

(19) 日本国特許庁(JP)

(12) 特許公報(B2)

(11) 特許番号

特許第3553451号
(P3553451)

(45) 発行日 平成16年8月11日(2004.8.11)

(24) 登録日 平成16年5月14日(2004.5.14)

(51) Int. Cl.⁷

F I

GO 1 N 21/17

GO 1 N 21/17 6 2 0

GO 1 B 11/24

GO 1 N 21/45 A

GO 1 N 21/45

GO 1 B 11/24 B

請求項の数 9 (全 16 頁)

<p>(21) 出願番号 特願2000-40883 (P2000-40883)</p> <p>(22) 出願日 平成12年2月18日(2000.2.18)</p> <p>(65) 公開番号 特開2001-228080 (P2001-228080A)</p> <p>(43) 公開日 平成13年8月24日(2001.8.24)</p> <p>審査請求日 平成14年9月26日(2002.9.26)</p>	<p>(73) 特許権者 503360115 独立行政法人 科学技術振興機構 埼玉県川口市本町4丁目1番8号</p> <p>(73) 特許権者 000209588 丹野 直弘 山形県山形市松見町15番27号</p> <p>(74) 代理人 100089635 弁理士 清水 守</p> <p>(72) 発明者 丹野 直弘 山形県山形市松見町15番27号</p> <p>審査官 樋口 宗彦</p>
---	---

最終頁に続く

(54) 【発明の名称】 光干渉断層像観測装置

(57) 【特許請求の範囲】

【請求項1】

回転体の円周部に一つの頂角を90度にしたリトロリフレクタープリズムを、前記リトロリフレクタープリズムの頂角の対角面を円周の接線におよそ直交するように設け、前記対角面に光束を入射させる時、該入射方向と平行に前記光束を反射する該プリズムの特性を利用し、前記回転体の回転とともに反射点を一定方向に走査することができ、光の進行方向に回転する場合は遅延反射する光束を、回転が反対の場合は漸進反射する光束を回転に応じて周期的に発生する回転プリズム装置を具備するとともに、低コヒーレンス光源よりの光束を2分割する手段と、一方の光束を参照光として、前記反射点の回転走査により遅延または漸進ドップラーシフト周波数となる反射光束を得るとともに、他方の光束を屈折率分布が多層構造を成す被測定物体に収束し、前記多層構造体深部の散乱ポテンシャルよりの物体反射光を捕捉する対物レンズを具備し、前記参照光と前記物体反射光とが前記2分割時点より等光学光路長にて合波干渉した場合のみ最大の干渉信号を得ることを特徴とした前記低コヒーレンス性に基づく前記シフト周波数のビート信号を得る所のヘテロダイン検波する光検出器を具備し、前記遅延または漸進する反射光束の走査反射点を座標として算出する手段と、前記ビート信号よりの該被測定物体の深部散乱ポテンシャルに基づく反射振幅と前記座標を画素情報として反射断層像分布を計測・表示できる信号制御処理システムと電子計算機およびディスプレイを具備したことを特徴とする光干渉断層像観測装置。

【請求項2】

10

20

請求項 1 記載の光干渉断層像観測装置において、前記反射光束の走査反射点を座標として算出する手段に、前記回転プリズムからの偏角反射光を捕捉する光検出器を配備し、前記反射光の発生する前に該偏角反射光を検出してタイミングパルスを形成し、前記回転プリズムの回転周波数と回転円周長および回転角から前記走査反射点を算出して前記散乱ポテンシャルの座標とすることを特徴とする光干渉断層像観測装置。

【請求項 3】

請求項 1 記載の光干渉断層像観測装置において、前記低コヒーレンス光源よりの光束の進行方向を Z 軸とし、前記光束を 2 分割手段に半透明反射鏡を具備し、前記光束の半透明反射鏡を透過する一方の光束の方向に前記対物レンズを配備し物体照射光となし、前記半透明反射鏡より反射する他方の光束を参照光としその方向を Y 軸とし、前記光源と半透明反射鏡および対物レンズを一体構造とし、該一体構造を Y 軸を中心に回転する機構を配備して回転させることにより被測定物体への照射点を X 軸方向に走査し X - Z 面の 2 次元光反射断層像を観測できる構成としたことを特徴とする光干渉断層像観測装置。

10

【請求項 4】

請求項 1 記載の光干渉断層像観測装置において、各手段を一ケース内に収納配備するとともに、前記光検出器の前に前記低コヒーレンス光源の波長帯域のみを反射する誘電体多層膜反射鏡を配備し前記合波干渉波を反射して前記光検出器に導き、他方前記低コヒーレンス光源と異なる波長帯域の光源を具備し前記光源よりの光束を別途ハーフミラーを配備して前記誘電体多層膜反射鏡と前記ハーフミラーおよび対物レンズを通過させ、被測定物体に照射して表面よりの反射光を同光路を逆行させさらに前記別途ハーフミラーを透過させ、前記対物レンズの拡大作用により前記表面像を結像させ顕微映像化する CCD カメラを同一ケース内に具備し、該ケース外に表示器を装備し、あらかじめ該物体の測定位置を観測できる構成としたことを特徴とする光干渉断層像観測装置。

20

【請求項 5】

請求項 4 記載の光干渉断層像観測装置において、前記収納ケースに握り端子を装備して、前記測定点の観察にて測定位置決めと同時に前記断層像測定データの取り込みを開始するスイッチを前記握り端子に具備したことを特徴とする光干渉断層像観測装置。

【請求項 6】

請求項 3 記載の光干渉断層像観測装置において、前記一体構造を 90 度偏角して配備した前記収納ケースを乗せる前記 X 軸を中心に回転する回転機構を具備し、前記 X - Z 面の 2 次元光反射断層像を観測すると共に該回転機構によって Y 軸方向にも走査して、3 次元光反射断層像を観測できることを特徴とする光干渉断層像観測装置。

30

【請求項 7】

請求項 6 記載の光干渉断層像観測装置において、前記対物レンズを眼底検査用対物レンズに代替し配備し、物体照射光をガルバノミラーを配備して走査する構成としたことを特徴とする光干渉断層像観測装置。

【請求項 8】

請求項 1 乃至 6 のいずれか 1 項に記載の光干渉断層像観測装置において、前記参照光路を折り返し反射鏡群を配備して長尺光路長とし、さらに前記光束 2 分割ハーフミラーより物体にいたる光路に前記長尺光路長に応じた光ファイバ束を配備して遠隔計測ができる構成としたことを特徴とする光干渉断層像観測装置。

40

【請求項 9】

請求項 1 乃至 6 のいずれか 1 項に記載の光干渉断層像観測装置において、前記参照光路に光ファイバを配備して長尺光路長とし、さらに前記光束 2 分割ハーフミラーより物体にいたる光路に前記長尺光路長に応じた映像伝送可能な光ファイバを配備して遠隔計測ができる構成としたことを特徴とする光干渉断層像観測装置。

