

明 細 書

発明の名称：

光強度計測システム、ラマン散乱光分光計測システム、及び光強度計測方法

技術分野

[0001] 本発明は、光強度計測システム、ラマン散乱光分光計測システム、及び光強度計測方法に関する。

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。特許文献1には、被験者の負担を軽減するため、被検眼の房水に含まれる物質を光により非侵襲に計測する技術が開示されている。この技術では、偏光を制御した光を、角膜を經由して房水内に導入し、再び角膜を經由して外部に出てくる光を直接検出する。そして、検出した光の偏光状態を計測することにより、房水に含まれる様々な物質の濃度を計測する。

[0003] ところで、角膜を經由して房水内に光を導入する場合、光の偏光状態は、房水内への導入時、及び房水から外部に出てくる際に角膜の複屈折による影響を受ける。このため、房水に含まれる物質の濃度を計測するには、計測結果から角膜の複屈折による影響を除去する必要がある。特許文献1には、偏光板を用いて角膜の複屈折による影響を補償する技術が開示されている。

先行技術文献

特許文献

[0004] 特許文献1：国際公開第2005/067522号

特許文献2：米国特許第6885882号明細書

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、本発明者らが行った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、多くの被検眼において、特許文献1が示す房水内の物質濃度測定用の光路を実現するには、被検眼に対する光の入射角を 1° 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、非侵襲に被検眼の房水に含まれる物質の濃度を計測することができる光強度計測システム、ラマン散乱光分光計測システム、及び光強度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、本発明にかかる光強度計測システムは、被検眼の房水にコヒーレント光を照射する光源部と、前記光源部と前記被検眼との間に配置されており、前記コヒーレント光の偏光状態を制御する偏光制御部と、前記コヒーレント光の前記房水における散乱光の光強度を計測する計測部と、を備えることを特徴とする。

[0008] また、本発明にかかる光強度計測システムは、上記発明において、前記偏光制御部は、複数の波長板、バビネソレイユ補償板、及び音響光学素子のいずれか1つを含むことを特徴とする。

[0009] また、本発明にかかる光強度計測システムは、上記発明において、レイリー散乱光の波長成分の光を選択的に遮光するノッチフィルタと、前記被検眼と前記計測部との間に前記ノッチフィルタを挿抜する駆動部と、を備えることを特徴とする。

[0010] また、本発明にかかるラマン散乱光分光計測システムは、被検眼の房水にコヒーレント光を照射する光源部と、前記光源部と前記被検眼との間に配置されており、前記コヒーレント光の偏光状態を制御する偏光制御部と、前記コヒーレント光の前記房水におけるラマン散乱光の分光スペクトルを計測する計測部と、を備えることを特徴とする。

[0011] また、本発明にかかるラマン散乱光分光計測システムは、上記発明において、前記偏光制御部は、複数の波長板、バビネソレイユ補償板、及び音響光

学素子のいずれか1つを含むことを特徴とする。

[0012] また、本発明にかかるラマン散乱光分光計測システムは、上記発明において、レイリー散乱光の波長成分の光を選択的に遮光するノッチフィルタと、前記被検眼と前記計測部との間に前記ノッチフィルタを挿抜する駆動部と、を備えることを特徴とする。

[0013] また、本発明にかかる光強度計測方法は、被検眼の房水にコヒーレント光を照射する光照射ステップと、前記コヒーレント光の偏光状態を制御して前記被検眼に導入する偏光制御ステップと、前記コヒーレント光の前記房水における散乱光の光強度を計測部により計測する計測ステップと、を含むことを特徴とする。

[0014] また、本発明にかかる光強度計測方法は、上記発明において、前記偏光制御ステップは、前記コヒーレント光の偏光状態を制御するために設けられている複数の波長板、バビネソレイユ補償板、及び音響光学素子のいずれか1つを光学的に調整してレイリー散乱光の光強度を最大化することを特徴とする。

