

(19) 日本国特許庁(JP)

(12) 特 許 公 報(B2)

(11) 特許番号

特許第5410692号
(P5410692)

(45) 発行日 平成26年2月5日(2014.2.5)

(24) 登録日 平成25年11月15日(2013.11.15)

(51) Int.Cl.

F 1

A 6 1 B 3/16 (2006.01)

A 6 1 B 3/16

請求項の数 4 (全 16 頁)

(21) 出願番号 特願2008-120793 (P2008-120793)
 (22) 出願日 平成20年5月3日(2008.5.3)
 (65) 公開番号 特開2009-268651 (P2009-268651A)
 (43) 公開日 平成21年11月19日(2009.11.19)
 審査請求日 平成23年4月27日(2011.4.27)

(73) 特許権者 000135184
 株式会社ニデック
 愛知県蒲郡市拾石町前浜 3 4 番地 1 4
 (72) 発明者 三輪 哲之
 愛知県蒲郡市拾石町前浜 3 4 番地 1 4 株
 式会社ニデック拾石工場内

審査官 島田 保

最終頁に続く

(54) 【発明の名称】 非接触式超音波眼圧計

(57) 【特許請求の範囲】

【請求項 1】

被検眼に対して超音波を入射させるための振動子と、被検眼からの反射波を検出する振動
 検出センサと、を有する探触子と、

被検眼前眼部を観察するための観察光路中に前記探触子が配置され、前記探触子の周辺
 領域を介して前眼部像を結像させる前眼部観察光学系と、を備え、

該探触子を用いて被検眼の眼圧を測定する非接触式超音波眼圧計であって、

前記探触子の中心部には、被検眼に向かう光束を通過させるための開口部が設けられて
 いることを特徴とする非接触式超音波眼圧計。

【請求項 2】

前記開口部を介して被検眼に向けて固視標を投影する固視標投影光学系を備えることを特
 徴とする請求項 1 の非接触式超音波眼圧計。

【請求項 3】

前記開口部を介して被検眼前眼部に向けてアライメント指標を投影する指標投影光学系を
 備えることを特徴とする請求項 1 の非接触式超音波眼圧計。

【請求項 4】

被検眼に対して超音波を入射させるための振動子と、被検眼からの反射波を検出する振動
 検出センサと、を有する探触子と、

被検眼前眼部を観察するための観察光路中に前記探触子が配置され、前記探触子の周辺
 領域を介して前眼部像を結像させる前眼部観察光学系と、

10

20

作動距離方向におけるアライメント検出用の指標を被検眼角膜に投影する指標投影光学系と、

被検眼角膜に投影された作動距離方向におけるアライメント検出用の指標を検出する距離指標検出光学系と、

前記距離指標検出光学系によって検出された検出結果に基づいて作動距離方向におけるアライメント状態の適否を判定する判定手段と、を備え、

該探触子を用いて被検眼の眼圧を測定する非接触式超音波眼圧計であって、

前記探触子の被検眼側には、前記振動子から発せられた超音波を収束させるための音響レンズが設けられており、前記音響レンズは、前記判定手段によって被検眼と前記探触子とのアライメントが適正と判定されたときに被検眼に対するフォーカスが合うように設定されていることを特徴とする非接触式超音波眼圧計。

10

【発明の詳細な説明】

【技術分野】

【0001】

本発明は、超音波を用いて非接触にて被検眼の眼圧を測定する非接触式超音波眼圧計に関する。

【背景技術】

【0002】

被検眼に入射する入射波と被検眼からの反射波と比較して被検眼の眼圧を測定する装置としては、被検眼に対して振動を入射する振動子と被検眼からの反射波を検出する振動検出センサとを有する探触子を保持すると共に、先端に眼球が接触される弾性キャップを有するプローブペンを有し、弾性キャップを被検眼に接触させた状態にて被検眼の眼圧を測定する接触式の眼圧検査装置が提案されている（特許文献1参照）。

20

【0003】

また、非接触式の構成としては、被検眼（ただし、模型眼）に対して超音波を入射する振動子と被検眼からの反射波を検出する振動検出センサとを有する探触子が設けられ、被検眼の眼前に探触子を配置させた状態で被検眼の眼圧を非接触にて測定する眼圧検査装置が提案されている（非特許文献1参照）。この場合、位相変化を周波数変化量として計測し、周波数変化量と眼球モデルとの硬さとの相関関係を求めている。

【特許文献1】特開2004-269299

30

【非特許文献1】神出将幸、外3名「超音波位相シフト法による非接触型眼圧計測システムに関する基礎的研究」、電気学会研究資料センサ・マイクロマシン部門総合研究会、2007年、p.93-96

【発明の開示】

【発明が解決しようとする課題】

【0004】

しかしながら、特許文献1の構成の場合、被検眼にプローブペンを接触させた状態で眼圧測定を行うものであり、被検眼への負担が大きい。また、非特許文献1の構成の場合、模型眼に対する測定を想定したものにすぎず、実際の人眼を測定するにはまだ不十分であり、実用化に向けた課題は多い。例えば、人眼の場合、固視微動や被検眼の視線移動によって眼が動くことから、被検眼に対する探触子のアライメントずれの影響で、振動検出センサによって検出される反射波の特性（例えば、周波数、位相等）が変化してしまい、測定結果にバラツキが生じてしまう可能性がある。

40

【0005】

本発明は、上記従来技術を鑑み、被検眼に対するアライメントを容易に行うことができる非接触式超音波眼圧計を提供することを技術課題とする。

【課題を解決するための手段】

【0006】

上記課題を解決するために、本発明は以下のような構成を備えることを特徴とする。

【0007】

50

(1) 被検眼に対して超音波を入射させるための振動子と、被検眼からの反射波を検出する振動検出センサと、を有する探触子と、

被検眼前眼部を観察するための観察光路中に前記探触子が配置され、前記探触子の周辺領域を介して前眼部像を結像させる前眼部観察光学系と、を備え、

該探触子を用いて被検眼の眼圧を測定する非接触式超音波眼圧計であって、

前記探触子の中心部には、被検眼に向かう光束を通過させるための開口部が設けられていることを特徴とする。

(2) 前記開口部を介して被検眼に向けて固視標を投影する固視標投影光学系を備えることを特徴とする (1) の非接触式超音波眼圧計。

(3) 前記開口部を介して被検眼前眼部に向けてアライメント指標を投影する指標投影光学系を備えることを特徴とする (1) の非接触式超音波眼圧計。

10

(4) 被検眼に対して超音波を入射させるための振動子と、被検眼からの反射波を検出する振動検出センサと、を有する探触子と、

被検眼前眼部を観察するための観察光路中に前記探触子が配置され、前記探触子の周辺領域を介して前眼部像を結像させる前眼部観察光学系と、

作動距離方向におけるアライメント検出用の指標を被検眼角膜に投影する指標投影光学系と、

被検眼角膜に投影された作動距離方向におけるアライメント検出用の指標を検出する距離指標検出光学系と、

前記距離指標検出光学系によって検出された検出結果に基づいて作動距離方向におけるアライメント状態の適否を判定する判定手段と、を備え、

20

該探触子を用いて被検眼の眼圧を測定する非接触式超音波眼圧計であって、

前記探触子の被検眼側には、前記振動子から発せられた超音波を収束させるための音響レンズが設けられており、前記音響レンズは、前記判定手段によって被検眼と前記探触子とのアライメントが適正と判定されたときに被検眼に対するフォーカスが合うように設定されていることを特徴とする。

