

(12) 特許協力条約に基づいて公開された国際出願

(19) 世界知的所有権機関
国際事務局

(43) 国際公開日
2024年10月3日(03.10.2024)



(10) 国際公開番号

WO 2024/203584 A1

(51) 国際特許分類:

G02B 5/30 (2006.01) G02B 5/18 (2006.01)
G02B 5/00 (2006.01)

(21) 国際出願番号: PCT/JP2024/010683

(22) 国際出願日: 2024年3月19日(19.03.2024)

(25) 国際出願の言語: 日本語

(26) 国際公開の言語: 日本語

(30) 優先権データ:

特願 2023-057649 2023年3月31日(31.03.2023) JP

(71) 出願人: 富士フイルム株式会社 (FUJIFILM CORPORATION) [JP/JP]; 〒1068620 東京都港区西麻布2丁目2番30号 Tokyo (JP).

(72) 発明者: 吉田 慎平 (YOSHIDA Shinpei); 〒2500193 神奈川県南足柄市中沼210番地 富士フイルム株式会社内 Kanagawa (JP). 佐藤 寛 (SATO Hiroshi); 〒2500193 神奈川県南足柄市中沼210番地 富士フイルム株式会社内 Kanagawa (JP). 齊藤 之人 (SAITOH Yukito);

〒2500193 神奈川県南足柄市中沼210番地 富士フイルム株式会社内 Kanagawa (JP). 矢内 雄二郎 (YANAI Yujiro); 〒2500193 神奈川県南足柄市中沼210番地 富士フイルム株式会社内 Kanagawa (JP). 高橋 勇太 (TAKAHASHI Yuta); 〒2500193 神奈川県南足柄市中沼210番地 富士フイルム株式会社内 Kanagawa (JP).

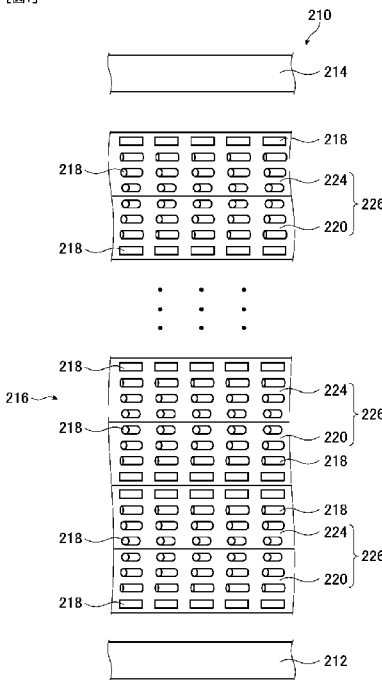
(74) 代理人: 伊東 秀明, 外 (ITOHI Hideaki et al.); 〒1010032 東京都千代田区岩本町2丁目3番3号 ザイマックス岩本町ビル6階 Tokyo (JP).

(81) 指定国(表示のない限り、全ての種類の国内保護が可能): AE, AG, AL, AM, AO, AT, AU, AZ, BA, BB, BG, BH, BN, BR, BW, BY, BZ, CA, CH, CL, CN, CO, CR, CU, CV, CZ, DE, DJ, DK, DM, DO, DZ, EC, EE, EG, ES, FI, GB, GD, GE, GH, GM, GT, HN, HR, HU, ID, IL, IN, IQ, IR, IS, IT, JM, JO, JP, KE, KG, KH, KN, KP, KR, KW, KZ, LA, LC, LK, LR, LS, LU, LY, MA, MD, MG, MK, MN, MU, MW, MX, MY, MZ, NA, NG, NI, NO, NZ, OM, PA, PE, PG, PH, PL, PT, QA, RO, RS, RU, RW, SA, SC, SD, SE, SG, SK,

(54) Title: OPTICAL ELEMENT AND OPTICAL DEVICE

(54) 発明の名称: 光学要素、光学素子

[図1]



(57) Abstract: The present invention addresses the problem of providing an optical element having a novel configuration capable of converting only circularly polarized light in a specific wavelength region into circularly polarized light in a reverse turning direction. An optical element according to the present invention comprises a first $\lambda/4$ plate, an optical laminate, and a second $\lambda/4$ plate in this order. The optical laminate has, in a thickness direction, two or more liquid crystal layer pairs each comprising a first liquid crystal layer formed by fixing a liquid crystal compound which is twist-aligned in the thickness direction, and a second liquid crystal layer formed by fixing a liquid crystal compound which is twist-aligned in the thickness direction and the twist direction of which is a direction opposite to the twist direction of the liquid crystal compound in the first liquid crystal layer. In the liquid crystal layer pair, the alignment direction of the liquid crystal compound on the surface on the second liquid crystal layer side of the first liquid crystal layer, and the alignment direction of the liquid crystal compound on the surface on the first liquid layer side of the second liquid crystal layer are parallel, and the twist angle of the liquid crystal compound in the first liquid crystal layer and the twist angle of the liquid crystal compound in the second liquid crystal layer are equal.

[続葉有]



SL, ST, SV, SY, TH, TJ, TM, TN, TR, TT, TZ, UA,
UG, US, UZ, VC, VN, WS, ZA, ZM, ZW.

(84) 指定国(表示のない限り、全ての種類の広域保護が可能): ARIPO (BW, CV, GH, GM, KE, LR, LS, MW, MZ, NA, RW, SC, SD, SL, ST, SZ, TZ, UG, ZM, ZW), ユーラシア (AM, AZ, BY, KG, KZ, RU, TJ, TM), ヨーロッパ (AL, AT, BE, BG, CH, CY, CZ, DE, DK, EE, ES, FI, FR, GB, GR, HR, HU, IE, IS, IT, LT, LU, LV, MC, ME, MK, MT, NL, NO, PL, PT, RO, RS, SE, SI, SK, SM, TR), OAPI (BF, BJ, CF, CG, CI, CM, GA, GN, GQ, GW, KM, ML, MR, NE, SN, TD, TG).

添付公開書類:

— 国際調査報告 (条約第21条(3))

(57) 要約: 本発明は、特定の波長域の円偏光のみを逆の旋回方向の円偏光に変換できる、新規な構成の光学要素の提供を課題とする。本発明の光学要素は、第1 $\lambda/4$ 板と、光学積層体と、第2 $\lambda/4$ 板とこの順で有する、光学要素であって、上記光学積層体が、厚さ方向に捩れ配向した液晶化合物を固定してなる第1液晶層と、厚さ方向に捩れ配向した液晶化合物を固定してなり、上記液晶化合物の捩れ方向が上記第1液晶層中の上記液晶化合物の捩れ方向と逆方向である第2液晶層と、からなる液晶層組を、厚さ方向に2組以上有し、上記液晶層組において、上記第1液晶層の上記第2液晶層側の表面における上記液晶化合物の配向方向と、上記第2液晶層の上記第1液晶層側の表面における上記液晶化合物の配向方向とが、平行であり、上記第1液晶層の上記液晶化合物の捩れ角度と、上記第2液晶層の上記液晶化合物の捩れ角度とが等しい。

明 細 書

発明の名称：光学要素、光学素子

技術分野

[0001] 本発明は、光学要素、及び、光学要素を用いた光学素子に関する。

背景技術

[0002] 近年、実際に見ている光景に、仮想の映像及び各種の情報等を重ねて表示する、AR (Augmented Reality (拡張現実)) グラスが実用化されている。AR グラスは、スマートグラス、ヘッドマウントディスプレイ (HMD (Head Mounted Display))、及び、AR メガネ等とも呼ばれている。

[0003] 特許文献1においては、屈折角度の波長依存性が小さく、例えば、同じ方向から入射した赤色光、緑色光及び青色光を、ほとんど同じ方向に屈折して出射できる光学素子が開示されており、この光学素子がAR グラス適用可能であることが記載されている。

特許文献1に記載の光学素子においては、波長選択性位相差層（光学要素）と複数の光学異方性層とを組み合わせることで、屈折角度の波長依存性が小さくできるとしている。上記波長選択性位相差層（光学要素）は、特定の波長域の円偏光を逆の旋回方向の円偏光に変換する機能を有することが記載されている。

先行技術文献

特許文献

[0004] 特許文献1：国際公開第2019／131918号

発明の概要

発明が解決しようとする課題

[0005] 上記特許文献には、上述したような波長選択性位相差層（光学要素）が記載されているが、この構成とは異なる新規な構成の光学要素の提供が望まれていた。

そこで、本発明は、特定の波長域の円偏光のみを逆の旋回方向の円偏光に変換できる、新規な構成の光学要素の提供を課題とする。

また、本発明は、上記光学要素を用いた光学素子の提供も課題とする。

課題を解決するための手段

[0006] 本発明者は、上記課題を解決すべく鋭意検討した結果、本発明を完成させるに至った。すなわち、以下の構成により上記課題が解決されることを見出した。

[0007] 〔１〕 第１λ／４板と、光学積層体と、第２λ／４板とこの順で有する、光学要素であって、

上記光学積層体が、厚さ方向に振れ配向した液晶化合物を固定してなる第１液晶層と、厚さ方向に振れ配向した液晶化合物を固定してなり、上記液晶化合物の振れ方向が上記第１液晶層中の上記液晶化合物の振れ方向と逆方向である第２液晶層と、からなる液晶層組を、厚さ方向に２組以上有し、

上記液晶層組において、上記第１液晶層の上記第２液晶層側の表面における上記液晶化合物の配向方向と、上記第２液晶層の上記第１液晶層側の表面における上記液晶化合物の配向方向とが、平行であり、

上記第１液晶層の上記液晶化合物の振れ角度と、上記第２液晶層の上記液晶化合物の振れ角度とが等しい、光学要素。

〔２〕 棒状液晶化合物及び円盤状液晶化合物のいずれか一方が、上記第１液晶層中の上記液晶化合物に含まれ、他方が、上記第２液晶層中の上記液晶化合物に含まれる、〔１〕に記載の光学要素。

〔３〕 上記第１λ／４板及び上記第２λ／４板の少なくとも一方が、厚さ方向に振れ配向した液晶化合物を固定してなる液晶層Ａ、及び、厚さ方向に振れ配向した液晶化合物を固定してなる液晶層Ｂからなる積層体である、

〔１〕または〔２〕に記載の光学要素。

〔４〕 上記液晶層Ａ中の液晶化合物の振れ角度が $16.5^{\circ} \sim 36.5^{\circ}$ であり、上記液晶層Ａの屈折率差 Δn_A と上記液晶層Ａの厚み d_A の積 $\Delta n_A d_A$ が $252 \sim 312 \text{ nm}$ であり、

上記液晶層 B 中の液晶化合物の捩れ角度が $68.6 \sim 88.6^\circ$ であり、
上記液晶層 B の屈折率差 Δn_B と上記液晶層 B の厚み d_B の積 $\Delta n_B d_B$ が $110 \sim 170 \text{ nm}$ である、〔3〕に記載の光学要素。

〔5〕 上記液晶層 A が、上記光学積層体側に配置されており、
上記光学積層体の上記液晶層 A 側表面の上記液晶化合物の配向方向と、
上記液晶層 A の上記光学積層体側表面の上記液晶化合物の配向方向とが平行で
ある、〔3〕または〔4〕に記載の光学要素。

〔6〕 上記液晶層 A の上記液晶層 B 側表面の上記液晶化合物の配向方向
と、上記液晶層 B の上記液晶層 A 側表面の上記液晶化合物の配向方向とが平
行である、〔3〕～〔5〕のいずれか 1 つに記載の光学要素。

〔7〕 液晶化合物を含む組成物を用いて形成された、上記液晶化合物由
来の光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する、複数の光学異方性層と、

上記複数の光学異方性層における、隣接する 2 枚の上記光学異方性層のう
ちの、少なくとも一対の間に配置される、〔1〕～〔6〕のいずれか 1 つに
記載の光学要素を有し、かつ、

上記光学異方性層の上記液晶配向パターンにおいて、上記液晶化合物由来
の光軸の向きが連続的に回転しながら変化する上記一方向における、上記液
晶化合物由来の光軸の向きが 180° 回転する長さを 1 周期とした際に、少
なくとも 1 層の上記光学異方性層は、他の上記光学異方性層と上記 1 周期の
長さが異なる、光学素子。

発明の効果

[0008] 本発明によれば、特定の波長域の円偏光のみを逆の旋回方向の円偏光に変
換できる、新規な構成の光学要素の提供を課題とする。

また、本発明によれば、上記光学要素を用いた光学素子も提供できる。

図面の簡単な説明

[0009] [図1]本発明の光学要素の一例を概念的に示す図である。

[図2]本発明の光学要素を説明するためのグラフである。

- [図3]本発明の光学要素を説明するためのグラフである。
- [図4]本発明の光学要素の別の例を概念的に示す図である。
- [図5]図4に示す光学要素を説明するためのグラフである。
- [図6]本発明の光学素子の一例を概念的に示す図である。
- [図7]図6に示す光学素子の光学異方性層を概念的に示す図である。
- [図8]図6に示す光学素子の光学異方性層の平面図である。
- [図9]図6に示す光学素子の光学異方性層の作用を示す概念図である。
- [図10]図6に示す光学素子の光学異方性層の作用を示す概念図である。
- [図11]図6に示す光学素子の作用を示す概念図である。
- [図12]図6に示す光学素子の作用を示す概念図である。
- [図13]本発明の光学素子の別の例を概念的に示す図である。
- [図14]図12に示す光学素子の作用を示す概念図である。
- [図15]図12に示す光学素子の作用を示す概念図である。
- [図16]図6に示す光学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17]本発明の光学素子の光学異方性層の別の例の平面図である。
- [図18]図16に示す光学異方性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。
- [図19]本発明の光学素子の一例を用いるARグラスの一例を概念的に示す図である。
- [図20]本発明の光学素子の光学異方性層の別の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場合があるが、本発明はそのような実施態様に制限されない。

[0011] 以下、本明細書における各記載の意味を表す。

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及び上限値として含む範囲を意味する。

[0012] $R_e(\lambda)$ 、 $R_{th}(\lambda)$ は、各々、波長 λ における面内のレタデーション、及び、厚さ方向のレタデーションを表す。 $R_e(\lambda)$ 、 $R_{th}(\lambda)$ 、 $\Delta n d$ は、AXOSCAN (AXOMETRICS社製)で測定する。

[0013] なお、本明細書では、「可視光」とは、380nm～780nmのことをいう。また、本明細書では、測定波長について特に付記がない場合は、測定波長は550nmである。

また、本明細書において、角度の関係（例えば「直交」、「平行」、および、具体的な角度等）については、本発明が属する技術分野において許容される誤差の範囲を含むものとする。具体的には、厳密な角度 $\pm 10^\circ$ 未満の範囲内であることを意味し、厳密な角度との誤差は、 5° 以下であることが好ましく、 3° 以下であることがより好ましい。

また、以下に示す図は、いずれも、本発明を説明するための概念的な図であり、各構成要素の位置関係、大きさ、厚さ、及び、形状等は、実際のものとは異なる場合がある。

[0014] <光学要素>

本発明の光学要素は、第1 $\lambda/4$ 板と、光学積層体と、第2 $\lambda/4$ 板とこの順で有する。

上記光学積層体は、厚さ方向に捩れ配向した液晶化合物を固定してなる第1液晶層と、厚さ方向に捩れ配向した液晶化合物を固定してなり、液晶化合物の捩れ方向が第1液晶層中の液晶化合物の捩れ方向と逆方向である第2液晶層と、からなる液晶層組を、厚さ方向に2組以上有する。

また上記液晶層組において、第1液晶層の第2液晶層側の表面における液晶化合物の配向方向と、第2液晶層の第1液晶層側の表面における液晶化合物の配向方向とが、平行である。また、第1液晶層の液晶化合物の捩れ角度と、第2液晶層の液晶化合物の捩れ角度とが等しい。

[0015] 図1に、本発明の光学要素の一例を概念的に示す。

図1に示す光学要素210は、第1 $\lambda/4$ 板212及び第2 $\lambda/4$ 板214と、液晶偏光干渉素子216とを有する。液晶偏光干渉素子216は、第

第1 $\lambda/4$ 板 212 と第2 $\lambda/4$ 板 214 との間に配置される。液晶偏光干渉素子 216 は、本発明の光学要素における光学積層体に該当する。

