

(19) 日本国特許庁(JP)

(12) 特許公報(B2)

(11) 特許番号

特許第5629455号
(P5629455)

(45) 発行日 平成26年11月19日(2014.11.19)

(24) 登録日 平成26年10月10日(2014.10.10)

(51) Int.Cl.

F 1

G O 1 B 9/02 (2006.01)
G O 1 B 11/00 (2006.01)G O 1 B 9/02
G O 1 B 11/00

G

請求項の数 10 (全 10 頁)

(21) 出願番号	特願2009-283432 (P2009-283432)
(22) 出願日	平成21年12月14日 (2009.12.14)
(65) 公開番号	特開2011-123037 (P2011-123037A)
(43) 公開日	平成23年6月23日 (2011.6.23)
審査請求日	平成24年12月13日 (2012.12.13)

(73) 特許権者	000001007 キヤノン株式会社 東京都大田区下丸子3丁目30番2号
(74) 代理人	100076428 弁理士 大塚 康徳
(74) 代理人	100112508 弁理士 高柳 司郎
(74) 代理人	100115071 弁理士 大塚 康弘
(74) 代理人	100116894 弁理士 木村 秀二
(74) 代理人	100130409 弁理士 下山 治
(74) 代理人	100134175 弁理士 永川 行光

最終頁に続く

(54) 【発明の名称】干渉計

(57) 【特許請求の範囲】

【請求項 1】

干渉計であって、
光源と、

前記光源から射出された光のうち第1偏光成分を参照光として反射し、第2偏光成分を測定光として透過する第1偏光ビームスプリッタと、

複屈折材料の素子と、

前記第1偏光ビームスプリッタを透過し被検面である反射面で反射され前記第1偏光ビームスプリッタを透過した測定光と前記第1偏光ビームスプリッタで反射された参照光との干渉光を受光する受光素子と、

を備え、

前記参照光と前記測定光とは、前記素子を介して前記第1偏光ビームスプリッタから前記受光素子に至り、

前記測定光および前記参照光は、それらが可干渉となる光路長をそれぞれ有し、かつ前記測定光および前記参照光の少なくとも一方の迷光は、前記測定光および前記参照光とは可干渉とならない光路長を有するように、前記素子の厚さと前記反射面の位置とが定められている、ことを特徴とする干渉計。

【請求項 2】

干渉計であって、
光源と、

10

20

前記光源から射出された光のうち第1偏光成分を参照光として反射し、第2偏光成分を測定光として透過する第1偏光ビームスプリッタと、

複屈折材料の素子と、

ファイバと、

前記第1偏光ビームスプリッタを透過し被検面である反射面で反射され前記第1偏光ビームスプリッタを透過した測定光と前記第1偏光ビームスプリッタで反射された参照光との干渉光を受光する受光素子と、

を備え、

前記参照光と前記測定光とは、前記素子および前記ファイバを介して前記第1偏光ビームスプリッタから前記受光素子に至る、ことを特徴とする干渉計。 10

【請求項3】

干渉計であって、

光源と、

前記光源から射出された光のうち第1偏光成分を参照光として反射し、第2偏光成分を測定光として透過する第1偏光ビームスプリッタと、

複屈折材料の素子と、

前記第1偏光ビームスプリッタを透過し被検面である反射面で反射され前記第1偏光ビームスプリッタを透過した測定光と前記第1偏光ビームスプリッタで反射された参照光との干渉光を受光する受光素子と、

を備え、 20

前記参照光と前記測定光とは、前記素子を介して前記第1偏光ビームスプリッタから前記受光素子に至り、

前記第1偏光ビームスプリッタは、前記素子の端面に形成されている、ことを特徴とする干渉計。

【請求項4】

前記反射面で反射され前記第1偏光ビームスプリッタを透過した前記測定光と前記第1偏光ビームスプリッタで反射された前記参照光とを前記第1偏光ビームスプリッタに向けて反射する第1ミラー面をさらに備え、

前記測定光は、前記第1偏光ビームスプリッタから前記反射面、前記第1偏光ビームスプリッタ、前記第1ミラー面、前記第1偏光ビームスプリッタ、前記反射面、前記第1偏光ビームスプリッタ及び前記素子を順次経由して前記受光素子に至り、 30