【発明の詳細な説明】

【0001】

【発明の属する技術分野】

本発明は、例えば高光散乱媒体である生体などの内部に位置する微小物体などを散乱中心

50

とする散乱ポテンシャルからの後方散乱光波を検出し、高散乱体からの反射光といえどもコヒーレンスが残存することを利用し、低コヒーレンス光のコヒーレンス長の短さを利用した干渉計測する手段で散乱位置情報と反射振幅情報を取得して、これらの検出を物体内部の走査により、1次元あるいは2次元さらには3次元の多次元画像情報を構築する技術に係り、例えば生体などの光散乱媒体の断層像を遠隔装置にて容易に観測できるようにした光干渉断層像観測装置に関するものである。

【0002】

【従来の技術】

高光散乱媒体である生体の反射断層像を得る試みは、低コヒーレンス光を用いて干渉計を構成することから始まる〔丹野 直弘「光学」第28巻、第3号、P116-125(1999)参照〕。図12及び図13を例示して、従来技術を説明する。 10

【0003】

図12は本願発明者らによって提案された従来光波反射像測定装置の構成図である。

【0004】

この光波反射像測定装置では、低コヒーレンス(部分的コヒーレンスとも表現する)光源71よりの光束を直ちにマイケルソン干渉計に導入し、ビームスプリッター73により分割し、一方を参照光として周波数シフトを与え、物体奥行き位置情報の走査を兼ねる可動反射鏡72により反射して光検出素子75に入射させる。他方の透過光は物体照射光として被測定物体74の深部に至る屈折率の異なる散乱体の層から散乱反射され物体反射光波となり、ビームスプリッター73により先の参照光と合波干渉され、光検出素子75よりビート信号が検出されるものである。該照射光と物体の位置関係を変化させ走査して、検出された電気信号はフィルターや増幅信号処理部を経て、コンピュータで記録、画像化されて反射断層像が得られる。 20

【0005】

他方、本原理に基づく構成を光路に光ファイバを配備して、振動対策や取り扱いを簡便化したのが図13に示す従来断層像観測装置の構成図である(例えば、特表平6-511312号)である。

【0006】

図13に示すように、光源81よりの光束はファイバ82内を導波し、分岐合波回路86を経て、一方はファイバ出射端より凸レンズ83にて集光し物体84より物体反射光波が形成される。他方の光束はピエゾ振動位相シフター85により周波数シフトが与えられ、可動反射鏡80により反射されて参照光を形成し、分岐合波回路86を経て合波干渉されて光検出素子87に入射し、先と同様にして反射断層像が観測されるものである。 30

【0007】

従来干渉測定法では、いずれも光反射位置(基準反射位置)情報を走査する可動反射鏡を用いているがこれは一般にリニアアクチュエータやガルバノモーターに取り付けた反射ミラーであり、リニアアクチュエータはギアによって前後に物体移動させるものであるため数mm/secの低速である。他方、長尺のファイバーをPZTなどの電歪素子に巻き付けその伸縮で反射光路長を変化させる方法もある。

【0008】

【発明が解決しようとする課題】

上記した従来方法の内、リニアアクチュエータ等に取り付けた反射ミラーでは、高速掃引が困難であり、周期的に前後させるとバックラッシュなどのため線形性に欠ける問題がある。 40

【0009】

他方、長尺のファイバーをPZTなどの電歪素子に巻き付けその伸縮で反射光路長を変化させる方法では、参照光路長が必要以上に長くなり、温度変化や物体光路長も長くせざるを得ないなど問題がある。

【0010】

また、リニアアクチュエータでも電歪素子でも、いずれも装置が大きいため、干渉計を含 50

めて小型で可搬性ある装置とすることが困難である。

【0011】

さらに、低速掃引では断層像計測に多大な時間を要し生体や移動体の検査に適用することが困難である。また、参照光路長や反射光路長を必要以上に長く取ると信号光の減衰を招き、画像情報の取得に際し、S Nの低減を生じ、物体深部情報の観測が困難になるなどの問題が発生する。

【0012】

本発明は、上記問題点を解決するために、回転するリトロリフレクタープリズムを配備して、該プリズムの元来た方向へ光束反射し、入射角が90度頂角の対角面に傾斜しても正確に入射方向へ反射する特性を利用して、回転によって反射点が回転円周上を移動しつつさらに該対角面が傾斜しても、光束に遅延反射或いは漸進反射を与えつつも入射方向を違えることなく反射できる方法とその具体的な装備を提案し、さらに、小型で高速回転するモーターにプリズムを装備するのみで、確実な高速走査反射鏡と本発明の目的とする光反射断層像観測に小型・簡便・可搬なあらたな実用装置への道を開くもので、広ダイナミックレンジでさらに高S Nで反射信号を高速走査抽出して、生体などの深部断層の静的あるいは動的構造を検知し多次元画像化して観測可能とする光干渉断層像観測装置を提供することを目的とする。

【0013】

【課題を解決するための手段】

本発明は、上記目的を達成するため、

(1) 光干渉断層像観測装置において、回転体の円周部に一つの頂角を90度にしたリトロリフレクタープリズムを、該リトロリフレクタープリズムの頂角の対角面を円周の接線におよそ直交するように設け、前記対角面に光束を入射させる時、該入射方向と平行に前記光束を反射する前記プリズムの特性を利用し、前記回転体の回転とともに反射点を一定方向に走査することができ、光の進行方向に回転する場合は遅延反射する光束を、回転が反対の場合は漸進反射する光束を回転に応じて周期的に発生する回転プリズム装置を具備するとともに、低コヒーレンス光源よりの光束を2分割する手段と、一方の光束を参照光として、前記反射点の回転走査により遅延または漸進しドップラーシフト周波数となる反射光束を得るとともに、他方の光束を屈折率分布が多層構造を成す被測定物体に収束し、前記多層構造体深部の散乱ポテンシャルよりの物体反射光を捕捉する対物レンズを具備し、前記参照光と前記物体反射光とが前記2分割時点より等光学光路長にて合波干渉した場合のみ最大の干渉信号を得ることを特徴とした前記低コヒーレンス性に基づく前記シフト周波数のビート信号を得る所のヘテロダイン検波する光検出器を具備し、前記遅延または漸進する反射光束の走査反射点を座標として算出する手段と、前記ビート信号よりの該被測定物体の深部散乱ポテンシャルに基づく反射振幅と前記座標を画素情報として反射断層像分布を計測・表示できる信号制御処理システムと電子計算機およびディスプレイを具備したことを特徴とする。

【0014】

(2) 上記(1)記載の光干渉断層像観測装置において、前記反射光束の走査反射点を座標として算出する手段に、前記回転プリズムからの偏角反射光を捕捉する光検出器を配備し、前記反射光の発生する前に該偏角反射光を検出してタイミングパルスを形成し、前記回転プリズムの回転周波数と回転円周長および回転角から前記走査反射点を算出して前記散乱ポテンシャルの座標とすることを特徴とする。

