

明 細 書

発明の名称：眼科用レンズ

技術分野

[0001] 本発明は、眼科用レンズに関する。

背景技術

[0002] 近視人口増加にともない強度近視の人口も増えている。強度近視は失明につながる可能性もある事はよく知られている。そのため、強度近視の増加は、重大な社会問題であり、近視の進行を抑制する治療法が広く求められている。

[0003] 強度近視に至らしめる近視進行を抑制する方法がいくつか提案されている。光学的な近視進行抑制方法としては、眼鏡またはコンタクトレンズ（ソフトコンタクトレンズ、オルソケラトロジー）等の眼科用レンズを使用する方法がある。

[0004] 特許文献 1 には、後述する単色収差を付加して近視等の屈折異常の進行を抑制する効果（以降、近視進行抑制効果とも称する。）を発揮する眼鏡レンズが記載されている。この眼鏡レンズのことを近視進行抑制レンズとも称する。具体的には、眼鏡レンズの物体側の面である凸面に対し、例えば、直径 1 mm 程度の球形状の微小凸部を形成している。

[0005] 特許文献 1 に記載の眼鏡レンズにおける微小凸部を光線が通過することにより、眼鏡レンズに入射し且つ瞳孔を通る光線の束である光束（以降、「光束」については同様の意味とする。）を、網膜上の所定の位置よりも光軸方向にてオーバーフォーカス側の複数の位置にて集光させる。これにより、近視の進行が抑制される。

[0006] 本明細書において、オーバーフォーカス側とは、網膜を基準として光軸方向において視認すべき物体に近づく方向のことを指し、アンダーフォーカス側とは、オーバーフォーカス側の逆方向であり、網膜を基準として光軸方向において視認すべき物体から遠ざかる方向のことを指す。光学度数が正に過

剰な場合はオーバーフォーカス側に、不足な場合はアンダーフォーカス側に集光する。

[0007] その一方、特許文献2には、赤色の波長の光が、青色および緑色の波長の光よりも後方で集光する縦色収差 (longitudinal chromatic aberration) について記載されている (特許文献2の [0041])。そして、動物実験において、赤色の波長の光が、眼軸を長くし、近視の進行をもたらすことが記載されている (特許文献2の [0008] [0049])。逆に、青色の波長の光は、近視の進行を抑制する効果をもたらすことが記載されている (特許文献2の [0054])。

[0008] そして、特許文献2には、近視進行を抑制すべく、青色および緑色の波長の光を利用することが記載されている (特許文献2の [0035])。具体的には、眼鏡レンズに光学フィルターを設け、460～490nmの波長の範囲と約490～550nmの波長の範囲に光量のピークを形成し、且つ、約550～700nmの波長の範囲の光量を1%以下とすることが記載されている (特許文献2の [Claim1] [Claim5] [Claim6] [0032])。

先行技術文献

特許文献

[0009] 特許文献1：米国出願公開第2017／0131567号

特許文献2：WO2012／044256号パンフレット

発明の概要

発明が解決しようとする課題

[0010] 特許文献2に記載の手法は、波長のフィルタリングに関する。その一方、眼鏡レンズ自体がもたらす縦色収差についての検討はなされていない。縦色収差は処方度数に依存する。特許文献2に記載の手法だと、いくら波長のフィルタリングを行ったとしても、眼鏡レンズ自体の縦色収差が適切に生じなければ、近視進行抑制効果を発揮できないおそれがある。

[0011] 本発明の一実施例は、縦色収差により近視進行抑制効果を発揮させることを目的とする。

課題を解決するための手段

[0012] 本発明者らは、眼鏡レンズ自体が正の縦色収差を備えた状態、すなわち短波長の光がオーバーフォーカスの状態（後掲の図2の実施例1、2）では、負の縦色収差を備えた場合（後掲の図2の比較例1）に比べ、眼鏡レンズを通過し且つ瞳孔を通る可視光の光線の束のうち短波長側の波長の光束の集光位置がオーバーフォーカス側に移動することに着目した。

[0013] この着目に基づき、本発明者らが上記課題について検討した結果、眼鏡レンズのうち物体側の面の側および眼球側の面の側の少なくともいずれかに対して回折構造を設けることにより、眼鏡レンズ自体に正の縦色収差を備えさせるという手法を想到した。

[0014] 本発明の第1の態様は、
処方度数がゼロ以下であり、
物体側の面の側および眼球側の面の側の少なくともいずれかに対し、可視光中の短波長側にブレイズ波長が設定された回折構造が設けられ、
正の縦色収差を有する、眼科用レンズである。