【発明の効果】

【 0 0 0 8 】

本発明によれば、被検眼に対するアライメントを容易に行うことができる。

【発明を実施するための最良の形態】

30

【 0 0 0 9 】

本発明の一実施形態について図面に基づいて説明する。図 1 は、本実施形態に係る非接触式超音波眼圧計の外観構成図である。非接触式超音波眼圧計 1 0 0 は、いわゆる据え置き型の非接触式超音波眼圧計であって、基台 1 と、基台 1 に取り付けられた顔支持ユニット 2 と、基台 1 上に移動可能に設けられた移動台 3 と、移動台 3 に移動可能に設けられ、後述する測定系及び光学系を収納する測定部 (測定ユニット) 4 と、を備える。測定部 4 は、移動台 3 に設けられた X Y Z 駆動部 6 により、被検眼 E に対して左右方向 (X 方向) 、上下方向 (Y 方向) 及び前後方向 (Z 方向) に移動される。移動台 3 は、ジョイスティック 5 の操作により、基台 1 上を X 方向及び Z 方向に移動される。また、検者が回転ノブ 5 a を回転操作することにより、測定部 4 は X Y Z 駆動部 6 の Y 駆動により Y 方向に移動される。ジョイスティック 5 の頂部には、測定開始スイッチ 5 b が設けられている。移動台 3 には、表示モニタ 7 2 が設けられている。

40

【 0 0 1 0 】

図 2 は本実施形態に係る非接触式超音波眼圧計の測定系及び光学系について説明する図であって、観察光路中に探触子が配置された場合の具体例である。図 3 は本実施形態に係る非接触式超音波眼圧計の制御系について説明する図である。

【 0 0 1 1 】

被検眼 E の眼前に配置される探触子 (トランスジューサ) 1 0 は、被検眼に対して超音波を入射させるための振動子 1 1 と、被検眼からの反射波を検出する振動検出センサ 1 3 と、を有し、被検眼の眼圧を非接触にて測定するために用いられる。なお、探触子 1 0 は

50

、例えば、圧電素子を２つ積み重ねた構造となっており、一方が振動子１１、他方が振動検出センサ１３として用いられる。なお、本実施形態では、被検眼に入射させる超音波として、パルス波が用いられ、振動子１１は超音波パルスを被検眼に対して入射させるための超音波入射部、振動検出センサ１３は被検眼に入射された超音波パルスによる反射波を受信する超音波受信部として用いられる。

【００１２】

また、探触子１０の被検眼側には、振動子１１から発せられる超音波を収束させるための音響レンズ１６が設けられており、被検眼と探触子１０とのアライメントが適正になったときに、被検眼に対するフォーカスが合うようになっている。

【００１３】

ここで、探触子１０は、増幅器８１、周波数成分分析部８２、周波數位相差特定部８３、制御部７０、と順次接続されている（図３参照）。そして、入射波、反射波に対応する電気信号は、増幅器８１によって適切な信号レベルに増幅され、周波数成分分析部８２によって、入射波、反射波の周波数成分分析が行われ、入射波、反射波それぞれにつき周波数に対する位相差のスペクトル分布が求められる。

【００１４】

次に、周波數位相差特定部８３によって、入射波のスペクトル分布と反射波のスペクトル分布が比較され、それぞれの周波数 f_x における、その入射波の位相と反射波の位相の差である位相差 ϕ_x が求められ特定される。ここで、周波数 f_x における位相差 ϕ_x は被検眼の眼圧（厳密には、眼内圧の変化による角膜の硬さの変化）に応じて変化するため、制御部８０は、周波數位相差特定部８３の出力信号に基づいて位相差 ϕ_x を検出し、その検出結果に基づいて被検眼の眼圧値を得る。なお、前述した超音波パルス法による硬さ検出手法については、特開２００２－２７２７４３号公報を参考にされたい。

【００１５】

図２の説明に戻る。探触子１０及び音響レンズ１６の中心部には、固視光源３２（後述する）から発せられた固視標投影用の光束、及びアライメント光源４２から発せられたアライメント指標投影用の光束を通過させるための開口部１８（例えば、直径１ｍｍ程度の円孔）が形成されている。

【００１６】

また、対物レンズ２２の中心部に配置される振動子１１及び振動検出センサ１３と、観察光学系２０の光路から外れた位置に配置される回路系（増幅回路８１、周波数成分分析部８２、周波數位相差特定部８３、制御部７０、等）は、配線用ケーブル９５によって電氣的に接続されている。この場合、配線用ケーブル９５は、観察光学系２０の観察光路中に配置されるため、配線用ケーブル９５の表面で前眼部反射光が乱反射して後述する二次元撮像素子２６上でノイズ光として検出されてしまう可能性がある。そこで、前眼部反射光（例えば、赤外光）を吸収する特性のコーティングが施されたカバー９６（前眼部反射光吸収部材）で配線用ケーブル９５を覆うことにより、ノイズ光が軽減された前眼部観察光を観察可能となる。

【００１７】

次に、光学系の構成について説明する。本光学系においては、被検眼の前眼部を観察するための観察光学系２０と、被検眼を固視させるための固視標投影光学系３０と、XYアライメント用の指標を被検眼角膜に投影する第１指標投影光学系４０と、作動距離方向におけるアライメント検出用の指標を被検眼角膜に投影する指標投影光学系５０と、被検眼角膜に投影された作動距離方向におけるアライメント検出用の指標を検出する距離指標検出光学系５５が設けられている。

【００１８】

観察光学系２０は、その観察光路中に探触子１０が配置され、探触子１０の周辺領域を介して前眼部像を結像させる。より具体的には、観察光学系２０は、対物レンズ２２、結像レンズ２４、フィルタ２５、二次元撮像素子２６、とを有し、観察光軸Ｌ１上に探触子１０が配置されている。このため、被検眼の所定部位（例えば、角膜中心、瞳孔中心）に

