

(19) 日本国特許庁(JP)

(12) 特 許 公 報(B2)

(11) 特許番号

特許第4656791号
(P4656791)

(45) 発行日 平成23年3月23日(2011.3.23)

(24) 登録日 平成23年1月7日(2011.1.7)

(51) Int.Cl.

F I

A 6 1 B 3/10 (2006.01)

A 6 1 B 3/10 N

A 6 1 B 3/12 (2006.01)

A 6 1 B 3/12 E

A 6 1 B 3/10 R

請求項の数 20 (全 11 頁)

(21) 出願番号 特願2001-531013 (P2001-531013)
 (86) (22) 出願日 平成12年10月20日(2000.10.20)
 (65) 公表番号 特表2003-532449 (P2003-532449A)
 (43) 公表日 平成15年11月5日(2003.11.5)
 (86) 国際出願番号 PCT/US2000/029008
 (87) 国際公開番号 W02001/028411
 (87) 国際公開日 平成13年4月26日(2001.4.26)
 審査請求日 平成19年6月12日(2007.6.12)
 (31) 優先権主張番号 09/422,338
 (32) 優先日 平成11年10月21日(1999.10.21)
 (33) 優先権主張国 米国(US)

(73) 特許権者 594072971
 ユニバーシティ オブ ロチェスター
 アメリカ合衆国ニューヨーク州14642
 , ロチェスター, ボックス オーティーテ
 ィー, エルムウッド・アヴェニュー 60
 1
 (74) 代理人 100089705
 弁理士 社本 一夫
 (74) 代理人 100076691
 弁理士 増井 忠武
 (74) 代理人 100075270
 弁理士 小林 泰
 (74) 代理人 100080137
 弁理士 千葉 昭男

最終頁に続く

(54) 【発明の名称】 軸外れ照射を伴う波先センサ

(57) 【特許請求の範囲】

【請求項 1】

目(E)の網膜(R)を照射する方法であって、

目(E)に関して当該光源(102)を位置決めする位置決め工程と；

上記光源(102)により網膜(R)を照射する照射工程と；

網膜(R)から反射された光(L3)を検出器(112)で受け取る工程と；

上記検出器(112)で目(E)の波先収差を検出する工程と；

を有する方法において、

上記光源(102)は、目(E)の角膜(C)から反射された当該光源(102)からの光(L2)が第1の経路に沿って進行するように及び網膜(R)から反射された該光源(102)からの光(L3)が上記第1の経路から空間的に離間した第2の経路に沿って進行するように、目(E)に関して位置決めされることを特徴とする方法。

【請求項 2】

上記第2の経路に沿って進行する光(L3)を通過させ、上記第1の経路に沿って進行する光(L2)を遮断するために絞り(108)を設けたことを特徴とする請求項1に記載の方法。

【請求項 3】

上記光源(102)をレーザーダイオードとしたことを特徴とする請求項1に記載の方法。

【請求項 4】

上記光源（１０２）が光ビーム（Ｌ１）を発光し；

上記位置決め工程は、光ビーム（Ｌ１）が目（Ｅ）の光学軸（Ａ）から外れて目（Ｅ）に入射するように、上記光源（１０２）を位置決めする工程を有する；ことを特徴とする請求項１に記載の方法。

【請求項５】

上記光源（１０２）が、角膜（Ｃ）から反射された光（Ｌ２）と網膜（Ｒ）から反射された光（Ｌ３）との間の分離を許容するのに十分な大きさの距離だけ、上記光学軸（Ａ）から外れて位置することを特徴とする請求項４に記載の方法。

