

## 明 細 書

### 発明の名称：接眼光学レンズ、光計測システム、及び光計測方法 技術分野

[0001] 本発明は、接眼光学レンズ、光計測システム、及び光計測方法に関する。

#### 背景技術

[0002] 従来、被検眼における房水に含まれる物質を分析し、被検眼の診断に役立てる技術が知られている。この技術では、穿刺により角膜下の房水を抽出する必要がある、被検査者の負担が大きかった。

[0003] 特許文献1～4には、非侵襲で被検眼の検査を行う技術が開示されている。これらの技術では、被検眼の鼻側あるいは耳側から光を横向きに入射させ、房水内を被検眼の眼軸（角膜の頂点と中心窩とを結ぶ線）の方向と略直交する方向に沿って透過させる。このとき、光は、被検眼の前方角膜と房水と後方角膜とをこの順に透過する。この光路により、ノイズ源となる透過組織の数を減らし、房水代謝産物の濃度計測を実施することが提案されている。また、この光路により、光が瞳孔を通過し眼球内部に進入して網膜に損傷を与えることを防止している。

#### 先行技術文献

##### 特許文献

[0004] 特許文献1：特表平6－503245号公報

特許文献2：特開2018－175760号公報

特許文献3：特開2018－175481号公報

特許文献4：特開2011－83342号公報

#### 発明の概要

##### 発明が解決しようとする課題

[0005] しかしながら、本発明者らの角膜輪部における形状の解剖学的研究結果及び導入する光束の広がりや眼球運動に関するデータを基礎とした試算によると、多くの被検者の眼において、房水内を横向きに透過させる光路を実現す

るには、被検眼に対する光の入射角を  $1^{\circ}$  より小さい誤差で制御する必要があり、実現することが困難であると考えられる。

[0006] 本発明は、上記に鑑みてなされたものであって、非侵襲で被検眼の房水に含まれる物質を分析することを可能とする接眼光学レンズ、光計測システム、及び光計測方法を提供するものである。

### 課題を解決するための手段

[0007] 上述した課題を解決し、目的を達成するために、本発明に係る接眼光学レンズは、複数の面を有する基部と、前記基部の一つの面をなし、球面状にくぼんだ凹部と、前記基部の前記凹部の外周側の面をなし、前記複数の面のうち前記凹部と異なる面から前記基部に入射した光を前記凹部に向けて反射する反射部と、を備えることを特徴とする。

[0008] また、本発明の一態様に係る接眼光学レンズは、上記発明において、前記反射部は、前記基部に入射した光を入射方向と略直交する方向に反射することを特徴とする。

[0009] また、本発明の一態様に係る接眼光学レンズは、上記発明において、前記反射部は、前記基部に入射した光を前記凹部の頂点を通る軸方向に反射することを特徴とする。

[0010] また、本発明の一態様に係る接眼光学レンズは、上記発明において、前記反射部は、当該接眼光学レンズを形成する媒質の屈折率に応じて定まり、前記反射部に入射した光を全反射する臨界角を有することを特徴とする。

[0011] また、本発明の一態様に係る接眼光学レンズは、上記発明において、前記反射部は、前記基部の前記凹部の外周を囲む面をなすことを特徴とする。

[0012] また、本発明の一態様に係る接眼光学レンズは、上記発明において、前記反射部は、前記基部の前記凹部の外周側の面をなし、前記複数の面のうち前記凹部と異なる面から前記基部に入射した光を前記凹部に向けて反射する第1反射部と、前記基部の前記凹部の外周側の面をなし、前記第1反射部が反射した光を前記複数の面のうち前記凹部と異なる面に向けて反射する第2反射部と、を有することを特徴とする。

