

(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2011-106920

(P2011-106920A)

(43) 公開日 平成23年6月2日(2011.6.2)

(51) Int.Cl.

G O 1 B 11/26

(2006.01)

F 1

G O 1 B 11/26

テーマコード(参考)

Z

2 F O 6 5

審査請求 未請求 請求項の数 16 O L (全 23 頁)

(21) 出願番号

特願2009-261069 (P2009-261069)

(22) 出願日

平成21年11月16日 (2009.11.16)

(特許庁注:以下のものは登録商標)

1. ポラロイド

(71) 出願人 504157024

国立大学法人東北大学

宮城県仙台市青葉区片平二丁目1番1号

(74) 代理人 100098729

弁理士 重信 和男

(74) 代理人 100097582

弁理士 水野 昭宣

(74) 代理人 100116757

弁理士 清水 英雄

(74) 代理人 100123216

弁理士 高木 祐一

(74) 代理人 100089336

弁理士 中野 佳直

(74) 代理人 100163212

弁理士 溝渕 良一

最終頁に続く

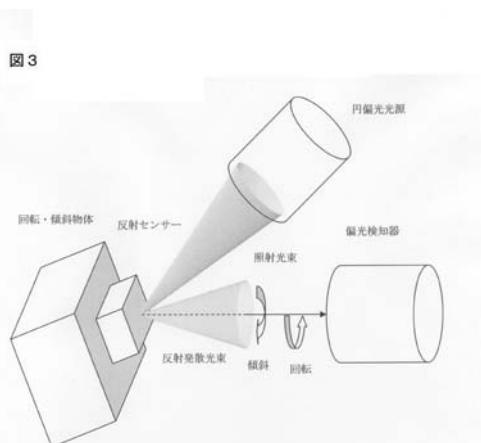
(54) 【発明の名称】回転・傾斜計測装置および方法

(57) 【要約】 (修正有)

【課題】物体に簡便で小型な反射センサーを取り付け、回転・傾斜を精密にリモート計測する方法を提供する。

【解決手段】リモート観測方向に設置固定された偏光検知器と、物体に取り付ける反射センサーと、該反射センサーに円偏光を照射する光源装置から成り、且つ、該円偏光の照射角度範囲の設定によって、該反射センサーで所定の範囲の入射角度分布で正反射せしめ、その正反射せしめることで、該正反射光束を偏光反射の既知の入射角依存性に従う所定の空間分布の発散する梢円偏光光束を成しめ、その梢円偏光光束を検出して、リモート観測方向へ向かう光線成分の偏光梢円から該反射センサーのリモート観測光軸周りの回転角と観測光軸と成す傾斜角を計測する。

【選択図】図3



**【特許請求の範囲】****【請求項 1】**

物体の回転・傾斜をリモート計測する回転・傾斜計測装置であって、当該回転・傾斜計測装置は、リモート観測方向に設置固定された偏光検知器と、物体に取り付ける偏光放射センサーから成り、該放射センサーで所定の空間分布の既知の橙円偏光状態で発散する光束を成さしめ、リモート観測方向へ向かう光線成分の偏光橙円を検出して、該放射センサーのリモート観測光軸周りの回転角と観測光軸と成す傾斜角を計測することを特徴とする回転・傾斜計測装置。

**【請求項 2】**

物体の回転・傾斜をリモート計測する回転・傾斜計測装置であって、当該回転・傾斜計測装置は、リモート観測方向に設置固定された偏光検知器と、物体に取り付ける反射センサーと、該反射センサーに円偏光を照射する光源装置から成り、該円偏光の照射角度範囲の設定によって、該反射センサーで所定の範囲の入射角度分布で正反射せしめ、その正反射せしめることで、該正反射光束を偏光反射の既知の入射角依存性に従う所定の空間分布の発散する橙円偏光光束を成さしめ、その橙円偏光光束を検出して、リモート観測方向へ向かう光線成分の偏光橙円から該反射センサーのリモート観測光軸周りの回転角と観測光軸と成す傾斜角を計測することを特徴とする回転・傾斜計測装置。

**【請求項 3】**

物体に取り付ける反射センサーは、平面または曲面の反射センサーで、該反射センサーが光源装置から照射する光束の中心光軸を成す光線の正反射光線を観測方向に実質的に一致させる角度調節機構を備えるものであることを特徴とする請求項 2 に記載の回転・傾斜計測装置。

**【請求項 4】**

観測方向に設置固定された偏光検知器が、観測光学系を介して偏光画像を検知できる機能を有し、物体の任意箇所に任意の個数取り付けた反射センサーからの正反射光線を一括結像して偏光検出できるものであることを特徴とする請求項 2 又は 3 に記載の回転・傾斜計測装置。

**【請求項 5】**

円偏光を照射する光源装置が、光源、照射光学系、円偏光子を、光源 - 照射光学系 - 円偏光子の順に備えるものであることを特徴とする請求項 2 ~ 4 のいずれか一に記載の回転・傾斜計測装置。

**【請求項 6】**

光源装置が、実質的に偏光能99%以上の円偏光光束群を反射センサーに照射できるものであることを特徴とする請求項 2 ~ 5 のいずれか一に記載の回転・傾斜計測装置。

**【請求項 7】**

反射センサーの角度調節機構が、実質的に反射面の中心点を空間的に動かさない回転・傾斜機構から成るものであることを特徴とする請求項 2 ~ 6 のいずれか一に記載の回転・傾斜計測装置。

**【請求項 8】**

反射センサーの角度調節機構が、直交 2 軸の回転機構を有し、円偏光を照射する光源装置の光軸が、該直交 2 軸のいずれか一方と一致する構造、または、該直交 2 軸と直交する構造のものであることを特徴とする請求項 2 ~ 7 のいずれか一に記載の回転・傾斜計測装置。

**【請求項 9】**

反射センサーの反射面が、表面鏡、裏面鏡、全反射プリズム、反射面を塗鏡したプリズム、半球ガラス、反射面を塗鏡した半球ガラスのいずれかで構成されるもので、反射橙円の入射角依存性が既知とされていることを特徴とする請求項 2 ~ 8 のいずれか一に記載の回転・傾斜計測装置。

**【請求項 10】**

円偏光を照射する光源装置が実質的に反射センサーと一体の構造を成すこと

10

20

30

40

50

を特徴とする請求項 2 ~ 9 のいずれか一に記載の回転・傾斜計測装置。

【請求項 1 1】

円偏光を照射する光源装置が実質的に偏光検出器と一体の構造を成すものであることを特徴とする請求項 2 ~ 9 のいずれか一に記載の回転・傾斜計測装置。

【請求項 1 2】

実質的に一体を成す、円偏光を照射する光源装置と偏光検出器が、オートコリメーター光学系を含む構造を成すものであることを特徴とする請求項 1 1 に記載の回転・傾斜計測装置。

【請求項 1 3】

回転・傾斜計測装置が、往復光路型の回転・傾斜計測装置であって、反射センサーが、鏡面2枚を所定の角度で向かい合わせて固定した合わせ鏡構造を成し、入射光線を複数回の反射によって観測方向に所定の角度毎に逆向射出するデジタル基準角度を有するものであることを特徴とする請求項 1 1 又は 1 2 に記載の回転・傾斜計測装置。 10

【請求項 1 4】

回転・傾斜計測装置が、往復光路型の回転・傾斜計測装置であって、反射センサーが、鏡面 3 枚によるコーナーキューブ構造のものであることを特徴とする請求項 1 1 又は 1 2 に記載の回転・傾斜計測装置。

【請求項 1 5】

物体の回転・傾斜をリモート計測する回転・傾斜計測方法であって、リモート観測方向に設置固定された偏光検知器と、物体に取り付ける偏光放射センサーから成る回転・傾斜計測装置を使用し、該放射センサーで所定の空間分布の既知の橙円偏光状態で発散する光束を成さしめ、リモート観測方向へ向かう光線成分の偏光橙円を検出して、該放射センサーのリモート観測光軸周りの回転角  $\theta$  と観測光軸と成す傾斜角  $\phi$  を計測することを特徴とする回転・傾斜計測方法。 20

【請求項 1 6】

物体の回転・傾斜をリモート計測する回転・傾斜計測方法であって、リモート観測方向に設置固定された偏光検知器と、物体に取り付ける反射センサーと、該反射センサーに円偏光を照射する光源装置から成る回転・傾斜計測装置を使用し、該円偏光の照射角度範囲の設定によって、該反射センサーで所定の範囲の入射角度分布で正反射せしめ、その正反射せしめることで、該正反射光束を偏光反射の既知の入射角依存性に従う所定の空間分布の発散する橙円偏光光束を形成せしめ、その橙円偏光光束を測定して、リモート観測方向へ向かう光線成分の偏光橙円から該反射センサーのリモート観測光軸周りの回転角  $\theta$  と観測光軸と成す傾斜角  $\phi$  を計測することを特徴とする回転・傾斜計測方法。 30

【発明の詳細な説明】

【技術分野】

【0 0 0 1】

本発明は、回転・傾斜計測装置および方法に関し、特にリモート回転センサー、リモート傾斜センサー、アライメントスコープなどに好適な、回転・傾斜計測装置およびその計測方法に関する。 40

【背景技術】

【0 0 0 2】

従来技術による回転角の計測は、専ら磁気目盛りや光学目盛りを読み取る機械式エンコーダによるために、リモート計測には向かない。光学的に物体の傾斜角を計測する方法としては、各種の干渉計測法、モアレトポグラフィーなどの縞投影法、光てこ法などが広く実用化されている。これらの光計測法では、基本的に距離の計測によって三角測量法で傾斜角を算出する。