前記参照光は、前記第1偏光ビームスプリッタから前記第1ミラー面、前記第1偏光ビームスプリッタ及び前記素子を順次経由して前記受光素子に至る、ことを特徴とする請求項1乃至請求項3のいずれか1項に記載の干渉計。

【請求項5】

干渉計であって、

光源と、

前記光源から射出された光のうち第1偏光成分を参照光として反射し、第2偏光成分を測定光として透過する第1偏光ビームスプリッタと、

前記第1偏光ビームスプリッタを透過し被検面である反射面で反射され前記第1偏光ビームスプリッタを透過した測定光を前記第1偏光ビームスプリッタに向けて反射し、かつ前記第1偏光ビームスプリッタで反射された参照光を透過する第2偏光ビームスプリッタと、 40

前記第2偏光ビームスプリッタを透過した参照光を前記第2偏光ビームスプリッタに向けて反射する第2ミラー面と、

前記測定光と前記参照光との干渉光を受光する受光素子と、
を備え、

前記測定光は、前記第1偏光ビームスプリッタから前記反射面、前記第1偏光ビームスプリッタ、前記第2偏光ビームスプリッタ、前記第1偏光ビームスプリッタ、前記反射面及び前記第1偏光ビームスプリッタを順次経由して前記受光素子に至り、 50

前記参照光は、前記第1偏光ビームスプリッタから前記第2偏光ビームスプリッタ、前記第2ミラー面、前記第2偏光ビームスプリッタ及び前記第1偏光ビームスプリッタを順次経由して前記受光素子に至る、ことを特徴とする干渉計。

【請求項6】

前記第2ミラー面は、球面ミラーの面である、ことを特徴とする請求項5に記載の干渉計。

【請求項7】

前記第2ミラー面は、フレネルミラーの面である、ことを特徴とする請求項5に記載の干渉計。

【請求項8】

前記フレネルミラーと前記第2偏光ビームスプリッタとが単一の基板に形成されている、ことを特徴とする請求項7に記載の干渉計。

10

【請求項9】

前記第1偏光ビームスプリッタは、前記反射面が位置するべき面に対して傾斜するよう配置されている、ことを特徴とする請求項1乃至請求項8のいずれか1項に記載の干渉計。

【請求項10】

前記光源は、スーパールミネセントダイオードである、ことを特徴とする請求項1乃至請求項9のいずれか1項に記載の干渉計。

【発明の詳細な説明】

20

【技術分野】

【0001】

本発明は、物体の移動によって生ずる光の位相情報を参照光、測定光を合波させる事で光の変調として検出し、受光素子で電気信号に変換することで変位情報を電気信号に変換する干渉計に関する。

【背景技術】

【0002】

従来より、ステージ等の物体の変位を測定する装置として、高精度、高分解能な特徴を持つレーザー干渉計が使用されてきた。図7に従来の干渉計の構成図を示す。光源1より射出された波長(633nm)を持つレーザー光11は、偏光ビームスプリッタ(Polarization Beam Splitter:PBS)2に入射し、PBS面2Pで参照光12aと測定光12bとに分割される。参照光12aは参照ミラー4aで反射され再び元の光路を通って再びPBS2に入射する。この時1/4板3aを2回透過する事で、P波がS波に変換される為今度はPBS面2Pで透過し光束13aとなり反射素子5に入射する。一方測定光12bは反射面4bで反射されもとの光路を戻りPBS2に再び入射する。この时光束12bは1/4板3bを2回透過する事でS波がP波に変換され今度はPBS面2Pで反射され光束13bとなり、参照光13aと同じく反射素子5に入射する。この後参照光は再びPBS2を透過し光束14aとなり、測定光は再びPBS2を反射し光束14bとなる。光束14a、14bは1/4板を2回透過してPBS2に再び入射し、合波され光束15となり、反射面4bの移動によって1/4周期の干渉信号が得られる。

30

【先行技術文献】

【特許文献】

【0003】

【特許文献1】特開平05-071913号公報

【発明の概要】

【発明が解決しようとする課題】

【0004】

図7に示される従来の干渉計においては、光路中に多数の反射面が存在する。例えば1/4板3bの反射面21bで反射した成分は、通常の測定光と同様の光路をたどり最終的には光束15と重なり、やはり反射面4bの移動によって変調される。しかし、1/4

