

(19)日本国特許庁(JP)

(12)特許公報(B2)

(11)特許番号
特許第7427077号
(P7427077)

(45)発行日 令和6年2月2日(2024.2.2)

(24)登録日 令和6年1月25日(2024.1.25)

(51)国際特許分類		F I		
G 0 2 B	27/02 (2006.01)	G 0 2 B	27/02	Z
G 0 2 B	5/30 (2006.01)	G 0 2 B	5/30	
G 0 2 B	5/18 (2006.01)	G 0 2 B	5/18	
G 0 2 B	5/00 (2006.01)	G 0 2 B	5/00	C

請求項の数 15 (全40頁)

(21)出願番号	特願2022-512004(P2022-512004)	(73)特許権者	306037311 富士フイルム株式会社 東京都港区西麻布2丁目26番30号
(86)(22)出願日	令和3年3月24日(2021.3.24)	(74)代理人	100152984 弁理士 伊東 秀明
(86)国際出願番号	PCT/JP2021/012123	(74)代理人	100148080 弁理士 三橋 史生
(87)国際公開番号	WO2021/200428	(72)発明者	佐藤 寛 神奈川県南足柄市中沼210番地 富士フイルム株式会社内
(87)国際公開日	令和3年10月7日(2021.10.7)	(72)発明者	齊藤 之人 神奈川県南足柄市中沼210番地 富士フイルム株式会社内
審査請求日	令和4年9月26日(2022.9.26)	審査官	近藤 幸浩
(31)優先権主張番号	特願2020-65969(P2020-65969)		
(32)優先日	令和2年4月1日(2020.4.1)		
(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】 光学素子、画像表示ユニットおよびヘッドマウントディスプレイ

(57)【特許請求の範囲】

【請求項1】

第1の吸収型直線偏光板と、
第1の反射型直線偏光板と、
第1の位相差板と、
入射した光の一部を透過し、一部を反射する部分反射ミラーと、
第2の位相差板と、
第2の反射型直線偏光板と、をこの順で有し、
光が前記第1の位相差板を通過して前記第1の反射型直線偏光板へ入射したときに、反射する円偏光の旋回方向と、光が前記第2の位相差板を通過して前記第2の反射型直線偏光板へ入射したときに、反射する円偏光の旋回方向とが逆であり、
前記第2の反射型直線偏光板の、前記第2の位相差板とは反対側に配置される第2の吸収型直線偏光板を有する光学素子。

10

【請求項2】

第1の吸収型直線偏光板と、
第1の位相差板と、
第1の反射型円偏光板と、
入射した光の一部を透過し、一部を反射する部分反射ミラーと、
第2の反射型円偏光板と、
第2の位相差板と、をこの順で有し、

20

前記第 1 の反射型円偏光板が反射する円偏光の旋回方向と、前記第 2 の反射型円偏光板が反射する円偏光の旋回方向とが逆である光学素子。

【請求項 3】

前記第 2 の位相差板の、前記第 2 の反射型円偏光板とは反対側に配置される第 2 の吸収型直線偏光板を有する請求項 2 に記載の光学素子。

【請求項 4】

前記第 1 の反射型円偏光板および前記第 2 の反射型円偏光板の少なくとも一方が、コレステリック液晶相を固定してなるコレステリック液晶層を有する請求項 2 または 3 に記載の光学素子。

【請求項 5】

前記第 1 の反射型円偏光板および前記第 2 の反射型円偏光板の少なくとも一方は、選択反射中心波長が互いに異なる複数の前記コレステリック液晶層を有する請求項 4 に記載の光学素子。

【請求項 6】

前記コレステリック液晶層がピッチグラジエント構造を有する請求項 4 または 5 に記載の光学素子。

【請求項 7】

前記第 2 の反射型円偏光板と、前記第 2 の位相差板との間に、正のレンズを有する請求項 2 ~ 6 のいずれか一項に記載の光学素子。

【請求項 8】

前記第 2 の反射型直線偏光板と、前記第 2 の吸収型直線偏光板との間に、正のレンズを有する請求項 1 に記載の光学素子。

【請求項 9】

前記正のレンズが、回折素子を用いた回折レンズである請求項 7 または 8 に記載の光学素子。

【請求項 10】

前記回折レンズが液晶化合物を含む液晶層を有する液晶回折素子であり、
前記液晶層は、前記液晶化合物由来の光学軸の向きが面内の少なくとも一方向に沿って連続的に回転しながら変化している液晶配向パターンを有し、
前記液晶層において、前記液晶配向パターンにおける前記液晶化合物由来の光学軸の向きが面内方向に 180° 回転する長さを回折構造の 1 周期とすると、前記回折構造の周期が面内で異なる領域を有する請求項 9 に記載の光学素子。

【請求項 11】

前記液晶層は、走査型電子顕微鏡によって観察される前記液晶層の断面において、液晶相に由来する明部および暗部が、前記液晶層の主面に対して傾斜している領域を有する請求項 10 に記載の光学素子。

【請求項 12】

前記部分反射ミラーの断面が曲線形状を有する請求項 1 ~ 11 のいずれか一項に記載の光学素子。

【請求項 13】

前記第 1 の位相差板および前記第 2 の位相差板が、 / 4 板である請求項 1 ~ 12 のいずれか一項に記載の光学素子。

【請求項 14】

請求項 1 ~ 13 のいずれか一項に記載の光学素子と、
前記光学素子の、前記第 1 の吸収型直線偏光板側に配置される画像表示装置と、を有する画像表示ユニット。

【請求項 15】

請求項 14 に記載の画像表示ユニットを有するヘッドマウントディスプレイ。

【発明の詳細な説明】

【技術分野】

10

20

30

40

50

【 0 0 0 1 】

本発明は、VR (virtual reality) 用ヘッドマウントディスプレイに用いる光学素子、画像表示ユニット、および、ヘッドマウントディスプレイに関する。

【背景技術】

【 0 0 0 2 】

現実世界の外光を通さない、いわゆる没入型の仮想現実 (VR) を体験するために、使用者に装着されて、画像を使用者の眼に導く光学装置がある。この光学装置では、画像表示装置から出射された光を1度反射偏光子などで反射させた後、再びミラーなどを用いて反射させ、使用者の眼に導く構造が採用される。これにより、画像表示装置から使用者の眼までの光路長を稼ぐことができ、光学装置全体を薄型化することができる。

10

【 0 0 0 3 】

例えば、特許文献1には、画像表示装置側から直線偏光子、1/4波長板、ハーフミラー、1/4波長板、反射偏光子をこの順で有し、VR用光学装置として使用することのできるヘッドマウントディスプレイが記載されている。この光学素子では、ハーフミラーと反射偏光子の間で光を往復させて光路長を長くしている。

【先行技術文献】

【特許文献】

【 0 0 0 4 】

【文献】特表2019-526075号公報

【発明の概要】

20

【発明が解決しようとする課題】

【 0 0 0 5 】

上記のように、ハーフミラーと反射偏光子の間で光を往復させて光路長を長くする光学装置では、ハーフミラーで入射した光の約50%を透過し、さらに、ハーフミラーで反射格子で反射された光の約50%を反射する。そのため、画像表示装置が出射した画像の光量に対する光の利用効率が約25%と低くなってしまいう問題があった。

【 0 0 0 6 】

本発明の課題は、光路長を長くしつつ、光の利用効率を向上できる光学素子、画像表示ユニットおよびヘッドマウントディスプレイを提供することにある。

【課題を解決するための手段】

30

【 0 0 0 7 】

この課題を解決するために、本発明は、以下の構成を有する。

[1] 第1の吸収型直線偏光板と、

第1の反射型直線偏光板と、

第1の位相差板と、

入射した光の一部を透過し、一部を反射する部分反射ミラーと、

第2の位相差板と、

第2の反射型直線偏光板と、をこの順で有し、

光が第1の位相差板を通過して第1の反射型直線偏光板へ入射したときに、反射する円偏光の旋回方向と、光が第2の位相差板を通過して第2の反射型直線偏光板へ入射したときに、反射する円偏光の旋回方向とが逆である光学素子。

40

[2] 第2の反射型直線偏光板の、第2の位相差板とは反対側に配置される第2の吸収型直線偏光板を有する [1] に記載の光学素子。

[3] 第1の吸収型直線偏光板と、

第1の位相差板と、

第1の反射型円偏光板と、

入射した光の一部を透過し、一部を反射する部分反射ミラーと、

第2の反射型円偏光板と、

第2の位相差板と、

第2の吸収型直線偏光板と、をこの順で有し、

50

第1の反射型円偏光板が反射する円偏光の旋回方向と、第2の反射型円偏光板が反射する円偏光の旋回方向とが逆である光学素子。

[4] 第2の位相差板の、第2の反射型円偏光板とは反対側に配置される第2の吸収型直線偏光板を有する[3]に記載の光学素子。

[5] 第1の反射型円偏光板および第2の反射型円偏光板の少なくとも一方が、コレステリック液晶相を固定してなるコレステリック液晶層を有する[3]または[4]に記載の光学素子。

[6] 第1の反射型円偏光板および第2の反射型円偏光板の少なくとも一方は、選択反射中心波長が互いに異なる複数のコレステリック液晶層を有する[5]に記載の光学素子。

10

[7] コレステリック液晶層がピッチグラジエント構造を有する[5]または[6]に記載の光学素子。

[8] 第2の反射型円偏光板と、第2の位相差板との間に、正のレンズを有する[3]~[7]のいずれかに記載の光学素子。

[9] 第2の反射型直線偏光板と、第2の吸収型直線偏光板との間に、正のレンズを有する[1]または[2]に記載の光学素子。

[10] 正のレンズが、回折素子を用いた回折レンズである[8]または[9]に記載の光学素子。

[11] 回折レンズが液晶化合物を含む液晶層を有する液晶回折素子であり、液晶層は、液晶化合物由来の光学軸の向きが面内の少なくとも一方向に沿って連続的に回転しながら変化している液晶配向パターンを有し、

20

液晶層において、液晶配向パターンにおける液晶化合物由来の光学軸の向きが面内方向に180°回転する長さを回折構造の1周期とすると、回折構造の周期が面内で異なる領域を有する[10]に記載の光学素子。

[12] 液晶層は、走査型電子顕微鏡によって観察される液晶層の断面において、液晶相に由来する明部および暗部が、液晶層の主面に対して傾斜している領域を有する[11]に記載の光学素子。

[13] 部分反射ミラーの断面が曲線形状を有する[1]~[12]のいずれかに記載の光学素子。

[14] 第1の位相差板および第2の位相差板が、 $\pi/4$ 板である[1]~[13]のいずれかに記載の光学素子。

30

[15] [1]~[14]のいずれかに記載の光学素子と、

光学素子の、第1の吸収型直線偏光板側に配置される画像表示装置と、を有する画像表示ユニット。

[16] [15]に記載の画像表示ユニットを有するヘッドマウントディスプレイ。

【発明の効果】

【0008】

本発明によれば、光路長を長くしつつ、光の利用効率を向上できる光学素子、画像表示ユニットおよびヘッドマウントディスプレイを提供することができる。

【図面の簡単な説明】

40

【0009】

【図1】本発明の第1実施形態の光学素子を有する画像表示ユニットの一例を概念的に表す図である。

【図2】図1の画像表示ユニットの作用を説明するための部分拡大図である。

【図3】従来の画像表示ユニットの作用を説明するための概念図である。

【図4】本発明の第1実施形態の光学素子を有する画像表示ユニットの他の一例を概念的に表す図である。

【図5】本発明の第1実施形態の光学素子を有する画像表示ユニットの他の一例を概念的に表す図である。

【図6】本発明の第2実施形態の光学素子を有する画像表示ユニットの一例を概念的に表

50

す図である。

【図 7】本発明の第 2 実施形態の光学素子を有する画像表示ユニットの他の一例を概念的に表す図である。

【図 8】ピッチグラジエント構造を有するコレステリック液晶層を概念的に表す図である。

【図 9】液晶回折素子の一例を概念的に示す図である。

【図 10】図 9 に示す液晶回折素子の液晶層を概念的に示す図である。

【図 11】図 9 に示す液晶回折素子の液晶層の平面図である。

【図 12】図 9 に示す液晶回折素子の液晶層の作用を示す概念図である。

【図 13】図 9 に示す液晶回折素子の液晶層の作用を示す概念図である。

【図 14】図 9 に示す液晶回折素子の作用を示す概念図である。

10

【図 15】図 9 に示す液晶回折素子の配向膜を露光する露光装置の一例を概念的に示す図である。

【図 16】液晶回折素子の液晶層の別の例の平面図である。

【図 17】図 16 に示す液晶層を形成する配向膜を露光する露光装置の一例を概念的に示す図である。

【発明を実施するための形態】

【0010】

以下、本発明について詳細に説明する。以下に記載する構成要件の説明は、本発明の代表的な実施態様に基づいてなされることがあるが、本発明はそのような実施態様に限定されるものではない。なお、本明細書において「～」を用いて表される数値範囲は、「～」の前後に記載される数値を下限値および上限値として含む範囲を意味する。また、角度について「直交」および「平行」とは、厳密な角度 $\pm 10^\circ$ の範囲を意味するものとし、並びに角度について「同一」および「異なる」は、その差が 5° 未満であるか否かを基準に判断できる。

20

【0011】

本明細書において「遅相軸」とは、面内において屈折率が最大となる方向を意味する。

【0012】

本明細書において逆波長分散性とは長波長になるほど面内レターションの絶対値が大きくなる性質を意味し、具体的には、波長 450 nm で測定した面内レターション値である $Re(450)$ と、波長 550 nm で測定した面内レターション値である $Re(550)$ と、波長 650 nm で測定した面内レターションの値である $Re(650)$ とが $Re(450) > Re(550) > Re(650)$ の関係を満たすことを意味する。

30

【0013】

< 第 1 実施形態の光学素子 >

本発明の第 1 実施形態の光学素子は、

第 1 の吸収型直線偏光板と、

第 1 の反射型直線偏光板と、

第 1 の位相差板と、

入射した光の一部を透過し、一部を反射する部分反射ミラーと、

40

第 2 の位相差板と、

第 2 の反射型直線偏光板と、をこの順で有し、

光が第 1 の位相差板を通過して第 1 の反射型直線偏光板へ入射したときに、反射する円偏光の旋回方向と、光が第 2 の位相差板を通過して第 2 の反射型直線偏光板へ入射したときに、反射する円偏光の旋回方向とが逆である光学素子である。

【0014】

図 1 は、本発明の第 1 実施形態の光学素子を有する画像表示ユニットを概念的に表す図である。図 2 は、図 1 に示す画像表示ユニットの一部（破線で囲む部位）を拡大する図であり、画像表示ユニットの作用を説明するための図である。

【0015】

50

図 1 および図 2 に示す画像表示ユニット 5 0 は、第 1 の吸収型直線偏光板 1 2、第 1 の反射型直線偏光板 1 4、第 1 の位相差板 1 6、部分反射ミラー 1 8、第 2 の位相差板 2 0、第 2 の反射型直線偏光板 2 2、および、第 2 の吸収型直線偏光板 2 4 をこの順で有する光学素子 1 0 a と、光学素子 1 0 a の第 1 の吸収型直線偏光板 1 2 側に配置される画像表示装置 5 2 とを有する。

【 0 0 1 6 】

画像表示ユニット 5 0 において、画像表示装置 5 2 が光（画像）を出射すると、光は、第 1 の吸収型直線偏光板 1 2、第 1 の反射型直線偏光板 1 4、第 1 の位相差板 1 6、部分反射ミラー 1 8、および、第 2 の位相差板 2 0 を通過して、第 2 の反射型直線偏光板 2 2 で反射され、第 2 の位相差板 2 0 を通過して部分反射ミラー 1 8 で反射されたうえで、第 2 の位相差板 2 0、第 2 の反射型直線偏光板 2 2、および、第 2 の吸収型直線偏光板 2 4 を通過して使用者 U に向けて出射される。この際、第 2 の反射型直線偏光板 2 2 と部分反射ミラー 1 8 との間で光が往復することで、限られた空間の中で光路長を稼ぐことができ、光学素子および画像表示ユニットの小型化に寄与している。

10

【 0 0 1 7 】

ここで、従来の画像表示ユニットの作用を図 3 を用いて説明する。図 3 において、各部材の通過した後の光の偏光状態および光量を各部材の近傍に示している。光の偏光状態が直線偏光の場合は、上下方向の矢印または左右方向の矢印で示し、円偏光の場合は、円形の矢印で示している。また、上下方向の矢印が表す直線偏光と左右方向の矢印が表す直線偏光とは、互いに直交する直線偏光である。また、右円偏光は時計回りの矢印で示し、左円偏光は反時計回りの矢印で示している。