液晶偏光干渉素子 216 は、特定の波長域（特定波長）の光に対して $\lambda/2$ 位相差板として作用し、それ以外の光には位相差層として作用しない光学素子である。従って、図1に示す光学要素 210 は、特定の波長域の円偏光のみを逆の旋回方向の円偏光に変換できる。上記特定の波長域以外の円偏光に関しては、その旋回方向を変化させずに透過する。すなわち、本発明の光学要素 210 は、円偏光に対して、波長選択性位相差層として機能する。

[0016] 第1 $\lambda/4$ 板 212 及び第2 $\lambda/4$ 板 214 は、ある特定の波長の直線偏光を円偏光に（又は、円偏光を直線偏光に）変換する機能を有する板である。より具体的には、所定の波長 λ_{nm} における面内レタレーションが $\lambda/4$ （又は、この奇数倍）を示す板である。

第1 $\lambda/4$ 板 212 及び第2 $\lambda/4$ 板 214 については、特に制限されず、公知の $\lambda/4$ 板を用いることができる。第1 $\lambda/4$ 板 212 及び第2 $\lambda/4$ 板 214 については、後段で詳述する。

[0017] 図示例の光学要素 210 において、第1 $\lambda/4$ 板 212 と第2 $\lambda/4$ 板 214 との間には、液晶偏光干渉素子 216 が配置される。

なお、図1においては、第1 $\lambda/4$ 板 212 及び第2 $\lambda/4$ 板 214 と、液晶偏光干渉素子 216 とは離間している。

しかしながら、本発明は、これに制限はされず、第1 $\lambda/4$ 板 212 及び第2 $\lambda/4$ 板 214 と、液晶偏光干渉素子 216 とは、接触して積層されてもよい。また、第1 $\lambda/4$ 板 212 及び第2 $\lambda/4$ 板 214 と、液晶偏光干渉素子 216 とが接触している場合には、必要に応じて、OCA（Optical Clear Adhesive）及びアクリル系粘着剤等の透過光に対して透明な貼着剤で両者を貼着してもよい。

[0018] 液晶偏光干渉素子 216 は、厚さ方向に捩れ配向した液晶化合物 218 を固定してなる液晶層を、偶数層、積層してなるものである。液晶化合物 218 は、棒状液晶化合物である。

具体的には、液晶偏光干渉素子 216 は、厚さ方向に捩れ配向した液晶化合物 218 を固定してなる第 1 液晶層 220 と、厚さ方向に捩れ配向した液晶化合物 218 を固定してなり、かつ、第 1 液晶層 220 と液晶化合物 218 の捩れ方向が逆方向である第 2 液晶層 224 とを、交互に、積層したものである。

液晶偏光干渉素子 216、1 つの第 1 液晶層 220 と第 2 液晶層 224 との組み合わせを 1 つの液晶層組 226 として、厚さ方向に液晶層組 226 を 2 層以上、積層した構成を有する。

従って、第 1 液晶層 220 と第 2 液晶層 224 との合計の積層数は、偶数となる。

[0019] 1 つの液晶層組 226 において、第 1 液晶層 220 の第 2 液晶層 224 側の表面における液晶化合物 218 の配向方向と、第 2 液晶層 224 の第 1 液晶層 220 側の表面における液晶化合物 218 の配向方向とは、平行である。

すなわち、1 つの液晶層組 226 において、第 1 液晶層 220 と第 2 液晶層 224 との界面においては、液晶化合物 218 の配向方向が平行である。

[0020] 1 つの液晶層組 226 において、第 1 液晶層 220 の第 2 液晶層 224 側の表面における液晶化合物 218 の配向方向、及び、第 2 液晶層 224 の第 1 液晶層 220 側の表面における液晶化合物 218 の配向方向は、液晶偏光干渉素子 216 を斜めに切削して、その断面の表面における液晶の配向方向を分析することによって検出できる。

この方法は、Yohei Takahashi らによる『Depth-Dependent Determination of Molecular Orientation for WV-Film』（FMC 8-3、IDW' 04、651～654）に詳述されている。

[0021] 更に、1 つの液晶層組 226 において、第 1 液晶層 220 における液晶化合物 218 の厚さ方向の捩れ角度と、第 2 液晶層 224 における液晶化合物 218 の厚さ方向の捩れ角度とが等しい。

上述のように、第 1 液晶層 220 と第 2 液晶層 224 とは、厚さ方向への

液晶化合物 218 の振れ方向が逆である。すなわち、例えば、第 1 液晶層 220 における液晶化合物 218 の振れ角度が『 ϕ [°]』である場合には、第 1 液晶層 220 における液晶化合物 218 の振れ角度は『 $-\phi$ [°]』となる。

従って、1 つの液晶層組 226 においては、液晶化合物 218 の振れは、厚さ方向に向かって、第 1 液晶層 220 において或る角度まで振れ、引き続き、第 2 液晶層 224 において、元に戻るように振れる。例えば、厚さ方向の液晶化合物 218 の振れ角度が 30° である場合には、液晶化合物 218 は、第 1 液晶層 220 において 0° から 30° まで振れ、その後、第 2 液晶層 224 において 30° から 0° に戻るように振れる。

[0022] なお、本例においては、液晶化合物のねじれ角度（ツイスト角度）は、一例として、第 1 $\lambda/4$ 板 212 の透過軸の方向を 0° として、時計回りを正（+）、反時計回りを負（-）とする。

すなわち、第 1 液晶層 220 と第 2 液晶層 224 とは、振れ角度の絶対値が等しい。

[0023] 上述のように、液晶偏光干渉素子 216 は、厚さ方向に液晶化合物 218（棒状液晶化合物）が振れ配向され、更に、界面における液晶化合物 218 の配向が平行で、かつ、液晶化合物 218 の振れ方向が逆で、振れ角度の絶対値が等しい、第 1 液晶層 220 と第 2 液晶層 224 とが厚さ方向に交互に積層されている。

すなわち、液晶偏光干渉素子 216 を通過する光は、一方向に所定角度だけ回転する遅相軸と、逆方向に所定角度だけ回転する遅相軸とによる影響を、交互に、繰り返し受ける。一例として、液晶化合物 218 の振れ角度の絶対値が 30° である場合には、液晶偏光干渉素子 216 を通過する光は、 0° から 30° まで回転する遅相軸による影響と、 30° から 0° まで回転する遅相軸による影響とを、交互に、繰り返し受ける。

そのため、液晶偏光干渉素子 216 において、光学要素 210 が円偏光を逆の旋回方向の円偏光に変換する波長域に応じて第 1 液晶層 220 及び第 2

液晶層 224 の $\Delta n d$ を設定し、更に、第 1 液晶層 220 と第 2 液晶層 224 との合計の積層数に応じて、第 1 液晶層 220 及び第 2 液晶層 224 における液晶化合物の捩れ角度を調節することにより、特定の波長域の光に対して $\lambda/2$ 位相差板として作用し、それ以外の光には位相差板として作用しない、すなわちレタデーションを感じない液晶偏光干渉素子 216 を形成できる。

[0024] 液晶偏光干渉素子 216 が液晶層組 226 を、何組有するかは、液晶偏光干渉素子 216 を斜めに切削して、その断面の表面における液晶の配向方向を分析することによって検出できる。この方法は、上述した Yohei Takahashi らによる文献に詳述されている。

また、液晶のツイスト方向が変化していることは、キラル剤の相違によることを背景として、TOF-SIMS (Time-of-Flight Secondary Ion Mass Spectrometry) 装置 (ION-TOF 社製、TOF, SIMS 5) などを用いることで、素子の深さ方向における成分の相違を基にして知ることができる。

[0025] 液晶偏光干渉素子 216 を構成する第 1 液晶層 220 及び第 2 液晶層 224 の $\Delta n d$ において、 Δn は、第 1 液晶層 220 及び第 2 液晶層 224 を構成する液晶化合物 218 の複屈折である。また、 d は、第 1 液晶層 220 及び第 2 液晶層 224 の厚さである。なお、 Δn は、アクソメトリクス社製の AxoScan 等を用いても測定できる。

本発明において、第 1 液晶層 220 及び第 2 液晶層 224 の $\Delta n d$ は等しい。

上述のように、液晶偏光干渉素子 216 は、特定の波長域の光に対してのみ、 $\lambda/2$ 位相差板として作用する。これに応じて、第 1 液晶層 220 及び第 2 液晶層 224 の $\Delta n d$ は、液晶偏光干渉素子 216 が $\lambda/2$ 位相差板として作用することを想定する波長、すなわち、光学要素 210 が円偏光を逆の旋回方向の円偏光に変換することを想定する波長域の中心波長の半分（半波長）とする。

例えば、液晶偏光干渉素子 216 が $\lambda/2$ 位相差板として作用する波長、すなわち、光学要素 210 が円偏光を逆の旋回方向の円偏光に変換する波長域の中心波長を 550 nm として想定する場合には、第 1 液晶層 220 及び第 2 液晶層 224 の $\Delta n d$ は 275 nm とする。

なお、第 1 液晶層 220 及び第 2 液晶層 224 の $\Delta n d$ は、光学要素 210 が円偏光を逆の旋回方向の円偏光に変換する波長域の中心波長の半分に対して、 $\pm 10\%$ 程度の誤差を有してもよい。

[0026] 一方、液晶偏光干渉素子 216 を構成する第 1 液晶層 220 及び第 2 液晶層 224 における液晶化合物 218 の振れ角度は、光学要素 210 が円偏光を逆の旋回方向の円偏光に変換することを想定する波長域の中心波長、及び、第 1 液晶層 220 と第 2 液晶層 224 との合計の積層数 N に応じて、液晶偏光干渉素子 216 が $\lambda/2$ 位相差板として作用する最適な振れ角度を、シミュレーションによって設定する。

このシミュレーションには、一般的な光学シミュレーション手段を使用することができるほか、LCD Master 1D（シンテック社製、Ver 9.8.0.0）を使用して算出することも可能である。

[0027] ここで、本発明者らのシミュレーションによれば、第 1 液晶層 220 と第 2 液晶層 224 との合計の層数 N に対する、第 1 液晶層 220 及び第 2 液晶層 224 における液晶化合物 218 の振れ角度 ϕ は、

積層数 N が 2（液晶層組 1 組）である場合には、振れ角度 ϕ は 63.6°

、

積層数 N が 4（液晶層組 2 組）である場合には、振れ角度 ϕ は 35.5°

、

積層数 N が 6（液晶層組 3 組）である場合には、振れ角度 ϕ は 23.6°

、

積層数 N が 8（液晶層組 4 組）である場合には、振れ角度 ϕ は 17.7°

、

積層数 N が 10（液晶層組 5 組）である場合には、振れ角度 ϕ は 14.1°

、
 積層数 N が 12 (液晶層組 6 組) である場合には、捩れ角度 ϕ は 11.8
 、
 積層数 N が 14 (液晶層組 7 組) である場合には、捩れ角度 ϕ は 10.1
 、
 積層数 N が 16 (液晶層組 8 組) である場合には、捩れ角度 ϕ は 8.8°
 、
 が適値であった。

[0028] 図 2 に概念的に示すように、この結果 (実線) を近似曲線 (破線) でフィッティングすると、下記の式

$$\phi = 129.05 \times N^{-0.961}$$

と好適に一致する。

これに応じて、本発明においては、第 1 液晶層 220 と第 2 液晶層 224 との合計の積層数 N に対応する、第 1 液晶層 220 及び第 2 液晶層 224 における液晶化合物 218 の捩れ角度 $\pm \phi$ [°] は、

$$0.9 \times (129.05 \times N^{-0.961}) \leq |\phi| \leq 1.1 \times (129.05 \times N^{-0.961})$$

とするのが好ましく、

$$|\phi| = 129.05 \times N^{-0.961}$$

とするのがより好ましい。

[0029] なお、第 1 液晶層 220 及び第 2 液晶層 224 における液晶化合物 218 の捩れ角度の絶対値は、一致している態様のみに制限されず、捩れ角度の絶対値の $\pm 10\%$ 以下の誤差を有してもよい。

ただし、この誤差は小さい方が好ましく、第 1 液晶層 220 及び第 2 液晶層 224 における液晶化合物 218 の捩れ角度の絶対値は、一致するのが最も好ましい。

[0030] 液晶偏光干渉素子 216 を構成する第 1 液晶層 220 及び第 2 液晶層 224 における液晶化合物 218 の捩れ角度は、液晶偏光干渉素子 216 を斜め

に切削して、その断面の表面における液晶の配向方向を分析することによって検出できる。この方法は、上述したYohei Takahashiらによる文献に詳述されている。

また、この液晶化合物218の振れ角度は、パラメータを入力したモデルを想定して行う分離計測手段により、AxoScan（アクソメトリクス社製）を用いて測定することもできる。

[0031] 第1液晶層220及び第2液晶層224の厚さdにも制限はなく、用いる液晶化合物218に応じて、 $\Delta n d$ を光学要素210が円偏光を逆の旋回方向の円偏光に変換する波長域の中心波長の半波長にできる厚さを、適宜、設定すればよい。

第1液晶層220及び第2液晶層224の厚さdは、1～5 μm が好ましく、1～3 μm がより好ましい。

なお、第1液晶層220及び第2液晶層224は、通常、同じ液晶化合物218を用いて形成する。また、第1液晶層220及び第2液晶層224の $\Delta n d$ は等しい。従って、第1液晶層220と第2液晶層224との厚さは、等しい。

[0032] 第1液晶層220及び第2液晶層224の合計の積層数Nは、液晶層組226が2組以上すなわち4層以上で、かつ、偶数であれば、これ以外に制限はない。

第1液晶層220及び第2液晶層224の合計の積層数Nは、4～30層が好ましく、4～20層がより好ましく、4～10層が更に好ましい。

[0033] なお、本発明の光学要素210においては、第1液晶層220及び第2液晶層224の合計の積層数Nが多いほど、すなわち、液晶層組226の数が多いほど、液晶偏光干渉素子216が $\lambda/2$ 位相差層として作用する波長域が狭くなる。

従って、本発明の光学要素210においては、第1液晶層220及び第2液晶層224の合計の積層数Nが多いほど、円偏光を逆の旋回方向の円偏光に変換する光の波長域の半値幅が狭くなる。言い換えれば、第1液晶層22

0 及び第2液晶層 224 の合計の積層数 N が多いほど、光学要素 210 を、円偏光を逆の旋回方向の円偏光に変換する波長域が狭帯域の光学要素にすることができる。

従って、第1液晶層 220 及び第2液晶層 224 の合計の積層数 N 、すなわち、液晶層組 226 の数は、光学要素 210 に要求される波長域の広さに応じて、広帯域が好ましい場合には少なめの層数を選択し、狭帯域が要求される場合には多い層数を、適宜、選択すればよい。

[0034] このような液晶偏光干渉素子 216 は、公知の方法で作製すればよい。

一例として、第1液晶層 220 及び第2液晶層 224 を形成するための液晶組成物を用いる塗布法によって作製する方法が挙げられる。

[0035] まず、適宜選択した支持体の上に、一方向に配向した配向膜を形成する。

配向膜は、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、並びに、 ω -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及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・ブロジェット法によるLB (Langmuir-Blodgett: ラングミュア・ブロジェット) 膜を累積させた膜、並びに、支持体の表面に光配向材料を含む配向膜形成用塗布液を塗布、乾燥して、ワイヤグリッド偏光子等の偏光子を用いて塗膜を露光した膜等、公知の配向膜が利用可能である。

[0036] 一方で、液晶化合物、及び、厚さ方向への液晶化合物の捩れ配向を誘起する機能を有するキラル剤を含む、第1液晶層 220 を形成するための組成物(液晶組成物)、並びに、第2液晶層 224 を形成するための組成物を調製する。

第1液晶層 220 と第2液晶層 224 とは、厚さ方向の液晶化合物 218 の捩れの方向が逆であるが、キラル剤を選択することで、厚さ方向の液晶化合物の捩れ方向を選択できる。また、キラル剤の添加量を調節することで、厚さ方向の液晶化合物 218 の捩れ角度を調節できる。

[0037] なお、組成物を調製するための溶媒には、制限はなく、目的に応じて適宜

選択することができるが、有機溶媒が好ましい。有機溶媒には、制限はなく、目的に応じて適宜選択することができ、例えば、ケトン類、アルキルハライド類、アミド類、スルホキシド類、ヘテロ環化合物、炭化水素類、エステル類、及び、エーテル類などが挙げられる。これらは、1種単独で使用してもよいし、2種以上を併用してもよい。これらの中でも、環境への負荷を考慮した場合にはケトン類が好ましい。