40

50

板3 b の反射面21 b で反射した成分は、反射面4 b に1回のみの反射で到達している為、変調量も通常の反射成分の半分しか得られず $1/2$ 周期の干渉信号となる。例えば反射面21 b の反射防止コート(Antireflection coat: A Rコート)の反射率が0.2%あったとすると、反射面21 b で反射したゴースト光(迷光)から生じる干渉信号は、波動光学的にはメインの信号の干渉強度と比較し、約9%もの干渉強度となる。仮に0.01%の超低反射率のA Rコートを施したとしても、2.5%の干渉強度を発生する。受光素子16 から出力された、電気信号はすべてのゴースト光起因の正弦波信号も重畠される為図8のような波形となる。通常は、得られた変位に応じて変調された正弦波周期信号を電気分割しサブナノメーターの分解能を得る事が出来る。しかし、ゴースト光に起因した成分が重畠された信号となると、図9のようなリニアリティの劣化が発生し、誤差量は数~数十nmまで達するため、超高精度用途では大きな問題となつた。

【0005】

本発明は、ゴースト光に起因した干渉計の測定精度の低下を抑制することを目的とする。

【課題を解決するための手段】

【0006】

本発明の一側面は、干渉計であつて、光源と、前記光源から射出された光のうち第1偏光成分を参照光として反射し、第2偏光成分を測定光として透過する第1偏光ビームスプリッタと、複屈折材料の素子と、前記第1偏光ビームスプリッタを透過し被検面である反射面で反射され前記第1偏光ビームスプリッタを透過した測定光と前記第1偏光ビームスプリッタで反射された参照光との干渉光を受光する受光素子と、を備え、前記参照光と前記測定光とは、前記素子を介して前記第1偏光ビームスプリッタから前記受光素子に至り、前記測定光および前記参照光は、それらが可干渉となる光路長をそれぞれ有し、かつ前記測定光および前記参照光の少なくとも一方の迷光は、前記測定光および前記参照光とは可干渉とならない光路長を有するように、前記素子の厚さと前記反射面の位置とが定められている、ことを特徴とする。

【発明の効果】

【0007】

本発明によれば、ゴースト光に起因した干渉計の測定精度の低下を抑制することができる。

【図面の簡単な説明】

【0008】

【図1】実施例1の光検出部の要部拡大部

【図2】実施例1の干渉計の全体構成図

【図3】実施例2の光検出部の要部拡大図

【図4】実施例3の光検出部の要部拡大図

【図5】実施例4の光検出部の要部拡大図

【図6】実施例5の光検出部の要部拡大図

【図7】従来の干渉計の概略図

【図8】従来の干渉計の信号出力の概念図

【図9】ゴースト光に起因する測定誤差が載った場合の内挿誤差を説明する図

【発明を実施するための形態】

【0009】

以下、図面を用いて本発明の実施例を説明する。

【0010】

[実施例1]

図1、図2に実施例1の干渉計の構成図を示す。光源1より射出された波長(633 nm)を持つレーザー光はシングルモードファイバー6aに導光され、分波器9、シングルモードファイバー6bを経て、光検出部10へ導かれる。ファイバー6bから射出された直線偏光のレーザー光は、屈折率分布型レンズ(Gradient Index Lens: Grinレン

10

20

30

40

50

ズ) 7 でコリメートされ、複屈折材料の素子であるルチル板 8 に導入される。厚さが T のルチル板 8 の端面には第 1 偏光ビームスプリッタとしての P B S 膜 2 P が蒸着されている。すなわち、ルチル板 8 は、ファイバー 6 b の端部と P B S 膜 2 Pとの間に配置される。P B S 膜 2 P は、光源 1 から射出された光のうち、P 波(第 1 偏光成分)を参照光として透過し、S 波(第 2 偏光成分)を測定光として透過する。P B S 膜 2 P は、微小構造で構成された P B S 膜を用いることが好適である。測定光である S 波は、P B S 膜 2 P を透過し被検面である反射面 4 b で反射されて再び同一光路を通り、ルチル板 8 及び G r i n レンズ 7 を通過し集光されて再びファイバー 6 b に導入される。一方参照光である P 波は、ルチル板 8 及び G r i n レンズ 7 を通り、集光されて再びファイバー 6 b に導入される。測定光である S 波と参照光である P 波とは、ファイバー 6 b を再び透過して分波器 9 に導入され、今度はファイバー 6 c へと導かれる。ファイバー 6 c の端面から発散された光束はレンズ 3 1 で平行光とされ、1 / 4 板 3 を透過し、偏光板 3 B を通る。受光素子 1 6 は、測定光と参照光との干渉光を受光する。反射面 4 b が光軸方向に移動すると、測定光 S 波の位相のみ変化する為、1 / 4 板 3 を透過した光束は、回転する直線偏光となる。光束は、さらに偏光板 3 B を通ると光の明暗信号となり、 $1 / 2 = 316.5 \text{ nm}$ で 1 周期変化するサイン信号となる。10