【0 0 0 3】

一方、発明者は、偏光を利用した形状・傾斜の精密計測法として、エリプソメータ技術を利用し、試料の光学特性を既知として、試料面法線の幾何学的な方位を未知とする新 50

たな発明を完成した〔特許文献1：特願2008-211895、非特許文献1：「正反射による物体表面の傾斜エリプソメトリー - 精密実時間形状計測への基本概念 - 」、光学、Vol.38、No.4 (2009) pp.204-212、特許文献6：国際特許出願PCT/JP2009/003995〕。

#### 【0004】

従来技術のエリプソメトリーは、直線偏光をプローブとして平面試料に斜め入射し、反射の偏光状態の変化から試料の光学的性質や薄膜の厚さを精密計測する。このエリプソメトリー分野では、偏光反射特性の入射角依存性を精密計測に利用する主入射角法〔非特許文献2：「偏光測定と偏光解析法」、光工学ハンドブック、朝倉書店1986、pp. 411-427〕が知られているが、試料の光学特性を計測するという標準的な目的の手法であり、計測対象は平面試料に限定されている。

10

#### 【0005】

発明者は、主入射角法に基づく偏光解析法の発明〔特許文献2：特公昭52-46825号公報、特許文献3：特公昭60-41732号公報、特許文献4：特公平2-16458号公報〕と応用を通して、反射の偏光状態の入射角依存性に関する光学特性を熟知している。この知見をもとに、逆転の発想で、上記の新たな形状・傾斜計測技術の発明を完成した。

#### 【0006】

この形状・傾斜計測法開発研究の過程で、計測精度は、計測対象物体の表面の粗さの増大とともに低下することを明らかにした。また、反射面として、理想的に平滑な面を用いれば、傾斜角度の計測精度は0.1°を一桁から二桁改善できることも見出せた。

20

#### 【0007】

さらに、新たな高密度光記録方式の技術領域では、記録ピットを直角プリズム型の2回反射で構成すれば、円偏光照明の往復光路型で観測光軸周りの回転角を多値化できることを見出した〔特許文献5：特開2009-099192号公報（特願2007-269457）〕。直角プリズムの2回反射で角度分解能を評価した実験例〔非特許文献4：Toshihide Tsuru, Masaki Yamamoto : “Multi-bits coding by multi-directional valley pits permitting stamper mass-production and remote direction readout by polarization reflection”, Optics Express 16, pp.9622-9627 (2008)〕を次に示す。

#### 【0008】

実験装置の構成を図1に示す。図1において、Dは検出器（ディテクター）で、Aは回転検光子（回転式アライザー）で、Pは偏光子（ポラライザー）で、QWPは1/4波長板（quarter-wave plate）で、BSはビームスプリッター（beam splitter）で、Sは直角プリズムサンプル（測定対象試料）であり、本例ではV字形状のピット（記録ピット）を想定している。上記実験装置を使用し、円偏光を落射照明で稜辺5mm角の直角プリズムの斜面に垂直入射し、反射偏光の橙円形状を回転検光子法で検知した。円偏光入射時の直角プリズム反射光の偏光橙円実測値を図2に示す。図2において、余弦信号の振幅比が橙円率角を示し、位相が橙円長軸方位角を示す。図2に示すように、検光子方位角変化による強度変化はプリズムの向きで系統的に位相が変化し、橙円の方位角としてプリズム回転角を精度±0.14°で読み出せた。このプリズム実験の0.14°は、半周180度を1285分割し、2進10桁の1024を超える多値化に相当する。

30

#### 【先行技術文献】

#### 【特許文献】

#### 【0009】

【特許文献1】特願2008-211895

【特許文献2】特公昭52-46825号公報

【特許文献3】特公昭60-41732号公報

【特許文献4】特公平2-16458号公報

【特許文献5】特開2009-099192号公報（特願2007-269457）

【特許文献6】PCT/JP2009/003995

#### 【非特許文献】

#### 【0010】

40

50

【非特許文献 1】「正反射による物体表面の傾斜エリプソメトリー - 精密実時間形状計測への基本概念 - 」、光学、Vol.38、No.4 (2009) pp.204-212

【非特許文献 2】「偏光測定と偏光解析法」、光工学ハンドブック、朝倉書店1986、pp. 411-427

【非特許文献 3】川上彰二郎、「積層型フォトニック結晶の産業的諸応用」、応用物理、77、508-514 (2008)

【非特許文献 4】Toshihide Tsuru・Masaki Yamamoto : "Multi-bits coding by multi-directional valley pits permitting stamper mass-production and remote direction readout by polarization reflection", Optics Express 16, pp.9622-9627 (2008)

【非特許文献 5】"Principal Angle-of-Incidence Ellipsometry", K. Kinoshita and M. Yamamoto, Surf. Sci. 56, 64-75(1976)

10

#### 【発明の概要】

#### 【発明が解決しようとする課題】

#### 【0011】

従来技術による回転角の計測は、専ら磁気目盛りや光学目盛りを読み取る機械式エンコーダによるために、リモート計測には向かない。また、物体の傾斜角を光学的に計測する方法として知られる従来法としては、各種の干渉計測法、モアレトポグラフィーなどの縞投影法、光てこ法などがあるが、これらの光計測法では、基本的に距離の計測によって三角測量法で傾斜角を算出することから、精密にリモート計測するにはできない。したがって、従来、様々な対象の回転・傾斜を精密計測することはできなかった。

20

#### 【課題を解決するための手段】

#### 【0012】

発明者は、様々な対象の回転・傾斜を精密にリモート計測することを目的に研究を行い、その結果、上記高精度方位角検知特性に基づき、円偏光照明装置の構成と反射鏡面の構成に工夫を重ねることで、従来に無い、回転・傾斜に特化した計測装置および方法を編み出した。即ち、物体に簡便で小型な反射センサーを取り付け、回転・傾斜を精密にリモート計測する本発明の構成を完成した。

#### 【0013】

本発明では、次のものが提供できる。

[1] 物体の回転・傾斜をリモート計測する回転・傾斜計測装置であって、当該回転・傾斜計測装置は、リモート観測方向に設置固定された偏光検知器と、物体に取り付ける偏光放射センサーから成り、該放射センサーで所定の空間分布の既知の楕円偏光状態で発散する光束を成さしめ、リモート観測方向へ向かう光線成分の偏光楕円を検出して、該放射センサーのリモート観測光軸周りの回転角 $\theta$ と観測光軸と成す傾斜角 $\phi$ を計測することを特徴とする回転・傾斜計測装置。

30

[2] 物体の回転・傾斜をリモート計測する回転・傾斜計測装置であって、当該回転・傾斜計測装置は、リモート観測方向に設置固定された偏光検知器と、物体に取り付ける反射センサーと、該反射センサーに円偏光を照射する光源装置から成り、該円偏光の照射角度範囲の設定によって、該反射センサーで所定の範囲の入射角度分布で正反射せしめ、その正反射せしめることで、該正反射光束を偏光反射の既知の入射角依存性に従う所定の空間分布の発散する楕円偏光光束を成さしめ、その楕円偏光光束を検出して、リモート観測方向へ向かう光線成分の偏光楕円から該反射センサーのリモート観測光軸周りの回転角 $\theta$ と観測光軸と成す傾斜角 $\phi$ を計測することを特徴とする回転・傾斜計測装置。

40

[3] 物体に取り付ける反射センサーは、平面または曲面の反射センサーで、該反射センサーが光源装置から照射する光束の中心光軸を成す光線の正反射光線を観測方向に実質的に一致させる角度調節機構を備えるものであることを特徴とする上記[2]に記載の回転・傾斜計測装置。

[4] 観測方向に設置固定された偏光検知器が、観測光学系を介して偏光画像を検知できる機能を有し、物体の任意箇所に任意の個数取り付けた反射センサーからの正反射光線を一括結像して偏光検出できることを特徴とする上記[2]又は[3]に記載

50

の回転・傾斜計測装置。

[5] 円偏光を照射する光源装置が、光源、照射光学系、円偏光子を、光源・照射光学系・円偏光子の順に備えるものであることを特徴とする上記〔2〕～〔4〕のいずれか一に記載の回転・傾斜計測装置。

[6] 光源装置が、実質的に偏光能99%以上の円偏光光束群を反射センサーに照射できるものであることを特徴とする上記〔2〕～〔5〕のいずれか一に記載の回転・傾斜計測装置。

[7] 反射センサーの角度調節機構が、実質的に反射面の中心点を空間的に動かさない回転・傾斜機構から成るものであることを特徴とする上記〔2〕～〔6〕のいずれか一に記載の回転・傾斜計測装置。

[8] 反射センサーの角度調節機構が、直交2軸の回転機構を有し、円偏光を照射する光源装置の光軸が、該直交2軸のいずれか一方と一致する構造、または、該直交2軸と直交する構造のものであることを特徴とする上記〔2〕～〔7〕のいずれか一に記載の回転・傾斜計測装置。

[9] 反射センサーの反射面が、表面鏡、裏面鏡、全反射プリズム、反射面を塗鏡したプリズム、半球ガラス、反射面を塗鏡した半球ガラスのいずれかで構成されるもので、反射機能の入射角依存性が既知とされていることを特徴とする上記〔2〕～〔8〕のいずれか一に記載の回転・傾斜計測装置。

[10] 円偏光を照射する光源装置が実質的に反射センサーと一体の構造を成すものであることを特徴とする上記〔2〕～〔9〕のいずれか一に記載の回転・傾斜計測装置。

[11] 円偏光を照射する光源装置が実質的に偏光検出器と一体の構造を成すものであることを特徴とする上記〔2〕～〔9〕のいずれか一に記載の回転・傾斜計測装置。

[12] 実質的に一体を成す、円偏光を照射する光源装置と偏光検出器が、オートコリメーター光学系を含む構造を成すものであることを特徴とする上記〔11〕に記載の回転・傾斜計測装置。

