

(19)日本国特許庁(JP)

(12)特許公報(B2)

(11)特許番号  
特許第7513099号  
(P7513099)

(45)発行日 令和6年7月9日(2024.7.9)

(24)登録日 令和6年7月1日(2024.7.1)

(51)国際特許分類 F I  
A 6 1 B 3/10 (2006.01) A 6 1 B 3/10

請求項の数 5 (全14頁)

(21)出願番号	特願2022-541415(P2022-541415)	(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
(86)(22)出願日	令和3年7月16日(2021.7.16)	(74)代理人	100166785 弁理士 大川 智也
(86)国際出願番号	PCT/JP2021/026780	(72)発明者	大嶽 太知 愛知県蒲郡市拾石町前浜3 4 番地 1 4
(87)国際公開番号	WO2022/030222	(72)発明者	足立 宗之 愛知県蒲郡市拾石町前浜3 4 番地 1 4
(87)国際公開日	令和4年2月10日(2022.2.10)	審査官	北島 拓馬
審査請求日	令和5年6月22日(2023.6.22)		
(31)優先権主張番号	特願2020-135322(P2020-135322)		
(32)優先日	令和2年8月7日(2020.8.7)		
(33)優先権主張国・地域又は機関	日本国(JP)		

最終頁に続く

(54)【発明の名称】 眼科装置

(57)【特許請求の範囲】

【請求項1】

被検眼の検査を行う眼科装置であって、  
前記被検眼の眼球表面の水分量検査を行う水分量検査部と、  
装置から直線状に延びる検査軸を前記被検眼に一致させた状態で、水分量とは異なる前記被検眼の眼特性の検査を行う眼特性検査部と、  
装置から延びる光軸を前記検査軸に一致させた状態で、前記被検眼を固視させる固視標を前記被検眼に投影する固視標投影光学系と、  
制御部と、  
を備え、  
前記水分量検査部は、  
水による吸収損失量が極大値を示す赤外波長に対応する水分測定波長を含む、水分量検査用の水分測定光を出射する水分測定光源と、  
前記水分測定光源によって出射された水分測定光を、前記被検眼の眼球表面に照射する水分用照射光学系と、  
前記眼球表面からの前記水分測定光の反射光を導光し、水分測定用受光器に受光させる水分用受光光学系と、  
を備え、  
前記制御部は、前記水分量検査部による検査、および前記眼特性検査部による検査の各々を、前記固視標投影光学系によって前記固視標を前記被検眼に投影した状態で実行する

ことを特徴とする眼科装置。

【請求項 2】

請求項 1 に記載の眼科装置であって、

前記水分測定光源は、前記水分測定波長と、水による吸収損失量が前記水分測定波長よりも小さくなる赤外波長である参照波長とを含む水分測定光を出射し、

前記制御部は、前記水分測定用受光器によって受光された前記反射光の、前記水分測定波長の強度と前記参照波長の強度の差または比に基づいて、前記眼球表面の水分量の情報を取得することを特徴とする眼科装置。

【請求項 3】

請求項 1 または 2 に記載の眼科装置であって、

装置と前記被検眼の間に直線状に延びる、前記水分用照射光学系の照射光軸および前記水分用受光光学系の受光光軸のうちの少なくとも一方が、前記検査軸に対して傾斜していることを特徴とする眼科装置。

10

【請求項 4】

請求項 1 または 2 に記載の眼科装置であって、

装置と前記被検眼の間に直線状に延びる、前記水分用照射光学系の照射光軸および前記水分用受光光学系の受光光軸のうち、一方が前記検査軸と一致し、他方が前記検査軸に対して傾斜していることを特徴とする眼科装置。

【請求項 5】

請求項 1 または 2 に記載の眼科装置であって、

装置と前記被検眼の間に直線状に延びる、前記水分用照射光学系の照射光軸および前記水分用受光光学系の受光光軸のうち、前記照射光軸が前記検査軸と一致し、前記受光光軸が前記検査軸に対して傾斜していることを特徴とする眼科装置。

20

【発明の詳細な説明】

【技術分野】

【0001】

本開示は、光を用いて眼球表面の水分量に関する情報を取得する眼科装置に関する。

【背景技術】

【0002】

近年、慢性的な眼の不快感および視機能異常等を伴うドライアイの患者数が増回傾向にある。従来、被検眼がドライアイであるか否かを診断する方法として、瞬き直後から涙液層が破壊されるまでの時間を測定する方法、および、濾紙を睑に挟んで涙の分泌量を測定する方法（シルマー検査）等が採用されてきた。しかし、これらの従来の方法では、定量的な結果を得ることが難しい。さらに、シルマー検査では濾紙を眼に直接接触させる必要があるため、患者の負担が大きい。

30

【0003】

非接触で被検眼のドライアイの検査を行うドライアイ検査装置として、光干渉技術を利用して被検眼の涙液層等をユーザに観察させるドライアイ検査装置が知られている。しかし、光干渉技術を利用する装置の構成は複雑である。

【0004】

ここで、特許文献 1 では、被検眼の角膜内部に生じる角膜浮腫の診断のために、光を用いて非接触で被検眼を検査する手法が試みられている。詳細には、特許文献 1 の検査装置は、水分測定赤外光と参照赤外光を切り換えて角膜に照射し、各々の光の反射光の強度に基づいて、角膜浮腫の診断に役立つ情報を取得する。光の照射光軸と、角膜反射光が導かれる受光光軸は、被検眼の視線方向に延び、且つ同軸である。

40

【先行技術文献】

【特許文献】

【0005】

【文献】特開 2016 - 49255 号公報

【発明の概要】

50

## 【 0 0 0 6 】

被検眼の水分量に関する検査を、光干渉技術を利用せずに非接触で実行する機能と、水分量以外の被検眼の眼特性を検査する機能を共に備えた眼科装置は、未だ実現に至っていない。さらに、水分量の検査と眼特性の検査を、共に効率よく且つ適切に実行できる眼科装置は、非常に有用な装置となる。