- [0013] また、本発明の一態様に係る光計測システムは、上記の接眼光学レンズと、前記接眼光学レンズに向けて光を照射する光源部、及び前記接眼光学レンズからの光を受光する受光部を有する光計測装置と、を備えることを特徴とする。
- [0014] また、本発明の一態様に係る光計測システムは、上記発明において、前記受光部は、前記接眼光学レンズを触接させた被検眼の房水におけるラマン散乱光を受光することを特徴とする。
- [0015] また、本発明の一態様に係る光計測方法は、複数の面を有する基部と、前記基部の一つの面をなしており、球面状にくぼんだ凹部と、前記基部の前記凹部の外周側の面をなし、前記複数の面のうち前記凹部と異なる面から前記基部に入射した光を前記凹部に向けて反射する反射部と、を備える接眼光学レンズを用いる光計測方法であって、前記接眼光学レンズを触接させた被検眼に検査光を照射し、前記検査光によるスポットの位置が前記反射部に形成されるように光の入射位置を調整する調整ステップと、前記検査光より光強度が大きい計測光を前記接眼光学レンズに照射する計測光照射ステップと、前記計測光を受光する受光ステップと、を含むことを特徴とする。
- [0016] また、本発明の一態様に係る光計測方法は、上記発明において、前記受光ステップの前に、前記計測光を受光する受光部を、前記被検眼の房水におけるラマン散乱光の光強度が最大となる位置に配置する配置ステップを含むことを特徴とする。

### 発明の効果

- [0017] 本発明によれば、非侵襲で被検眼の房水に含まれる物質を分析することを可能とする接眼光学レンズ、光計測システム、及び光計測方法を実現することができる。

### 図面の簡単な説明

- [0018] [図1]図1は、本発明の実施の形態に係るラマン散乱光分光計測システムの模式図である。
- [図2]図2は、接眼光学レンズの拡大図である。

[図3]図3は、光源部の部分拡大図である。

[図4]図4は、ラマン分光計測方法の手順を表すフローチャートである。

[図5]図5は、変形例1の接眼光学レンズの拡大図である。

[図6]図6は、変形例2の光源部の拡大図である。

[図7]図7は、変形例3の光源部の拡大図である。

### 発明を実施するための形態

[0019] 以下、本発明の接眼光学レンズ、光計測システム、及び光計測方法の詳細について実施の形態に即して説明するが、これらは本発明を限定するものではない。

[0020] (実施の形態)

〔ラマン散乱光分光計測システムの構成〕

図1は、本発明の実施の形態に係るラマン散乱光分光計測システムの模式図である。被検眼10は、眼球に光を取り込む角膜11と、角膜11の内側に位置し、眼圧を調整する房水12と、角膜11の外周に位置する強膜13と、房水12の内側に位置する水晶体14と、を含む。房水12中にはさまざまな代謝産物が含まれており、これらの物質と眼の疾病との間には相関があると考えられている。そのため、房水12内の代謝産物の同定や濃度を計測する技術が求められている。ラマン散乱光分光計測システム100は、房水12に含まれる代謝産物をラマン分光法により分析するための計測を行う。ラマン散乱光分光計測システム100は、図1に示すように、被検眼10に触接させる接眼光学レンズ1と、接眼光学レンズ1に励起光を照射するとともに、被検眼10の房水12からのラマン散乱光を分光計測するラマン散乱光分光計測装置20と、を備える。なお、本発明において、「触接」とは、本発明の接眼光学レンズ1が角膜11に接する状態を指すものであり、「装着」、「装着」、「着接」、「当接」など同様の状態を示す。

[0021] 〔接眼光学レンズの構成〕

図2は、接眼光学レンズの拡大図である。図2は、接眼光学レンズ1の断面を表し、接眼光学レンズ1は、複数の面を有する基部1aと、基部1aの

一つの面をなしている凹部 1 b と、基部 1 a の凹部 1 b の外周側の面をなす反射部 1 c と、凹部 1 b の反対側の面をなす入射部 1 d と、を備える。なお、本明細書において、基部 1 a の入射部 1 d 側（図 2 の上方）の面を前面、基部 1 a の凹部 1 b 側（図 2 の下方）の面を後面という。

[0022] 接眼光学レンズ 1 の屈折率は、空気の屈折率（1.00）より大きく、さらに角膜 11 の屈折率（1.376）より大きいことが好ましい。また、接眼光学レンズ 1 は、角膜 11 と当接した場合に、基部 1 a の曲率半径が変化しない程度に硬性を有することが好ましい。これらの条件を満たす材料として、接眼光学レンズ 1 は、例えばガラス、又は PMMA（Poly Methyl Methacrylate）等からなる。