[0038] 形成した配向膜の表面に、第1液晶層220を形成するための組成物を塗布して、液晶化合物218を配向させ、更に乾燥し、必要に応じて紫外線照射等による組成物の硬化を行って、第1液晶層220を形成する。

[0039] 次いで、形成した第1液晶層220の表面に、第2液晶層224を形成するための組成物を塗布、乾燥し、必要に応じて紫外線照射等による組成物の硬化を行って、第2液晶層224を形成し、1組目の液晶層組を形成する。

ここで、液晶層の上に塗布法によって液晶層を形成すると、上層の液晶層は、下層の液晶層の表面の液晶化合物の配向を踏襲する。

従って、第1液晶層220と第2液晶層224との界面では、第1液晶層220の液晶化合物218の配向方向と、第2液晶層224の液晶化合物218の配向方向とが、平行になる（一致する）。

[0040] 次いで、形成した第2液晶層224の表面に第1液晶層220を形成するための組成物を塗布、乾燥し、必要に応じて紫外線照射等による組成物の硬化を行って、第1液晶層220を形成する。

本発明の光学要素210を構成する液晶偏光干渉素子216において、第1液晶層220における液晶化合物218の厚さ方向の振れ、及び、第2液晶層における液晶化合物218の厚さ方向の振れは、振れ角度が等しく、かつ、振れの方向が逆方向である。従って、配向膜の表面に形成した第1液晶層220の配向膜との界面における液晶化合物218の配向の角度を 0° とすると、第2液晶層224の上面における液晶化合物218の配向の角度も 0° に戻っている。

また、上述のように、液晶層の上に塗布法によって液晶層を形成すると、

上層の液晶層の下層との界面付近における液晶化合物は、下層の液晶層の表面の液晶化合物の配向を踏襲する。

従って、この第2液晶層224と第1液晶層220との界面では、第2液晶層224の液晶化合物218の配向方向と、第1液晶層220の液晶化合物218の配向方向とが、 0° で平行になる。

[0041] 次いで、形成した第1液晶層220の表面に、同様に、第2液晶層224を形成し、次いで、形成した第2液晶層224の表面に、同様に、第1液晶層220を形成し、次いで、形成した第1液晶層220の表面に、同様に、第2液晶層224を形成することを、形成する液晶層の層数すなわち形成する液晶層組の数だけ、繰り返し行って、液晶偏光干渉素子216を作製する。

更に、例えば、最初に形成した第1液晶層220における液晶化合物218の配向方向と、第1 $\lambda/4$ 板212の面内遅相軸とのなす角を 45° とし、更に、第2 $\lambda/4$ 板214を第1 $\lambda/4$ 板212の面内遅相軸と第2 $\lambda/4$ 板12の面内遅相軸とが直交するようにして、厚さ方向（積層方向）に液晶偏光干渉素子216を挟むように配置することにより、図1に示すような光学要素210とする。

なお、上記では、最初に形成した第1液晶層220における液晶化合物218の配向方向と、第1 $\lambda/4$ 板212の面内遅相軸とのなす角を 45° としたが、上記なす角は、 $45^\circ \pm 15^\circ$ であってもよく、 $45^\circ \pm 10^\circ$ が好ましい。

[0042] なお、本発明の光学要素210の液晶偏光干渉素子216において、第1液晶層220及び第2液晶層224は、上述のように塗布法によって形成された直接積層されるものに制限はされない。すなわち、液晶偏光干渉素子216は、シート状の第1液晶層220及び第2液晶層224を作製し、これを交互に積層して、OCA及びアクリル系粘着剤等の透過光に対して透明な貼着剤で貼着したものであってもよい。

ただし、透過光の透過率の点では、貼着層等を有さない、塗布法による直

接積層の第1液晶層220及び第2液晶層224が好ましい。

[0043] 本発明の光学要素210（液晶偏光干渉素子216）において、液晶化合物218（棒状液晶化合物）には制限はなく、公知の各種の液晶化合物が利用可能である。

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、トラン類及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。

[0044] 第1液晶層220及び第2液晶層224においては、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、及び、特願2001-64627号公報などに記載の化合物を用いることができる。更に棒状液晶化合物としては、例えば、特表平11-513019号公報及び特開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。

[0045] 上述のように、キラル剤（カイラル剤）は厚さ方向への液晶化合物の捩れ配向を誘起する機能を有する。キラル剤は、化合物によって誘起する螺旋の捩れ方向又は螺旋ピッチが異なるため、目的に応じて選択すればよい。

[0046] キラル剤としては、特に制限はなく、公知の化合物（例えば、液晶デバイスハンドブック、第3章4-3項、TN（twisted nematic）、STN（Supe

r Twisted Nematic) 用キラル剤、199頁、日本学術振興会第142委員会編、1989に記載)、イソソルビド(イソソルビド構造を有するキラル剤)、及び、イソマンニド誘導体等を用いることができる。

また、キラル剤は、光の照射によって、戻り異性化、二量化、並びに、異性化及び二量化等を生じて、螺旋誘起力(HTP: Helical Twisting Power)が低下するキラル剤も、好適に利用可能である。

[0047] キラル剤は、一般に不斉炭素原子を含むが、不斉炭素原子を含まない軸性不斉化合物又は面性不斉化合物もキラル剤として用いることができる。軸性不斉化合物又は面性不斉化合物の例には、ビナフチル、ヘリセン、パラシクロファン、及び、これらの誘導体が含まれる。キラル剤は、重合性基を有していてもよい。キラル剤と液晶化合物とがいずれも重合性基を有する場合は、重合性キラル剤と重合性液晶化合物との重合反応により、重合性液晶化合物から誘導される繰り返し単位と、キラル剤から誘導される繰り返し単位とを有するポリマーを形成することができる。この態様では、重合性キラル剤が有する重合性基は、重合性液晶化合物が有する重合性基と、同種の基であるのが好ましい。従って、キラル剤の重合性基も、不飽和重合性基、エポキシ基又はアジリジニル基であるのが好ましく、不飽和重合性基であるのがより好ましく、エチレン性不飽和重合性基であるのが更に好ましい。

また、キラル剤は、液晶化合物であってもよい。

[0048] キラル剤が光異性化基を有する場合には、塗布、配向後に活性光線などのフォトリソグラフ照射によって、発光波長に対応した所望の反射波長のパターンを形成することができるので好ましい。光異性化基としては、フォトクロミック性を示す化合物の異性化部位、アゾ基、アゾキシ基、又は、シナモイル基が好ましい。具体的な化合物として、特開2002-080478号公報、特開2002-080851号公報、特開2002-179668号公報、特開2002-179669号公報、特開2002-179670号公報、特開2002-179681号公報、特開2002-179682号公報、特開2002-338575号公報、特開2002-338668号

公報、特開 2003-313189 号公報、及び、特開 2003-313292 号公報等に記載の化合物を用いることができる。

[0049] 液晶化合物 218 の厚さ方向の捩れ角度は、キラル剤の添加量に応じて変化する。

従って、キラル剤を選択し、かつ、添加量を適切に設定することにより、第 1 液晶層 220 及び第 2 液晶層 224 における液晶化合物 218 の捩れ方向及び捩れ角度を、任意に設定できる。

[0050] 第 1 液晶層 220 及び第 2 液晶層 224 を形成するための組成物には、液晶化合物及びキラル剤以外にも、必要にして、重合開始剤、レベリング剤、架橋剤、及び、界面活性剤等を添加してもよい。

[0051] 図 1 に示す光学要素 210 は、全ての第 1 液晶層 220 が同じものであり、また、全ての第 2 液晶層 224 も同じものである。すなわち、図 1 に示す光学要素 210 において、全ての第 1 液晶層 220 は $\Delta n d$ 及び液晶化合物 218 の捩れ角度が等しく、かつ、全ての第 2 液晶層 224 は $\Delta n d$ 及び液晶化合物 218 の捩れ角度が等しい。

しかしながら、本発明は、これに制限はされず、厚さ方向に、液晶層の $\Delta n d$ 及び液晶化合物 218 の捩れ角度の分布を有してもよい。すなわち、本発明の光学要素では、第 1 液晶層と第 2 液晶層とで、 $\Delta n d$ が等しく、また、液晶化合物 218 の捩れ方向が逆で、かつ、捩れ角度（捩れ角度の絶対値）が等しければ、液晶層組同士で、 $\Delta n d$ 及び液晶化合物 218 の捩れ角度が異なる物が存在してもよい。

[0052] 一例として、厚さ方向（積層方向）の中央の液晶層組と、厚さ方向の両側の液晶層組とで、液晶層の $\Delta n d$ 及び液晶化合物 218 の捩れ角度が異なる構成が例示される。

具体的には、厚さ方向の中央の液晶層組の液晶層に比して、厚さ方向の両側の液晶層組の液晶層の $\Delta n d$ を大きくし、液晶化合物 218 の捩れ角度を小さくしてもよい。

一例として、光学要素（液晶偏光干渉素子）が 8 層の液晶層すなわち 4 組

の液晶層組を有する場合には、

1組目の液晶層組において、第1液晶層（1層目）の $\Delta n d$ を $\Delta n d 1$ 、液晶化合物の捩れ角度を $\phi 1$ 、第2液晶層（2層目）の $\Delta n d$ を $\Delta n d 1$ 、液晶化合物の捩れ角度を $-\phi 1$ とし、

2組目の液晶層組において、第1液晶層（3層目）の $\Delta n d$ を $\Delta n d 1$ よりも小さい $\Delta n d 2$ 、液晶化合物の捩れ角度を $\phi 1$ よりも大きな $\phi 2$ 、第2液晶層（4層目）の $\Delta n d$ を $\Delta n d 2$ 、液晶化合物の捩れ角度を $-\phi 2$ とし、

3組目の液晶層組において、第1液晶層（5層目）の $\Delta n d$ を $\Delta n d 2$ 、液晶化合物の捩れ角度を $\phi 2$ 、第2液晶層（6層目）の $\Delta n d$ を $\Delta n d 2$ 、液晶化合物の捩れ角度を $-\phi 2$ とし、

4組目の液晶層組において、第1液晶層（7層目）の $\Delta n d$ を $\Delta n d 1$ 、液晶化合物の捩れ角度を $\phi 1$ 、第2液晶層（8層目）の $\Delta n d$ を $\Delta n d 1$ 、液晶化合物の捩れ角度を $-\phi 1$ 、とする構成が例示される。

[0053] 上述したように、液晶偏光干渉素子は、目的とする特定の波長域の光に対して $\lambda/2$ 位相差板として作用し、それ以外の光には位相差層として作用しない。一方、液晶偏光干渉素子は、液晶偏光干渉素子の上下にクロスニコルに配置した直線偏光板を設けた場合、図3に概念的に示すように、特定の波長域を中心としたバンドパスフィルタとして機能する。すなわち、上記態様においては、特定の波長域において透過率が高く、その他の波長域においては透過率が低いバンドパスフィルタとして機能する。しかしながら、目的とする特定の波長域を挟んで、目的とする特定の波長域よりも短波長の位置及び長波長の位置に、図中に矢印Sで示すような、サイドローブと呼ばれる透過波長域を生じる場合がある。すなわち、液晶偏光干渉素子では、特定の波長域以外の波長域においても、 $\lambda/2$ 位相差板の機能によって生じる偏光成分を生じる場合がある。

これに対して、上述のように、厚さ方向の中央の液晶層組の液晶層に比して、厚さ方向の両側の液晶層組の液晶層の $\Delta n d$ を大きくし、液晶化合物2

18の捩れ角度を小さくすることにより、このサイドローブを低減することができる。すなわち、 $\lambda/2$ 位相差板の機能によって生じる偏光成分を低減することができる。

[0054] なお、液晶層の $\Delta n d$ は、一例として、液晶層の厚さを変更することで調節すればよいが、用いる液晶化合物を変更することで、調節してもよい。

また、液晶化合物の捩れ角度は、キラル剤の種類及び／又は添加量を変更することで調節すればよい。

[0055] このような厚さ方向の中央の液晶層組の液晶層に比して、厚さ方向の両側の液晶層組の液晶層の $\Delta n d$ を大きくし、液晶化合物218の捩れ角度を小さくする構成において、両側に比して、液晶層の $\Delta n d$ を大きくし液晶化合物218の捩れ角度を小さくする中央の液晶層の層数には、すなわち、両側と中央の液晶層組の分け方には、制限はなく、光学要素の液晶偏光干渉素子が有する液晶層（液晶層組）の数に応じて、適宜、設定すればよい。

また、厚さ方向の両側の液晶層組の液晶層の $\Delta n d$ 及び液晶化合物218の捩れ角度、並びに、厚さ方向の中央の液晶層組の液晶層の $\Delta n d$ 及び液晶化合物218の捩れ角度も、液晶偏光干渉素子が $\lambda/2$ 位相差板として作用し、かつ、上述したようなバントパスフィルタとした場合のサイドローブを低減できる最適な $\Delta n d$ 及び捩れ角度を、シミュレーションによって設定すればよい。

なお、積層方向（厚さ方向）の両側から中央に向かう、液晶化合物218の捩れ角度の変化、及び、液晶層組の液晶層の $\Delta n d$ の厚さ方向の分布は、できるだけ、なだらかに、かつ、細かく制御することが好ましい。

[0056] 図1に示す光学要素210においては、各液晶層において、液晶化合物218は棒状液晶化合物で、液晶層は、棒状液晶化合物のみによって構成されていたが、本発明は、これに制限はされない。

すなわち、本発明の光学要素において、液晶層は、図4に示す光学要素230の第1液晶層232及び第2液晶層234のように、液晶化合物218に加え、円盤状液晶化合物を有してもよい。

つまり、棒状液晶化合物及び円盤状液晶化合物のいずれか一方が、第1液晶層232中の液晶化合物に含まれ、他方が、第2液晶層234中の液晶化合物に含まれていてもよい。

なお、以下の説明では、円盤状液晶化合物240と明確に区別するために、液晶化合物218を、棒状液晶化合物218ともいう。また、図4に示す光学要素230では、同じ部材には同じ符号を付し、以下の説明では、異なる部材を主に行う。

[0057] 図4に示す光学要素230においても、第1液晶層232及び第2液晶層234は、厚さ方向に振れ配向した棒状液晶化合物218及び円盤状液晶化合物240を固定してなるものである。

また、光学要素230においても、第1液晶層232と第2液晶層234とでは、液晶化合物の振れ方向が逆で、かつ、液晶化合物の振れ角度は、同じである。すなわち、第1液晶層232及び第2液晶層234における棒状液晶化合物218と円盤状液晶化合物240との合計の振れ角度は、先の例と同様、『 ϕ 』と『 $-\phi$ 』との関係になる。

更に、光学要素230においても、第1液晶層232と第2液晶層234との界面において、液晶化合物の配向方向は平行である。

[0058] 図4に示す光学要素230において、第1液晶層232は図中下方から上方に向かう厚さ方向において、まず、棒状液晶化合物218を厚さ方向に振れ配向して有し、その後、円盤状液晶化合物240を厚さ方向に振れ配向して有する。

その上の第2液晶層234は、逆に、図中下方から上方に向かう厚さ方向において、まず、円盤状液晶化合物240を厚さ方向に振れ配向して有し、その上に、棒状液晶化合物218を厚さ方向に振れ配向して有する。第1液晶層232と第2液晶層234とでは、液晶化合物の振れ配向の方向は逆になっている。

光学要素230においても、このような第1液晶層232と第2液晶層234とが、交互に積層した液晶偏光干渉素子246を有し、かつ、液晶偏光

干渉素子 246 は、第 1 液晶層 232 と第 2 液晶層 234 とからなる液晶層組を、2 組以上有する。

図 4 に示す例では、液晶層組 236 において、厚さ方向の図中下から上方向に、第 1 液晶層 232 が『棒状液晶化合物／円盤状液晶化合物』で、第 2 液晶層 234 が『円盤状液晶化合物／棒状液晶化合物』の順番となっているが、本発明はこれに制限はされない。例えば、本発明の光学要素においては、液晶層組において、厚さ方向の図中下から上方向に、第 1 液晶層が『棒状液晶化合物／円盤状液晶化合物』で、第 2 液晶層が『棒状液晶化合物／円盤状液晶化合物』の順番であってもよい。