10

20

30

40

50

対して観察光軸 L 1 がアライメントされると、被検眼の正面に探触子 1 0 が配置される。さらに、図 2 に示す構成では、探触子 1 0 の中心軸（中心軸の延長線）と観察光軸 L 1 が同軸になるように配置されているので、被検眼の所定部位に対して観察光軸 L 1 がアライメントされると、探触子 1 0 の中心軸（中心軸の延長線）と被検眼の所定部位が一致した状態となるので、超音波による被検眼からの反射波を効率よく取得できる。

【 0 0 1 9 】

被検眼の斜め前方には、被検眼を赤外光により照明する前眼部照明光源 3 8 が配置されている。フィルタ 2 5 は、光源 3 8 及び後述する光源 4 2 の光を透過し、後述する作動距離検出用の光源 5 1 の光に対して不透過の特性を持つ。

【 0 0 2 0 】

ここで、前眼部照明光源 3 8 による前眼部反射光は、対物レンズ 2 2 に向かう。この場合、探触子 1 0 の周辺領域に到達した前眼部反射光は、対物レンズ 2 2 を通過し、ビームスプリッタ 3 6 及びビームスプリッタ 4 6 を介して、結像レンズ 2 4 によって二次元撮像素子 2 6 上に結像される。

【 0 0 2 1 】

上記構成において、二次元撮像素子 2 6 は前眼部観察用の撮像素子として用いられる。そして、二次元撮像素子 2 6 から出力される撮像信号は、制御部 7 0 へ入力され、表示モニタ 7 2 の画面上に表示される。また、対物レンズ 2 2 及び結像レンズ 2 4 からなる結像光学系は、被検眼前眼部像を二次元撮像素子 2 6 に導光する導光部材として用いられる。なお、本実施形態では、複数のレンズからなるレンズ系によって被検眼前眼部像を二次元撮像素子 2 6 上に導光させる構成としたが、一つの対物レンズによって被検眼前眼部像を二次元撮像素子 2 6 上に導光させるような構成であってもよい。

【 0 0 2 2 】

また、対物レンズ 2 2 と探触子 1 0 との観察光軸 L 1 方向（Z 方向）における位置関係について、探触子 1 0 より後方（撮像素子 2 6 側）もしくは同一位置に対物レンズ 2 2 を配置することにより、被検眼と装置筐体との間のスペースを広く確保することが可能となる（図 2 及び図 5 参照）。この場合、前眼部反射光が探触子 1 0 及び音響レンズ 1 6 によって遮られる可能性があるので、明るい前眼部像を観察するには、対物レンズ 2 2 と探触子 1 0 は、観察光軸 L 1 方向における近接した位置、より好ましくは観察光軸 L 1 方向における略同一位置に配置することが好ましい。

【 0 0 2 3 】

なお、探触子 1 0 に対して対物レンズ 2 2 が同一位置に配置される具体的構成としては、図 2 に示すような構成が考えられる。対物レンズ 2 2 には、探触子 1 0 が挿入される挿入孔 2 2 a が形成されており、挿入孔 2 2 a を介して対物レンズ 2 2 に探触子 1 0 が取り付けられる。

【 0 0 2 4 】

また、探触子 1 0 より後方に対物レンズ 2 2 が配置された具体的構成としては、図 5 に示すような構成が考えられる。この場合、対物レンズ 2 2 には、探触子 1 0 及び音響レンズ 1 6 を支持する支持部材 1 9 が挿入される挿入孔 2 2 a が形成されており、挿入孔 2 2 a に支持部材 1 9 が挿入されることによって探触子 1 0 及び音響レンズ 1 6 が所定位置に支持される。

【 0 0 2 5 】

また、上記構成に限るものではなく、探触子より前方に対物レンズが配置されるようにしてもよい。この場合、振動子から出射される超音波が対物レンズによって反射・減衰されるのを防止するべく、対物レンズには、探触子による超音波伝搬経路に対応する部分に開口部が形成されていることが好ましい。これにより、振動子から出射された超音波は、開口部を介して被検眼に入射され、被検眼からの反射波は開口部を介して振動検出センサによって検出される。

【 0 0 2 6 】

図 2 の説明に戻る。固視標投影光学系 3 0 は、少なくとも固視標投影用の固視光源を有

10

20

30

40

50

し、被検眼を固視させるための固視標を被検眼に向けて投影する。より具体的には、固視標投影光学系 30 は、可視光を発する固視用の光源 32、固視標 33、開口絞り 34、投影レンズ 35、ビームスプリッタ 46、ビームスプリッタ 36、とを有し、探触子 10 及び音響レンズ 16 に形成された開口部 18 を介して被検眼に固視標を投影する。固視標投影光学系 30 の投影光軸 L2 は、観察光学系 20 の光路中に配置されたビームスプリッタ 46 にて観察光軸 L1 と同軸とされる。

【0027】

ここで、光源 32 から出射された固視標投影用の光束によって照明された固視標 33 からの光は、開口絞り 34 によって光束径が絞られた後、投影レンズ 35 を通過し、ビームスプリッタ 46 によって反射された後、ビームスプリッタ 36、開口部 18 を介して、被

10

【0028】

第 1 指標投影光学系 40 は、少なくともアライメント指標投影用のアライメント光源を有し、被検眼前眼部に向けてアライメント指標を正面方向から投影する。より具体的には、第 1 指標投影光学系 40 は、赤外光を発するアライメント用の光源 42、投影レンズ 44、ビームスプリッタ 36、とを有し、探触子 10 に形成された開口部 18 を介して被検眼角膜上に X Y アライメント指標を投影する。また、アライメント指標投影光学系 40 の投影光軸 L3 は、観察光学系 20 の光路中に配置されたビームスプリッタ 36 にて観察光軸 L1 と同軸とされる。

【0029】

20

ここで、光源 42 から出射されたアライメント用光束は、投影レンズ 44 を通過した後、ビームスプリッタ 36 によって反射された後、開口部 18 を介して被検眼角膜に照射される。そして、角膜 E c で鏡面反射したアライメント光束によって、光源 42 の虚像である指標 i1 (アライメント指標像) が形成される。

【0030】

そして、指標 i1 からの光束は対物レンズ 22 へと向かう。この場合、探触子 10 の周辺領域に到達したアライメント用の反射光は、対物レンズ 22 を通過し、ビームスプリッタ 36 及びビームスプリッタ 46 を介して、結像レンズ 24 によって二次元撮像素子 26 上に結像される。すなわち、アライメント光源 42 による角膜反射像 i1 と前眼部照明光源 38 による被検眼前眼部像は、探触子 10 の周辺領域を介して二次元撮像素子 26 上に結像される。これにより、二次元撮像素子 26 上には、前眼部像と角膜輝点像 (アライメント指標像) が受光される。なお、二次元撮像素子 26 に受光されたアライメント指標像は、被検眼 E (角膜 E c) が X Y 方向に移動すると、二次元撮像素子 26 上を指標 i1 が移動するため、二次元撮像素子 26 からの検出信号に基づき被検眼 E に対する探触子 10 の X Y 方向におけるアライメント状態を検出できる。