[0015] 本発明の第2の態様は、第1の態様に記載の態様であって、
設定された主波長よりも長波長の光を減衰させる波長フィルターを備える。

[0016] 本発明の第3の態様は、第1または第2の態様に記載の態様であって、
回折構造がもたらす度数 D_D は以下の関係を満足する。

$$D_D < D \times \nu_D / (\nu_D - \nu)$$

D は処方度数、 ν_D は回折構造がもたらすアッベ数、 ν はレンズ基材のアッベ数を表す。

[0017] 本発明の第4の態様は、第1～第3のいずれかの態様に記載の態様であって、

ブレイズ波長は477nmよりも大きく且つ535nm未満である。

[0018] 本発明の第5の態様は、第1～第4のいずれかの態様に記載の態様であって、

回折構造がもたらす度数 D_D は、処方度数 D の15%以上である

[0019] 本発明の第6の態様は、第1～第5のいずれかの態様に記載の態様であって、

回折構造がもたらす度数 D_D は、処方度数 D の50%未満である。

[0020] 本発明の第7の態様は、第1～第6のいずれかの態様に記載の態様であって、

眼科用レンズは眼鏡レンズである。

[0021] 本発明の他の一態様は、以下のとおりである。

「設定された主波長」とは、M錐体細胞の感度が最も高くなる534nmより高い波長（緑色波長）のことを指す。それを鑑み、設定された主波長は、500～585nmの範囲内の一つの値を採用してもよい。この範囲は、好ましくは515～550nm、より好ましくは532～575nmであり、この範囲内の一つの値を採用してもよい。最適な範囲は、M錐体細胞の感度がL錐体細胞の感度を下回る、564～570nmである。

[0022] 本発明の他の一態様は、以下のとおりである。

「設定された主波長よりも長波長の光を減衰させる」とは、上記主波長よりも長波長（例えば最適な条件であれば564～570nmを超える長波長）の光の平均透過率を下げることを意味する。この機能を有すれば波長フィルターの態様に限定は無い。長波長の上限にも特に限定は無いが、780nmや830nmを上限としてもよい。

[0023] 本発明の他の一態様は、以下のとおりである。

設定された主波長が534nmの場合、赤色波長であるところの波長564nm以上の光を減衰させる機能を有するのが好ましい。なお、減衰の度合いに関しては特に限定は無いが、例えば、波長フィルターを設ける前に比べ、少なくとも波長564nm以上の光の平均透過率を1/2以下にするのが好ましく、1/3以下にするのがより好ましい。

[0024] 本発明の他の一態様は、以下のとおりである。

また、彩度が著しく異なることを防ぐべく、 r の等色関数が負であり、かつ b 、 g がピークの半分以下の領域である、 $477 \sim 505 \text{ nm}$ の波長の光を合わせて減衰させてもよい。減衰の度合いの好適例の数値範囲は上段落に記載のものと同様である。

[0025] 本発明の他の一態様は、以下のとおりである。

眼科用レンズは眼内レンズ（いわゆるIOL）を除く。眼科用レンズは、眼球の外側にて装用するレンズともいう。

発明の効果

[0026] 本発明の一実施例によれば、縦色収差により近視進行抑制効果を発揮させる。

図面の簡単な説明

[0027] [図1]図1（a）は、比較例1に係るマイナスレンズの概略側断面図である。図1（b）は、実施例1に係るマイナスレンズの概略側断面図であり、吹き出しの中は拡大図である。図1（c）は、実施例2に係るマイナスレンズの概略側断面図であり、吹き出しの中は拡大図である。

[図2]図2は、横軸を波長 $[\text{nm}]$ 、縦軸を度数 $[D]$ としたときの、比較例1および実施例1、2における、各波長光による眼鏡レンズの度数の変化を示すプロットである。

発明を実施するための形態

[0028] 以下、本発明の一態様について述べる。以下における説明は例示であって、本発明は例示された態様に限定されるものではない。なお、本明細書において「 $\sim$ 」は所定の数値以上且つ所定の数値以下を示す。

[0029] また、以下に述べる C' 線、 F' 線等の波長はフラウンホーファー線波長であり、波長の値は小数点以下を四捨五入して記載しているが、正確な値を使用する場合はフラウンホーファー線波長を参照可能である。

[0030] [本発明の一態様に係る眼科用レンズ]

本発明の一態様に係る眼科用レンズは近視進行抑制レンズである。具体的

な構成は以下の通りである。

「処方度数がゼロ以下であり、

物体側の面の側および眼球側の面の側の少なくともいずれかに対し、可視光中の短波長側にブレイズ波長が設定された回折構造が設けられ、

正の縦色収差を有する、眼科用レンズ。」

[0031] 「眼科用レンズ」としては、近視進行抑制レンズとしての機能を奏するものであれば態様に特に限定は無い。例えば、眼鏡レンズまたはコンタクトレンズ（すなわち眼球の外側にて装用するレンズ）が挙げられる。本明細書の眼科用レンズは眼内レンズ（いわゆるＩＯＬ）を含んでも構わない一方で、眼科用レンズから眼内レンズを除いても構わない。本発明の一態様においては、眼鏡レンズを例示する。