また、それぞれの液晶層の $\Delta n d$ と液晶化合物の振れ角度の総和が変わらない条件で、棒状液晶化合物 218 からなる領域及び円盤状液晶化合物 240 からなる領域の数、順番、及び、厚さは、適宜、変更してもよい。

[0059] 図 5 に概念的に示すように、上述した液晶偏光干渉素子 216 を用いたバンドパスフィルタでは、光が斜め方向から入射した際に、透過波長域が短波長側に移動する波長シフトが生じる。

これに対して、液晶偏光干渉素子 246 のように、第 1 液晶層 232 及び第 2 液晶層 234 層が、棒状液晶化合物 218 からなる領域と、円盤状液晶化合物 240 からなる領域とを有することにより、第 1 液晶層 232 及び第 2 液晶層 234 層の厚さ方向の位相差 ($R t h$) を小さくして、斜め方向から光が入射した際における波長シフト（色付き）を抑制できる。すなわち、光学要素 230 の表面の法線方向から傾いた方向から円偏光が入射しても、意図した特定の波長域の円偏光のみを逆の旋回方向の円偏光に変換できる。

[0060] 第 1 液晶層 232 及び第 2 液晶層 234 層を、棒状液晶化合物 218 からなる領域と円盤状液晶化合物 240 からなる領域とから構成する場合には、棒状液晶化合物 218 からなる領域と円盤状液晶化合物 240 からなる領域との厚さの比には、制限はない。

ここで、第 1 液晶層 232 及び第 2 液晶層 234 層を、棒状液晶化合物 218 からなる領域と円盤状液晶化合物 240 からなる領域とから構成する場

合には、用いる液晶化合物の Δn に応じて、液晶層の $\Delta n d$ を、棒状液晶化合物 218 からなる領域と、円盤状液晶化合物 240 からなる領域とで、半分ずつ、分け合うようにするのが好ましい。

また、棒状液晶化合物 218 及び円盤状液晶化合物 240 の Δn は、同じ値のほうが界面反射低減の観点から好ましいが、異なる Δn のものを用いてもよい。

[0061] なお、このような棒状液晶化合物 218 からなる領域、及び、円盤状液晶化合物 240 からなる領域を有する液晶層からなる液晶偏光干渉素子 246 も、先と同様、第 1 液晶層 232 における棒状液晶化合物 218 からなる領域を形成する組成物、第 1 液晶層 232 における円盤状液晶化合物 240 からなる領域を形成する組成物、第 2 液晶層 234 における円盤状液晶化合物 240 からなる領域を形成する組成物、及び、第 2 液晶層 234 における棒状液晶化合物 218 からなる領域を形成する組成物、を用いて、塗布法によって形成できる。

棒状液晶化合物 218 からなる領域の上に、円盤状液晶化合物 240 からなる領域を形成する場合、及び、円盤状液晶化合物 240 からなる領域の上に、棒状液晶化合物 218 からなる領域を形成する場合では、共に、先と同様、上に形成される領域の液晶化合物は、下の領域の液晶化合物における配向方向（長手方向）を踏襲する。

従って、このように、棒状液晶化合物 218 からなる領域と、円盤状液晶化合物 240 からなる領域を有する液晶層も、1つの液晶層の中では厚さ方向に連続的に液晶化合物が捩れ配向され、かつ、第 1 液晶層 232 と第 2 液晶層 234 との界面における液晶化合物の配向方向は平行になる。

[0062] なお、本発明においては、塗布法による直接的な液晶層（領域）の積層のみならず、シート状の液晶層を積層してOCA等で貼着したものでもよいのは、上述の通りである。

また、本発明においては、第 1 液晶層 232 と第 2 液晶層 234 とからなる液晶層組を、円盤状液晶化合物 240 と、棒状液晶化合物 218 とを含む

組成物を塗布し、一度に形成してもよい。

[0063] 本発明において、第1液晶層232及び第2液晶層234層が円盤状液晶化合物240からなる領域を有する場合に、用いる円盤状液晶化合物には、制限はなく、公知の各種のものが利用可能である。

円盤状液晶化合物としては、例えば、特開2007-108732号公報及び特開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、円盤状液晶化合物240は図4に示すように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は、円盤面に垂直な軸、いわゆる進相軸として定義される。

[0064] また、図4に示す第1液晶層232及び第2液晶層234層は、共に、棒状液晶化合物218からなる領域を1つと、円盤状液晶化合物240からなる領域を1つ、有するものであるが、本発明は、これに制限はされない。

すなわち、本発明において、第1液晶層及び第2液晶層が、棒状液晶化合物からなる領域及び円盤状液晶化合物からなる領域を有する場合には、1つの液晶層が、棒状液晶化合物からなる領域を、複数、有してもよく、及び／又は、円盤状液晶化合物からなる領域を、複数有してもよい。

[0065] 液晶偏光干渉素子246を構成する第1液晶層232及び第2液晶層234における液晶化合物の捩れ角度、及び、捩れ方向は、液晶偏光干渉素子246を斜めに切削して、その断面の表面における液晶の配向方向を分析することによって検出できる。この方法は、上述したYohei Takahashiらによる文献に詳述されている。

[0066] 本発明の光学要素において、第1液晶層及び第2液晶層は、赤外線吸収色素を含んでもよい。

第1液晶層及び第2液晶層が赤外線吸収色素を含むことにより、液晶層における液晶波長分散を強い順分散にできる。その結果、液晶偏光干渉素子が $\lambda/2$ 波長板として作用する光の波長域を狭くすることができる。すなわち

、第1液晶層及び第2液晶層に赤外線吸収色素を添加して、液晶層における液晶波長分散を強い順分散にすることにより、円偏光を逆の旋回方向の円偏光に変換する波長域がより狭帯域の光学要素を得ることができる。

[0067] 赤外線吸収色素としては、液晶化合物と同方向に配向されることにより、 x 方向と y 方向との屈折率の差を小さくできる赤外線吸収色素が、各種、利用可能である。

赤外線吸収色素は、赤外線（例えば、波長700～900nmの光）を吸収する色素であれば特に制限はされない。なかでも、赤外線吸収色素は二色性色素であるのが好ましい。なお、二色性色素とは、分子の長軸方向における吸光度と、短軸方向における吸光度とが異なる性質を有する色素をいう。

赤外線吸収色素としては、ジケトピロロピロール系色素、ジインモニウム系色素、フタロシアニン系色素、ナフタロシアニン系色素、アゾ系色素、ポリメチン系色素、アントラキノン系色素、ピリリウム系色素、スクアリリウム系色素、トリフェニルメタン系色素、シアニン系色素、及び、アミニウム系色素等を用いることができる。

また、赤外線吸収色素としては、金属錯体系色素、及び、ホウ素錯体系色素も用いることができる。

赤外線吸収色素に関しては、国際公開第2019/044859号に詳細に記載されている。

[0068] 第1液晶層及び第2液晶層における赤外線吸収色素の添加量には、制限はなく、光学要素に要求される円偏光を逆の旋回方向の円偏光に変換する波長域の広さ等に応じて、適宜、設定すればよい。

[0069] 本発明の光学要素において、第1液晶層及び第2液晶層は、液晶エラストマーを含んでもよい。

液晶エラストマーを含む第1液晶層及び第2液晶層は、液晶エラストマーを用いて液晶層を形成しても、エラストマーではない通常の液晶化合物で形成した液晶層が、液晶エラストマーを含むものでもよい。

[0070] このように、第1液晶層及び第2液晶層が液晶エラストマーを含むことに

より、第1液晶層及び第2液晶層が弾性を有するものにでき、光学要素を面方向に延伸又は収縮することにより、液晶層の厚さを変えることが可能になる。

液晶層の厚さを変えることで、液晶層の $\Delta n d$ を変えることができる。その結果、光学要素において、光学要素において円偏光を逆の旋回方向の円偏光に変換する光の波長域を変更することが可能になる。すなわち、第1液晶層及び第2液晶層が液晶エラストマーを含むことにより、液晶層すなわち光学要素の延伸及び収縮によって波長域を可変にして、光学要素において、アクティブな波長制御が可能になる。

[0071] 液晶エラストマーには、制限はなく、公知のものが、各種、利用可能である。

液晶エラストマーとしては、一例として特開2020-131638号公報に記載される、液晶モノマー、キラル剤、架橋剤、及び、可塑剤により調製される液晶エラストマーを用いることができる。これにより液晶エラストマーに機械的特性を付与しゴム弾性を持たせ、アクティブな波長制御に必要な外力に応じた変形が可能になる。

[0072] なお、第1液晶層及び第2液晶層をエラストマーではない通常の液晶化合物で形成して、液晶エラストマーを添加して弾性を付与する際には、液晶エラストマーの添加量には制限はなく、要求される弾性すなわち円偏光を逆の旋回方向の円偏光に変換する波長域の制御範囲に応じて、適宜、設定すればよい。

[0073] このような本発明の光学要素は、任意の波長において用いることができる。すなわち、本発明の光学要素は、紫外線、可視光、赤外線、テラヘルツ波、及び、ミリ波など任意の電磁波に利用可能である。

[0074] 以上、本発明の光学要素について詳細に説明したが、本発明は上述の例に限定はされず、本発明の要旨を逸脱しない範囲において、各種の改良や変更を行ってもよいのは、もちろんである。

[0075] [第1 $\lambda/4$ 板及び第2 $\lambda/4$ 板]

本発明の光学要素は、第1 $\lambda/4$ 板及び第2 $\lambda/4$ 板を有する。

上述したように、第1 $\lambda/4$ 板及び第2 $\lambda/4$ 板は、ある特定の波長の直線偏光を円偏光に（又は、円偏光を直線偏光に）変換する機能を有する板である。第1 $\lambda/4$ 板212及び第2 $\lambda/4$ 板214については、特に制限されず、公知の $\lambda/4$ 板を用いることができる。

第1 $\lambda/4$ 板212及び第2 $\lambda/4$ 板214の波長550 nmにおける面内レタレーション $R_e(550)$ は、100～200 nmが好ましく、120～160 nmがより好ましく、130～150 nmが更に好ましい。

[0076] $\lambda/4$ 板は、1層からなっているとしてもよく、2層以上からなっているとしてもよい。 $\lambda/4$ 板は、液晶化合物を含む層を有することが好ましい。 $\lambda/4$ 板が液晶化合物を含む層を有する場合、液晶化合物を含む層は、一方方向に水平配向した液晶化合物を固定してなる層であってもよく、厚さ方向に捩れ配向した液晶化合物を固定してなる層であってもよい。

また、 $\lambda/4$ 板は、 $\lambda/4$ の位相差を発生させる層と $\lambda/2$ の位相差を発生させる層とを積層してなるいわゆる広帯域 $\lambda/4$ 板であってもよい。

なかでも、第1 $\lambda/4$ 板212及び第2 $\lambda/4$ 板214の少なくとも一方が、厚さ方向に捩れ配向した液晶化合物を固定してなる液晶層A、及び、厚さ方向に捩れ配向した液晶化合物を固定してなる液晶層Bからなる積層体であることが好ましい。また、第1 $\lambda/4$ 板212及び第2 $\lambda/4$ 板214が、上記液晶層A及び上記液晶層Bからなる積層体であることがより好ましい。

また、第1 $\lambda/4$ 板212が、上記液晶層A及び上記液晶層Bからなる積層体である場合、第1 $\lambda/4$ 板212の第1液晶層220側の表面における液晶化合物の配向方向と、第1液晶層220の第1 $\lambda/4$ 板212側の表面における液晶化合物の配向方向とが平行であることが好ましい。

また、第2 $\lambda/4$ 板214が、上記液晶層A及び上記液晶層Bからなる積層体である場合、第2 $\lambda/4$ 板214の第2液晶層224側の表面における液晶化合物18の配向方向と、第2液晶層224の第2 $\lambda/4$ 板214側の

表面における液晶化合物の配向方向とが平行であることが好ましい。

以下、好ましい $\lambda/4$ 板の態様（第1の態様及び第2の態様）について説明する。

[0077] （第1の態様）

本発明の光学要素に好ましく用いられる $\lambda/4$ 板の第1の態様は、厚さ方向に振れ配向した液晶化合物を固定してなる液晶層A、及び、厚さ方向に振れ配向した液晶化合物を固定してなる液晶層Bからなる積層体である。

ここで、第1の態様においては、液晶層A中の液晶化合物の振れ方向と液晶層B中の液晶化合物の振れ方向が同じであり、液晶層A中の液晶化合物の振れ角が $26.5 \pm 10.0^\circ$ であり、液晶層B中の液晶化合物の振れ角が $78.6 \pm 10.0^\circ$ である。

また、液晶層Aの液晶層B側の表面での面内遅相軸と、液晶層Bの液晶層A側の表面での面内遅相軸とは平行である。

更に、波長 550 nm で測定した液晶層Aの屈折率異方性 Δn_A と液晶層Aの厚み d_A との積 $\Delta n_A \cdot d_A$ の値と、波長 550 nm で測定した液晶層Bの屈折率異方性 Δn_B と液晶層Bの厚み d_B との積 $\Delta n_B \cdot d_B$ の値とが、それぞれ下記式（A1）及び式（B1）を満足する。

$$\text{式（A1）} \quad 252\text{ nm} \leq \Delta n_A \cdot d_A \leq 312\text{ nm}$$

$$\text{式（B1）} \quad 110\text{ nm} \leq \Delta n_B \cdot d_B \leq 170\text{ nm}$$

[0078] 液晶層A中の液晶化合物の振れ角は、 $26.5 \pm 8.0^\circ$ が好ましく、 $26.5 \pm 6.0^\circ$ がより好ましい。

液晶層B中の液晶化合物の振れ角は、 $78.6 \pm 8.0^\circ$ が好ましく、 $78.6 \pm 6.0^\circ$ がより好ましい。

振れ角は、Axometrics社のAxoscan（ポラリメーター）装置を用い、同社の解析ソフトウェアを用いて測定できる。

[0079] また、上記 $\Delta n_A \cdot d_A$ の値及び $\Delta n_B \cdot d_B$ の値に関して、以下の式（A2）及び式（B2）を満足することが好ましい。

$$\text{式（A2）} \quad 262\text{ nm} \leq \Delta n_A \cdot d_A \leq 302\text{ nm}$$

$$\text{式 (B2)} \quad 120 \text{ nm} \leq \Delta n_B \cdot d_B \leq 160 \text{ nm}$$

$\Delta n_A \cdot d_A$ の値及び $\Delta n_B \cdot d_B$ は、捩れ角の測定方法と同様に、Axometrics社のAxoscan（ポラリメーター）装置を用い、同社の解析ソフトウェアを用いて測定できる。

[0080] 更に、上記 $\Delta n_A \cdot d_A$ の値及び $\Delta n_B \cdot d_B$ の値に関して、以下の式（A3）及び式（B3）を満足することがより好ましい。

$$\text{式 (A3)} \quad 272 \text{ nm} \leq \Delta n_A \cdot d_A \leq 292 \text{ nm}$$

$$\text{式 (B3)} \quad 130 \text{ nm} \leq \Delta n_B \cdot d_B \leq 150 \text{ nm}$$

[0081] 液晶層Aと液晶層Bとの間には、液晶化合物の配向方向を規制できる配向膜が配置されていてもよいが、液晶層Aと液晶層との密着性により優れる点で、液晶層Aと液晶層Bとの間に配向膜が配置されないことが好ましい。

[0082] 液晶層A及び液晶層Bの形成に用いられる液晶化合物の種類については、特に制限されない。液晶層A及び液晶層Bとしては、例えば、低分子液晶化合物を液晶状態においてネマチック配向に形成後、光架橋や熱架橋によって固定化して得られる液晶層、及び、高分子液晶化合物を液晶状態においてネマチック配向に形成後、冷却することによって当該配向を固定化して得られる液晶層を用いることもできる。

[0083] 一般的に、液晶化合物はその形状から、棒状タイプ（棒状液晶化合物）と円盤状タイプ（ディスコティック液晶化合物）に分類できる。更にそれぞれ低分子と高分子タイプがある。高分子とは一般に重合度が100以上のものを指す（高分子物理・相転移ダイナミクス，土井 正男 著，2頁，岩波書店，1992）。本発明では、いずれの液晶化合物を用いることもできるが、棒状液晶化合物又はディスコティック液晶化合物を用いるのが好ましい。2種以上の棒状液晶化合物、2種以上のディスコティック液晶化合物、又は棒状液晶化合物とディスコティック液晶化合物との混合物を用いてもよい。

