

(12) 特許協力条約に基づいて公開された国際出願

(19) 世界知的所有権機関
国際事務局



(43) 国際公開日
2010年10月7日(07.10.2010)

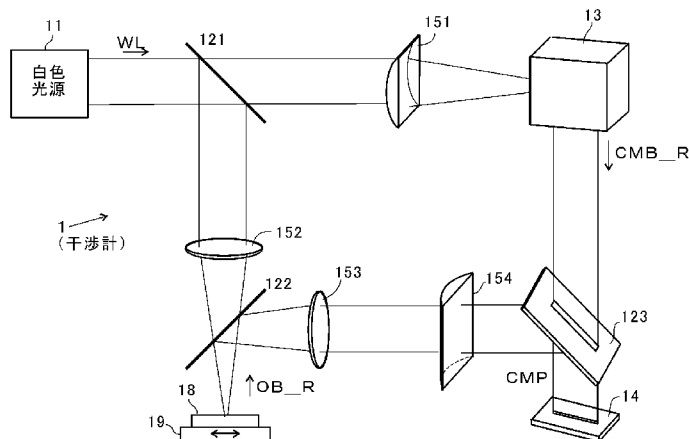
PCT

(10) 国際公開番号
WO 2010/113985 A1

- (51) 国際特許分類:
G01B 9/02 (2006.01) G01B 11/24 (2006.01)
G01B 11/00 (2006.01)
 - (21) 国際出願番号: PCT/JP2010/055771
 - (22) 国際出願日: 2010年3月30日(30.03.2010)
 - (25) 国際出願の言語: 日本語
 - (26) 国際公開の言語: 日本語
 - (30) 優先権データ:
特願 2009-080747 2009年3月30日(30.03.2009) JP
 - (71) 出願人 (米国を除く全ての指定国について): 国立大学法人長岡技術科学大学(National University Corporation Nagaoka University of Technology) [JP/JP]; 〒9402188 新潟県長岡市上富岡町1603-1 Niigata (JP).
 - (72) 発明者; および
 - (75) 発明者/出願人 (米国についてのみ): 塩田 達俊 (SHIODA Tatsutoshi) [JP/JP]; 〒9402188 新潟県長岡市上富岡町1603-1 国立大学法人長岡技術科学大学内 Niigata (JP).
 - (74) 代理人: 久保田 千賀志(KUBOTA Chikashi); 〒1050013 東京都港区浜松町1丁目13番2号ホワイトタワー浜松町1710 Tokyo (JP).
 - (81) 指定国 (表示のない限り、全ての種類の国内保護が可能): AE, AG, AL, AM, AO, AT, AU, AZ, BA, BB, BG, BH, 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, HR, HU, ID, IL, IN, IS, JP, KE, KG, KM, KN, KP, KR, KZ, LA, LC, LK, LR, LS, LT, LU, LY, MA, MD, ME, MG, MK, MN, MW, MX, MY, MZ, NA, NG, NI, NO, NZ, OM, PE, PG, PH, PL, PT, RO, RS, RU, SC, SD, SE, SG, SK, SL, SM, ST, SV, SY, TH, TJ, TM, TN, TR, TT, TZ, UA, UG, US, UZ, VC, VN, ZA, ZM, ZW.
 - (84) 指定国 (表示のない限り、全ての種類の広域保護が可能): ARIPO (BW, GH, GM, KE, LR, LS, MW, MZ, NA, SD, SL, SZ, TZ, UG, ZM, ZW), ユーラシア (AM, AZ, BY, KG, KZ, MD, RU, TJ, TM), ヨーロッパ (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, SE, SI, SK, SM, TR), OAPI (BF, BJ, CF, CG, CI, CM, GA, GN, GQ, GW, ML, MR, NE, SN, TD, TG).
- 添付公開書類:
— 国際調査報告 (条約第21条(3))

(54) Title: INTERFEROMETER
(54) 発明の名称: 干渉計

[図1]



11 WHITE LIGHT SOURCE
1 INTERFEROMETER

(57) Abstract: An interferometer comprises an interference profile measuring instrument which generates light having of which the phase has changed in accordance with the depth of a stage by reflecting the light from a light source emitting broadband light while changing the reflection distance in stages, receives the combined light configured from the light reflected from an object to be measured which is obtained by irradiating the object with the broadband light and the comb light generated from an optical path length modulator, and measures the interference profile. Since the interferometer (1) has no movable scanning mechanism and does not require calculation of Fourier transform, or the like, the interference profile can be measured in a short time and a cross-sectional image, a one-dimensional section in the depth direction or a two-dimensional section in the depth direction can be measured.

(57) 要約: 広帯域光を出射する光源からの光を、反射距離をステップ状に変化させて反射することで、前記ステップの深さに応じて位相が変化した光を生成し、広帯域光を測定対象に照射する

ことで得られる当該測定対象からの反射光と、光路長変調器により生成されたコム光との合波光を受光し、干渉プロファイルを測定する干渉プロファイル測定器とを備える。干渉計1では、可動走査機構を持たずかつフーリエ変換等の演算が不要なので短時間の測定ができるし、断層像の測定や、深さ方向の一次元断層、あるいは深さ方向の二次元断層の測定も可能となる。

WO 2010/113985 A1

明 細 書

発明の名称： 干渉計

技術分野

[0001] 本発明は、可動走査機構を持たずかつフーリエ変換等の演算が不要な、広帯域光（白色光、スーパーコンティニューム光等）光源を備えたプロファイル測定に好適な干渉計に関し、伝播方向に垂直な断面上での一次元位置に応じて光路長が変化した変調光を生成することができる光路長変調器（この光路長変調器の前段または後段にコム光発生用の分光器を設けてもよい）を用いて、深さ方向の一次元断層、あるいは深さ方向の二次元断層の測定にも適した干渉計に関する。

背景技術

[0002] 物体等の表面形状や光透過物体等の内部構造を測定するために、マイケルソン型の距離測定装置（干渉計）がたとえば使用される（非特許文献1参照）。

マイケルソン型の距離測定装置として、図12に示すように白色光源を用いたものが知られている。図12の距離測定装置91では、白色光源911からの白色光WLはビームスプリッタ912を透過して測定対象913に照射される一方、ビームスプリッタ912により反射されて可動ミラー914に照射される。

[0003] 測定対象913の反射光LR1はビームスプリッタ912により反射され、可動ミラー914の反射光LR2はビームスプリッタ912を透過する。これらの反射光LR1、LR2は、合波される。合波光LR3は干渉プロファイル測定器915に入射され、干渉プロファイル測定器915は白色光の干渉プロファイルを測定する。

[0004] 図12では、可動ミラー914が走査機構917により距離走査され、測定対象913から干渉プロファイル測定器915までの距離と、可動ミラー914から干渉プロファイル測定器915までの距離とが等しいときに干渉

が生じる。この干渉は、図13(A)に示す白色光源911が出力する白色光WLのパワースペクトルの逆フーリエ変換に依る。

[0005] 図13(B)に示すように、この干渉波形の幅は、白色光源911の帯域幅(図13(B)中の $\Delta\omega$)と反比例の関係にあるので、白色光源911を用いると分解能は高くなる。なお、合波光LR3は、可動ミラー914の走査距離(ΔL)を関数とした白色光源の自己相関関数である。図13(B)において $2\pi/\Delta\omega$ は自己相関関数の半値幅である。

[0006] また、図14に示すようにコム光源921を用いた距離測定装置も知られている。図14の距離測定装置92では、図12の可動ミラー914に代えて固定ミラー924が用いられ、白色光用の干渉プロファイル測定器915に代えて、コム光の干渉プロファイルを測定する干渉プロファイル測定器925が用いられる。ビームスプリッタ922は、図12のビームスプリッタ912と基本的に同じであり、コム光源921が出射するコム光CMBの伝播光路は図12と同じである。図14では、測定対象923からの反射コム光をCMB_R1で示し、固定ミラー924からの反射コム光をCMB_R2で示し、これらの合波光をCMB_R3で示してある。

[0007] 距離測定装置92では、固定ミラー924を距離走査しない代わりに、図15(A)に示すコム光CMBをコム間隔 $\Delta\Omega$ で走査する。干渉プロファイル測定器925は、このとき生じる干渉プロファイルを、コム数に応じた分解能で測定することができる。図15(B)に示すように、干渉波形の幅は、コム光CMBの帯域幅(図15(B)中の $2\pi/\Delta\tau$)と反比例の関係にある。ここで、 $\Delta\tau$ は自己相関関数の半値幅である。

先行技術文献

非特許文献

[0008] 非特許文献1: Op. Ltt. 25(2)111(白色を光源とした距離測定装置)

発明の概要

発明が解決しようとする課題

- [0009] 図 1 2 に示した距離測定装置 9 1 では、白色光を用いているため高い分解能を得ることができる反面、可動ミラー 9 1 4 を走査するため、測定に長時間を要し、また可動機構があるために装置が大型化する。さらに、図 1 2 に示した距離測定装置 9 2 では、機械的なメンテナンスが必要となり、加えて製造コストも高くなる。
- [0010] なお、従来、図 1 2 において、可動ミラー 9 1 4 を固定ミラーとし、干渉プロファイル測定器 9 1 5 の手前に回折格子を設けた距離測定装置が存在する。しかし、この距離測定装置では干渉プロファイル測定器 9 1 5 におけるデータの演算処理（フーリエ変換等）に長時間を要してしまう。
- [0011] 図 1 4 に示した距離測定装置 9 2 では、固定ミラー 9 2 4 を走査しないので可動走査機構が不要であり、メンテナンスも不要となる反面、コム光源 9 2 1 を周波数により走査しているため、測定に長時間を要するし、白色光を用いた図 1 2 の測定装置のような高分解能を得ることができない。
- [0012] 本発明の目的は、光源として所定帯域光（白色光等の広帯域光を含む）を生成する光源を使用し、可動走査機構を持たず、かつフーリエ変換等の演算をしないことで短時間での測定が可能であり、しかも高分解能の測定に対応できる干渉計を提供することである。
- [0013] 本発明の他の目的は、伝播方向に垂直な断面上での一次元位置に応じて光路長が変化した変調光を生成することができる光路長変調器（この光路長変調器の前段または後段にコム光発生用の分光器を設けてもよい）を用いて、深さ方向の一次元断層、あるいは深さ方向の二次元断層の測定にも適した干渉計を提供することである。

課題を解決するための手段

- [0014] 本発明の干渉計は、（1）から（6）を要旨とする。

（1）

広帯域光を生成する光源と、

伝播方向に垂直な断面上での一次元位置（たとえば断面上に想定した X Y

座標のX方向の位置) に応じて光路長が変化した変調光を生成する光路長変調器と、

前記光源が生成した広帯域光を測定対象に照射し反射させる光学系と、
前記光路長変調器が生成した変調光と前記測定対象からの反射光とを受光する二次元光検出器とからなることを特徴とする干渉計。

具体的には、

[0015] (2)

前記光路長変調器は、前記ビーム断面上での二次元位置に応じて反射距離をステップ状に変化させて反射することで、前記光路長を変化させることを特徴とする(1)に記載の干渉計。

[0016] (3)

前記光路長変調器は、広帯域光を入射しコム光(光周波数コム)を生成する分光デバイスと、前記コム光を受光し、反射距離をステップ状に変化させて反射することで前記ステップの深さに応じてコム光の光路長をシフトさせる位相シフトミラーとを備えたことを特徴とする(2)に記載の干渉計。

分光デバイスとして、VIPA(Virtually Imaged Phased Array)または共振器を使用することができる。

[0017] (4)