【0015】

(3) 上記(1)記載の光干渉断層像観測装置において、前記低コヒーレンス光源よりの光束の進行方向をZ軸とし、前記光束を2分割手段に半透明反射鏡を具備し、前記光束の半透明反射鏡を透過する一方の光束の方向に前記対物レンズを配備し物体照射光となし、前記半透明反射鏡より反射する他方の光束を参照光としその方向をY軸とし、前記光源と半透明反射鏡および対物レンズを一体構造とし、該一体構造をY軸を中心に回転する機構を配備して回転させることにより被測定物体への照射点をX軸方向に走査しX-Z面の2

10

20

30

40

50

次元光反射断層像を観測できる構成としたことを特徴とする。

【0016】

〔4〕上記〔1〕記載の光干渉断層像観測装置において、各手段を一ケース内に収納配備するとともに、前記光検出器の前に前記低コヒーレンス光源の波長帯域のみを反射する誘電体多層膜反射鏡を配備し前記合波干渉波を反射して前記光検出器に導き、他方前記低コヒーレンス光源と異なる波長帯域の光源を具備し前記光源よりの光束を別途ハーフミラーを配備して前記誘電体多層膜反射鏡と前記ハーフミラーおよび対物レンズを通過させ、被測定物体に照射して表面よりの反射光を同光路を逆行させさらに前記別途ハーフミラーを透過させ、前記対物レンズの拡大作用により前記表面像を結像させ顕微映像化するCCDカメラを同一ケース内に具備し、そのケース外に表示器を装備し、あらかじめ該物体の測定位置を観測できる構成としたことを特徴とする。

10

【0017】

〔5〕上記〔4〕記載の光干渉断層像観測装置において、前記収納ケースに握り端子を装備して、前記測定点の観察にて測定位置決めと同時に前記断層像測定データの取り込みを開始するスイッチを前記握り端子に具備したことを特徴とする。

【0018】

〔6〕上記〔3〕記載の光干渉断層像観測装置において、前記一体構造を90度偏角して配備した前記収納ケースを乗せる前記X軸を中心に回転する回転機構を具備し、前記X-Z面の2次元光反射断層像を観測すると共に該回転機構によってY軸方向にも走査して、3次元光反射断層像を観測できることを特徴とする。

20

【0019】

〔7〕上記〔6〕記載の光干渉断層像観測装置において、前記対物レンズを眼底検査用対物レンズに代替し配備し、物体照射光をガルバノミラーを配備して走査する構成としたことを特徴とする。

【0020】

〔8〕上記〔1〕乃至〔6〕のいずれか1項に記載の光干渉断層像観測装置において、前記参照光路を折り返し反射鏡群を配備して長尺光路長とし、さらに前記光束2分割ハーフミラーより物体にいたる光路に前記長尺光路長に応じた光ファイバ束を配備して遠隔計測ができる構成としたことを特徴とする。

【0021】

〔9〕上記〔1〕乃至〔6〕のいずれか1項に記載の光干渉断層像観測装置において、前記参照光路に光ファイバを配備して長尺光路長とし、さらに前記光束2分割ハーフミラーより物体にいたる光路に前記長尺光路長に応じた映像伝送可能な光ファイバを配備して遠隔計測ができる構成としたことを特徴とする。

30

【0022】

【発明の実施の形態】

以下、本発明の実施形態について詳細に説明する。

【0023】

図1は本発明の実施例を示す反射点走査回転プリズム装置の構成図であり、図1(a)はその装置の上面図、図1(b)はその装置の側面図である。図2はその反射点走査回転プリズム装置の45度直角プリズムにおける光反射の特性を説明する図であり、図2(a)は入射光が対角面に直角入射する場合の反射光、図2(b)はプリズムの回転によって偏角入射の場合の反射光の説明図である。

40

【0024】

これらの図に示すように、低コヒーレンス光源からの入射光束2を回転プリズム1に入射させる。回転プリズム1は、図2に示すように、一つの頂角が90度をなすリトロリフレクタープリズムであり、90度を成す辺には光を反射する金属、例えば、アルミニウム反射薄膜1aが蒸着されている。本プリズム1は、図1に示すように、回転体としての回転板4に負荷のバランスを考慮して2個あるいは3個を回転軸に対称に配置し取り付ける。回転はモーター3の動力によって行う。図1では 方向に回転する場合を例示している。

50

【0025】

まず、リトロリフレクタープリズムにおける光反射の特性を、図2を参照しながら説明する。

【0026】

対角面BCに垂直に光束が入射する光線Uの場合は、図2(a)に示すように、プリズム内部で2辺(AB, AC)への45度入射を繰り返し反射する光線Uとなり、正確に元来た方向へ戻る。この時、光束断面を頂角の中心線に対称にとると、左半分は右側に反射し、右半分は点線で示すように左側に反射するので、光束としては、全波面が正しく入射方向に平行に反射する光束となる。

【0027】

一方、本プリズム1を、回転軸Oを中心に回転角 θ だけ回転させた場合を考えると、図2(b)に示すような内部反射となる。すなわち、対角辺BCへ θ で入射し、プリズムガラスの屈折率を n とすると、辺ABへの入射角 θ_0 は $(45^\circ - \theta)$ となる。ここで、 θ_0 はスネルの法則から $\sin^{-1}(\sin \theta / n)$ で決まる。辺ACからの反射光線は図の線分sに対し、辺ABへの入射光線と成す角が同じになるので、また、スネルの法則によって反射光線U'は入射光線Uと平行になる。このとき、回転角と光束半径 r に依存して、反射光線は右方向へずれる。本発明において、例えば光束半径を6mmとし、走査したい反射点の距離はたかだか $L = \pm 1$ mm程度であるので、回転半径ORを7.5mmにすると、回転角 θ が ± 7.6 度である。この時の反射光軸のシフト量は10%程度である。入射光束の直径に対し、本発明における光干渉検出には問題とならないものである。本リトロリフレクタープリズムには、頂角90度を成す辺を2面のみとする45度直角プリズムや、6面を有するコーナーキューブプリズムや、円錐面を有するものなどがあり、後2者は上下左右いずれの方向から光束が入射しても、元来た方向に反射させられるものである。本実施例では、全光束断面がプリズムの対角面BC内に入射する場合のみ良好な遅延反射光がえられるが、辺BC長を10mmとすれば、この回転角で十分に条件を満たす。本実施例に示すように、所望の光反射点の走査距離2mmに対し、回転角を15.2度回転させることにより得られる。