なお、棒状液晶化合物としては、例えば、特表平11-513019号公報の請求項1や特開2005-289980号公報の段落[0026]～[0098]に記載のものを好ましく用いることができ、ディスコティック液

晶化合物としては、例えば、特開 2007-108732 号公報の段落 [0020] ~ [0067] や特開 2010-244038 号公報の段落 [0013] ~ [0108] に記載のものを好ましく用いることができるが、これらに限定されない。

液晶層 A 又は液晶層 B は、温度変化や湿度変化を小さくできることから、重合性基を有する棒状液晶化合物又はディスコティック液晶化合物を用いて形成することがより好ましい。液晶化合物は 2 種類以上の混合物でもよく、その場合少なくとも 1 つが 2 以上の重合性基を有していることが好ましい。

つまり、液晶層 A 又は液晶層 B は、重合性基を有する棒状液晶化合物又はディスコティック液晶化合物が重合等によって固定されて形成された層であることが好ましく、この場合、層となった後はもはや液晶性を示す必要はない。

ディスコティック液晶化合物及び棒状液晶化合物に含まれる重合性基の種類は特に制限されず、付加重合反応が可能な官能基が好ましく、重合性エチレン性不飽和基又は環重合性基が好ましい。より具体的には、(メタ)アクリロイル基、ビニル基、スチリル基、アリル基などが好ましく挙げられ、(メタ)アクリロイル基がより好ましい。

[0084] λ/4 板は、種々の方法で作製することができる。その一例は、以下の通りである。

まず、高分子フィルム及びガラス板等の支持体を用意し、その上に、必要に応じて配向膜を形成し、支持体表面又は配向膜表面に、重合性基を有する液晶化合物及び所望によりキラル剤等の添加剤を含む液晶層 A 形成用組成物を塗布して、塗膜を形成する。この塗膜を所望により加熱して、塗膜中の液晶化合物の分子を捩れ配向させ、その後、固化する温度まで冷却して、硬化処理（紫外線の照射（光照射処理）若しくは加熱処理）により重合を進行させて、その捩れ配向を固定し、旋光作用のある液晶層 A を得る。液晶組成物の塗布は後述の溶媒を含有した液晶組成物の塗布液を公知の方法（例えば、ワイヤーバーコーティング法、押し出しコーティング法、ダイレクトグラビ

アコーティング法、リバースグラビアコーティング法、ダイコーティング法）により実施できる。また、インクジェット装置を用いて吐出して形成してもよい。

次に、液晶層 A 上（又は、その上に必要に応じて形成した配向膜表面上）に、重合性基を有する液晶化合物及び所望によりキラル剤等の添加剤を含む液晶層 B 形成用組成物を塗布して、塗膜を形成する。その後、配向状態にある重合性基を有する液晶化合物に対して、硬化処理（加熱処理又は光照射処理）を施し、液晶層 B を形成する。

なお、液晶層 A は、図 1 に図示した液晶偏光干渉素子 216 上に直接塗布して形成してもよい。また、液晶層 B を液晶偏光干渉素子 216 上に直接塗布し、液晶層 B の液晶偏光干渉素子 216 側とは反対側の面に液晶層 A を形成してもよい。

このように液晶偏光干渉素子 216 上に直接塗布して液晶層 A を形成すると、液晶偏光干渉素子 216 の液晶層 A 側の表面の液晶化合物の配向方向と、液晶層 A の液晶偏光干渉素子 216 側の表面の液晶化合物の配向方向とが、平行となりやすい。また、液晶偏光干渉素子 216 上に直接塗布して液晶層 B を形成すると、液晶偏光干渉素子 216 の液晶層 B 側の表面の液晶化合物の配向方向と、液晶層 B の液晶偏光干渉素子 216 側の表面の液晶化合物の配向方向とが、平行となりやすい。

[0085] 配向（好ましくは垂直配向）させた液晶性化合物は、配向状態を維持して固定することが好ましい。固定化は、重合開始剤を用いて、液晶性化合物に導入した重合性基の重合反応により実施することが好ましい。重合反応には、熱重合開始剤を用いる熱重合反応と光重合開始剤を用いる光重合反応とが含まれる。光重合反応が好ましい。

重合開始剤の使用量は、組成物の固形分の 0.01～20 質量%であることが好ましく、0.5～5 質量%であることが更に好ましい。

[0086] 液晶層 A 及び液晶層 B を形成する際に、必要に応じて、上記液晶化合物とともに、所望によりキラル剤を使用してもよい。キラル剤は、液晶化

物を振れ配向させるために添加されるが、もちろん、液晶性化合物が、分子内に不斉炭素有する等、光学活性を示す化合物である場合は、キラル剤の添加は不要である。また、製造方法及び振れ角度によっては、キラル剤の添加は不要である。

キラル剤としては、併用する液晶化合物を相溶するものであれば、特に構造についての制限はない。公知のキラル剤（例えば、日本学術振興会第142委員会編「液晶デバイスハンドブック」，第3章4－3項，TN、STN用カイラル剤，199頁，1989年に記載）のいずれも用いることができる。キラル剤は、一般に不斉炭素原子を含むが、不斉炭素原子を含まない軸性不斉化合物あるいは面性不斉化合物もキラル剤として用いることができる。軸性不斉化合物又は面性不斉化合物の例には、ビナフチル、ヘリセン、パラシクロファン及びこれらの誘導体が挙げられる。また、キラル剤は、液晶性を有していてもよい。

[0087] 上記の液晶性化合物と共に、可塑剤、界面活性剤、重合性モノマー等を併用して、塗工膜の均一性、膜の強度、液晶性化合物の配向性等を向上させることができる。これらの素材は液晶性化合物と相溶性を有し、配向を阻害しないことが好ましい。

また、液晶化合物を水平配向、垂直配向状態とするために、水平配向、垂直配向を促進する添加剤（配向制御剤）を使用してもよい。添加剤としては各種公知のものを使用できる。

[0088] 重合性モノマーとしては、ラジカル重合性又はカチオン重合性の化合物が挙げられる。好ましくは、多官能性ラジカル重合性モノマーであり、上記の重合性基含有の液晶性化合物と共重合性のものが好ましい。例えば、特開2002-296423号公報明細書中の段落番号[0018]～[0020]記載のものが挙げられる。上記化合物の添加量は、液晶性分子に対して一般に1～50質量%の範囲にあり、5～30質量%の範囲にあることが好ましい。

[0089] 界面活性剤としては、従来公知の化合物が挙げられるが、特にフッ素系化

合物が好ましい。具体的には、例えば特開 2001-330725 号公報明細書中の段落番号 [0028] ~ [0056] 記載の化合物、特願 2003-295212 号明細書中の段落番号 [0069] ~ [0126] 記載の化合物が挙げられる。

- [0090] 液晶性化合物とともに使用するポリマーは、塗布液を増粘できることが好ましい。ポリマーの例としては、セルロースエステルを挙げることができる。セルロースエステルの好ましい例としては、特開 2000-155216 号公報明細書中の段落番号 [0178] 記載のものが挙げられる。液晶性化合物の配向を阻害しないように、上記ポリマーの添加量は、液晶性分子に対して 0.1 ~ 10 質量%の範囲にあることが好ましく、0.1 ~ 8 質量%の範囲にあることがより好ましい。

液晶性化合物のディスコティックネマティック液晶相-固相転移温度は、70 ~ 300℃が好ましく、70 ~ 170℃が更に好ましい。

- [0091] 組成物（塗布液）の調製に使用する溶媒としては、有機溶媒が好ましく用いられる。有機溶媒の例には、アミド（例、N, N-ジメチルホルムアミド）、スルホキシド（例、ジメチルスルホキシド）、ヘテロ環化合物（例、ピリジン）、炭化水素（例、ベンゼン、ヘキサン）、アルキルハライド（例、クロロホルム、ジクロロメタン）、エステル（例、酢酸メチル、酢酸エチル、酢酸ブチル）、ケトン（例、アセトン、メチルエチルケトン）、エーテル（例、テトラヒドロフラン、1, 2-ジメトキシエタン）が含まれる。アルキルハライド及びケトンが好ましい。二種類以上の有機溶媒を併用してもよい。

- [0092] 第 1 の態様では、配向膜の表面に液晶層 A 形成用組成物又は液晶層 B 形成用組成物を塗布して、液晶性化合物（例えば、ディスコティック液晶化合物）の分子を配向させてもよい。

配向膜は、有機化合物（好ましくはポリマー）のラビング処理、無機化合物の斜方蒸着、マイクログループを有する層の形成、あるいはラングミュア・ブロッジェット法（LB 膜）による有機化合物（例、ω-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、ステアリル酸メチル)の累積のような手段で設けることができる。更に、電場の付与、磁場の付与あるいは光照射(好ましくは偏光)により、配向機能が生じる配向膜も知られている。

配向膜は、ポリマーのラビング処理により形成することが好ましい。

[0093] ポリマーの例には、例えば、特開平8-338913号公報明細書中段落番号[0022]記載のメタクリレート系共重合体、スチレン系共重合体、ポリオレフィン、ポリビニルアルコール及び変性ポリビニルアルコール、ポリ(N-メチロールアクリルアミド)、ポリエステル、ポリイミド、酢酸ビニル共重合体、カルボキシメチルセルロース、ポリカーボネート等が含まれる。シランカップリング剤をポリマーとして用いることができる。水溶性ポリマー(例、ポリ(N-メチロールアクリルアミド)、カルボキシメチルセルロース、ゼラチン、ポリビニルアルコール、変性ポリビニルアルコール)が好ましく、ゼラチン、ポリビニルアルコール及び変性ポリビニルアルコールが更に好ましく、ポリビニルアルコール及び変性ポリビニルアルコールが最も好ましい。

[0094] 配向膜は、基本的に、配向膜形成材料である上記ポリマー及び任意の添加剤(例えば、架橋剤)を含む溶液を透明支持体上に塗布した後、加熱乾燥(架橋させ)し、ラビング処理することにより形成することができる。

ラビング処理は、LCDの液晶配向処理工程として広く採用されている処理方法を適用することができる。即ち、配向膜の表面を、紙やガーゼ、フェルト、ゴムあるいはナイロン、ポリエステル繊維などを用いて一定方向に擦ることにより、配向を得る方法を用いることができる。一般的には、長さ及び太さが均一な繊維を平均的に植毛した布などを用いて数回程度ラビングを行うことにより実施される。

[0095] 本発明の光学要素に好ましく用いられる $\lambda/4$ 板の第1の態様を用いる場合、液晶層Aが、光学積層体側に配置されることが好ましい。

[0096] (第2の態様)

本発明の光学要素に好ましく用いられる $\lambda/4$ 板の第2の態様は、厚さ方向に振れ配向した液晶化合物を固定してなる液晶層A、及び、厚さ方向に振れ配向した液晶化合物を固定してなる液晶層Bからなる積層体である。

ここで、第2の態様においては、液晶層A中の液晶化合物の振れ方向と液晶層B中の液晶化合物の振れ方向が同じであり、液晶層A中の液晶化合物の振れ角が $59.7 \pm 10.0^\circ$ であり、液晶層B中の液晶化合物の振れ角が $127.6 \pm 10.0^\circ$ である。

また、液晶層Aの液晶層B側の表面での面内遅相軸と、液晶層Bの液晶層A側の表面での面内遅相軸とは平行である。

更に、波長 550 nm で測定した液晶層Aの屈折率異方性 Δn_A と液晶層Aの厚み d_A との積 $\Delta n_A \cdot d_A$ の値と、波長 550 nm で測定した液晶層Bの屈折率異方性 Δn_B と液晶層Bの厚み d_B との積 $\Delta n_B \cdot d_B$ の値とが、それぞれ下記式(A4)及び式(B4)を満足する。

$$\text{式(A4)} \quad 111\text{ nm} \leq \Delta n_A \cdot d_A \leq 171\text{ nm}$$

$$\text{式(B4)} \quad 252\text{ nm} \leq \Delta n_B \cdot d_B \leq 312\text{ nm}$$

[0097] 液晶層A中の液晶化合物の振れ角は、 $59.7 \pm 8.0^\circ$ が好ましく、 $59.7 \pm 6.0^\circ$ がより好ましい。

液晶層B中の液晶化合物の振れ角は、 $127.6 \pm 8.0^\circ$ が好ましく、 $127.6 \pm 6.0^\circ$ がより好ましい。

振れ角は、Axometrics社のAxoscan（ポラリメーター）装置を用い、同社の解析ソフトウェアを用いて測定できる。

[0098] また、上記 $\Delta n_A \cdot d_A$ の値及び $\Delta n_B \cdot d_B$ の値に関して、以下の式(A5)及び式(B5)を満足することが好ましい。

$$\text{式(A5)} \quad 121\text{ nm} \leq \Delta n_A \cdot d_A \leq 161\text{ nm}$$

$$\text{式(B5)} \quad 262\text{ nm} \leq \Delta n_B \cdot d_B \leq 302\text{ nm}$$

$\Delta n_A \cdot d_A$ の値及び $\Delta n_B \cdot d_B$ は、振れ角の測定方法と同様に、Axometrics社のAxoscan（ポラリメーター）装置を用い、同社の解析ソフトウェアを用いて測定できる。

[0099] 更に、上記 $\Delta n_A \cdot d_A$ の値及び $\Delta n_B \cdot d_B$ の値に関して、以下の式（A 6）及び式（B 6）を満足することがより好ましい。

$$\text{式（A 6）} \quad 131 \text{ nm} \leq \Delta n_A \cdot d_A \leq 151 \text{ nm}$$

$$\text{式（B 6）} \quad 272 \text{ nm} \leq \Delta n_B \cdot d_B \leq 292 \text{ nm}$$

[0100] 液晶層 A と液晶層 B との間には、液晶化合物の配向方向を規制できる配向膜が配置されていてもよいが、液晶層 A と液晶層との密着性により優れる点で、液晶層 A と液晶層 B との間に配向膜が配置されないことが好ましい。

[0101] なお、液晶層 A 及び液晶層 B を構成する材料は、それぞれ上述した液晶層 A 及び液晶層 B を構成する材料が例示される。

また、液晶層 A 及び液晶層 B の製造方法は特に制限されず、上述した液晶層 A 及び液晶層 B の製造方法が例示される。

[0102] 本発明の光学要素に好ましく用いられる $\lambda/4$ 板の第 2 の態様を用いる場合、液晶層 A が、光学積層体側に配置されることが好ましい。

[0103] <光学素子>

本発明の光学素子は、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する、複数の光学異方性層と、複数の光学異方性層における、隣接する 2 枚の光学異方性層のうちの、少なくとも一对の間に配置される、上記本発明の光学要素を有する。

ここで、光学異方性層の液晶配向パターンにおいて、液晶化合物由来の光軸の向きが連続的に回転しながら変化する一方向における、液晶化合物由来の光軸の向きが 180° 回転する長さを 1 周期とした際に、少なくとも 1 層の光学異方性層は、他の光学異方性層と 1 周期の長さが異なる。

なお、上述したように、本発明の光学要素は、円偏光に対して、波長選択性位相差板として作用する。以下、本発明の光学要素のことを、「波長選択性位相差板」と呼称する場合がある。

[0104] 本発明の光学素子は、入射して透過する光の屈折角度の波長依存性が小さく、同じ方向から入射した異なる波長の光を、ほとんど同じ方向に出射でき

る。

[0105] 本発明の光学素子の一例を、図6に示す。

図6に示す光学素子10は、第1光学異方性部材12及び第2光学異方性部材14、並びに、第1光学異方性部材12と第2光学異方性部材14との間に配置される波長選択性位相差板18Gとを有する。

上述したように、本発明の光学素子は、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軸が回転する所定の液晶配向パターンを有する光学異方性層を、厚さ方向に配列したものである。第1光学異方性部材12は、支持体20、配向膜24A及び第1光学異方性層26A、を有する。また、第2光学異方性部材14は、支持体20、配向膜24B及び第2光学異方性層26B、を有する。

また、本発明の光学素子において、波長選択性位相差板は、上述したように、特定の波長域（第1波長領域）の円偏光を逆の旋回方向の円偏光に変換し、それ以外の第2波長領域の光は、そのまま透過（素抜け）するものである。図示例の光学素子10において、波長選択性位相差板18Gは、緑色光の円偏光の旋回方向を逆の旋回方向に変換し、それ以外の光は、同じ旋回方向の円偏光で透過する。