[0032] 眼鏡レンズは、物体側の面と眼球側の面とを有する。「物体側の面」は、眼鏡レンズを備えた眼鏡が装用者に装用された際に物体側に位置する表面であり、いわゆる外面である。「眼球側の面」は、その反対、すなわち眼鏡レンズを備えた眼鏡が装用者に装用された際に眼球側に位置する表面であり、いわゆる内面である。本発明の一態様において、物体側の面は凸面であり、眼球側の面は凹面である。つまり、本発明の一態様における眼鏡レンズは、メニスカスレンズである。

[0033] 「物体側の面の側」とは、例えば眼鏡レンズにおける物体側の面の最表面を含むし、眼鏡レンズの基となるレンズ基材における物体側の面も含むし、そのレンズ基材の上に設けられたハードコート層等における物体側の面も含む。「眼球側の面の側」についても同様である。

[0034] 本発明の一態様に係る眼鏡レンズは、処方度数がゼロ未満である。処方度数がゼロ未満ということは、装用者が眼鏡レンズを装用する前だと該装用者は近視状態である。近視の装用者は、近視進行抑制が必要な場合が多い。そのため、処方度数がゼロ未満である眼鏡レンズを例示する。処方度数がゼロの場合は、後掲の〔変形例〕にて述べる。

[0035] ちなみに、装用者情報の処方データはレンズ袋（コンタクトレンズの場合

は仕様書)に記載されている。つまり、レンズ袋があれば、装用者情報の処方データに基づいた眼科用レンズの物としての特定が可能である。そして、眼科用レンズはレンズ袋または仕様書とセットになっていることが通常である。そのため、レンズ袋または仕様書が付属した眼科用レンズも本発明の技術的思想が反映されているし、レンズ袋と眼科用レンズとのセットについても同様である。

[0036] 処方度数がゼロ未満のレンズはマイナスレンズである。マイナスレンズは負の縦色収差を備える。その一方、本発明の課題を解決するためには、眼鏡レンズに正の縦色収差を備えさせる必要がある。

[0037] 正の縦色収差とは、短波長における集光位置が、長波長における集光位置よりもオーバーフォーカス側寄りになる収差である。短波長における集光位置において、長波長における集光位置よりも度数が強くなる、とも言える。

逆に、負の縦色収差とは、短波長における集光位置が、長波長における集光位置よりもアンダーフォーカス側寄りになる収差である。短波長における集光位置において、長波長における集光位置よりも度数が弱くなる、とも言える。

[0038] この齟齬を解消すべく、本発明の一態様に係る眼鏡レンズでは、物体側の面および眼球側の面の少なくともいずれかに対し、可視光中の短波長側にブレイズ波長が設定された回折構造が設けられる。

[0039] 「可視光」とはその名の通り人間が視認可能な光であり、JIS Z 8120 光学用語に基づき、本明細書においては波長が360～830nmの範囲の光とする。

[0040] 「短波長側」とは、可視光の波長域のうち短波長側のことを指し、上記波長域の半値未満のことを指し、上記の波長域でいうと595nm未満である。短波長側のことを青色光側とも称する。

[0041] 「ブレイズ波長 (blaze wavelength) が設定された回折構造」とは、ブレイズド回折格子 (blazed grating) のことを指す。ブレイズド回折格子は、溝の断面形状が鋸歯状であり、特定の次数

と特定の波長に対して高い回折効率を示す。この特定の波長がブレイズ波長である。

[0042] ブレイズド回折格子は、複数の鋸歯状の部分（好適には該部分のみ）により構成される（例えば後掲の図1（b）（c）の拡大図参照）。本発明の一態様においては、眼球側の面を正面視すると、鋸歯状の部分が、眼鏡レンズのレンズ中心（幾何中心または光学中心）を中心とした複数の同心円環状に配置される。つまり、本発明の一態様においては、眼鏡レンズに回折格子を付加して、最終的に正の縦色収差を眼鏡レンズに備えさせる。

[0043] ブレイズ波長は、光の入射角、および後掲の図1（b）（c）の拡大図に記載したブレイズ角を求めることにより得られる。ブレイズ角 θ は、鋸歯状の部分において緩やかに上り傾斜が開始する部分から段差の終点まで引いた直線に対する傾斜の角度である。入射角についてであるが、眼科用レンズの一般的な度数測定とおなじく、面の巨視的な形状（つまりベースとなる曲面の形状）に対して垂直に入射するものとみなす。