20

【 0 0 1 8 】

図 3 に示す、従来の画像表示ユニットにおいて、画像表示装置 5 2 が光（画像）を出射すると、光は、第 1 の吸収型直線偏光板 1 2 を通過して、直線偏光に変換される。第 1 の吸収型直線偏光板 1 2 通過後の光量を 1 0 0 % として以下の説明を行う。また、第 1 の吸収型直線偏光板 1 2 は図中左右方向の矢印で示す直線偏光を透過するものとして説明を行う。

【 0 0 1 9 】

第 1 の吸収型直線偏光板 1 2 を透過した直線偏光は、第 1 の位相差板 1 6 によって偏光状態が円偏光又は楕円偏光に変化する。図 3 の例では、第 1 の位相差板 1 6 は $\lambda/4$ 板とし、直線偏光が円偏光に変換されるものとして説明を行う。また、図 3 の例では、第 1 の位相差板 1 6 は、左右方向の矢印で示す直線偏光を右円偏光に、右円偏光を左右方向の矢印で示す直線偏光に変換するものとして説明を行う。第 1 の位相差板 1 6 通過後の光量は 1 0 0 % である。

30

【 0 0 2 0 】

第 1 の位相差板 1 6 を通過した光は、部分反射ミラー 1 8 によって一部が反射され、一部が透過する。図 3 の例では、入射した光の 5 0 % を反射し、5 0 % を透過するものとして説明を行う。部分反射ミラー 1 8 で反射された光は、反射された際に左円偏光に変わるため、第 1 の位相差板 1 6 を通過すると、上下方向の矢印で示す直線偏光となり、第 1 の吸収型直線偏光板 1 2 に入射する。第 1 の吸収型直線偏光板 1 2 は、左右方向の矢印で示す直線偏光を透過するものであるため、上下方向の矢印で示す直線偏光は吸収される。

40

【 0 0 2 1 】

一方、部分反射ミラー 1 8 を透過した右円偏光は、光量が 5 0 % となり、第 2 の位相差板 2 0 に入射する。第 2 の位相差板 2 0 は、円偏光を直線偏光に変換する。図 3 の例では、第 2 の位相差板 2 0 は $\lambda/4$ 板とし、円偏光が直線偏光に、直線偏光が円偏光に変換されるものとして説明を行う。また、図 3 の例では、第 2 の位相差板 2 0 は、右円偏光を左右方向の矢印で示す直線偏光に変換するものとして説明を行う。

【 0 0 2 2 】

第 2 の位相差板 2 0 を通過した直線偏光は、第 2 の反射型直線偏光板 2 2 で反射される。すなわち、第 2 の反射型直線偏光板 2 2 は、左右方向の矢印で示す直線偏光を反射し、

50

上下方向の矢印で示す直線偏光を透過するものとする。

第2の反射型直線偏光板22で反射された直線偏光は、第2の位相差板20に入射し、右円偏光に変換される。

【0023】

第2の位相差板20を通過した右円偏光は、部分反射ミラー18によって一部が反射され、一部が透過する。部分反射ミラー18を透過した25%の光は、第1の位相差板16を通過すると、左右方向の矢印で示す直線偏光となり、第1の吸収型直線偏光板12に入射する。第1の吸収型直線偏光板12は、左右方向の矢印で示す直線偏光を透過するものであるため、この直線偏光は第1の吸収型直線偏光板12を透過して画像表示装置52に戻る。

10

【0024】

一方、部分反射ミラー18で反射された右円偏光は、光量が25%となり、また、反射の際に左円偏光に変わり、第2の位相差板20に入射する。第2の位相差板20は、左円偏光を上下方向の矢印で示す直線偏光に変換する。第2の反射型直線偏光板22は、上下方向の矢印で示す直線偏光を透過するものであるため、第2の位相差板20を通過した直線偏光はそのまま透過する。第2の反射型直線偏光板22を透過した直線偏光は、第2の吸収型直線偏光板24に入射する。第2の吸収型直線偏光板24は、左右方向の矢印で示す直線偏光を吸収し、上下方向の矢印で示す直線偏光を透過するものであるため、入射した直線偏光はそのまま透過する。したがって、画像表示ユニットからは、光量25%の直線偏光が出射される。

20

【0025】

このように、従来の画像表示ユニットは、部分反射ミラーで、入射した光の約50%を透過し、さらに、部分反射ミラーで、反射型直線偏光板で反射された光の約50%を反射する。そのため、画像表示装置が出射した画像の光量に対する光の利用効率が約25%と低くなってしまふ。

【0026】

これに対して、本発明の光学素子を有する画像表示ユニットの作用を図2を用いて説明する。

図2に示す、画像表示ユニット50において、画像表示装置52が光(画像)を出射すると、光は、第1の吸収型直線偏光板12を通過して、左右方向の矢印で示す直線偏光に変換される。第1の吸収型直線偏光板12通過後の光量を100%として以下の説明を行う。

30

【0027】

第1の吸収型直線偏光板12を透過した直線偏光は、第1の反射型直線偏光板14に入射する。第1の反射型直線偏光板14は、第1の吸収型直線偏光板と同じ向きの直線偏光、すなわち、左右方向の矢印で示す直線偏光を透過する。

第1の反射型直線偏光板14を透過した直線偏光は、第1の位相差板16によって偏光状態が円偏光又は楕円偏光に変化する。図2の例では、第1の位相差板16は $\lambda/4$ 板とし、直線偏光が円偏光に変換されるものとして説明を行う。また、図2の例では、第1の位相差板16は、左右方向の矢印で示す直線偏光を右円偏光に変換するものとして説明を行う。第1の位相差板16通過後の光量は100%である。

40

【0028】

第1の位相差板16を通過した光は、部分反射ミラー18によって一部が反射され、一部が透過する。図2の例では、入射した光の半分を反射し、半分を透過するものとして説明を行う。部分反射ミラー18を透過した50%の右円偏光は、第2の位相差板20に入射する。第2の位相差板20は、円偏光を直線偏光に変換する。図2の例では、第2の位相差板20は $\lambda/4$ 板とし、円偏光が直線偏光に、直線偏光が円偏光に変換されるものとして説明を行う。また、図2の例では、第2の位相差板20は、右円偏光を左右方向の矢印で示す直線偏光に変換するものとして説明を行う。

【0029】

50

第2の位相差板20を通過した直線偏光は、第2の反射型直線偏光板22で反射される。すなわち、第2の反射型直線偏光板22は、左右方向の矢印で示す直線偏光を反射し、上下方向の矢印で示す直線偏光を透過するものとする。

第2の反射型直線偏光板22で反射された直線偏光は、第2の位相差板20に入射し、右円偏光に変換される。

【0030】

第2の位相差板20を通過した右円偏光は、部分反射ミラー18によって一部が反射され、一部が透過する。部分反射ミラー18を透過した25%の右円偏光は、第1の位相差板16を通過すると、左右方向の矢印で示す直線偏光となり、第1の反射型直線偏光板14に入射する。第1の反射型直線偏光板14は、左右方向の矢印で示す直線偏光を透過するものであるため、この直線偏光は第1の反射型直線偏光板14を透過して第1の吸収型直線偏光板12に入射する。第1の吸収型直線偏光板12は、左右方向の矢印で示す直線偏光を透過するものであるため、この直線偏光は第1の吸収型直線偏光板12を透過して画像表示装置52に戻る。

10

【0031】

一方、部分反射ミラー18で反射された右円偏光は、光量が25%となり、また、反射の際に左円偏光に変わり、第2の位相差板20に入射する。第2の位相差板20は、左円偏光を上下方向の矢印で示す直線偏光に変換する。第2の反射型直線偏光板22は、上下方向の矢印で示す直線偏光を透過するものであるため、第2の位相差板20を通過した直線偏光はそのまま透過する。第2の反射型直線偏光板22を透過した直線偏光は、第2の吸収型直線偏光板24に入射する。第2の吸収型直線偏光板24は、左右方向の矢印で示す直線偏光を吸収し、上下方向の矢印で示す直線偏光を透過するものであるため、入射した直線偏光はそのまま透過する。これにより25%の光が出射される。

20

【0032】

ここで、第1の位相差板16を通過した後、部分反射ミラー18によって反射された50%の光は、反射された際に左円偏光に変わるため、第1の位相差板16を通過すると、上下方向の矢印で示す直線偏光となり、第1の反射型直線偏光板14に入射する。第1の反射型直線偏光板14は、左右方向の矢印で示す直線偏光を透過し、上下方向の矢印で示す直線偏光を反射するものであるため、上下方向の矢印で示す直線偏光は反射される。

【0033】

第1の反射型直線偏光板14によって反射された50%の直線偏光は、第1の位相差板16に入射して、左円偏光に変換される。

30

【0034】

第1の位相差板16を通過した左円偏光は、部分反射ミラー18によって25%が反射され、25%が透過する。部分反射ミラー18を透過した25%の左円偏光は、第2の位相差層20に入射して上下方向の矢印で示す直線偏光に変換される。

【0035】

第2の位相差層20を通過した直線偏光は、第2の反射型直線偏光板22に入射する。第2の反射型直線偏光板22は、上下方向の矢印で示す直線偏光を透過するものであるため、第2の位相差板20を通過した直線偏光はそのまま透過する。第2の反射型直線偏光板22を透過した直線偏光は、第2の吸収型直線偏光板24に入射する。第2の吸収型直線偏光板24は、左右方向の矢印で示す直線偏光を吸収し、上下方向の矢印で示す直線偏光を透過するものであるため、入射した直線偏光はそのまま透過する。これによりさらに25%の光が出射される。

40

【0036】

このように、本発明の光学素子を有する画像表示ユニット50では、第2の反射型直線偏光板22と部分反射ミラー18とで反射されて出射される成分25%と、部分反射ミラー18と第1の反射型直線偏光板14とで反射されて出射される成分25%との合計によって、画像表示装置52が出射した画像の光量に対して、約50%の光を出射させることができる。これにより、光の利用効率を向上できる。

50

【 0 0 3 7 】

なお、図 1 および図 2 に示す例では、好ましい態様として、第 2 の反射型直線偏光板 2 2 の、第 2 の位相差板 2 0 とは反対側に配置される第 2 の吸収型直線偏光板 2 4 を有する。実際には、波長や入射角度によって第 2 の位相差板 2 0 によって光に与えられる位相差は理想的な位相差からズレてしまう。そのため、第 2 の位相差板 2 0 によって変換された直線偏光は、完全な直線偏光に変換されないため、第 2 の反射型直線偏光板 2 2 で反射すべき光の一部が透過してしまいゴースト像となってしまうおそれがある。これに対して、第 2 の吸収型直線偏光板 2 4 を有することで、第 2 の反射型直線偏光板 2 2 で反射されずに透過した光を吸収し、ゴースト像が発生することを抑制できる。

【 0 0 3 8 】

ここで、上述のとおり、第 1 の位相差板 1 6 を通過して第 1 の反射型直線偏光板 1 4 へ光が入射した際に反射する円偏光は、左円偏光である。一方、第 2 の位相差板 2 0 を通過して第 2 の反射型直線偏光板 2 2 へ光が入射した際に反射する円偏光は、右円偏光である。すなわち、光が第 1 の位相差板 1 6 を通過して第 1 の反射型直線偏光板 1 4 へ入射したときに、反射する円偏光の旋回方向と、光が第 2 の位相差板 2 0 を通過して第 2 の反射型直線偏光板 2 2 へ入射したときに、反射する円偏光の旋回方向とが逆である。第 1 の位相差板 1 6 と第 1 の反射型直線偏光板 1 4 との組み合わせが反射する円偏光の旋回方向と、第 2 の位相差板 2 0 と第 2 の反射型直線偏光板 2 2 との組み合わせが反射する円偏光の旋回方向とが逆である構成とすることで、上記のように画像表示装置 5 2 が出射した画像の光量に対して、約 5 0 % の光を出射させることができる。

【 0 0 3 9 】

ここで、図 1 に示す例では、好ましい態様として、部分反射ミラー 1 8 の断面が曲線形状を有する。すなわち、部分反射ミラー 1 8 は湾曲している。部分反射ミラー 1 8 を湾曲形状とすることで、画像表示装置 5 2 から出射される光の進行方向を調整することができる。具体的には、図 1 に示す例では、部分反射ミラー 1 8 が、所定の曲率で、画像表示装置 5 2 側に凸に湾曲している。これにより、面方向の位置によって、部分反射ミラー 1 8 で光が反射される際の反射方向を変えることができる。そのため、図 1 に示す例では、画像表示装置 5 2 の略中央から種々の方向に出射される光を、画像表示装置 5 2 の表示面に略垂直な方向に進行させることができる。図示例においては、部分反射ミラー 1 8 が湾曲していることにより、画像表示装置 5 2 から出射される拡散光を略平行光にしている。なお、画像表示装置 5 2 から出射される光の平行性は、画像をどれくらいの距離の位置に仮想映像として表示するかに応じて調整される。例えば、画像表示装置 5 2 から出射される光が平行光である場合には、使用者には、画像が無遠に位置するように見える。

【 0 0 4 0 】

また、図 1 に示す例では、第 1 の反射型直線偏光板 1 4 および第 1 の位相差板 1 6 が、部分反射ミラー 1 8 の湾曲形状と略同じ形状に湾曲されている。これにより、第 1 の反射型直線偏光板 1 4 で反射される光の進行方向を調整することができる。

【 0 0 4 1 】

なお、図 1 に示す例では、第 1 の反射型直線偏光板 1 4、第 1 の位相差板 1 6 および部分反射ミラー 1 8 が湾曲形状であり、他の部材は平板形状としたが、これに限定はされず、図 4 に示す画像表示システム 5 0 b の光学素子 1 0 b のように、第 1 の反射型直線偏光板 1 4、第 1 の位相差板 1 6 および部分反射ミラー 1 8 に加えて、第 2 の位相差板 2 0 b、第 2 の反射型直線偏光板 2 2 b、および、第 2 の吸収型直線偏光板 2 4 b も湾曲形状であってもよい。これにより、第 2 の反射型直線偏光板 2 2 b で反射される光の進行方向を調整することができる。

【 0 0 4 2 】

部分反射ミラー 1 8 の湾曲形状は、画像表示装置 5 2 から出射される光の進行方向、および、画像表示システムから出射される光の所望の出射方向等に応じて適宜設定すればよい。

【 0 0 4 3 】

また、図 1 に示す例では、部分反射ミラー 18 を湾曲形状としたが、これに限定はされない。図 5 に示す例のように、部分反射ミラー 18 を平板形状とし、第 2 の反射型直線偏光板 22 と、第 2 の吸収型直線偏光板 24 との間に、正のレンズ 29 を有する構成としてもよい。

【 0 0 4 4 】

部分反射ミラー 18 等が平板形状の場合には、図 5 に示すように、画像表示装置 52 から、斜め方向に出射された光は、部分反射ミラー 18 等で反射された際にも斜め方向に進行するが、正のレンズ 29 を有することで、光を集光して、画像表示装置 52 から出射される光の進行方向を調整することができる。図示例においては、画像表示装置 52 から斜め方向に出射される光を、画像表示装置 52 の表示面に略垂直な方向に進行させる。言い換えると、図示例においては、正のレンズ 29 は、画像表示装置 52 から出射される拡散光を平行光にしている。

10

【 0 0 4 5 】

また、図 5 に示す例では、画像表示システムは、部分反射ミラー 18 等は平板形状で、正のレンズ 29 を有する構成としたが、これに限定はされない。画像表示システムは、部分反射ミラー 18 等が湾曲形状で、かつ、正のレンズ 29 を有する構成としてもよい。この場合、部分反射ミラー 18 等の湾曲形状および正のレンズ 29 の効果を重畳して、画像表示装置 52 から出射される光の進行方向を調整することができる。

【 0 0 4 6 】

また、各部材間の距離は特に制限はないが、部分反射ミラー 18 と第 1 の反射型直線偏光板 14 との間の距離、および、部分反射ミラー 18 と第 2 の反射型直線偏光板 22 との間の距離が長いほど光路長を長くすることができる。この観点から、部分反射ミラー 18 と第 1 の反射型直線偏光板 14 との間の距離、および、部分反射ミラー 18 と第 2 の反射型直線偏光板 22 との間の距離はそれぞれ、0.1 mm ~ 100 mm が好ましく、1 mm ~ 50 mm がより好ましい。