[13] 回転・傾斜計測装置が、往復光路型の回転・傾斜計測装置であって、反射センサーが、鏡面2枚を所定の角度で向かい合わせて固定した合わせ鏡構造を成し、入射光線を複数回の反射によって観測方向に所定の角度毎に逆向射出するデジタル基準角度を有するものであることを特徴とする上記〔11〕又は〔12〕に記載の回転・傾斜計測装置。

[14] 回転・傾斜計測装置が、往復光路型の回転・傾斜計測装置であって、反射センサーが、鏡面3枚によるコーナーキューブ構造のものであることを特徴とする上記〔11〕又は〔12〕に記載の回転・傾斜計測装置。

[15] 物体の回転・傾斜をリモート計測する回転・傾斜計測方法であって、リモート観測方向に設置固定された偏光検知器と、物体に取り付ける偏光放射センサーから成る回転・傾斜計測装置を使用し、該放射センサーで所定の空間分布の既知の機能円偏光状態で発散する光束を成さしめ、リモート観測方向へ向かう光線成分の偏光機能円を検出して、該放射センサーのリモート観測光軸周りの回転角と観測光軸と成す傾斜角を計測することを特徴とする回転・傾斜計測方法。

[16] 物体の回転・傾斜をリモート計測する回転・傾斜計測方法であって、リモート観測方向に設置固定された偏光検知器と、物体に取り付ける反射センサーと、該反射センサーに円偏光を照射する光源装置から成る回転・傾斜計測装置を使用し、該円偏光の照射角度範囲の設定によって、該反射センサーで所定の範囲の入射角度分布で正反射せしめ、その正反射せしめることで、該正反射光束を偏光反射の既知の入射角依存性に従う所定の空間分布の発散する機能円偏光光束を形成せしめ、その機能円偏光光束を測定して、リモート観測方向へ向かう光線成分の偏光機能円から該反射センサーのリモート観測光軸周りの回転角と観測光軸と成す傾斜角を計測することを特徴とする回転・傾斜計測方法。

#### 【発明の効果】

#### 【0014】

本発明の回転・傾斜計測装置および方法によれば、リモート計測によって、計測距離に無関係に物体の観測光軸周りの回転角と観測光軸からの傾斜が精密計測できる。従って、

10

20

30

40

50

従来は観測できなかった様々な対象の回転・傾斜を精密計測する装置および方法を提供できる。

#### 【0015】

本発明によれば、偏光カメラ等によって記録された、任意物体に任意個数取り付けた反射センサーからの2次元偏光像を解析して、偏光橜円の方位角から回転角を、また、偏光橜円の橜円率角から傾斜角を一括計測できる。計測は、結像光学系を選ぶことで、微小化した反射センサーを用いた数mmのサイズの試料も対象にできる。また、レーザー光源装置を備えた反射センサーで遠方からの望遠観測を可能にして、数十メーター以上の大型建造物や橋梁などの任意部位の回転・傾斜も計測できる。さらに、計測環境にも制限が無いために、水中での計測にも対応できる。

10

#### 【0016】

反射センサー部の工夫の一例では、鏡面2枚を合わせ鏡とした新たな機能性を加えた鏡面センサーが構成できる。この構成では、傾斜角度の計測範囲を大幅に広げられるばかりでなく、往復光路に沿って所定の角度毎に逆向するデジタル基準が利用できる、回転テーブル等の精密アライメント装置と手法を提供できる。回転テーブルのアライメント等への応用では、ポリゴン等による従来技術に較べて観測の死角が無い、連続読み出しのセンサーを構成できる。

本発明のその他の目的、特徴、優秀性及びその有する観点は、以下の記載より当業者にとっては明白であろう。しかしながら、以下の記載及び具体的な例等の記載を含めた本件明細書の記載は本発明の好ましい態様を示すものであり、説明のためにのみ示されているものであることを理解されたい。本明細書に開示した本発明の意図及び範囲内で、種々の変化及び/又は改変（あるいは修飾）をなすことは、以下の記載及び本明細書のその他の部分からの知識により、当業者には容易に明らかであろう。本明細書で引用されている全ての特許文献及び参考文献は、説明の目的で引用されているもので、それらは本明細書の一部としてその内容はここに含めて解釈されるべきものである。

20

#### 【図面の簡単な説明】

#### 【0017】

【図1】傾斜センサー原理実証装置模式図。Dは検出器（ディテクター）、Aは回転検光子（回転式アナライザー）、Pは偏光子（ポラライザー）で、QWPは1/4波長板、BSはビームスプリッター、Sは直角プリズムサンプル（測定対象試料）である。

30

【図2】円偏光入射時の直角プリズム反射光の偏光橜円実測値を示す。余弦信号の振幅比が橜円率角を示し、位相が橜円長軸方位角を示す。

【図3】本発明の回転・傾斜計測装置の構成例の一つを示す。本装置では、照射光束が集光光束で、反射センサーが平面鏡の場合の例である。

【図4】本発明の回転・傾斜計測装置を構成する光源装置の構成例の一つを示す。本光源装置では、光源、照射光学系、円偏光子が、光源-照射光学系-円偏光子の順に配列されて構成されている場合の例である。

【図5】本発明の回転・傾斜計測装置において、照射光束が集光光束で、反射センサーが平面鏡の場合の別の例を示す。

【図6】本発明の回転・傾斜計測装置の構成例の一つを示す。本装置では、照射光束が集光光束で、反射センサーが平面鏡の場合の例である。

40

#### 【図7】本発明の回転・傾斜計測装置の構成例の一つを示す。

【図8】本発明の回転・傾斜計測装置を構成する反射センサーとして、2枚合わせ鏡面で反射センサーを構成している場合の入射光束と反射光束の関係を説明する。

【図9】本発明の回転・傾斜計測装置を構成する反射センサーとして、2枚合わせ鏡面で構成された場合の入射光束と反射光束の関係を説明する（A）。2枚合わせ鏡面で構成される反射センサーの機能を説明する（B）。

【図10】本発明の回転・傾斜計測装置の反射センサーにおける反射回数と位相変化（橜円率変化）との関係を示すグラフである。

#### 【図11】オートコリメーター用複合鏡面センサー構成の一例を示す。A:正面図、B:側

50

面断面図、C：コリメーター視野の観測点の配列の一例。

【発明を実施するための形態】

【0018】

上記したように、発明者は、主入射角法に基づく偏光解析法についての技術〔特許文献2：特公昭52-46825号公報、特許文献3：特公昭60-41732号公報、特許文献4：特公平2-16458号公報、これらの文献あるいは当該文献で引用された文献の中にある記載はそれを参照することにより本明細書の開示に含められる〕と応用を通して、反射の偏光状態の入射角依存性に関する光学特性を熟知している。この知見をもとに、発明者は、偏光を利用した形状・傾斜の精密計測法として、エリプソメーター技術を利用し、試料の光学特性を既知として、試料面法線の幾何学的な方位を未知とする新たな技術を提供している〔特許文献1：特願2008-211895、非特許文献1：「正反射による物体表面の傾斜エリプソメトリー - 精密実時間形状計測への基本概念 - 」、光学、Vol.38、No.4（2009）pp.204-212、特許文献6：国際特許出願PCT/JP2009/003995、これらの文献あるいは当該文献で引用された文献の中にある記載はそれを参照することにより本明細書の開示に含められる〕。

10

【0019】

そして、この形状・傾斜計測法開発研究の過程で、計測精度は、計測対象物体の表面の粗さの増大とともに低下することを明らかにしている。また、反射面として、理想的に平滑な面を用いれば、傾斜角度の計測精度は0.1°を一桁から二桁改善できることも見出している。発明者は、さらに、新たな高密度光記録方式の技術領域において、記録ピットを直角プリズム型の2回反射で構成すれば、円偏光照明の往復光路型で観測光軸周りの回転角を多値化できることを見出している〔特許文献5：特開2009-099192号公報（特願2007-269457）、これらの文献あるいは当該文献で引用された文献の中にある記載はそれを参照することにより本明細書の開示に含められる〕。

20

【0020】

直角プリズムの2回反射で角度分解能を評価した実験例〔非特許文献4：Toshihide Tsuru, Masaki Yamamoto：“Multi-bits coding by multi-directional valley pits permitting stamper mass-production and remote direction readout by polarization reflection”，Optics Express 16, pp.9622-9627（2008）、この文献あるいは当該文献で引用された文献の中にある記載はそれを参照することにより本明細書の開示に含められる〕では、図1に示すような実験装置を開示しているし、円偏光を落射照明で稜辺5mm角の直角プリズムの斜面に垂直入射し、反射偏光の橙円形状を回転検光子法で検知することにより、図2に示すように円偏光入射時の直角プリズム反射光の偏光橙円実測値を得ている。図2に示すように、検光子方位角変化による強度変化はプリズムの向きで系統的に位相が変化し、橙円の方位角としてプリズム回転角を精度±0.14°で読み出せるとの結果を得ている。このプリズム実験の0.14°は、半周180度を1285分割し、2進10桁の1024を超える多値化に相当する。

30

【0021】

本発明は、上記高精度方位角検知特性に基づき、円偏光照明装置の構成と反射鏡面の構成に工夫を重ねることで、従来に無い、回転・傾斜に特化した計測装置および方法を編み出すことに成功して提供される回転・傾斜計測技術（回転・傾斜計測装置および回転・傾斜計測方法を包含する）である。即ち、本発明の構成においては、物体に簡便で小型な反射センサーを取り付け、回転・傾斜を精密にリモート計測する。本発明の回転・傾斜計測技術は、特にリモート回転センサー、リモート傾斜センサー、アライメントスコープなどに好適に応用できる。