つまり、本発明の一態様に係る眼科用レンズ（ここでは眼鏡レンズ）を通過した光線は、予め設定されたブレイズ波長でブレイズ化されている。

なお、0次光に対する所定波長のブレイズド回折格子からの出射角度をはじめとする、ブレイズ波長を算出するための各種情報は、光線追跡法により得ることができる。

[0044] 上記回折構造を設けることにより、後掲の図2に示すように、以下の現象が生じる。

- ・ブレイズ波長よりも短波長側の光線は、回折構造を設ける前に比べ、オーバーフォーカス側に移動する。つまり、眼鏡レンズを通過し且つ瞳孔を通る光線の束である光束の集光位置はオーバーフォーカス側に移動する。

- ・ブレイズ波長よりも長波長側の光線は、回折構造を設ける前に比べ、アンダーフォーカス側に移動する。つまり、眼鏡レンズを通過し且つ瞳孔を通る光線の束である光束の集光位置はアンダーフォーカス側に移動する。

[0045] そのうえで、本発明の一態様においては、ブレイズ波長が短波長側に設定

される。これにより、まず、ブレード波長の光の回折効率は最大となる。そして、ブレード波長から波長が離れるに従って、回折効率は低下する。回折効率の低下は、光が散乱しやすくなることを意味する。

[0046] 本発明の一態様では、ブレード波長が短波長側に設定されるため、可視光の波長域のうち、ブレード波長よりも短波長側の帯域の方が、ブレード波長よりも長波長側の帯域よりも狭い。その結果、ブレード波長よりも短波長側の帯域では、ブレード波長よりも長波長側の帯域ほどは回折効率は低下しない。これにより、近視進行抑制効果を阻害する赤色光に比べ、近視進行抑制効果をもたらす青色光を集光させやすくなる。

[0047] まとめて、本発明の一態様においては、マイナスレンズが負の縦色収差を備える。その一方、物体側の面および眼球側の面の少なくともいずれかに対し、可視光中の短波長側にブレード波長が設定された回折構造を設ける。それにより、マイナスレンズである眼鏡レンズに対して正の縦色収差を備えさせる。その結果、縦色収差により近視進行抑制効果を発揮させる。

[0048] [本発明の一態様に係る眼鏡レンズの詳細]

以下、本発明の一態様の更なる具体例、好適例および変形例について説明する。

[0049] 本発明の一態様に係る眼鏡レンズの種類には特に限定は無いが、単焦点レンズが挙げられる。本発明の一態様に係る眼鏡レンズは中間距離（1 m～40 cm）ないし近方距離（40 cm～10 cm）の物体距離に対応する単焦点レンズである。もちろん無限遠に対応する単焦点レンズであっても本発明の技術的思想は適用可能であるが、本発明の一態様としては中近距離に対応する単焦点レンズを例示する。

[0050] なお、本発明の一態様に係る眼鏡レンズが、二焦点であるバイフォーカルレンズ、三焦点であるトリフォーカルレンズであっても構わない。また、近方距離に対応する近用部と、近方距離よりも遠い距離に対応する遠用部と、近用部と遠用部とを繋ぐ累進作用を有する中間部とを備える累進屈折力レンズであっても構わない。

- [0051] 上記回折構造を設けるのは、物体側の面の側および眼球側の面の側の少なくともいずれかであればよく、物体側の面の側のみに設けてもよいし、眼球側の面の側のみに設けてもよいし、両面の側に設けてもよい。結局のところ、縦色収差により近視進行抑制効果を発揮されれば、回折構造を設ける面に限定は無い。
- [0052] 物体側の面の側および眼球側の面の側の少なくともいずれかにおいて上記回折構造を設ける際、どの眼鏡レンズのうちのどの部材に設けるかについてであるが、特に限定は無い。つまり、眼鏡レンズの基となるレンズ基材に上記回折構造を設けても構わないし、眼鏡レンズの最表面に配置される層に上記回折構造を設けても構わないし、回折構造が形成されていないレンズ基材と最表面層との間に上記回折構造を設けても構わない。
- [0053] レンズ基材に上記回折構造を設ける場合を仮定する。レンズ基材にハードコート層等を積層した後に眼鏡レンズの最表面が上記回折構造（鋸刃形状）を有するような態様の場合、眼鏡レンズの最表面の該鋸刃形状が、当初の鋸刃形状の段差の高さを維持（ひいてはブレイズ角 θ を維持）するよう、ハードコート層等を積層するのが好ましい。
- [0054] 上段落と同様に、レンズ基材に上記回折構造を設ける場合を仮定する。レンズ基材にハードコート層等を積層した後に眼鏡レンズの最表面が上記回折構造（鋸刃形状）を有さない平坦な形状の場合であっても、レンズ基材の屈折率とその直上のハードコート層等の屈折率との差と、鋸歯形状の段差の高さの積を確保すれば、十分な回折効果が期待できる。ただし、段差の壁面による迷光などを減らすために、眼鏡レンズの最表面の層（例えば反射防止層）の屈折率と空気の屈折率との差に近い屈折率差確保することが好ましい。
- [0055] 回折構造が形成されていないレンズ基材と最表面層との間に上記回折構造を設ける場合も、レンズ基材に上記回折構造を設ける場合を仮定した場合と同様、本発明の技術的思想を適用可能である。
- [0056] 眼鏡レンズの最表面に配置される層に上記回折構造を設ける場合を仮定する。この場合、回折構造が形成されていないレンズ基材に従来通り最表面層