広帯域光を生成する光源と、
伝播方向に垂直な断面上での二次元位置に応じて光路長が変化した変調光を生成する光路長変調器と、

前記光源が生成した広帯域光を測定対象に照射し反射させる光学系と、
前記光路長変調器が生成した変調光と前記測定対象からの反射光とを受光する二次元光検出器とからなることを特徴とする干渉計。

[0018] (5)

前記光路長変調器は、前記ビーム断面上での二次元位置に応じて反射距離をステップ状に変化させて反射することで、前記光路長を変化させることを特徴とする(4)に記載の干渉計。

[0019] (6)

前記光路長変調器は、広帯域光を入射しコム光を生成する分光デバイスと、前記コム光を受光し反射距離をステップ状に変化させて反射することで前記ステップの深さに応じてコム光の光路長をシフトさせる位相シフトミラーとを備えたことを特徴とする(5)に記載の干渉計。

発明の効果

[0020] 本発明の干渉計によれば、光源として所定帯域光(白色光等の広帯域光を含む)を生成する光源を使用でき、また可動走査機構を持たないように構成でき、かつフーリエ変換等の演算をしないことで短時間での測定ができ、しかも高分解能の測定ができる。

[0021] 本発明の干渉計は、断層像の測定や、深さ方向の一次元断層、あるいは深さ方向の二次元断層の測定も可能である。

[0022] 本発明の干渉計では、所定帯域光(白色光、スーパーコンティニューム光等の広帯域光を含む)を周波数に応じてコム光として空間分離し当該空間分離したコム光の位相をそれぞれシフトすることもできる。これにより、測定対象までの距離が長い場合等、長距離の測定も可能となる。

分光デバイスを用いて生成されたコム光を使用することで、コム光を構成する各モードのコヒーレンス長の範囲ないであれば、光路長変調器を介して伝播する光の光路長と、測定対象に入射し反射する光の光路長が違っていても、測定に必要な干渉光を得ることができる。

図面の簡単な説明

[0023] [図1]VIP Aを光路長変調器に内蔵する、表面点までの距離や、深さ方向の一次元断層像を測定するための本発明の干渉計(マツハツェンダー型)の第1実施形態の説明図である。

[図2] (A)は図1の干渉計に使用される光路長変調器を示す図、(B)は位相シフトミラーの構成例を示す図である。

[図3]VIP Aを光路長変調器に内蔵する、表面ライン上の点までの距離や、深さ方向の二次元断層像を測定する(距離を深さ方向に面測定(二次元測定

）する）ための本発明の干渉計（マッハツェンダー型）の第2実施形態の説明図である。

[図4] 図3の干渉計に使用される光路長変調器を示す図である。

[図5] VIPAを使用せずに、表面点までの距離や、深さ方向の一次元断層像を測定するための本発明の干渉計（マッハツェンダー型）の第3実施形態の説明図である。

[図6] 図5の干渉計に使用される光路長変調器を示す図である。

[図7] VIPAを使用せずに、表面ライン上の点までの距離や、深さ方向の二次元断層像を測定する（距離を深さ方向に面測定（二次元測定）する）ための本発明の干渉計（マッハツェンダー型）の第4実施形態の説明図である。

[図8] VIPAを光路長変調器に内蔵する、表面点までの距離や、深さ方向の一次元断層像を測定するための本発明の干渉計（マイケルソン型）の第5実施形態の説明図である。

[図9] VIPAを光路長変調器に内蔵する、表面ライン上の点までの距離や、深さ方向の二次元断層像を測定する（距離を深さ方向に面測定（二次元測定）する）ための本発明の干渉計（マイケルソン型）の第6実施形態の説明図である。

[図10] VIPAを使用せずに、表面点までの距離や、深さ方向の一次元断層像を測定するための本発明の干渉計（マイケルソン型）の第7実施形態の説明図である。

[図11] VIPAを使用せずに、表面点までの距離や、深さ方向の一次元断層像を測定するための本発明の干渉計（マイケルソン型）の第8実施形態の説明図である。

[図12] 白色光源を用いた、従来のマイケルソン型の距離測定装置を示す図である。

[図13] (A) は図12の干渉計における光源のパワースペクトルを示す図、(B) は干渉波形を示す図である。

[図14] 従来のコム光源を用いた距離測定装置を示す図である。

[図15] (A) はコム光をコム間隔で走査するときのコムモードを示す図、
(B) は干渉波形の幅とコム光の帯域幅との関係を示す図である。

発明を実施するための形態

[0024] 図1は、本発明の干渉計の第1実施形態の説明図である。図1の干渉計（マッハツェンダー型）を使用することで、表面点までの距離や、深さ方向の一次元断層像を測定することができる。

[0025] 図1において干渉計1は、白色光源11と、ビームスプリッタ（BS）121, 122, 123と、光路長変調器13と、干渉プロファイル測定器14と、レンズ系151, 152, 153, 154とを備えている。なお、本明細書におけるレンズ系（後述するレンズ系も含む）は、説明の便宜上、簡略化等してあり、必ずしも設計上のレンズ系とは一致しない。

[0026] 光路長変調器13は、図2（A）に示すように、分光デバイス131と、シリンドリカルレンズ132と、位相シフトミラー133とから構成され、白色光源11からの広帯域光（ここでは白色光WL）を、ビームスプリッタ121およびレンズ系151（シリンドリカルレンズ）を介して入射し、周波数に応じて空間分離したコム光CMBを生成する。

[0027] 分光デバイス131は、VIPA（Virtually Imaged Phased Array）であり、異なる周波数のコム（CMB）を空間的に分離して生成することができる。

[0028] 位相シフトミラー133は、図2（B）に示すように階段状に構成されたミラーであり、コム光CMBを受光し、周波数に応じて反射距離をステップ状に変化させて反射することで、反射距離に応じて位相がシフトしたコム光CMB_Rを生成することができる。このコム光CMB_Rは、ビームスプリッタ123に照射される。

[0029] 一方、白色光源11からの白色光WLは、ビームスプリッタ121, レンズ系152（球面レンズ）, ビームスプリッタ122を介して測定対象18にも照射される。そして、測定対象18の反射光（散乱光）OB_Rは、ビームスプリッタ122, レンズ系153（球面レンズ）, レンズ系154（

シリンダリカルレンズ)を介してビームスプリッタ123に照射される。

[0030] 図1では、測定対象18は、移動ステージ19に搭載されており、水平方向に1軸移動または2軸移動することができる。

ビームスプリッタ123は、光路長変調器13の出射したコム光(位相シフトミラー133の反射光)CMB_Rと、測定対象18の反射光OB_Rとを合波し、これを合波光CMPとして干渉プロファイル測定器14に出射する。

干渉プロファイル測定器14は、本実施形態では一次元イメージセンサであり、合波光CMPを受光し、干渉プロファイル $p(x)$ を測定する。

[0031] 図3は、距離を深さ方向に線測定(二次元測定)することができる本発明の干渉計の第2実施形態の説明図である。図3の干渉計(マッハツェンダー型)では、深さ方向の二次元断層像を測定することができる。

[0032] 図3において干渉計2は、白色光源21と、ビームスプリッタ221, 222, 223と、光路長変調器23と、干渉プロファイル測定器24と、レンズ系251, 252, 253とを備えている。

[0033] 光路長変調器23は、図4に示すように、分光デバイス231と、シリンダリカルレンズ232と、シリンダリカルレンズ234, 234と、位相シフトミラー233とから構成され、白色光源21からの白色光WLを、ビームスプリッタ221およびレンズ系251(シリンダリカルレンズ)を介して入射し、周波数に応じて空間分離したコム光CMB_Rを生成する。

[0034] 分光デバイス231は、第1実施形態と同様のVIPAであり、異なる周波数のコム(CMB)を空間的に分離して生成することができる。

位相シフトミラー233は、第1実施形態の位相シフトミラー133と同じ構成をなし、コム光CMBを受光し、周波数に応じて反射距離をステップ状に変化させて反射することで、反射距離に応じて位相がシフトしたコム光CMB_Rを生成することができる。このコム光CMB_Rは、位相シフトミラー233により二次元のコム光に拡張され、ビームスプリッタ223に照射される。

[0035] 一方、白色光源 21 からの白色光 WL は、ビームスプリッタ 221, レンズ系 252 (シリンダリカルレンズ), ビームスプリッタ 222 を介して測定対象 28 に照射される。そして、測定対象 28 の反射光 (散乱光) OB_R は、ビームスプリッタ 222, レンズ系 253 (シリンダリカルレンズ) を介してビームスプリッタ 223 に照射される。

[0036] 図 3 では、測定対象 28 は、移動ステージ 29 に搭載されており、水平方向に 2 軸移動することができる。

ビームスプリッタ 223 は、光路長変調器 23 から出射したコム光 (シリンダリカルレンズ 234 の出射光) CMB_R と、測定対象 28 の反射光 OB_R とを合波し、これを合波光 CMP として干渉プロファイル測定器 24 に出射する。

干渉プロファイル測定器 24 は、本実施形態では二次元イメージセンサであり、合波光 CMP を受光し、干渉プロファイル $p(x)$ を測定する。

[0037] 図 5 は、本発明の干渉計の第 3 実施形態の説明図である。図 1 の干渉計 (マッハツェンダー型) は、分光デバイスを有する光路長変調器 13 を使用したが、本実施形態では、光路長変調器 33 に、分光デバイスを使用していない。

図 5 の干渉計は、第 1 実施形態の干渉計 1 と同様、測定対象 28 の空間情報 (表面点までの一次元距離や、深さ方向の一次元断層像) を取得することができるし、各深さにおける測定対象 38 の属性 (エネルギー構造情報, 屈折率, 透過率, 反射率等) を取得することができる。

[0038] 図 5 において干渉計 3 は、白色光源 31 と、ビームスプリッタ 321, 322, 323 と、光路長変調器 33 と、光検出器 34 と、レンズ系 352, 353, 354 とを備えている。

[0039] 光路長変調器 33 は、図 6 に示すように、変調ミラー 333 と 2 つのシリンダリカルレンズ 334 から構成され、白色光源 31 からの広帯域光 (ここでは白色光) を、ビームスプリッタ 321 を介して入射し、変調ミラー 333 により位相変調する。

- [0040] 変調ミラー 333 は、第 1 実施形態および第 2 実施形態でも使用した階段状に構成されたミラーであり、白色光 WL を受光し、反射距離をステップ状に変化させて反射することで、反射距離に応じて、白色光 WL を (A), (B) に示したように時間シフトさせることができる。
- [0041] 一方、白色光源 31 からの白色光は、ビームスプリッタ 321, レンズ系 352 (球面レンズ), ビームスプリッタ 322 を介して測定対象 38 にも照射される。そして、測定対象 38 の反射光 (散乱光) は、ビームスプリッタ 322, レンズ系 353 (球面レンズ), レンズ系 354 (シリンドリカルレンズ) を介してビームスプリッタ 323 に照射される。
- [0042] 図 5 では、測定対象 38 は、移動ステージ 39 に搭載されており、水平方向に 1 軸移動または 2 軸移動することができる。ビームスプリッタ 323 は、変調ミラー 333 の反射光と、測定対象 38 の反射光とを合波し、これを光検出器 34 に出射する。光検出器 34 は、本構成例では一次元イメージセンサである。
- [0043] 図 7 は、本発明の干渉計の第 4 実施形態の説明図である。図 3 の干渉計 (マッハツェンダー型) は、表面点までの距離や、深さ方向の一次元断層像を、分光デバイスを使用した光路長変調器 23 を使用したが、本実施形態では、光路長変調器 43 に、分光デバイスを使用していない。
- 図 7 の干渉計は、第 2 実施形態の干渉計 2 と同様、測定対象 48 の空間情報 (表面点までの二次元距離や、深さ方向の二次元断層像) を取得することができる。
- [0044] 図 7 において干渉計 4 は、白色光源 41 と、ビームスプリッタ 421, 422, 423 と、光路長変調器 43 と、光検出器 44 と、レンズ系 452, 453 とを備えている。光路長変調器 43 は、図 6 に示したものと同様のものが使用できる。
- [0045] 変調ミラー 433 は、第 1 実施形態の変調ミラー 133 と同じ構成をなし、白色光源 41 からの白色光 WL をビームスプリッタ 421 を介して受光し、反射距離をステップ状に変化させて反射することで、反射距離に応じて入