【0028】

また、本発明では繰り返し走査が必要であるが、モーターの回転数を、例えば6000rpmとすれば、図1に示す3個のプリズムの反射により、300Hzの周期で反射光が得られ、高速遅延反射光を発生できる。回転数6000rpmは市販の小型モーターで容易に実現できるものである。回転の方向を例示した方向と逆向きにすれば漸進反射光を発生できることは明らかであり、モーター電源5の電圧を調節することで任意の周期での遅延(漸進)反射光を発生できる特徴がある。

【0029】

図3に前記回転プリズム装置を組み込んだ光干渉断層像観測装置の構成の実施例を示す。

【0030】

この図に示すように、低コヒーレンス光源6は例えば発光ダイオードと凸レンズにより成り、略平行光束を出射する。該光源6の中心波長 λ は例えば $0.88 \mu\text{m}$ であり、波長幅 $\Delta\lambda$ は40nmで、コヒーレンス長に基づく空間分解能 Z は $8.5 \mu\text{m}$ と見積もられる。光源6からの出射光束はハーフミラー7で2分割され、一方は反射鏡8で反射され、前記実施例の回転プリズム1に入射して、所定の位置の遅延反射光2となり参照光として戻る。

【0031】

このとき、高速回転プリズム1からの反射光はドップラーシフト周波数 f_b を有する。例えば、前記実施例では、円周点の回転角速度から、 $f_b = 10.6 \text{ MHz}$ となる。他方の透過光は対物レンズ10を経て、被測定物体11に照射される。生体などの多層構造をなす物体深部からの物体反射光は、同対物レンズ10で集光されて戻り、先の反射鏡8により合波され干渉光となる。合波干渉光は反射鏡12で反射され、波長 $0.88 \mu\text{m}$ (波長幅40nm)のみを選択反射する誘電体多層膜反射鏡13により、図3では図面の鉛直方

10

20

30

40

50

向に反射させ、凸レンズ14で集光して、光検出器15に入射させる。参照光電界 E_r 、物体反射光電界 $E_s(x, y, z)$ とすると、光検出器15からの出力は、光電変換の2乗検波作用によりヘテロダインビート信号を含め次式で示されるように得られる。

【0032】

【数1】

$$I(x, y, z) = \frac{1}{2\pi\Delta f} \int_{-\infty}^{\infty} G(f) |E_r + E_s(x, y, z)|^2 df$$

$$= [DCterms] + E_r E_s(x, y, z) \sqrt{\frac{\pi}{\ln 2}} \cos(2\pi f_b t) \exp\left\{-\frac{\pi^2}{\ln 2} [\Delta f(\tau - z/c)]^2\right\}$$

10

ここで、 f は光源の周波数幅、 $G(f)$ はその周波数分布関数を表し、ここではガウス分布を仮定した。 $[DCterms]$ は背景雑音となる直流成分を表す。 $\tau = (d_r - d_s)/c$ 、ここで d_r はハーフミラー7から回転プリズム1の反射位置までの光学距離、 d_s は物体表面反射位置までの光学距離、 z は物体表面から深部反射位置までの距離をそれぞれ表す。従って、 τ は物体表面を基準にした回転プリズム1による遅延時間を表す。式(1)により、ビート周波数 f_b の正弦波がガウス関数で変調を受け、そのピークの位置が光波反射物体の奥行き z の深部座標 z を表し、その振幅が反射点の散乱ポテンシャルの散乱強度信号を表すことが分かる。なお、19は配線ターミナル、20は配線、60は1つのケースである。

20

【0033】

図4は本発明の合波干渉信号の各波形の例を示す図であり、図4(a)はタイミングパルスと静止ミラーの場合のビート信号波形、図4(b)は被測定物体深層からの反射物体分布を示すビート信号波形と測定点を同定するゲートパルスの設定図、図4(c)はビート周波数フィルタリングによる反射物体分布画像信号を示す図である。

【0034】

図4(a)は図3に示すフォトダイオード9からのタイミングパルスと物体の代りに静止ミラーを置いて、ドップラービート信号を観測した場合である。タイミングパルスは回転プリズム1が前記光束と重畳する前に、例えばプリズムの辺ABの金属反射薄膜1aからの反射光を事前に捕捉して得られるもので、各パルス間隙時間が回転プリズム1間の距離に該当する。これより、静止ミラーの相対位置が算出できる。ビート信号がパルス状になるのは式(1)に示す、低コヒーレント時間 c/f (c :光速)に基づくもので、物体深部Z軸方向の距離分解能 Z を与える。屈折率 n の物体内では Z/n となり、生体などでは、例えば本例では $6.5\mu\text{m}$ 程度となる。物体が多層構造を有する場合は、反射信号は図4(b)示すように観測される。入射光束2と回転プリズム1が接合する時間は限定されるので物体表面位置を同定してゲートパルスを掛けて、さらにビート周波数のみフィルタリングすれば、同図4(c)となる。被測定物体11への照射点位置を回転プリズム1ごとに走査すればX軸上の X_n, X_{n+1} と順次、信号が得られる。Z軸を前記分解能の距離毎に、またX軸は対物レンズ10の焦点径、例えば $20\mu\text{m}$ ごとに1ピクセルの画素信号として画像処理すれば、コンピュータ22上でプリズムの回転数の制御やデータの蓄積、適宜な演算処理を制御処理システム21を介して行うことにより、2次元断層像をディスプレイ上に観測時に直ちに表示できる特徴がある。

30

40

【0035】

本実施例では、被測定物体11の表面を対物レンズ10で顕微鏡として観測できる手段も具備している。すなわち、図3に示すように、例えば、高輝度発光ダイオード16を所定の位置に配備し、ハーフミラー17で図のように反射し、前記誘電体多層膜反射鏡13を透過させる。この時、発光ダイオード16の波長帯域を可視域に選択すれば良い。この可視光はハーフミラー7で反射されて、物体表面を照射する。その結果、反射光は戻り、ハーフミラー17を透過して、CCDカメラ18を配備して結像させる。たとえば、焦点距離 $f = 16\text{mm}$ の対物レンズ10を用い、接写レンズ付CCDカメラ18を後方に配置す

50

ると数十倍の顕微鏡像が得られるので、この像を別途配備した小型の液晶表示器 2 3 等で観察する。この時、低コヒーレント光源 6 の波長に赤色成分が若干含まれているので、断層像を観測したい照射点が顕微鏡視野内で同時に観測される。本方法によって、視野内の位置決めを可能にする特徴がある。