## 【 0 0 0 7 】

本開示の典型的な目的は、水分量の検査と眼特性の検査を共に適切に実行することが可能な眼科装置を提供することである。

## 【 0 0 0 8 】

本開示における典型的な実施形態が提供する眼科装置は、被検眼の検査を行う眼科装置 10 であって、前記被検眼の眼球表面の水分量検査を行う水分量検査部と、装置から直線状に延びる検査軸を前記被検眼に一致させた状態で、水分量とは異なる前記被検眼の眼特性の検査を行う眼特性検査部と、装置から延びる光軸を前記検査軸に一致させた状態で、前記被検眼を固視させる固視標を前記被検眼に投影する固視標投影光学系と、制御部と、を備え、前記水分量検査部は、水による吸収損失量が極大値を示す赤外波長に対応する水分測定波長を含む、水分量検査用の水分測定光を出射する水分測定光源と、前記水分測定光源によって出射された水分測定光を、前記被検眼の眼球表面に照射する水分用照射光学系と、前記眼球表面からの前記水分測定光の反射光を導光し、水分測定用受光器に受光させる水分用受光光学系と、を備え、前記制御部は、前記水分量検査部による検査、および前記眼特性検査部による検査の各々を、前記固視標投影光学系によって前記固視標を前記被検眼に投影した状態で実行する。 20

## 【 0 0 0 9 】

本開示に係る眼科装置によると、水分量の検査と眼特性の検査が共に適切に実行される。

## 【 0 0 1 0 】

本開示で例示する眼科装置は、水分量検査部、眼特性検査部、固視標投影光学系、および制御部を備える。水分量検査部は、被検眼の眼球表面の水分量検査を行う。眼特性検査部は、装置から直線状に延びる検査軸を被検眼に一致させた状態で、水分量とは異なる被検眼の眼特性の検査を行う。固視標投影光学系は、装置から延びる光軸を検査軸に一致させた状態で、被検眼を固視させる固視標を被検眼に投影する。制御部は、眼科装置の制御を司る。水分量検査部は、水分測定光源、水分用照射光学系、および水分用受光光学系を 30 備える。水分測定光源は、水による吸収損失量が極大値を示す赤外波長に対応する水分測定波長を含む、水分量検査用の水分測定光を出射する。水分用照射光学系は、水分測定光源によって出射された水分測定光を、被検眼の眼球表面に照射する。水分用受光光学系は、眼球表面からの水分測定光の反射光を導光し、水分測定用受光器に受光させる。水分量検査部による検査、および眼特性検査部による検査が、共に固視標投影光学系によって固視標が被検眼に投影された状態で実行される。

## 【 0 0 1 1 】

本開示で例示する眼科装置によると、被検眼の眼球表面の水分量検査と、水分量とは異なる眼特性の検査が共に実行される。従って、被検眼の検査効率が向上する。また、本開示に係る眼科装置は、水による吸収損失量が大きい水分測定波長を含む水分測定光によって、水分量検査を実行する。従って、光干渉技術を利用する場合に比べて簡易な構成で水分量検査が行われる。さらに、水分量検査部による検査、および眼特性検査部による検査が、共に固視標投影光学系によって固視標が被検眼に投影された状態で実行される。従って、被検者は、視線方向を変更することなく、水分量検査と眼特性検査を受けることができる。また、固視標投影光学系の少なくとも一部が、水分量検査と眼特性検査で共用されるので、装置構成も簡略化される。よって、両検査が共に適切に実行される。 40

## 【 0 0 1 2 】

水分測定光源は、水分測定波長と、水による吸収損失量が水分測定波長よりも小さくなる赤外波長である参照波長とを含む水分測定光を出射してもよい。制御部は、水分測定用受光器によって受光された反射光の、水分測定波長の強度と参照波長の強度の差または比 50

に基づいて、眼球表面の水分量の情報を取得してもよい。参照波長は、水分測定波長に比べて水に吸収され難いので、水による影響を受け難い。従って、水分測定波長の強度と参照波長の強度の差または比に基づいて、水分量の情報が取得されることで、眼球表面の水分量が高い精度で定量化される。

**【 0 0 1 3 】**

ただし、制御部は、反射光における参照波長の強度を用いずに、水分測定波長の強度に基づいて水分量の情報を取得することも可能である。この場合でも、眼球表面の水分量の定性的な測定結果が適切に得られる。

**【 0 0 1 4 】**

制御部は、正反射光および拡散反射光を含む眼球表面からの水分測定光の反射光のうち、水分測定用受光器によって受光された拡散反射光の強度に基づいて、眼球表面の水分量の情報を取得してもよい。眼球表面（表面近傍の組織および水等を含む）の水分量は、水分測定光の拡散反射光の強度と強い相関を示す。従って、組織からの拡散反射光が正反射光に埋もれてしまうと、組織の水分量に関する情報を適切に取得し難い。よって、正反射光および拡散反射光を含む反射光のうち、拡散反射光の強度を用いることで、眼球表面の水分量の情報が、非接触且つより高い精度で取得される。

10

**【 0 0 1 5 】**

装置と被検眼の間に直線状に延びる、水分用照射光学系の照射光軸および水分用受光光学系の受光光軸のうちの少なくとも一方が、検査軸に対して傾斜していてもよい。この場合、水分量検査部の照射光軸および受光光軸が共に検査軸と一致している場合に比べて、眼球表面からの水分測定光の正反射光が水分測定用受光器に入射することを、容易に抑制することができる。

20

**【 0 0 1 6 】**

水分用照射光学系の照射光軸と、水分用受光光学系の受光光軸のうち、一方が検査軸と一致し、他方が検査軸に対して傾斜していてもよい。この場合、被検者は、検査軸に沿って投影される固視標を固視した状態で、水分量検査を受ける。従って、照射光軸および受光光軸のうち、検査軸と一致している光軸は、被検眼の角膜の頂点部に一致し易くなる。その結果、角膜の頂点部から検査軸に沿って装置側に向かう正反射光は、検査軸に沿って頂点部に照射された光の正反射光のみとなり易い。よって、照射光軸と受光光軸の一方を検査軸と一致させ、他方を検査軸に対して傾斜させることで、水分測定光の正反射光が水分用受光光学系によって受光される可能性が、適切に低下する。また、また、被検眼の虹彩による水分測定光の正反射光も、水分用受光光学系によって受光され難くなる。