20

【 0 0 4 7 】

また、部分反射ミラー 18 と第 1 の反射型直線偏光板 14 とで反射される光の光路長と、第 2 の反射型直線偏光板 22 と部分反射ミラー 18 とで反射される光の光路長とを同じにする観点から、部分反射ミラー 18 と第 1 の反射型直線偏光板 14 との間の距離と、第 2 の反射型直線偏光板 22 と部分反射ミラー 18 との間の距離とは同じであることが好ましい。

30

【 0 0 4 8 】

< 第 2 実施形態の光学素子 >

本発明の第 2 実施形態の光学素子は、

第 1 の吸収型直線偏光板と、

第 1 の位相差板と、

第 1 の反射型円偏光板と、

入射した光の一部を透過し、一部を反射する部分反射ミラーと、

第 2 の反射型円偏光板と、

第 2 の位相差板と、をこの順で有し、

第 1 の反射型円偏光板が反射する円偏光の旋回方向と、第 2 の反射型円偏光板が反射する円偏光の旋回方向とが逆である光学素子である。

40

【 0 0 4 9 】

図 6 は、本発明の第 2 実施形態の光学素子を有する画像表示ユニットの一部を拡大する図であり、画像表示ユニットの作用を説明するための図である。

【 0 0 5 0 】

図 6 に示す画像表示ユニット 51 は、第 1 の吸収型直線偏光板 12、第 1 の位相差板 16、第 1 の反射型円偏光板 26、部分反射ミラー 18、第 2 の反射型円偏光板 28、第 2 の位相差板 20、および、第 2 の吸収型直線偏光板 24 をこの順で有する光学素子 11 と、光学素子 11 の第 1 の吸収型直線偏光板 12 側に配置される画像表示装置 52 とを有す

50

る。

【 0 0 5 1 】

画像表示ユニット 5 1 において、画像表示装置 5 2 が光（画像）を出射すると、光は、第 1 の吸収型直線偏光板 1 2、第 1 の位相差板 1 6、第 1 の反射型円偏光板 2 6、および、部分反射ミラー 1 8 を通過して、第 2 の反射型円偏光板 2 8 で反射され、部分反射ミラー 1 8 で反射されたうえで、第 2 の反射型円偏光板 2 8、第 2 の位相差板 2 0、および、第 2 の吸収型直線偏光板 2 4 を通過して使用者 U に向けて出射される。この際、第 2 の反射型円偏光板 2 8 と部分反射ミラー 1 8 との間で光が往復することで、限られた空間の中で光路長を稼ぐことができ、光学素子および画像表示ユニットの小型化に寄与している。

【 0 0 5 2 】

反射型円偏光板は、一方の旋回方向の円偏光を反射し、他方の旋回方向の円偏光を透過するものである。本発明においては、第 1 の反射型円偏光板 2 6 が反射する円偏光の旋回方向と、第 2 の反射型円偏光板 2 8 が反射する円偏光の旋回方向とが逆である。以下の説明では、第 1 の反射型円偏光板 2 6 は、左円偏光を反射し、右円偏光を透過するものとし、第 2 の反射型円偏光板 2 8 は、右円偏光を反射し、左円偏光を透過するものとして説明を行う。

【 0 0 5 3 】

図 6 に示す、画像表示ユニット 5 1 において、画像表示装置 5 2 が光（画像）を出射すると、光は、第 1 の吸収型直線偏光板 1 2 を通過して、左右方向の矢印で示す直線偏光に変換される。第 1 の吸収型直線偏光板 1 2 通過後の光量を 100% として以下の説明を行う。

【 0 0 5 4 】

第 1 の吸収型直線偏光板 1 2 を透過した直線偏光は、第 1 の位相差板 1 6 に入射する。第 1 の位相差板 1 6 に入射した直線偏光は、第 1 の位相差板 1 6 によって偏光状態が円偏光又は楕円偏光に変化する。図 6 の例では、第 1 の位相差板 1 6 は $\lambda/4$ 板とし、直線偏光が円偏光に変換されるものとして説明を行う。また、図 6 の例では、第 1 の位相差板 1 6 は、左右方向の矢印で示す直線偏光を右円偏光に変換するものとして説明を行う。第 1 の位相差板 1 6 通過後の光量は 100% である。

【 0 0 5 5 】

第 1 の位相差板 1 6 を通過した右円偏光は、第 1 の反射型円偏光板 2 6 に入射する。前述のとおり、第 1 の反射型円偏光板 2 6 は、右円偏光を透過するため、光量 100% の右円偏光は、第 1 の反射型円偏光板 2 6 を透過して、部分反射ミラー 1 8 に入射する。

【 0 0 5 6 】

部分反射ミラー 1 8 に入射した光は、部分反射ミラー 1 8 によって一部が反射され、一部が透過する。図 6 の例では、入射した光の半分を反射し、半分を透過するものとして説明を行う。部分反射ミラー 1 8 を透過した 50% の右円偏光は、第 2 の反射型円偏光板 2 8 に入射する。前述のとおり、第 2 の反射型円偏光板 2 8 は、右円偏光を反射するものであるため、第 2 の反射型円偏光板 2 8 に入射した右円偏光は、反射されて部分反射ミラー 1 8 に入射する。

【 0 0 5 7 】

部分反射ミラーに入射した 50% の右円偏光は、一部が反射され、一部が透過する。部分反射ミラー 1 8 を透過した 25% の右円偏光は、第 1 の反射型円偏光板 2 6 に入射するが、第 1 の反射型円偏光板 2 6 は右円偏光を透過するため、そのまま通過し、第 1 の位相差板 1 6 に入射する。第 1 の位相差板 1 6 に入射した光は、左右方向の矢印で示す直線偏光となり、第 1 の吸収型直線偏光板 1 2 に入射する。第 1 の吸収型直線偏光板 1 2 は、左右方向の矢印で示す直線偏光を透過するものであるため、この直線偏光は第 1 の吸収型直線偏光板 1 2 を透過して画像表示装置 5 2 に戻る。

【 0 0 5 8 】

一方、部分反射ミラー 1 8 で反射された右円偏光は、光量が 25% となり、また、反射の際に左円偏光に変わり、第 2 の反射型円偏光板 2 8 に入射する。第 2 の反射型円偏光板

10

20

30

40

50

28は、左円偏光を透過するため、そのまま通過し、第2の位相差板20に入射する。第2の位相差板20は、左円偏光を上下方向の矢印で示す直線偏光に変換する。第2の吸収型直線偏光板24は、上下方向の矢印で示す直線偏光を透過するものであるため、第2の位相差板20を通過した直線偏光はそのまま透過する。これにより25%の光が出射される。

【0059】

ここで、第1の反射型円偏光板26を通過した後、部分反射ミラー18によって反射された50%の光は、反射された際に左円偏光に変わるため、第1の反射型円偏光板26に入射して反射される。第1の反射型円偏光板26に反射された50%の左円偏光は、部分反射ミラー18によって25%が反射され、25%が透過する。部分反射ミラー18を透過した25%の左円偏光は、第2の反射型円偏光板28に入射するが、第2の反射型円偏光板28は、左円偏光を透過するため、そのまま通過し、第2の位相差板20に入射する。第2の位相差層20に入射した左円偏光は、上下方向の矢印で示す直線偏光に変換される。

10

【0060】

第2の位相差層20を通過した直線偏光は、第2の吸収型直線偏光板24に入射する。第2の吸収型直線偏光板24は、左右方向の矢印で示す直線偏光を吸収し、上下方向の矢印で示す直線偏光を透過するものであるため、入射した直線偏光はそのまま透過する。これによりさらに25%の光が出射される。

【0061】

このように、本発明の光学素子を有する画像表示ユニット51では、第2の反射型円偏光板28と部分反射ミラー18とで反射されて出射される成分25%と、部分反射ミラー18と第1の反射型円偏光板26とで反射されて出射される成分25%との合計によって、画像表示装置52が出射した画像の光量に対して、約50%の光を出射させることができる。これにより、光の利用効率を向上できる。

20

【0062】

なお、図6に示す例では、好ましい態様として、第2の位相差板20の、第2の反射型円偏光板28とは反対側に配置される第2の吸収型直線偏光板24を有する。実際には、波長や入射角度によって第2の位相差板20によって光に与えられる位相差は理想的な位相差からズレてしまう。そのため、第2の位相差板20によって変換された直線偏光は、完全な直線偏光に変換されないため、ゴースト像となってしまうおそれがある。これに対して、第2の吸収型直線偏光板24を有することで、より完全に近い直線偏光に変換することができ、ゴースト像が発生することを抑制できる。

30

【0063】

ここで、図6に示す例では、図1に示す例と同様に、好ましい態様として、部分反射ミラー18の断面が曲線形状を有する。すなわち、部分反射ミラー18は湾曲している。部分反射ミラー18を湾曲形状とすることで、画像表示装置52から出射される光の進行方向を調整することができる。具体的には、図6に示す例では、部分反射ミラー18が、所定の曲率で、画像表示装置52側に凸に湾曲している。これにより、面方向の位置によって、部分反射ミラー18で光が反射される際の反射方向を変えることができる。そのため、図6に示す例では、画像表示装置52の略中央から種々の方向に出射される光を、画像表示装置52の表示面に略垂直な方向に進行させることができる。図示例においては、部分反射ミラー18が湾曲形状であることで、画像表示装置52から出射される拡散光を平行光にしている。

40

【0064】

また、図6に示す例では、第1の反射型円偏光板26、第2の反射型円偏光板28、第2の位相差板20および第2の吸収型直線偏光板24が、部分反射ミラー18の湾曲形状と略同じ形状に湾曲されている。これにより、第1の反射型円偏光板26ならびに第2の反射型円偏光板28で反射される光の進行方向を調整することができる。

【0065】

50

また、図 6 に示す例では、部分反射ミラー 18 等を湾曲形状としたが、これに限定はされない。図 7 に示す例のように、部分反射ミラー 18 等の各部材を平板形状とし、第 2 の反射型円偏光板 28 と、第 2 の位相差板 20 との間に、正のレンズ 29 を有する構成としてもよい。

【0066】

部分反射ミラー 18 等が平板形状の場合には、図 7 に示すように、画像表示装置 52 から、斜め方向に出射された光は、部分反射ミラー 18 および反射型円偏光板で反射された際にも斜め方向に進行するが、正のレンズ 29 を有することで、光を集光して、画像表示装置 52 から出射される光の進行方向を調整することができる。図示例においては、画像表示装置 52 から斜め方向に出射される光を、画像表示装置 52 の表示面に略垂直な方向に進行させる。図示例においては、正のレンズ 29 は、画像表示装置 52 から出射される拡散光を平行光にしている。

10

【0067】

また、図 7 に示す例では、画像表示システムは、部分反射ミラー 18 等は平板形状で、正のレンズ 29 を有する構成としたが、これに限定はされない。画像表示システムは、部分反射ミラー 18 等が湾曲形状で、かつ、正のレンズ 29 を有する構成としてもよい。この場合、部分反射ミラー 18 等の湾曲形状および正のレンズ 29 の効果を重畳して、画像表示装置 52 から出射される光の進行方向を調整することができる。

【0068】

また、各部材間の距離は特に制限はないが、部分反射ミラー 18 と第 1 の反射型円偏光板 26 との間の距離、および、部分反射ミラー 18 と第 2 の反射型円偏光板 28 との間の距離が長いほど光路長を長くすることができる。この観点から、部分反射ミラー 18 と第 1 の反射型円偏光板 26 との間の距離、および、部分反射ミラー 18 と第 2 の反射型円偏光板 28 との間の距離はそれぞれ、0.1 mm ~ 100 mm が好ましく、1 mm ~ 50 mm がより好ましい。

20

【0069】

また、部分反射ミラー 18 と第 1 の反射型円偏光板 26 とで反射される光の光路長と、第 2 の反射型円偏光板 28 と部分反射ミラー 18 とで反射される光の光路長とを同じにする観点から、部分反射ミラー 18 と第 1 の反射型円偏光板 26 との間の距離と、第 2 の反射型円偏光板 28 と部分反射ミラー 18 との間の距離とは同じであることが好ましい。

30

【0070】

< 光学素子を構成する部材 >

以下、第 1 実施形態および第 2 実施形態の光学素子、ならびに、画像表示システムが有する部材について説明する。

【0071】

(吸収型直線偏光板)

第 1 および第 2 の吸収型直線偏光板は、一方の偏光方向の直線偏光を透過し、他方の偏光方向の直線偏光を吸収する機能を有する吸収型の直線偏光板であれば特に限定されず、従来公知の吸収型の直線偏光板を利用することができる。

吸収型直線偏光板としては、吸収型偏光子であるヨウ素系偏光子、二色性染料を利用した染料系偏光子、およびポリエーテル系偏光子などが用いられる。ヨウ素系偏光子および染料系偏光子には、塗布型偏光子と延伸型偏光子があり、いずれも適用できる。なかでも、ポリビニルアルコールにヨウ素または二色性染料を吸着させ、延伸して作製される偏光子が好ましい。

40

また、基材上にポリビニルアルコール層を形成した積層フィルムの状態で延伸および染色を施すことで偏光子を得る方法として、特許第 5048120 号公報、特許第 5143918 号公報、特許第 4691205 号公報、特許第 4751481 号公報、および、特許第 4751486 号公報を挙げることができ、これらの偏光子に関する公知の技術も好ましく利用することができる。

吸収型偏光子としては、延伸を行わず、液晶の配向性を利用して二色性色素を配向させ

50

た偏光子は特に好ましい。前記偏光子は、厚みが $0.1 \mu\text{m} \sim 5 \mu\text{m}$ 程度と非常に薄層化できること、特開 2019-194685 号公報に記載されているように折り曲げた時のクラックが入りにくいことや熱変形が小さいこと、特許 6483486 号公報に記載されるように 50% を超えるような透過率の高い偏光板でも耐久性に優れること、また加熱成形性に優れる等、多くの長所を有する。また、支持体を剥離して偏光子を転写して使用することも可能である。

【0072】

(反射型直線偏光板)

第1および第2の反射型直線偏光板は、一方の偏光方向の直線偏光を透過し、他方の偏光方向の直線偏光を反射する機能を有する反射型の直線偏光板であれば特に限定されず、従来公知の反射型の直線偏光板を利用することができる。

10

反射型の直線偏光板としては、特開 2011-053705 に記載されているような、2種のポリマーを含む層を延伸したフィルムや、ワイヤーグリッド偏光子等を用いることができる。輝度の観点から、ポリマーを含む層を延伸したフィルムが好ましい。市販品としては、3M社製の反射型偏光子(商品名APF)や、旭化成株式会社製のワイヤグリッド偏光子(商品名WGF)等を、好適に用いることができる。あるいは、コレステリック液晶膜と /4板を組み合わせた反射型直線偏光板を用いても良い。

【0073】

(位相差板)

第1および第2の位相差板は、入射した偏光の位相を変換する位相差板である。位相差板は、入射する偏光を直線偏光に近くなるように変換するか、円偏光に近くなるように変換するかに応じて、遅相軸の方向を調整して配置される。具体的には、位相差板は、隣接して配置される直線偏光板(吸収型直線偏光板または反射型直線偏光板)の透過軸に対して、遅相軸が $+45^\circ$ または -45° となるように配置すればよい。

20

【0074】

本発明に用いる位相差板は、光学異方性層1層で構成された単層型でもよいし、それぞれ複数の異なる遅相軸を持つ2層以上の光学異方性層の積層によって構成された複層型もよい。複層型の位相差板の例として、WO13/137464号公報、WO2016/158300号公報、特開2014-209219号公報、特開2014-209220号公報、WO14/157079号公報、特開2019-215416号公報、WO2019/160044号公報が挙げられるが、これに限定されない。

30

【0075】

直線偏光を円偏光に変換し、または、円偏光を直線偏光に変換する観点から、位相差板は、 /4板であることが好ましい。

【0076】

/4板には制限はなく、公知の /4機能を有する板が、各種、利用可能である。 /4板の具体例としては、例えば米国特許出願公開2015/0277006号に記載のものなどが挙げられる。

【0077】

例えば、 /4板26が単層構造である態様としては、具体的には、延伸ポリマーフィルム、および、支持体上に /4機能を有する光学異方性層を設けた位相差フィルム等が挙げられる。また、 /4板が複層構造である態様としては、具体的には、 /4板と /2波長板とを積層してなる広帯域 /4板が挙げられる。

40

【0078】

/4板の厚さは特に制限はないが、 $1 \sim 500 \mu\text{m}$ が好ましく、 $1 \sim 50 \mu\text{m}$ がより好ましく、 $1 \sim 5 \mu\text{m}$ がさらに好ましい。