【 0 0 3 6 】

次に、図 5 に前記 X 軸方向への走査機構を装備した他の実施例を示す。

【 0 0 3 7 】

この図に示すように、低コヒーレント光源 6 とハーフミラー 7 (この例ではキューブハーフミラーを配備した) および対物レンズ 1 0 を一直線上に配備して連結一体構造 5 0 に構成する。反射光束および合波干渉光束の方向を図のように Y 軸とする。この時、連結一体構造 5 0 に偏角回転機構 5 1 を装備して、Y 軸の周りで、 $\theta = \pm 4.5$ 度程度回転させる機構とする。その結果、Y 軸より物体までの距離を例えば 4 0 mm 程度にすると、図 6 に示すように物体照射面で照射位置を X 軸方向に ± 3.0 mm 程度走査できることとなる。例えば、前記対物レンズ 1 0 の照射面での空間分解能 $20 \mu\text{m}$ を考慮して、X 軸を 3 0 0 点に分解する場合、前記回転プリズム 1 の 3 0 0 Hz での遅延光発生では、およそ 1 秒で走査すればよい。その結果、2 次元断層像はこの 1 秒で画像化できるものとなる。照射面はこの場合円弧を描くので、後の画像処理の際、あらかじめ補正面を算出して、画像化するものとする。

【 0 0 3 8 】

次に、小型簡便可搬型装置の実施例を図 7 に示す。

【 0 0 3 9 】

図 3 に示した制御処理システム 2 1 やコンピュータ 2 2、小型の液晶表示器 2 3 を外置きにして、図 7 に示すように、前記の各部品を 1 つのケース 6 0 内に収納し観測ヘッドとし、該ケース 6 0 に可搬用握り 6 0 a を装備し、さらに測定点が定まった場合のデータ取り込み開始・終了スイッチ SW を装備して、可搬性を持たせるものである。この場合、前記一体構造 5 0 a は図のように図 5 の場合に比し、9 0 度傾けることにより、被測定物体へのアプローチを簡便にする。また、図の一体構造 5 0 b のような配置では、握りを 6 0 b のように装備すればよい。

【 0 0 4 0 】

次に、本装置を眼科検査装置に応用する実施例を図 8 に示す。

【 0 0 4 1 】

図 3 に示した対物レンズ 1 0 を、図 8 に示すように、眼底検査用対物レンズ 2 4 に代替し、該レンズ 2 4 を前後に作動させる機構 2 4 a を配備し、収納ケース 6 0 を回転台 2 6 に乗せた構造とする。図 5 に示した前記回転機構 5 1 と該回転台 2 6 を適宜制御して、例えば、眼球 2 5 の眼底部の照射位置を任意に走査できる特徴があるものとなる。この回転機構 5 1 を配備して、眼科用断層像観測ヘッド 9 0 を構成する。

【 0 0 4 2 】

次に、測定物体への光路に光バンドルファイバをプローブとして用いた光バンドルファイバ付光干渉断層像観測装置の実施例を図 9 に示す。

【 0 0 4 3 】

図 5 に示した対物レンズ 1 0 より照射物体に至る光路を、図 9 に示すように、光バンドルファイバ 1 0 a とする方法である。対物レンズ 1 0 より照射光を導波し、例えばグリーンレンズ (分布屈折率ファイバ型レンズ) 1 0 b を該ファイバ先端に装着し、被測定物体に照射する。物体深部からの反射光は、同レンズで集光され、光検出器 1 5 に至り、図 5 の場合と同様に断層像が観測される。このとき、参照光路長を該ファイバ長だけ長くする必要があるので、図 9 に示すように複数の反射鏡 8 a, 8 b などを用いて、参照光路だけ折り返して所定の長さとする。当然のことであるが、この参照光路にも同様の光ファイバを配備しても良い。また、光バンドルファイバ 1 0 a (ファイバ束) の代わりに、映像伝送が可能な屈折率分布ファイバを用いても同様の観測が可能なのは明らかである。

【 0 0 4 4 】

10

20

30

40

50

本実施例は、内視鏡や顕微鏡、ファイバカテーテル、各種材料の製造工程における遠隔計測を可能にする特徴がある。

【0045】

図10に、ガルバノミラー走査機構を付加した光干渉断層像観測装置の実施例を示す。

【0046】

図10に示すように、物体照射光路にガルバノミラー8cを配備して、被測定物体への照射光を図10のY軸方向へ照射点を走査して、所望の断層像を得る方法である。

【0047】

さらに、図11にもう一つのガルバノミラー8dを配備して、X軸方向への走査を可能にし、眼球検査装置とした実施例を示す。

10

【0048】

図11に示すように、2軸方向への走査によって、照射光を任意に走査でき、図3に示す実施例の特徴を生かした小型・簡便な装置にて、医療現場で容易に使用可能とする特徴がある。

【0049】

図10及び図11において、配線を一部省略して図示しているが、駆動電源や配線が必要なことは、明らかである。

【0050】

本実施例のいずれの構成においても、被測定物体が動的散乱ポテンシャル部分を含みドップラーシフト周波数となる物体反射光を生成するにおいて、前記合波干渉光の光検出器から出力される該ドップラーシフト成分を電気的フィルターを通過して検出して複数の各空間画素成分信号を合成することにより、前記動的散乱ポテンシャルからの散乱光波の振幅情報を抽出し、前記ドップラーシフト成分周波数より動的散乱ポテンシャルの移動速度および方向を前記鉛直断面像と奥行き反射像の3次元画素ごとに計算し表示するコンピュータを具備し、例えば生体深部の血流分布などの動的構造を可視化できるようにしたことを特徴とする光波反射断層像観測装置が構成できる。

20

【0051】

上記したように、本発明によれば、

(1) 回転体の円周部に一つの頂角を90度にしたリトロリフレクタープリズムを、該頂角の対面を円周の接線におよそ直交するように設け、該対面に光束を入射させる時、該入射方向と平行に該光束を反射する該プリズムの特性を利用し、該回転体の回転と共に反射点を一定方向に走査することができ、光の進行方向に回転する場合は遅延反射する光束を、回転が反対の場合は漸進反射する光束を回転に応じて周期的に発生する回転プリズムを具備し、低コヒーレンス光源よりの光束を2分割する手段と、一方の光束を参照光として、前記反射点の回転走査により遅延または漸進しドップラーシフト周波数となる反射光束を得ることができ、前記回転プリズムを具備し、他方の光束を屈折率分布が多層構造を成す被測定物体に収束し該多層構造体深部の散乱ポテンシャルよりの物体反射光を捕捉する対物レンズを具備し、該参照光と該物体反射光とが該2分割時点より等光学光路長にて合波干渉した場合のみ最大の干渉信号を得ることを特徴とした該低コヒーレンス性に基づく該シフト周波数のビート信号を得る所のヘテロダイン検波する光検出器を具備し、該遅延または漸進する反射光束の走査反射点を座標として算出する手段と、該ビート信号よりの該被測定物体の深部散乱ポテンシャルに基づく反射振幅と該座標を画素情報として反射断層像分布を計測・表示できる信号制御処理システムと電子計算機およびディスプレイを具備し、前記反射光束の走査反射点を座標として算出する手段に、前記回転プリズムからの偏角反射光を捕捉する光検出器を配備し、前記反射光の発生する前に該偏角反射光を検出してタイミングパルスを形成し、前記回転プリズムの回転周波数と回転円周長および回転角から該走査反射点を算出して前記散乱ポテンシャルの座標とすることを具備して光波反射断層像を観測できる構成としたことである。