[0023] 凹部 1 b は、球面状にくぼんでおり、被検眼 10 の角膜 11 に応じた曲率半径を有する。凹部 1 b の曲率半径は、角膜 11 の曲率半径と等しい、又は角膜 11 の曲率半径より大きいことが好ましい。凹部 1 b をこのような曲率半径とすることにより、接眼光学レンズ 1 を触接させた後、計測中において、被検眼 10 の形状が変化することを防止することができる。

[0024] 反射部 1 c（反射部 1 c<sub>1</sub> と反射部 1 c<sub>2</sub> とが連続してなる面）は、例えばガラスと空気との界面であるが、接眼光学レンズ 1 を形成する媒質の屈折率に応じて定まり、反射部 1 c に入射した光を全反射する臨界角を有する。ただし、反射部 1 c は、十分に反射率が高い反射部であればよく、全反射に限定されない。また、ガラスの表面に金属等からなる薄膜を形成することにより、反射部 1 c を形成してもよい。反射部 1 c は、凹部 1 b の外周を囲むように、円環状に形成されている。換言すると、図 2 のような、凹部 1 b の頂点を通り、凹部 1 b が形成する球面の中心を通る中心軸 C1 を含む断面は、どの方向においても同一の形状をなす。なお、凹部 1 b の頂点とは、凹部 1 b の最もくぼんだ点を意味する。

[0025] 図 2 に戻り、反射部 1 c<sub>1</sub> は、入射部 1 d から基部 1 a に入射した光を入射方向と略直交する方向に、中心軸 C1 方向に向けて反射する。ただし、反射部 1 c<sub>1</sub> は、入射部 1 d から基部 1 a に入射した光を凹部 1 b に向けて反射す

ればよく、反射部  $1c_1$  による反射光が房水  $12$  の一部を通過すればよい。被検眼  $10$  の左右方向（図  $2$  の左右方向）に対する反射部  $1c_1$  のなす角  $\theta$  は、前方からの入射した光を入射方向と略直角に反射する角度であるから、例えば  $45^\circ$  であるが、被検眼  $10$  に光を入射させる方向に応じて適宜選択することができる。例えば、被検眼  $10$  に対して、凹部  $1b$  の中心軸  $C1$  から外側（図  $2$  の右側）に傾きを持って光を入射する場合、反射光が中心軸  $C1$  に対して直行するように、反射部  $1c_1$  のなす角  $\theta$  を設定すればよい。

[0026] また、反射部  $1c_2$  は、反射部  $1c_1$  が反射して房水  $12$  を通過した光を入射部  $1d$  に向けて反射する。被検眼  $10$  の左右方向に対する反射部  $1c_2$  のなす角は、凹部  $1b$  からの光を前方に反射する角度であるから、例えば  $45^\circ$  であるが、光を測定する方向に応じて適宜選択することができる。

[0027] 入射部  $1d$  は、前方からの光に対する反射率が小さいことが好ましく、例えば中心軸  $C1$  に直交する平面をなす。

[0028] [ラマン散乱光分光計測装置の構成]

ラマン散乱光分光計測装置  $20$  は、図  $1$  に示すように、接眼光学レンズ  $1$  に光を照射する光源部  $21$  と、対物レンズ  $22$  と、集光レンズ  $23$  と、ノッチフィルタ  $24$  と、光ファイバ結合器  $25$  と、光ファイバ  $26$  と、接眼光学レンズ  $1$  からの光を受光する受光部としての分光器  $27$  と、吸収材  $28$  と、を備える。

[0029] ラマン散乱光分光計測装置  $20$  は、光源部  $21$  から照射した入射光を励起光として、凹部  $1b$  が房水  $12$  に導入した光に略直交する方向に散乱されたラマン散乱光を計測する。これは、ラマン散乱光がどの方向で計測しても同じ光強度であるのに対して、レイリー散乱光が励起光と略直交する方向において光強度が最も弱くなるため、ラマン散乱光を効率よく計測することができるためである。

[0030] 図  $3$  は、光源部の部分拡大図である。図  $3$  に示すように、光源部  $21$  は、被検眼  $10$  に光を照射する光源  $211$  と、反射方向が変更可能な MEMS ミラー  $212$  と、を有する。