射した白色光WLの位相をシフトすることができる。

[0046] 一方、白色光源41からの白色光WLは、ビームスプリッタ421、レンズ系452（シリンダリカルレンズ）、ビームスプリッタ422を介して測定対象48に照射される。そして、測定対象48の反射光（散乱光）は、ビームスプリッタ422、レンズ系453（シリンダリカルレンズ）を介してビームスプリッタ423により反射される。

[0047] 図7では、測定対象48は、移動ステージ49に搭載されており、水平方向に2軸移動することができる。

ビームスプリッタ423は、光路長変調器43の出射光と、測定対象48からの反射光（ビームスプリッタ423からの反射光）とを合波しこれを光検出器44に出射する。

光検出器44は、本実施形態では二次元イメージセンサである。

[0048] 図8は、本発明の干渉計の第5実施形態の説明図である。図8の干渉計（マイケルソン型）では、表面点までの距離や、深さ方向の一次元断層像を測定することができる。

[0049] 図8において干渉計5は、白色光源51と、ビームスプリッタ52と、光路長変調器53と、干渉プロファイル測定器54と、レンズ系551、552、553、554とを備えている。

本実施形態でも、第1実施形態および第2実施形態と同様、白色光源51に代えて、広帯域光を発生できる光源を使用することができる。

光路長変調器53は、白色光源51からの白色光WLをビームスプリッタ52、レンズ系551（シリンダリカルレンズ）を介して入射し、コム光CMB_Rを出射するもので、第1分光デバイス531と、シリンダリカルレンズ532と、位相シフトミラー533とから構成される。第1分光デバイス531は、VIPAであり、異なる周波数のモードを空間的に分離して生成することができる。

[0050] 位相シフトミラー533は、階段状に構成されたミラーであり、コム光CMBを受光し、周波数に応じて反射距離をステップ状に変化させて反射する

ことで、反射距離に応じて位相がシフトしたコム光CMB__Rを生成することができる。本実施形態では、位相シフトミラー533は、反射したコム光CMB__Rが第1分光デバイス531に逆経路で出射するように配置されている。位相シフトミラー533側から第1分光デバイス531に入射されたコム光CMB__Rは、白色光に戻され、WL__Pとして、ビームスプリッタ55に入射される。

[0051] 一方、白色光源51からの白色光WLはビームスプリッタ52を透過して、レンズ系552（シリンダリカル）により測定対象58に照射される。そして、測定対象58の反射光OB__Rは、レンズ系552を介してビームスプリッタ52により反射される。

[0052] ビームスプリッタ52は、光路長変調器53の出射光（第1分光デバイス531を戻されてくる白色光WL__P）と、測定対象58の反射光OB__Rとを合波し合波光CMPとして出射する。

[0053] 第2分光デバイス56は、第1分光デバイス531と同一特性を有しており、合波光CMPからコム光CMB'を生成する。

干渉プロファイル測定器54は、本実施形態では二次元イメージセンサであり、コム光CMB'を受光し、干渉プロファイル $p(x)$ を測定する。

なお、図8では、測定対象58は、移動ステージ59に搭載されており、一次元または二次元平面を移動することができる。

[0054] 図9は、距離を深さ方向に線測定（二次元測定）することができる本発明の干渉計の第6実施形態の説明図である。図9の干渉計（マイケルソン型）では、深さ方向の二次元断層像を測定することができる。

図9において干渉計6は、白色光源61と、ビームスプリッタ62と、光路長変調器63と、干渉プロファイル測定器64と、レンズ系651, 652, 653, 654, 655とを備えている。

[0055] 本実施形態でも、第1, 第2および第3実施形態と同様、白色光源61に代えて、広帯域光を発生できる光源を使用することができる。

光路長変調器63は、白色光源61からの白色光WLをビームスプリッタ

62, レンズ系651 (シリンダリカルレンズ) を介して入射し、コム光CMB_Rを出射するもので、第1分光デバイス631と、シリンダリカルレンズ632と、位相シフトミラー633とから構成される。第1分光デバイス631は、VIPAであり、異なる周波数のモード(CMB)を空間的に分離して生成することができる。

[0056] 位相シフトミラー633は、階段状に構成されたミラーであり、コム光CMBを受光し、周波数に応じて反射距離をステップ状に変化させて反射することで、反射距離に応じて位相がシフトしたコム光CMB_Rを生成することができる。本実施形態では、位相シフトミラー633は、反射したコム光CMB_Rが第1分光デバイス631に逆経路で出射するように配置されている。位相シフトミラー633側から第1分光デバイス631に入射されたコムCMB_Rは、白色光に戻され、WL_Pとして、ビームスプリッタ62に入射される。

[0057] 一方、白色光源61からの白色光WLはビームスプリッタ62を透過して、レンズ系652 (シリンダリカル) により測定対象68に照射される。そして、測定対象68の反射光 (散乱光) OB_Rは、レンズ系652を介してビームスプリッタ62により反射される。

[0058] ビームスプリッタ62は、光路長変調器63の出射光 (第1分光デバイス631を戻されてくる白色光WL_P) と、測定対象68の反射光OB_Rとを合波し合波光CMPとして、レンズ系653 (シリンダリカルレンズ) を介して第2分光デバイス66に入射される。

[0059] 第2分光デバイス66は、第1分光デバイス631と同一特性を有しており、合波光CMPからコム光CMB' を生成する。

干渉プロファイル測定器64は、本実施形態では二次元イメージセンサであり、レンズ系654, 655 (シリンダリカルレンズ) を介してコム光CMB' を受光し、干渉プロファイル $p(x)$ を測定する。

[0060] なお、図9では、測定対象68は、移動ステージ69に搭載されており、一次元または二次元平面を移動することができる。

[0061] 図10は、本発明の干渉計の第7実施形態の説明図である。図8の干渉計（マイケルソン型）は、表面点までの距離や、深さ方向の一次元断層像を、第1分光デバイス531を有する光路長変調器53を使用した。本実施形態では、光路長変調器53に、分光デバイスを使用していない。

図10の干渉計は、第5実施形態の干渉計5と同様、測定対象78の（表面点までの距離や、深さ方向の一次元断層像）を取得することができるし、各深さにおける測定対象78の属性（エネルギー構造情報、屈折率、透過率、反射率等）を取得することができる。

[0062] 図10において干渉計7は、白色光源71と、ビームスプリッタ72と、変調器73と、と、レンズ系、752、753とを備えている。

変調ミラー733は、白色光源71からの白色光をビームスプリッタ72を介して入射し、白色光を出射するものである。

[0063] 変調ミラー733は、階段状に構成されたミラーであり、白色光を受光し、反射距離をステップ状に変化させて反射することで、反射距離に応じて時間がシフトした光を生成することができる。

本構成例では、変調ミラー733は、反射光が逆経路で出射するように配置されている。変調ミラー733側からの反射光は、ビームスプリッタ75に入射される。

[0064] 一方、白色光源71からの白色光はビームスプリッタ72を透過して、レンズ系752（シリンダリカル）により測定対象78に照射される。そして、測定対象78の反射光は、ビームスプリッタ72により反射される。

[0065] ビームスプリッタ72は、変調ミラー733の出射光と、測定対象78の反射光とを合波して出射する。

[0066] 光検出器74は、本実施形態では二次元イメージセンサである。

なお、図10では、測定対象78は、移動ステージ79に搭載されており、一次元または二次元平面を移動することができる。

[0067] 図11は、本発明の干渉計の第8実施形態の説明図である。図9の干渉計（マイケルソン型）は、表面点までの距離や、深さ方向の二次元断層像を、

分光デバイス 631 を有する光路長変調器 63 を使用したが、本実施形態では、光路長変調器 63 に、分光デバイスを使用していない。

図 11 の干渉計は、第 6 実施形態の干渉計 6 と同様、測定対象 89 の（表面点までの距離や、深さ方向の一次元断層像）を取得することができるし、各深さにおける測定対象 89 の属性（エネルギー構造情報、屈折率、透過率、反射率等）を取得することができる。

- [0068] 図 11 において干渉計 8 は、白色光源 81 と、ビームスプリッタ 88 と、変調ミラー 833 と、光検出器 84 と、レンズ系 852 とを備えている。
- [0069] 変調ミラー 833 は、白色光源 81 からの白色光をビームスプリッタ 82 を介して入射し、時間シフトした光を出射するものである。
- [0070] 変調ミラー 833 は、階段状に構成されたミラーであり、反射距離に応じて時間シフトした光を生成することができる。本実施形態では、変調ミラー 833 は逆経路で出射するように配置されている。変調ミラー 833 側からの反射光は、ビームスプリッタ 42 に入射される。
- [0071] 一方、白色光源 81 からの白色光はビームスプリッタ 82 を透過して、レンズ系 852（シリンダリカル）により測定対象 O に照射される。そして、測定対象 O の反射光（散乱光）は、レンズ系 852 を介してビームスプリッタ 82 により反射される。
- [0072] ビームスプリッタ 82 は、変調ミラー 833 の出射光と、測定対象 O の反射光とを合波し、レンズ系 853（シリンダリカルレンズ）、854、855 を介して光検出器 84 に入射される。
- [0073] 光検出器 84 は、本実施形態では二次元イメージセンサである。
- [0074] なお、図 11 では、測定対象 88 は、移動ステージ 89 に搭載されており、一次元または二次元平面を移動することができる。