以外の層を形成する。そして、最表面層以外の平坦な層に対し、上記回折構造が設けられた層を形成する。一例としては、上記回折構造が設けられた膜を貼り付ける。

[0057] 上記回折構造を設ける面内の箇所は、近視進行抑制効果の発揮を確実化することを考慮する場合、面全体が好ましい。その一方、眼鏡レンズの周縁には視線が通過しにくいことを考慮すると、眼鏡レンズの周縁以外の部分すなわち眼球の回旋角の限界（例えば60度）の範囲内にも回折構造を設けてもよい。また、特許文献1の図1に記載のように、レンズ中心近傍には上記回折構造を設けない構成を採用してもよい。

[0058] 上記回折構造がもたらす度数 D_D （ゼロ未満 単位：ディオプター [D]）は以下の関係を満足するのが好ましい。以下の式1の関係は処方度数がゼロの場合でも成り立つ。

$$D_D < D \times \nu_D / (\nu_D - \nu) \quad \cdots \text{(式1)}$$

D は処方度数（ゼロ以下、単位：ディオプター [D]）、 ν_D は回折構造がもたらすアッペ数（単位：無次元）、 ν はレンズ基材のアッペ数を表す。

[0059] 「回折構造がもたらすアッペ数 ν_D 」とは、回折構造がもたらす色分散すなわち波長による屈折率の変化を示す指標である。本明細書においては ν_D は以下のように定義される。

C' 線、 e 線、 F' 線の波長を λ_c 、 λ_e 、 λ_f とし、 C' 線、 e 線、 F' 線での回折度を D_c 、 D_e 、 D_f とすると、以下の関係が成り立つ。

$$D_c : D_e : D_f = \lambda_c : \lambda_e : \lambda_f$$

上記関係を、アッペ数の度数の関係式に当てはめると、以下の式2になる。

$$\nu_D = D_e / (D_f - D_c) = \lambda_e / (\lambda_f - \lambda_c) \quad \cdots \text{(式2)}$$

[0060] 上記式1の導出過程について説明する。

回折構造以外がもたらす度を D_R （単位：ディオプター [D]）とすると、以下の式が成り立つ。

$$D = D_R + D_D \quad \cdots \text{(式3)}$$

[0061] 眼鏡レンズにおける屈折がもたらす縦色収差は式3より $D_R \times \nu = (D - D_D) \times \nu$ で表される。

[0062] 眼鏡レンズにおける回折がもたらす縦色収差は $D_D \times \nu_D$ で表される。 D_D と ν_D とともにゼロ未満であるため、回折がもたらす縦色収差はゼロより大きい。

[0063] つまり、眼鏡レンズに正の縦色収差を備えさせるためには以下の式を満たす必要がある。

$$(D - D_D) \times \nu + D_D \times \nu_D > 0 \quad \dots \text{(式4)}$$

[0064] 式4を、 D_D について整理すると、上記式1が得られる。

$$D_D < D \times \nu_D / (\nu_D - \nu) \quad \dots \text{(式1)}$$

[0065] ブレーズ波長は477nmより大きく且つ535nm未満であるのが好ましい。この好適波長域は、可視光中の青色波長、緑色波長、赤色波長の各々の回折効率を考慮して想到された構成である。この好適波長域の導出過程について説明する。

[0066] まず、以下の順番に従い、回折効率を高く設定する。

順位1. 人間がピント調節の基準にと言われるM錐体細胞の感度が最大となる波長534nmの光（緑色波長）

順位2. 網膜に対してオーバーフォーカス側に集光して近視進行抑制効果をもたらす青色光。代表として、S錐体細胞の感度が最大となる420nm（青色波長）を挙げる。

順位3. 網膜に対してアンダーフォーカス側に集光して近視進行抑制効果を阻害する赤色光。代表として、L錐体細胞以外が感度をもたなくなる650nm（赤色波長）を挙げる。