- [0031] 光源 2 1 1 は、被検眼 1 0 の房水 1 2 におけるラマン散乱光を分光計測するための励起光として用いられる計測光を出射する。また、光源 2 1 1 は、この計測光より光強度が小さい検査光を出射する。検査光は、計測を行う前に光源 2 1 1 からの光が反射部 1 c に照射されているかを検査するために用いられる。計測光及び検査光の波長は、例えば 5 3 2 n m であるが、特に限定されない。検査光は、計測光と同じ波長であることが好ましい。光源 2 1 1 は、所定の波長の光を出射する光源であればよく、例えば L D (L a s e r D i o d e) である。
- [0032] 対物レンズ 2 2 は、房水 1 2 からの散乱光を集光する。
- [0033] 集光レンズ 2 3 は、対物レンズ 2 2 が集光した光を光ファイバ結合器 2 5 に結合する。
- [0034] ノッチフィルタ 2 4 は、房水 1 2 からの散乱光に含まれているレイリー散乱光を選択的に遮光するバンドストップフィルタである。従って、ノッチフィルタ 2 4 は、房水 1 2 からの散乱光に含まれているレイリー散乱光を遮光し、ラマン散乱光を透過する。ただし、ノッチフィルタ 2 4 は、房水 1 2 からの散乱光に含まれているレイリー散乱光と同じ波長の光を選択的に遮光し、房水 1 2 からの散乱光に含まれているラマン散乱光を透過するフィルタであればよい。例えば、ストークスラマン散乱を計測する場合には、光源部 2 1 が照射する励起光より長波長側を透過するフィルタを用いてもよい。また、反ストークス散乱を計測する場合には、光源部 2 1 が照射する励起光より短波長側を透過するフィルタを用いてもよい。また、波長が既知のラマン散乱光を計測する場合には、ラマン散乱光を選択的に透過するバンドパスフィルタを用いてもよい。
- [0035] 光ファイバ結合器 2 5 は、集光レンズ 2 3 が集光した光を光ファイバ 2 6 に結合する。
- [0036] 光ファイバ 2 6 は、房水 1 2 からの散乱光を分光器 2 7 に導入する。
- [0037] 分光器 2 7 は、ノッチフィルタ 2 4 を透過した光を分光計測する。なお、集光レンズ 2 3 により集光した光を直接分光器に入射させてもよい。この場

合、光ファイバ結合器 25 及び光ファイバ 26 は、不要である。

[0038] 吸収材 28 は、光源部 21 が照射した光を吸収する。

[0039] [ラマン散乱光分光計測システムによるラマン散乱光分光計測方法]

次に、ラマン散乱光分光計測システム 100 による光計測方法であるラマン散乱光分光計測方法について説明する。図 4 は、ラマン分光計測方法の手順を表すフローチャートである。図 4 に示すように、被検眼 10 に接眼光学レンズ 1 を触接させる（ステップ S1）。

[0040] 続いて、接眼光学レンズ 1 を触接させた被検眼 10 に光源部 21 から検査光を照射する。そして、検査光によるスポット位置が反射部 1c<sub>1</sub>に形成されるように光の入射位置を調整する（ステップ S2：調整ステップ）。なお、光の入射方向とスポット位置とを確認し、光が通過する各物質の屈折率を用いると、スネルの法則により光路を推定することができる。すなわち、スポットの位置を確認しながら光の入射位置を調整することにより、入射光が被検眼 10 の房水 12 を横向きに通過するように光路を調整することができる。

[0041] さらに、被検眼 10 の房水 12 におけるラマン散乱光の光強度が最大となる位置に受光部としての分光器 27 に光を導入する光ファイバ結合器 25 を配置する（ステップ S3：配置ステップ）。

[0042] その後、検査光より光強度が大きい計測光を光源部 21 から接眼光学レンズ 1 に照射する（ステップ S4：計測光照射ステップ）。

[0043] そして、光ファイバ結合器 25 から分光器 27 に計測光を導入し、分光器 27 により分光計測を行う（ステップ S5：受光ステップ）。

[0044] 以上説明したラマン散乱光分光計測方法によれば、凹部 1b が形成された接眼光学レンズ 1 を用いることにより、被検眼 10 に対して前方から光を入射して房水 12 に含まれる物質を分析することが可能となる。

[0045] [接眼光学レンズの変形例]

(変形例 1)