【請求項６】

上記検出器（１１２）をハルトマン・シャック検出器としたことを特徴とする請求項１に記載の方法。

10

【請求項７】

上記照射工程が非偏光ビームスプリッタ（１０４）で上記光源（１０２）から目（Ｅ）へ光（Ｌ１）を導く工程を有することを特徴とする請求項１に記載の方法。

【請求項８】

目（Ｅ）の網膜（Ｒ）を照射する方法であって、

目（Ｅ）に関して当該光源（１０２）を位置決めする位置決め工程と；

上記光源（１０２）により網膜（Ｒ）を照射する照射工程と；

を有する方法において、

上記光源（１０２）は、目（Ｅ）の角膜（Ｃ）から反射された当該光源（１０２）からの光（Ｌ２）が第１の経路に沿って進行するように及び網膜（Ｒ）から反射された当該光源（１０２）からの光（Ｌ３）が上記第１の経路から空間的に離間した第２の経路に沿って進行するように、目（Ｅ）に関して位置決めされ、上記照射工程が非偏光立体ビームスプリッタで上記光源（１０２）から目（Ｅ）へ光（Ｌ１）を導く工程を有することを特徴とする方法。

20

【請求項９】

上記非偏光ビームスプリッタ（１０４）をプレートビームスプリッタとしたことを特徴とする請求項７に記載の方法。

【請求項１０】

目（Ｅ）の網膜（Ｒ）を照射する装置（１００）であって、

目（Ｅ）に関して位置決めされた光源（１０２）と；

目（Ｅ）の網膜（Ｒ）から反射された光（Ｌ３）を受け取る光学素子（１１２）と；

を有し、上記光学素子（１１２）が網膜（Ｒ）から反射された光（Ｌ３）を受け取るように位置決めされ、目（Ｅ）の波先収差を検出する検出器（１１２）からなる装置において、

30

上記光源（１０２）は、目（Ｅ）の角膜（Ｃ）から反射された上記光源（１０２）からの光（Ｌ２）が第１の経路に沿って進行するように及び網膜（Ｒ）から反射された当該光源（１０２）からの光（Ｌ３）が上記第１の経路から空間的に離間した第２の経路に沿って進行するように、目（Ｅ）に関して位置決めされることを特徴とする装置。

【請求項１１】

40

上記光学素子が上記第２の経路に沿って進行する光（Ｌ３）を通過させ、上記第１の経路に沿って進行する光（Ｌ２）を遮断する絞り（１０８）を有することを特徴とする請求項１０に記載の装置。

【請求項１２】

上記光源（１０２）をレーザーダイオードとしたことを特徴とする請求項１０に記載の装置。

【請求項１３】

上記光源（１０２）が光ビーム（Ｌ１）を発光し、かつ、光ビーム（Ｌ１）が目（Ｅ）の光学軸（Ａ）から外れて目（Ｅ）に入射するように位置決めされることを特徴とする請求項１０に記載の装置。

50

【請求項 14】

上記光源（102）が、角膜（C）から反射された光（L2）と網膜（R）から反射された光（L3）との間の分離を許容するのに十分な大きさの距離だけ、上記光学軸（A）から外れて位置することを特徴とする請求項13に記載の装置。

【請求項 15】

上記検出器（112）をハルトマン・シャック検出器としたことを特徴とする請求項10に記載の装置。

【請求項 16】

上記光源（102）から目（E）へ光（L1）を導くための非偏光ビームスプリッタ（104）を更に有することを特徴とする請求項10に記載の装置。

10

【請求項 17】

目（E）の網膜（R）を照射する装置（100）であって、
目（E）に関して位置決めされた光源（102）と；
目（E）の網膜（R）から反射された光（L3）を受け取る光学素子（112）と；
上記光源（102）から目（E）へ光（L1）を導くための非偏光立体ビームスプリッタと；
を有する装置において、

上記光源（102）は、目（E）の角膜（C）から反射された当該光源（102）からの光（L2）が第1の経路に沿って進行するように及び網膜（R）から反射された当該光源（102）からの光（L3）が上記第1の経路から空間的に離間した第2の経路に沿って進行するように、目（E）に関して位置決めされることを特徴とする装置。

20

【請求項 18】

上記非偏光（104）ビームスプリッタをプレートビームスプリッタとしたことを特徴とする請求項17に記載の装置。

【請求項 19】

光学素子（E）の波先収差を決定する方法であって、
上記光学素子（E）に関して上記光源（102）を位置決めする工程と；
上記光源（102）により上記光学素子（E）を照射する工程と；
上記光学素子（E）を通して伝達され当該光学素子（E）を通して戻り反射された光（L3）を検出器（112）で受け取る工程と；
波先収差を上記検出器（112）で検出する工程と；
を有する方法において、