[0015] また、本発明にかかる光強度計測方法は、上記発明において、レイリー散乱光の波長成分の光を選択的に遮光するノッチフィルタを前記被検眼と前記計測部との間に挿入するフィルタ挿入ステップを含み、前記計測ステップにおいて、前記計測部は、前記コヒーレント光の前記房水におけるラマン散乱光の分光スペクトルを計測することを特徴とする。

発明の効果

[0016] 本発明によれば、非侵襲に被検眼の房水に含まれる物質の濃度を計測することができる光強度計測システム、ラマン散乱光分光計測システム、及び光強度計測方法を実現することができる。

図面の簡単な説明

[0017] [図1]図1は、本発明の実施の形態にかかるラマン散乱光分光計測システムの構成を示す模式図である。

[図2]図2は、ラマン散乱光分光計測システムが実行する処理を示すフロー

チャートである。

[図3]図3は、変形例1にかかるラマン散乱光分光計測システムの構成を示す模式図である。

[図4]図4は、変形例2にかかるラマン散乱光分光計測システムの構成を示す模式図である。

発明を実施するための形態

[0018] 以下、本発明の光強度計測システム、ラマン散乱光分光計測システム、及び光強度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。

[0019] (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かかるラマン散乱光分光計測システムの構成を示す模式図である。光強度計測システムとしてのラマン散乱光分光計測システム20は、被検体の目である被検眼10の角膜11の内側にある房水12に含まれる物質の濃度をラマン分光法により非侵襲に分析するための計測を行う。

[0020] 房水12は、角膜11と虹彩、瞳孔の奥の水晶体に隔てられたチャンバー(室)を満たす組織液である。房水12は、毛様体において産生され、瞳孔を經由してチャンバー内を対流し、このチャンバーの外側よりシュレム管を通して静脈に流出する。房水12は、眼圧を保ち、眼球の前眼房部の形状を維持するために用いられている。また、房水12は、血管が通っていない角膜内皮細胞等の眼球細胞に、グルコース解糖系によってエネルギーを供給する機能を有する。

[0021] 房水12の主成分は水であるが、房水12には、グルコースだけではなく、さまざまな代謝産物が溶け込んでおり、眼疾患の状態と代謝産物の濃度との間に相関関係があることが知られている。たとえば、特許文献2には、血中グルコース濃度の変化に数分遅れて房水12のグルコース濃度が変化することが記載されている。房水12のグルコース濃度の計測による糖尿病網膜

症の進行度の把握や、VEGF (Vascular Endothelial Growth Factor) 等のサイトカイン濃度の計測、さらには新生血管の発達を抑制するための抗VEGF薬の薬効を調べる等の医療上の要求がある。

[0022] ラマン散乱光分光計測システム20は、光源部1と、偏光制御部2と、接眼光学レンズ3と、レンズ4と、フィルタ5と、レンズ6と、計測部7と、を備える。

[0023] 光源部1は、被検眼10の房水12にコヒーレント光を照射する。このコヒーレント光は、房水12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。また、光源部1が照射する光の波長は、例えば532nmであるが、特に限定されない。光源部1は、所定の波長のコヒーレント光を照射する光源であればよく、例えばLD (Laser Diode) である。

[0024] 偏光制御部2は、光源部1と被検眼10との間に配置されており、コヒーレント光の偏光状態を制御する。偏光制御部2は、例えば $\lambda/4$ 板21と、 $\lambda/2$ 板22と、を有する。偏光制御部2は、コヒーレント光の房水12におけるレイリー散乱光の光強度が最大となるようにコヒーレント光の偏光状態を制御する。具体的には、 $\lambda/4$ 板21及び $\lambda/2$ 板22の高速軸及び低速軸をコヒーレント光の光軸に対して回転させることにより、レイリー散乱光の光強度が最大となるようにコヒーレント光の偏光状態を制御する。なお、偏光制御部2は、コヒーレント光の偏光状態を制御することができればどのような構成であってもよく、 $\lambda/4$ 板21及び $\lambda/2$ 板22に限られず、複数の波長板を有する構成であってもよい。さらに、偏光制御部2は、バビネソレイユ補償板、又は光音響光学素子を用いて構成されていてもよい。すなわち、偏光制御部2は、複数の波長板、バビネソレイユ補償板、及び音響光学素子のいずれか1つを含んでいればよい。