【0079】

本発明に用いられる位相差板は、逆波長分散性を有することが好ましい。逆波長分散性を有することで、位相差板における位相変化が理想的になり、直線偏光と円偏光との間の変換が理想的になる。従って、反射型直線偏光板および / または反射型円偏光板で反射す

50

る際に、効率よく反射することができるため、光の利用効率が向上する。

【0080】

(部分反射ミラー)

部分反射ミラーは、入射光の一部を正反射し、残りの光を透過させる、半透過性の光学部材である。部分反射ミラーは、偏光選択性のない半透過性の反射材であってもよいし、偏光選択性を有する反射材であってもよい。偏光選択性を有する反射材である場合、反射および透過する偏光は直線偏光であってもよいし、円偏光であってもよい。

【0081】

部分反射ミラーとしては、公知の部分反射ミラー（ハーフミラー）が各種利用可能である。

10

【0082】

(反射型円偏光板)

反射型円偏光板は、一方の旋回方向の円偏光を反射し、他方の旋回方向の円偏光を透過する円偏光板である。

【0083】

円偏光の選択反射性を有する反射型円偏光板としては、コレステリック液晶相を固定してなるコレステリック液晶層を有する反射型円偏光板を用いることができる。

コレステリック液晶層は単層でもよく、2層以上の多層構成であってもよい。2層以上を有する場合は、積層塗布、積層貼合、もしくは、積層転写されていてもよく、これらの組み合わせでもよい。

20

【0084】

ここで、周知のとおり、コレステリック液晶層は、波長選択反射性を有する。コレステリック液晶層の選択反射中心波長は、画像表示装置52が出射する光の波長に応じて設定すればよい。また、画像表示装置52が、例えば、RGBの光によりカラー表示する場合には、反射型円偏光板は、R光（赤色光）を選択的に反射するコレステリック液晶層と、G光（緑色光）を選択的に反射するコレステリック液晶層と、B光（青色光）を選択的に反射するコレステリック液晶層との3層のコレステリック液晶層を有する構成とすればよい。すなわち、反射型円偏光板は、画像表示装置52が出射する光の波長に応じて、選択反射中心波長が互いに異なる複数のコレステリック液晶層を有する構成とすることが好ましい。

30

【0085】

また、コレステリック液晶層は、ピッチグラジエント構造を有していてもよい。周知のとおり、コレステリック液晶層の選択反射中心波長は、コレステリック液晶相における螺旋構造のピッチに応じて定まる。ピッチグラジエント構造は、図8に示すように、膜厚方向で螺旋ピッチが変化している構造である。なお、図8は、コレステリック液晶層の断面をSEM（走査型電子顕微鏡）にて観察した際に見られる、明部42と暗部44とが交互に配列された縞模様を模式的に示した図である。この明部42の間隔、および、暗部44の間隔Pは螺旋ピッチに対応している。

【0086】

具体的には、図8において、コレステリック液晶層34は、コレステリック液晶層34の一方の主面側から他方の主面側に向かって、螺旋ピッチが漸次、大きく（または、小さく）なるように変化している。コレステリック液晶層34は、膜厚方向で螺旋ピッチPが変化することで、選択反射波長を広帯域化することができる。従って、画像表示装置52が2以上の異なる波長の光を出射する場合に、複数の波長の光を反射することができる。

40

【0087】

(正のレンズ)

正レンズは、入射した光を集光するレンズである。正レンズとしては従来公知の凸レンズを用いることができる。

また、正レンズとして、回折構造を、光を集光する構成とした回折素子を用いてもよい。この場合の回折素子としては、上述した表面レリーフ型回折素子、体積ホログラム型回

50

折素子、および、偏光回折素子のいずれかを用いることが好ましい。偏光回折素子としては、液晶回折素子が挙げられる。

【0088】

一例として、図9に液晶回折素子を用いた正レンズの概念図を示す。

図示例の液晶回折素子は、支持体30、配向膜32および液晶層（以下、光学異方性層ともいう）36、を有する。

液晶回折素子は、液晶化合物を含む組成物を用いて形成された、液晶化合物由来の光学軸が回転する所定の液晶配向パターンを有する液晶層を有するものである。また、図9に示す例においては、後述する液晶配向パターンの1周期が、面内において異なる領域を有している。

【0089】

後述するが、液晶層36は、円偏光に対して回折する効果を発揮する。ここで、図2に示すように、第2の反射型直線偏光板22を通過した光の偏光状態は直線偏光である。そのため、液晶層36を有する液晶回折素子を正のレンズ29として第2の反射型直線偏光板22の下流側に配置する場合には、第2の反射型直線偏光板22と正のレンズ29との間にλ/4板を配置して、正のレンズ29（液晶層36）に入射する光を円偏光に変換する必要がある。また、画像表示ユニットが直線偏光を出射するものとする場合には、正のレンズ29と第2の吸収型直線偏光板24との間にλ/4板を配置して、正のレンズ29を通過した円偏光を直線偏光に変換する構成としてもよい。

【0090】

また、図示例の液晶回折素子は、支持体30を有しているが、支持体30を設けなくてもよい。

例えば、本発明の光学素子は、上記構成から、支持体30を剥離して、配向膜および液晶層のみで、または、配向膜も剥離して、液晶層のみで、本発明の光学素子を構成してもよい。

【0091】

すなわち、液晶回折素子は、液晶層が、液晶化合物由来の光学軸の向きが一方向に向かって回転する液晶配向パターンを有するものであれば、各種の層構成が利用可能である。

【0092】

<<支持体>>

液晶回折素子において、支持体30は、配向膜32、ならびに、液晶層36を支持するものである。

【0093】

支持体30は、配向膜および液晶層を支持できるものであれば、各種のシート状物（フィルム、板状物）が利用可能である。

支持体30としては、透明支持体が好ましく、ポリメチルメタクリレート等のポリアクリル系樹脂フィルム、セルローストリアセテート等のセルロース系樹脂フィルム、シクロオレフィンポリマー系フィルム（例えば、商品名「アートン」、J S R社製、商品名「ゼオノア」、日本ゼオン社製）、ポリエチレンテレフタレート（PET）、ポリカーボネート、および、ポリ塩化ビニル等を挙げることができる。支持体は、可撓性のフィルムに限らず、ガラス基板等の非可撓性の基板であってもよい。

また、支持体30は、多層のものであってもよく、多層の支持体としては、上述した支持体のいずれかなどを基板として含み、この基板の表面に他の層を設けたもの等が例示される。

【0094】

支持体30の厚さには、制限はなく、液晶回折素子の用途および支持体30の形成材料等に応じて、配向膜および液晶層を保持できる厚さを、適宜、設定すればよい。

支持体30の厚さは、1～1000μmが好ましく、3～250μmがより好ましく、5～150μmがさらに好ましい。

【0095】

10

20

30

40

50

<< 配向膜 >>

液晶回折素子において、支持体 30 の表面には配向膜 32 が形成される。

配向膜 32 は、液晶回折素子の液晶層 36 を形成する際に、液晶化合物 30 を所定の液晶配向パターンに配向するための配向膜である。

【0096】

後述するが、液晶回折素子において、液晶層は、液晶化合物 30 に由来する光学軸 40 A (図 11 参照) の向きが、面内の一方向 (後述する配列軸 D 方向) に沿って連続的に回転しながら変化している液晶配向パターンを有する。従って、液晶回折素子の配向膜は、液晶層が、この液晶配向パターンを形成できるように、形成される。

また、液晶配向パターンにおける、光学軸 40 A の向きが連続的に回転しながら変化する一方向において、光学軸 40 A の向きが 180° 回転する長さを 1 周期 (光学軸の回転周期) とする。

【0097】

以下の説明では、『光学軸 40 A の向きが回転』を単に『光学軸 40 A が回転』とも言う。

【0098】

配向膜は、公知の各種のものが利用可能である。

例えば、ポリマーなどの有機化合物からなるラビング処理膜、無機化合物の斜方蒸着膜、マイクログループを有する膜、ならびに、トリコサン酸、ジオクタデシルメチルアンモニウムクロライドおよびステアリル酸メチルなどの有機化合物のラングミュア・プロジェクト法による LB (Langmuir-Blodgett: ラングミュア・プロジェクト) 膜を累積させた膜、等が例示される。

【0099】

ラビング処理による配向膜は、ポリマー層の表面を紙または布で一定方向に数回こすることにより形成できる。配向膜に使用する材料としては、ポリイミド、ポリビニルアルコール、特開平 9 - 152509 号公報に記載された重合性基を有するポリマー、特開 2005 - 97377 号公報、特開 2005 - 99228 号公報、および、特開 2005 - 128503 号公報記載の配向膜等の形成に用いられる材料が好ましく例示される。

【0100】

液晶回折素子においては、配向膜は、光配向性の素材に偏光または非偏光を照射して配向膜とした、いわゆる光配向膜が好適に利用される。すなわち、液晶回折素子においては、配向膜として、支持体 30 上に、光配向材料を塗布して形成した光配向膜が、好適に利用される。

偏光の照射は、光配向膜に対して、垂直方向または斜め方向から行うことができ、非偏光の照射は、光配向膜に対して、斜め方向から行うことができる。

【0101】

本発明に利用可能な光配向膜に用いられる光配向材料としては、例えば、特開 2006 - 285197 号公報、特開 2007 - 76839 号公報、特開 2007 - 138138 号公報、特開 2007 - 94071 号公報、特開 2007 - 121721 号公報、特開 2007 - 140465 号公報、特開 2007 - 156439 号公報、特開 2007 - 133184 号公報、特開 2009 - 109831 号公報、特許第 3883848 号公報および特許第 4151746 号公報に記載のアゾ化合物、特開 2002 - 229039 号公報に記載の芳香族エステル化合物、特開 2002 - 265541 号公報および特開 2002 - 317013 号公報に記載の光配向性単位を有するマレイミドおよび/またはアルケニル置換ナジミド化合物、特許第 4205195 号および特許第 4205198 号に記載の光架橋性シラン誘導体、特表 2003 - 520878 号公報、特表 2004 - 529220 号公報および特許第 4162850 号に記載の光架橋性ポリイミド、光架橋性ポリアミドおよび光架橋性エステル、ならびに、特開平 9 - 118717 号公報、特表平 10 - 506420 号公報、特表 2003 - 505561 号公報、国際公開第 2010 / 150748 号、特開 2013 - 177561 号公報および特開 2014 - 12823 号公報に

10

20

30

40

50

記載の光二量化可能な化合物、特にシナメート化合物、カルコン化合物およびクマリン化合物等が、好ましい例として例示される。

中でも、アゾ化合物、光架橋性ポリイミド、光架橋性ポリアミド、光架橋性エステル、シナメート化合物、および、カルコン化合物は、好適に利用される。

【0102】

配向膜の厚さには制限はなく、配向膜の形成材料に応じて、必要な配向機能を得られる厚さを、適宜、設定すればよい。

配向膜の厚さは、 $0.01 \sim 5 \mu\text{m}$ が好ましく、 $0.05 \sim 2 \mu\text{m}$ がより好ましい。

【0103】

配向膜の形成方法には、制限はなく、配向膜の形成材料に応じた公知の方法が、各種、利用可能である。一例として、配向膜を支持体30の表面に塗布して乾燥させた後、配向膜をレーザー光によって露光して、配向パターンを形成する方法が例示される。

【0104】

図15に、配向膜を露光して配向パターンを形成する露光装置の一例を概念的に示す。

【0105】

図15に示す露光装置60は、レーザー62を備えた光源64と、レーザー62が出射したレーザー光Mの偏光方向を変える1/2板65と、レーザー62が出射したレーザー光Mを光線MAおよびMBの2つに分離する偏光ビームスプリッター68と、分離された2つの光線MAおよびMBの光路上にそれぞれ配置されたミラー70Aおよび70Bと、1/4板72Aおよび72Bと、を備える。

なお、光源64は直線偏光 P_0 を出射する。1/4板72Aは、直線偏光 P_0 (光線MA)を右円偏光 P_R に、1/4板72Bは直線偏光 P_0 (光線MB)を左円偏光 P_L に、それぞれ変換する。

【0106】

配向パターンを形成される前の配向膜32を有する支持体30が露光部に配置され、2つの光線MAと光線MBとを配向膜32上において交差させて干渉させ、その干渉光を配向膜32に照射して露光する。

この際の干渉により、配向膜32に照射される光の偏光状態が干渉縞状に周期的に変化するものとなる。これにより、配向状態が周期的に変化する配向パターンを有する配向膜(以下、パターン配向膜ともいう)が得られる。

【0107】

露光装置60においては、2つの光線MAおよびMBの交差角 θ を変化させることにより、配向パターンの周期を調節できる。すなわち、露光装置60においては、交差角 θ を調節することにより、液晶化合物40に由来する光学軸40Aが一方向に沿って連続的に回転する配向パターンにおいて、光学軸40Aが回転する1方向における、光学軸40Aが 180° 回転する1周期の長さを調節できる。

【0108】

このような配向状態が周期的に変化した配向パターンを有する配向膜32上に、コレステリック液晶層を形成することにより、後述するように、液晶化合物40に由来する光学軸40Aが一方向に沿って連続的に回転する液晶配向パターンを有する、液晶層36を形成できる。

また、1/4板72Aおよび72Bの光学軸を、それぞれ、 90° 回転することにより、光学軸40Aの回転方向を逆にすることができる。

【0109】

上述のとおり、パターン配向膜は、パターン配向膜の上に形成される液晶層中の液晶化合物の光学軸の向きが面内の少なくとも一方向に沿って連続的に回転しながら変化している液晶配向パターンとなるように、液晶化合物を配向させる配向パターンを有する。パターン配向膜が、液晶化合物を配向させる向きに沿った軸を配向軸とすると、パターン配向膜は、配向軸の向きが面内の少なくとも一方向に沿って連続的に回転しながら変化している配向パターンを有するといえる。パターン配向膜の配向軸は、吸収異方性を測定するこ

10

20

30

40

50

とで検出することができる。例えば、パターン配向膜に直線偏光を回転させながら照射して、パターン配向膜を透過する光の光量を測定した際に、光量が最大または最小となる向きが、面内の一方向に沿って漸次変化して観測される。

【0110】

なお、液晶回折素子において、配向膜は、好ましい態様として設けられるものであり、必須の構成要件ではない。

例えば、支持体30をラビング処理する方法、支持体30をレーザー光等で加工する方法等によって、支持体30に配向パターンを形成することにより、液晶層36等が、液晶化合物40に由来する光学軸40Aの向きが面内の少なくとも一方向に沿って連続的に回転しながら変化している液晶配向パターンを有する構成とすることも、可能である。

10

【0111】

<<液晶層>>

液晶回折素子において、配向膜32の表面には、液晶層36が形成される。

なお、後述する図12および図13においては、図面を簡略化して液晶回折素子の構成を明確に示すために、液晶層36は、配向膜の表面の液晶化合物30（液晶化合物分子）のみを示している。しかしながら、液晶層36は、図10に液晶層36を例示して概念的に示すように、通常液晶化合物を含む組成物を用いて形成された液晶層と同様に、配向された液晶化合物30が積み重ねられた構造を有する。

【0112】

前述のように、液晶回折素子において、液晶層36は、液晶化合物を含む組成物を用いて形成されたものである。

20

液晶層は、面内レタデーションの値を $\pi/2$ に設定した場合に、一般的な $\pi/2$ 板としての機能、すなわち、液晶層に入射した光に含まれる互いに直交する2つの直線偏光成分に半波長すなわち 180° の位相差を与える機能を有している。

ここで、液晶層は、面方向において液晶化合物が回転して配向されているため、入射した円偏光を光学軸の向きが連続的に回転している向きに屈折（回折）させて透過する。その際、入射する円偏光の旋回方向に応じて回折する方向が異なる。

すなわち、液晶層は、円偏光を透過し、かつ、この透過光を回折する。

また、液晶層は、透過した円偏光の旋回方向を逆方向に変化させる。

【0113】

30

液晶層は、液晶層の面内において、液晶化合物に由来する光学軸の向きが、配列軸Dで示す一方向に連続的に回転しながら変化する液晶配向パターンを有する。

なお、液晶化合物40に由来する光学軸40Aとは、液晶化合物40において屈折率が最も高くなる軸、いわゆる遅相軸である。例えば、液晶化合物40が棒状液晶化合物である場合には、光学軸40Aは、棒形状の長軸方向に沿っている。