図 5 は、変形例 1 の接眼光学レンズの拡大図である。図 5 は、変形例 1 の

接眼光学レンズ1Aの断面を表し、接眼光学レンズ1Aは、複数の面を有する基部1Aaと、基部1Aaの一つの面をなす凹部1Abと、基部1Aaの凹部1Abの外周側の面をなす反射部1Ac（反射部1Ac<sub>1</sub>と反射部1Ac<sub>2</sub>とが連続してなる面）、基部1Aaの反射部1Acに対向する面をなす第3反射部1Ad（第3反射部1Ad<sub>1</sub>と第3反射部1Ad<sub>2</sub>とが連続してなる面）と、基部1Aaの側面をなす入射部1Aeと、を備える。反射部1Ac及び第3反射部1Adは、凹部1Abの外周を囲むように、円環状に形成されている。換言すると、図5のような、凹部1Abの頂点を通り、凹部1Abが形成する球面の中心を通る中心軸C2を含む断面は、どの方向においても同一の形状をなす。

[0046] 反射部1Ac<sub>1</sub>は、入射部1Aeから入射し、第3反射部1Ad<sub>1</sub>が反射した光を入射方向と略直交する方向に、中心軸C2方向に向けて反射する。また、反射部1Ac<sub>2</sub>は、反射部1Ac<sub>1</sub>が反射した光を第3反射部1Ad<sub>2</sub>に向けて反射する。

[0047] 第3反射部1Ad<sub>1</sub>は、被検眼10の側方（鼻側、又は耳側）から入射部1Aeに入射した光を、中心軸C2に略平行な方向に向けて反射する。また、第3反射部1Ad<sub>2</sub>は、反射部1Ac<sub>2</sub>が反射した光を中心軸C2と略直交する方向に向けて反射する。

[0048] 以上説明した変形例1のように、被検眼10の側方から入射光を導入する構成であってもよい。この場合、反射部1Ac（反射部1Ac<sub>1</sub>と反射部1Ac<sub>2</sub>とが連続してなる面）及び第3反射部1Ad（第3反射部1Ad<sub>1</sub>と第3反射部1Ad<sub>2</sub>とが連続してなる面）の角度や位置、大きさ等を適宜に設定することにより、房水12に側方から直接入射光を導入する場合よりも、房水12に光を入射しやすくすることができる。

[0049] （変形例2）

図6は、変形例2の光源部の拡大図である。図6に示すように、光源部21Bは、被検眼10に光を照射する光源211Bと、光源211Bを駆動させる駆動部212Bと、光源211Bからの光を被検眼10に向けて反射す

るミラー 2 1 3 B と、を有する。

[0050] 駆動部 2 1 2 B は、光源 2 1 1 B が光を照射する方向と直交する方向に延在するレールと、光源 2 1 1 B を駆動させるモータと、を有し、モータを駆動させることによりレール上に移動可能に保持された光源 2 1 1 B を移動させる。光源 2 1 1 B がレール上を移動すると、接眼光学レンズ 1 に対する光の照射位置を調整することができる。

[0051] (変形例 3)

図 7 は、変形例 3 の光源部の拡大図である。図 7 に示すように、光源部 2 1 C は、被検眼 1 0 に光を照射する光源 2 1 1 C と、レンズ 2 1 2 C と、レンズ 2 1 2 C を回転させることによりレンズ 2 1 2 C を透過した光の進行方向を変更する駆動部 2 1 3 C と、を有する。

[0052] なお、実施の形態では、反射部 1 c が、円環状に凹部 1 b を囲んでいる例を説明したが、これに限られない。反射部 1 c は、基部 1 a の凹部 1 b の外周側の面をなし、入射部 1 d から入射した光を凹部 1 b に向けて反射する第 1 反射部と、基部 1 a の凹部 1 b の外周側の面をなし、第 1 反射部が反射した光を入射部 1 d に向けて反射する第 2 反射部と、を有していてもよい。換言すると、反射部 1 c は、互いに離間して設けられている複数の反射部を有していてもよい。この場合、接眼光学レンズ 1 が被検眼 1 0 に対して回転しないよう保持することが好ましい。また、反射部 1 c は、基部 1 a の凹部 1 b の外周側の面をなし、入射部 1 d から入射した光を凹部 1 b に向けて反射する反射部のみを有していてもよい。このような反射部 1 c が形成されることにより、被検眼 1 0 に対して前方から入射した光を房水 1 2 に横向きに導入することができる。この場合、房水 1 2 を透過した光は、被検眼 1 0 の側方（鼻側、又は耳側）に出射するため、被検眼 1 0 の側方に吸収材 2 8 を配置してもよい。