30

**【 0 0 1 7 】**

なお、照射光軸と受光光軸の一方のみを検査軸に対して傾斜させる場合、照射光軸と受光光軸が成す角度は40度以上であってもよく、より好ましくは60度以上であってもよい。この場合、眼球表面による水分測定光の正反射光が、水分用受光光学系によって受光される可能性は、さらに低下する。

**【 0 0 1 8 】**

また、眼科装置は、被検眼の角膜にリング指標を投影するリング指標投影光学系を備えていてもよい。ここで、水分量検査部の照射光軸と受光光軸のうち、検査軸に対して傾斜している光軸を、傾斜光軸とする。被検眼の位置から見た場合の、検査軸に対するリング指標投影光学系の傾斜角度と、検査軸に対する水分量検査部の傾斜光軸の角度が異なってもよい。この場合、リング指標投影光学系の位置と、水分量検査部の光学系の位置が干渉し難い。よって、複数の光学系が装置に適切に配置される。

40

**【 0 0 1 9 】**

水分量検査部の照射光軸および受光光軸のうち、照射光軸が検査軸と一致し、受光光軸が検査軸に対して傾斜していてもよい。この場合、装置と被検眼の間の距離（所謂ワーキングディスタンス）の変化に関わらず、水分測定光は被検眼の角膜の頂点部に照射され易くなる。また、水分用受光光学系は、装置と被検眼の間の距離に関わらず、被検眼からの拡散反射光を受光することができる。従って、より適切に水分量検査が実行される。

50

## 【 0 0 2 0 】

ただし、水分量検査部の照射光軸および受光光軸のうち、受光光軸が検査軸と一致し、照射光軸が検査軸に対して傾斜していてもよい。また、水分量検査部の照射光軸および受光光軸が、共に検査軸に対して傾斜していてもよい。この場合でも、被検眼に対する照射光軸と受光光軸の配置を適切に調整することで、水分測定光の正反射光が水分用受光光学系によって受光される可能性は低下する。例えば、水分量検査部と被検眼の間に延びる照射光軸と受光光軸を、ハーフミラー等を用いて同軸としつつ、検査軸に対して傾斜させることも可能である。この場合、水分量検査を行う際に、被検眼の角膜の頂点部近傍に照射光軸および受光光軸を一致させることで、水分測定光の正反射光が水分用受光光学系によって受光される可能性は低下する。

10

## 【 0 0 2 1 】

眼特性検査部は、光軸を前記検査軸に一致させた状態で配置された対物レンズを備えてもよい。眼科装置は、眼特性検査部の検査光軸と、水分量検査部の照射光軸および受光光軸の一方とを同軸とする光路合成部を、対物レンズと被検眼の間の検査軸上に備えてもよい。仮に、対物レンズよりも被検眼から遠い側に光路合成部を配置すると、眼特性検査部における収差および迷光が増加する可能性がある。これに対し、対物レンズと被検眼の間に光路合成部を配置することで、収差等の影響が抑制された状態で適切に2つの光軸が同軸とされる。

## 【 0 0 2 2 】

なお、光学パワーを有さないカバーガラスが、対物レンズと被検眼の間の検査軸上に配置されていてもよい。光路合成部は、対物レンズとカバーガラスの間の検査軸上に設けられていてもよい。この場合、水分量検査部に埃等が侵入する可能性が、カバーガラスによって適切に抑制される。

20

## 【 0 0 2 3 】

眼特性検査部は、水分測定光の波長とは異なる波長の眼特性検査光を被検眼に照射し、被検眼からの眼特性検査光の反射光を受光することで、被検眼の眼特性の検査を行ってもよい。この場合、水分量検査部と眼特性検査部の各々の検査に、他方の検査部の光が影響することが、適切に抑制される。

## 【 0 0 2 4 】

制御部は、水分量検査部による検査と眼特性検査部による検査を並行して行う同時検査モードを実行できてもよい。この場合、水分量の検査と眼特性の検査を別々に実行する必要が無いので、検査の効率がさらに向上する。なお、前述のように、水分測定光の波長と眼特性検査光の波長を異なる波長とした場合には、同時検査モードを実行しても、各々の検査の精度は担保される。

30

## 【 0 0 2 5 】

なお、本開示では、水分量検査部と共に眼科装置に搭載される眼特性検査部として、被検眼の屈折力の検査を行う眼屈折力測定部が採用される場合を例示する。また、本開示で例示する眼特性検査部は、被検眼の屈折力と共に、被検眼の角膜形状も測定することが可能である。ただし、眼特性検査部は、眼屈折力測定部に限定されない。例えば、眼特性検査部は、被検眼の眼軸長を測定する眼軸長測定部であってもよいし、被検眼の眼圧を非接触で測定する非接触式眼圧測定部であってもよい。また、本開示において、「水分量とは異なる被検眼の眼特性の検査」には、被検眼の眼組織の撮影も含まれる。従って、眼特性検査部は、光コヒーレンストモグラフィの原理によって組織の断層画像を撮影するOCT部であってもよいし、走査型レーザ検眼鏡(SLO)または眼底カメラ等であってもよい。さらに、眼科装置は、異なる眼特性の検査を行う複数の眼特性検査部を備えていてもよい。

40

## 【 0 0 2 6 】

制御部は、被検眼が眼を開いたタイミング(例えば、瞬きを行ったタイミング等)を検出してよい。制御部は、被検眼が眼を開いた以後の経過時間と、水分量検査部によって取得された水分量の情報に基づいて、被検眼のドライアイの程度に関する情報を出力して