[0106] 図示は省略するが、第1光学異方性部材12と波長選択性位相差板18G、及び、波長選択性位相差板18Gと第2光学異方性部材14とは、層間に設けられた貼合層によって貼り合わされている。

なお、第1光学異方性部材12、波長選択性位相差板18G、及び、第2光学異方性部材14を積層して、枠体又は治具等で保持して、本発明の光学素子を構成してもよい。

また、本発明の光学素子は、図示例のように第1光学異方性部材12、波長選択性位相差板18G、及び、第2光学異方性部材14を密着して積層した構成に制限はされず、これらの部材の1以上を、離間した状態で配列した構成も、利用可能である。

[0107] また、図示例の光学素子10は、各光学異方性部材に支持体20を有して

いるが、本発明の光学素子は、光学異方性部材毎に支持体 20 を設けなくてもよい。

例えば、本発明の光学素子は、第 2 光学異方性部材 14（第 2 光学異方性層 26 B）の表面に波長選択性位相差板 18 G を形成し、その上に配向膜 24 A を形成し、その上に第 1 光学異方性層 26 A を形成した構成でもよい。

あるいは、上記構成から、第 2 光学異方性部材 14 の支持体 20 を剥離して、波長選択性位相差板、配向膜及び光学異方性層のみで、又は、配向膜も剥離して、波長選択性位相差板及び光学異方性層のみで、本発明の光学素子を構成してもよい。

[0108] すなわち、本発明の光学素子は、複数の光学異方性層を配列し、配列される光学異方性層の、隣接する 2 枚の光学異方性層のうちの少なくとも 1 対の間に波長選択性位相差板を有し、かつ、光学異方性層が、液晶化合物由来の光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、更に、少なくとも 1 層の光学異方性層の液晶配向パターンが、後述する 1 周期が異なるものであれば、各種の層構成が利用可能である。

[0109] [光学異方性部材]

本発明の光学素子 10 は、第 1 光学異方性部材 12 と第 2 光学異方性部材 14 との間に、波長選択性位相差板 18 G を設けたものである。

上述したように、第 1 光学異方性部材 12 は、支持体 20、配向膜 24 A 及び第 1 光学異方性層 26 A、を有する。また、第 2 光学異方性部材 14 は、支持体 20、配向膜 24 B 及び第 2 光学異方性層 26 B、を有する。

[0110] (支持体)

第 1 光学異方性部材 12 及び第 2 光学異方性部材 14 において、支持体 20 は、配向膜 24 A 及び配向膜 24 B、並びに、第 1 光学異方性層 26 A 及び第 2 光学異方性層 26 B を支持するものである。

以下の説明では、配向膜 24 A と配向膜 24 B とを区別する必要がない場合には、配向膜 24 A と配向膜 24 B とをまとめて『配向膜』とも言う。また、以下の説明では、第 1 光学異方性層 26 A と第 2 光学異方性層 26 B と

を区別する必要がない場合には、第1光学異方性層26Aと第2光学異方性層26Bとをまとめて『光学異方性層』ともいう。

[0111] 支持体20は、配向膜及び光学異方性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。

[0112] （配向膜）

第1光学異方性部材12において、支持体20の表面には配向膜24Aが形成される。第2光学異方性部材14において、支持体20の表面には配向膜24Bが形成される。

配向膜24Aは、第1光学異方性部材12の第1光学異方性層26A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。配向膜24Bは、第2光学異方性部材14の第2光学異方性層26B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。

[0113] 後述するが、本発明の光学素子10において、光学異方性層は、液晶化合物30に由来する光軸30A（図6参照）の向きが、面内の一方向（後述する矢印X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、各光学異方性部材の配向膜は、光学異方性層が、この液晶配向パターンを形成できるように、形成される。

なお、本発明の光学素子では、液晶配向パターンにおける、光軸30A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、光軸30Aの向きが 180° 回転する長さを1周期（光軸の回転周期）とした際に、少なくとも1層の光学異方性層は、他の光学異方性と液晶配向パターンの1周期の長さが異なる。図6に示す光学素子10では、第1光学異方性層26Aにおける液晶配向パターンの1周期（1周期 Λ_A ）は、第2光学異方性層26Bにおける液晶配向パターンの1周期（1周期 Λ_B ）よりも短い。

[0114] 以下の説明では、『光軸30Aの向きが回転』を単に『光軸30Aが回転』とも言う。

[0115] 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、並びに、 ω -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及びステアリン酸メチルなどの有機化合物のラングミュア・ブロジェット法によるLB (Langmuir-Blodgett: ラングミュア・ブロジェット) 膜を累積させた膜、等が例示される。

[0116] ラビング処理による配向膜は、ポリマー層の表面を紙又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、及び、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。

[0117] 本発明の光学素子10においては、配向膜は、光配向性の素材に偏光又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、本発明の光学素子10においては、配向膜として、支持体20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、垂直方向又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。

[0118] 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号公報及び特許第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号公報及び特開2002-317013号公報に記載の光配向性単位を有するマレイミ

ド及び／又はアルケニル置換ナジイミド化合物、特許第4205195号及び特許第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号公報及び特許第4162850号に記載の光架橋性ポリイミド、光架橋性ポリアミド及び光架橋性エステル、並びに、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号公報及び特開2014-12823号公報に記載の光二量化可能な化合物、特にシンナメート化合物、カルコン化合物及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、シンナメート化合物、及び、カルコン化合物は、好適に利用される。

[0119] 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、0.01～5 μm が好ましく、0.05～2 μm がより好ましい。

[0120] 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20の表面に塗布して乾燥させた後、配向膜をレーザ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。

[0121] 図17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。なお、図17に示す例では、一例として、第1光学異方性部材12の配向膜24Aの露光を例示しているが、第2光学異方性部材14の配向膜24Bも、同じ露光装置で同様に配向パターンを形成できる。

[0122] 図17に示す露光装置60は、レーザ62を備えた光源64と、レーザ62が出射したレーザ光Mの偏光方向を変える図示しない $\lambda/2$ 板と、レーザ62が出射し、図示しない $\lambda/2$ 板を通過したレーザ光Mを光線MA及びMBの2つに分離するビームスプリッター68と、分離された2つの光線MA

及びMBの光路上にそれぞれ配置されたミラー70A及び70Bと、 $\lambda/4$ 板72A及び72Bと、を備える。

なお、図示は省略するが、光源64は偏光板を備え、直線偏光 P_0 を出射する。 $\lambda/4$ 板72A及び72Bは、互いに直交する光学軸を備えている。 $\lambda/4$ 板72Aは、直線偏光 P_0 （光線MA）を右円偏光 P_R に、 $\lambda/4$ 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。

[0123] 配向パターンを形成される前の配向膜24Aを有する支持体20が露光部に配置され、2つの光線MAと光線MBとを配向膜24A上において交差させて干渉させ、その干渉光を配向膜24Aに照射して露光する。

この際の干渉により、配向膜24A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、配向膜24Aにおいて、配向状態が周期的に変化する配向パターンが得られる。

露光装置60においては、2つの光線MA及びMBの交差角 α 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 α を調節することにより、液晶化合物30に由来する光軸30A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、光軸30Aが回転する1方向における、光軸30Aが 180° 回転する1周期の長さ（1周期 Λ ）を調節できる。

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上に、光学異方性層を形成することにより、後述するように、液晶化合物30に由来する光軸30Aが一方向に向かって連続的に回転する液晶配向パターンを有する、第1光学異方性層26Aを形成できる。

また、 $\lambda/4$ 板72A及び72Bの光学軸を各々 90° 回転することにより、光軸30Aの回転方向を逆にすることができる。

[0124] なお、本発明の光学素子において、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20をラビング処理する方法、支持体20をレーザ光等で加工する方法等によって、支持体20に配向パターンを形成することにより

、第1光学異方性層26A等が、液晶化合物30に由来する光軸30A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。

[0125] <<光学異方性層>>

第1光学異方性部材12において、配向膜24Aの表面には、第1光学異方性層26Aが形成される。第2光学異方性部材14において、配向膜24Bの表面には、第2光学異方性層26Bが形成される。

なお、図6（及び、後述する図9～図11）においては、図面を簡略化して光学素子10の構成を明確に示すために、第1光学異方性層26A及び第2光学異方性層26Bは、共に、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、第1光学異方性層26A及び第2光学異方性層26Bは、図7に第1光学異方性層26Aを例示して概念的に示すように、通常の液晶化合物を含む組成物を用いて形成された光学異方性層と同様に、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。

[0126] 上述したように、本発明の光学素子10において、光学異方性層（第1光学異方性層26A及び第2光学異方性層26B）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。

光学異方性層は、面内レタレーションの値を $\lambda/2$ に設定した場合に、一般的な $\lambda/2$ 板としての機能、すなわち、光学異方性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。

[0127] 光学異方性層は、光学異方性層の面内において、液晶化合物に由来する光軸の向きが、矢印X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30に由来する光軸30Aとは、液晶化合物30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30が棒状液晶化合物である場合には、光軸30Aは、棒形状の長軸方向に沿っている。

以下の説明では、『矢印Xで示す一方向』を単に『矢印X方向』とも言う。また、以下の説明では、液晶化合物30に由来する光軸30Aを、『液晶化合物30の光軸30A』又は『光軸30A』とも言う。

光学異方性層において、液晶化合物30は、それぞれ、光学異方性層において、矢印X方向と、この矢印X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6、図7、後述する図9～図11では、Y方向は、紙面に直交する方向となる。

[0128] 図8に、第1光学異方性層26Aの平面図を概念的に示す。

なお、平面図とは、図6において、光学素子10を上方から見た図であり、すなわち、光学素子10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、第1光学異方性層26Aを主面と直交する方向から見た図である。

また、図8では、本発明の光学素子10の構成を明確に示すために、図3と同様、液晶化合物30は配向膜24Aの表面の液晶化合物30のみを示している。しかしながら、第1光学異方性層26Aは、厚さ方向には、図7に示されるように、この配向膜24Aの表面の液晶化合物30から、液晶化合物30が積み重ねられた構造を有するのは、前述の通りである。

[0129] なお、図8では、第1光学異方性層26Aを代表例として説明するが、第2光学異方性層26Bも、後述する液晶配向パターンの1周期の長さ（1周期Λ）が異なる以外は、基本的に、同様の構成及び作用効果を有する。

なお、光軸30Aの向きの回転方向は、第1光学異方性層26Aと第2光学異方性層26Bとで、逆方向である。すなわち、第1光学異方性層26Aにおける光軸30Aの向きの回転が時計回りである場合には、第2光学異方性層における光軸30Aの向きの回転は反時計回りである。

[0130] 第1光学異方性層26Aは、第1光学異方性層26Aの面内において、液晶化合物30に由来する光軸30Aの向きが、矢印X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30の光軸30Aの向きが矢印X方向（所定の一方方向）に連続

的に回転しながら変化しているとは、具体的には、矢印X方向に沿って配列されている液晶化合物30の光軸30Aと、矢印X方向とが成す角度が、矢印X方向の位置によって異なっており、矢印X方向に沿って、光軸30Aと矢印X方向とが成す角度が θ から $\theta + 180^\circ$ あるいは $\theta - 180^\circ$ まで、順次、変化していることを意味する。

なお、矢印X方向に互いに隣接する液晶化合物30の光軸30Aの角度の差は、 45° 以下であることが好ましく、 15° 以下であることがより好ましく、より小さい角度であることが更に好ましい。

[0131] 一方、第1光学異方性層26Aを形成する液晶化合物30は、矢印X方向と直交するY方向、すなわち光軸30Aが連続的に回転する一方向と直交するY方向では、光軸30Aの向きが等しい液晶化合物30が等間隔で配列されている。

言い換えれば、第1光学異方性層26Aを形成する液晶化合物30において、Y方向に配列される液晶化合物30同士では、光軸30Aの向きと矢印X方向とが成す角度が等しい。

[0132] 本発明の光学素子10においては、このような液晶化合物30の液晶配向パターンにおいて、面内で光軸30Aの向きが連続的に回転して変化する矢印X方向において、液晶化合物30の光軸30Aが 180° 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 Λ 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30の光軸30Aと矢印X方向とのなす角度が θ から $\theta + 180^\circ$ となるまでの距離により定義される。

すなわち、矢印X方向に対する角度が等しい2つの液晶化合物30の、矢印X方向の中心間の距離を、1周期の長さ Λ とする。具体的には、図8に示すように、矢印X方向と光軸30Aの方向とが一致する2つの液晶化合物30の、矢印X方向の中心間の距離を、1周期の長さ Λ とする。以下の説明では、この1周期の長さ Λ を『1周期 Λ 』とも言う。

また、以下の説明では、各光学異方性層における1周期 Λ を識別するため

に、第1光学異方性層26Aにおける1周期 Λ を『 Λ_A 』、第2光学異方性層26Bにおける1周期 Λ を『 Λ_B 』とも言う。

本発明の光学素子10において、光学異方性層の液晶配向パターンは、この1周期 Λ を、矢印X方向すなわち光軸30Aの向きが連続的に回転して変化する一方向に繰り返す。

[0133] 上述したように光学異方性層において、Y方向に配列される液晶化合物は、光軸30Aと矢印X方向（液晶化合物30の光軸の向きが回転する1方向）とが成す角度が等しい。この光軸30Aと矢印X方向とが成す角度が等しい液晶化合物30が、Y方向に配置された領域を、領域Rとする。

この場合に、それぞれの領域Rにおける面内レタデーション（ R_e ）の値は、半波長すなわち $\lambda/2$ であることが好ましい。これらの面内レタデーションは、領域Rの屈折率異方性に伴う屈折率差 Δn と光学異方性層の厚さとの積により算出される。ここで、光学異方性層における領域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 Δn は、光軸30Aの方向の液晶化合物30の屈折率と、領域Rの面内において光軸30Aに垂直な方向の液晶化合物30の屈折率との差に等しい。つまり、上記屈折率差 Δn は、液晶化合物の屈折率差に等しい。

[0134] このような光学異方性層（第1光学異方性層26A及び第2光学異方性層26B）に円偏光が入射すると、光は、屈折され、かつ、円偏光の方向が変換される。

この作用を、図9に第1光学異方性層26Aを例示して概念的に示す。なお、第1光学異方性層26Aは、液晶化合物の屈折率差と光学異方性層の厚さとの積の値が $\lambda/2$ であるとする。

図9に示すように、第1光学異方性層26Aの液晶化合物の屈折率差と光学異方性層の厚さとの積の値が $\lambda/2$ の場合に、第1光学異方性層26A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、第1光学異方性層2

6 A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。

[0135] 一方、図10に概念的に示すように、第1光学異方性層26Aの液晶化合物の屈折率差と光学異方性層の厚さとの積の値が $\lambda/2$ のとき、第1光学異方性層26Aに右円偏光の入射光 L_4 が入射すると、入射光 L_4 は、第1光学異方性層26A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。

[0136] 第1光学異方性層26Aにおいて、複数の領域Rの面内レタレーションの値は、半波長であることが好ましいが、波長が 550 nm である入射光に対する第1光学異方性層26Aの複数の領域Rの面内レタレーション $Re(550) = \Delta n_{550} \times d$ が下記式(1)に規定される範囲内であることが好ましい。ここで、 Δn_{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、第1光学異方性層26Aの厚さである。

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

すなわち、第1光学異方性層26Aの複数の領域Rの面内レタレーション $Re(550) = \Delta n_{550} \times d$ が式(1)を満たしていれば、第1光学異方性層26Aに入射した光の十分な量の円偏光成分を、矢印X方向に対して順方向又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 $Re(550) = \Delta n_{550} \times d$ は、 $225\text{ nm} \leq \Delta n_{550} \times d \leq 340\text{ nm}$ がより好ましく、 $250\text{ nm} \leq \Delta n_{550} \times d \leq 330\text{ nm}$ が更に好ましい。

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 $\lambda\text{ nm}$ である入射光に対する光学異方性層の複数の領域Rの面内レタレーション $Re(\lambda) = \Delta n_\lambda \times d$ は下記式(1-2)に規定される範囲内であることが好ましく、適宜設定することができる。