40

【0022】

本発明は、物体の回転・傾斜をリモート計測する目的で構成される回転・傾斜計測装置であり、本回転・傾斜計測装置は、リモート観測方向に設置固定された偏光検知器と、物体に取り付ける反射センサーと、該反射センサーに円偏光を照射する光源装置を備えるもので、且つ、該円偏光の照射角度範囲の設定によって、該反射センサーで反射・発散する橙円偏光を成す正反射光束が、該反射センサーで想定される回転・傾斜角変化の範囲内で

50

、リモート観測方向へ向かう光線成分を含む角度範囲を成し、該反射センサーの鏡面で正反射される反射橙円の入射角依存性を利用して、該反射センサーのリモート観測光軸周りの回転角 と観測光軸と成す傾斜角 とを計測することを特徴とする。

本発明の計測感度は、本質的にエリプソメトリー計測の計測感度で決定される。

【0023】

非特許文献5：“Principal Angle-of-Incidence Ellipsometry”，K. Kinoshita and M. Yamamoto, Surf. Sci. 56, 64-75(1976)（この文献あるいは当該文献で引用された文献の中にある記載はそれを参照することにより本明細書の開示に含められる）を参照すれば、計測感度は使用する偏光子の直線偏光に対する並行位（最大）透過強度に対する直交位（最小）透過強度の比で定義される消光率

10

【0024】

【数1】

$$Ex = I_{90} / I_0$$

で表せる（消光率は、この逆数で定義する場合もある）。計測の感度は、偏光子の消光率

【0025】

【数2】

$$Ex$$

の関数として、

20

【0026】

【数3】

$$0.01\sqrt{Ex}$$

に等しい。消光率

【0027】

【数4】

$$Ex$$

は、ポラロイドシート偏光子では $10^{-4}$ から $10^{-5}$ 、グラントムソン偏光子等のプリズム型の偏光子では $10^{-5}$ から $10^{-6}$ が達成できる。したがって、ポラロイドシート偏光子の $10^{-4}$ では、 $0.006^\circ$ 、プリズム偏光子の $10^{-6}$ では、 $0.0006^\circ$ の角度精度が期待できる。なお、本発明に使用する偏光検知器の代表例である偏光画像検知器には、偏光画像検知素子〔非特許文献3：川上彰二郎、「積層型フォトニック結晶の産業的諸応用」、応用物理、77、508-514(2008)、この文献あるいは当該文献で引用された文献の中にある記載はそれを参照することにより本明細書の開示に含められる〕が利用できる。

30

【0028】

本発明の一つの具体的な態様では、〔1〕当該回転・傾斜計測装置は、リモート観測方向に設置固定された偏光検知器と、物体に取り付ける偏光放射センサーから成り、該放射センサーで所定の空間分布の既知の橙円偏光状態で発散する光束を成さしめ、リモート観測方向へ向かう光線成分の偏光橙円を検出して、該放射センサーのリモート観測光軸周りの回転角 と観測光軸と成す傾斜角 を計測することを特徴とする。本発明は、in-lineで既知の偏光橙円分布の発散光を生成できるデバイスを使用して構成することができる。さらに、本発明の別の具体的な態様では、〔2〕当該回転・傾斜計測装置は、物体の回転・傾斜をリモート計測する回転・傾斜計測装置であって、当該回転・傾斜計測装置は、リモート観測方向に設置固定された偏光検知器と、物体に取り付ける反射センサーと、該反射センサーに円偏光を照射する光源装置から成り、該円偏光の照射角度範囲の設定によって、該反射センサーで所定の範囲の入射角度分布で正反射せしめ、その正反射せしめることで、該正反射光束を偏光反射の既知の入射角依存性に従う所定の空間分布の発散する橙円偏光光束を成さしめ、その橙円偏光光束を検出して、リモート観測方向へ向かう光線成

40

50

分の偏光機能から該反射センサーのリモート観測光軸周りの回転角と観測光軸と成す傾斜角を計測することを特徴とする。本構成は、本発明を実施する最良の形態の基本構成を示すものである。図3に、本発明の回転・傾斜計測装置の構成の一つを例示する。本例示の装置では、照射光束が集光光束で、反射センサーが平面鏡の場合の例が示されている。また、本発明の装置は、照射光束が平行で、反射センサーが球面で構成されていることもできる。

#### 【0029】

上記〔2〕の構成では、円偏光照明の照射光束が十分広い角度範囲を成すために反射センサー部に角度調節機構を不要とする場合が含まれる。当該回転・傾斜計測装置において、〔3〕物体に取り付ける反射センサーは、平面または曲面の反射センサーで、該反射センサーが光源装置から照射する光束の中心光軸を成す光線の正反射光線を観測方向に実質的に一致させる角度調節機構を備えるものであってよい。本〔3〕の構成を備えるものは、より高精度で汎用な構成を得るために、反射センサー部に角度調整機構を具備する構成とされたものである。さらに、当該回転・傾斜計測装置において、〔4〕観測方向に設置固定された偏光検知器が、観測光学系を介して偏光画像を検知できる機能を有し、物体の任意箇所に任意の個数取り付けた反射センサーからの正反射光線を一括結像して偏光検出できるものであってよい。本〔4〕の構成は、物体各部に任意個数の反射センサーを装着し、物体の局所変形も明らかにするための偏光画像検出系の構成を規定するものである。

10

#### 【0030】

本発明の一つの具体的な態様では、当該回転・傾斜計測装置において、〔5〕円偏光を照射する光源装置が、光源、照射光学系、円偏光子を、光源-照射光学系-円偏光子の順に備えるものであることを特徴とする。また、〔6〕光源装置が、実質的に偏光能99%以上の円偏光光束群を反射センサーに照射できるものが、好ましくは、使用される。本〔5〕や〔6〕の規定は、特に高精度計測を達成するための円偏光を照射する光源装置の構成と要求される偏光度要件を規定するものである。図4に、本発明の回転・傾斜計測装置を構成する光源装置の構成例の一つを示す。

20

#### 【0031】

本光源装置では、光源、照射光学系、円偏光子が、光源-照射光学系-円偏光子の順に配列されて構成されている場合の例が示されている。図4に例示するように、当該光源装置では、円偏光状態を規定する円偏光子は、偏光状態を乱す原因となる照射光学系の後、反射センサーの直前に配置される必要がある。この要件は、照射の最適な角度範囲を選択する際に重要である。円偏光子の偏光度の入射角依存性については、本発明者による先願した特許出願（特許文献6：国際特許出願PCT/JP2009/003995）の明細書を参照できる（この文献あるいは当該文献で引用された文献の中にある記載はそれを参照することにより本明細書の開示に含められる）。

30

#### 【0032】

光源としては、当該分野で知られたものを利用でき、例えば、点光源単独、点光源とコリメーターとの組合せ、レーザー単独、レーザーとビームエキスパンダーとの組合せ、面光源単独、面光源とファイバー光学系との組合せなどが挙げられる。本発明で説明する回転・傾斜計測の原理は、全ての波長の電磁波で成立する。また、使用する光は、紫外、可視、赤外光からマイクロ波領域などを含めて、白色光であっても良いし、レーザーなどの単色光であってもよい。もちろん、赤外からマイクロ波領域の光でも良い。さらに、反射の表面は鏡面反射が起こる程度に滑らかであると考えるが、反射光が検出器で検出できる程度の反射率があれば良い。

40

#### 【0033】

光源は、当該分野で光源として知られたものの中から適宜適切なものを選択して使用でき、所望の目的を達成できる限り特に制限はないが、例えば、白色光源、コヒレント光を出すレーザー光源、発光ダイオードなどが挙げられる。代表的な光源としては、ハロゲンランプ、キセノンランプ、重水素ランプ、グローバーランプ、ヘリウムネオン(He-Ne)レ

50

ーザー、YAGレーザー、発光ダイオード(LED)、半導体レーザー、高圧水銀ランプ、メタルハライドランプ、高圧ナトリウムランプなどのHIDランプ(hight intensity discharge lamp)などが挙げられる。光源は、408nm紫レーザダイオードなどの短波長レーザ光源と白色光源とを用いた2way光源方式など、入射光線を既知とする、入射面方位角と入射角の基準原点を包含する複数の光源を備えているものであってもよいし、あるいは単独の光源を備えるものであってもよい。

#### 【0034】

照射光学系としては、典型的には、集光照射光学系を構成できる。集光光学系においては、当該分野で知られたものを利用でき、例えば、レンズ、曲面鏡(凹面鏡、凸面鏡を包含する)、ファイバー光学系などを、適宜、使用して構成できる。該光学系では、適宜、光強度スタビライザ、光濃度フィルタなどが備えられていることもできる。当該光学系は、コンピュータと連動する制御系でコントロールされていて、対象である物体に対して実質的に一様に光を入射できるようになっていてもよいし、あるいは、特定の方向から照射できるようになっていてもよい。例えば、レーザ光源であって、入射光線を既知とする、入射面方位角と入射角の基準原点を構成する点光源の場合は、X-Yスキャン光学系としてコンピュータと連動する制御系でコントロールされて、例えば、観察視野内を適當数のピクセルに分割してスキャンを行うことができるものが包含されてよい。

円偏光子としては、当該分野で知られた構成を利用でき、例えば、直線偏光子と1/4波長板との組合せ(直線偏光子フィルムに1/4波長フィルムを貼りあわせたものを包含する)、直線偏光子と主入射角反射素子との組合せなどが挙げられる。当該主入射角反射素子としては、当該分野で知られたものを利用でき、例えば、表面鏡、全反射プリズムなども包含されてよい。