[0025] 接眼光学レンズ3は、被検眼10に装用又は押し当てられている接眼光学レンズであり、光源部1から照射されたコヒーレント光を房水12内に導入

する。接眼光学レンズ3は、例えばpHEMA（ポリヒドロキシエチルメタクリレート）、又はSHG（シリコーンハイドロゲル）などのソフトコンタクトレンズ系の材料により形成されてもよいが、ハードコンタクトレンズ系の材料により形成されてもよい。

- [0026] レンズ4は、房水12からの散乱光を集光する。
- [0027] フィルタ5は、ノッチフィルタ51と、減光フィルタ52と、駆動部としての切り替え板53と、を有する。
- [0028] ノッチフィルタ51は、レイリー散乱光の波長成分の光を選択的に遮光するバンドストップフィルタである。ただし、ストークスラマン散乱を計測する場合には、ノッチフィルタ51に替えて、房水12に照射するコヒーレント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、ノッチフィルタ51に替えて、房水12に照射するコヒーレント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、ノッチフィルタ51に替えて、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。
- [0029] 減光フィルタ52は、房水12からのレイリー散乱光の光強度を低減させて透過する。計測部7は、ラマン散乱光の光強度に応じた感度であるため、減光フィルタ52によって計測部7の感度に応じてレイリー散乱光の光強度を低減させることにより、計測部7が飽和する等の不具合を避けるためである。ただし、レイリー散乱光の光強度と計測部7の感度との関係によって、減光フィルタを用いずに、レイリー散乱光を減光せずに透過させてもよい。換言すると、減光フィルタ52を用いずに、切り替え板53に中空部を設けてもよい。
- [0030] 切り替え板53は、被検眼10と計測部7との間にノッチフィルタ51を挿抜する。
- [0031] レンズ6は、フィルタ5を通過した光を計測部7に集光する。
- [0032] 計測部7は、コヒーレント光の房水12におけるラマン散乱光の分光スペクトルを計測する。具体的には、計測部7は、受光した光を分光する回折格

子等の分光装置と、１次元アレイ状に配列されたＣＣＤ素子等の分光された各波長の光の光強度を検出する検出器とを含んで構成される。そして、計測部７は、光源部１が房水１２に照射した光と略直交する方向の光を計測する。これは、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。

[0033] 「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２０による光強度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２は、ラマン散乱光分光計測システムが実行する処理を示すフローチャートである。なお、初期状態において、フィルタ５の切り替え板５３は、被検眼１０から計測部７に向かう光路上に減光フィルタ５２を挿入している。

[0034] まず、接眼光学レンズ３を被検眼１０の角膜１１に押し当てた状態で、ラマン散乱光分光計測システム２０は、光源部１から被検眼１０の房水１２にコヒーレント光を被検眼１０の眼軸に略直交する方向から照射する（ステップＳ１）。このとき、房水１２に含まれる物質による散乱光は、任意の方向に進む。換言すると、全ての方向において散乱光を受光することができる。ここで、被検眼１０とラマン散乱光分光計測システム２０との相対的な位置を調整することにより、被検眼１０の眼軸と略一致する方向に計測部７を配置することが好ましい。このような位置合わせを行うことにより、レイリー散乱光の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。

[0035] 房水１２における散乱光は、接眼光学レンズ３から外部に進み、レンズ４により集光され、フィルタ５の減光フィルタ５２により計測部７の感度に応じた光強度となるように減光され、さらにレンズ６により集光されて計測部７に入射する。計測部７の内部に導入された光は、回折格子等によって分光され、１次元アレイ状に配列されたＣＣＤ素子により検出される。その結果、房水１２における散乱光の分光スペクトルを計測することができる。