【 0 0 1 1 】

図 2 に示す光学系は以上説明したようにフィゾー型の干渉計を構成しているため、光検出部 1 0 が小型に構成されている。フィゾー光学系は通常参照光と測定光の光路長は異なっているため、光源は縦シングルモードでコヒーレンシーの高い光源に限られる。しかし、実施例 1 の干渉計は、ルチル板 8 使用することで以下の特徴を有する。ルチル板 8 の異常光線軸を上記 P 波の偏光軸に一致させると、P 波のルチル透過光路長は S 波のルチル透過光路長より $T \times 0.3$ だけ長い。つまり幾何学的には P 波と S 波は透過して反射面 4 b に照射された S 波の方が P B S 膜 2 P の端面と反射面 4 b との間の距離 W D だけ光路長が長く見える。しかし、実際には W D が $T \times 0.3$ である場合に、P 波と S 波との波動光学的光路長が一致する。すなわち、P B S 膜 2 P の前段に設けたルチル板 8 の作用で、フィゾー干渉計でありながら、測定光と参照光の光路長を合わせることが可能である。よって、低コヒーレンシー光源を使用しても P B S 膜 2 P から離れた位置で信号を出力する事が可能となるため光源の選択の幅が広い。例えば、光源にスーパールミネッセントダイオード(S L D)光源や白色干渉光を使用すれば、微少範囲のピーク検出などにも利用でき利用価値が高い。また、低コヒーレンシー光源を用いると、反射面 4 b 又は P B S 膜 2 P で規定回数反射しなかった P 波、S 波のゴースト光で、正規回数反射した P 波、S 波と光路長が異なっている。その為、ゴースト光(迷光)は干渉信号を生じないので、ゴースト光に起因した測定精度の低減を大幅に防止することが可能となる。本実施例では複屈折材料の素子をルチル板で構成した。しかし、ルチル板と同様に複屈折効果をもつ材料、例えば方解石や、イットリウム・バナデート等で複屈折材料の素子を構成しても同様の効果が得られる。20

【 0 0 1 2 】

[実施例 2]

図 3 に実施例 2 の干渉計の構成図を示す。実施例 2 では、実施例 1 と比べ、光検出部 1 0 の構成が異なっており、具体的には光検出部 1 0 に対して光束を射出するファイバー 6 b が G r i n レンズ 7 の中心からオフセットした位置に設置されている。また、ファイバー 6 b が光束を射出する箇所と G r i n レンズ 7 上の反対位置にはミラー面 5 P が設置してある。ミラー面 5 P は、反射面 4 b で反射され P B S 膜 2 P を透過した測定光と P B S 膜 2 P で反射された参照光とを P B S 膜 2 P に向けて反射する第 1 ミラー面を構成している。30

【 0 0 1 3 】

ファイバー 6 b から射出された光束 4 0 は P B S 膜 2 P を透過する測定光 4 1 と P B S 膜 2 P で反射された参照光 4 2 とに分割され。測定光 4 1 は、P B S 膜 2 P から、反射面 4 b 、P B S 膜 2 P 、ミラー面 5 P 、P B S 膜 2 P 、反射面 4 b 、P B S 膜 2 P 及びルチ40

ル板 8 を順次経由してファイバー 6 b に至る。一方、参照光 4 2 は、P B S 膜 2 P から、ミラー面 5 P、P B S 膜 2 P 及びルチル板 8 を順次経由してファイバー 6 b に至る。