30

上記光源（102）は、上記光学素子（E）の表面（C）から反射された当該光源（102）からの光（L2）が第1の経路に沿って進行するように及び当該光学素子（E）を通して伝達され同光学素子（E）を通して戻り反射された当該光源（102）からの光（L3）が上記第1の経路から空間的に離間した第2の経路に沿って進行するように、該光学素子（E）に関して位置決めされることを特徴とする方法。

【請求項 20】

光学素子（E）の波先収差を決定する装置（100）であって、
上記光学素子（E）に関して位置決めされた光源（102）と；
上記光学素子（E）を通して伝達され同光学素子（E）を通して戻り反射された上記光源（102）からの光（L3）を受け取る検出器（112）と；
を有する装置において、

40

上記光源（102）は、上記光学素子（E）の表面（C）から反射された当該光源（102）からの光（L2）が第1の経路に沿って進行するように及び当該光学素子（E）を通して伝達され同光学素子（E）を通して戻り反射された当該光源（102）からの光（L3）が上記第1の経路から空間的に離間した第2の経路に沿って進行するように、該光学素子（E）に関して位置決めされることを特徴とする装置。

【発明の詳細な説明】

【0001】

50

【発明の背景】

本発明は目における波先(wavefront) 収差のためのセンサの如き波先センサに関し、特に、目の光学軸から逸れた光経路に沿って網膜を照射することにより角膜反射を回避するようなセンサに関する。本発明は更にこのような軸外れ(off-axis)照射を使用して波先を感知する方法に関する。

【0002】

目内手術やコンタクトレンズの製造の如き目的で人間の目における波先収差を検出することは従来知られている。このような検出は、例えば、1994年7月発行の雑誌Journal of the Optical Society of America (第11巻No. 7)のライアン(Liang)等の著による「ハルトマン・シャック(Hartmann-Shack)波先センサの使用による人間の目の波収差の客観的な測定」(1-9頁)に開示されている。レーザーダイオード又は他の光源からの光のビームは瞳の方へ導かれ、網膜へ入射する。網膜は高吸収性なので、元のビームよりも4桁程度の暗さのビームが網膜により反射され、瞳から出る。典型的には、入来し(目に入り)出現する(目から出る)光は共通の光学経路を辿り、入来する光はビームスプリッタと共通の光学経路に来る。

10

【0003】

出現するビームはハルトマン・シャック検出器へ送られ、収差を検出する。このような検出器は光をスポットの列に分解し、電荷結合検出器又は他の二次元光検出器上にスポットを合焦させるレンズの列を有する。各スポットは、波先収差が無い場合に占める位置からのその変位を決定するように位置決めされ、スポットの変位は波先の復元、従って収差の検出を可能にする。

20

【0004】

ライアン等の技術に対する改善は1997年11月発行の雑誌Journal of the Optical Society of America (第4巻No. 11)のジェー・ライアン(J. Liang)及びディー・アール・ウィリアムズ(D.R. Williams)等の著による「普通の人間の目の収差及び網膜画質」(2873-2883頁)及び米国特許第5,777,719号明細書に教示されている。この米国特許は収差を検出し、このように検出した収差を目の手術並びに目内及びコンタクトレンズの製造に使用するための技術を教示している。更に、1994年の雑誌のライアン等の技術とは異なり、これらの技術はそれ自体自動化に役立つ。

【0005】

上述の技術は目の光学軸に沿って目を照射することを含む。その結果、網膜から反射された光は迷(stray)反射と混合され、測定を混乱させることがある。詳細には、迷反射はハルトマン・シャック検出器内に形成されたスポットの列の真ん中の疑似の明るいスポットとして現れる。