#### 【0035】

本発明の一つの具体的な態様では、当該回転・傾斜計測装置において、〔7〕反射センサーの角度調節機構が、実質的に反射面の中心点を空間的に動かさない回転・傾斜機構から成るものであることを特徴とする。さらに、〔8〕当該反射センサーの角度調節機構が、直交2軸の回転機構を有し、円偏光を照射する光源装置の光軸が、該直交2軸のいずれか一方と一致する構造、または、該直交2軸と直交する構造のものであってよい。本〔7〕や〔8〕は、反射センサーの角度調節機構が満たすべき要件と具体的な構成を規定するものである。そして、反射センサーの使い安さと精度を両立させる最良の形態を図5に例示する。図5は、本発明の回転・傾斜計測装置において、照射光束が集光光束で、反射センサーが平面鏡の場合の一例を示すもので、そこでは、反射センサーを直交軸受けに配置したり、あるいは、球の自由軸受けに配置した例が示されている。

当該回転・傾斜計測装置において、〔9〕反射センサーの反射面が、表面鏡、裏面鏡、全反射プリズム、反射面を塗鏡したプリズム、半球ガラス、反射面を塗鏡した半球ガラスのいずれかで構成されるもので、反射機能の入射角依存性が既知とされているものは、好適に、本発明の回転・傾斜計測装置で使用される。本〔9〕の規定は、反射センサーの反射面が満たすべき特性を規定し、反射面素材の最良の形態を示しているものである。

#### 【0036】

本発明の一つの具体的な態様では、〔10〕当該円偏光を照射する光源装置が実質的に反射センサーと一体の構造を成すものであることを特徴とする。本構成では、光源装置と反射センサーをコンパクトに一体化することで、物体の多点計測を含めた簡便な計測のための最良の形態を示すものである。図6に構成を例示する。本装置では、照射光束が集光光束で、反射センサーが平面鏡の場合の例が示されている。また、当該装置は、照射光束が平行で、反射センサーが球面で構成されていることもできる。

#### 【0037】

本発明の一つの具体的な態様では、当該回転・傾斜計測装置において、〔11〕円偏光を照射する光源装置が実質的に偏光検出器と一体の構造を成すものであることができる。さらに、〔12〕実質的に一体を成す、円偏光を照射する光源装置と偏光検出器が、オートコリメーター光学系を含む構造を成すものであってよい。上記〔11〕や〔12〕で規定する構

成では、光源装置を偏光検出器と一体としてすることで、オートコリメーターを包含するアライメント装置として最良の形態を示すことになる。図7に構成を例示する。

#### 【0038】

本発明の好ましい態様の一つでは、〔13〕該回転・傾斜計測装置が、往復光路型の回転・傾斜計測装置であって、反射センサーが、鏡面2枚を所定の角度で向かい合わせて固定した合わせ鏡構造を成し、入射光線を複数回の反射によって観測方向に所定の角度毎に逆向射出するデジタル基準角度を有するものであることを特徴とする。本〔13〕の規定は、アライメント用の2枚鏡の構成に於ける反射センサーの最良の形態を示すものである。図8に、基本構成を示す。図8では、本発明の回転・傾斜計測装置を構成する反射センサーとして、2枚合わせ鏡面で反射センサーを構成している場合の入射光束と反射光束の関係を説明する。水平回転テーブルの調整を例に取れば、テーブル面はx-z平面にほぼ平行であり、回転軸はy軸にほぼ一致している場合である。テーブルの回転中心付近に開口を合わせて立てる。

10

#### 【0039】

図9は、光線の反射のスキームを示す。反射センサーの回転を平行移動し、合わせ面のy'軸に関して図示する。2枚鏡の合わせ角毎に複数の角度位置で往復光路が完成される。中間の角度では、光線方向は点線で示すように往復光路とならずに所定の方向に跳ねられる。図10は、往復光路を成す各光線ごとに、反射回数が異なることから、p成分とs成分の反射位相変化がステップ状に変化することを示す。このために、光線の偏光の椭円率が異なり、光線を反射回数で区別検知できる。図11は、オートコリメータ用に、副尺機能を持たせて高分解能化した複合鏡面センサー構成と、コリメーター視野の観測点の配列の例を示す。配列点毎に、偏光状態が異なり、点を区別検知できる。

20

また、〔14〕当該回転・傾斜計測装置が、往復光路型の回転・傾斜計測装置であって、反射センサーが、鏡面3枚によるコーナーキューブ構造のものであってよい。これは、アライメント用の3枚鏡の構成に於ける反射センサーの最良の形態を示すものである。

20

#### 【0040】

反射された光線は、偏光検知器で検出される。偏光検知器は、当該分野で知られたものを使用でき、偏光画像検出装置が包含されてよく、例えば、偏光イメージングカメラなどで偏光画像として検出できるが、例えば、検光子を備えた検出光学系に導入され、偏光状態が検出されるものであってもよい。検光子を備えた検出光学系で受けられた反射光は、光源の光学帯域に同調されているモノクロメーターを包含していてよい分光器を通した後に、光検出器に供給され、受光素子で検出されるものであってもよい。分光器は、受容した光のスペクトル分析を可能とする。すなわち、検出波長を変化させながら、受容光の検出を行うことができる。また、光を所定の機器に導くには光ファイバーを利用することができます。光ファイバーを利用することで、装置の可動部品及び/又は可動装置を、互いに独立且つ自由に動くように構成することが可能となる利点を得られる。検出は回転偏光子法に属する検出技術、回転位相子法に属する検出技術などを用いて行うことができるし、あるいは、ファラデー効果、カーラー効果、ポッケルス効果などの各種の偏光変調効果を利用した偏光変調素子を用いて偏光状態を変調し、ロックイン検波方式で位相角を決定検知する構成を採用することもできる。反射光を空間的に複数に分割し、特定の偏光状態を検出できる偏光子を複数割り当てて偏光状態を検知する方式を使用することも可能である。

30

当該光を受光素子などを備える光センサで電気信号に変換することができる。光センサとしては、例えば、フォトダイオード、ダイオードアレイ、電荷結合素子(charge coupled device, CCD)型撮像素子(image sensor)、CMOS型撮像素子なども包含されてよく、さらに、光電子増倍管(photomultiplier, PMT)などと組み合わされていてよい。

40

#### 【0041】

上記光源装置における照射光学系及び偏光検知器における検出光学系には、適宜、波長板、補償子(コンペンセーター)、光弾性変調器などの変調器(モジュレーター)、光線を導くためのミラー、スリット、フィルターさらにはレンズ(例えば、集光レンズなど)、透明版、ポリクロメーターなどを備えることもできる。検光子は、偏光子を使用して構

50

成できる。当該照射光学系にモノクロメーターを配置することもできる。照射光光学系の偏光子及び／又は検出光学系の検光子は、駆動部により可動とされていてよい。検光子は下記コンピュータシステムの制御下にある駆動装置により、制御下に回転されて偏光状態を解析可能なようにしてあるものでもよい。前記波長板も、駆動部により可動とされていてよい。さらに、観測対象物体の載置台に回転機構を含めている駆動部を設けてあることもできるし、照射光学系全体及び／又は検出光学系全体を駆動部により可動とされていることもできる。駆動の制御動作をMEMS技術を応用して実現することもできる。また、ピエゾ素子による駆動やマイクロモーターによる回転を組み合わせてもよい。

#### 【0042】

画像の信号がアナログの場合には、適宜、必要に応じて、変換器により、デジタルに変換することもできる。信号はコンピュータシステムに送られて、演算手段に付されて当該回転角と当該傾斜角を算出して、試料である物質表面であって且つ入射光を反射している観察対象物体の回転・傾斜状態を決定し、物体の回転・傾斜をリモート計測することを実現する。得られたデータは、コンピュータシステムを構成している表示装置及び／又は出力装置を使用して可視化及び／又は認識可能にされる。当該コンピュータシステムは、データ記憶装置及び演算装置を備えており、例えば、ハードディスク、CPUを有しており、さらに、CD、MO、DVDなどの書き込み及び／又は読み取り装置を有するものであってよい。

#### 【0043】

観察対象物体の載置台の駆動部は、当該コンピュータシステムのステージコントローラーのエレクトロニック制御の下にx-y-z軸に互いに独立且つ自由に動くことが可能とされていてよい。オートステージを好適に使用することもできる。回転偏光子を使用している場合には、偏光子の連続した回転の設定を当該コンピュータシステムのエレクトロニック制御の下に行うことができるようになっており、一方、回転検光子を使用している場合には、検光子の回転の設定を当該コンピュータシステムのエレクトロニック制御の下に行うことができるようになっていてよい。波長板を備えており、それを動かす場合も、当該コンピュータシステムのエレクトロニック制御の下に行うことができるようになっていてよく、それが好ましい場合もある。上記駆動部は、ステッピングモーターがエレクトロニック制御されており、それにより動くもので、その位置情報などと共に動作のデータが、当該コンピュータシステムに収集されるようになっていてよい。

#### 【0044】

同様に、コンピュータシステムの制御装置は、モノクロメーターに作用し、その同調波長を定めたり、光源に作用して光束などを制御するものであってよいし、それぞれの位置情報、波長、橙円偏光の形状の情報を含めた偏光の状態の情報、測定位置の情報などの収集データの記録を制御し、適宜、コンピュータシステムの演算装置(例えば、CPU)に供給するものも包含されてよい。

本コンピュータシステムは、所定のデータ処理プログラムを備えて、任意の適切なプログラムに従って収集データを使用し、計測された画像を、再構成する。当該処理プログラムとしては、偏光状態の入射光の下での測定データと偏光状態ではない入射光の下での測定データとを比較して校正する機能を有するもの、データを特徴付けるに十分なデータが蓄積されるまでデータ収集を行う機能、集積データから三次元形状を含めた形状を構築する機能、表示装置及び／又は出力装置に表示及び／又は出力する機能、光学理論に基づいた光学モデルで解析する機能などを果たすものが挙げられる。本発明の技術に基づいて解析する場合に、光学モデルにより得られたデータと実測データとを比較し、回帰解析アルゴリズムで解析するなどを包含するものであってよい。