50

もよい。この場合には、被検眼が眼を開いたタイミングに基づいて、ドライアイに関する有用な情報が出力される。

【 0 0 2 7 】

なお、被検眼が眼を開いたタイミングを検出するための具体的な方法は、適宜選択できる。例えば、眼科装置は、被検眼の前眼部を撮影する前眼部撮影部を備えていてもよい。制御部は、前眼部撮影部によって継続して撮影される被検眼の前眼部の画像に対し、公知の画像処理等を行うことで、被検眼が眼を開いたタイミングを検出してよい。また、被検眼が瞼を閉じると、眼球表面でなく瞼の水分量の情報が水分量検査部によって取得されるので、眼を開いている間に比べて、測定される水分量が大きく変化する。従って、制御部は、水分量検査部によって測定される水分量が急激に変化したタイミング（例えば、水分量が急激に増加したタイミング等）を、被検眼が眼を開いたタイミングとして検出してよい。

10

【 図面の簡単な説明 】

【 0 0 2 8 】

【 図 1 】眼科装置 1 の光学系および制御系の概略構成図である。

【 図 2 】眼科装置 1 が実行する同時検査処理のフローチャートである。

【 発明を実施するための形態 】

【 0 0 2 9 】

（装置構成）

以下、本開示における典型的な実施形態の 1 つについて、図面を参照して説明する。眼科装置 1 は、被検眼 E の眼球表面の水分量の検査と、水分量とは異なる被検眼 E の眼特性の検査を共に実行することができる。眼科装置 1 は、眼特性検査部 1 0、水分量検査部 3 0、固視標投影光学系 5 0、リング指標投影光学系 6 5、作動距離指標投影光学系 6 6、観察光学系 7 0、および制御部 8 0 を備える。

20

【 0 0 3 0 】

（眼特性検査部）

眼特性検査部 1 0 は、検査軸 E O を被検眼 E に一致させた状態で、水分量とは異なる被検眼 E の眼特性の検査を行う。一例として、本実施形態の眼特性検査部 1 0 は、被検眼 E の屈折力の検査を行う眼屈折力測定部である。また、本実施形態の眼科装置 1 は、被検眼 E の角膜形状を測定することも可能である。ただし、前述したように、眼特性検査部 1 0 は眼屈折力測定部に限定されない。本実施形態の眼特性検査部 1 0 は、眼特性用投影光学系 1 0 A と、眼特性用受光光学系 1 0 B を備える。

30

【 0 0 3 1 】

眼特性用投影光学系 1 0 A は、被検眼 E の瞳孔中心部を介して、被検眼 E の眼底に測定指標を投影する。眼特性用投影光学系 1 0 A は、眼特性検査光源 1 1、リレーレンズ 1 2、ホールミラー 1 3、および対物レンズ 2 を、眼特性検査部 1 0 の検査光軸 L 1 上に備える。眼特性検査部 1 0 の検査光軸 L 1 は、眼科装置 1 の検査軸 E O と一致する。つまり、対物レンズ 2 の光軸が、眼科装置 1 の検査軸 E O に一致するように、各種光学系が配置される。眼特性検査光源 1 1 は、眼特性（本実施形態では被検眼 E の屈折力）を検査（測定）するための眼特性検査光を出射する。一例として、本実施形態の眼特性検査光源 1 1 は S L D であり、波長が約 8 7 5 n m の眼特性検査光を出射する。眼特性検査光源 1 1 は、正視眼の眼底と光学的に共役な位置関係となっている。また、ホールミラー 1 3 の開口は、被検眼 E の瞳孔と光学的に共役な位置関係となっている。

40

【 0 0 3 2 】

眼特性用受光光学系 1 0 B は、被検眼の眼底から反射された眼底反射光を、瞳孔周辺部を介してリング状に取り出し、二次元撮影素子にリング状の眼底反射像を撮影させる。眼特性用受光光学系 1 0 B は、対物レンズ 2 およびホールミラー 1 3 を、眼特性用投影光学系 1 0 A と共用する。また、眼特性用受光光学系 1 0 B は、ホールミラー 1 3 の反射方向の光軸上（つまり、ホールミラー 1 3 によって分岐される光軸上）に、リレーレンズ 1 6、全反射ミラー 1 7、受光絞リ 1 8、コリメータレンズ 1 9、リングレンズ 2 0、および

50

二次元撮影素子（例えばエリアCCD等）22を備える。受光絞り18および二次元撮影素子22は、被検眼Eの眼底と光学的に共役な位置関係となっている。リングレンズ20は、リング状に形成されたレンズ部と、レンズ部以外の領域に形成された遮光部とを備える。リングレンズ20は、被検眼Eの瞳孔と光学的に共役な位置関係となっている。二次元撮影素子22からの出力は、制御部80に入力される。

#### 【0033】

なお、眼特性用投影光学系10Aおよび眼特性用受光光学系10Bの構成を変更することも可能である。例えば、眼特性用投影光学系10Aは、瞳孔周辺部から眼底にリング状の測定指標を投影してもよい。眼特性用受光光学系10Bは、瞳孔中心部から眼底反射光を取り出し、二次元撮影素子22にリング状の眼底反射光を受光させてもよい。また、連続的なリング像でなく、間欠的なリング像（例えば、略リング状に並べられた複数の点像等）が二次元撮影素子22によって撮影される構成とすることも可能である。

10

#### 【0034】

（水分量検査部）

水分量検査部30は、被検眼Eの眼球表面の水分量の検査（本実施形態では水分量の測定）を行う。水分量検査部30は、水分測定光源3、水分用照射光学系30A、および水分用受光光学系30Bを備える。水分測定光源3は、水分量検査用の光である水分測定光を出射する。水分用照射光学系30Aは、水分測定光源3によって出射された水分測定光を、被検眼Eの眼球表面（本実施形態では角膜）に照射する。水分用受光光学系30Bは、被検眼Eの眼球表面からの水分測定光の反射光を、水分測定用受光器5に受光させる。

20

#### 【0035】

水分測定光源3が出射する水分測定光の波長には、所定の水分測定波長が含まれる。水分測定波長は、水による吸収損失量が極大値を示す赤外波長に対応する波長である。極大値に対応する波長は、例えば、極大値を示す波長との差が閾値以下となる範囲内の波長であってよい。