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

[0137] また、第1光学異方性層26Aにおける、複数の領域Rの面内レタデーシ

ヨンの値は、上記式（１）の範囲外で用いることもできる。具体的には、 $\Delta n_{550} \times d < 200 \text{ nm}$ 又は $350 \text{ nm} < \Delta n_{550} \times d$ 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。 $\Delta n_{550} \times d$ が 0 nm 又は 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。

[0138] 更に、波長が 450 nm の入射光に対する第１光学異方性層２６Ａの領域Ｒのそれぞれの面内レタレーション $R_e(450) = \Delta n_{450} \times d$ と、波長が 550 nm の入射光に対する第１光学異方性層２６Ａの領域Ｒのそれぞれの面内レタレーション $R_e(550) = \Delta n_{550} \times d$ は、下記式（２）を満たすことが好ましい。ここで、 Δn_{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。

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

式（２）は、第１光学異方性層２６Ａに含まれる液晶化合物３０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、第１光学異方性層２６Ａは、広帯域の波長の入射光に対応できる。

[0139] ここで、第１光学異方性層２６Ａに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 及び L_5 の屈折の角度を調節できる。具体的には、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３０を通過した光同士が強く干渉するため、透過光 L_2 及び L_5 を大きく屈折させることができる。

また、入射光 L_1 及び L_4 に対する透過光 L_2 及び L_5 の屈折の角度は、入射光 L_1 及び L_4 （透過光 L_2 及び L_5 ）の波長によって異なる。具体的には、入射光の波長が長いほど、透過光は大きく屈折する。すなわち、入射光が赤色光、緑色光及び青色光である場合には、赤色光が最も大きく屈折し、青色光の屈折が最も小さい。

更に、矢印 X 方向に沿って回転する、液晶化合物３０の光軸３０Ａ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。

[0140] 光学異方性層は、棒状液晶化合物又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軸又は円盤状液晶化合物の光軸が、上記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20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光学異方性層を得ることができる。なお、いわゆる $\lambda/2$ 板として機能するのは光学異方性層であるが、本発明は、支持体20及び配向膜を一体的に備えた積層体が $\lambda/2$ 板として機能する態様を含む。

また、光学異方性層を形成するための液晶組成物は、棒状液晶化合物又は円盤状液晶化合物を含有し、更に、レベリング剤、配向制御剤、重合開始剤及び配向助剤などのその他の成分を含有していてもよい。

[0141] また、光学異方性層は、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、液晶組成物に捩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光学異方性層を実質的に広帯域にすることも好ましい。例えば、光学異方性層において、捩れ方向が異なる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 $\lambda/2$ 板を実現する方法が特開2014-089476号公報等々に示されており、本発明において好ましく使用することができる。

[0142] ー棒状液晶化合物ー

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、トラン類及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。

[0143] 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、及び、特願2001-64627号公報などに記載の化合物を用いることができる。更に棒状液晶化合物としては、例えば、特表平11-513019号公報及び特開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。

[0144] ー円盤状液晶化合物ー

円盤状液晶化合物としては、例えば、特開2007-108732号公報及び特開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、光学異方性層に円盤状液晶化合物を用いた場合には、光学異方性層において、液晶化合物30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軸30Aは、円盤面に垂直な軸、いわゆる進相軸として定義される（図20参照）。

[0145] [波長選択性位相差板]

本発明の光学素子10は、第1光学異方性部材12と第2光学異方性部材14との間に、波長選択性位相差板18Gを設けたものである。

本発明の光学素子において、波長選択性位相差板とは、特定の波長域の円偏光を、逆の旋回方向の円偏光に変換する部材である。

図示例の光学素子において、波長選択性位相差板18Gは、緑色光の円偏光を選択的に逆の旋回方向の円偏光に変換するものであり、緑色光の右円偏光を緑色光の左円偏光に変換し、また、緑色光の左円偏光を緑色光の右円偏光に変換し、それ以外の光は、旋回方向を保って透過（素抜け）させる。

[0146] 言い換えれば、波長選択性位相差板とは、特定の波長域のみ位相を π ずらすものである。このような波長選択性位相差板は、例えば、特定の波長域のみに作用する $\lambda/2$ 板と言うこともできる。

波長選択性位相差板（光学要素）については、上記に説明した通りである。

[0147] [光学素子の作用]

上述したように、液晶化合物を含む組成物を用いて形成された、光軸30Aの方向が矢印X方向に沿って回転する液晶配向パターンを有する光学異方性層は、円偏光を屈折させるが、屈折の角度は、光の波長によって異なる。具体的には、長波長の光ほど、屈折の角度が大きい。従って、例えば、入射光が赤色光、緑色光及び青色光である場合には、赤色光が最も大きく屈折し、青色光の屈折が最も小さい。

そのため、例えば、ARガラスの導光板において、導光板への光の入射及び出射のための回折素子として、光軸30Aの向きが回転する上述の液晶配向パターンを有する光学異方性層による光学素子を用いた場合には、フルカラー画像では、赤色光と緑色光と青色光とで透過方向が異なってしまう、赤色画像と緑色画像と青色画像とが一致しない、いわゆる色ズレを有する画像が観察されてしまう。

ここで、例えば、Bernard C. Kress et al., Towards the Ultimate Mixed Reality Experience: HoloLens Display Architecture Choices, SID 2017 DIGEST, pp.127-131に記載されるように、赤色画像、緑色画像及び青色画像のそれぞれに対応して導光板を設け、3枚の導光板を積層した構成とすることで、色ズレは解消できる。しかしながら、この構成では、全体として導光板が厚く、かつ、重くなってしまう、更に、構成も複雑になってしまう。

[0148] これに対し、本発明の光学素子は、複数の光学異方性層を配列し、配列される光学異方性層の内の、隣接する2枚の光学異方性層の少なくとも1対の間に、波長選択性位相差板を有し、更に、光学異方性層が、液晶化合物由来の光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、かつ、

少なくとも1層の光学異方性層の液晶配向パターンの1周期が、他の光学異方性層とは異なる。

このような本発明の光学素子によれば、光の屈折角度の波長依存性を大幅に低減して、波長の異なる光を、ほぼ同じ方向に屈折して透過・出射できる。そのため、本発明の光学素子（一例として後述する光学素子32）を、例えば、ARガラスにおいて、導光板に光を入射させる回折素子及び／又は導光板から光を出射させる回折素子として用いることにより、1枚の導光板で、色ズレを生じることなく、赤色画像、緑色画像及び青色画像を伝播して、適正な画像を表示者に表示できる。

[0149] 以下、図11及び図12の概念図を参照して、光学素子10の作用を詳細に説明する。

なお、本発明の光学素子において、光学的な作用を発現するのは、基本的に、光学異方性層及び波長選択性位相差板のみである。そのため、図面を簡略化して、構成及び作用効果を明確に示すために、図11（及び、後述する図12）では、第1光学異方性部材12及び第2光学異方性部材14は、共に、第1光学異方性層26A及び第2光学異方性層26Bのみを示し、かつ、図示した部材は配列方向に離間して示す。

[0150] 上述したように、光学素子10は、第1光学異方性層26Aを有する第1光学異方性部材12と、第2光学異方性層26Bを有する第2光学異方性部材14との間に、緑色光の円偏光の旋回方向を逆方向に変換する波長選択性位相差板18Gを設けたものである。

光学素子10は、一例として、青色光の円偏光及び緑色光の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11では、入射光を右円偏光としているが、入射光が左円偏光でも、屈折の方向が逆になるだけで、作用効果は同じである。

[0151] 光学素子10において、緑色光の右円偏光 G_R 及び青色光の右円偏光 B_R （図10の入射光 L_4 参照）が第1光学異方性層26Aに入射すると、上述したように、入射方向に対して矢印X方向とは逆方向に所定角度、屈折され、か

つ、緑色光の左円偏光 G_{1L} 及び青色光の左円偏光 B_{1L} (図 10 の透過光 L_5 参照) に変換される。

ここで、上述したように、第 1 光学異方性層 26 A による屈折の角度は、波長の長い緑色光の方が大きいので、図 12 に示すように、入射光に対する屈折の角度は、緑色光 (G) の角度 θ_{G1} の方が青色光 (B) の角度 θ_{B1} よりも大きい。また、光学異方性層の 1 周期 Λ は、第 1 光学異方性層 26 A の 1 周期 Λ_A の方が短いので、各光の屈折の角度は、第 2 光学異方性層 26 B を透過した際よりも大きい。

[0152] 第 1 光学異方性層 26 A を透過した緑色光の左円偏光 G_{1L} 及び青色光の左円偏光 B_{1L} は、次いで、波長選択性位相差板 18 G に入射する。

上述したように、波長選択性位相差板 18 G は、緑色光の円偏光のみ、逆の旋回方向の円偏光に変換して、他の光は、旋回方向を保って透過 (素抜け) するものである。

従って、緑色光の左円偏光 G_{1L} 及び青色光の左円偏光 B_{1L} が、波長選択性位相差板 18 G に入射して、透過すると、青色光の左円偏光 B_{1L} は、そのまま透過する。これに対して、緑色光の左円偏光 G_{1L} は、緑色光の右円偏光 G_{1R} に変換される。

[0153] 波長選択性位相差板 18 G を透過した緑色光の右円偏光 G_{1R} 及び青色光の左円偏光 B_{1L} は、次いで、第 2 光学異方性層 26 B に入射する。

第 2 光学異方性層 26 B に入射した緑色光の右円偏光 G_{1R} 及び青色光の左円偏光 B_{1L} は、同様に、屈折され、また、円偏光を逆の旋回方向の円偏光に変換され、緑色光の左円偏光 G_{2L} 及び青色光の右円偏光 B_{2R} となって、出射される。

[0154] ここで、第 2 光学異方性層 26 B に入射する緑色光の右円偏光 G_{1R} と青色光の左円偏光 B_{1L} とは、円偏光の旋回方向が逆である。また、第 1 光学異方性層 26 A と第 2 光学異方性層 26 B とは、上述したように、液晶化合物 30 の光軸 30 A の回転方向は逆である。

そのため、図 11 及び図 12 に示すように、青色光の左円偏光 B_{2L} は、更

に、矢印X方向とは逆方向に屈折され、図12の左側に示すように、入射光（青色光の右円偏光 B_R ）に対して、角度 θ_{B2} で出射される。

これに対し、緑色光の右円偏光 G_{1R} は、青色光とは円偏光の旋回方向が逆である。そのため図12の右側に示すように、第2光学異方性層26Bでは、第1光学異方性層26Aとは逆に、屈折を戻されるように矢印Xに方向に屈折される。その結果、緑色光の左円偏光 G_{2L} は、入射光（緑色光の右円偏光 G_R ）に対して、最初の角度 θ_{G1} よりも小さく、青色光の左円偏光 B_{2L} の角度 θ_{B2} と殆ど同じ、角度 θ_{G2} で出射される。

[0155] このように、本発明の光学素子10では、波長が長く、光学異方性層による屈折が大きい緑色光は、第1光学異方性層26Aで矢印X方向と逆方向に屈折させた後、第2光学異方性層26Bによって、屈折を戻すように矢印X方向に屈折させる。これに対して、波長が短く、光学異方性層による屈折が小さい青色光は、第1光学異方性層26A及び第2光学異方性層26Bによって、共に矢印X方向と逆方向に屈折させる。

すなわち、光学素子10では、波長に起因する光学異方性層による屈折の大きさに応じて、屈折が大きい長波長の光は、最初に屈折させた後に、2回目では、逆方向に屈折させて屈折を戻す。これに対して、屈折が小さい短波長の光は、2回目も、1回目と同方向に屈折させる。これにより、入射光に対する、緑色光の屈折の角度 θ_{G2} と、青色光の屈折の角度 θ_{B2} とを、極めて近い角度にできる。

そのため、本発明の光学素子10によれば、入射した青色光と緑色光とを、ほぼ同様の角度で屈折して、ほぼ同じ方向に出射できる。

[0156] 上述したように、第1光学異方性層26A及び第2光学異方性層26Bによる屈折の光の角度は、光の波長が長いほど大きい。

また、第1光学異方性層26A及び第2光学異方性層26Bによる屈折の光の角度は、液晶配向パターンにおいて矢印X方向に沿って光軸30Aの向きが 180° 回転する1周期 Λ が短いほど大きい。光学素子10では、一例として、図6にも示すように、第1光学異方性層26Aにおける液晶配向パ

ターンの1周期 Λ_A が、第2光学異方性層26Bにおける液晶配向パターンの1周期 Λ_B よりも短い。すなわち、光入射側の第1光学異方性層26Aの方が、大きく光を屈折させる。

従って、対象とする光の波長に対して、液晶配向パターンの1周期 Λ を調節することで、好適に、異なる波長の光の出射方向を同一方向にできる。

[0157] 図示例の光学素子10のように、2種の波長域の光を対象にする場合には、長波長の光の設計波長を λ_a 、短波長の光の設計波長を λ_b とし($\lambda_a > \lambda_b$)、1層目の光学異方性層における液晶配向パターンの1周期を Λ_1 、2層目の光学異方性層における液晶配向パターンの1周期を Λ_2 とした場合に、下記の式

$$\Lambda_2 = [(\lambda_a + \lambda_b) / (\lambda_a - \lambda_b)] \Lambda_1$$

を満たす場合に、2種の波長域の光の出射方向を、ほぼ同方向にできる。なお、この式においては、第1光学異方性層26A及び第2光学異方性層26Bの、いずれを1層目にしてもよい。

この点を考慮すると、本発明においては、2種の波長(波長域)の光を対象とする光学素子10においては、下記の式を満たすことが好ましい。

$$0.6 * \{ [(\lambda_a + \lambda_b) / (\lambda_a - \lambda_b)] \Lambda_1 \} \leq \Lambda_2 \\ \leq 3.0 * \{ [(\lambda_a + \lambda_b) / (\lambda_a - \lambda_b)] \Lambda_1 \}$$

これにより、屈折の波長依存性を極めて小さくして、2種の波長域の光の出射方向を、ほぼ同方向にできる。

また、本発明において、2種の波長(波長域)の光を対象とする光学素子10は、下記の式を満たすことがより好ましく、

$$0.7 * \{ [(\lambda_a + \lambda_b) / (\lambda_a - \lambda_b)] \Lambda_1 \} \leq \Lambda_2 \\ \leq 1.8 * \{ [(\lambda_a + \lambda_b) / (\lambda_a - \lambda_b)] \Lambda_1 \}$$

下記の式を満たすことが更に好ましく、

$$0.8 * \{ [(\lambda_a + \lambda_b) / (\lambda_a - \lambda_b)] \Lambda_1 \} \leq \Lambda_2 \\ \leq 1.3 * \{ [(\lambda_a + \lambda_b) / (\lambda_a - \lambda_b)] \Lambda_1 \}$$

下記の式を満たすことが特に好ましい。

$$0.9 * \{ [(\lambda a + \lambda b) / (\lambda a - \lambda b)] \wedge_1 \} \leq \wedge_2$$

$$\leq 1.15 * \{ [(\lambda a + \lambda b) / (\lambda a - \lambda b)] \wedge_1 \}$$

[0158] <光学素子の第2の態様>

上述した光学素子10は、緑色光及び青色光という2種の波長域（設計波長）の光を対象とするものであるが、本発明の光学素子は、これに限定はされず、3種あるいはそれ以上の種類の波長域の光を対象として、入射光を屈折させて出射してもよい。

[0159] 図13に、その一例を示す。

なお、図13に示す光学素子32は、図6に示す光学素子10と同じ部材を多用するので、同じ部材には同じ符号を付し、以下の説明は、異なる部位を主に行う。

図13に示す光学素子32は、前述の光学素子10の第1光学異方性部材12、第2光学異方性部材14及び波長選択性位相差板18Gに加え、第3光学異方性部材16及び波長選択性位相差板18Rを有する。

[0160] 第3光学異方性部材16は、第1光学異方性部材12等と同様の構成を有するものであり、支持体20と、配向膜24Cと、第3光学異方性層26Cとを有する。配向膜24C及び第3光学異方性層26Cは、1周期 Λ が異なる以外は、前述の配向膜24A及び第1光学異方性層26Aと、同様のものである。

また、波長選択性位相差板18Rは、赤色光の円偏光を選択的に逆の旋回方向の円偏光に変換するものであり、赤色光の右円偏光を赤色光の左円偏光に変換し、また、赤色光の左円偏光を赤色光の右円偏光に変換し、それ以外の光は、そのまま透過させる。