30

【0006】

このような迷反射は波先センサにおいていくつかの原因となる。特に重要なことは、網膜とビームスプリッタとの間の光学素子からの反射である。このような素子は典型的には目のレンズ系、及びビームスプリッタと目との間の一対のレンズとを含む。網膜以外の表面からの戻り反射は照射ビームよりも弱い、網膜から反射された弱い信号よりも明るい。

【0007】

目のレンズ系においては、戻り反射が問題となるのに十分明るい唯一の表面は角膜の第1の(外側)表面である。この反射は網膜からの反射に対してエネルギー的に匹敵し、それ故、特に検出器内のスポットのセントロイドを自動的に計算すべき場合は、波先感知にとってかなり有害になることがある。

40

【0008】

ライアン及びウィリアムズ並びにウィリアムズ等の雑誌において教示された角膜反射を除去する1つの既知の方法はビームスプリッタと網膜との間のすべての表面からの反射光を除去するために偏光ビームスプリッタを使用することである。これらの表面がそこへ入射する光の線形偏光を維持するので、レンズの反射及び角膜の反射は排除される。しかし、網膜から反射された光の多くも失われてしまう。網膜から反射された全体の光の約30%

50

の減偏光光のみが波先収差を検出するために利用できる。更に、減偏光光はかなりの空間ノイズを含む。更に別の問題は目のレンズ系（主に角膜）の複屈折によりスポットの列内へ導入される強度不均一である。

【 0 0 0 9 】

網膜からの信号を増大させながらビームスプリッタと目との間のすべての光学系からの反射を除去する別の既知の方法は目のすぐ前方で四分の一波長（ $\lambda/4$ ）プレートと組み合わせた偏光ビームスプリッタの使用を含む。ドイツ国公開特許出願DE 4 2 2 2 3 9 5 A 1号明細書はこの技術を教示している。この技術は網膜から反射された光の一層多くの部分が検出器へ到達するのを可能にし、目の複屈折により生じるスポットの明るさの変化を除去しながらスポットの質を改善する。これはまた、レンズからの戻り反射を除去する。しかし、角膜反射は除去されず、従って、偏光光学系が存在しない場合と同じように厄介である。

10

【 0 0 1 0 】

上述した2つの技術における別の問題は偏光ビームスプリッタ及び $\lambda/4$ プレートのコストである。コストを気にする商業的な設定においては、このようなコストを排除するのが望ましい。

【 0 0 1 1 】

【発明の概要】

上述に照らして、角膜反射が検出器上の疑似のスポットを生じさせない又は網膜から反射された光から導かれる信号を劣化させないような波先センサを提供する要求が当業界に存在することは容易に明らかであろう。特に、偏光光学系を使用せずに角膜反射の問題を排除することにより正確で安価な方法によって波先収差を検出する要求がある。

20

【 0 0 1 2 】

それ故、本発明の目的はこのような要求を満たすことである。

上述及び他の目的を達成するため、本発明は目を軸外れ照射する波先センサに関する。角膜により反射されない光は網膜に入射し、網膜により反射された光はレンズ及び角膜を通過して戻る。これにより、その光は角膜反射が生じる光学経路とは異なる光学経路内に合焦される。網膜反射の全部が使用され、角膜反射は単純で安価な絞りの如き非偏光光学系により排除できる。

【 0 0 1 3 】

目を照射するために使用されるビームは比較的狭く（例えば、およそ1 - 1.5 mmの直径）、小さな領域内で角膜を横切り、角膜反射が検出器への帰還経路を辿る可能性を更に減少させる。更に、小さなスポットが網膜上で合焦する屈折範囲を増大することができる。典型的には、1 mmより少ないだけの目の光学軸からの照射ビームの変位が角膜反射を完全に除去する。

30

【 0 0 1 4 】

照射ビームは好ましくは、例えば目の前でビームスプリッタを直角に配置することにより、目の前の最後の可能な位置で光学経路内へ導入される。従って、ビームスプリッタと網膜との間の唯一の素子が角膜であるため、レンズからの戻り反射は回避される。