以下の説明では、『配列軸Dで示す一方向』を単に『配列軸D方向』とも言う。また、以下の説明では、液晶化合物40に由来する光学軸40Aを、『液晶化合物40の光学軸40A』または『光学軸40A』とも言う。

液晶層において、液晶化合物40は、それぞれ、液晶層において、配列軸D方向と、この配列軸D方向と直交するY方向とに平行な面内に二次元的に配向している。なお、図9、図10、後述する図12～図14では、Y方向は、紙面に垂直な方向となる。

40

【0114】

図11に、液晶層36の平面図を概念的に示す。

なお、平面図とは、図9において、液晶回折素子を上方から見た図であり、すなわち、液晶回折素子を厚さ方向（＝各層（膜）の積層方向）から見た図である。言い換えれば、液晶層36を主面と直交する方向から見た図である。

また、図11では、液晶回折素子の構成を明確に示すために、液晶化合物40は配向膜32の表面の液晶化合物40のみを示している。しかしながら、液晶層36は、厚さ方向には、図10に示されるように、この配向膜32の表面の液晶化合物40から、液晶化合物40が積み重ねられた構造を有するのは、前述のとおりである。

50

【 0 1 1 5 】

なお、図 1 1 では、液晶層 3 6 の面内の一部を代表例として説明するが、後述する液晶層も液晶配向パターンの 1 周期の長さ (1 周期) が異なる以外は、基本的に、同様の構成および作用効果を有する。

【 0 1 1 6 】

液晶層 3 6 は、液晶層 3 6 の面内において、液晶化合物 4 0 に由来する光学軸 4 0 A の向きが、配列軸 D 方向に沿って連続的に回転しながら変化する液晶配向パターンを有する。

液晶化合物 4 0 の光学軸 4 0 A の向きが配列軸 D 方向 (所定の一方向) に連続的に回転しながら変化しているとは、具体的には、配列軸 D 方向に沿って配列されている液晶化合物 4 0 の光学軸 4 0 A と、配列軸 D 方向とが成す角度が、配列軸 D 方向の位置によって異なっており、配列軸 D 方向に沿って、光学軸 4 0 A と配列軸 D 方向とが成す角度が から + 1 8 0 ° あるいは - 1 8 0 ° まで、順次、変化していることを意味する。

10

なお、配列軸 D 方向に互いに隣接する液晶化合物 4 0 の光学軸 4 0 A の角度の差は、4 5 ° 以下であるのが好ましく、1 5 ° 以下であるのがより好ましく、より小さい角度であるのがさらに好ましい。

【 0 1 1 7 】

一方、液晶層 3 6 を形成する液晶化合物 4 0 は、配列軸 D 方向と直交する Y 方向、すなわち光学軸 4 0 A が連続的に回転する一方向と直交する Y 方向では、光学軸 4 0 A の向きが等しい液晶化合物 4 0 が等間隔で配列されている。

言い換えれば、液晶層 3 6 を形成する液晶化合物 4 0 において、Y 方向に配列される液晶化合物 4 0 同士では、光学軸 4 0 A の向きと配列軸 D 方向とが成す角度が等しい。

20

【 0 1 1 8 】

液晶回折素子においては、このような液晶化合物 4 0 の液晶配向パターンにおいて、面内で光学軸 4 0 A の向きが連続的に回転して変化する配列軸 D 方向において、液晶化合物 4 0 の光学軸 4 0 A が 1 8 0 ° 回転する長さ (距離) を、液晶配向パターンにおける 1 周期の長さ とする。言い換えれば、液晶配向パターンにおける 1 周期の長さは、液晶化合物 4 0 の光学軸 4 0 A と配列軸 D 方向とのなす角度が から + 1 8 0 ° となるまでの距離により定義される。

すなわち、配列軸 D 方向に対する角度が等しい 2 つの液晶化合物 4 0 の、配列軸 D 方向の中心間の距離を、1 周期の長さ とする。具体的には、図 1 1 に示すように、配列軸 D 方向と光学軸 4 0 A の方向とが一致する 2 つの液晶化合物 4 0 の、配列軸 D 方向の中心間の距離を、1 周期の長さ とする。以下の説明では、この 1 周期の長さ を『 1 周期 』とも言う。

30

液晶回折素子において、液晶層の液晶配向パターンは、この 1 周期 を、配列軸 D 方向すなわち光学軸 4 0 A の向きが連続的に回転して変化する一方向に繰り返す。

【 0 1 1 9 】

前述のように液晶層において、Y 方向に配列される液晶化合物は、光学軸 4 0 A と配列軸 D 方向 (液晶化合物 4 0 の光学軸の向きが回転する 1 方向) とが成す角度が等しい。この光学軸 4 0 A と配列軸 D 方向とが成す角度が等しい液晶化合物 4 0 が、Y 方向に配置された領域を、領域 R とする。

40

この場合に、それぞれの領域 R における面内レタレーション (R e) の値は、半波長すなわち / 2 であるのが好ましい。これらの面内レタレーションは、領域 R の屈折率異方性に伴う屈折率差 n と液晶層の厚さとの積により算出される。ここで、液晶層における領域 R の屈折率異方性に伴う屈折率差とは、領域 R の面内における遅相軸の方向の屈折率と、遅相軸の方向に直交する方向の屈折率との差により定義される屈折率差である。すなわち、領域 R の屈折率異方性に伴う屈折率差 n は、光学軸 4 0 A の方向の液晶化合物 4 0 の屈折率と、領域 R の面内において光学軸 4 0 A に垂直な方向の液晶化合物 4 0 の屈折率との差に等しい。つまり、上記屈折率差 n は、液晶化合物の屈折率差に等しい。

【 0 1 2 0 】

このような液晶層 3 6 に円偏光が入射すると、光は、屈折され、かつ、円偏光の方向が

50

変換される。

この作用を、図 1 2 および図 1 3 に概念的に示す。なお、液晶層 3 6 は、液晶化合物の屈折率差と液晶層 3 6 の厚さとの積の値が $\lambda/2$ であるとする。

図 1 2 に示すように、液晶層 3 6 の液晶化合物の屈折率差と液晶層 3 6 の厚さとの積の値が $\lambda/2$ の場合に、液晶層 3 6 に左円偏光である入射光 L_1 が入射すると、入射光 L_1 は、液晶層 3 6 を通過することにより 180° の位相差が与えられて、透過光 L_2 は、右円偏光に変換される。

また、液晶層 3 6 に形成された液晶配向パターンは、配列軸 D 方向に周期的なパターンであるため、透過光 L_2 は、入射光 L_1 の進行方向とは異なる方向に進行する。このように、左円偏光の入射光 L_1 は、入射方向に対して配列軸 D 方向に一定の角度だけ傾いた、右円偏光の透過光 L_2 に変換される。

10

【 0 1 2 1 】

一方、図 1 3 に示すように、液晶層 3 6 の液晶化合物の屈折率差と液晶層 3 6 の厚さとの積の値が $\lambda/2$ のとき、液晶層 3 6 に右円偏光の入射光 L_4 が入射すると、入射光 L_4 は、液晶層 3 6 を通過することにより、 180° の位相差が与えられて、左円偏光の透過光 L_5 に変換される。

また、液晶層 3 6 に形成された液晶配向パターンは、配列軸 D 方向に周期的なパターンであるため、透過光 L_5 は、入射光 L_4 の進行方向とは異なる方向に進行する。このとき、透過光 L_5 は透過光 L_2 と異なる方向、つまり、入射方向に対して配列軸 D 方向とは逆の方向に進行する。このように、入射光 L_4 は、入射方向に対して配列軸 D 方向とは逆の方向に一定の角度だけ傾いた左円偏光の透過光 L_5 に変換される。

20

【 0 1 2 2 】

液晶層 3 6 は、形成された液晶配向パターンの 1 周期 Λ を変化させることにより、透過光 L_2 および L_5 の屈折の角度を調節できる。具体的には、液晶層 3 6 は、液晶配向パターンの 1 周期 Λ が短いほど、互いに隣接した液晶化合物 4 0 を通過した光同士が強く干渉するため、透過光 L_2 および L_5 を大きく屈折させることができる。

また、配列軸 D 方向に沿って回転する、液晶化合物 4 0 の光学軸 4 0 A の回転方向を逆方向にすることにより、透過光の屈折の方向を、逆方向にできる。すなわち、図 1 2 ~ 図 1 3 に示す例では、配列軸 D 方向に向かう光学軸 4 0 A の回転方向は時計回りであるが、この回転方向を反時計回りにすることで、透過光の屈折の方向を、逆方向にできる。

30

【 0 1 2 3 】

液晶層 3 6 において、複数の領域 R の面内レタレーションの値は、半波長であるのが好ましいが、波長が 550 nm である入射光に対する液晶層 3 6 の複数の領域 R の面内レタレーション $R_e(550) = n_{550} \times d$ が下記式 (1) に規定される範囲内であるのが好ましい。ここで、 n_{550} は、入射光の波長が 550 nm である場合の、領域 R の屈折率異方性に伴う屈折率差であり、 d は、液晶層 3 6 の厚さである。

$$200\text{ nm} \leq n_{550} \times d \leq 350\text{ nm} \cdots (1)$$

すなわち、液晶層 3 6 の複数の領域 R の面内レタレーション $R_e(550) = n_{550} \times d$ が式 (1) を満たしていれば、液晶層 3 6 に入射した光の十分な量の円偏光成分を、配列軸 D 方向に対して順方向または逆方向に傾いた方向に進行する円偏光に変換することができる。面内レタレーション $R_e(550) = n_{550} \times d$ は、 $225\text{ nm} \leq n_{550} \times d \leq 340\text{ nm}$ がより好ましく、 $250\text{ nm} \leq n_{550} \times d \leq 330\text{ nm}$ がさらに好ましい。

40

なお、上記式 (1) は波長 550 nm である入射光に対する範囲であるが、波長が $n\text{ nm}$ である入射光に対する液晶層の複数の領域 R の面内レタレーション $R_e(n) = n \times d$ は下記式 (1 - 2) に規定される範囲内であるのが好ましく、適宜設定することができる。

$$0.7 \times (\lambda/2)\text{ nm} \leq n \times d \leq 1.3 \times (\lambda/2)\text{ nm} \cdots (1-2)$$

【 0 1 2 4 】

また、液晶層 3 6 における、複数の領域 R の面内レタレーションの値は、上記式 (1)

50

の範囲外で用いることもできる。具体的には、 $n_{550} \times d < 200 \text{ nm}$ または $350 \text{ nm} < n_{550} \times d$ とすることで、入射光の進行方向と同一の方向に進行する光と、入射光の進行方向とは異なる方向に進行する光に分けることができる。 $n_{550} \times d$ が 0 nm または 550 nm に近づくと入射光の進行方向と同一の方向に進行する光の成分は増加し、入射光の進行方向とは異なる方向に進行する光の成分は減少する。

【0125】

さらに、波長が 450 nm の入射光に対する液晶層 36 の領域 R のそれぞれの面内レタデーション $Re(450) = n_{450} \times d$ と、波長が 550 nm の入射光に対する液晶層 36 の領域 R のそれぞれの面内レタデーション $Re(550) = n_{550} \times d$ は、下記式 (2) を満たすのが好ましい。ここで、 n_{450} は、入射光の波長が 450 nm である場合の、領域 R の屈折率異方性に伴う屈折率差である。

$$(n_{450} \times d) / (n_{550} \times d) < 1.0 \dots (2)$$

式 (2) は、液晶層 36 に含まれる液晶化合物 40 が逆分散性を有していることを表している。すなわち、式 (2) が満たされることにより、液晶層 36 は、広帯域の波長の入射光に対応できる。

【0126】

液晶層は、棒状液晶化合物または円盤状液晶化合物を含む液晶組成物の硬化層からなり、棒状液晶化合物の光学軸または円盤状液晶化合物の光学軸が、上述のように配向された液晶配向パターンを有している。

支持体 30 上に配向膜を形成し、配向膜上に液晶組成物を塗布、硬化することにより、液晶組成物の硬化層からなる液晶層を得ることができる。なお、いわゆる /2 板として機能するのは液晶層であるが、本発明は、支持体 30 および配向膜を一体的に備えた積層体が /2 板として機能する態様を含む。

また、液晶層を形成するための液晶組成物は、棒状液晶化合物または円盤状液晶化合物を含有し、さらに、レベリング剤、配向制御剤、重合開始剤および配向助剤などのその他の成分を含有していてもよい。

【0127】

また、液晶層は、入射光の波長に対して広帯域であることが望ましく、複屈折率が逆分散となる液晶材料を用いて構成されていることが好ましい。また、液晶組成物に擦れ成分を付与することにより、また、異なる位相差層を積層することにより、入射光の波長に対して液晶層を実質的に広帯域にすることも好ましい。例えば、液晶層において、擦れ方向が異なる 2 層の液晶を積層することによって広帯域のパターン化された /2 板を実現する方法が特開 2014-089476 号公報等に示されており、本発明において好ましく使用することができる。

【0128】

棒状液晶化合物

棒状液晶化合物としては、アゾメチン類、アゾキシ類、シアノビフェニル類、シアノフェニルエステル類、安息香酸エステル類、シクロヘキサンカルボン酸フェニルエステル類、シアノフェニルシクロヘキサン類、シアノ置換フェニルピリミジン類、アルコキシ置換フェニルピリミジン類、フェニルジオキサン類、トラン類およびアルケニルシクロヘキシルベンゾニトリル類が好ましく用いられる。以上のような低分子液晶性分子だけではなく、高分子液晶性分子も用いることができる。

【0129】

棒状液晶化合物を重合によって配向を固定することがより好ましく、重合性棒状液晶化合物としては、Makromol. Chem., 190 巻、2255 頁 (1989 年)、Advanced Materials 5 巻、107 頁 (1993 年)、米国特許 4683327 号明細書、同 5622648 号明細書、同 5770107 号明細書、国際公開第 95/22586 号、同 95/24455 号、同 97/00600 号、同 98/23580 号、同 98/52905 号、特開平 1-272551 号公報、同 6-16616 号公報、同 7-110469 号公報、同 11-80081 号公報、および、特願 2001-6

10

20

30

40

50

4627号公報などに記載の化合物を用いることができる。さらに棒状液晶化合物としては、例えば、特表平11-513019号公報および特開2007-279688号公報に記載のものも好ましく用いることができる。

【0130】

円盤状液晶化合物

円盤状液晶化合物としては、例えば、特開2007-108732号公報および特開2010-244038号公報に記載のものを好ましく用いることができる。

なお、液晶層に円盤状液晶化合物を用いた場合には、液晶層において、液晶化合物40は厚さ方向に立ち上がっており、液晶化合物に由来する光学軸40Aは、円盤面に垂直な軸、いわゆる進相軸として定義される。

10

【0131】

<光学素子の作用>

前述のように、液晶化合物を含む組成物を用いて形成された、光学軸40Aの方向が配列軸D方向に沿って回転する液晶配向パターンを有する液晶層は、円偏光を屈折させるが、液晶配向パターンの1周期が小さいほど、屈折の角度が大きい。

そのため、図9に示すように、面内の異なる領域で液晶配向パターンの1周期が異なるようにパターンを形成した場合には、面内の異なる領域に入射した光は、異なる角度に屈折される。

【0132】

以下、図14の概念図を参照して、液晶回折素子の作用を詳細に説明する。

20

なお、液晶回折素子において、光学的な作用を発現するのは、基本的に、液晶層のみである。そのため、図面を簡略化して、構成および作用効果を明確に示すために、図14では、液晶回折素子は、液晶層36のみを示す。

【0133】

前述のように、液晶回折素子は、液晶層36を有する。

液晶回折素子は、一例として、円偏光を対象として、入射光を所定の方向に屈折して透過させる。なお、図14では、入射光を左円偏光としている。

【0134】

図14に示す部分において、液晶層26Aは、図14中左側から3つの領域A0、A1、A2を有し、各領域で1周期の長さ L が異なっている。具体的には、1周期の長さ L は、領域A0、A1、A2の順に短くなっている。また、領域A1およびA2は、光学軸が液晶層の厚さ方向でねじれて回転した構造（以下、ねじれ構造ともいう）を有している。領域A1の厚さ方向のねじれ角は、領域A2の厚さ方向のねじれ角よりも小さい。なお、領域A0はねじれ構造を有していない領域である（すなわち、ねじれ角が0°である）。