[0067] 回折効率は、近似的には（（対象波長／ブレーズ波長）－1）の2乗に依存して低下する。

[0068] ブレーズ波長をW[nm]とし、順位1を順位2よりも優先する場合、以下の式を満たす必要がある。

$$\{(534\text{nm}/W) - 1\}^2 < \{(420\text{nm}/W) - 1\}^2 \quad \dots \text{(式5)}$$

[0069] 式5をWについて整理すると、 $W > 477 \text{ nm}$ となる。

[0070] そして、順位2を順位3よりも優先する場合、以下の式を満たす必要がある。

$$\{(420 \text{ nm}/W) - 1\}^2 < \{(650 \text{ nm}/W) - 1\}^2 \quad \dots$$

(式6)

[0071] 式6をWについて整理すると、 $W < 535 \text{ nm}$ となる。

[0072] その結果、 $477 \text{ nm} < W < 535 \text{ nm}$ という好適波長域が得られる。

[0073] ブレーズ波長が535 nmに近づくと、青色光および赤色光の回折効率が同値に近づき、ひいては青色でも赤色でもない緑色のコントラストが向上し、視覚的な解像感が向上するという効果がある。

[0074] ブレーズ波長が477 nmに近づくと、逆に、青色光と赤色光との回折効率の差が大きくなる。相対的に見て、青色光の方が、赤色光よりもエネルギー集光度が非常に高くなるため、近視進行抑制効果が更に向上する。

[0075] 回折構造がもたらす度数 D_D は、処方度数Dの15%以上であるのが好ましい。この好適範囲の導出過程について説明する。

[0076] 可視光中の青色波長の代表波長としてF'線(波長488 nm)、緑色波長の代表波長としてe線(波長546 nm)、赤色波長の代表波長としてC'線(波長644 nm)を採用する。

[0077] その場合、回折構造がもたらすアッペ数 ν_D は、 $\{546 / (486 - 644)\} = -3.2$ となる。仮に、レンズ基材のアッペ数として低い部類の値が20であることから、 $\nu_D / (\nu_D - \nu) = (-3.5) / (-3.5 - 20) = 0.15$ を鑑み、処方度数Dの15%以上に設定するのが好ましい。

[0078] 回折構造がもたらす度数 D_D は、処方度数Dの50%未満であるのが好ましい。これにより、回折構造以外がもたらす度数 D_R により本来の眼鏡レンズの処方度数の大半を実現でき、通常的眼鏡レンズと同様、快適な視野が得られる。

[0079] この点、詳しく言うと、眼鏡レンズにおいては、眼球の回旋中心を基準とした球面上に結像点を形成する。その一方、回折構造は、平面上に結像点を

形成する。この差により、眼鏡レンズにおける平均屈折力誤差や非点収差の増加が起こる。そのため、回折構造がもたらす度数 D_D は程々の値とするのが好ましい。その結果、回折構造がもたらす度数 D_D は、処方度数 D の50%未満であるのが好ましい。

[0080] 本発明の一態様に係る眼鏡レンズは、設定された主波長よりも長波長の光を減衰させる波長フィルターを備えるのが好ましい。この構成により、網膜よりもアンダーフォーカス側に集光する光束を減らせる。

[0081] 「設定された主波長」とは、M錐体細胞の感度が最も高くなる534 nmより高い波長（緑色波長）のことを指す。なお、暗所か明所かによりこの感度は変化する。それを鑑み、設定された主波長は、500～585 nmの範囲内の一つの値を採用してもよい。この範囲は、好ましくは515～550 nm、より好ましくは532～575 nmであり、この範囲内の一つの値を採用してもよい。最適な範囲は、M錐体細胞の感度がL錐体細胞の感度を下回る、564～570 nmである。

[0082] 「設定された主波長よりも長波長の光を減衰させる」とは、上記主波長よりも長波長（例えば最適な条件であれば564～570 nmを超える長波長）の光の平均透過率を下げることを意味する。この機能を有すれば波長フィルターの態様に限定は無い。長波長の上限にも特に限定は無いが、780 nmや830 nmを上限としてもよい。

[0083] なお、波長フィルターにより長波長の光を減衰させることは、波長ごとの透過率を示す分光透過率を制御するともいえる。

[0084] 波長フィルターの性能についてであるが、設定された主波長よりも長波長の光を減衰させられれば特に限定は無い。例えば、設定された主波長が534 nmの場合、赤色波長であるところの波長564 nm以上の光を減衰させる機能を有するのが好ましい。なお、減衰の度合いに関しては特に限定は無いが、例えば、波長フィルターを設ける前に比べ、少なくとも波長564 nm以上の光の平均透過率を1/2以下にするのが好ましく、1/3以下にするのがより好ましい。