30

【0031】

なお、上記のように探触子 10 及び音響レンズ 16 に形成された開口部 18 を介してアライメント光束を照射し、探触子 10 の周辺領域を介して指標 i1 からの反射光束を二次元撮像素子 26 にて受光する場合、音響レンズ 16 によって反射光束がけられてしまう可能性が高い。そこで、第 1 指標投影光学系 40 としては、図 2 に示すように、被検眼に照射されるアライメント光束が被検眼に到達する前に一旦集光され、被検眼角膜に発散光束として照射されるような光学系であることが好ましい。このようにすれば、指標 i1 からの光束は、探触子 10 の周辺領域を効率よく迂回可能な光束となり、アライメント光束として利用可能となる。これに対し、被検眼角膜に対して収束光束又は平行光束を照射する場合、周辺方向への反射角度が小さく、指標 i1 からの反射光束が音響レンズ 16 によってけられやすい。

40

【0032】

作動距離指標投影光学系 50 は、Z 方向 (前後方向) のアライメント検出用の赤外光源 51、投影レンズ 52、を有し、作動距離 (Z) 方向におけるアライメント検出用の指標を被検眼角膜上に投影する。なお、投影光学系 50 の投影光軸 L4 は、観察光軸 L1 と所

50

定の角度で交わる。ここで、光源 5 1 による光は、投影レンズ 5 2 により略平行光束とされた後、投影光軸 L 4 に沿って被検眼角膜に斜め方向から投影され、角膜 E c で鏡面反射した光束は光源 5 1 の虚像である指標 i 2 を形成する。

【 0 0 3 3 】

作動距離指標検出光学系 5 5 は、受光レンズ 5 6、フィルタ 5 7、位置検出素子 5 8 (例えば、ライン CCD)、を有し、距離指標投影光学系 5 0 によって形成されたアライメント指標像を検出する。フィルタ 5 7 は、光源 5 1 の光を透過し、光源 3 8 及び光源 4 2 の光に対して不透過の特性を持つ。なお、作動距離指標検出光学系 5 5 の投影光軸 L 5 と作動距離指標投影光学系 5 0 の投影光軸 L 4 は観察光軸 L 1 に対して対称な軸を持ち、光軸 L 5 は光軸 L 4 と光軸 L 1 上で交差する。ここで、指標 i 2 からの光束は、受光レンズ 5 6 によってフィルタ 5 7 を介して位置検出素子 5 8 上に結像される。被検眼 E (角膜 E c) が Z 方向に移動すると、位置検出素子 5 8 上を指標 i 2 が移動するため、位置検出素子 5 8 からの検出信号に基づき被検眼 E に対する探触子 1 0 の Z 方向におけるアライメント状態を検出できる。

10

【 0 0 3 4 】

次に、図 3 を用いて、制御系の構成について説明する。制御部 7 0 は、周波數位相差特定部 8 3、光源 3 2、光源 4 2、光源 5 1、二次元撮像素子 2 6、位置検出素子 5 8、光源 3 8、表示モニタ 7 2、記憶部としてのメモリ 7 5、回転ノブ 5 a、測定開始スイッチ 5 b、各種スイッチが配置されたコントロール部 7 4、XYZ 駆動部 6、等と接続され、装置全体の制御、測定値の演算処理等を行う。

20

【 0 0 3 5 】

なお、メモリ 7 5 には、周波数 f_x における位相差 x と被検眼の眼圧値との相関関係を示すテーブルが記憶されており、制御部 7 0 は、周波數位相差特定部 8 3 から出力される位相差 x に対応する被検眼の眼圧値をメモリ 7 5 により取得し、得られた眼圧値を表示モニタ 7 2 に表示する。

なお、位相差 x と被検眼の眼圧値との相関関係は、例えば、ゴールドマン眼圧計によって得られる被検眼の眼圧値と、本装置によって取得される位相差 x との相関関係を予め実験により求めておくことにより設定可能である。また、メモリ 7 5 には、探触子 1 0 を用いて被検眼の眼圧を測定するためのプログラムの他、装置全体の制御を行うための制御プログラムなどが記憶されている。

30

【 0 0 3 6 】

制御部 7 0 は、二次元撮像素子 2 6 からの検出信号に基づいて XY 方向のアライメント検出、位置検出素子 5 8 からの検出信号に基づいて Z 方向のアライメント検出を行う。また、コントロール部 7 4 には、被検眼に対する測定部 4 のアライメントを自動的に行う自動アライメントモードと被検眼に対する測定部 4 のアライメントを検者の手動にて行う手動アライメントモードを選択する選択スイッチ 7 4 a、アライメント完了時に測定開始のトリガを自動的に発するオートショットモードと測定開始スイッチ 5 b からの操作信号に基づいて測定開始のトリガを発するマニュアルショットモードとを選択する選択スイッチ 7 4 b、等が配置されている。なお、オートショットモードに設定された場合、制御部 7 0 は、制御部 7 0 は、2 次元撮像素子 2 6 及び位置検出素子 5 8 からの検出結果に基づいてアライメント状態の適否を判定し、その判定結果に基づいて測定開始のトリガ信号を発し、そのトリガ信号に発生に基づいて探触子 1 0 により超音波を被検眼に向けて出射する。

40

【 0 0 3 7 】

また、制御部 7 0 は、検者によって選択されたモードを検者に対して報知する。例えば、選択されたモードを示す表示をモニタ 7 2 上で行ったり、選択されたモードについて音声により報知する。

【 0 0 3 8 】

以上のような構成を備える装置の動作について説明する。まず、検者は、被験者の顔を顔支持ユニット 2 に固定させた後、表示モニタ 7 2 を見ながら、ジョイスティック 5 を用

50

いて被検眼に対するアライメントを行う。このとき、制御部 70 は、図 4 に示すように、二次元撮像素子 26 によって取得される前眼部画像と、被検眼に対するアライメントを行うために利用されるレチクル LT 及びインジケータ G をモニター 72 上に合成して表示する。

【0039】

ここで、指標 i1 像が表示モニター 72 上に形成された状態になると、二次元撮像素子 26 は指標 i1 を検出できるので、上下左右方向で自動アライメントが可能な状態となる。また、指標 i2 の光束が位置検出素子 58 上に入射する状態になると、Z 方向で自動アライメントが可能な状態となる。この場合、制御部 70 は、位置検出素子 58 からの検出信号から得られる Z 方向のアライメント情報に基づいて、インジケータ G を表示制御する。