30

なお、ねじれ角は、厚さ方向全体でのねじれ角とする。

液晶層が、ねじれ構造を有する場合には、SEMで観察される断面において、明部および暗部が液晶層の主面に対して傾斜している構成となる。

【0135】

液晶回折素子において、左円偏光LC1が液晶層36の面内の領域A1に入射すると、前述のように、入射方向に対して、配列軸D方向に、すなわち、液晶化合物の光学軸の向きが連続的に回転しながら変化している一方向に所定角度、屈折されて透過する。同様に左円偏光LC2が液晶層36の面内の領域A2に入射すると、入射方向に対して、配列軸D方向に所定角度、屈折されて透過する。同様に左円偏光LC0が液晶層36の面内の領域A0に入射すると、入射方向に対して、配列軸D方向に所定角度、屈折されて透過する。

40

ここで、液晶層36による屈折の角度は、領域A1の液晶配向パターンの1周期 L_{A1} よりも、領域A2の液晶配向パターンの1周期 L_{A2} が短いため、図14に示すように、入射光に対する屈折の角度は、領域A2の透過光の角度 θ_{A2} の方が領域A1の透過光の角度 θ_{A1} よりも大きくなる。また、領域A1の液晶配向パターンの1周期 L_{A1} よりも、領域A0の液晶配向パターンの1周期 L_{A0} が長いため、図14に示すように、入射光に対する屈折の角度は、領域A0の透過光の角度 θ_{A0} の方が領域A1の透過光の角度 θ_{A1} よりも小さく

50

なる。

【0136】

液晶回折素子の中央側から端部側に向かって、領域の液晶配向パターンを短くすることで、液晶回折素子の中央付近に入射した光よりもより端部側に入射した光を大きく屈折させることができ、光を集光する正レンズとして機能させることができる。

【0137】

ここで、面内で液晶化合物の光学軸の向きが連続的に回転しながら変化している液晶配向パターンを有する液晶層による光の回折では、回折角度が大きくなると回折効率が低下するおそれがある。

そのため、液晶層を、液晶化合物の光学軸の向きが面内で180°回転する1周期の長さが異なる領域を有する構成とした場合には、光の入射位置によって回折角度が異なるため、面内の入射位置によって回折光の光量に差が生じるおそれがある。すなわち、面内の入射位置によって、透過、回折した光が暗くなる領域が生じるおそれがある

10

【0138】

これに対して、液晶回折素子は、液晶層が厚さ方向でねじれて回転する領域を有していると、屈折された光の回折効率の低下を抑制することができる。従って、液晶回折素子は、液晶層が厚さ方向でねじれて回転する領域を有しており、厚さ方向のねじれ角の大きさが異なる領域を有することが好ましい。

具体的には、液晶配向パターンの1周期が短い領域ほど厚さ方向のねじれ角を大きくすることで、面内の入射位置によらず、透過した光の光量が均一になるようにすることができる。

20

【0139】

また、液晶回折素子では、厚さ方向のねじれ角の大きさが10°～360°である領域を有することが好ましい。

液晶回折素子において、厚さ方向のねじれ角は、面内の液晶配向パターンの1周期に応じて、適宜、設定すればよい。

【0140】

ここで、図9に示す例では、液晶回折素子は、液晶層を1層有する構成としたが、これに限定はされず、2層以上の液晶層を有していてもよい。

また、液晶回折素子では、液晶層を2層以上有する場合には、厚さ方向でねじれて回転する方向（ねじれ角の向き）が互いに異なる液晶層をさらに有していてもよい。

30

例えば、液晶化合物由来の光学軸の向きが一方向に向かって回転する液晶配向パターンを有し、さらに、光学軸が液晶層の厚さ方向でねじれて回転する領域を有しており、かつ、回転のねじれ角が面内で異なる領域を有する液晶層であって、厚さ方向でねじれて回転する方向が互いに異なる液晶層を積層して用いてもよい。

このように、厚さ方向でねじれて回転する方向が異なる液晶層をさらに有することにより、厚さ方向でねじれ角を有する領域において、様々な偏光状態の入射光に対し、効率的に透過光を屈折することができる。

【0141】

ここで、厚さ方向でねじれて回転する方向が互いに異なる液晶層を有する場合には、厚さ方向のねじれ角が面内の領域ごとに同一であることが好ましい。

40

【0142】

しかしながら、本発明は、これに制限はされず、液晶回折素子において、厚さ方向のねじれ角にも制限はなく、光学素子の用途等に応じて、適宜、設定すればよい。

【0143】

また、厚さ方向でねじれて回転する方向が互いに異なる液晶層は、波長が n nm である入射光に対する液晶層の複数の領域 R の面内レタレーション $Re(\quad) = n \times d$ が同一であることが好ましい。

【0144】

しかしながら、本発明は、これに制限はされず、液晶回折素子において、波長が n nm

50

である入射光に対する液晶層の複数の領域 R の面内レタレーション $R e () = n \times d$ にも制限はなく、光学素子の用途等に応じて、適宜、設定すればよい。

【 0 1 4 5 】

液晶回折素子において、液晶層の配向パターンにおける 1 周期 にも、制限はなく、光学素子の用途等に応じて、適宜、設定すればよい。

【 0 1 4 6 】

(ねじれ構造のねじれ角が異なる領域の形成方法)

液晶層において、ねじれ構造のねじれ角が異なる領域を有する構成は、光の照射によって、戻り異性化、二量化、ならびに、異性化および二量化等を生じて、螺旋誘起力 (H T P : Helical Twisting Power) が変化するカイラル剤を用い、液晶層を形成する液晶組成物の硬化前、または、液晶組成物の硬化時、カイラル剤の H T P を変化させる波長の光を、領域ごとに照射量を変えて照射することで、形成できる。

例えば、光の照射によって H T P が小さくなるカイラル剤を用いることにより、光の照射によってカイラル剤の H T P が低下する。ここで、領域ごとに光の照射量を変えることで、例えば、照射量が多い領域では、H T P が大きく低下し、螺旋の誘起が小さくなるのでねじれ構造のねじれ角が小さくなる。一方、照射量が少ない領域では、H T P の低下が小さいため、ねじれ構造のねじれ角は大きくなる。

【 0 1 4 7 】

領域ごとに光の照射量を変える方法には特に限定はなく、グラデーションマスクを介して光を照射する方法、領域ごとに照射時間を変える方法、あるいは、領域ごとに照射強度を変える方法等が利用可能である。

なお、グラデーションマスクとは、照射する光に対する透過率が面内で変化しているマスクである。

【 0 1 4 8 】

図 9 ~ 図 1 4 に示す光学素子は、液晶層の液晶配向パターンにおける液晶化合物 4 0 の光学軸 4 0 A は、配列軸 D 方向のみに沿って、連続して回転している。

しかしながら、本発明は、これに制限はされず、液晶層において、液晶化合物 4 0 の光学軸 4 0 A が一方向に沿って連続して回転するものであれば、各種の構成が利用可能である。

【 0 1 4 9 】

一例として、図 1 6 の平面図に概念的に示すような、液晶配向パターンが、液晶化合物 4 0 の光学軸の向きが連続的に回転しながら変化する一方向を、内側から外側に向かう同心円状に有する、同心円状のパターンである、液晶層 3 6 が例示される。言い換えれば、図 1 6 に示す液晶層 3 6 の液晶配向パターンは、液晶化合物 4 0 の光学軸の向きが連続的に回転しながら変化する一方向が、液晶層 3 4 の中心から放射状に設けられた液晶配向パターンである。

【 0 1 5 0 】

なお、図 1 6 においても、図 1 2 と同様、配向膜の表面の液晶化合物 4 0 のみを示すが、液晶層 3 6 においては、図 1 0 に示される例と同様に、この配向膜の表面の液晶化合物 4 0 から、液晶化合物 4 0 が積み重ねられた構造を有するのは、前述のとおりである。

【 0 1 5 1 】

図 1 6 に示す液晶層 3 6 において、液晶化合物 4 0 の光学軸 (図示省略) は、液晶化合物 4 0 の長手方向である。

液晶層 3 6 では、液晶化合物 4 0 の光学軸の向きは、液晶層 3 6 の中心から外側に向かう多数の方向、例えば、矢印 A 1 で示す方向、矢印 A 2 で示す方向、矢印 A 3 で示す方向 ... に沿って、連続的に回転しながら変化している。

この液晶配向パターンを有する液晶層 3 6 に入射した円偏光は、液晶化合物 4 0 の光学軸の向きが異なる個々の局所的な領域において、それぞれ、絶対位相が変化する。この際に、それぞれの絶対位相の変化量は、円偏光が入射した液晶化合物 4 0 の光学軸の向きに応じて異なる。

10

20

30

40

50

【 0 1 5 2 】

このような、同心円状の液晶配向パターン、すなわち、放射状に光学軸が連続的に回転して変化する液晶配向パターンを有する液晶層 3 4 は、液晶化合物 4 0 の光学軸の回転方向および入射する円偏光の方向に応じて、入射光を、発散光または集束光として透過できる。

すなわち、液晶層の液晶配向パターンを同心円状とすることにより、液晶回折素子は、例えば、凸レンズまたは凹レンズとして機能を発現する。

【 0 1 5 3 】

ここで、液晶層の液晶配向パターンを同心円状として、光学素子を凸レンズとして作用させる場合には、液晶配向パターンにおいて光学軸が 180° 回転する 1 周期 を、液晶層 3 4 の中心から、光学軸が連続的に回転する 1 方向の外方向に向かって、漸次、短くするのが好ましい。

前述のように、入射方向に対する光の屈折の角度は、液晶配向パターンにおける 1 周期 が短いほど、大きくなる。従って、液晶配向パターンにおける 1 周期 を、液晶層 3 4 の中心から、光学軸が連続的に回転する 1 方向の外方向に向かって、漸次、短くすることにより、液晶層 3 4 による光の集束力を、より向上でき、凸レンズとしての性能を、向上できる。

【 0 1 5 4 】

本発明において、液晶回折素子を凸レンズとして作用させる場合には、下記の式を満たすのが好ましい。

$$(r) = (\lambda / \Delta n) [(r^2 + f^2)^{1/2} - f]$$

ここで、 r は同心円の中心からの距離で式 $r = (x^2 + y^2)^{1/2}$ で表わされる。 x 、 y は面内の位置を表し、 $(x, y) = (0, 0)$ は同心円の中心を表す。 (r) は中心からの距離 r における光学軸の角度、 λ は波長、 f は目的とする焦点距離を表わす。

【 0 1 5 5 】

なお、本発明においては、逆に、同心円状の液晶配向パターンにおける 1 周期 を、液晶層 3 6 の中心から、光学軸が連続的に回転する 1 方向の外方向に向かって、漸次、長くしてもよい。

さらに、例えば透過光に光量分布を設けたい場合など、液晶回折素子の用途によって、光学軸が連続的に回転する 1 方向に向かって、1 周期 を、漸次、変更するのではなく、光学軸が連続的に回転する 1 方向において、部分的に 1 周期 が異なる領域を有する構成も利用可能である。

加えて、液晶回折素子は、1 周期 が全面的に均一な液晶層と、1 周期 が異なる領域を有する液晶層とを有してもよい。この点に関しては、図 9 に示すような、一方向のみに光学軸が連続的に回転する構成でも、同様である。

【 0 1 5 6 】

図 1 7 に、配向膜に、このような同心円状の配向パターンを形成する露光装置の一例を概念的に示す。

露光装置 8 0 は、レーザ 8 2 を備えた光源 8 4 と、レーザ 8 2 からのレーザ光 M を S 偏光 MS と P 偏光 MP とに分割する偏光ビームスプリッター 8 6 と、P 偏光 MP の光路に配置されたミラー 9 0 A および S 偏光 MS の光路に配置されたミラー 9 0 B と、S 偏光 MS の光路に配置されたレンズ 9 2 と、偏光ビームスプリッター 9 4 と、 $\lambda/4$ 板 9 6 とを有する。

【 0 1 5 7 】

偏光ビームスプリッター 8 6 で分割された P 偏光 MP は、ミラー 9 0 A によって反射されて、偏光ビームスプリッター 9 4 に入射する。他方、偏光ビームスプリッター 8 6 で分割された S 偏光 MS は、ミラー 9 0 B によって反射され、レンズ 9 2 によって集光されて偏光ビームスプリッター 9 4 に入射する。

P 偏光 MP および S 偏光 MS は、偏光ビームスプリッター 9 4 で合波されて、 $\lambda/4$ 板 9 6 によって偏光方向に応じた右円偏光および左円偏光となって、支持体 3 0 の上の配向

10

20

30

40

50

膜 3 2 に入射する。

ここで、右円偏光と左円偏光の干渉により、配向膜に照射される光の偏光状態が干渉縞状に周期的に変化するものとなる。同心円の内側から外側に向かうにしたがい、左円偏光と右円偏光の交差角が変化するため、内側から外側に向かってピッチが変化する露光パターンが得られる。これにより、配向膜において、配向状態が周期的に変化する同心円状の配向パターンが得られる。

【 0 1 5 8 】

この露光装置 8 0 において、液晶化合物 4 0 の光学軸が一方向に沿って連続的に 1 8 0 ° 回転する液晶配向パターンの 1 周期 は、レンズ 9 2 の屈折力 (レンズ 9 2 の F ナンバー) レンズ 9 2 の焦点距離、および、レンズ 9 2 と配向膜 2 4 との距離等を変化させることで、制御できる。

10

また、レンズ 9 2 の屈折力 (レンズ 9 2 の F ナンバー) を調節することによって、光学軸が連続的に回転する一方向において、液晶配向パターンの 1 周期の長さ を変更できる。

具体的には、平行光と干渉させる、レンズ 9 2 で広げる光の広がり角によって、光学軸が連続的に回転する一方向において、液晶配向パターンの 1 周期の長さ を変えることができる。より具体的には、レンズ 9 2 の屈折力を弱くすると、平行光に近づくため、液晶配向パターンの 1 周期の長さ は、内側から外側に向かって緩やかに短くなり、F ナンバーは大きくなる。逆に、レンズ 9 2 の屈折力を強めると、液晶配向パターンの 1 周期の長さ は、内側から外側に向かって急に短くなり、F ナンバーは小さくなる。

【 0 1 5 9 】

20

このように、光学軸が連続的に回転する 1 方向において、光学軸が 1 8 0 ° 回転する 1 周期 を変更する構成は、図 9 ~ 1 4 に示す、配列軸 D 方向の一方向のみに液晶化合物 4 0 の光学軸 4 0 A が連続的に回転して変化する構成でも、利用可能である。

例えば、液晶配向パターンの 1 周期 を、配列軸 D 方向に向かって、漸次、短くすることにより、集光するように光を透過する光学素子を得ることができる。

さらに、例えば透過光に光量分布を設けたい場合など、液晶回折素子の用途によって、配列軸 D 方向に向かって、1 周期 を漸次、変更するのではなく、配列軸 D 方向において、部分的に 1 周期 が異なる領域を有する構成も利用可能である。例えば、部分的に 1 周期 を変更する方法として、集光したレーザー光の偏光方向を任意に変えながら、光配向膜をスキャン露光してパターンニングする方法等を利用することができる。

30

【 0 1 6 0 】

(接着層)

本発明の光学素子は、各層の間の密着性担保のために、各層の間に接着層を含んでいてもよい。

本明細書において、「接着」は「粘着」も含む概念で用いられる。

接着層は接着剤または粘着剤から形成されるものであればよい。

接着剤としては硬化方式の観点からホットメルトタイプ、熱硬化タイプ、光硬化タイプ、反応硬化タイプ、硬化の不要な感圧接着タイプがあり、それぞれ素材としてアクリレート系、ウレタン系、ウレタンアクリレート系、エポキシ系、エポキシアクリレート系、ポリオレフィン系、変性オレフィン系、ポリプロピレン系、エチレンビニルアルコール系、塩化ビニル系、クロロプレナム系、シアノアクリレート系、ポリアミド系、ポリイミド系、ポリスチレン系、ポリビニルブチラール系などの化合物を使用することができる。作業性、生産性の観点から、硬化方式として光硬化タイプが好ましく、光学的な透明性、耐熱性の観点から、素材はアクリレート系、ウレタンアクリレート系、エポキシアクリレート系などを使用することが好ましい。

40

【 0 1 6 1 】

粘着剤としては、例えば、アクリル系粘着剤や、ポリビニルアルコール系接着剤が挙げられる。

各層の接着は、高透明性接着剤転写テープ (O C A テープ) を用いて行ってもよい。高透明性接着剤転写テープとしては、画像表示装置用の市販品、特に画像表示装置の画像表

50

示部表面用の市販品を用いればよい。市販品の例としては、パナック株式会社製の粘着シート（PD-S1など）、日栄化工株式会社のMHMシリーズの粘着シートなどが挙げられる。