30

40

【0052】

さらには、前記低コヒーレンス光源よりのコヒーレンスの進行方向をZ軸とし、前記光束

50

を2分割する手段に半透明反射鏡を具備し、該光束の該半透明反射鏡を透過する一方の光束の方向に前記対物レンズを配備し物体照射光となし、該半透明反射鏡より反射する他方の光束を参照光としその方向をY軸とし、該光源を半透明反射鏡および対物レンズを一直線上に配備して一体構造とし、該一体構造をY軸を中心に回転する機構を配備して回転させることにより被測定物体への照射点をX軸方向に走査しX-Z面の2次元光反射断層像を観測できるようにし、請求項1記載の各手段を一ケース内に収納配備すると共に、前記光検出器の前に前記低コヒーレンス光源の波長帯域のみを反射する誘電体多層膜反射鏡を配備し前記合波干渉波を反射して該光検出器に導き、他方該低コヒーレンス光源と異なる波長帯域の光源を具備し該光源よりの光束を別途ハーフミラーを配備して前記誘電体多層膜反射鏡と前記ハーフミラーおよび対物レンズを通過させ、被測定物体に照射して表面よりの反射光を同光路を逆行させ、さらに該別途ハーフミラーを透過させ、前記対物レンズの拡大作用により該表面像を結像させ顕微映像化するCCDカメラを同一ケース内に具備し、あらかじめ該物体の測定位置を観察できるようにして、さらには、請求項5記載の前記収納ケースに握り端子を装備して、前記測定点の観察にて測定位置決めと同時に前記断層像測定データの取り込みを開始するスイッチを該握り端子に具備し、前記一体構造を90度偏角して配備した前記収納ケースを乗せる前記X軸を中心に回転する回転機構を具備し、前記X-Z面の2次元光反射断層像を観測すると共に該回転機構によってY軸方向にも走査して、3次元光反射断層像を観測でき、前記対物レンズを眼底検査用対物レンズに代替し配備し、請求項7記載の回転機構を配備して、さらにはガルバノミラー走査眼科観測用装置としたり、前記の装置において、前記参照光路を折り返し反射鏡群を配備して長尺光路長とし、さらに前記光束2分割ハーフミラーより物体にいたる光路に該長尺光路長に応じた光ファイバ束を配備して遠隔計測をできるようにし、さらに前記光束2分割ハーフミラーより物体にいたる光路に該長尺光路長の映像伝送可能な光ファイバである光バンドルファイバや分布屈折率光ファイバなどを配備して遠隔計測ができるようにした光干渉断層像観測装置としたことである。

10

20

【0053】

また、高速化を図るために、被測定物体の所望の領域に渡り深部情報を検知し、各画素毎の各再生信号を記録蓄積し信号処理を施し多次元深部断層像として表示するコンピュータディスプレイと、を具備し光干渉断層像観測装置を構成したことである。

【0054】

前記各実施例で示した各構成を本発明の趣旨を違えることなく、適宜組み合わせを変化させても本発明に基づくことは明らかである。

30

【0055】

また、本発明は、上記実施例に限定されるものではなく、本発明の趣旨に基づき種々の変形が可能であり、それらを本発明の範囲から排除するものではない。

【0056】

【発明の効果】

以上、詳細に説明したように、本発明は、以下のような効果を奏することができる。

【0057】

(A) 回転するリトロリフレクタープリズムを配備して、該プリズムの元来た方向へ光束反射し、入射角が90度頂角の対角面に傾斜しても正確に入射方向へ反射する特性を利用して、回転によって反射点が回転円周上を移動しさらに該対角面が傾斜しても、光束に遅延反射或いは漸進反射を与つつも入射方向を違えることなく反射できる方法とその具体的な装置を提供し、さらに、小型で高速回転するモーターにプリズムを装備するのみで、確実な高速走査反射鏡により光反射断層像観測に小型・簡便・可搬なあらたな実用装置への道を開くものである。

40

【0058】

(B) 更に、広ダイナミックレンジでさらに高SNで反射信号を高速走査抽出して、生体などの深部断層の静的あるいは動的構造を検知し多次元画像化して形態学的情報や血流分布などの医療情報や半導体をはじめとする諸材料の組織学的情報などを非侵襲、非破壊的

50

に顕微鏡レベルの高空間分解能で観測可能とするとともに、小型可搬な新規な光干渉断層像観測装置を提供することができ、皮膚科、美容皮膚科学、歯科、各種生体非破壊検査、各種素材非破壊検査などの新たな実用装置産業を興す効果も期待できる。

【図面の簡単な説明】

【図 1】本発明の実施例を示す反射点走査回転プリズム装置の構成図である。

【図 2】本発明の実施例を示す反射点走査回転プリズム装置の 45 度直角プリズムにおける光反射の特性を説明する図である。

【図 3】本発明の反射点走査回転プリズム装置を組み込んだ光干渉断層像観測装置構成の実施例を示す図である。

【図 4】本発明の合波干渉信号の各波形の例を示す図である。

10

【図 5】本発明の被測定物体の X 軸方向への走査機構を装備した他の実施例を示す図である。

【図 6】本発明の低コヒーレンス光源とハーフミラーおよび対物レンズを連結一体構造に構成した実施例を示す図である。

【図 7】本発明の小型簡便可搬型装置の実施例を示す図である。

【図 8】本発明の装置を眼科検査装置に応用する実施例を示す図である。

【図 9】本発明の光バンドルファイバ付光干渉断層像観測装置の実施例を示す図である。

【図 10】本発明のガルバノミラー走査機構を装備した光干渉断層像観測装置の実施例を示す図である。

【図 11】本発明の 2 軸ガルバノミラー走査機構を装備した光干渉断層像観測装置の実施例を示す図である。

20

【図 12】従来の可動反射鏡を用いて構成する光波反射像測定装置の構成図である。

【図 13】従来の光ファイバと可動反射鏡を用いて構成する断層像観測装置の構成図である。

【符号の説明】

1 回転プリズム (リトロリフレクタープリズム)

