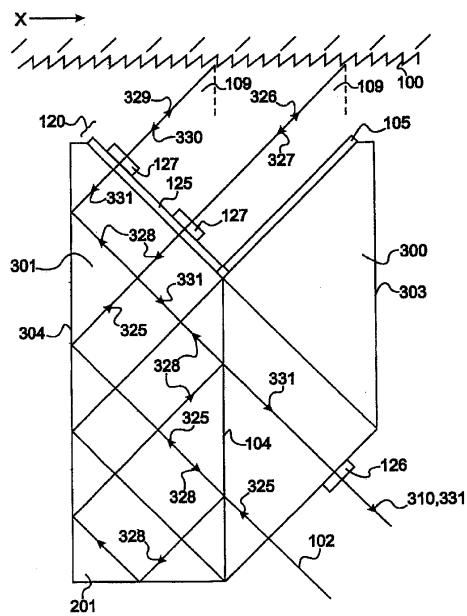
【図 10】



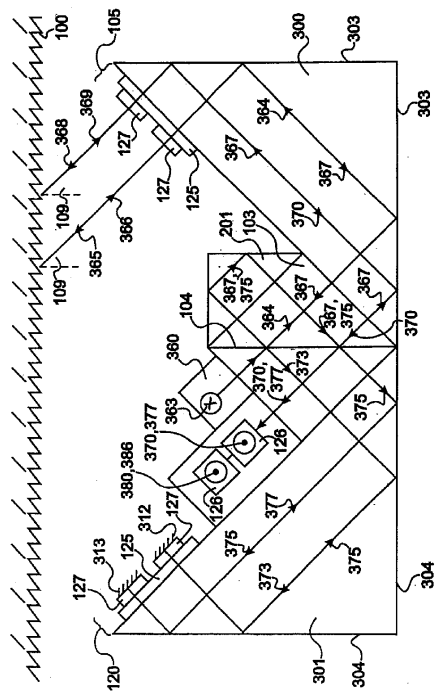
【図 11】



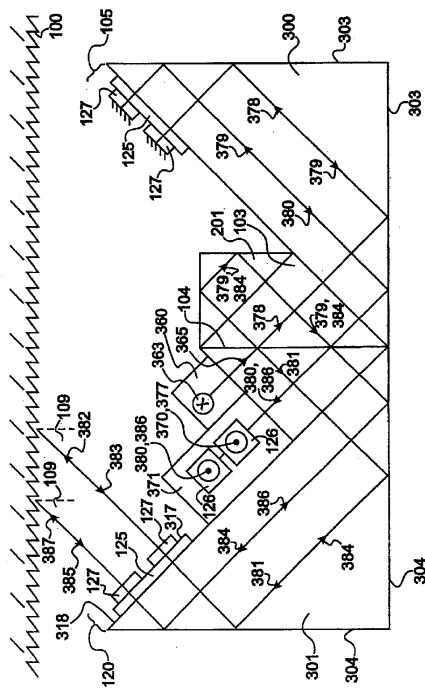
【図 12】



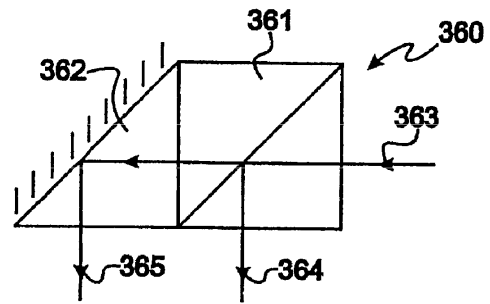
【図 13】



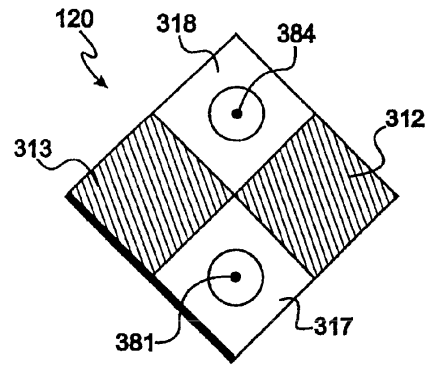
【図 14】



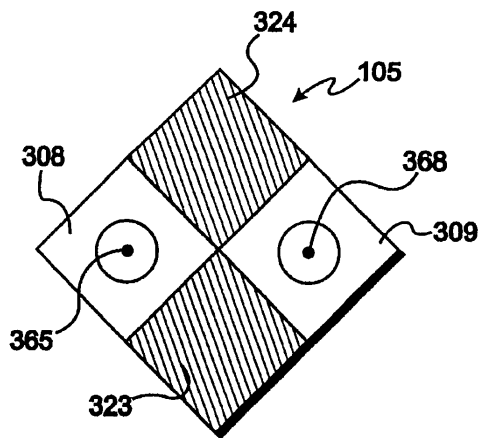
【図 15】



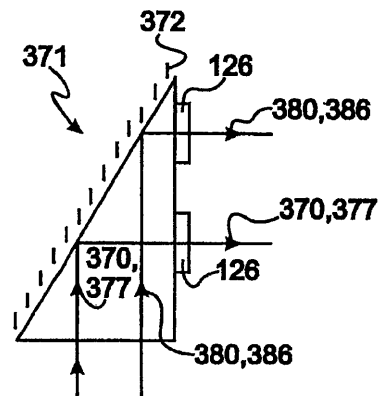
【図 16】



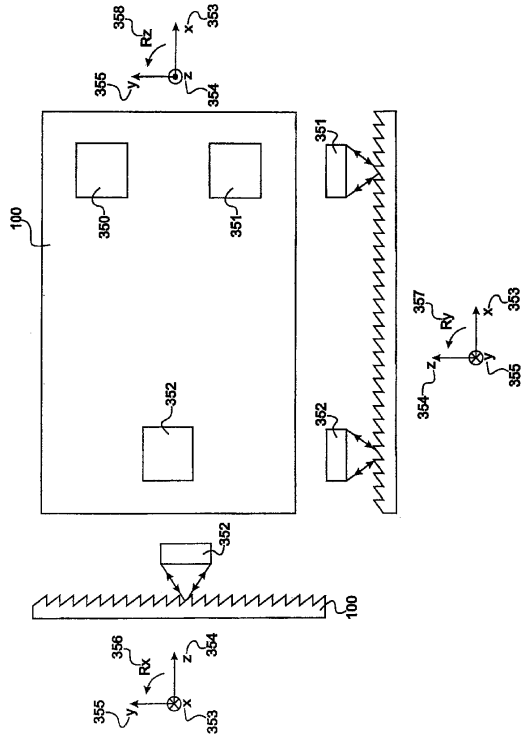
【図 17】



【図 18】



【図 19】



## フロントページの続き

- (72)発明者 ウィリアム・アール・トルートナ・ジュニア  
アメリカ合衆国カリフォルニア州パロアルト ページ・ミル・ロード 395 アジレント・テク  
ノロジーズ・インク内
- (72)発明者 ジェレイント・オーエン  
アメリカ合衆国カリフォルニア州パロアルト ページ・ミル・ロード 395 アジレント・テク  
ノロジーズ・インク内
- (72)発明者 アラン・ピー・レイ  