【 0 0 1 5 】

目の前でビームスプリッタを直角に配置した場合でさえ、同じ素子の使用により照射ビームの焦点及び出口ビームの焦点を調整することができる。これを行う1つの方法はスライド上に装着したミラーを備えた折り畳み光学経路を提供することである。ミラーはビームスプリッタに達する前の照射ビームの経路及び出口ビームの経路内に配置される。従って、スライドの運動が両方のビームを合焦させる。

40

【 0 0 1 6 】

異なる患者の目を調節する必要があるなら、出力の方向に垂直な（一層一般には、非平行な）方向に光源を移動させることができる。

本発明は目の波先感知を含む又は網膜の照射を含む任意の手続きにおいて有用性を有する。このような手続きは自動屈折、コンタクトレンズ又は目内レンズの設計、屈折手術及び

50

適応性の光学系による網膜作像を含むが、これらに限定されない。本発明は人間の目に使用することに期待されるが、家畜又は目に関係しない応用も同様に発揮できる。

【 0 0 1 7 】

【 好ましい実施の形態の詳細な説明 】

添付図面を参照して本発明の好ましい実施の形態を詳細に説明する。

図 1 は患者の目 E の網膜を照射する基本的な装置 1 0 0 の全体図を示し、好ましい実施の形態において実施される光学原理を説明するために使用される。レーザーダイオードの如きレーザー光源 1 0 2 は平行プレートビームスプリッタ、肉厚プレートビームスプリッタ、プリズムビームスプリッタ、半銀ミラー又は他の適当なビームスプリッタとすることのできるビームスプリッタ 1 0 4 の方へ光 L 1 のビームを発光する。ビームスプリッタ 1 0 4 は好ましくは 9 0 % の透過性及び 1 0 % の反射性を有するが、必要なら他の比率も使用できる。レーザー光源 1 0 2 及びビームスプリッタ 1 0 4 は、光 L 1 が目 E の光学軸 A から外れて目 E に入射するように、位置決めされる。従って、目 E の角膜 C から反射された光ビーム L 2 は光学軸 A から外れて反射される。残りの光は目 E の網膜 R 上にレーザービーコン B を形成する。目 E の光学系のため、目 E の網膜 R から反射された光ビーム L 3 は目 E から出て、ビームスプリッタ 1 0 4 を通過する。次いで、光ビーム L 3 はレンズ 1 0 6、角膜から反射された光ビーム L 2 を遮断しながら網膜から反射された光ビーム L 3 を通過させる絞り 1 0 8、及びレンズ 1 1 0 を通過して、ハルトマン・シャック検出器 1 1 2 へ至る。従来既知のように、検出器 1 1 2 は C C D 又は他の適当な二次元検出器上の光スポット L 4 の列として光ビーム L 3 を合焦させるためにレンズ列 1 1 4 を有する。

【 0 0 1 8 】

図 2 - 4 は図 1 を参照して先に説明した光学原理を使用する第 2 世代の装置 2 0 0 を示す。図 2 は上から見た装置 2 0 0 の下方レベル 2 0 2 を示し、一方、図 3 は上から見た装置 2 0 0 の上方レベル 2 0 4 を示し、図 4 は右から見た装置 2 0 0 の両方のレベル 2 0 2、2 0 4 を示す。

【 0 0 1 9 】

下方レベル 2 0 2 においては、図 2 に示すように、レーザーダイオード 2 0 6 が水平位置決めのための装着体 2 0 8 に装着される。このような位置決めの目的は後に説明する。ダイオード 2 0 6 から出た光ビームはレンズ 2 1 0、2 1 2 を通って下方レベル光経路 L L を追従する。光ビームはコーナーミラー 2 1 4 により再帰反射され、レンズ 2 1 6 を通り、光ビームを上方へ反射させるミラー 2 1 8 に至る。