#### 【0045】

本発明の装置における偏光検出、例えば、偏光画像検出には、偏光画像検出装置を使用でき、好適には、2D偏光検出器を備えた偏光イメージングカメラ〔株式会社フォトニックラティス(宮城県仙台市青葉区)〕を使用できる。このように偏光画像検出は、フォトニック結晶素子を使用したものを好適に使用でき、それと電荷結合素子(charge coupled device, CCD)とを使用したものであってよい。当該カメラでは画像信号をUSBケーブルを

10

20

30

40

50

介してパソコン（コンピューター）に送り、適切なソフトウェアで処理されることができる。フォトニック結晶素子としては、例えば、偏光子アレイ（パターン化偏光子）、<sup>14</sup> 波長板アレイ（パターン化波長板）などが挙げられる。偏光イメージングカメラは、コリメーター、プリズム、波長板アレイ、偏光子アレイ、CCDからなる群から選択されたものを使用して構成されたものであってよい。好ましくは、空間並列的に画像情報を取り込むことのできるものが挙げられる。代表的な態様のものでは、ピクセルごとの画像を処理して、画像データを機械認識することのできるものが挙げられる。

#### 【0046】

当該偏光子アレイとしては、例えば、画素と同サイズの偏光子が約100万個あるいは所定の数敷き詰められているチップであってよい。例えば、該偏光子アレイは、透過軸方位の少しずつ異なるほぼ正方形の偏光子が敷き詰められ、その偏光子アレイの近接する4画素の輝度を演算することにより、偏光の主軸方向、平均輝度、偏光成分の強さを瞬時に得ることができるもののが挙げられる。また、偏光子アレイは、透過軸方位の少しずつ異なる縦長の偏光子が横に並ぶ構成としてあり、波長板アレイは、逆に、横長の波長板が縦に並ぶ構成としてあるものであってよい。<sup>10</sup>

#### 【0047】

フォトニック結晶とは、屈折率の異なる材料が周期的に並んだ構造体であって且つ二次元あるいは三次元といった多次元の周期構造体であるものである。構造の周期は、通常、使用する光の波長の半分程度に設計され、例えば、可視光領域で利用される場合、そのフォトニック結晶は、周期が300nm程度となるように設計・作製される。フォトニック結晶の周期構造は、「結晶」と呼ばれるが、そのフォトニック結晶のその周期的な構造は数10nm程度のものとされており、光が透過する波長帯域の「フォトニックバンド」と、光の透過を遮断する波長帯域の「フォトニックバンドギャップ」とが配列及び／又は積層された構造、すなわち、高屈折率・低屈折率の二種の誘電体を一定の凹凸を保持したまま自己成形的に多層積層された多次元構造とされている。典型的なフォトニック結晶は、パターン化された凹凸基板の上にスパッタ積層とバイアスエッチングを組み合わせて定常的な三次元凹凸パターンなどの多次元積層・パターンを形成する技術で、例えば、自己クローニング法で製造されるものなどが挙げられる。その製膜材料としては、様々なものが使用でき、例えば、Si, SiO<sub>2</sub>, TiO<sub>2</sub>, Ta<sub>2</sub>O<sub>5</sub>, Nb<sub>2</sub>O<sub>5</sub>, 希土類酸化物などが知られている。フォトニック結晶素子は、光の透過／反射／屈折特性を制御する機能を有している。<sup>20</sup>

当該カメラの2D偏光検出器からはデータ処理ユニットを経由して、2次元分布データが出力され、その後のデータ処理系と、表示装置、データ蓄積装置等が配設され、必要な処理が可能となっていてよい。<sup>30</sup>

#### 【0048】

本発明の含まれる技術領域である偏光による物体面の傾斜計測の原理は、発明者が新たに考案して“3D傾斜エリプソメトリー”として提案する精密光計測技術に属する。技術要件は、発明者による先願である特許出願：特願2008-211895〔特許文献1〕の明細書および非特許文献1：「正反射による物体表面の傾斜エリプソメトリー - 精密実時間形状計測への基本概念 - 」、光学、Vol.38、No.4 (2009) pp.204-212、非特許文献2：「偏光測定と偏光解析法」、光工学ハンドブック、朝倉書店1986、pp. 411-427の記載を参照でき、これらの文献あるいは当該文献で引用された文献の中にある記載はそれを参照することにより本明細書の開示に含められる。<sup>40</sup>

#### 【産業上の利用可能性】

#### 【0049】

本発明が利用する反射の偏光変化は、本質的に『振動面分割のコンパス干渉』で発生する。ただ一度の反射での変化は十分大きく、媒質伝播中の変化が無視できて、計測環境に制限が無いし、任意の結像光学系が利用できる。波長は制限されず、白色円偏光も使用できる。これらの計測法としての汎用性に加えて、本質的に、従来に無い“傾斜直読法”である。傾斜の時間・空間変化が精密にリモート観測できる。

#### 【0050】

10

20

30

40

50

反射センサーサイズは、RIGA技術等で数十 $\mu\text{m}$ に微小化できるので、計測対象のサイズは光学系の工夫で1mm程度から100m以上にわたる。また、計測環境は、気中や液中の固体に加えて、固相・液相・気相の成す全ての界面が対象である。界面の場合、反射センサーは密度差のある界面に安定するシート状のメンブレン素材に固定する。空気中の固体の計測領域では、干渉計測法が適用し難い軟質ゴムやプラスチックの計測などにも利用できる。

#### 【0051】

望遠鏡領域では、従来は三角測量が用いられる大型建造物の計測での新しい応用がある。必要な箇所に円偏光照明と反射センサーを取り付けて、複数箇所を同時にリアルタイム計測する応用である。ビルや橋梁などの建造物全体のねじれ変形などの動特性を計測し、耐震を含めた力学特性を“実測”できると期待される。また、望遠鏡を介したリモート計測応用では、接近することが困難な高温、高圧、高磁場、あるいは極低温、真空下などの極端環境計測を学術研究から産業現場まで利用し得る。10

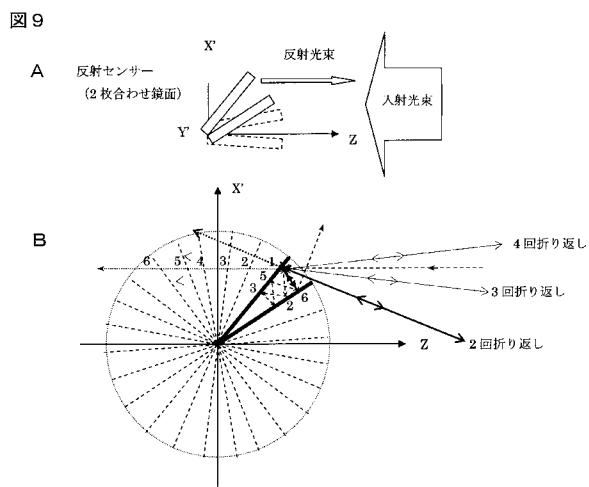
#### 【0052】

本発明の技術は、特に回転・傾斜センサー、リモート回転センサー、リモート傾斜センサー、アライメントスコープなどに好適な回転・傾斜計測技術（回転・傾斜計測装置および回転・傾斜計測方法を含む）として利用できる。

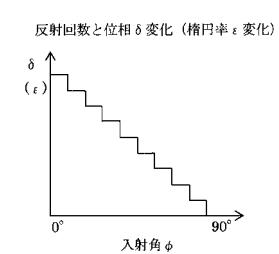
上記では、具体的な態様あるいは具体例を掲げ、本発明を具体的に説明せしめているが、この具体的な態様あるいは具体例は単に本発明の説明のため、その態様の参考のために提供されているものである。これらの例示は本発明の特定の態様を説明するためのものであるが、本願で開示する発明の範囲を限定したり、あるいは制限することを表すものではない。本発明では、本明細書の思想に基づく様々な実施形態が可能であることは理解されるべきである。全ての具体的な態様あるいは具体例は、他に詳細に記載するもの以外は、標準的な技術を用いて実施したもの、又は実施することのできるものであり、これは当業者にとり周知で慣用的なものである。20

本発明は、前述の説明及び具体的な態様あるいは具体例に特に記載した以外も、実行できることは明らかである。上述の教示に鑑みて、本発明の多くの改変及び変形が可能であり、従ってそれらも本件添付の請求の範囲の範囲内のものである。