【0040】

ここで、自動アライメントモード及びオートショットモードが選択された場合について説明する。制御部 70 は、被検眼 E が適正位置にあるときのアライメント位置に対する上下左右方向及び前後方向のそれぞれのアライメント偏位量を得て、これらの偏位情報に基づき、各偏位量が所定の許容範囲内に入るように XYZ 駆動部 6 を駆動制御する。そして、アライメント偏位量が許容範囲内に入ると、制御部 70 は、XYZ 駆動部 6 の駆動を停止させ、測定開始のトリガ信号を自動的に発し、探触子 10 を用いて眼圧測定を開始する。なお、上記構成においては、XYZ 方向に関して自動アライメント制御を行うものとしたが、XYZ 方向の少なくともいずれかの方向に関して自動アライメント制御を行うような構成であってもよい。

【0041】

また、手動アライメントモード及びマニュアルショットモードが選択された場合について説明する。この場合、検者は、モニター 72 に表示される指標 i1 像がレチクル LT 内に入ると共に、インジケータ G がアライメント完了を示す(図 4(b) 参照)ように、ジョイスティック 5 を操作する。このようにして各方向のアライメントが完了し、検者によって測定開始スイッチ 5b が押されると、制御部 70 は、測定開始のトリガ信号を発し、探触子 10 を用いて眼圧測定を開始する。

【0042】

上記のようにして測定開始のトリガ信号が発せられる(入力される)と、制御部 70 は、そのトリガ信号に基づいて、振動子 11 を用いて超音波パルスを被検眼に向けて出射せると共に、振動検出センサ 14 を用いて被検眼に入射された超音波パルスによる反射波を検出する。そして、制御部 70 は、前述のように、周波數位相差特定部 83 からの出力信号に基づいて被検眼の眼圧値を算出し、測定結果をモニター 82 に表示する。

【0043】

以上のような構成とすれば、探触子 10 と被検眼との位置合わせを容易に行うことが可能となる。

【0044】

なお、以上の説明においては、探触子 10 の中心部に形成された開口部 18 を介して被検眼に固視標投影用の光束を被検眼眼底に投影させるものとしたが、これに限るものではなく、対物レンズ 22 における探触子 10 の周辺領域を介して被検眼眼底に固視光束を投影するようにしてもよい。この場合、例えば、光軸 L2 上にスポット開口が形成される開口絞り 34 に代えて、光軸 L2 にリング中心を持つリング開口を用いるような構成が考えられる。

【0045】

なお、以上の説明においては、探触子 10 の中心部に形成された開口部 18 を介して被検眼にアライメント用の光束を被検眼眼底に投影させるものとしたが、これに限るものではなく、対物レンズ 22 における探触子 10 の周辺領域を介して被検眼角膜にアライメント光束を照射し、そのアライメント光束による反射光束を対物レンズ 22 における探触子 10 の周辺領域を介して二次元撮像素子 26 に受光させるような構成により、探触子 10 を迂回してアライメント光束の投影・受光を行うようにしてもよい。この場合、例えば、

光源 4 2 にリング状の光源に用いるようなことが考えられる。

【 0 0 4 6 】

図 6 は固視標投影光学系及び第 1 アライメント指標投影光学系の変容例を示す図である。この場合、固視光源 3 2 (例えば、可視 LED) が探触子 1 0 の中心部に設けられている。この場合、固視光源 3 2 から発せられる可視光束が被検眼眼底に投影されることによって被検眼の固視がなされる。

【 0 0 4 7 】

観察光学系 2 0 の観察光軸 L 1 に対して所定の角度でアライメント指標を投影する指標投影光学系 1 4 0 が対物レンズ 2 2 より外側に配置され、指標投影光学系 1 4 0 による角膜反射像が探触子 1 0 の周辺領域を通過される。この場合、音響レンズ 1 6 による角膜反射光束のケラレが少なくなるように、観察光軸 L 1 に対する指標投影光学系 1 4 0 の投影光軸の角度を設定すればよい。なお、図 6 のように、探触子 1 0 の中心部に固視光源 3 2 が配置されるような構成の場合、可視光及び近赤外光を発する光源を固視光源 3 2 として用い、その固視光源 3 2 から発せられた近赤外光による角膜反射像を前眼部観察用の撮像素子 2 6 に受光させることにより、固視光源 3 2 をアライメント光源として兼用するようにしてもよい。

【 0 0 4 8 】

なお、以上の説明において、観察光軸 L 1 上に探触子 1 0 が配置される構成としたが、これに限るものではなく、図 7 に示すように、X Y 方向に関して観察光軸 L 1 から探触子 1 0 が外れているような構成であってもよい。この場合、被検眼 (例えば、角膜中心、瞳孔中心) に対して探触子 1 0 の中心軸をアライメントさせたときの二次元撮像素子 2 6 上における角膜輝点 i 1 の検出位置をアライメント基準位置として設定し、レチクル L T の表示位置、アライメント検出におけるアライメント完了位置、等を設定するようにすればよい。

【 0 0 4 9 】

図 8 は本実施形態に係る非接触式超音波眼圧計の測定系及び光学系について説明する図であって、観察光学系 2 0 の観察光路外に探触子 1 0 が配置された場合の具体例を示す図である。図 8 において、図 2 と同様の番号を付したものについては、特段の説明がない限り、同様の機能を果たすものとする。

【 0 0 5 0 】

超音波反射部材 (音響ミラー) 9 0 は、振動子 1 1 から出射される入射波を被検眼に向けて反射すると共に、入射波による被検眼からの反射波を振動検出センサ 1 3 に向けて反射する。また、観察光学系 2 0 は、その観察光路外に探触子 1 0 が配置され、かつ、超音波反射部材 9 0 と被検眼との間の超音波伝搬経路上に観察光軸 L 1 が形成されるように設けられている。また、対物レンズ 2 2 には、探触子 1 0 による超音波を通過させるための開口 2 2 b が形成されている。

【 0 0 5 1 】

ここで、振動子 1 1 から発せられた超音波は、超音波反射部材 9 0 によって反射され、対物レンズ 2 2 に形成された開口 2 2 b を介して被検眼に入射される。そして、被検眼からの反射波は、対物レンズ 2 2 に形成された開口 2 2 b を通過後、超音波反射部材 9 0 によって反射され、振動検出センサ 1 3 によって検出される。