【 0 0 1 4 】

実施例 2 の干渉計は、以上のようなダブルパスのフィゾー干渉計を構成している為、反射面 4 b の移動に対して、 $1/4$ で 1 周期のサイン信号が得られる。このような構成の場合、P B S 膜 2 P の消光比の性能で、ある程度の漏れ光（ゴースト光）が発生する。例えば、透過するべき S 波が反射して再び内部光学系を通って P B S 膜 2 P で透過すると反射面 4 b の移動に対して $1/2$ で 1 周期の信号が出力される。しかし、S L D 光源などプロードな波長を持った光源を使用した場合、漏れ光とメインの参照光、測定光ともに光路長が異なっている為干渉信号を発生しない。実施例 2 においても、このようにゴースト光成分を干渉しないようにする事が可能となる為、変位信号の干渉信号の品質が高くなる為非常に高精度な計測に適用することが可能となる。10

【 0 0 1 5 】

[実施例 3]

図 4 は実施例 3 の干渉計の構成図を示す。実施例 3 では、実施例 1 に比較し光検出部 10 の構成が異なるだけで、光源 1、受光素子 16 は共通である。ファイバー 6 b から射出されたレーザー光 4 0 は G r i n レンズ 7 で平行光束となり、P B S 膜 2 P A に照射される。P B S 膜 2 P A は半導体プロセスなどを利用した微少構造で構成され、P 波は P B S 膜 2 P A で反射され、S 波は P B S 膜 2 P A を透過する様に微少構造の向きが設定されている。よって、測定光 4 1 となる S 波は、P B S 膜 2 P A を透過して反射面 4 b で反射され、再び P B S 膜 2 P A を透過し再び G r i n レンズ 7 で集光光束となり P B S 膜 2 P B に集光照射される。一方、参照光 4 2 となる P 波は、P B S 膜 2 P A で反射され、測定光 4 1 と同様に G r i n レンズ 7 で集光光束となり P B S 膜 2 P B に照射される。P B S 膜 2 P B は、P B S 膜 2 P A 同様に微細構造をもつ P B S 膜であるが、P B S 膜 2 P A と微細構造の向きが垂直方向に設定してある為、測定光 4 1 である S 波を反射し、参照光 4 2 である P 波を透過する。P B S 膜 2 P B は、反射面 4 b で反射され P B S 膜 2 P A を透過した測定光 4 1 を P B S 膜 2 P A に向けて反射するとともに P B S 膜 2 P A で反射された参照光 4 2 を透過する第 2 偏光ビームスプリッタを構成している。P B S 膜 2 P B を透過した参照光 4 2 は、P B S 膜 2 P B と距離 T だけ離れた位置に設置してあるフレネルミラー 5 P で反射され、元の光路を帰って再び P B S 膜 2 P B に入射する。フレネルミラー 5 P の面は、P B S 膜 2 P B を透過した参照光 4 2 を P B S 膜 2 P B に向けて反射する第 2 ミラー面を構成している。測定光 4 1 である S 波と、参照光 4 2 である P 波は P B S 膜 2 P A に再度入射し、測定光 4 1 は P B S 膜 2 P A を透過し反射面 4 b で反射され P B S 膜 2 P A を再度透過し、P B S 膜 2 P A で再び反射された参照光 4 2 と合波されファイバー 6 b に集光される。上記構成では $T = W D$ の場合に測定光 4 1 と参照光 4 2 との波動光学的光路長は等しくなり、実施例 1、2 と同様に P B S 膜 2 P A から空間的にはなれた位置で等光路の干渉計が構成できる。したがって、実施例 3 においても、S L D などの光源を使用した干渉計の構成がフィゾータイプの光学系で構成できるので、ゴースト光に対しても実施例 2 と同様の効果が得られる。本実施例では、P B S 膜 2 P B を透過した参照光を P B S 膜 2 P B に向けて反射する第 2 ミラー面としてフレネルミラー 5 P の面を使用した。20 しかし、第 2 ミラー面として球面ミラーの面を使用することもできる。また、本実施例では、P B S 膜 2 P B と第 2 ミラーとしてのフレネルミラーとを個別に設置した。しかし、P B S 膜 2 P B とフレネルミラーとが単一の基板に形成されたものを使用することもできる。30

【 0 0 1 6 】

[実施例 4]