【図9】

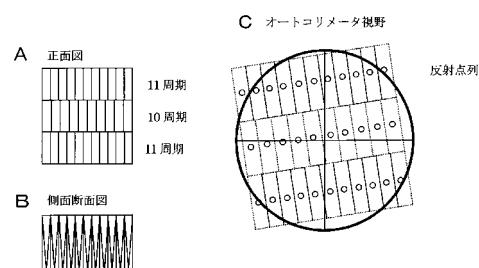


【図10】



【図11】

図11



【図 1】

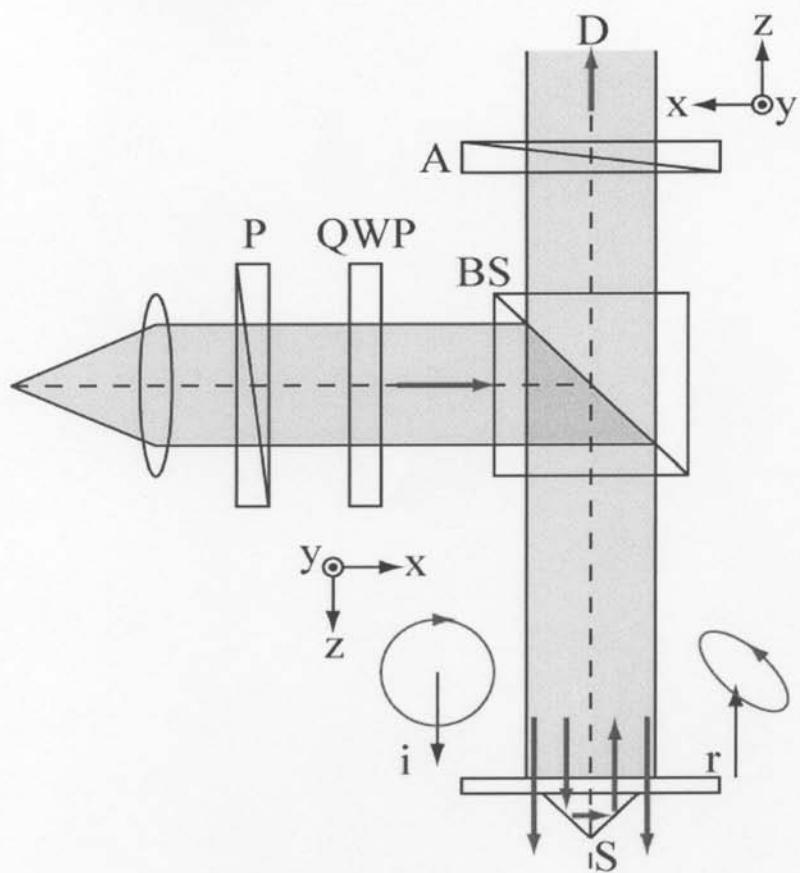


図 1

【図2】

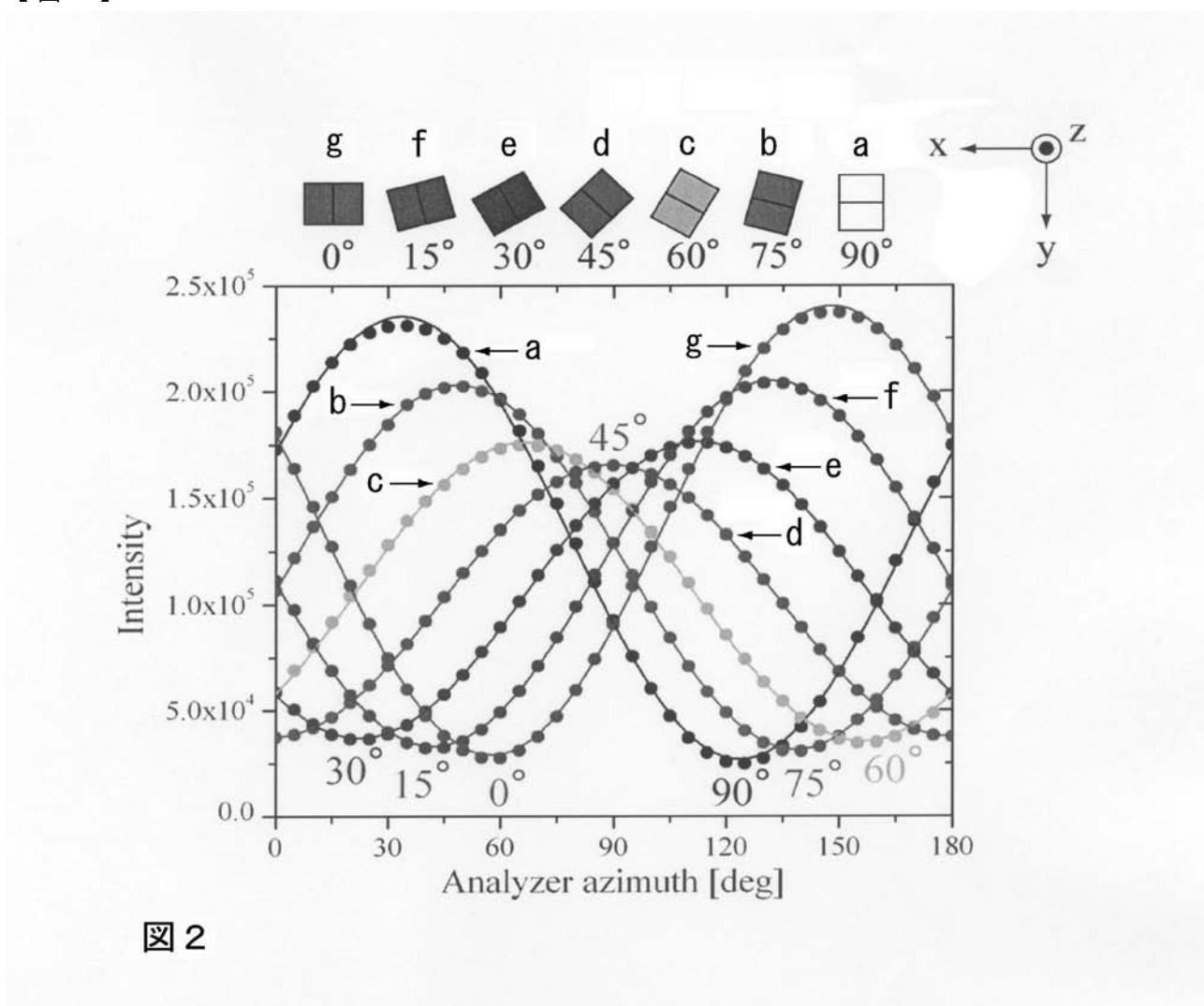
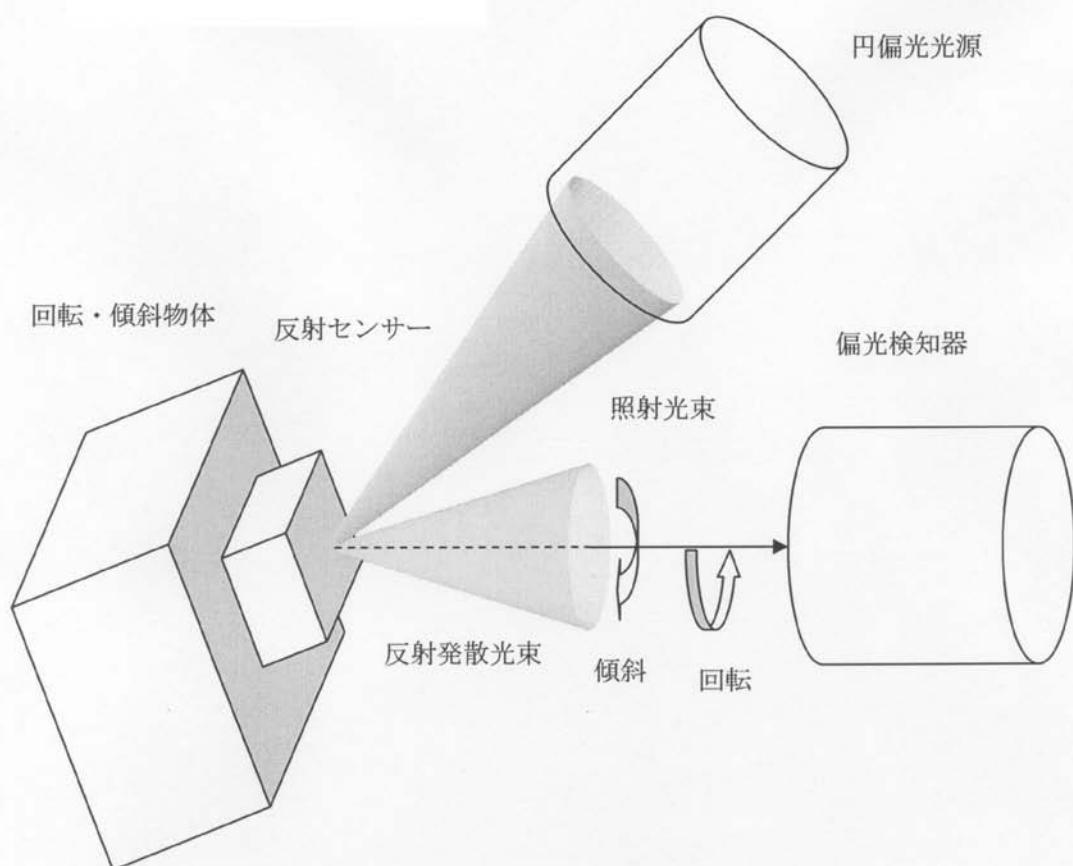