【0162】

また、各部材は、他の部材に直接積層されて形成されていてもよい。例えば、第1の反射型円偏光板となるコレステリック液晶層を、第1の位相差板を支持体として第1の位相差板の上に形成してもよい。

【0163】

以上、説明した本発明の光学素子を有する画像表示ユニットは、小型のまま光路長を長くすることができるため、ヘッドマウントディスプレイの画像表示ユニットとして好適に用いることができる。

10

【実施例】

【0164】

以下に実施例と比較例を挙げて本発明の特徴をさらに具体的に説明する。以下の実施例に示す材料、使用量、割合、処理内容、処理手順等は、本発明の趣旨を逸脱しない限り適宜変更することができる。したがって、本発明の範囲は以下に示す具体例により限定的に解釈されるべきものではない。

【0165】

<第2の反射型円偏光板の作製>

【0166】

(配向膜の形成)

支持体としてガラス基板を用意した。支持体上に、下記の配向膜形成用塗布液をスピンコートで塗布した。この配向膜形成用塗布液の塗膜が形成された支持体を60のホットプレート上で60秒間乾燥し、配向膜を形成した。

20

【0167】

配向膜形成用塗布液

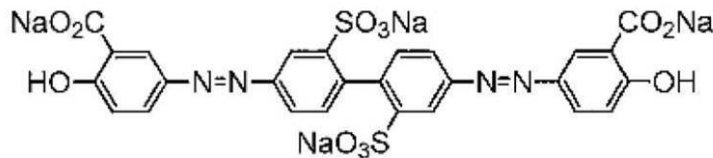
下記光配向用素材	1.00質量部	
水	16.00質量部	
ブトキシエタノール	42.00質量部	
プロピレングリコールモノメチルエーテル	42.00質量部	

30

【0168】

- 光配向用素材 -

【化1】



40

【0169】

(配向膜の露光)

得られた配向膜P-1に偏光紫外線を照射(50mJ/cm²、超高压水銀ランプ使用)することで、配向膜P-1の露光を行った。

【0170】

(コレステリック液晶層の形成)

コレステリック液晶層する液晶組成物として、下記の組成物A-1を調製した。この組成物A-1は、右円偏光を反射するコレステリック液晶層(コレステリック液晶相)を形成する、液晶組成物である。

50

組成物 A - 1

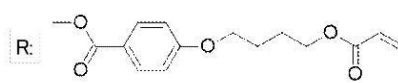
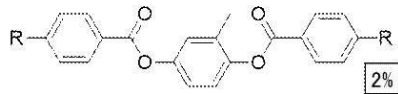
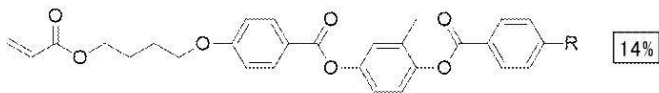
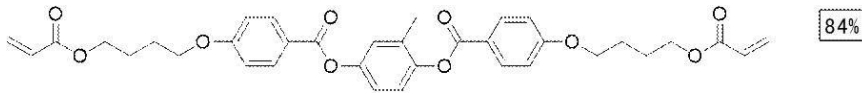
棒状液晶化合物 L - 1	100.00 質量部
重合開始剤 (日本化薬製、KAYACURE DETX - S)	1.00 質量部
キラル剤 Ch - 1	4.0 質量部
レベリング剤 T - 1	0.08 質量部
メチルエチルケトン	142.00 質量部

【0171】

10

棒状液晶化合物 L - 1

【化2】

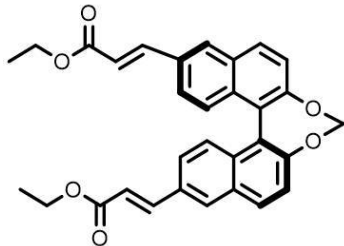


20

【0172】

キラル剤 Ch - 1

【化3】

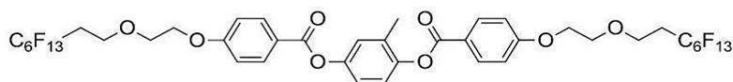


30

【0173】

レベリング剤 T - 1

【化4】



40

【0174】

配向膜 P - 1 上に、上記の組成物 A - 1 を塗布した。組成物 A - 1 の塗膜をホットプレート上で 100 にて 3 分間加熱した。その後、100 にて、窒素雰囲気下で高圧水銀灯を用いて、300 nm のロングパスフィルタ、および 350 nm のショートパスフィルタを介して、キラル剤の HTP を変化させるための 1 回目の露光を行った。1 回目の露光は、波長 315 nm で測定される光の照射量が $9 \text{ mJ} / \text{cm}^2$ となるように行った。

さらに、100 にて、窒素雰囲気下で高圧水銀灯を用いて波長 365 nm の紫外線を $1000 \text{ mJ} / \text{cm}^2$ の照射量で塗膜に照射することにより、液晶組成物を硬化するための 2 回目の露光を行った。これにより、組成物 A - 3 を硬化して液晶化合物の配向を固定化し、コレステリック液晶層を形成した。

50

【 0 1 7 5 】

コレステリック液晶層の断面をSEMで観察した。

その結果、明部と暗部はコレステリック液晶層の主面に対して平行で、厚さ方向の明部と暗部の間隔すなわち面ピッチは、配向膜側から配向膜と離間する側に向かって、厚さ方向に連続的に増大している様子が観察された。すなわち、コレステリック液晶層は、ピッチグラジエント構造を有するものである。また、面ピッチの平均値は0.4 μmであった。なお、このコレステリック液晶層は、可視域に渡って、右円偏光を反射し、左円偏光を透過することを確認した。また、面ピッチは、明部から明部、または、暗部から暗部の線に対する法線方向の間隔を1/2ピッチとして、測定した。ここで言う明部および暗部とは、上述のように、コレステリック液晶層の断面をSEMで観察した際に見られる、コレ

10

このようにして第2の反射型円偏光板を作製した。

【 0 1 7 6 】

< 第1の反射型円偏光板の作製 >

【 0 1 7 7 】

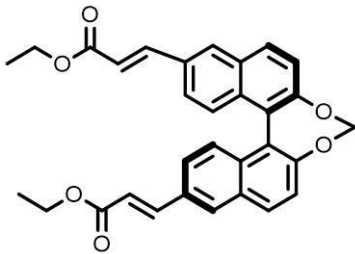
上述した第2の反射型円偏光板の作製方法のうち、キラル剤Ch-1の代わりに、キラル材Ch-2を4.0質量部を用いた以外は、同様にしてコレステリック液晶を形成して、第1の反射型円偏光板を作製した。

【 0 1 7 8 】

キラル剤Ch-2

20

【 化 5 】



【 0 1 7 9 】

30

コレステリック液晶層の断面をSEMで観察した結果、明部と暗部はコレステリック液晶層の主面に対して平行で、厚さ方向の明部と暗部の間隔すなわち面ピッチは、配向膜側から配向膜と離間する側に向かって、厚さ方向に連続的に増大している様子が観察された。すなわち、コレステリック液晶層は、ピッチグラジエント構造を有するものである。なお、面ピッチの平均値は0.4 μmであった。なお、このコレステリック液晶層は、可視域に渡って、左円偏光を反射し、右円偏光を透過することを確認した。

このようにして第1の反射型円偏光板を作製した。

【 0 1 8 0 】

[比較例 1]

< ヘッドマウントディスプレイ評価系の作製 >

40

第1の吸収型直線偏光板、第1の位相差板(/ 4板)、部分反射ミラー、第2の位相差板(/ 4板)、反射型直線偏光板、第2の吸収型直線偏光板を用いて光学素子を作製し、ヘッドマウントディスプレイである画像表示ユニットを作製した(図3参照)。市販のヘッドマウントディスプレイであるOculus社のOculus Rift Sを分解し、その中のディスプレイおよびその表面に貼合されている吸収型直線偏光板を用い、第1の吸収型直線偏光板の吸収軸角度が90°となるよう配置した。部分反射ミラーAとしては、透過率50%、反射率50%となるよう直径5cm、曲率半径10cmのレンズの凸面へスパッタによりアルミ膜を形成した。すなわち、部分反射ミラーAは湾曲形状とした。第2の反射型直線偏光板としては3M社のDBEFを用い、透過軸角度が90°となるよう配置した。第2の反射型直線偏光板の視認側には、第2の吸収型直線偏光板を吸

50

収軸角度が 0° となるよう配置した。また、第1の位相差板および第2の位相差板はそれぞれ、遅相軸が 45° および -45° となるよう配置した。なお、記載の軸角度は、ヘッドマウントディスプレイの水平方向を基準(0°)とし、視認側から画像表示装置を見た際に時計回りの方向を正とした。

【0181】

[実施例1]

比較例1の構成に対して、第1の吸収型直線偏光板と第1の位相差板との間に第1の反射型直線偏光板を配置した(図2参照)。なお、第2の反射型直線偏光板の透過軸は第1の反射型直線偏光板と平行にした。第1の反射型直線偏光板としては3M社のDBEFを用いた。

10

【0182】

[実施例2]

実施例1の構成に対して、第1の反射型直線偏光板を除き、第1の位相差板と部分反射ミラーとの間に第1の反射型円偏光板を配置し、さらに、部分反射ミラーと第2の位相差板との間に第2の反射型円偏光板を配置し、第2の反射型直線偏光板を除いた(図6参照)。

【0183】

[実施例3]

実施例2の構成に対して、部分反射ミラーA(誘電体多層膜ハーフミラーと曲率半径10cmレンズの貼合品)に代えて、部分反射ミラーBを用いた。部分反射ミラーBは、透過率50%、反射率50%となるように平板ガラス基板にスパッタによりアルミ膜を形成した。さらに、第1の反射型円偏光板と部分反射ミラーBとの距離と、部分反射ミラーBと第2の反射型円偏光板との距離を、どちらも5mmと等しくした。さらに、第2の第2の反射型円偏光板と第2の位相差板との間に正のレンズとして、液晶回折素子を挿入した。液晶回折素子は以下のようにして、レンズ特性として焦点距離5cmになるように回折ピッチを調整して作製した。

20

【0184】

<正のレンズ：液晶回折素子の作製>

実施例2の第2の反射型円偏光板の作製と同様にして配向膜を形成した。

【0185】

(配向膜の露光)

図17に示す露光装置を用いて配向膜を露光して、配向パターンを有する配向膜P-2を形成した。

30

露光装置において、レーザとして波長(325nm)のレーザ光を出射するものを用いた。干渉光による露光量を $300\text{mJ}/\text{cm}^2$ とした。なお、図17に示す露光装置を用いることによって、配向パターンの1周期が、外方向に向かって、漸次、短くなるようにした。

【0186】

(第1液晶層の形成)

液晶層を形成する液晶組成物として、下記の組成物B-1を調製した。

40

【0187】

組成物B-1

液晶化合物L-1	100.00質量部
キラル剤Ch-A	0.23質量部
重合開始剤(BASF製、Irgacure(登録商標)907)	3.00質量部
光増感剤(日本化薬製、KAYACURE DETX-S)	1.00質量部
レベリング剤T-1	0.08質量部

50

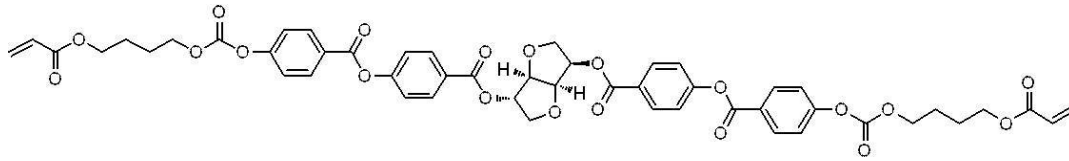
メチルエチルケトン

2000.00質量部

【0188】

キラル剤 Ch - A

【化6】



10

【0189】

第1液晶層は、組成物B-1を配向膜P-2上に多層塗布することにより形成した。先ず配向膜の上に1層目の組成物B-1を塗布、加熱、冷却後に紫外線硬化を行って液晶固定化層を作製した後、2層目以降はその液晶固定化層に重ね塗りして塗布を行い、同様に加熱、冷却後に紫外線硬化を行うことを繰り返した。

【0190】

先ず1層目は、配向膜P-2上に下記の組成物B-1を塗布して、塗膜をホットプレート上で80℃に加熱し、その後、80℃において、窒素雰囲気下で高圧水銀灯を用いて波長365nmの紫外線を300mJ/cm²の照射量で塗膜に照射することにより、液晶化合物の配向を固定化した。

20

【0191】

2層目以降は、この液晶層に重ね塗りして、上と同じ条件で加熱、冷却後に紫外線硬化を行って液晶固定化層を作製した。このようにして、総厚が所望の膜厚になるまで重ね塗りを繰り返し、第1液晶層を形成した。

【0192】

なお、液晶組成物B-1の硬化層の複素屈折率 n は、液晶組成物B-1を別途に用意したリタレーション測定用の配向膜付き支持体上に塗布し、液晶化合物のダイレクタが基材に水平となるよう配向させた後に紫外線照射して固定化して得た液晶固定化層（硬化層）のリタレーション $Re(\lambda)$ および膜厚を測定して求めた。リタレーション $Re(\lambda)$ を膜厚で除算することにより n を算出できる。リタレーション $Re(\lambda)$ はAxometrics社のAxoscanを用いて目的の波長で測定し、膜厚はSEMを用いて測定した。 $Re(\lambda)$ の表記において λ は入射光の波長である。以下において、入射光の波長 λ は550nmとした。

30

【0193】

第1液晶層は、最終的に液晶の $n_{550} \times \text{厚さ} = Re(550)$ が275nmになり、かつ、図16に示すような同心円状の周期的な配向になっていることを偏光顕微鏡で確認した。なお、同心円状のパターンは、中心から外方向に向かって周期が短くなっていた。また、第1液晶層の厚さ方向の捻れ角は、70°（右ねじれ）であった。以下、特に記載が無い場合には、『 $n_{550} \times \text{厚さ}$ 』等の測定は、同様に行った。また、SEMによる断面像において、液晶層の下界面（ガラス基板との界面）に対し、傾斜した明暗線が観察された。明暗線の繰り返しパターンにおいては中心から外側に向かって周期が短くなる様子が観察された。

40

【0194】

(第2液晶層の形成)

液晶層を形成する液晶組成物として、下記の組成物B-2を調製した。

【0195】

組成物B-2

液晶化合物L-1

100.00質量部

キラル剤Ch-B

0.39質量部

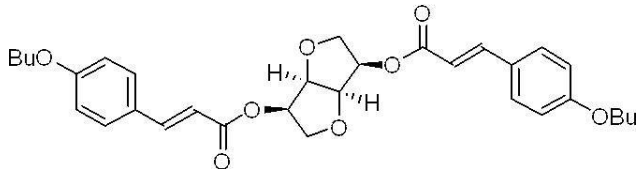
50

重合開始剤 (BASF製、Irgacure (登録商標) 907)	3.00質量部
光増感剤 (日本化薬製、KAYACURE DETX-S)	1.00質量部
レベリング剤 T-1	0.08質量部
メチルエチルケトン	2000.00質量部

【0196】

キラル剤 Ch-B

【化7】



10

【0197】

組成物 B-2 を用いた以外は上記第1液晶層と同様にして、第1液晶層上に第2液晶層を形成し、液晶回折素子を作製した。

【0198】

第2液晶層は、最終的に液晶の $n_{550} \times \text{厚さ} = Re(550)$ が 275 nm になり、かつ、図16に示すような同心円状の周期的な配向になっていることを偏光顕微鏡で確認した。なお、同心円状のパターンは、中心から外方向に向かって周期が短くなっていた。また、第1液晶層の厚さ方向の捻れ角は、70° (左ねじれ) であった。また、SEMによる断面像において、液晶層の下界面 (ガラス基板との界面) に対し、傾斜した明暗線が観察された。第1液晶層と第2液晶層との明暗線の法線からの傾き方向は逆であった。明暗線の繰り返しパターンにおいては中心から外側に向かって周期が短くなる様子が観察された。

20

【0199】

<ヘッドマウントディスプレイの輝度評価>

本発明の光学素子を有する画像表示ユニットにおけるディスプレイを取り外し、評価用光源を配置した。評価用光源としては、レーザーポインタ (波長 532 nm) を用いた。レーザーポインタを用いて、光学素子の第1の吸収型直線偏光板側から光を入射し、出射光の強度をパワーメーターで測定した。比較例との強度比を求めて以下の基準で評価した。