アメリカ合衆国カリフォルニア州パロアルト ページ・ミル・ロード 395 アジレント・テク  
ノロジーズ・インク内
- (72)発明者 ジェイムズ・プリンス  
アメリカ合衆国カリフォルニア州パロアルト ページ・ミル・ロード 395 アジレント・テク  
ノロジーズ・インク内
- (72)発明者 エリック・ステファン・ジョンストン  
アメリカ合衆国カリフォルニア州パロアルト ページ・ミル・ロード 395 アジレント・テク  
ノロジーズ・インク内
- (72)発明者 ミャオ・チュー  
アメリカ合衆国カリフォルニア州パロアルト ページ・ミル・ロード 395 アジレント・テク  
ノロジーズ・インク内
- (72)発明者 レオナルド・エス・カトラ  
アメリカ合衆国カリフォルニア州パロアルト ページ・ミル・ロード 395 アジレント・テク  
ノロジーズ・インク内

審査官 有家 秀郎

- (56)参考文献 特開平10-170217(JP,A)  
特開2004-239905(JP,A)  
特開2005-338075(JP,A)  
米国特許第04436424(US,A)  
米国特許出願公開第2004/0061869(US,A1)  
特表2005-516185(JP,A)  
国際公開第2004/001427(WO,A1)  
特開2000-018917(JP,A)  
特開2003-279385(JP,A)

## (58)調査した分野(Int.Cl., DB名)

G01B 9/00-11/30  
G01D 5/38