符号の説明

- [0075] 1, 2, 3, 4 干渉計
11, 21, 31, 41 白色光源
13, 23, 33, 43 光路長変調器

1 4, 2 4, 3 4, 4 4 干渉プロファイル測定器

1 8, 2 8, 3 8, 4 8 測定対象

1 9, 2 9, 3 9, 4 9 移動ステージ

3 6, 4 6 第2分光デバイス

3 2, 3 5, 4 2, 1 2 1, 1 2 2, 1 2 3, 2 2 1, 2 2 2, 2 2 3

ビームスプリッタ

1 5 1, 1 5 2, 1 5 3, 1 5 4, 2 5 1, 2 5 2, 2 5 3, 3 5 1, 3

5 2, 3 5 3, 4 5 1, 4 5 2, 4 5 3, 4 5 4 レンズ系

1 3 1, 2 3 1 分光デバイス

1 3 2, 2 3 2, 2 3 4, 3 3 2, 4 3 2 シリンドリカルレンズ

1 3 3, 2 3 3, 3 3 3, 4 3 3 位相シフトミラー

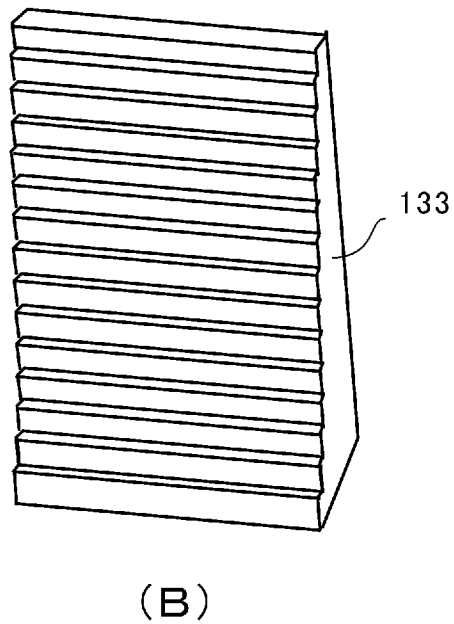
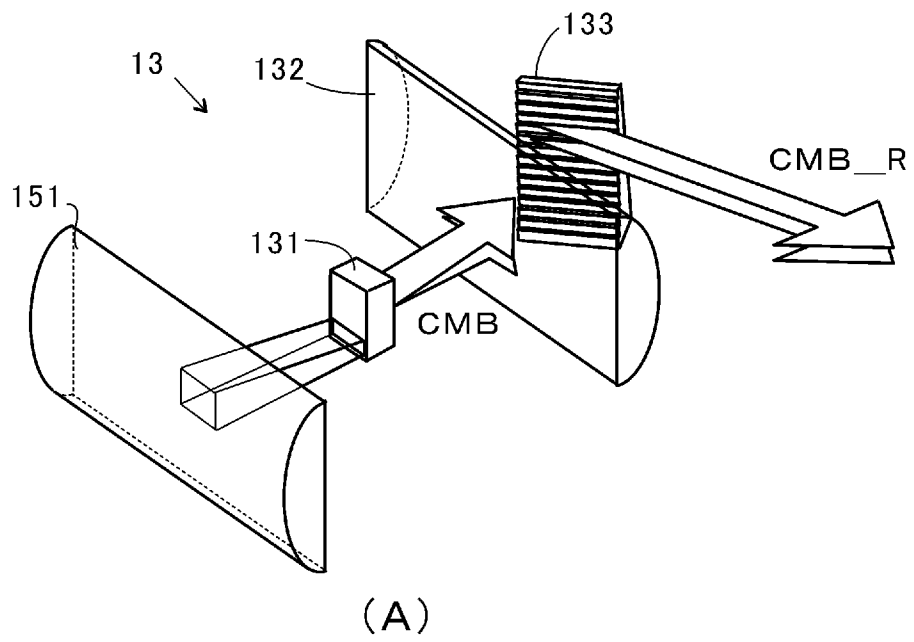
3 3 1, 4 3 1 第1分光デバイス

請求の範囲

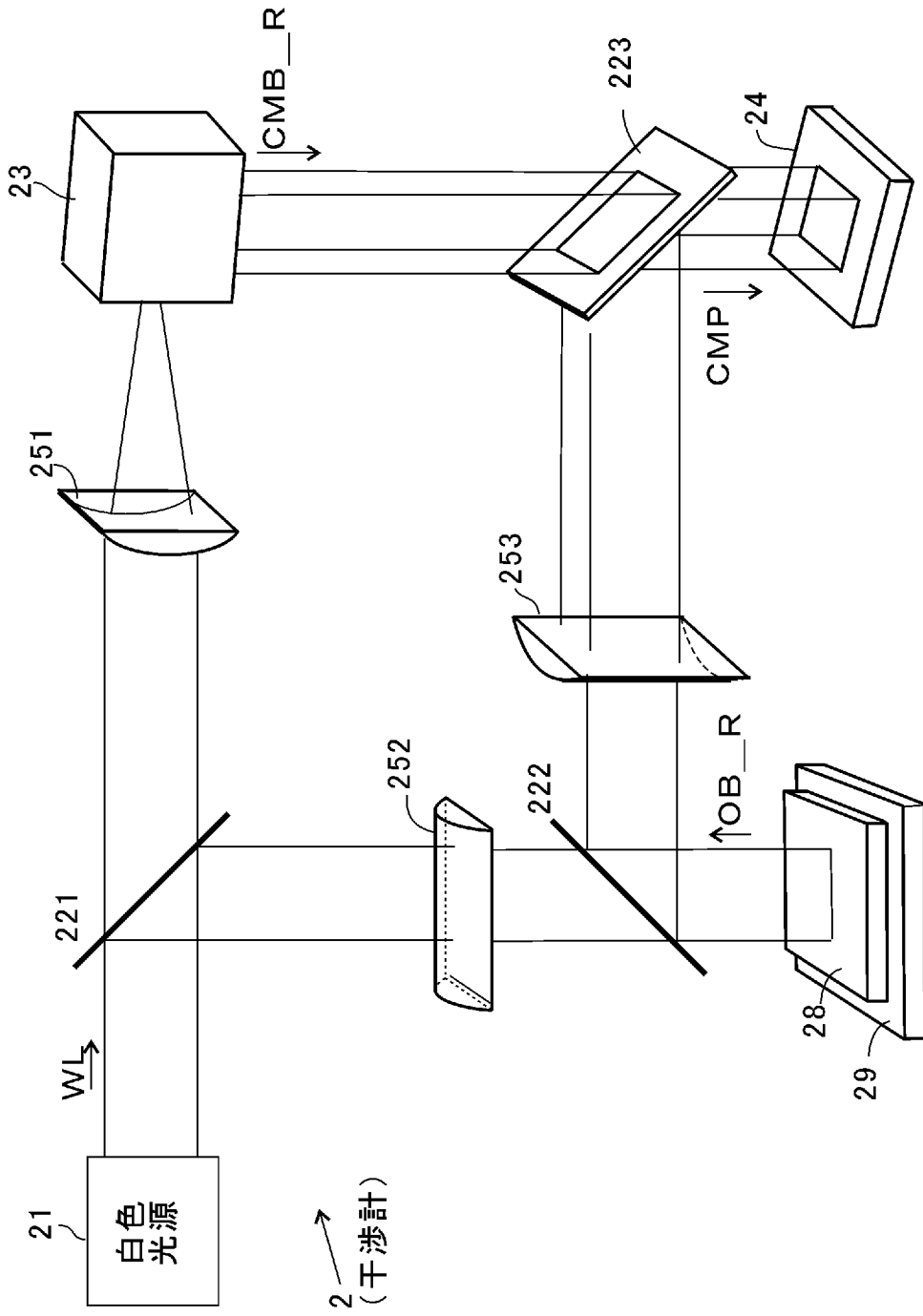
- [請求項1] 広帯域光を生成する光源と、
伝播方向に垂直な断面上での一次元位置に応じて光路長が変化した変調光を生成する光路長変調器と、
前記光源が生成した広帯域光を測定対象に照射し反射させる光学系と、
前記光路長変調器が生成した変調光と前記測定対象からの反射光とを受光する一次元光検出器とからなることを特徴とする干渉計。
- [請求項2] 前記光路長変調器は、前記ビーム断面上での一次元位置に応じて反射距離をステップ状に変化させて反射することで、前記光路長を変化させることを特徴とする請求項1に記載の干渉計。
- [請求項3] 前記光路長変調器は、広帯域光を入射しコム光（光周波数コム）を生成する分光デバイスと、前記コム光を受光し、反射距離をステップ状に変化させて反射することで前記ステップの深さに応じてコム光の光路長をシフトさせる位相シフトミラーとを備えたことを特徴とする請求項2に記載の干渉計。
- [請求項4] 広帯域光を生成する光源と、
伝播方向に垂直な断面上での一次元位置に応じて光路長が変化した変調光を生成する光路長変調器と、
前記光源が生成した広帯域光を測定対象に照射し反射させる光学系と、
前記光路長変調器が生成した変調光と前記測定対象からの反射光とを受光する二次元光検出器とからなることを特徴とする干渉計。
- [請求項5] 前記光路長変調器は、前記ビーム断面上での一次元位置に応じて反射距離をステップ状に変化させて反射することで、前記光路長を変化させることを特徴とする請求項4に記載の干渉計。
- [請求項6] 前記光路長変調器は、広帯域光を入射しコム光を生成する分光デバイスと、前記コム光を受光し反射距離をステップ状に変化させて反射

することで前記ステップの深さに応じてコム光の光路長をシフトさせる位相シフトミラーとを備えたことを特徴とする請求項5に記載の干渉計。

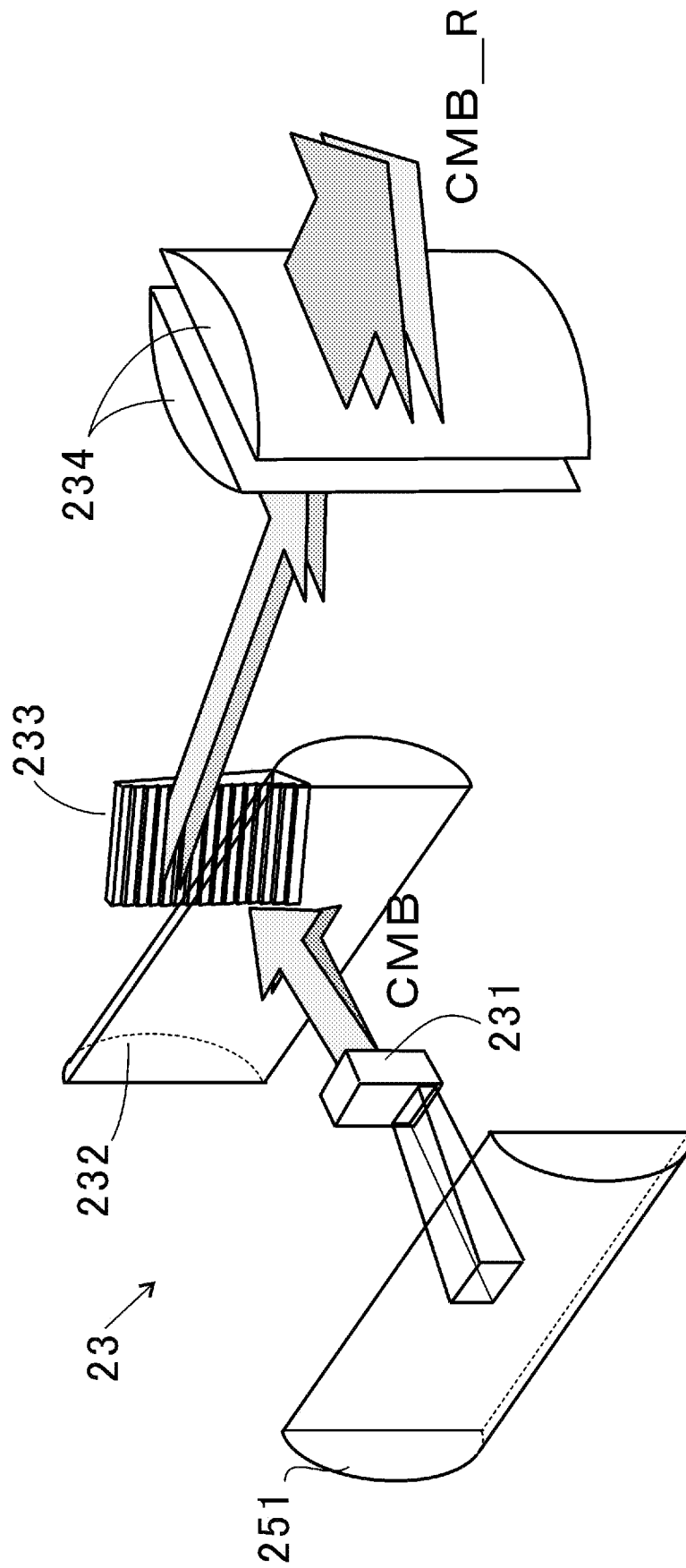
[図2]