図2

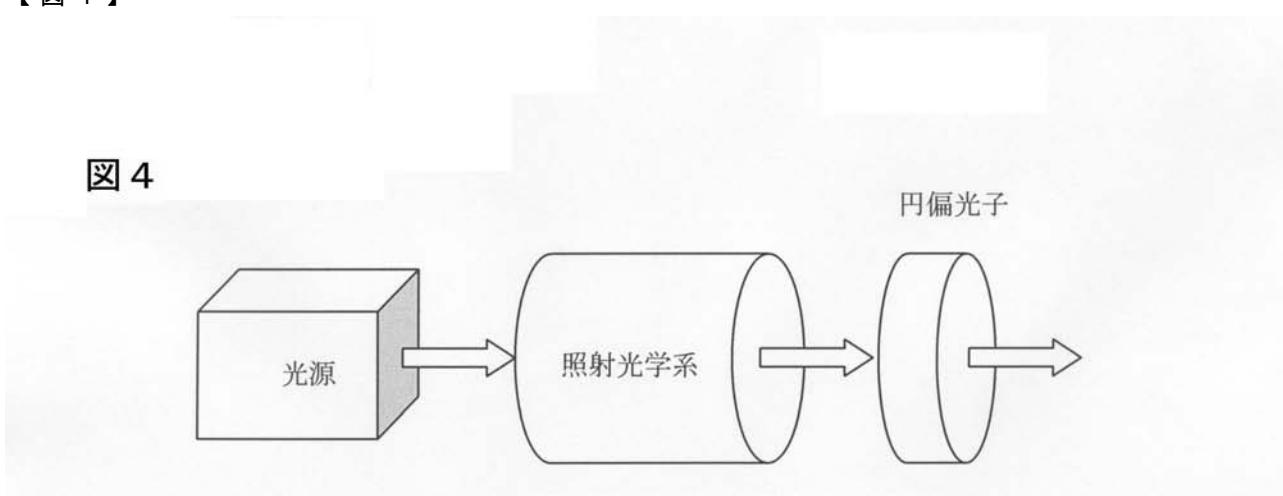
【図3】

図3



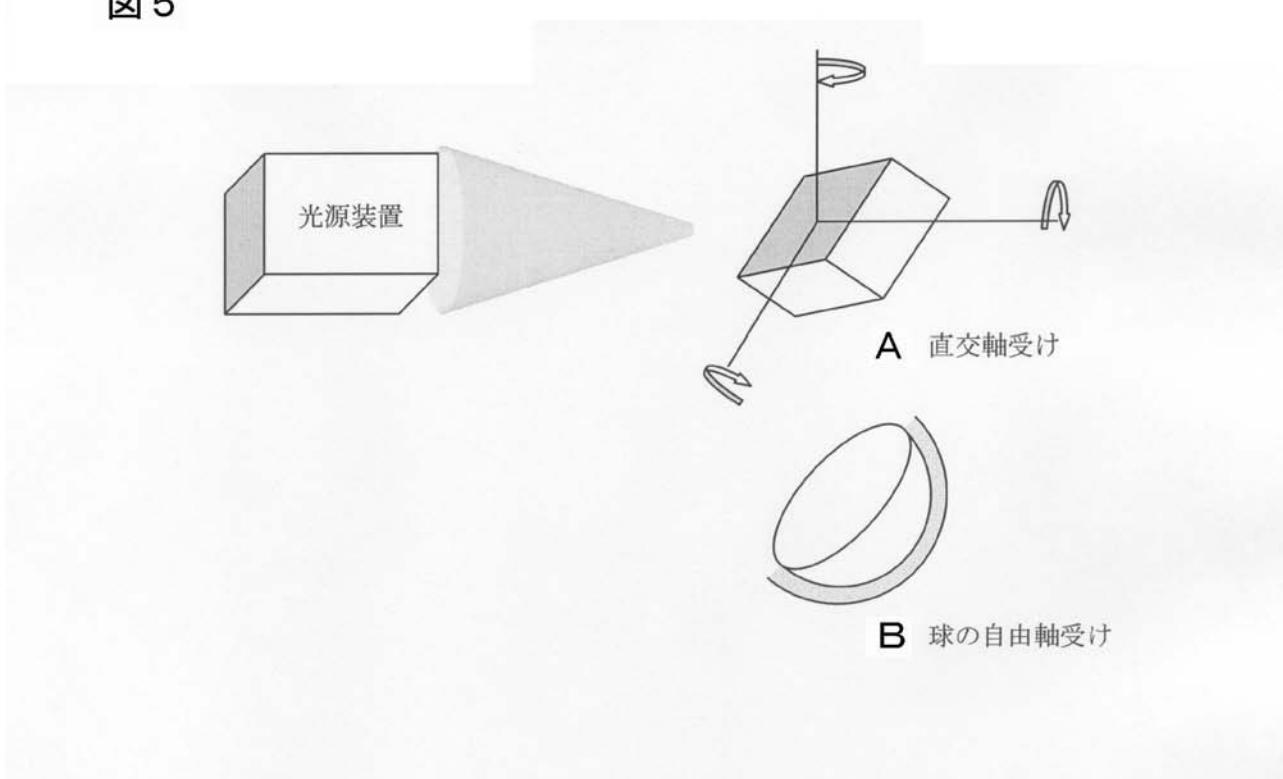
【図4】

図4



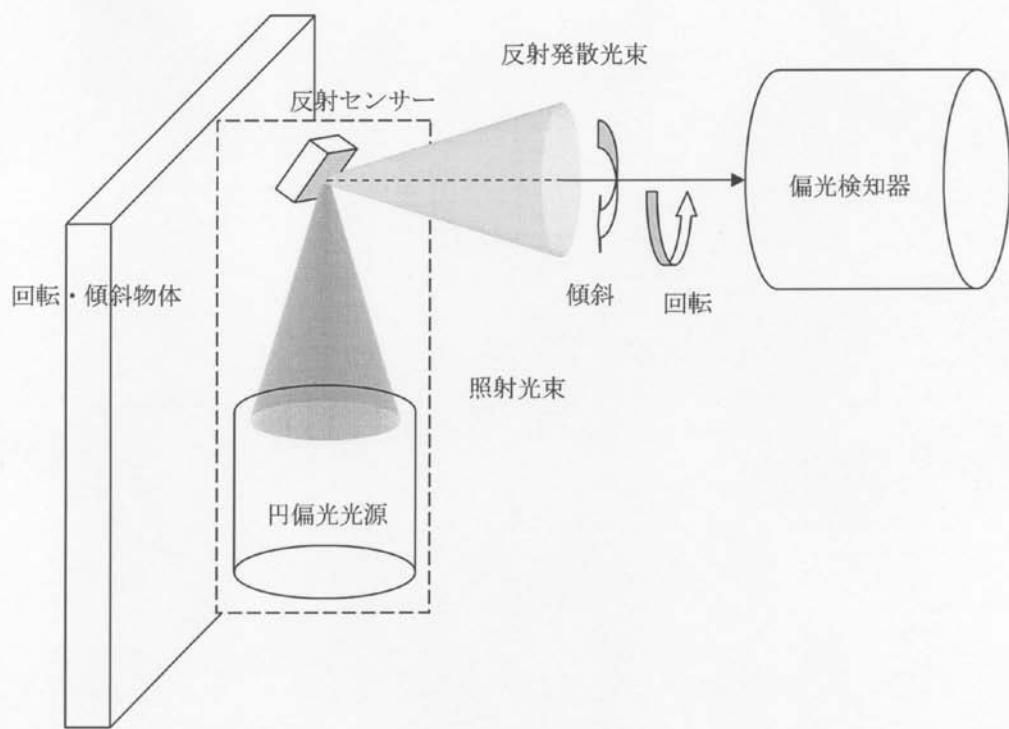
【図5】

図5



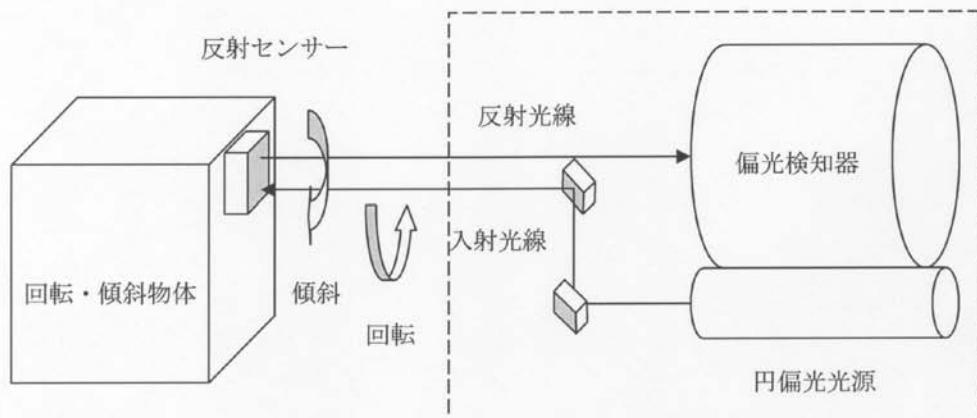
【図 6】

図 6



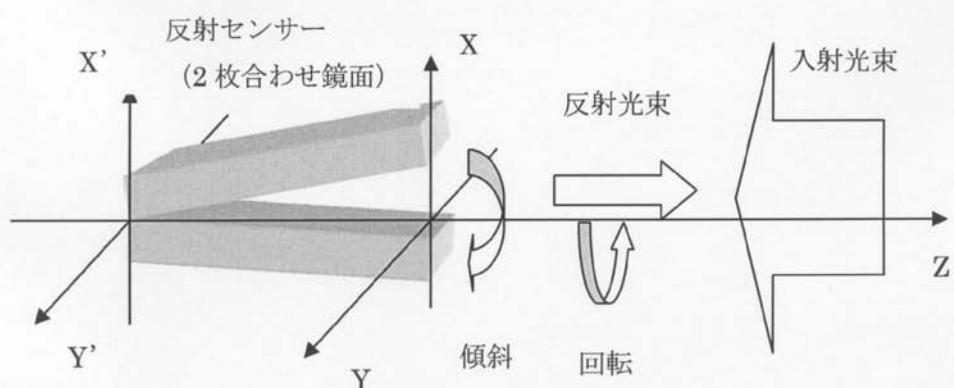
【図7】

図7



【図8】

図8



---

フロントページの続き

(74)代理人 100148161

弁理士 秋庭 英樹

(72)発明者 山本 正樹

宮城県仙台市青葉区片平二丁目1番1号 国立大学法人東北大学内

F ターム(参考) 2F065 AA37 AA39 CC21 DD03 FF23 FF49 GG02 GG03 GG05 GG06

GG07 GG15 GG22 GG24 HH08 JJ18 JJ25 JJ26 LL02 LL12

LL19 LL21 LL25 LL28 LL33 LL34 LL36 LL46 LL68