【 0 0 2 0 】

上方レベル 2 0 4 においては、図 3 に示すように、平行プレートビームスプリッタ 2 2 0 がミラー 2 1 8 により上方へ反射された光ビームを受け取り、その光ビームを上方レベル光経路 L U に沿って導く。経路 L U は大幅に簡単化した形状で示され；図 1 の上述の説明は当業者に対して真の光学経路のための要求の理解を提供する。光ビームは図 1 に関連して先に説明した方法で目 E を照射する。目 E の網膜 R により反射された網膜反射光ビームはビームスプリッタ 2 2 0 及びレンズ 2 2 2 を通って戻る。次いで、網膜反射光ビームはコーナーミラー 2 2 4 により再帰反射され、レンズ 2 2 6 を通り、レンズ列 2 3 0 及び C C D 検出器 2 3 2 を有するハルトマン・シャック検出器 2 2 8 に至る。もちろん、光経路 L U に沿った適当な位置（例えば、レンズ 2 2 2 の焦点）に絞りを配置することができる。設定に応じて、ミラー 2 1 4、2 2 4 の代わりに単一のミラーを使用することができる。

【 0 0 2 1 】

入射光ビームの直径は適当な値、例えば 1 . 5 mm である。小さな直径は網膜の焦点深度を増大させ、患者上での正確な光の合焦の要求を緩和する。

小さな直径はまた、網膜上のスポットが屈折制限されることを保証する。進入ビームはレンズ列内のレンズの直径よりも小さくすべきでない。さもなければ、入来ビーム内の屈折が C C D 上のスポットを顕著にぼやけさせてしまう。

【 0 0 2 2 】

10

20

30

40

50

進入ビームは、角膜反射と網膜反射とを分離し、もって、角膜反射の効果を回避するために、ビームの直径の $1/2$ よりも大きい距離だけ、瞳内で角膜極から変位され、好ましくは約 1 mm だけ変位される。この距離は対象物毎に変えることができ、小さな進入ビームの直径のため 1 mm 以下とすることができる。この距離は、ダイオード 206 及びそのコリメート光学系を小さな量だけ並進させる装着体 208 で変化することができる。ダイオード 206 及びその光学系を 1 mm まで並進させる能力で十分である。角膜からの反射光は発散され、レンズ 222 によりコリメートされ、レンズ 222 の焦点に位置する絞り又は別の適当な光学素子により遮光することができる。

【0023】

他の光学素子からの戻り反射は目のすぐ前の最後の可能な場所にビームスプリッタ 220 を配置することにより回避することができる。この構成は、照射ビームが他の光学素子を回避するのを可能にする。その理由は、ビームスプリッタ 220 と網膜 R との間の唯一の素子が角膜 C だからである。

【0024】

ビームスプリッタからの普通の反射は回転したビームスプリッタ立体又は肉厚プレートビームスプリッタを使用することにより回避することができる。従来しばしば必要とされたような、迷光を除去するために適所での目での画像から適所での目無しでの画像を差し引く必要はない。

【0025】

図 4 に示すように、装置 200 の光学経路の長さは、ミラー 214、224 が単一の剛直体として移動できるようにミラー 214、224 をスライド機構 234 に結合することにより、変えることができる。ミラー 214、224 は相対的に軸方向に変位される。スライド機構 234 が距離 x だけ運動すると、各レベル 202、204 の光学経路長さが距離 $2x$ だけ変化し、装置の光学経路長さは全体として距離 $4x$ だけ変化する。

【0026】

スライド機構の別の利点は、入来ビームが網膜上で合焦するのを許容し、同時に、同じ装置即ちミラー 214、224 を支えるスライド 234 で、出口光が CCD アレイ上で合焦するのを許容することである。ミラー 214 がビームスプリッタ 220 に到達する前の照射ビームの経路内にあり、ミラー 224 が出口ビームの経路内にあるので、スライド 234 の運動は両方のビームの経路長さを変更し、両方のビームの焦点の調整を可能にする。従って、スライド 234 は経済性及び便利さを提供する。

【0027】

装置 200 に二重スライド機構を使用することができる。例えば、別のミラー（図示せず）をミラー 214、224 に対向して配置して、光ビームにより装置を通る別のパス（光路）を作ることができる。この構成により、スライド機構 234 が距離 x だけ運動すると、全体の光学経路長さは距離 $8x$ だけ変化する。