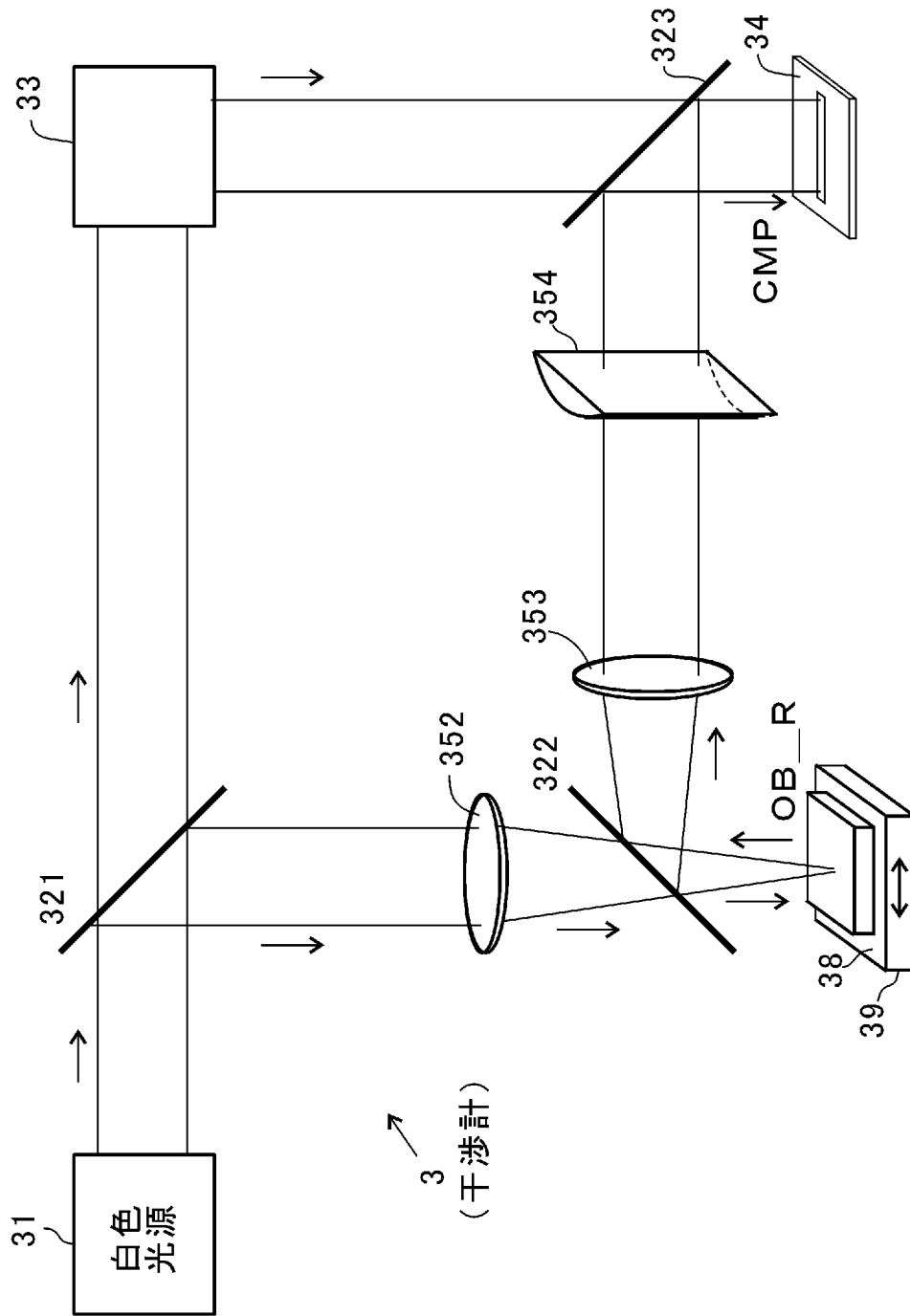
[図3]



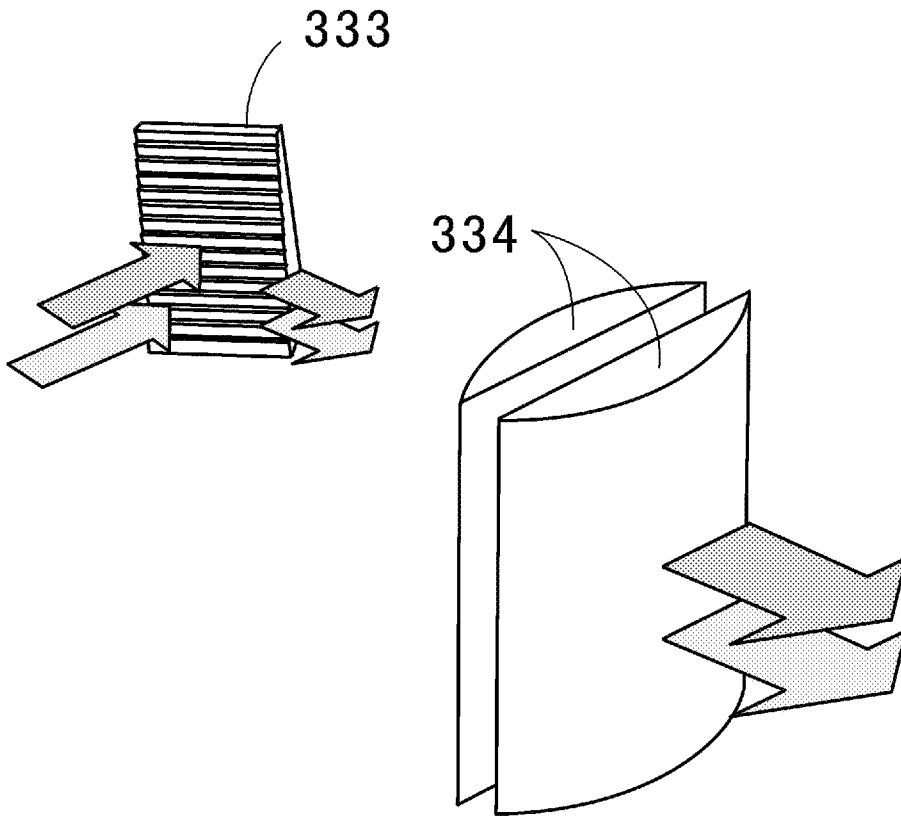
[図4]



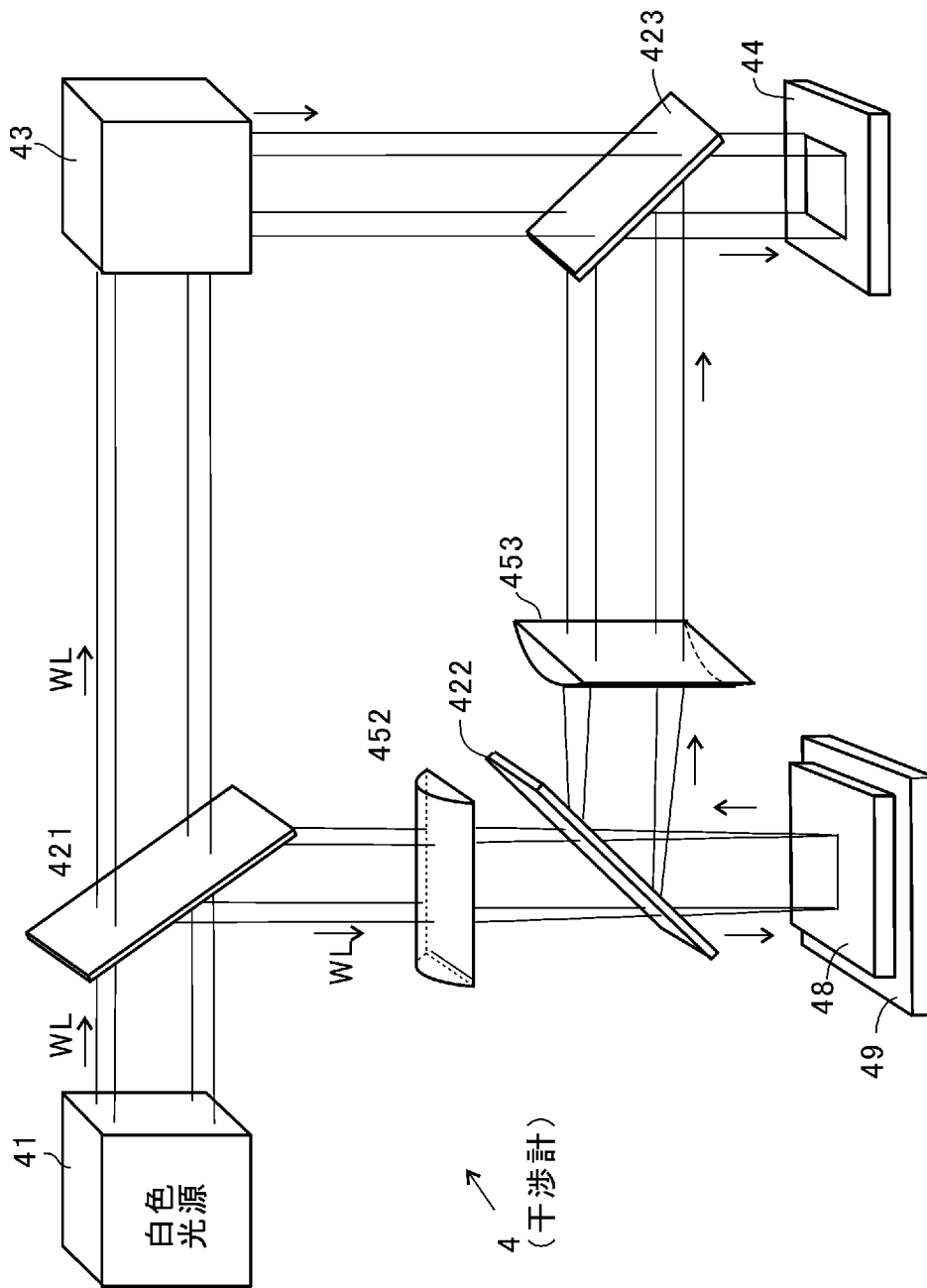
[図5]



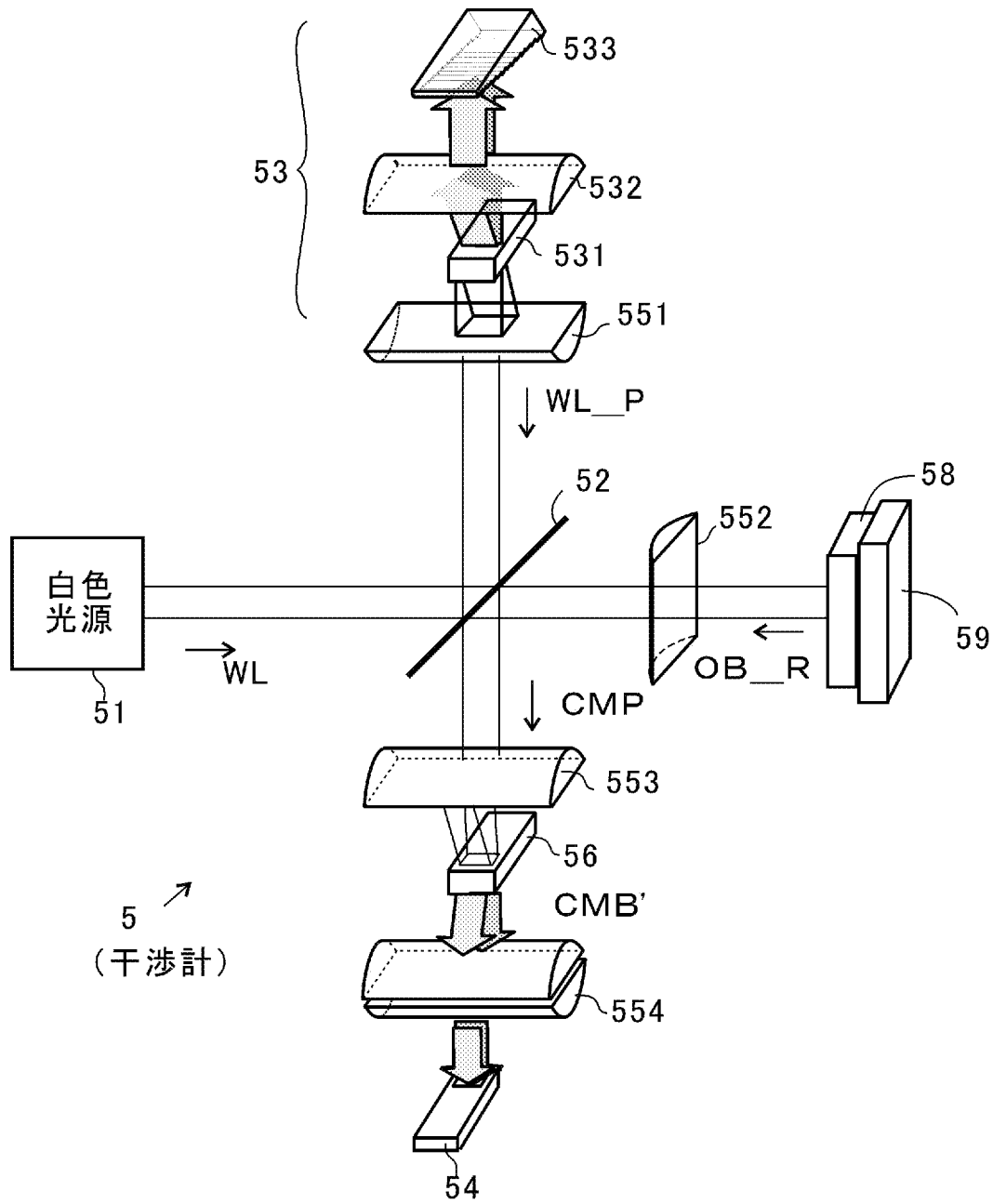
[図6]