#### 【0036】

また、本実施形態における水分測定光の波長には、参照波長も含まれる。参照波長は、水による吸収損失量が水分測定波長よりも小さくなる赤外波長（つまり、水分測定波長に比べて、水分測定光の照射部位における水の量の影響が小さい赤外波長）である。本実施形態では、制御部80は、水分測定用受光器5によって受光された反射光の、水分測定波長の強度と参照波長の強度の差または比に基づいて、眼球表面の水分量の情報を取得する。従って、眼球表面の水分量が高い精度で定量化される。

30

#### 【0037】

なお、本実施形態の水分測定光源3は、水分測定波長を含む水分測定光を出射する光源3Aと、参照波長を含む水分測定光を出射する光源3Bを備える。光源3A、3Bには、例えばLED等を使用できる。

#### 【0038】

水分測定波長と参照波長について説明する。本実施形態では、ヘモグロビンによる水分測定光の吸収の影響を抑制するために、ヘモグロビンの吸収係数が小さくなる波長700nm以上の赤外領域（詳細には近赤外領域）が、水分測定波長および参照波長として使用される。波長700nm以上の赤外領域では、波長約1450nm、および波長約1900nmにおいて、水による吸収係数（つまり吸収損失量）が極大値（ピーク）となる。極大値に対応する波長（極大値近傍の波長）を含む波長を水分測定波長とすることで、水分測定波長の光を吸収する水分の量が、効果的に測定される。なお、水による吸収係数が極大値となる波長に応じて、眼球表面からの光の透過距離は変化する。例えば、波長が約1450nmの光は、角膜表面から約1000μmの深さまで透過する。波長が約1900nmの光は、角膜表面から約200μmの深さまで透過する。一例として、本実施形態の水分測定波長は1450nmを含む波長に設定されている。しかし、水分測定波長は、眼科装置1の用途等に応じて変更されてもよい。例えば、角膜の表面により近い部位の水分量の情報を取得する場合、水分測定波長は1900nmを含む波長に設定されてもよい。

40

50

また、複数の水分測定波長（例えば、1450 nmを含む波長および1900 nmを含む波長）が設定されてもよい。なお、本実施形態で示す波長の値を僅かに変更しても同様の効果が得られることは言うまでもない。

#### 【0039】

参照波長は、水による吸収損失量が水分測定波長よりも小さくなる赤外波長に設定される。水による吸収係数は、700 nm以上の範囲では、約940 nmおよび約1270 nm等で小さい値となる。従って、本実施形態の参照波長は、一例として1270 nmを含む波長に設定されている。1270 nmを含む波長は、眼特性検査光の波長とも異なり、且つ、後述するリング指標投影光学系65および作動距離指標投影光学系66が照射する光の波長（970 nm）とも異なる。ただし、参照波長は他の値（例えば940 nm等）に変更されてもよい。

10

#### 【0040】

以上説明したように、本実施形態では、眼特性検査部10によって被検眼Eに照射（投影）される眼特性検査光の波長と、水分量検査部30によって被検眼Eに照射される水分測定光の波長が異なる。従って、眼特性検査部10と水分量検査部30の各々の検査に、他方の検査部の光が影響することが、適切に抑制される。

#### 【0041】

ここで、眼球表面（表面近傍の組織および水等を含む）の水分量は、水分測定光の拡散反射光の強度と強い相関を示す。従って、組織からの拡散反射光が正反射光に埋もれてしまうと、組織の水分量に関する情報を適切に取得し難い。よって、正反射光および拡散反射光を含む反射光のうち、拡散反射光の強度を用いることで、眼球表面の水分量の情報が、非接触且つより高い精度で取得される。拡散反射光の強度に基づいて水分量の情報を取得する方法として、正反射光および拡散反射光を共に受光器によって受光した後、正反射光の影響が大きい部位の情報を除外する方法が考えられる。また、正反射光が受光器によって受光されることを抑制し、極力拡散反射光のみが受光器によって受光されるように、光学系を構成する方法も考えられる。本実施形態の眼科装置1は、正反射光が受光器によって受光され難い光学系を備える。以下、詳細に説明する。

20

#### 【0042】

本実施形態の水分用照射光学系30Aは、ダイクロイックミラー31、レンズ32、および光路合成部33を備える。ダイクロイックミラー31は、光源3Aから出射される水分測定光の光軸と、光源3Bから出射される水分測定光の光軸を同軸とする。なお、光源3A、3Bの各々とダイクロイックミラー31の間の2つの光路上には、絞りがそれぞれ設けられている。レンズ32は、光源3A、3Bから出射されてダイクロイックミラー31を通過した水分測定光を、光路合成部33を介して被検眼Eに照射する。本実施形態のレンズ32は、水分測定光を平行光とするコリメータレンズである。従って、水分測定光は、平行光束となって被検眼Eに照射される。その結果、水分測定光は、被検眼Eと眼科装置1の間の距離（所謂ワーキングディスタンス）に関わらず、被検眼Eの角膜の頂点部に適切に照射され易くなる。

30

#### 【0043】

光路合成部33は、眼特性検査部10の検査光軸L1と、水分用照射光学系30Aの照射光軸L3Aを、同軸とする。一例として、本実施形態の光路合成部33は、眼特性測定光を透過し、且つ水分測定光を反射させるダイクロイックミラーである。光路合成部33によって、眼特性測定光および水分測定光は、共に、眼科装置1の検査軸EOに沿って被検眼Eに照射される。従って、眼科装置1は、検査軸EO上に配置された被検眼Eに対して、眼特性検査部10による眼特性の検査と、水分量検査部30による眼球表面の水分量の検査のいずれを実行することも可能であり、両検査を並行して実行することも可能である。

40

#### 【0044】

本実施形態の光路合成部33は、眼特性検査部10の対物レンズ2と被検眼Eの間の検査軸EO上に設けられている。仮に、対物レンズ2よりも被検眼E側から遠い側（つまり

50

、本実施形態では、眼特性検査光源 1 1 および二次元撮像素子 2 2 に近い側) に光路合成部 3 3 が配置されると、眼特性検査部 1 0 における収差および迷光が増加する可能性がある。これに対し、対物レンズ 2 と被検眼 E の間に光路合成部 3 3 を配置することで、収差等の影響が抑制された状態で、検査光軸 L 1 と照射光軸 L 3 A が適切に同軸とされる。