図 5 は実施例 4 の干渉計の構成図を示す。実施例 4 の干渉計は、P B S 膜 2 P を反射面 4 b が位置するべき面に対して傾斜するように配置されていることを除けば実施例 2 の干渉計と同様の構成をとる。この P B S 膜 2 P を傾斜させることは、ゴースト光成分の除去により効果がある。ダブルパスの光路中 1 回目に反射面 4 b と P B S 膜 2 P で反射した光4050

束はそれぞれ光束 4 2 A と光束 4 2 B とに分離されるが、ミラー面 5 P で反射されて再び反射面 4 b と P B S 膜 2 P で反射されてファイバー 6 b に向かう光束は正確に重なり合波される。つまり反射面 4 b に正規回数照射した光束はファイバー 6 b に向かい干渉信号となるが、反射面 4 b に正規回数照射しなかったゴースト光成分は最終的に光束 4 4 となり、ファイバー 6 b に導入できない。実施例 4 の干渉計は、微少のゴースト光を除去するのにさらに効果的である為、最終的な信号の歪みが少なく、信号対雑音比（S/N 比）もより高いものとする事が出来るため超高精度計測により効果的である。

【0017】

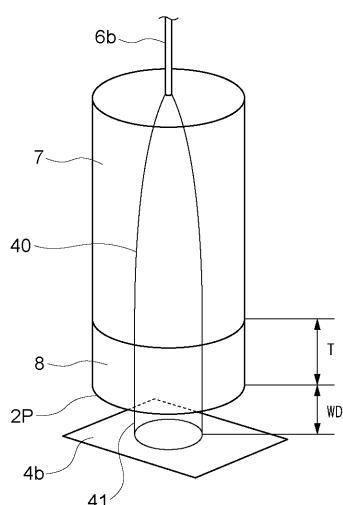
[実施例 5]

図 6 は実施例 5 の干渉計の構成図を示す。実施例 4 の干渉計は、P B S 膜 2 P A を反射面 4 b が位置するべき面に対して傾斜するように配置されていることを除けば実施例 3 の干渉計と同様の構成をとる。P B S 膜 2 P A が傾斜されていることは実施例 4 と同様な効果をもち、超高精度計測に効果的である。10