[0036] 続いて、偏光制御部２は、房水１２におけるレイリー散乱光の光強度が最

大となるように、光源部 1 から照射したコヒーレント光の偏光状態を制御して被検眼 10 に導入する（ステップ S 2）。これは、ラマン散乱光の光強度が最大となる偏光状態は、レイリー散乱光の光強度もまた最大であることに基づく。レイリー散乱は、光源部 1 から照射した光と同じ波長であるから、計測部 7 が計測した散乱光の分光スペクトルにおいて、光源部 1 から照射した光と同じ波長の光の光強度を観測すればよい。偏光制御部 2 は、計測部 7 により計測した分光スペクトルにおいて、レイリー散乱光の光強度が最大となるように、 $\lambda/4$ 板 2 1 及び $\lambda/2$ 板 2 2 の高速軸及び低速軸をコヒーレント光の光軸に対して回転させる。このとき、計測部 7 に向かう光路上には減光フィルタ 5 2 が配置されており、レイリー散乱光の一部を透過する。なお、偏光制御部 2 の制御は、計測部 7 と連動して $\lambda/4$ 板 2 1 及び $\lambda/2$ 板 2 2 を自動的に回転させる制御装置が実行してもよく、計測部 7 の計測値を確認しながら人が実行してもよい。

[0037] その後、フィルタ 5 の切り替え板 5 3 を手動又はモータにより自動で駆動させ、被検眼 10 から計測部 7 に向かう光路に略垂直に切り替え板 5 3 をスライドさせることにより、この光路上にノッチフィルタ 5 1 を挿入する（ステップ S 3）。ノッチフィルタ 5 1 を挿入することにより、散乱光の大部分を占める房水 1 2 からのレイリー散乱光を選択的に遮光し、残りのラマン散乱光のみを透過させることができる。その結果、レイリー散乱光に対して光強度が微弱なラマン散乱光を計測することができる。

[0038] さらに、計測部 7 により房水 1 2 におけるラマン散乱光を受光し、ラマン散乱光の分光スペクトルを計測する（ステップ S 4）。計測部 7 は、受光した光を回折格子により分光し、分光された各波長の光を CCD 等により検出し、ラマン散乱光の分光スペクトルを計測する。ラマン散乱光の分光スペクトルは、励起光の波長とラマン散乱光の各ピークの波長との間のエネルギー差（ラマンシフト）に変換される。このラマンシフトは、散乱する物質に応じた値を有するため、スペクトルの強度やエネルギー差を総合的に評価することによって、房水 1 2 に含まれる複数種類の物質の濃度に関する分析が可

能となる。

[0039] 以上説明した実施の形態によれば、計測部 7 により房水 1 2 におけるラマン散乱光の分光スペクトルを計測することにより、房水 1 2 に含まれる物質の濃度を計測することができる。被検眼 1 0 の房水 1 2 を透過した光を直接検出する特許文献 1 の光路は実現することが難しいが、実施の形態では、計測部 7 により房水 1 2 に導入した光と略直交する方向からラマン散乱光を計測するため、非侵襲に被検眼 1 0 の房水 1 2 に含まれる物質の濃度を計測することができる。

[0040] また、ラマン散乱光のスペクトルに現れる振動モードのピークにおける光強度の大きさは、房水 1 2 に導入する光の偏光状態に依存するため、偏光制御部 2 によりラマン散乱光を最大にすることが好ましい。しかしながら、ラマン散乱光は、レイリー散乱光等の他の散乱光に比べて極度に光強度が小さいため、ラマン散乱光を確実に捕捉して偏光状態を制御することは困難である。さらに、光源部 1 から照射する光の光強度は、被検眼 1 0 への安全性の観点から制限を受けるため、ラマン散乱光の光強度を大きくするために、光源部 1 から照射する光の光強度を増大させることはできない。ここで、房水 1 2 におけるラマン散乱光を最大にするには、房水 1 2 に導入する光の偏光状態を、光の進行方向に対して垂直な直線偏光とすればよく、このとき、レイリー散乱光の光強度も最大となる。そこで、実施の形態では、偏光制御部 2 により計測部 7 が計測したレイリー散乱光の光強度を最大にすることによって、房水 1 2 における光の偏光状態を、光の進行方向に対して垂直な直線偏光とし、その後、レイリー散乱光を除去するノッチフィルタ 5 1 を挿入した。その結果、ラマン散乱光分光計測システム 2 0 によれば、ラマン散乱光の光強度を最大とする偏光状態の光で計測を行うことができる。