#### 【 0 0 4 5 】

また、本実施形態の眼科装置 1 は、光学パワーを有さず、且つ装置内部への埃等の侵入を抑制するカバーガラス 4 を、対物レンズ 2 と被検眼 E の間の検査軸 E O 上に備える。光路合成部 3 3 は、対物レンズ 2 とカバーガラス 4 の間の検査軸 E O 上に設けられている。従って、水分量検査部 3 0 ( 詳細には、水分用照射光学系 3 0 A ) に埃等が侵入する可能性が、カバーガラス 4 によって適切に抑制される。

10

#### 【 0 0 4 6 】

水分用受光光学系 3 0 B は、被検眼 E の眼球表面からの水分測定光の反射光 ( 詳細には拡散反射光 ) を、眼球表面から受光光軸 L 3 B に沿って導光し、水分測定用受光器 5 に受光させる。受光光軸 L 3 B は、被検眼 E と、眼科装置 1 の水分用受光光学系 3 0 B の間に直線状に延びる。本実施形態では、水分用受光光学系 3 0 B の受光光軸 L 3 B は、検査軸 E O に対して傾斜している。検査軸 E O に対する受光光軸 L 3 B の角度は、4 0 度以上であっててもよく、より好ましくは 6 0 度以上である。この場合、眼球表面による水分測定光の正反射光が、水分用受光光学系 3 0 B によって受光される可能性が、適切に低下する。なお、本実施形態では、検査軸 E O と受光光軸 L 3 B の角度は約 6 0 度となっている。

#### 【 0 0 4 7 】

本実施形態の水分用受光光学系 3 0 B は、レンズ 3 5 およびダイクロイックミラー 3 6 を受光光軸 L 3 B 上に備える。レンズ 3 5 は、眼球表面からの水分測定光の反射光 ( 詳細には拡散反射光 ) を、水分測定用受光器 5 ( 詳細には、2 つの受光器 5 A , 5 B ) に導光する。ダイクロイックミラー 3 6 は、眼球表面からの反射光の光路を、水分測定波長の光路と参照波長の光路に分岐させる。本実施形態のダイクロイックミラー 3 6 は、水分測定波長の光の少なくとも一部を透過させ、且つ、参照波長の光の少なくとも一部を反射させることで、光路を分岐させる。分岐された 2 つの光路のうち、水分測定波長の光の光路上には、受光器 5 A が設けられている。また、分岐された参照波長の光の光路上には、受光器 5 B が設けられている。本変容例では、受光器 5 A , 5 B としてフォトダイオードが使用されている。その結果、受光器のコストが低下している。

20

30

#### 【 0 0 4 8 】

なお、本実施形態の水分測定光源 3 は、水分測定波長を含む水分測定光を出射する光源 3 A と、参照波長を含む水分測定光を出射する光源 3 B を備える。しかし、水分測定光源の数は 1 つであっててもよい。この場合、水分測定光源が出射する水分測定光の波長域には、水分測定波長と参照波長が共に含まれる。また、本実施形態の水分測定用受光器 5 は、水分測定波長の光を受光する受光器 5 A と、参照波長の光を受光する受光器 5 B を備える。しかし、水分測定用受光器の数は 1 つであっててもよい。この場合、水分測定用受光器は、光を波長毎に分光して波長毎の強度を検出する分光器であっててもよい。いずれの場合でも、本開示に係る眼科装置は、水分測定波長の強度と参照波長の強度を同じタイミングで検出するので、眼球表面における水分量の経時変化の影響を受けることなく、高い精度で水分量情報を取得することができる。

40

#### 【 0 0 4 9 】

##### ( 固視標投影光学系 )

固視標投影光学系 5 0 は、装置から被検眼 E に延びる投影光軸 L 5 を検査軸 E O に一致させた状態で、被検眼 E を固視させるための固視標を被検眼 E に投影する。本実施形態の固視標投影光学系 5 0 は、固視標投影用可視光源 5 1、固視標板 5 2、移動部 5 3、投光レンズ 5 5、およびダイクロイックミラー 6 を備える。また、固視標投影光学系 5 0 は、対物レンズ 2 を眼特性検査部 1 0 と共用する。固視標板 5 2 は固視標を有する。固視標投影用可視光源 5 1 と固視標板 5 2 が、移動部 5 3 によって投影光軸 L 5 に沿って移動されることで、被検眼 E の雲霧が行われる。ダイクロイックミラー 6 は、固視標投影光学系 5

50

0の投影光軸L5と、眼科装置1の検査軸EO(検査光軸L1)を、同軸とする。本実施形態では、ダイクロイックミラー6は、固視標投影光を反射し、眼特性検査光を透過させることで、投影光軸L5と検査軸EOを同軸とする。その結果、固視標は、検査軸EOに沿って被検眼Eに投影される。検査軸EOは、固視標を固視した被検眼Eの角膜の頂点部を通過する。

【0050】

(リング指標投影光学系・作動距離指標投影光学系)

リング指標投影光学系65は、被検眼Eの前眼部の前方に設けられている。リング指標投影光学系65は、被検眼Eの角膜にリング指標を投影するための近赤外光を発する。リング指標投影光学系65が投影するリング指標は、被検眼Eの角膜形状を測定する指標として利用される。また、リング指標投影光学系65は、被検眼Eの前眼部を照明する前眼部照明としても使用される。

10

【0051】

作動距離指標投影光学系66は、被検眼Eの角膜に無限遠指標を投影するための近赤外光を発する。無限遠指標およびリング指標は、被検眼Eに対する作動距離方向(検査軸EOに沿うZ方向)のアライメント状態を検出するために利用される。なお、本実施形態では、リング指標投影光学系65および作動距離指標投影光学系66が出射する光の波長は、いずれも970nmである。従って、リング指標投影光学系65および作動距離指標投影光学系66が出射する光は、眼特性検査部10によって照射される眼特性検査光の波長、および、水分量検査部30によって照射される水分測定光の波長のいずれとも異なる。よって、リング指標投影光学系65および作動距離指標投影光学系66が出射する光は、眼特性の検査および水分量の検査のいずれにも影響しない。