【 0 0 5 2 】

なお、図 8 のように超音波反射部材 9 0 と被検眼との間に対物レンズ 2 2 が配置されるような場合、対物レンズ 2 2 は、探触子 1 0 による超音波伝搬経路に対応する部分に開口部 2 2 b が形成されているため、対物レンズ 2 2 を超音波が通過するときには生じる減衰を回避できる。この場合、光源 3 8 による前眼部反射光が開口 2 2 b を介して二次元撮像素子 2 6 に受光されてノイズ光となるのを防止するべく、観察光束をカットする特性を有するコーティングを施した超音波反射部材 9 0 を用いるようにしてもよい。

【 0 0 5 3 】

また、超音波反射部材 9 0 において、超音波を反射すると共に、光を透過する特性を持

10

20

30

40

50

つ部材（例えば、例えば、無色透明の硬質なプラスチック板）を超音波反射部材 90 として用いるようにしてもよい。これにより、固視標投影光学系 30 の光路中、アライメント投影光学系 40 の光路中に超音波反射部材 90 が配置されていても、固視光束及びアライメント光束のケラレを回避できる。なお、光透過性を持つ超音波反射部材 90 を用いる場合、超音波反射部材を光が通過することによる光路長の変化を鑑み、ビームスプリッタ 36・ビームスプリッタ 46 等の光路分割部材と同程度の面積を持つ部材を用いるようにしてもよい（例えば、図 9 参照）。

【0054】

また、上記構成に限るものではなく、超音波反射部材 90 の一部に開口部を設けることで、固視光束及びアライメント光束が開口部を通過して被検眼に入射されるようにしてもよい。なお、上記構成においては、固視標投影光学系 30 及びアライメント投影光学系 40 の共通光路中に超音波反射部材 90 が配置される場合を示したが、固視標投影光学系 30、アライメント投影光学系 40 の少なくともいずれかの光路中に超音波反射部材 90 が配置される場合においても、上記構成の適用は可能である。

【0055】

また、観察光学系 20 の観察光路外に探触子 10 が配置された構成としては、図 8 の構成に限るものではなく、観察光学系 20 の対物レンズ 22 と被検眼との間に超音波反射部材 90 を設けたものであってもよい。この場合、振動子 11 から出射される超音波は超音波反射部材 90 を介して被検眼に入射され、その反射波は超音波反射部材 90 を介して振動検出センサ 13 によって検出される。

【0056】

なお、上記構成において、被検眼の眼圧とは異なる眼特性を測定する測定光学系を設け、被検眼眼圧に加えて他の眼特性を測定できるようにしてもよい。

【0057】

図 9 は、非接触式超音波眼圧計に眼屈折力測定光学系を設けた場合の具体例を示す概略光学図である。

【0058】

図 9 において、測定光学系として眼屈折力測定光学系 310 が設けられ、測定光学系 310 は、測定光路外に探触子 10 が配置され、かつ、超音波反射部材 90 と被検眼との間の超音波伝搬経路上に測定光軸 L6 が形成されるように設けられている。

【0059】

より具体的には、超音波反射部材 90 は被検眼の眼前に配置され、振動子 11 から出射される超音波は超音波反射部材 90 を介して被検眼に入射され、その反射波は超音波反射部材 90 を介して振動検出センサ 13 によって検出される。これにより、被検眼の眼圧測定がなされる。

【0060】

また、超音波反射部材 90 の後方に配置されたダイクロイックミラー 301 の透過光路 O1 上には、眼屈折力測定光学系 310 が配置されている。測定光学系 310 は、眼底に測定光束を投光し、被検眼眼底からの反射光束を受光素子に受光させる光学系であり、受光素子の出力に基づいて眼屈折力が測定される。この測定光学系 310 及びその測定原理は周知のもので使用できるので、ここではその説明を省略する。

【0061】

ダイクロイックミラー 301 の反射方向には、眼 E を観察するための対物レンズ 311、ダイクロイックミラー 312、全反射ミラー 313 が配置されている。ミラー 313 の反射方向の光路 O2 上には、眼 E に固視標を固視させるための図示なき固視標投影光学系が配置されている。

【0062】

ダイクロイックミラー 312 の反射方向の光路 O3 上には、結像レンズ 320、眼 E の前眼部付近と略共役な位置に配置されたエリア CCD 等の二次元撮像素子 321 を含み眼 E を撮影し被検眼像を得る観察光学系 322 が配置されている。なお、二次元撮像素子 3

10

20

30

40

50

21は、前眼部照明光源325によって照明された前眼部反射光と、図示無きアライメント投影光学系によって角膜上に投影されたアライメント指標像を受光する。

【0063】

なお、測定光学系310の測定光軸L6と観察光学系311の観察光軸は、ダイクロイックミラー301にて同軸とされる。また、ダイクロイックミラー301は測定光学系310が持つ測定光源から発せられる波長の光を透過し、前眼部照明光源325及び図示無きアライメント投影光学系から発せられた波長の光及び可視光を反射する特性を有する。また、ダイクロイックミラー312は可視光を透過し、赤外光を反射する特性を有している。また、超音波反射部材90としては、超音波を反射するとともに光を透過する特性を持つ部材（例えば、無色透明の硬質なプラスチック板）を用いており、測定光学系310による測定光束、光源325による前眼部反射光、図示なき固視標投影光学系による固視光束、図示無きアライメント投影光学系から発せられた光、等が透過される。

10

【0064】

なお、図9の構成においては、測定光学系310、観察光学系322、固視標投影光学系の共通光路中に超音波反射部材90が配置されるものとしたが、探触子10から出射された超音波が超音波反射部材90を介して被検眼に対して正面から出射されるものであれば、これに限るものではない。例えば、ダイクロイックミラー301と対物レンズ311との間に超音波反射部材90を設けるような構成が考えられる。

【0065】

以上のような構成とすれば、被検眼の眼圧測定に加えて、被検眼の眼屈折力を測定可能となる。これにより、被検眼眼圧及び被検眼の眼圧とは異なる眼特性を測定可能な眼科装置の構成をコンパクトにできる。

20

【0066】

なお、上記説明においては、眼屈折力測定を例にとって説明したが、被検眼に照射された測定光による反射光を受光することにより被検眼の眼圧とは異なる眼特性を測定する測定光学系であれば、これに限るものではない。この場合、眼屈折力測定光学系310に代えて、非接触式眼軸長測定光学系（例えば、特開2007-37284号公報）、角膜厚測定光学系（例えば、特開昭63-197433）、等を設けるようなことが考えられる。

【0067】

なお、上記説明において、測定開始のトリガ信号に基づく被検眼の眼圧測定について、連続測定モードと通常の測定モードとを任意に選択できるようにしてもよい。この場合、例えば、1回のトリガ信号に基づいて1回の眼圧測定を行う通常の測定モードと、1回のトリガ信号に基づいて複数の眼圧測定を連続的に行う連続測定モードと、を選択するための選択スイッチを設けることが考えられる。