- [0085] また、彩度が著しく異なることを防ぐべく、 r の等色関数が負であり、かつ b 、 g がピークの半分以下の領域である、 $477 \sim 505 \text{ nm}$ の波長の光を合わせて減衰させてもよい。減衰の度合いの好適例の数値範囲は上段落に記載のものと同様である。
- [0086] 波長フィルターの付加の手法については特に限定は無いが、例えば、加工後のレンズ基材またはハードコート膜等が付与された眼鏡レンズに対し染色処理を行って波長フィルターを形成してもよい。それ以外には、レンズ基材の材料として着色材料を選択し、レンズ基材自体に対して波長フィルターの機能を備えさせてもよい。
- [0087] 眼鏡レンズに対し染色処理を行う場合、物体側の面および眼球側の面の少なくともいずれかに対して染色処理を行ってもよいし、レンズ基材の全体に対して染色処理を行ってもよい。
- [0088] 以下、本発明の一態様における眼鏡レンズの更なる具体的構成について述べる。
- [0089] 眼鏡レンズは、レンズ基材と、レンズ基材の凸面側に形成された波長フィルターと、レンズ基材の凸面側および凹面側のそれぞれに形成されたハードコート膜と、各ハードコート膜のそれぞれの表面に形成された反射防止膜（AR膜）と、を備えて構成されている。なお、眼鏡レンズは、ハードコート膜および反射防止膜に加えて、さらに他の膜が形成されてもよい。
- [0090] （レンズ基材）
- レンズ基材は、例えば、ポリカーボネート、CR-39、チオウレタン、アクリル、アクリル、エピチオ等の熱硬化性樹脂材料によって形成されている。その中でもポリカーボネートが好ましい。なお、レンズ基材を構成する樹脂材料としては、所望の屈折度が得られる他の樹脂材料を選択してもよい。また、樹脂材料ではなく、無機ガラス製のレンズ基材としてもよい。本発明の一態様においては、レンズ基材の眼球側の面に鋸歯状の部分进行、且つ、該鋸歯状の部分を、眼鏡レンズのレンズ中心（幾何中心または光学中心）を中心とした複数の同心円環状に配置する場合を主として例示する。

[0091] (波長フィルター)

波長フィルターは、例えば、染料を用いて形成されている。波長フィルターは、染料であるところの波長フィルター用薬液にレンズ基材を浸漬させる方法により、形成することができる。このような波長フィルターの被覆によって、縦色収差による波長ごとのデフォーカスの光量のコントロールが可能となる。

[0092] (ハードコート膜)

ハードコート膜は、例えば、熱可塑性樹脂またはUV硬化性樹脂を用いて形成されている。ハードコート膜は、ハードコート液にレンズ基材を浸漬させる方法や、スピコート等を使用することにより、形成することができる。このようなハードコート膜の被覆によって、眼鏡レンズの耐久性向上が図れる。

[0093] (反射防止膜)

反射防止膜は、例えば、 ZrO_2 、 MgF_2 、 Al_2O_3 等の反射防止剤を真空蒸着により成膜することにより、形成されている。このような反射防止膜の被覆によって、眼鏡レンズを透した像の視認性向上が図れる。なお、反射防止膜の材料及びその膜厚を制御する事により、分光透過率をコントロールする事も可能であり、反射防止膜に波長フィルターの機能を持たせることも可能である。

[0094] [変形例]

以上に本発明の一態様を説明したが、上記開示内容は、本発明の例示的な一態様を示すものである。すなわち、本発明の技術的範囲は、上述の例示的な一態様に限定されるものではなく、その要旨を逸脱しない範囲で種々変更可能である。

[0095] 処方度数がゼロの場合、装用者が眼鏡レンズを装用する前だと該装用者は近視状態ではない。その一方、この装用者が将来近視になる可能性も否定できない。将来近視になる可能性を低下させるべく、処方度数がゼロである眼鏡レンズにおいても、上記の本発明の一態様を適用可能である。

実施例

[0096] 次に実施例を示し、本発明について具体的に説明する。もちろん本発明は、以下の実施例に限定されるものではない。

[0097] <比較例 1>

処方度数すなわち球面度数 S が -4.0 D、乱視度数がゼロの眼鏡レンズを設計した。つまり、この眼鏡レンズは単焦点マイナスレンズである。また、この眼鏡レンズはレンズ基材そのものであり、ハードコート層等の被膜は形成していない。レンズ基材の屈折率（ e 線基準）は 1.590 である。

[0098] 図 1（a）は、比較例 1 に係るマイナスレンズの概略側断面図である。

[0099] 図 2 は、横軸を波長 $[\text{nm}]$ 、縦軸を度数 $[\text{D}]$ としたときの、比較例 1 および実施例 1、2 における、各波長光による眼鏡レンズの度数の変化を示すプロットである。