20

【0052】

ここで、検査軸EOに対する水分量検査部30の受光光軸(傾斜光軸)L3Bの角度(本実施形態では約60度)と、被検眼Eの位置から見た場合の検査軸EOに対するリング指標投影光学系65の傾斜角度(本実施形態では約20度)は、異なる角度に調整されている。従って、リング指標投影光学系65の位置と、水分用受光光学系30Bの位置が干渉せずに、各々の部材が適切に配置されている。なお、作動距離指標投影光学系66も、水分用受光光学系30Bに干渉しない位置に配置されている。

【0053】

(観察光学系)

観察光学系70は、ハーフミラー71、撮影レンズ72、および二次元撮像素子73を備える。また、観察光学系70は、ダイクロイックミラー6と対物レンズ2を、他の光学系と共用する。被検眼Eの前眼部からの光は、対物レンズ2を通過し、ダイクロイックミラー6によって反射される。さらに、前眼部からの光の一部がハーフミラー71によって反射されて、撮影レンズ72を経て二次元撮像素子73に導光される。二次元撮像素子73からの出力は、制御部80に入力される。二次元撮像素子73によって撮影された被検眼Eの前眼部画像は、モニタ7に表示される。観察光学系70は、被検眼Eの角膜に形成されるアライメント指標像を検出する光学系を兼ねている。制御部80は、撮影された前眼部画像におけるアライメント指標像の位置に基づいて、被検眼Eに対する眼科装置1のアライメント状態を検出する。

30

40

【0054】

(制御部)

制御部80は、眼科装置1の制御を司るコントローラを備える。制御部80には、記憶装置81、水分測定光源3、水分測定用受光器5、モニタ7、眼特性検査光源11、二次元撮像素子22、固視標投影用可視光源51、移動部53、リング指標投影光学系65、作動距離指標投影光学系66、および二次元撮像素子73等が接続されている。また、制御部80は、被検眼Eの眼屈折力を算出する処理、および、被検眼Eの眼球表面の水分量情報を取得する処理等を実行する。

【0055】

50

制御部 80 は、水分量検査部 30 による検査、および、眼特性検査部 10 による検査の各々を、固視標投影光学系 50 によって固視標を被検眼 E に投影した状態で実行する。従って、被検者は、視線方向を変更することなく、水分量検査と眼特性検査を受けることができる。また、固視標投影光学系 50 が、水分量検査と眼特性検査で共用されるので、装置構成も簡略化される。

#### 【0056】

本実施形態の眼科装置 1 では、装置と被検眼 E の間に延びる、水分用照射光学系 30 A の照射光軸 L 3 A および水分用受光光学系 30 B の受光光軸 L 3 B のうちの少なくとも一方が、検査軸 E O に対して傾斜している。従って、照射光軸 L 3 A および受光光軸 L 3 B の両方が検査軸 E O と一致している場合に比べて、眼球表面からの水分測定光の正反射光が、水分測定用受光器 5 に入射し難い。

10

#### 【0057】

詳細には、本実施形態の眼科装置 1 では、照射光軸 L 3 A および受光光軸 L 3 B の一方が検査軸 E O と一致し、他方が検査軸 E O に対して傾斜している。被検者は、検査軸 E O に沿って投影される固視標を固視した状態で、水分量検査を受ける。従って、照射光軸 L 3 A および受光光軸 L 3 B のうち、検査軸 E O と一致している光軸は、被検眼 E の角膜の頂点部に一致し易くなる。その結果、角膜の頂点部から検査軸 E O に沿って装置側に向かう正反射光は、検査軸 E O に沿って頂点部に照射された光の正反射光のみとなり易い。よって、照射光軸 L 3 A と受光光軸 L 3 B の一方を検査軸 E O と一致させ、他方を検査軸 E O に対して傾斜させることで、水分測定光の正反射光が水分測定用受光器 5 によって受光される可能性が、適切に低下する。また、被検眼 E の虹彩による水分測定光の正反射光も、水分測定用受光器 5 によって受光され難くなる。

20

#### 【0058】

より詳細には、本実施形態の眼科装置 1 では、照射光軸 L 3 A が検査軸 E O と一致し、受光光軸 L 3 B が検査軸 E O に対して傾斜している。従って、装置と被検眼 E の間の距離（所謂ワーキングディスタンス）の変化に関わらず、水分測定光は被検眼 E の角膜の頂点部に照射され易くなる。また、水分用受光光学系 30 B は、装置と被検眼 E の間の距離に関わらず、被検眼 E からの水分測定光の拡散反射光を受光することができる。

#### 【0059】

（同時検査処理）

30

図 2 を参照して、本実施形態の眼科装置 1 が実行する同時検査処理について説明する。本実施形態の眼科装置 1 では、ユーザは、水分量検査と眼特性検査が並行して（同じタイミングで）行われる同時検査モードを選択することができる。眼科装置 1 の制御部 80 は、同時検査モードの実行指示がユーザによって入力されると、記憶装置 81 に記憶されているプログラムに従って、図 2 に示す同時検査処理を実行する。

#### 【0060】

まず、制御部 80 は、固視標投影光学系 50 による固視標の投影を開始する（S1）。被検眼 E は、投影された固視標を見る。次いで、被検眼 E に対する眼科装置 1 のアライメント（位置合わせ）が実行される（S2）。前述したように、制御部 80 は、二次元撮像素子 73 によって撮影された前眼部画像におけるアライメント指標像の位置に基づいて、被検眼 E に対する眼科装置 1 のアライメント状態を検出する。なお、本実施形態の眼科装置 1 は、被検眼 E に対する装置の位置を移動させる駆動部（図示せず）を備える。制御部 80 は、前眼部画像によるアライメント状態の検出結果に応じて駆動部を制御することで、自動でアライメントを実行する。しかし、ユーザが、モニターに表示された前眼部画像を見ながら装置を移動させることで、アライメントが実行されてもよい。