30

【0068】

以下に、連続測定モードが選択された場合について説明する。制御部70は、測定開始のトリガ信号が発せられると、被検眼の脈動による被検眼眼圧の変動情報が得られるように探触子10により超音波パルスを連続的に被検眼に向けて出射し、連続的に出射される各超音波パルスに対応する演算処理を行う。

40

【0069】

より具体的には、被検眼の脈動周期の範囲内（例えば、1.5秒以内）で、所定の時間間隔（例えば、0.1秒間隔）にて超音波パルスを連続的に被検眼に向けて出射し、各超音波パルスに対応する眼圧値を算出する。このようにすれば、被検眼の脈動周期の範囲内で多数の眼圧値が取得できるため、被検眼の脈動周期における被検眼の眼圧値の変化をとらえることができる。この場合、被検眼の脈動周期の範囲内で得られた各測定値に基づいて、代表値（例えば、各測定値の平均値、各測定値における中心値）を算出したり、脈動のピーク、ボトム、及び中間位置での測定値を算出し、これをモニタ72等に出力することにより被検眼の脈動による眼圧値の変動を考慮した眼圧測定が可能となる。

【0070】

50

なお、以上の説明においては、所定の時間間隔（例えば、0.1秒間隔）にて超音波パルスを出射するものとしたが、これに限るものではなく、被検眼の脈動周期の範囲内で予め設定された所定回数超音波パルスを出射するようにしてもよい。

【0071】

また、上記構成において、被検眼に向けて超音波パルスを連続的に出射するときの時間間隔もしくは出射回数を任意に変更可能とし、その時間間隔もしくは出射回数を予め設定するための設定スイッチをコントロール部74に設けるようにしてもよい。

【0072】

なお、以上の説明においては、Z方向におけるアライメント検出を光学的に検出する構成としたが、眼圧測定に用いられる探触子10によりZ方向のアライメント検出を行うようにしてもよい。この場合、探触子10の制御と眼圧測定用の制御と距離測定用の制御とで切り換える必要がある。ここで、探触子10により被検眼に対する距離検出を行う場合、具体的には、制御部70は、振動子11より被検眼に対して超音波を発してから、被検眼によって超音波が反射されて振動検出センサ13によって検出されるまでの計測時間Tを計測することにより、被検眼に対する探触子10の作動距離を検出できる。この場合、超音波が振動子11から出射されて振動検出13センサによって検出されるまでの計測時間Tが長ければ、被検眼に対する作動距離が大きく、計測時間Tが短ければ、被検眼に対する作動距離が短くなる。この場合、制御部70は、被検眼に対する作動距離が適正であるときの計測時間Tkを予め求めておき、探触子10によって計測される計測時間TがTkとなったときにZ方向のアライメント完了とみなす。なお、探触子10によって検出される距離情報は、図4に示すようなインジケータ表示としてモニタ72上に表示される。

【0073】

なお、上記のような構成の場合、制御部80は、例えば、アライメントの完了前においては、被検眼に対する距離センサとして探触子10を制御し、探触子10によって検出されるZ方向におけるアライメントが適正と判定された時点で、被検眼に対する眼圧測定センサとして探触子10を制御させ、眼圧測定を行う。

【0074】

このようにすれば、被検眼に対する作動距離方向のアライメント検出を行うための構成が眼圧測定用の探触子10によって行われるため、構成を簡略化できる。

【0075】

なお、上記説明において、探触子10を用いて被検眼に超音波を入射させる場合、被検眼に入射される超音波をパルス波としたが、これに限るものではなく、連続波を用いるようにしてもよい。

【0076】

また、上記説明においては、振動子11への入力位相と出力位相との位相差による音響インピーダンスの違いにより眼圧を求めるものとしたが、振動子11から発せられる入射波と振動検出センサ13によって検出される反射波とを比較し演算処理により被検眼の眼圧を測定するものであれば、これに限るものではない。例えば、振動子11から発せられる入射波の周波数と振動検出センサ13によって検出される反射波の周波数を比較して演算処理により被検眼の眼圧を求めるようにしてもよい。より具体的には、振動子11への入力波形と振動検出センサ13からの出力波形との間に位相差が生じたときに振動子11が発する超音波の周波数を変化させることで位相差をゼロにシフトさせる位相シフト回路を設け、位相差をゼロにシフトさせたときの周波数変化量を検出することにより被検眼の眼圧を求めるようにしてもよい。

【図面の簡単な説明】

【0077】

【図1】本実施形態に係る非接触式超音波眼圧計の外観構成図である。

【図2】本実施形態に係る非接触式超音波眼圧計の測定系及び光学系について説明する図である。

【図3】本実施形態に係る非接触式超音波眼圧計の制御系について説明する図である。

【図４】表示モニタに表示された前眼部観察画面について説明する

【図５】探触子より後方に対物レンズを配置させた場合の図である。

【図６】固視標投影光学系及び第１アライメント指標投影光学系の変容例を示す図である

。

【図７】ＸＹ方向に関して観察光軸Ｌ１から探触子が外れているような構成を示す図である。

【図８】観察光学系の観察光路外に探触子が配置された構成の具体例について説明する図である。

【図９】本実施形態に係る非接触式超音波眼圧計に眼屈折力測定光学系を設けた場合の具体例を示す概略光学図である。

10

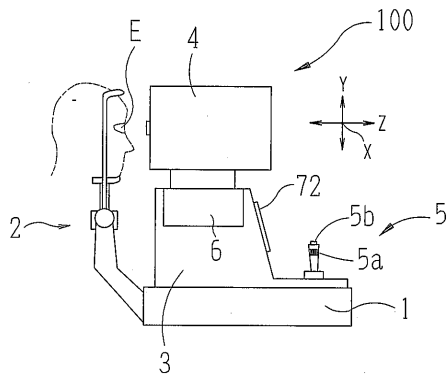
【符号の説明】

【００７８】

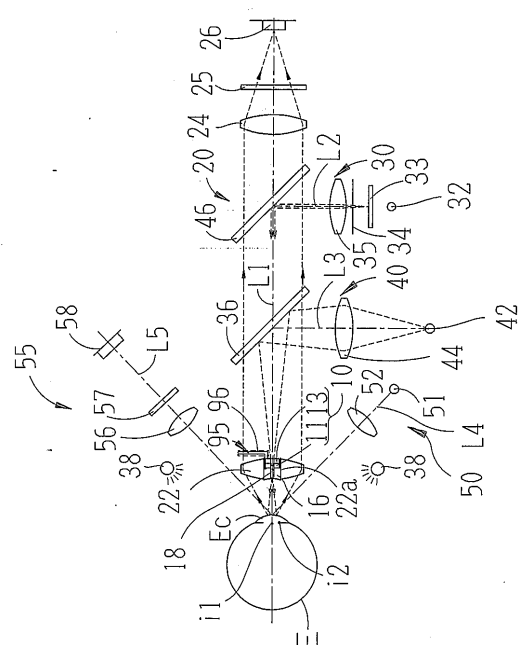
- １０ 探触子
- １１ 振動子
- １３ 振動検出センサ
- １６ 音響レンズ
- １８ 開口部
- ２０ 観察光学系
- Ｌ１ 観察光軸
- ２２ 対物レンズ
- ３０ 固視標投影光学系
- ４０ 第１指標投影光学系
- ５５ 作動距離指標投影光学系
- ７０ 制御部
- ８１ 増幅器
- ８２ 周波数成分分析部
- ８３ 周波數位相差特定部
- ９０ 超音波反射部材
- ３１０ 測定光学系