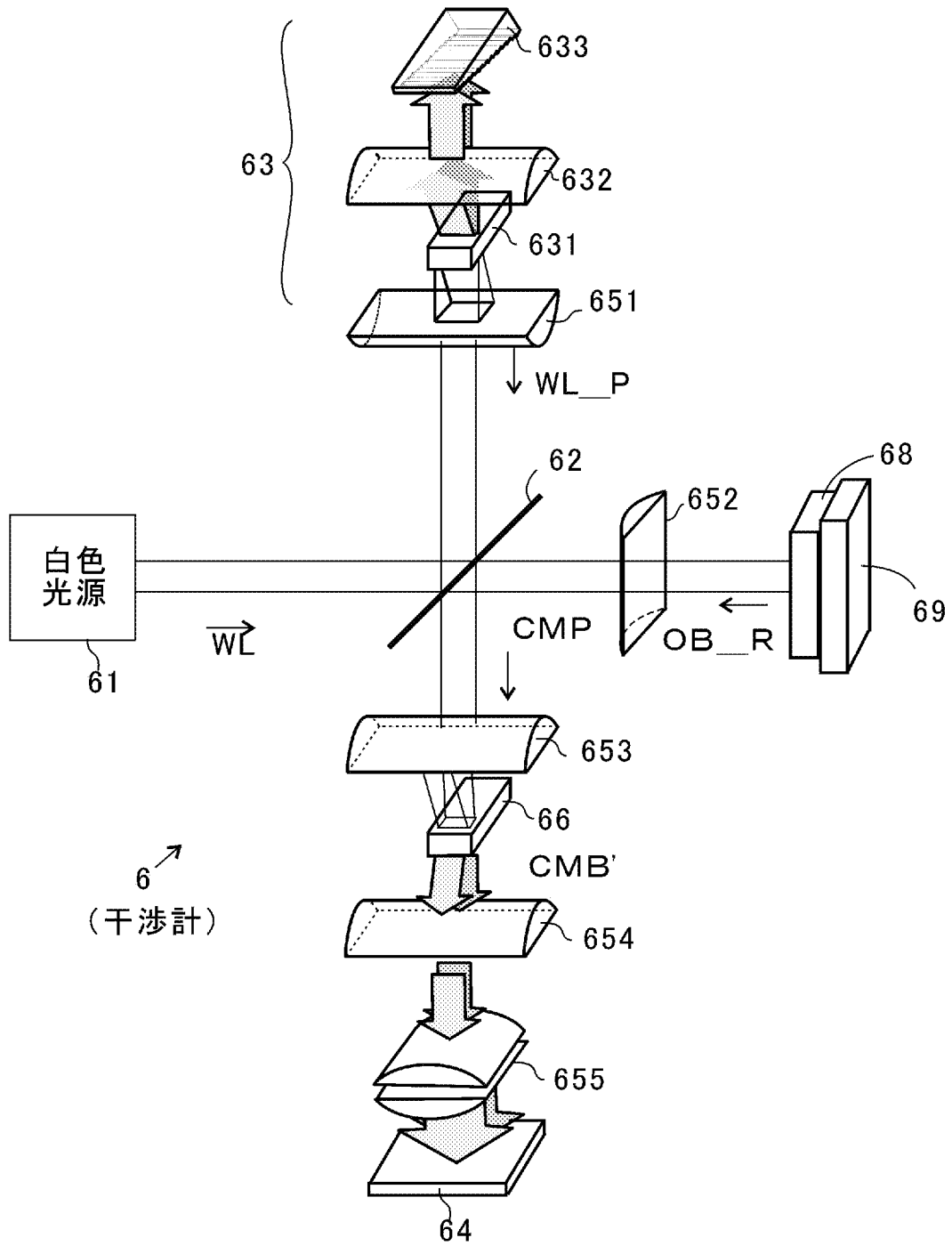
[図7]



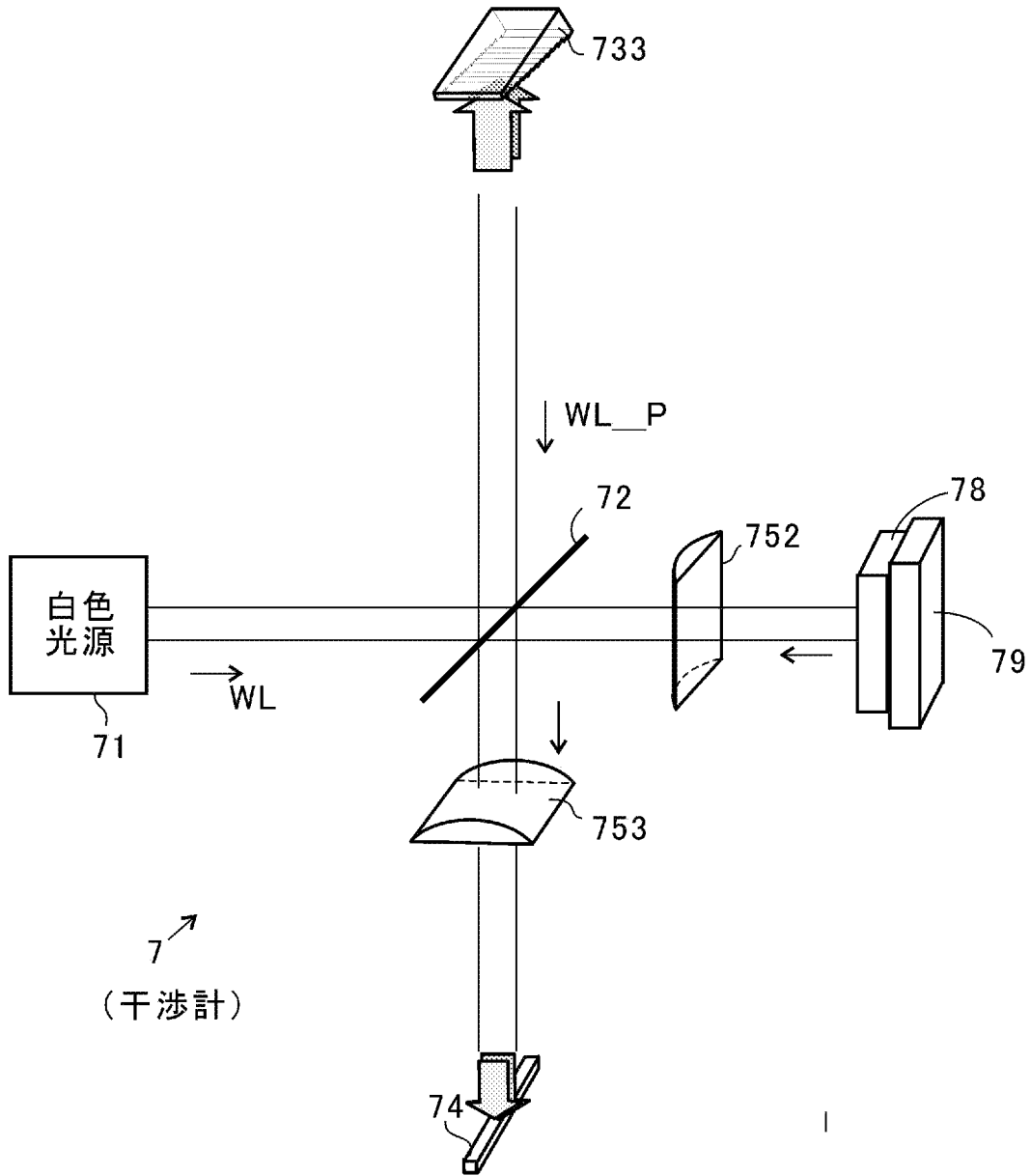
[図8]



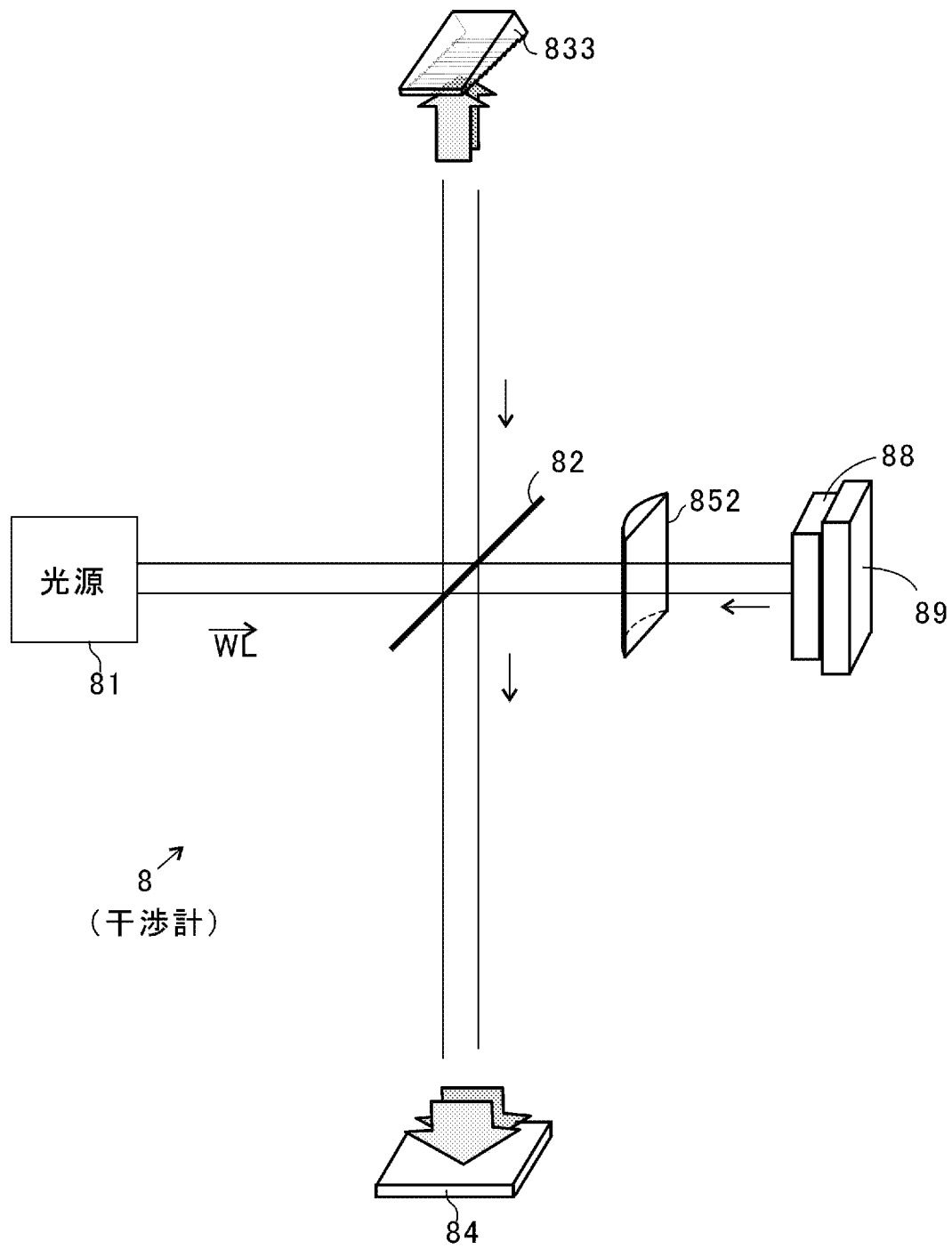
[図9]