1 a 金属反射薄膜

2 入射光束

3 モーター

4 回転体

30

5 モーター電源

6 低コヒーレンス光源

7, 7', 17 ハーフミラー

8, 8 a, 8 b, 12 反射鏡

8 c, 8 d ガルバノミラー

9 フォトダイオード

10 対物レンズ

10 a 光バンドルファイバ

10 b グリンレンズ

11 被測定物体

40

12 プリズム型反射鏡

13 誘電体多層膜反射鏡

14 凸レンズ

15 光検出器

16 発光ダイオード

18 CCDカメラ

19 配線ターミナル

20 配線

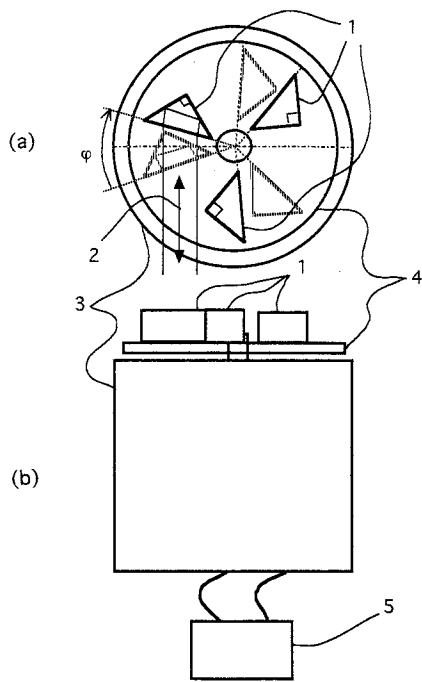
21 制御処理システム

22 コンピュータ

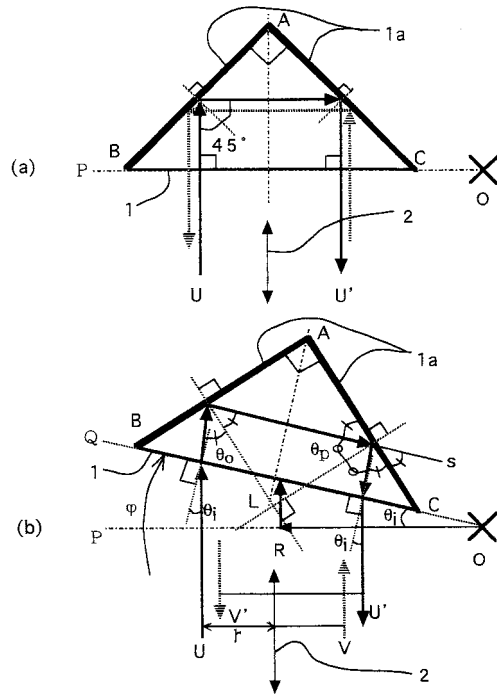
50

- 2 3 液晶表示器
- 2 4 眼底検査用対物レンズ
- 2 5 眼球
- 2 6 回転台
- 5 0 , 5 0 a , 5 0 b 光源 - 照射系連結一体構造
- 5 1 偏角回転機構
- 6 0 , 6 0 ケース
- 6 0 a , 6 0 b 可搬用握り
- 9 0 眼科用断層像観測ヘッド