【0028】

実験結果を図 5、6 に示す。図 5 は、偏光ビームスプリッタを使用せず、波長 $\lambda = 790\text{ nm}$ を発生させる SLD 光源を使用した本発明に係る軸外れ照射により得られた結果を示す。図 6 は、偏光ビームスプリッタを使用するが $\lambda/4$ プレートを使用せず、波長 $\lambda = 633\text{ nm}$ を発生させる He-Ne（ヘリウム/ネオン）レーザー光源を使用した従来の軸外れ照射により得られた結果を示す。両方の結果は次の条件で得られる： 6.7 mm の瞳直径のための無力化調節、 500 ms の露光時間、 $10\text{ }\mu\text{W}$ の進入レーザーパワー及び 1.5 mm の進入ビーム直径。

【0029】

図 5、6 の比較は、本発明が光スルーブット及びスポットの質に対して大なる改善を提供することを示す。図 5 に示すスポットパターンは図 6 のものよりも一層良好な強度均一性を有し、図 6 のものよりも 4 倍も大きな平均スポット強度を有する。実際、両者に関しては、図 5 のスポットパターンは偏光ビームスプリッタ及び $\lambda/4$ プレートを使用し、その技術の欠点を伴わずに得られたものに匹敵する。平行プレートビームスプリッタ等とする

10

20

30

40

50

ことのできる単一の非偏光ビームスプリッタは、 $\lambda/4$ プレートを使用した又は使用しない従来の偏光技術に必要な光学系よりも安価である。1 よりも大きな反射に対する透過率を備えたビームスプリッタの使用は利用できる光を更に増大させる。

【0030】

本発明は多くの利点を与える。目及び他の光学系における戻り反射の有害な効果は回避され、機器を一層頑丈にし、これを作動させるソフトウェアを一層簡単にする。スポット画像の質は偏光効果により劣化せず、そのため、精度が改善される。スループットは従来のものよりも高く、同じレベルの照射、従って同じレベルの患者の心地及び安全性のための一層大きな信号を達成できる。代わりに、少ない照射光強度で従来と同じ信号を達成でき、従って患者の心地及び安全性を改善する。十分に明るいダイオードにより、網膜から C C D アレイへ殆どすべての光を伝達するために、プレートビームスプリッタの反射に対する透過率を選択することができる。偏光光学系が必要でないため、コストが減少する。

10

【0031】

以上好ましい実施の形態を説明したが、本発明の開示を吟味した当業者なら、本発明の要旨内で他の実施の形態を実現できることを認識できよう。例えば、改善された経路長さ及び小型化のために光学経路は付加的な折り畳みを有することができ、固定標的及び瞳カメラを追加することができる。また、網膜反射と角膜反射とを空間的に分離する任意の方法により、例えば適当な入射角を選択することにより、光源を位置決めできる。それ故、本発明は特許請求の範囲にのみ制限されると解釈すべきである。