40

#### 【0061】

アライメントが完了すると（S3：YES）、制御部 80 は、眼特性検査部 10 による眼特性の検査を開始する（S5）。前述のように、眼特性検査では、被検眼 E の眼底に測定指標が投影され、リング状の眼底反射像が二次元撮像素子 22 によって撮影される。また、制御部 80 は、水分量検査部 30 による水分量の検査を開始する（S6）。前述のよ

50

うに、水分量検査では、水分測定光が被検眼 E の眼球表面に照射され、眼球表面からの水分測定光の反射光（詳細には拡散反射光）が受光される。水分量検査は、一定の時間継続して実行される。また、制御部 80 は、観察光学系 70 による被検眼 E の前眼部の動画撮影を実行する（S7）。

【0062】

検査が完了すると（S9：YES）、制御部 80 は、二次元撮像素子 22 によって撮影された眼底反射像に基づいて、被検眼の眼屈折力の測定結果を取得する（S10）。また、制御部 80 は、水分量検査中に被検眼 E が眼を開いたタイミング（眼が閉じた状態から開かれるタイミング）を検出する。制御部 80 は、被検眼 E が眼を開いた以後の経過時間と、水分量検査部 30 によって取得された水分量の情報に基づいて、被検眼 E のドライアイの程度に関する情報を取得する（S11）。

10

【0063】

本実施形態では、制御部 80 は、観察光学系 70 によって撮影された被検眼 E の前眼部の動画に対し、公知の画像処理を行うことで、被検眼が眼を開いたタイミングを検出する。しかし、眼を開いたタイミングを検出する方法を変更することも可能である。例えば、制御部 80 は、水分量検査部 30 によって測定される水分量が急激に変化したタイミング（例えば、水分量が急激に増加したタイミング等）を、被検眼 E が眼を開いたタイミングとして検出してもよい。

【0064】

上記実施形態で開示された技術は一例に過ぎない。よって、上記実施形態で例示された技術を変更することも可能である。例えば、上記実施形態で例示された複数の技術の一部のみを眼科装置に採用してもよい。また、上記実施形態では、水分測定用受光器 5 としてフォトダイオードが使用されている。しかし、二次元撮像素子が水分用受光器として使用されてもよい。

20

【符号の説明】

【0065】

- 1 眼科装置
- 2 対物レンズ
- 3 水分測定光源
- 5 水分測定用受光器
- 10 眼特性検査部
- 30 水分量検査部
- 30A 水分用照射光学系
- 30B 水分用受光光学系
- 33 光路合成部
- 50 固視標投影光学系
- 70 観察光学系
- 80 制御部

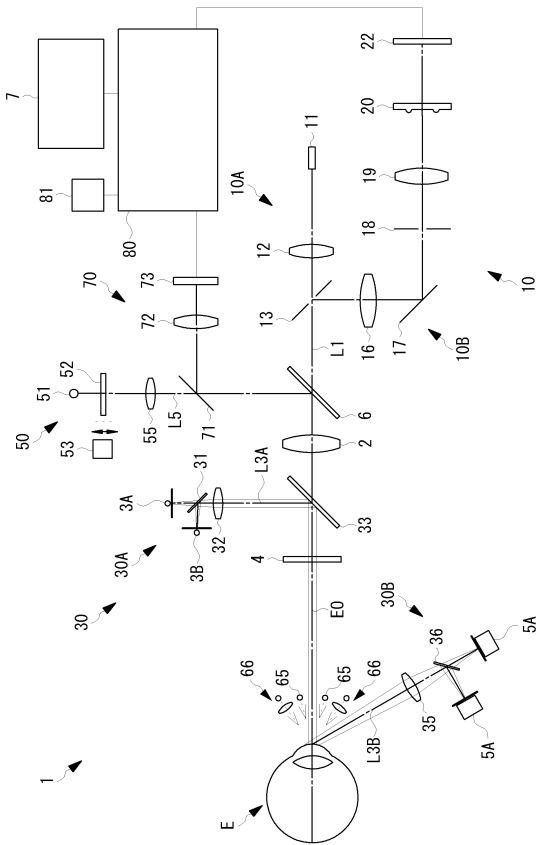
30

40

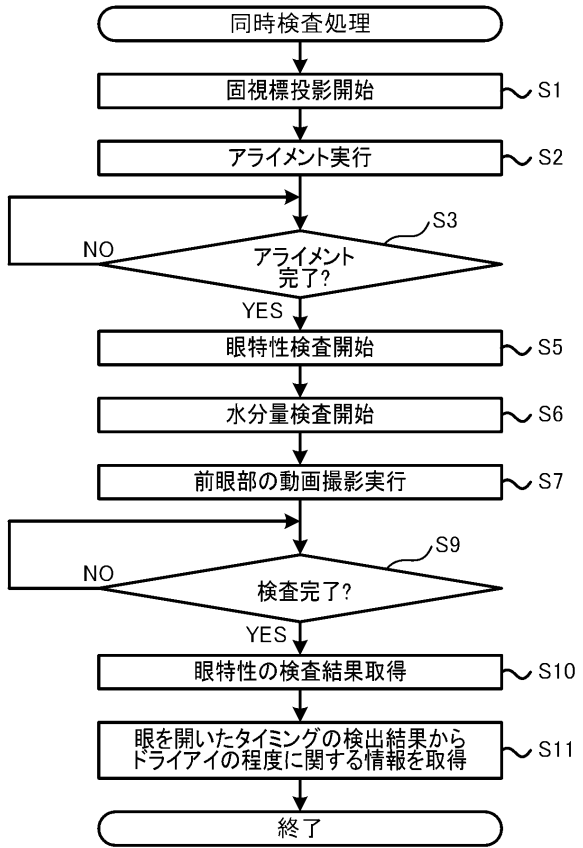
50

【図面】

【図 1】



【図 2】



10

20

30

40

50

---

フロントページの続き

- (56)参考文献 特開2016-049255(JP,A)  
特開2015-035042(JP,A)  
特開2015-177403(JP,A)  
国際公開第2019/027018(WO,A1)  
特開2015-085042(JP,A)
- (58)調査した分野 (Int.Cl., DB名)  
A61B 3/00 - 3/18