[0041] なお、上述した実施の形態では、偏光制御部 2 により房水 1 2 からのレイリー散乱光を最大にし、房水 1 2 内における光の偏光状態を光の進行方向に垂直な直線偏光とすることにより、ラマン散乱光を最大にしたが、これに限られない。房水 1 2 内における光の偏光状態を光の進行方向に垂直な直線偏

光とすることは、角膜 11 の複屈折による影響を補償することと同義であり、換言すると、房水 12 の複屈折を構成する軸方位 θ と位相差 δ とを導出することに相当する。導出した軸方位 θ と位相差 δ とを用いて偏光制御部 2 を制御することにより、房水 12 における光の偏光状態を任意の偏光状態に制御することができる。

[0042] まず、偏光制御部 2 において、光源部 1 が照射したコヒーレント光の進行方向に対して、 $\lambda/4$ 板 21 と $\lambda/2$ 板 22 とがこの順に並んでいるものとする。光源部 1 が照射したコヒーレント光の偏光状態をストークスベクトル S で表し、 $\lambda/4$ 板 21、 $\lambda/2$ 板 22 を通過した後の偏光状態をストークスベクトル S' で表すと、以下の式 (1) となる。なお、ストークスベクトル S 、 S' は、第 0 成分～第 3 成分で構成される 4 成分の縦ベクトルである。ストークスベクトルにおいて、第 0 成分は、光のエネルギーを表し、第 1 成分～第 3 成分は、光の偏光状態を表す。

[数1]

$$S' = M_h M_q S \quad \dots (1)$$

ただし、 M_q 、 M_h は、それぞれ $\lambda/4$ 板 21、 $\lambda/2$ 板 22 のミューラー行列であり、以下の式 (2)、(3) で表すことができる。 θ_q 、 θ_h は、それぞれ $\lambda/4$ 板 21、 $\lambda/2$ 板 22 の水平方向からの回転角度を表す。

[数2]

$$M_q = \begin{pmatrix} 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & \cos^2 2\theta_q & \cos 2\theta_q \sin 2\theta_q & -\sin 2\theta_q \\ 0 & \cos 2\theta_q \sin 2\theta_q & \sin^2 2\theta_q & \cos 2\theta_q \\ 0 & \sin 2\theta_q & -\cos 2\theta_q & 0 \end{pmatrix} \quad \dots (2)$$

[数3]

$$M_h = \begin{pmatrix} 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & \cos 4\theta_h & \sin 4\theta_h & 0 \\ 0 & \sin 4\theta_h & -\cos 4\theta_h & 0 \\ 0 & 0 & 0 & -1 \end{pmatrix} \quad \dots (3)$$

[0043] ここで、光源部 1 が照射したコヒーレント光が水平直線偏光であると仮定

すると、この光のストークスベクトル S は、 $S = (1 \ 1 \ 0 \ 0)^T$ と表すことができる。ただし、 T は行列要素の転置を表す。

[0044] また、角膜の複屈折を表すミュラー行列を M_b とすると、角膜の複屈折を構成する軸方位 θ と位相差 δ とを用いて以下の式 (4) となる。

[数4]

$$M_b = \begin{pmatrix} 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & \cos^2 2\theta + \sin^2 2\theta \cos \delta & \cos 2\theta \sin 2\theta (1 - \cos \delta) & -\sin 2\theta \sin \delta \\ 0 & \cos 2\theta \sin 2\theta (1 - \cos \delta) & \sin^2 2\theta + \cos^2 2\theta \cos \delta & \cos 2\theta \sin \delta \\ 0 & \sin 2\theta \sin \delta & -\cos 2\theta \sin \delta & \cos \delta \end{pmatrix} \quad \dots (4)$$