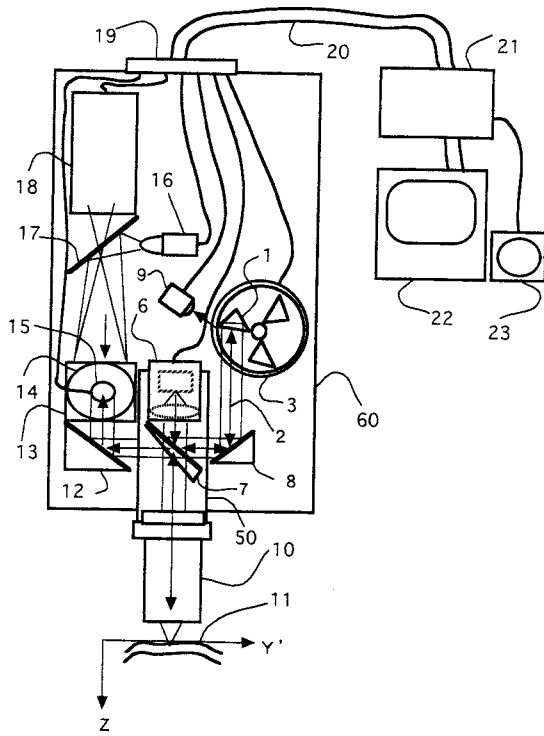
【 図 1 】



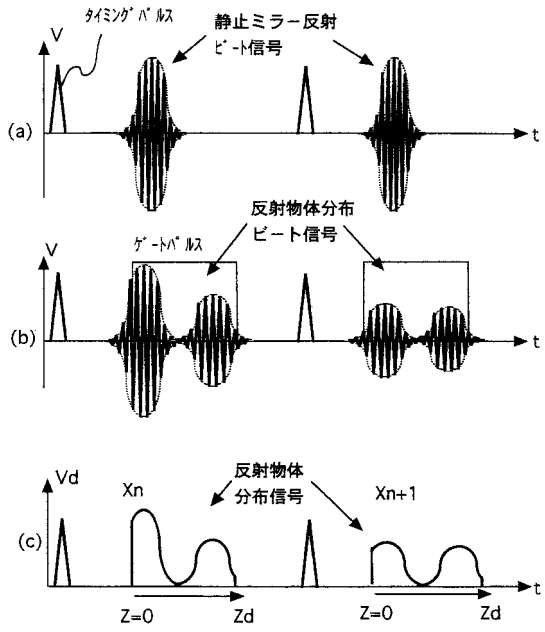
【 図 2 】



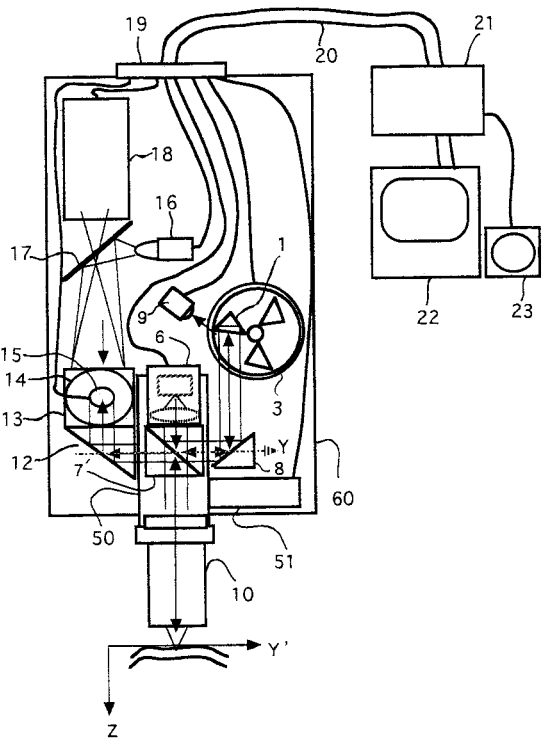
【 図 3 】



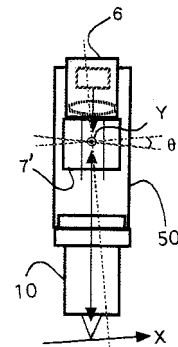
【 図 4 】



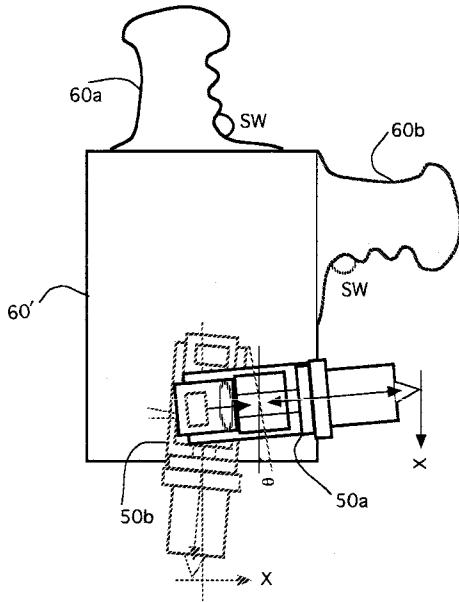
【 図 5 】



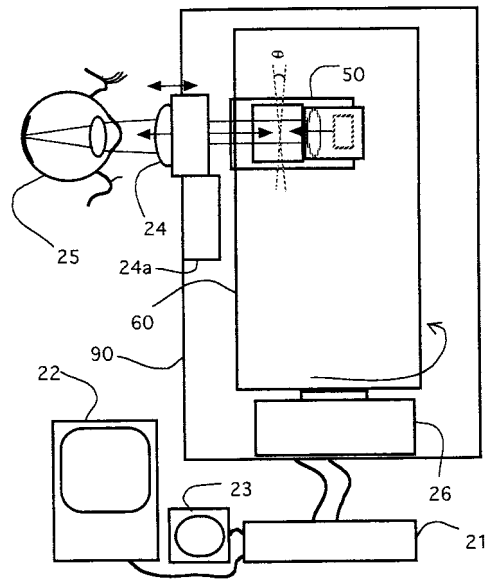
【 図 6 】



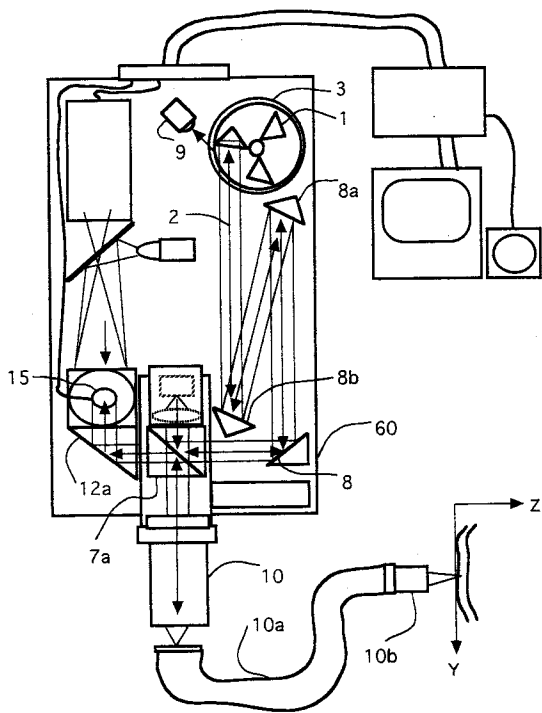
【 図 7 】



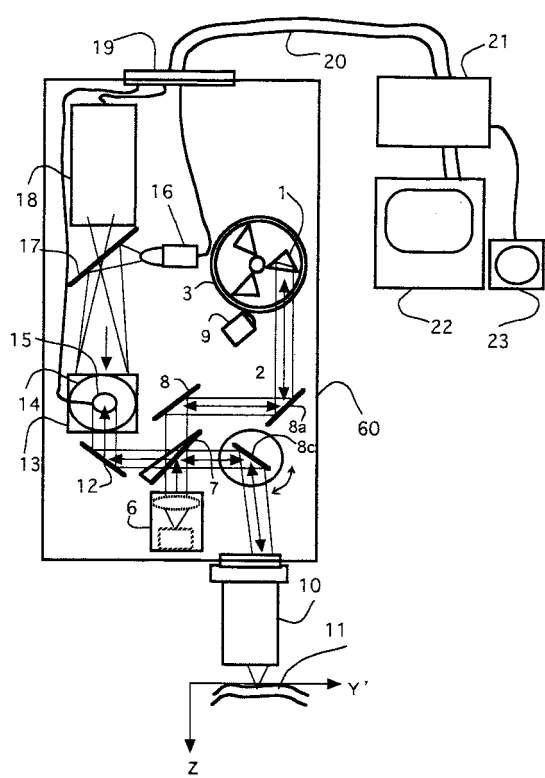
【 図 8 】



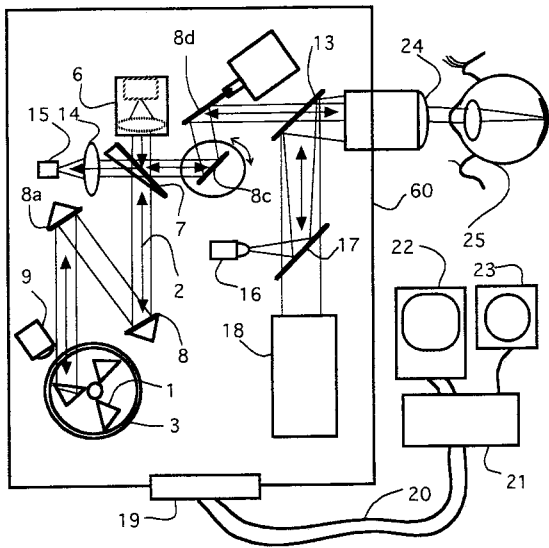
【 図 9 】



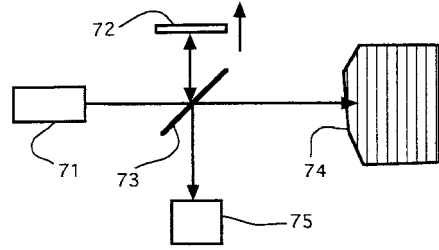
【 図 10 】



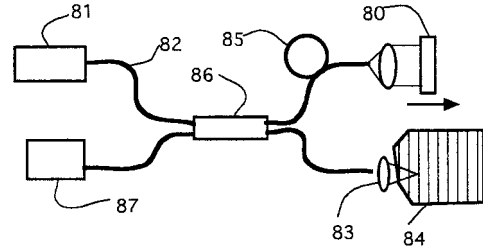
【 図 1 1 】



【 図 1 2 】



【 図 1 3 】



フロントページの続き

(56)参考文献 特開昭56-129826(JP,A)

特開平10-281872(JP,A)

特開平09-133582(JP,A)

特開平04-142430(JP,A)

特開平06-070881(JP,A)

特開平06-063048(JP,A)

特開平06-063049(JP,A)

「光学」,1999年 3月10日,VOL.28,No.3,p116-125

(58)調査した分野(Int.Cl.⁷,DB名)

G01N21/00-21/01,21/17-21/61;G01J3/00-3/52,9/00-9/04; G01B9/00-9/10 ; G01B11/00-11/30

ECLA、WPI/L、EPAT、PATOLIS