[0100] なお、比較例 1 および後掲の実施例 1、2 においては、波長 546 nm の光線が通過した時の眼鏡レンズの度数が -4.0 D となるようにプロットを設定した。

[0101] <実施例 1>

比較例 1 にて使用した単焦点マイナスレンズの眼球側の面のみに対し、レンズ中心に対して同心円環状にブレード回折格子を形成した。ブレード波長は 480 nm に設定した。

[0102] 図 1（b）は、実施例 1 に係るマイナスレンズの概略側断面図であり、吹き出しの中は拡大図である。

[0103] <実施例 2>

比較例 1 にて使用した単焦点マイナスレンズの眼球側の面のみに対し、ブレード回折格子を形成した。ブレード波長は 530 nm に設定した。

[0104] 図 1（c）は、実施例 2 に係るマイナスレンズの概略側断面図であり、吹き出しの中は拡大図である。

[0105] <検討>

図 2 に示すように、実施例 1、2 だと、比較例 1 に比べ、短波長側の光線

(波長が546nmより小さい光線)は、度数がプラスの方向にシフトした。これは、眼鏡レンズを通過し且つ瞳孔を通る短波長側の光束の集光位置がオーバーフォーカス側に移動することを表す。

[0106] 逆に、長波長側の光(すなわち赤色光側の光、波長が546nmより大きい光線)は、度数がマイナスの方向にシフトした。これは、眼鏡レンズを通過し且つ瞳孔を通る長波長側の光束の集光位置がアンダーフォーカス側に移動することを表す。

[0107] 短波長側の光束の集光位置が網膜のより手前(よりオーバーフォーカス側)に移動することにより、近視進行抑制効果をより発揮できる。逆に、長波長側の光束の集光位置が網膜から遠ざかる方向に移動することにより、近視進行抑制効果を阻害する赤色光の影響が大きくなる。

[0108] 実施例1だと、実施例2に比べ、短波長側の光束の集光位置を網膜のより手前に移動させる効果は少ない。同時に、実施例1だと、実施例2に比べ、長波長側の光束の集光位置を網膜から遠ざかる方向に移動させる影響も少ない。

[0109] その一方、実施例1だとブレイズ波長を480nmに設定している。つまり、実施例1では、本発明の一態様にて述べた好適な波長域の下限近傍の値を採用している。そのため、可視光の波長域のうち、ブレイズ波長よりも短波長側の帯域の方が、ブレイズ波長よりも長波長側の帯域よりも狭い。その結果、ブレイズ波長よりも短波長側の帯域だと、ブレイズ波長よりも長波長側の帯域ほどは回折効率は低下しない。

[0110] 実際、青色波長の代表である420nmだと回折効率が95.0%であり、緑色波長の代表である534nmだと回折効率が95.9%である一方、赤色波長の代表である650nmだと回折効率は65.0%である。

[0111] なお、回折効率は、波動光学的計算により求めることができる。

[0112] 実施例2だと、実施例1とは逆に、短波長側の光束の集光位置を網膜のより手前に移動させる効果が大きい。同時に、実施例2だと、実施例1に比べ、長波長側の光束の集光位置を網膜から遠ざかる方向に移動させる影響は大

きい。

[0113] その一方、実施例 1 だとブレイズ波長を 530 nm に設定している。つまり、実施例 2 では、本発明の一態様にて述べた好適な波長域の上限近傍の値を採用している。そのため、実施例 1 に比べ、緑色光の回折効率は非常に高くなる一方、赤色光の回折効率が比較的高くなる。

[0114] 実際、青色波長の代表である 420 nm だと回折効率が 87% であり、緑色波長の代表である 534 nm だと回折効率が 100% である一方、赤色波長の代表である 650 nm だと回折効率は 84% であり比較的高い。

[0115] 実施例 2 でも十分な近視進行抑制効果を発揮するが、本発明の一態様にて述べた波長フィルターを設けるのがよい。波長フィルターを設けることにより、短波長側の光束の集光位置が網膜のより手前に移動させる効果が大きいことを活かしつつ、回折効率が低い赤色光の影響を波長フィルターにて低減または解消できる。そのため、例えばブレイズ波長の好適な波長域である 477 nm よりも大きく且つ 535 nm 未満のうち、ブレイズ波長が 507 nm 以上 535 nm 未満であり、且つ、上記波長フィルターを備える眼鏡レンズも好適である。

[0116] [総括]

以下、本開示の「眼科用レンズ」について総括する。

本開示の一実施例は以下の通りである。

「処方度数がゼロ以下であり、

物体側の面の側および眼球側の面の側の少なくともいずれかに対し、可視光中の短波長側にブレイズ波長が設定された回折構造が設けられ、

正の縦色収差を有する、眼科用レンズ。」