[0045] さらに、房水 12 において入射光と 90° をなす方向に散乱される際の散乱のミュラー行列 M_{ps} は、以下の式 (5) となる。なお、 A は、偏光状態に依存しない励起光強度に対して、散乱光の光強度を決めるファクターとなる定数である。

[数5]

$$M_{ps} = A \begin{pmatrix} 1 & -1 & 0 & 0 \\ -1 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 \end{pmatrix} \quad \dots (5)$$

[0046] そして、計測部 7 が検出する散乱光の光強度 I は、ストークスベクトル S ' ' $= M_{ps} M_b M_h M_q S$ の第 0 成分に比例するから、定数 K , L , M を用いて、以下の式 (6) により表すことができる。なお、 α は、 $\cos$ と $\sin$ との合成によって位相に現れる定数であり、以降の光強度 I を最大とするための最適化に関係しない。

[数6]

$$I = K \cos 2\theta_q \sin(4\theta_h - 2\theta_q + \alpha) + L \sin 2\theta_q + M \quad \dots (6)$$

なお、定数 K , L , M は、「軸方位 θ と位相差 δ 」に基づいて定まる値である。従って、偏光制御部 2 により軸方位 θ と位相差 δ とを変化させた場合の光強度 I の変化を計測することにより、この光強度 I を最大化する軸方位 θ と位相差 δ とを求めることができる。また、光強度 I を最大化する方法としては、軸方位 θ と位相差 δ とを変化させた場合の光強度 I の変化を計測し

てもよいが、上述した式（１）～（６）を用いて厳密に定数 K 、 L 、 M を算出してもよい。定数 K 、 L 、 M を算出することは、軸方位 θ と位相差 δ とを算出することと同義であり、房水１２内におけるコヒーレント光の偏光状態を任意の偏光状態に制御することができる。

[0047] （変形例１）

図３は、変形例１にかかるラマン散乱光分光計測システムの構成を示す模式図である。図３に示すように、ラマン散乱光分光計測システム２０Ａの光分岐部５Ａは、ノッチフィルタ５１と、反射ミラー５４Ａと、光検出器５５Ａと、スライドボックス５６Ａと、を有する。

[0048] 反射ミラー５４Ａは、反射率が高いミラーであれば特に材料は限定されないが、反射する光の偏光に対して反射率が一定であることが好ましく、例えばアルミニウム等の金属ミラーからなる。反射ミラー５４Ａには、角膜１１の複屈折の影響を受けた光が入射するため、偏光に対して反射率が一定でないと、房水１２における光の偏光状態を正確に計測できない可能性がある。

[0049] 光検出器５５Ａは、例えばフォトダイオードである。

[0050] スライドボックス５６Ａは、反射ミラー５４Ａを房水１２から計測部７に向かう光路上に挿抜する。

[0051] 次に、ラマン散乱光分光計測システム２０Ａによるラマン散乱光分光計測方法について説明する。まず、房水１２におけるレイリー散乱光を反射ミラー５４Ａが反射し、光検出器５５Ａが検出する。この状態で偏光制御部２を制御することにより、レイリー散乱光の光強度を最大とし、房水１２における光の偏光状態を、光の進行方向に垂直な直線偏光にする。そして、スライドボックス５６Ａを駆動し、反射ミラー５４Ａを房水１２から計測部７に向かう光路から抜去することにより、房水１２におけるラマン散乱光がノッチフィルタ５１を経由して計測部７に入射する。