20

【図面の簡単な説明】

【図1】 本発明の好ましい実施の形態において実施される基本的な光学概念を示す概略図である。

【図2】 好ましい実施の形態に係る波先センサにおける光学素子の配置を示す概略図である。

【図3】 好ましい実施の形態に係る波先センサにおける光学素子の配置を示す概略図である。

【図4】 好ましい実施の形態に係る波先センサにおける光学素子の配置を示す概略図である。

【図5】 好ましい実施の形態により得られる実験結果を示す図である。

【図6】 従来技術により得られる実験結果を示す図である。

30

【図 1】

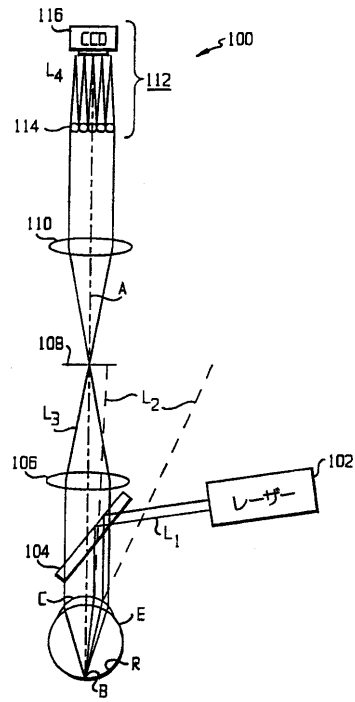


FIG. 1

【図 2】

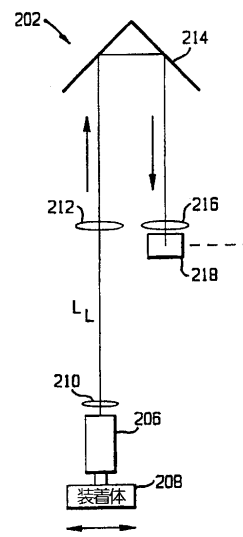


FIG. 2

【図 3】

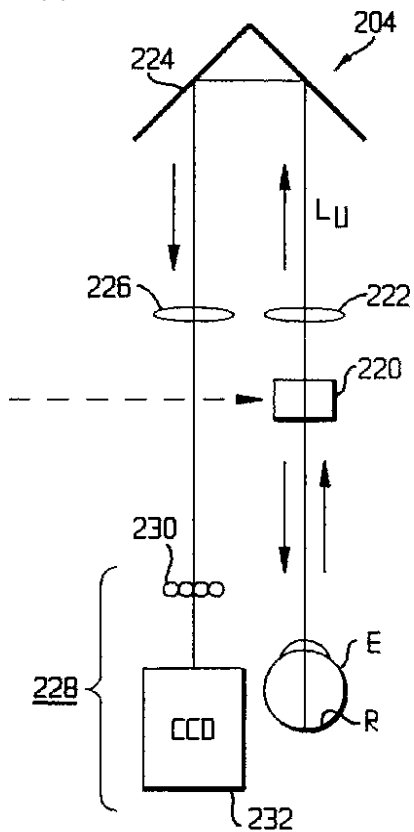


FIG. 3

【図 4】

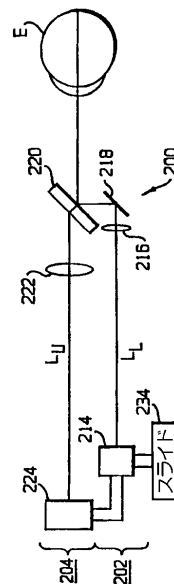


FIG. 4

【図 5】

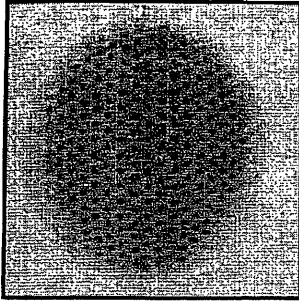
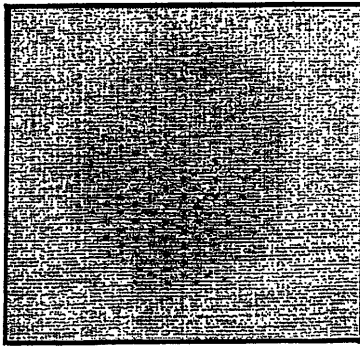


FIG.5

【図 6】



（従来技術）

FIG.6

フロントページの続き

(74)代理人 100096013

弁理士 富田 博行

(74)代理人 100083895

弁理士 伊藤 茂

(72)発明者 ウィリアムズ, デービット・アール

アメリカ合衆国ニューヨーク州 1 4 4 5 0 , フェアポート, シェルター・クリーク・レーン 2 8

(72)発明者 ヨーン, ジーアン・ヤン

アメリカ合衆国ニューヨーク州 1 4 6 2 3 , ロチェスター, クインビー・ロード 2 5 2 ディー

審査官 後藤 順也

(56)参考文献 特開平 1 0 - 2 1 6 0 9 2 (J P , A)

特開平 0 7 - 0 3 9 5 1 7 (J P , A)

(58)調査した分野(Int.Cl., D B 名)

A61B 3/00-3/18