### 符号の説明

[0053] 1、1 A 接眼光学レンズ

1 a、1 A a 基部

- 1 b、1 A b 凹部
- 1 c、1 A c 反射部
- 1 d、1 A e 入射部
- 1 A d 第3反射部
- 1 0 被検眼
- 1 1 角膜
- 1 2 房水
- 1 3 強膜
- 1 4 水晶体
- 2 0 ラマン散乱光分光計測装置
- 2 1、2 1 B、2 1 C 光源部
- 2 2 対物レンズ
- 2 3 集光レンズ
- 2 4 ノッチフィルタ
- 2 5 光ファイバ結合器
- 2 6 光ファイバ
- 2 7 分光器
- 2 8 吸収材
- 1 0 0 ラマン散乱光分光計測システム
- 2 1 1、2 1 1 B、2 1 1 C 光源
- 2 1 2 MEMSミラー
- 2 1 2 B、2 1 3 C 駆動部
- 2 1 3 B ミラー
- 2 1 2 C レンズ

### 請求の範囲

- [請求項1] 複数の面を有する基部と、  
前記基部の一つの面をなしており、球面状にくぼんだ凹部と、  
前記基部の前記凹部の外周側の面をなし、前記複数の面のうち前記凹部と異なる面から前記基部に入射した光を前記凹部に向けて反射する反射部と、  
を備えることを特徴とする接眼光学レンズ。
- [請求項2] 前記反射部は、前記基部に入射した光を入射方向と略直交する方向に反射することを特徴とする請求項1に記載の接眼光学レンズ。
- [請求項3] 前記反射部は、前記基部に入射した光を前記凹部の頂点を通る軸方向に反射することを特徴とする請求項1に記載の接眼光学レンズ。
- [請求項4] 前記反射部は、当該接眼光学レンズを形成する媒質の屈折率に応じて定まり、前記反射部に入射した光を全反射する臨界角を有することを特徴とする請求項1に記載の接眼光学レンズ。
- [請求項5] 前記反射部は、前記基部の前記凹部の外周を囲む面をなすことを特徴とする請求項1に記載の接眼光学レンズ。
- [請求項6] 前記反射部は、  
前記基部の前記凹部の外周側の面をなし、前記複数の面のうち前記凹部と異なる面から前記基部に入射した光を前記凹部に向けて反射する第1反射部と、  
前記基部の前記凹部の外周側の面をなし、前記第1反射部が反射した光を前記複数の面のうち前記凹部と異なる面に向けて反射する第2反射部と、  
を有することを特徴とする請求項1に記載の接眼光学レンズ。
- [請求項7] 請求項1に記載の接眼光学レンズと、  
前記接眼光学レンズに向けて光を照射する光源部、及び前記接眼光学レンズからの光を受光する受光部を有する光計測装置と、  
を備えることを特徴とする光計測システム。

- [請求項8] 前記受光部は、前記接眼光学レンズを接触させた被検眼の房水におけるラマン散乱光を受光することを特徴とする請求項7に記載の光計測システム。
- [請求項9] 複数の面を有する基部と、  
前記基部の一つの面をなしており、球面状にくぼんだ凹部と、  
前記基部の前記凹部の外周側の面をなし、前記複数の面のうち前記凹部と異なる面から前記基部に入射した光を前記凹部に向けて反射する反射部と、を備える接眼光学レンズを用いる光計測方法であって、  
前記接眼光学レンズを接触させた被検眼に検査光を照射し、前記検査光によるスポットの位置が前記反射部に形成されるように光の入射位置を調整する調整ステップと、  
前記検査光より光強度が大きい計測光を前記接眼光学レンズに照射する計測光照射ステップと、  
前記計測光を受光する受光ステップと、  
を含むことを特徴とする光計測方法。
- [請求項10] 前記受光ステップの前に、前記計測光を受光する受光部を、前記被検眼の房水におけるラマン散乱光の光強度が最大となる位置に配置する配置ステップを含むことを特徴とする請求項9に記載の光計測方法。