[0052] ラマン散乱光分光計測システム２０Ａによれば、計測部７により房水１２におけるラマン散乱光のスペクトルをラマン散乱光の光強度を最大とする偏光状態の光で計測することにより、房水１２に含まれる物質の濃度を非侵襲

に計測することができる。さらに、ラマン散乱光分光計測システム20Aでは、ノッチフィルタ51を移動させないため、ノッチフィルタ51の移動時に装置内の埃等により光学系の清浄度が低下することを防止することができる。

[0053] (変形例2)

図4は、変形例2にかかるラマン散乱光分光計測システムの構成を示す模式図である。図4に示すように、ラマン散乱光分光計測システム20Bの光検出部5Bは、ノッチフィルタ51と、光検出器57Bと、光吸収材58Bと、スライドボックス59Bと、を有する。

[0054] 光吸収材58Bは、光検出器57Bからの光を吸収し、戻り光が生じることを防止する。

[0055] スライドボックス59Bは、光検出器57Bを房水12から計測部7に向かう光路上に挿抜する。

[0056] 次に、ラマン散乱光分光計測システム20Bによるラマン散乱光分光計測方法について説明する。まず、房水12におけるレイリー散乱光を光検出器57Bが検出する。光検出器57Bは、光検出器57Bの表面から被検眼10に戻る戻り光が生じることを防止するため、被検眼10の光軸に対して、例えば45°をなすように配置する。このとき、光検出器57Bの表面で反射された光は、光吸収材58Bに吸収される。この状態で偏光制御部2を制御することにより、レイリー散乱光の光強度を最大とし、房水12における光の偏光状態を、光の進行方向に垂直な直線偏光にする。そして、スライドボックス59Bを駆動し、光検出器57Bを房水12から計測部7に向かう光路から抜去することにより、房水12におけるラマン散乱光がノッチフィルタ51を経由して計測部7に入射する。

[0057] ラマン散乱光分光計測システム20Bによれば、計測部7により房水12におけるラマン散乱光のスペクトルをラマン散乱光の光強度を最大とする偏光状態の光で計測することにより、房水12に含まれる物質の濃度を非侵襲に計測することができる。さらに、ラマン散乱光分光計測システム20Bで

は、ノッチフィルタ 5 1 を移動させないため、ノッチフィルタ 5 1 の移動時に装置内の埃等により光学系の清浄度が低下することを防止することができる。また、反射ミラー 5 4 A を用いる場合、金属ミラーを用いても偏光に対して反射率が必ずしも一定でない場合があり、計測結果がその影響を受ける可能性があるが、ラマン散乱光分光計測システム 2 0 B では、反射ミラーを用いていないので、反射ミラーに起因する影響を受けずに計測を行うことができる。

[0058] 実施の形態、変形例 1、及び変形例 2 において、偏光制御部 2 により光源部 1 が照射したコヒーレント光の偏光状態を制御する際に、房水 1 2 から計測部 7 又は光検出器 5 5 A、5 7 B に向かう光路上にノッチフィルタ 5 1 が配置されておらず、ラマン散乱光の計測を行う際に、房水 1 2 から計測部 7 に向かう光路にノッチフィルタ 5 1 が配置されている例を示したが、これに限られない。偏光制御部 2 により光源部 1 が照射した光の偏光状態を制御する際に、房水 1 2 から計測部 7 又は光検出器 5 5 A、5 7 B に向かう光路上にノッチフィルタ 5 1 が配置されておらず、ラマン散乱光の計測を行う際に、房水 1 2 から計測部 7 に向かう光路にノッチフィルタ 5 1 が配置されていればどのような構成でもよい。例えば、偏光制御部 2 により光源部 1 が出射した光の偏光状態を制御する際に、房水 1 2 から計測部 7 に向かう光路上から医療従事者がノッチフィルタ 5 1 を抜去し、ラマン散乱光の計測を行う際に、この光路に医療従事者がノッチフィルタ 5 1 を挿入してもよい。