20

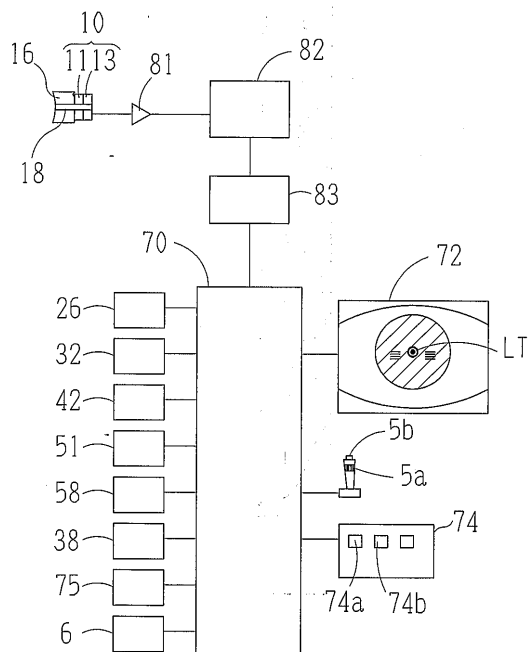
【図 1】



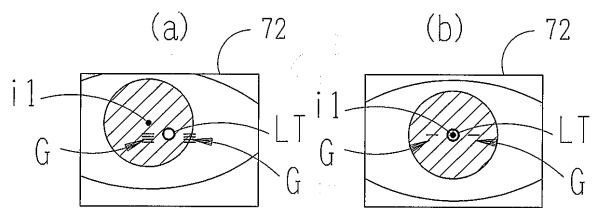
【図 2】



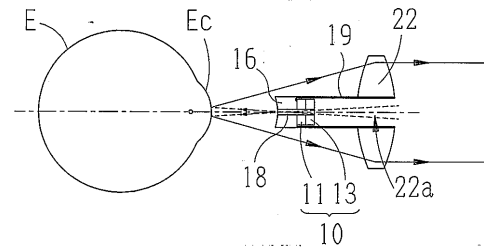
【図 3】



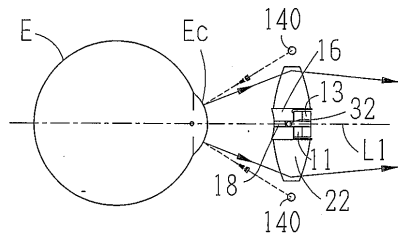
【図 4】



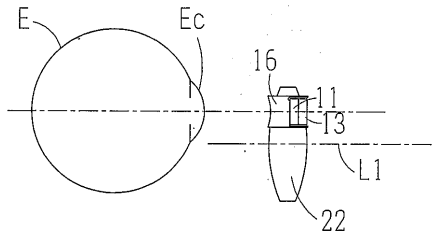
【図 5】



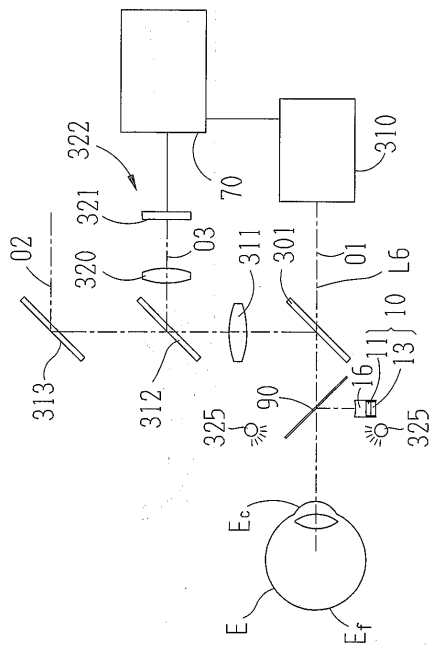
【図 6】



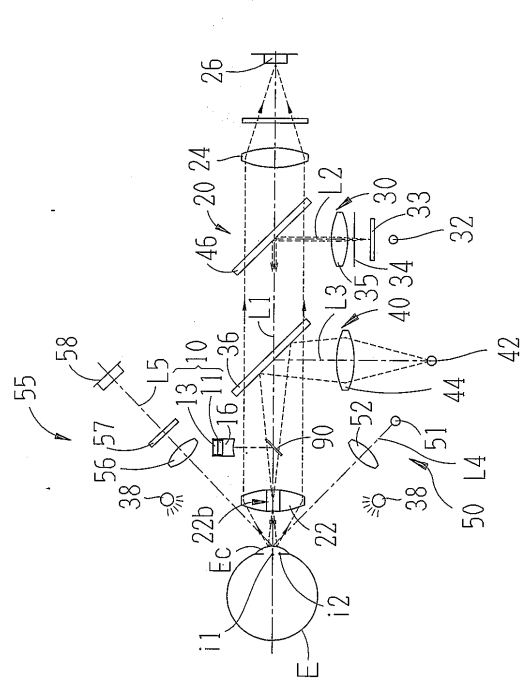
【図 7】



【図 9】



【図 8】



フロントページの続き

- (56)参考文献 特開平04-114625(JP,A)
特開昭62-064332(JP,A)
特開2004-351151(JP,A)
国際公開第2008/072527(WO,A1)
特開平05-253190(JP,A)
特開平02-180241(JP,A)
特開平04-114626(JP,A)
神出将幸、他、「超音波による非接触眼圧計測システムの基礎的研究」、電気学会マイクロマシン・センサシステム研究会資料、2007年 7月 3日、Vol.MSS-07 No.1-20、P93-P96
神出将幸、他、「超音波位相シフト法による非接触型眼圧計測システム開発に関する基礎的研究」、日本生体医工学会大会プログラム・論文集、2006年 5月15日、Vol.th.45th、P348

(58)調査した分野(Int.Cl., DB名)

A61B 3/16
JSTPlus/JMEDPlus/JST7580(JDreamIII)