30

A : 強度比が 1.5 以上

B : 強度比が 1.2 以上 1.5 未満

C : 強度比が 1.0 以上 1.2 未満

【0200】

評価の結果、実施例 1 ~ 3 は、いずれも評価 A であった。一方、比較例 1 は評価 C である。すなわち、本発明の実施例は、比較例に比べて、光の利用効率を向上できることがわかる。

40

以上から本発明の効果は明らかである。

【符号の説明】

【0201】

10 a、10 b 光学素子

12 第1の吸収型直線偏光板

14 第1の反射型直線偏光板

16 第1の位相差層

18 部分反射ミラー

20 第2の位相差板

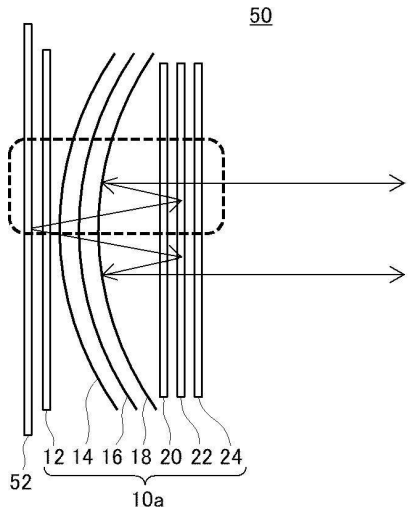
22、22 b 第2の反射型直線偏光板

50

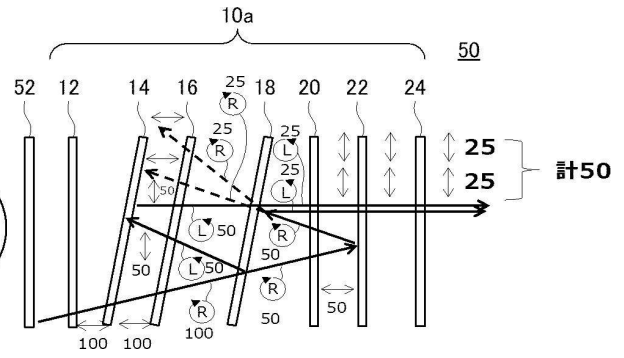
24、24b	第2の吸収型直線偏光板	
26	第1の反射型円偏光板	
28	第2の反射型円偏光板	
29	正のレンズ	
30、31	支持体	
32、33	配向膜	
34	コレステリック液晶層	
36	光学異方性層(液晶層)	
40	液晶化合物	
40A	光学軸	10
42	明部	
44	暗部	
50、50b	画像表示ユニット	
52	画像表示装置	
60、80	露光装置	
62、82	レーザ	
64、84	光源	
65	/2板	
68、86、94	偏光ビームスプリッター	
70A、70B、90A、90B	ミラー	20
72A、72B、96	/4板	
92	レンズ	
D	配列軸	
	1周期	
P	ピッチ	
U	使用者	
M	レーザ光	
MA、MB	光線	
MP	P偏光	
MS	S偏光	30
P ₀	直線偏光	
P _R	右円偏光	
P _L	左円偏光	
	交差角	
R	領域	
L ₁	光	
L ₂	光	
L ₄	光	
L ₅	光	40

【図面】

【図 1】

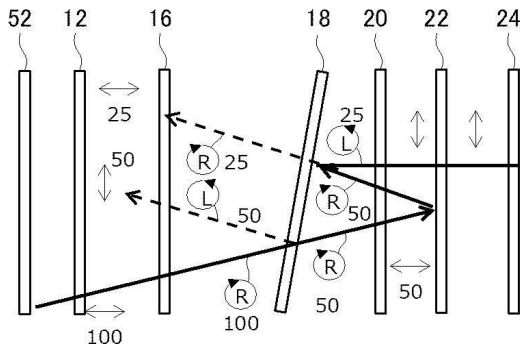


【図 2】

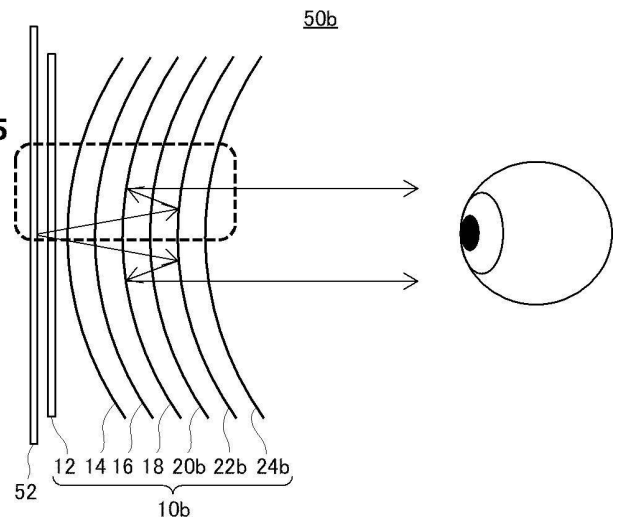


10

【図 3】



【図 4】



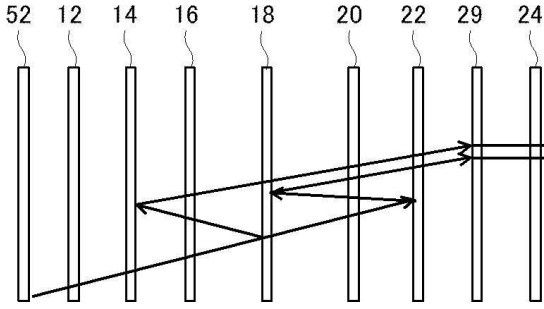
20

30

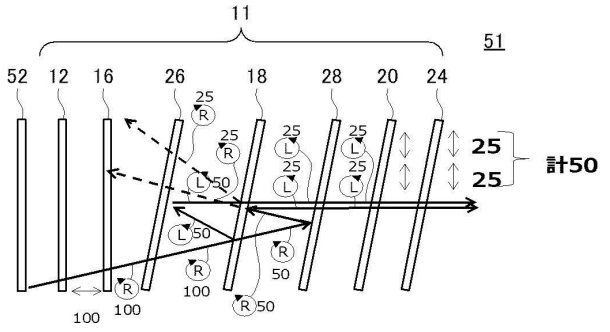
40

50

【図5】

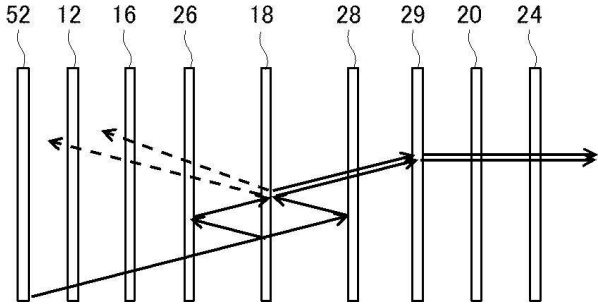


【図6】

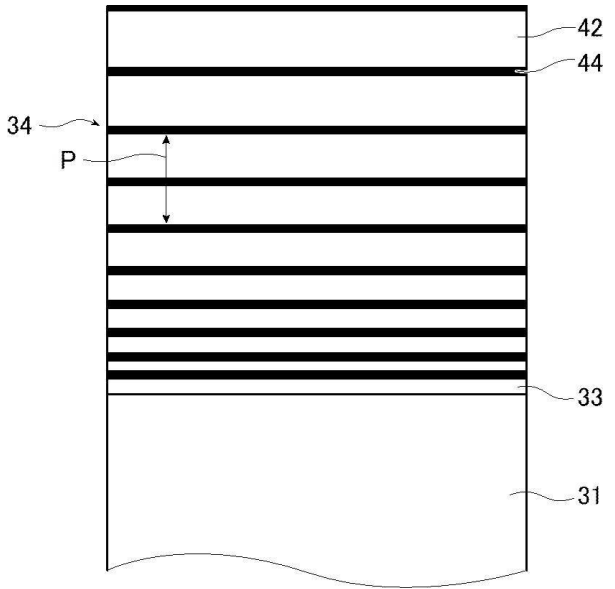


10

【図7】



【図8】



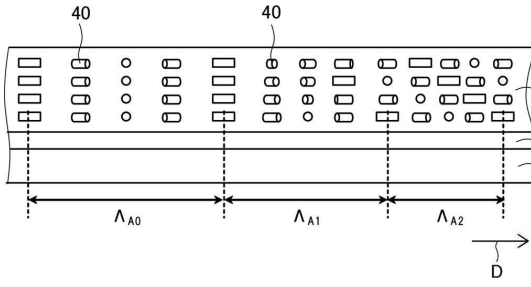
20

30

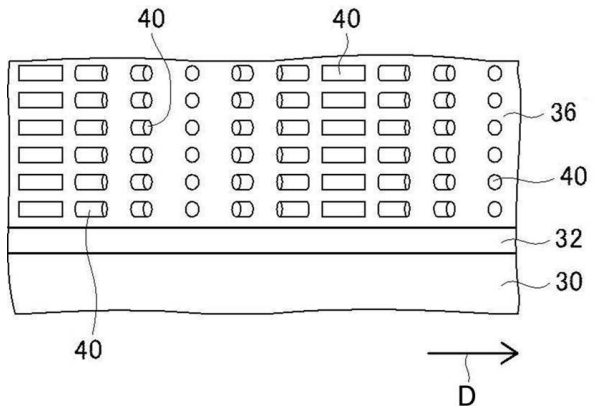
40

50

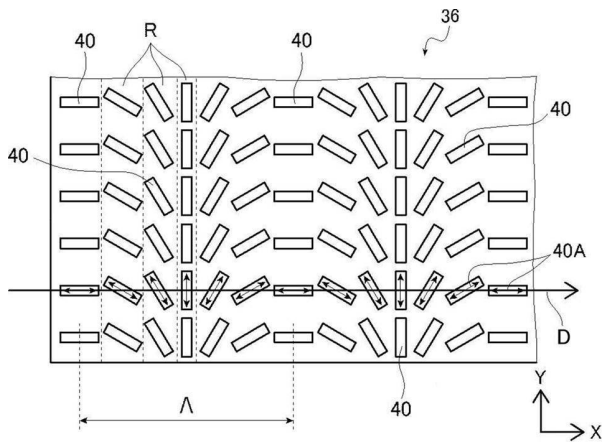
【図 9】



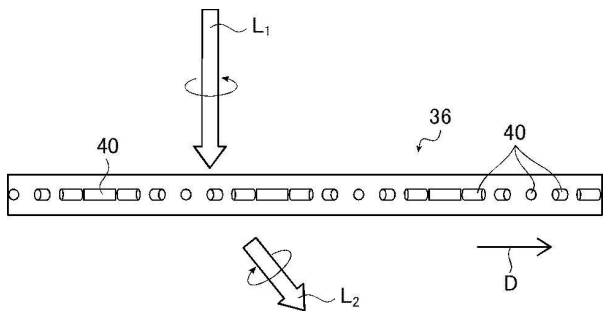
【図 10】



【図 11】



【図 12】



10

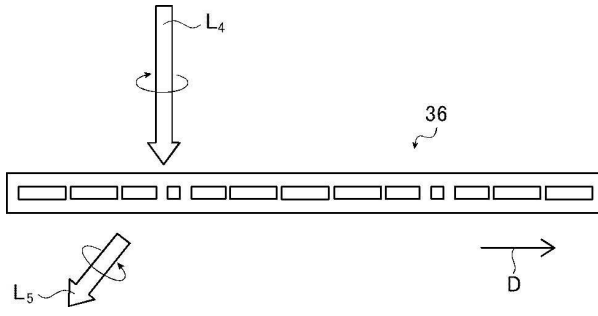
20

30

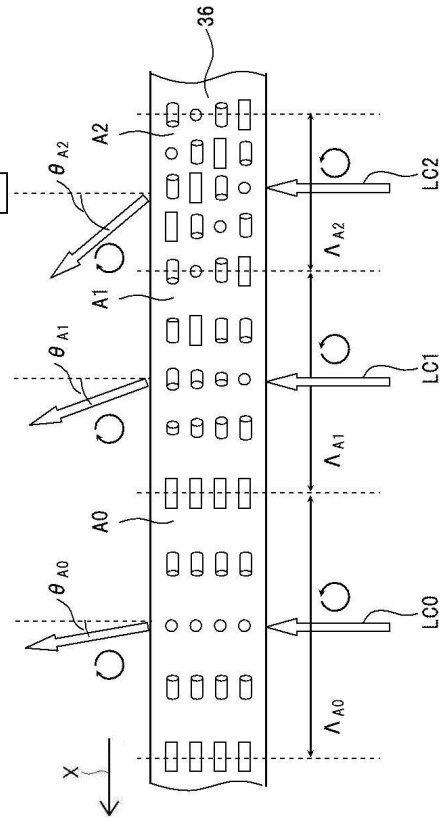
40

50

【 図 1 3 】



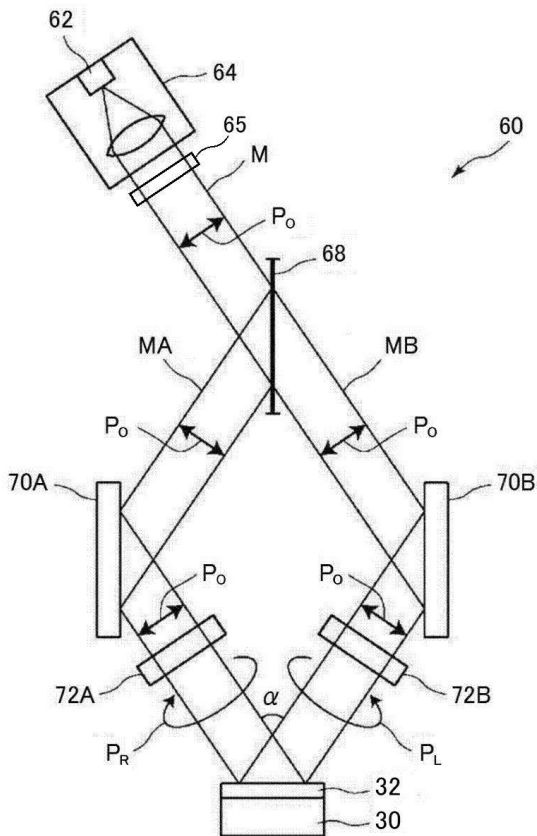
【 図 1 4 】



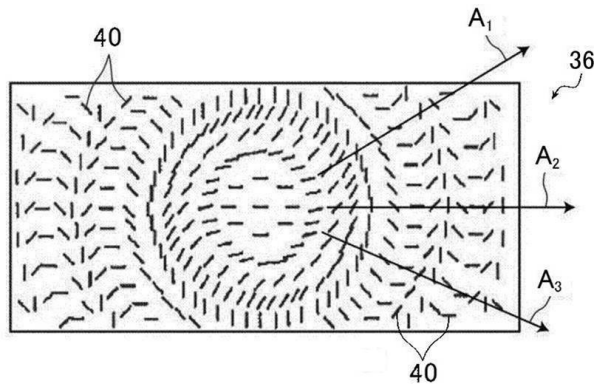
10

20

【 図 1 5 】



【 図 1 6 】

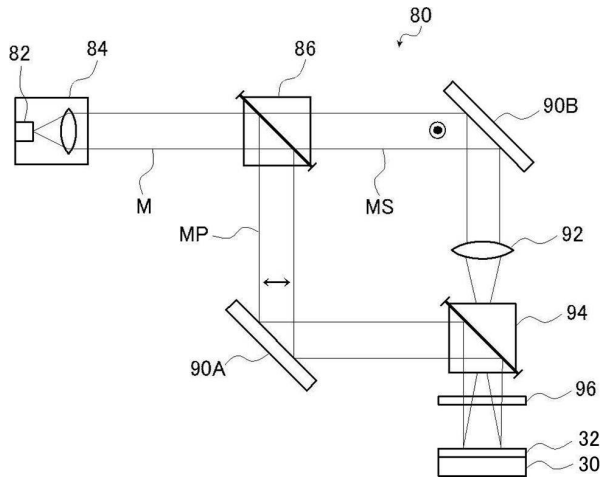


30

40

50

【 図 17 】



10

20

30

40

50

フロントページの続き

- (56)参考文献 国際公開第2019/017274(WO,A1)
特開2018-106160(JP,A)
特開2019-117237(JP,A)
特開2020-024245(JP,A)
特開2018-036314(JP,A)
国際公開第2019/093228(WO,A1)
国際公開第2019/189675(WO,A1)
- (58)調査した分野 (Int.Cl., DB名)
G02B 27/02
G02B 5/30
G02B 5/18