[0059] また、上述した実施の形態では、ラマン散乱光分光計測システム 2 0 を用いてラマン散乱光の分光スペクトルを計測する例を説明したが、これに限られない。例えば、特許文献 1 のように、房水 1 2 を透過した光の偏光状態を計測してもよい。この場合、レイリー散乱光の光強度を計測することにより、軸方位 θ と位相差 δ とを求め、角膜 1 1 の複屈折に応じて偏光制御部 2 を制御することにより、房水 1 2 内の光の偏光状態を任意の偏光状態とすることが可能となる。

符号の説明

- [0060]
- 1 光源部
 - 2 偏光制御部
 - 3 接眼光学レンズ
 - 4、6 レンズ
 - 5 フィルタ
 - 5 A 光分岐部
 - 5 B 光検出部
 - 7 計測部
 - 10 被検眼
 - 11 角膜
 - 12 房水
 - 20、20 A、20 B ラマン散乱光分光計測システム
 - 21 $\lambda/4$ 板
 - 22 $\lambda/2$ 板
 - 51 ノッチフィルタ
 - 52 減光フィルタ
 - 53 切り替え板
 - 54 A 反射ミラー
 - 55 A、57 B 光検出器
 - 56 A、59 B スライドボックス
 - 58 B 光吸収材

請求の範囲

- [請求項1] 被検眼の房水にコヒーレント光を照射する光源部と、
前記光源部と前記被検眼との間に配置されており、前記コヒーレント光の偏光状態を制御する偏光制御部と、
前記コヒーレント光の前記房水における散乱光の光強度を計測する計測部と、
を備えることを特徴とする光強度計測システム。
- [請求項2] 前記偏光制御部は、複数の波長板、バビネソレイユ補償板、及び音響光学素子のいずれか1つを含むことを特徴とする請求項1に記載の光強度計測システム。
- [請求項3] レイリー散乱光の波長成分の光を選択的に遮光するノッチフィルタと、
前記被検眼と前記計測部との間に前記ノッチフィルタを挿抜する駆動部と、
を備えることを特徴とする請求項1に記載の光強度計測システム。
- [請求項4] 被検眼の房水にコヒーレント光を照射する光源部と、
前記光源部と前記被検眼との間に配置されており、前記コヒーレント光の偏光状態を制御する偏光制御部と、
前記コヒーレント光の前記房水におけるラマン散乱光の分光スペクトルを計測する計測部と、
を備えることを特徴とするラマン散乱光分光計測システム。
- [請求項5] 前記偏光制御部は、複数の波長板、バビネソレイユ補償板、及び音響光学素子のいずれか1つを含むことを特徴とする請求項4に記載のラマン散乱光分光計測システム。
- [請求項6] レイリー散乱光の波長成分の光を選択的に遮光するノッチフィルタと、
前記被検眼と前記計測部との間に前記ノッチフィルタを挿抜する駆動部と、

を備えることを特徴とする請求項 4 に記載のラマン散乱光分光計測システム。

[請求項7] 被検眼の房水にコヒーレント光を照射する光照射ステップと、
前記コヒーレント光の偏光状態を制御して前記被検眼に導入する偏光制御ステップと、
前記コヒーレント光の前記房水における散乱光の光強度を計測部により計測する計測ステップと、
を含むことを特徴とする光強度計測方法。

[請求項8] 前記偏光制御ステップは、
前記コヒーレント光の偏光状態を制御するために設けられている複数の波長板、バビネソレイユ補償板、及び音響光学素子のいずれか 1 つを光学的に調整してレイリー散乱光の光強度を最大化することを特徴とする請求項 7 に記載の光強度計測方法。

[請求項9] レイリー散乱光の波長成分の光を選択的に遮光するノッチフィルタを前記被検眼と前記計測部との間に挿入するフィルタ挿入ステップを含み、
前記計測ステップにおいて、前記計測部は、前記コヒーレント光の前記房水におけるラマン散乱光の分光スペクトルを計測することを特徴とする請求項 7 に記載の光強度計測方法。