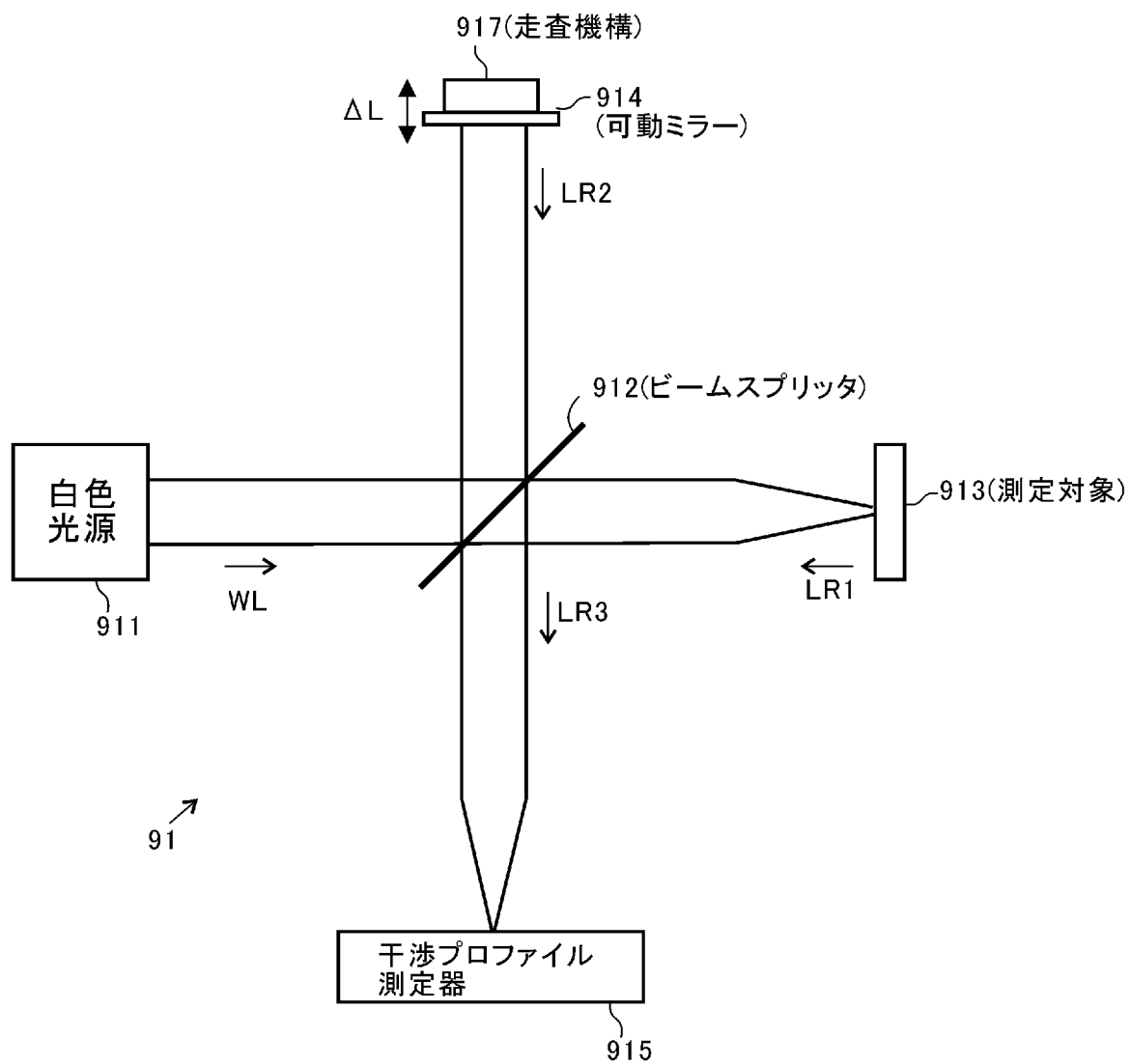
[図10]



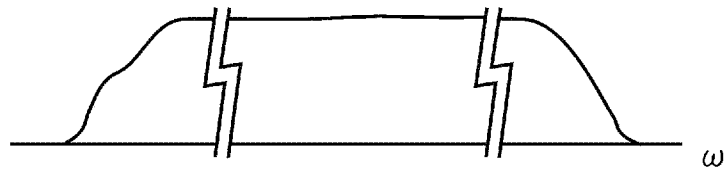
[図11]



[図12]

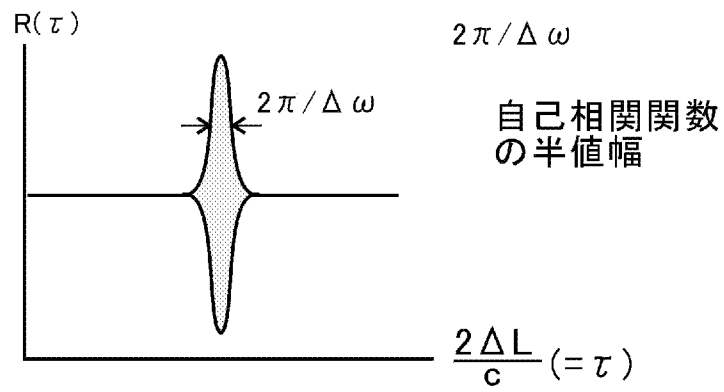


[図13]



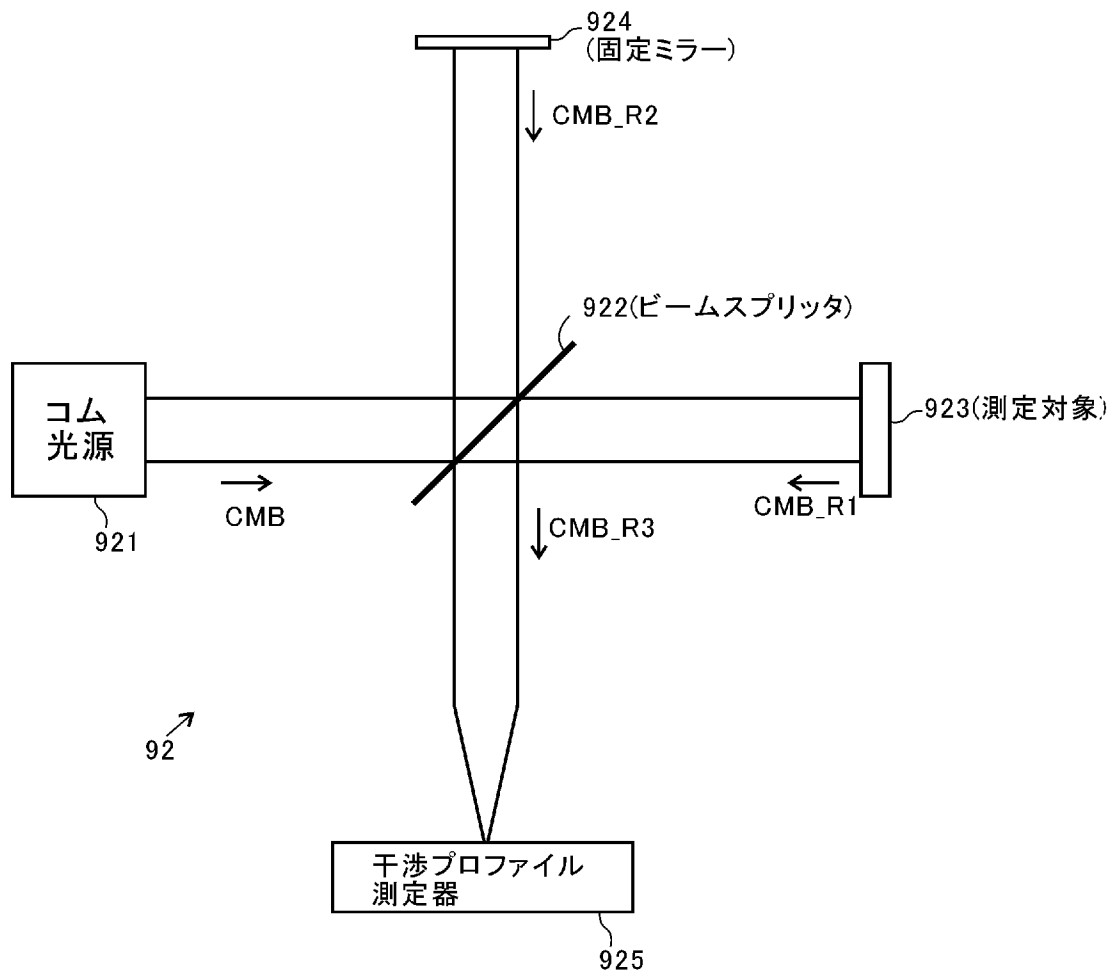
白色光WLの
パワースペクトル図

(A)

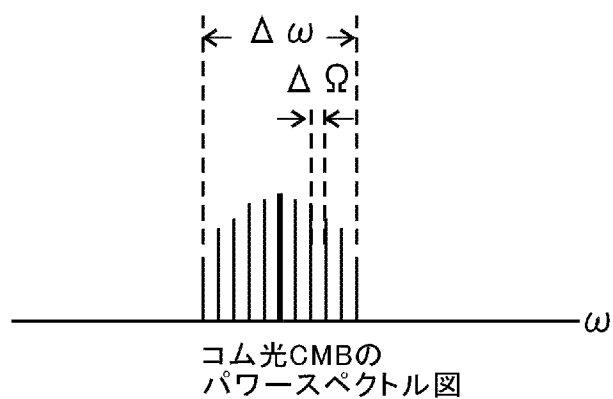


(B)

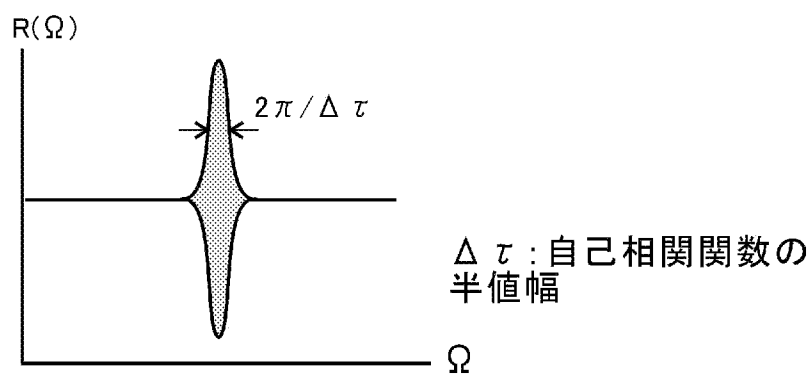
[図14]



[図15]



(A)



(B)

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.