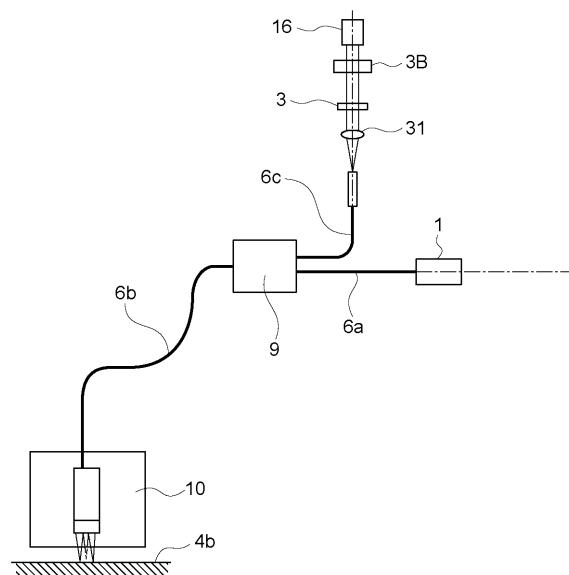
【0018】

実施例 1 ~ 5 は、レーザー光など光の位相変調を光の強度変調に変換し微少変位を計測する干渉計、変位計に適用できる。

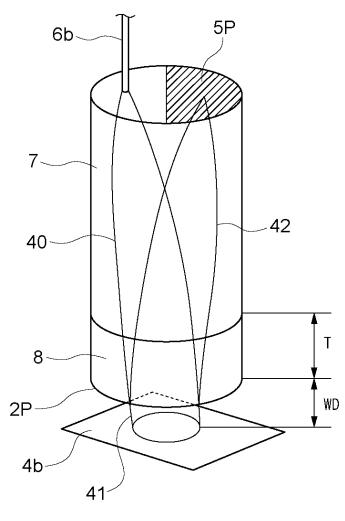
【図 1】



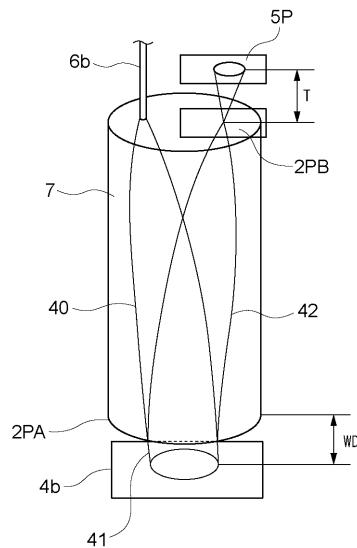
【図 2】



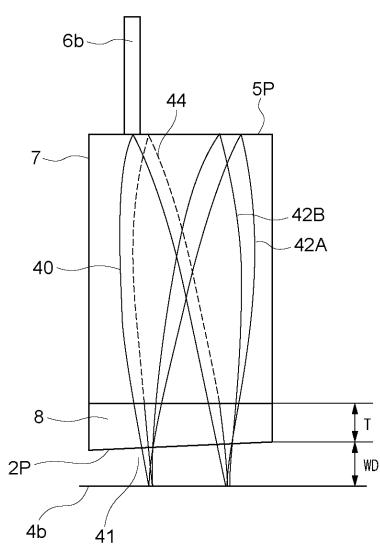
【図3】



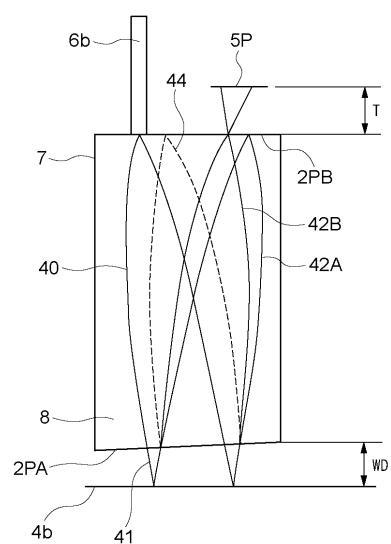
【図4】



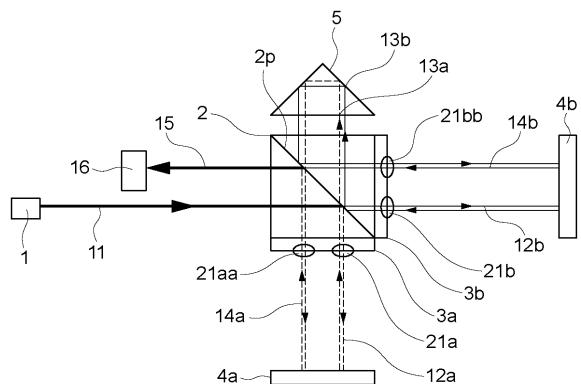
【図5】



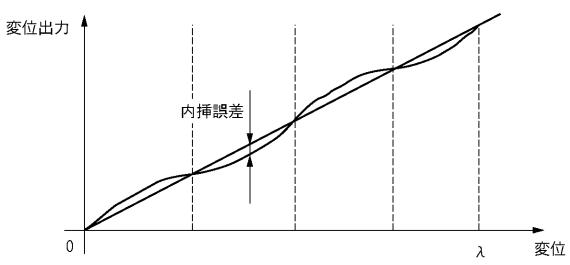
【図6】



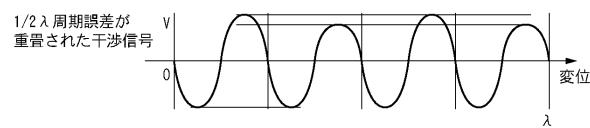
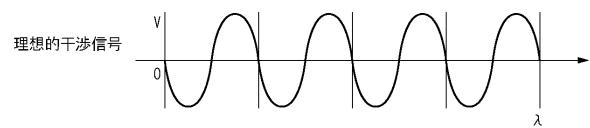
【図7】



【図9】



【図8】



フロントページの続き

(72)発明者 加藤 成樹

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 目黒 大地

(56)参考文献 特表2006-526790(JP,A)

特開2000-234914(JP,A)

特開2006-112974(JP,A)

特開平04-054406(JP,A)

特開2004-004044(JP,A)

特開2008-196901(JP,A)

特開昭60-055206(JP,A)

(58)調査した分野(Int.Cl., DB名)

G01B9/02、11/00 - 11/30