PCT/JP2010/055771

A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER

G01B9/02(2006.01)i, G01B11/00(2006.01)i, G01B11/24(2006.01)i

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)

G01B9/02, G01B11/00, G01B11/24

Documentation searched other than minimum documentation to the extent that such documents are included in the fields searched

Jitsuyo Shinan Koho	1922-1996	Jitsuyo Shinan Toroku Koho	1996-2010
Kokai Jitsuyo Shinan Koho	1971-2010	Toroku Jitsuyo Shinan Koho	1994-2010

Electronic data base consulted during the international search (name of data base and, where practicable, search terms used)

WPI, JSTPlus (JDreamII)

C. DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
X A	JP 2001-91223 A (Olympus Optical Co., Ltd.), 06 April 2001 (06.04.2001), paragraphs [0059] to [0092]; fig. 2 to 3 (Family: none)	1, 4 2, 3, 5, 6
A	JP 2007-515220 A (Carl Zeiss AG.), 14 June 2007 (14.06.2007), paragraphs [0022], [0026] to [0031]; fig. 2 & WO 2005/060823 A1 & US 2007/0013918 A1 & DE 10360570 A1	1-6
A	JP 2009-53148 A (Mitsutoyo Corp.), 12 March 2009 (12.03.2009), entire text; fig. 1 to 8 (Family: none)	1-6

Further documents are listed in the continuation of Box C.

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

“T” later document published after the international filing date or priority date and not in conflict with the application but cited to understand the principle or theory underlying the invention

“X” document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered novel or cannot be considered to involve an inventive step when the document is taken alone

“Y” document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered to involve an inventive step when the document is combined with one or more other such documents, such combination being obvious to a person skilled in the art

“&” document member of the same patent family

Date of the actual completion of the international search
26 May, 2010 (26.05.10)

Date of mailing of the international search report
08 June, 2010 (08.06.10)

Name and mailing address of the ISA/
Japanese Patent Office

Authorized officer

Facsimile No.

Telephone No.

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.

PCT/JP2010/055771

C (Continuation). DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
A	JP 2007-333470 A (Hamamatsu Photonics Kabushiki Kaisha), 27 December 2007 (27.12.2007), entire text; fig. 1 to 18 (Family: none)	1-6
A	JP 2001-227911 A (Kanagawa Academy of Science and Technology), 24 August 2001 (24.08.2001), entire text; fig. 1 to 14 & US 2001/0045513 A1	1-6

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.

PCT/JP2010/055771

Box No. II Observations where certain claims were found unsearchable (Continuation of item 2 of first sheet)

This international search report has not been established in respect of certain claims under Article 17(2)(a) for the following reasons:

1. Claims Nos.:
because they relate to subject matter not required to be searched by this Authority, namely:

2. Claims Nos.:
because they relate to parts of the international application that do not comply with the prescribed requirements to such an extent that no meaningful international search can be carried out, specifically:

3. Claims Nos.:
because they are dependent claims and are not drafted in accordance with the second and third sentences of Rule 6.4(a).

Box No. III Observations where unity of invention is lacking (Continuation of item 3 of first sheet)

This International Searching Authority found multiple inventions in this international application, as follows:

The matter common to the inventions in claims 1-6 is an interferometer comprising a light source for generating wide band light, an optical path length modulator for generating the modulated light having an optical path length changed according to the unidimensional position on a cross section vertical to the propagation direction, an optical system for emitting and reflecting the wide band light generated by the light source to and from an object to be measured, and a light detector for receiving the modulated light generated by the light path length modulator and the reflected light from the object to be measured. (continued to extra sheet)

1. As all required additional search fees were timely paid by the applicant, this international search report covers all searchable claims.
2. As all searchable claims could be searched without effort justifying additional fees, this Authority did not invite payment of additional fees.
3. As only some of the required additional search fees were timely paid by the applicant, this international search report covers only those claims for which fees were paid, specifically claims Nos.:

4. No required additional search fees were timely paid by the applicant. Consequently, this international search report is restricted to the invention first mentioned in the claims; it is covered by claims Nos.:

- Remark on Protest**
- The additional search fees were accompanied by the applicant's protest and, where applicable, the payment of a protest fee.
 - The additional search fees were accompanied by the applicant's protest but the applicable protest fee was not paid within the time limit specified in the invitation.
 - No protest accompanied the payment of additional search fees.

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.

PCT/JP2010/055771

Continuation of Box No.III of continuation of first sheet (2)

However, the search has revealed that the matter is not novel since it is disclosed in document JP 2001-91223 A (Olympus Optical Co., Ltd.), 06 April 2001 (06.04.2001), paragraphs [0059]-[0092], fig. 2-3. Since the matter makes no contribution over the prior art, it is not a special technical feature in the meaning of the second sentence of PCT rule 13.2. Therefore, there is no matter common to all the inventions in claims 1-6. Since there is no other common matter considered to be a special technical feature in the meaning of the second sentence of PCT rule 13.2, any technical relation in the meaning of PCT rule 13 cannot be found among these different inventions. As a result, it is obvious that the inventions in claims 1-6 do not satisfy the requirement of unity of invention.

第II欄 請求の範囲の一部の調査ができないときの意見（第1ページの2の続き）

法第8条第3項（PCT17条(2)(a)）の規定により、この国際調査報告は次の理由により請求の範囲の一部について作成しなかった。

1. 請求項 _____ は、この国際調査機関が調査をすることを要しない対象に係るものである。つまり、

2. 請求項 _____ は、有意義な国際調査をすることができる程度まで所定の要件を満たしていない国際出願の部分に係るものである。つまり、

3. 請求項 _____ は、従属請求の範囲であってPCT規則6.4(a)の第2文及び第3文の規定に従って記載されていない。

第III欄 発明の単一性が欠如しているときの意見（第1ページの3の続き）

次に述べるようにこの国際出願に二以上の発明があるところの国際調査機関は認めた。

請求項1-6に係る発明の共通の事項は、広帯域光を生成する光源と、伝播方向に垂直な断面上での一次元位置に応じて光路長が変化した変調光を生成する光路長変調器と、前記光源が生成した広帯域光を測定対象に照射し反射させる光学系と、前記光路長変調器が生成した変調光と前記測定対象からの反射光とを受光する光検出器とからなる干渉計である。しかしながら、調査の結果、前記事項は、文献JP 2001-91223 A（オリンパス光学工業株式会社）2001.04.06、段落番号【0059】-【0092】、第2-3図に開示されているから、新規でないことが明らかとなった。結果として、前記事項は、先行技術の域を出ないから、PCT規則13.2の第2文の意味において特別な技術的特徴ではない。それ故、請求項1-6に係る発明すべてに共通の事項はない。PCT規則13.2の第2文の意味において特別な技術的特徴と考えられる他の共通の事項は存在しないので、それらの相違する発明の間にPCT規則13の意味における技術的な関連を見いだすことはできない。よって、請求項1-6に係る発明は発明の単一性を満たしていないことが明らかである。

1. 出願人が必要な追加調査手数料をすべて期間内に納付したので、この国際調査報告は、すべての調査可能な請求項について作成した。
2. 追加調査手数料を要求するまでもなく、すべての調査可能な請求項について調査することができたので、追加調査手数料の納付を求めなかった。
3. 出願人が必要な追加調査手数料を一部のみしか期間内に納付しなかったため、この国際調査報告は、手数料の納付のあった次の請求項のみについて作成した。
4. 出願人が必要な追加調査手数料を期間内に納付しなかったため、この国際調査報告は、請求の範囲の最初に記載されている発明に係る次の請求項について作成した。

追加調査手数料の異議の申立てに関する注意

- 追加調査手数料及び、該当する場合には、異議申立手数料の納付と共に、出願人から異議申立てがあった。
- 追加調査手数料の納付と共に出願人から異議申立てがあったが、異議申立手数料が納付命令書に示した期間内に支払われなかった。
- 追加調査手数料の納付はあったが、異議申立てはなかった。

A. 発明の属する分野の分類 (国際特許分類 (IPC))
 Int.Cl. G01B9/02(2006.01)i, G01B11/00(2006.01)i, G01B11/24(2006.01)i

B. 調査を行った分野
 調査を行った最小限資料 (国際特許分類 (IPC))
 Int.Cl. G01B9/02, G01B11/00, G01B11/24

最小限資料以外の資料で調査を行った分野に含まれるもの
 日本国実用新案公報 1922-1996年
 日本国公開実用新案公報 1971-2010年
 日本国実用新案登録公報 1996-2010年
 日本国登録実用新案公報 1994-2010年

国際調査で使用した電子データベース (データベースの名称、調査に使用した用語)
 WPI, JSTPlus(JDreamII)

C. 関連すると認められる文献

引用文献の カテゴリー*	引用文献名 及び一部の箇所が関連するときは、その関連する箇所の表示	関連する 請求項の番号
X A	JP 2001-91223 A (オリンパス光学工業株式会社) 2001.04.06, 段落【0059】-【0092】、第2-3図 (ファミリーなし)	1, 4 2, 3, 5, 6
A	JP 2007-515220 A (カールツァイス アーゲー) 2007.06.14, 段落【0022】、【0026】-【0031】、第2図 & WO 2005/060823 A1 & US 2007/0013918 A1 & DE 10360570 A1	1-6
A	JP 2009-53148 A (株式会社ミットヨ) 2009.03.12, 全文, 第1-8図 (ファミリーなし)	1-6

C欄の続きにも文献が列挙されている。 パテントファミリーに関する別紙を参照。

<p>* 引用文献のカテゴリー 「A」特に関連のある文献ではなく、一般的な技術水準を示すもの 「E」国際出願日前の出願または特許であるが、国際出願日以後に公表されたもの 「L」優先権主張に疑義を提起する文献又は他の文献の発行日若しくは他の特別な理由を確立するために引用する文献 (理由を付す) 「O」口頭による開示、使用、展示等に言及する文献 「P」国際出願日前で、かつ優先権の主張の基礎となる出願</p>	<p>の日の後に公表された文献 「T」国際出願日又は優先日後に公表された文献であって出願と矛盾するものではなく、発明の原理又は理論の理解のために引用するもの 「X」特に関連のある文献であって、当該文献のみで発明の新規性又は進歩性がないと考えられるもの 「Y」特に関連のある文献であって、当該文献と他の1以上の文献との、当業者にとって自明である組合せによって進歩性がないと考えられるもの 「&」同一パテントファミリー文献</p>
--	---

国際調査を完了した日 26.05.2010	国際調査報告の発送日 08.06.2010
国際調査機関の名称及びあて先 日本国特許庁 (ISA/JP) 郵便番号100-8915 東京都千代田区霞が関三丁目4番3号	特許庁審査官 (権限のある職員) 小野寺 麻美子 電話番号 03-3581-1101 内線 3258

C (続き) . 関連すると認められる文献		
引用文献の カテゴリー*	引用文献名 及び一部の箇所が関連するときは、その関連する箇所の表示	関連する 請求項の番号
A	JP 2007-333470 A (浜松ホトニクス株式会社) 2007. 12. 27, 全文, 第 1 - 1 8 図 (ファミリーなし)	1 - 6
A	JP 2001-227911 A (財団法人神奈川科学技術アカデミー) 2001. 08. 24, 全文, 第 1 - 1 4 図 & US 2001/0045513 A1	1 - 6