[0161] 光学素子32においては、第1光学異方性層26Aと第3光学異方性層26Cとが、矢印X方向に沿った液晶化合物30の光軸30Aの回転方向が等しく、第2光学異方性層26Bは、矢印X方向に沿った液晶化合物30の光軸30Aの回転方向が他の2層の光学異方性層とは逆である。

また、光学素子32は、液晶配向パターンにおいて液晶化合物30の光軸

30Aが 180° 回転する矢印X方向の長さ1周期 Λ は、第1光学異方性層26Aの1周期 Λ_A が最も短く、第2光学異方性層26Bの1周期 Λ_B が最も長い。光学素子32は、第1光学異方性部材12側を、光入射側にする。すなわち、光学素子32においては、光入射側の第1光学異方性層26Aが、最も、大きく光を屈折させる。

更に、光学素子32は、第1光学異方性部材12（第1光学異方性層26A）と第2光学異方性部材14（第2光学異方性層26B）との間に、赤色光の円偏光の旋回方向を選択的に変換する波長選択性位相差板18Rを配置する。また、光学素子32は、第2光学異方性部材14と第3光学異方性部材16（第3光学異方性層26C）との間に、緑色光の円偏光の旋回方向を選択的に変換する波長選択性位相差板18Gを配置する。

[0162] 以下、図14及び図15を参照して、光学素子32の作用を詳細に説明する。

光学素子10は、一例として、赤色光の円偏光、緑色光の円偏光及び青色光の円偏光を対象として、入射光を所定方向に屈折して透過させる。なお、上述の図11と同様、図14では、入射光を右円偏光としているが、入射光が左円偏光でも、屈折の方向が逆になるだけで、作用効果は同じである。

[0163] 光学素子10において、赤色光の右円偏光 R_R 、緑色光の右円偏光 G_R 及び青色光の右円偏光 B_R （図10の入射光 L_4 参照）が第1光学異方性層26Aに入射すると、前述のように、入射方向に対して矢印X方向とは逆方向に、所定角度、屈折され、かつ、赤色光の左円偏光 R_{1L} 、緑色光の左円偏光 G_{1L} 及び青色光の左円偏光 B_{1L} （図10の透過光 L_5 参照）に変換される。

ここで、前述のように、第1光学異方性層26Aによる屈折の角度は、波長が最も長い赤色光が最も大きく、波長が最も短い青色光が最も小さい。従って、入射光に対する屈折の角度は、図15に示すように、赤色光（R）の角度 θ_{R1} が最も大きく、緑色光（G）の角度 θ_{G1} が中間で、青色光（B）の角度 θ_{B1} が最も小さい。なお、光学異方性層の1周期 Λ は、第1光学異方性層26Aの1周期 Λ_A が最も短いので、各光の屈折の角度は、第1光学異方性

層 2 6 A を透過した際が最も大きい。

[0164] 第 1 光学異方性層 2 6 A を透過した赤色光の左円偏光 R_{1L} 、緑色光の左円偏光 G_{1L} 及び青色光の左円偏光 B_{1L} は、次いで、波長選択性位相差板 1 8 R に入射する。

前述のように、波長選択性位相差板 1 8 R は、赤色光の円偏光のみ、逆の旋回方向の円偏光に変換して、他の光は、そのまま透過（素抜け）するものである。

従って、赤色光の左円偏光 R_{1L} 、緑色光の左円偏光 G_{1L} 及び青色光の左円偏光 B_{1L} が、波長選択性位相差板 1 8 R に入射して、透過すると、緑色光の左円偏光 G_{1L} 及び青色光の左円偏光 B_{1L} は、そのまま透過する。これに対して、赤色光の左円偏光 R_{1L} は、赤色光の右円偏光 R_{1R} に変換される。

[0165] 波長選択性位相差板 1 8 R を透過した赤色光の右円偏光 R_{1R} 、緑色光の左円偏光 G_{1L} 及び青色光の左円偏光 B_{1L} は、次いで、第 2 光学異方性層 2 6 B に入射する。

第 2 光学異方性層 2 6 B に入射した赤色光の右円偏光 R_{1R} 、緑色光の左円偏光 G_{1L} 及び青色光の左円偏光 B_{1L} は、同様に、屈折され、また、円偏光を逆の旋回方向の円偏光に変換され、赤色光の左円偏光 R_{2L} 、緑色光の右円偏光 G_{2R} 及び青色光の右円偏光 B_{2R} となって、出射される。

[0166] ここで、第 2 光学異方性層 2 6 B に入射する緑色光及び青色光は、共に、左円偏光である。これに対して、第 2 光学異方性層 2 6 B に入射する赤色光は、波長選択性位相差板 1 8 R によって円偏光の方向を変換された、緑色光及び青色光とは円偏光の方向が異なる右円偏光である。

また、第 1 光学異方性層 2 6 A と第 2 光学異方性層 2 6 B とは、前述のように、液晶化合物 3 0 の光軸 3 0 A の回転方向は逆である。

そのため、図 1 4 及び図 1 5 に示すように、第 2 光学異方性層 2 6 B に入射した緑色光の左円偏光 G_{2L} 及び青色光の左円偏光 B_{2L} は、更に、矢印 X 方向とは逆方向に屈折され、図 1 5 に示すように、入射光（緑色光の右円偏光 G_R 及び青色光の右円偏光 B_R ）に対して、角度 θ_{G2} 及び角度 θ_{B2} で出射され

る。

これに対し、第2光学異方性層26Bに入射した円偏光の方向が逆の赤色光の右円偏光 R_{1R} は、図15の右側に示すように、第1光学異方性層26Aとは逆に、屈折を戻されるように矢印X方向に屈折される。その結果、第2光学異方性層26Bから出射される赤色光の左円偏光 R_{2L} は、入射光（赤色光の右円偏光 R_R ）に対して、角度 θ_{R1} よりも角度が小さい、角度 θ_{R2} で出射される。

なお、光学異方性層の1周期 Λ は、第2光学異方性層26Bの1周期 Λ_B が最も長いので、各光の屈折の角度は、第2光学異方性層26Bを透過した際が最も小さい。

[0167] 第2光学異方性層26Bを透過した赤色光の左円偏光 R_{2L} 、緑色光の右円偏光 G_{2R} 及び青色光の右円偏光 B_{2R} は、次いで、波長選択性位相差板18Gに入射する。

前述のように、波長選択性位相差板18Gは、緑色光の円偏光のみ、逆の旋回方向の円偏光に変換して、他の光は、そのまま透過するものである。

従って、赤色光の左円偏光 R_{2L} 、緑色光の右円偏光 G_{2R} 及び青色光の右円偏光 B_{2R} が、波長選択性位相差板18Gに入射して、透過すると、赤色光の左円偏光 R_{2L} 及び青色光の右円偏光 B_{2R} は、そのまま透過する。これに対し、緑色光の右円偏光 G_{2R} は、緑色光の左円偏光 G_{2L} に変換される。

[0168] 波長選択性位相差板18Gを透過した赤色光の左円偏光 R_{2L} 、緑色光の左円偏光 G_{2L} 及び青色光の右円偏光 B_{2R} は、次いで、第3光学異方性層26Cに入射する。

第3光学異方性層26Cに入射した赤色光の左円偏光 R_{2L} 、緑色光の左円偏光 G_{2L} 及び青色光の右円偏光 B_{2R} は、同様に、屈折され、また、円偏光を逆の旋回方向の円偏光に変換され、赤色光の右円偏光 R_{3R} 、緑色光の右円偏光 G_{3R} 及び青色光の左円偏光 B_{3L} となって、出射される。

[0169] ここで、第3光学異方性層26Cに入射する青色光は、青色光の右円偏光 B_{2R} である。また、赤色光は、先に波長選択性位相差板18Rで円偏光の方

向を変換されているので、第3光学異方性層26Cに入射する赤色光は、青色光とは円偏光の方向が異なる赤色光の左円偏光 R_{2L} である。更に、第3光学異方性層26Cに入射する緑色光は、波長選択性位相差板18Gによって円偏光の方向を変換された緑色光の左円偏光 G_{2L} である。

すなわち、第3光学異方性層26Cに入射するのは、青色光が右円偏光で、赤色光及び緑色光が、波長選択性位相差板によって円偏光の方向が変換された左円偏光である。

また、第2光学異方性層26Bと第3光学異方性層26Cとは、前述のように、液晶化合物30の光軸30Aの回転方向は逆である。

[0170] そのため、図14及び図15に示すように、第3光学異方性層26Cに入射した青色光の右円偏光 B_{2R} は、更に、矢印X方向とは逆方向に屈折され、図15に示すように、入射光（青色光の右円偏光 B_R ）に対して、角度 θ_{B3} で出射される。

これに対し、円偏光の方向が逆の赤色光の左円偏光 R_{2L} は、第3光学異方性層26Cに入射すると、更に、矢印X方向に戻されるように屈折される。その結果、第3光学異方性層26Cから出射される赤色光の右円偏光 R_{3R} は、入射光（赤色光の右円偏光 R_R ）に対して、先の角度 θ_{R2} よりも角度が小さい、角度 θ_{R3} で出射される。

同様に、青色光とは円偏光が逆の緑色光の左円偏光 G_{2L} は、第3光学異方性層26Cに入射すると、図14の中央に示すように、今までとは逆に、矢印Xに戻されるように屈折される。その結果、第3光学異方性層26Cから出射される緑色光の右円偏光 G_{3R} は、入射光（緑色光の右円偏光 G_R ）に対して、角度 θ_{G2} よりも角度が小さい、角度 θ_{G3} で出射される。

[0171] すなわち、光学素子32においては、最も長波長で、光学異方性層による屈折が大きい赤色光は、第1光学異方性層26Aによって矢印X方向とは逆の方向に屈折された後、第2光学異方性層26B及び第3光学異方性層26Cによって、2回、逆の矢印X方向に屈折される。

また、2番目に長波長で、光学異方性層による屈折が2番目に大きい緑色

光は、第1光学異方性層26A及び第2光学異方性層26Bによって矢印X方向とは逆の方向に屈折された後、第3光学異方性層26Cによって、1回、逆の矢印X方向に屈折される。

更に、最も短波長で、光学異方性層による屈折が最も小さい青色光は、第1光学異方性層26A、第2光学異方性層26B及び第3光学異方性層26Cによって、3回、矢印X方向とは逆の方向に屈折される。

このように、本発明の光学素子32は、最初に、全ての光を同じ方向に大きく屈折させた後、波長による光学異方性層による屈折の大きさに応じて、最も長波長の光は、最も多くの回数、最初の屈折とは逆方向に戻すように屈折させ、波長が短くなるに応じて、最初の屈折とは逆方向に戻す屈折の回数を低減し、最も短波長の光は、最初の屈折とは逆方向に戻す屈折の回数を最も少なくする。これにより、入射光に対する、赤色光の屈折の角度 θ_{R3} と、緑色光の屈折の角度 θ_{G3} と、青色光の屈折の角度 θ_{B3} とを、極めて近い角度にできる。

そのため、本発明の光学素子32によれば、入射した赤色光、青色光及び緑色光を、ほぼ同様の角度で屈折して、ほぼ同じ方向に出射できる。

[0172] 図示例の光学素子32のように、3種の波長域の光を対象にする場合には、最も長波長の光の設計波長を λa 、中間の波長の光の設計波長を λb 、最も短波長の光の設計波長を λc とし($\lambda a > \lambda b > \lambda c$)、1層目の光学異方性層における液晶配向パターンの1周期を Λ_1 、2層目の光学異方性層における液晶配向パターンの1周期を Λ_2 、3層目の光学異方性層における液晶配向パターン1周期を Λ_3 とした場合に、下記の2つの式

$$\Lambda_2 = [(\lambda a + \lambda c) \lambda b / (\lambda a - \lambda b) \lambda c] \Lambda_1,$$

$$\Lambda_3 = [(\lambda a + \lambda c) \lambda b / (\lambda b - \lambda c) \lambda a] \Lambda_1$$

を満たす場合に、2種の波長域の光の出射方向を、ほぼ同方向にできる。なお、この式においては、第1光学異方性層26A及び第3光学異方性層26Cの、いずれを1層目にしてもよい。

この点を考慮すると、本発明においては、3種の波長(波長域)の光を対

象とする光学素子 32 においては、下記の 2 式の少なくとも一方を満たすことが好ましく、両方を満たすことがより好ましい。

$$\begin{aligned} 0.6 * \{ [(\lambda a + \lambda c) \lambda b / (\lambda a - \lambda b) \lambda c] \wedge_1 \} &\leq \Lambda_2 \\ &\leq 3.0 * \{ [(\lambda a + \lambda c) \lambda b / (\lambda a - \lambda b) \lambda c] \wedge_1 \} \\ 0.6 * \{ [(\lambda a + \lambda c) \lambda b / (\lambda b - \lambda c) \lambda a] \wedge_1 \} &\leq \Lambda_3 \\ &\leq 3.0 * \{ [(\lambda a + \lambda c) \lambda b / (\lambda b - \lambda c) \lambda a] \wedge_1 \} \end{aligned}$$

これにより、屈折の波長依存性を極めて小さくして、2 種の波長域の光の出射方向を、ほぼ同方向にできる。

また、本発明においては、3 種の波長（波長域）の光を対象とする光学素子 32 は、下記の 2 式を満たすことがより好ましく、

$$\begin{aligned} 0.7 * \{ [(\lambda a + \lambda c) \lambda b / (\lambda a - \lambda b) \lambda c] \wedge_1 \} &\leq \Lambda_2 \\ &\leq 1.8 * \{ [(\lambda a + \lambda c) \lambda b / (\lambda a - \lambda b) \lambda c] \wedge_1 \} \\ 0.7 * \{ [(\lambda a + \lambda c) \lambda b / (\lambda b - \lambda c) \lambda a] \wedge_1 \} &\leq \Lambda_3 \\ &\leq 1.8 * \{ [(\lambda a + \lambda c) \lambda b / (\lambda b - \lambda c) \lambda a] \wedge_1 \} \end{aligned}$$

下記の 2 式を満たすことが更に好ましく、

$$\begin{aligned} 0.8 * \{ [(\lambda a + \lambda c) \lambda b / (\lambda a - \lambda b) \lambda c] \wedge_1 \} &\leq \Lambda_2 \\ &\leq 1.3 * \{ [(\lambda a + \lambda c) \lambda b / (\lambda a - \lambda b) \lambda c] \wedge_1 \} \\ 0.8 * \{ [(\lambda a + \lambda c) \lambda b / (\lambda b - \lambda c) \lambda a] \wedge_1 \} &\leq \Lambda_3 \\ &\leq 1.3 * \{ [(\lambda a + \lambda c) \lambda b / (\lambda b - \lambda c) \lambda a] \wedge_1 \} \end{aligned}$$

下記の 2 式を満たすことが特に好ましい。

$$\begin{aligned} 0.9 * \{ [(\lambda a + \lambda c) \lambda b / (\lambda a - \lambda b) \lambda c] \wedge_1 \} &\leq \Lambda_2 \\ &\leq 1.15 * \{ [(\lambda a + \lambda c) \lambda b / (\lambda a - \lambda b) \lambda c] \wedge_1 \} \\ 0.9 * \{ [(\lambda a + \lambda c) \lambda b / (\lambda b - \lambda c) \lambda a] \wedge_1 \} &\leq \Lambda_3 \\ &\leq 1.15 * \{ [(\lambda a + \lambda c) \lambda b / (\lambda b - \lambda c) \lambda a] \wedge_1 \} \end{aligned}$$

[0173] 本発明の光学素子においては、前述のように、複数の光学異方性層を配列して、光の波長に応じて、長波長で光学異方性層による屈折の大きい光ほど、多くの回数、最初の光学異方性層とは逆方向に屈折させることで、波長の異なる光を、ほぼ同じ角度で屈折させて、ほぼ同じ方向に出射することを可

能にしている。

そのため、本発明の光学素子においては、複数の波長変換位相差層を有する場合には、図 1 3 及び図 1 4 に示される光学素子 3 2 と同様、波長選択性位相差板は、光学異方性層の配列方向に、漸次、円偏光を逆の旋回方向に変換する光の波長域が短くなることが好ましい。

[0174] また、本発明の光学素子では、最初の光学異方性層による屈折を大きくして、それ以降は、徐々に同方向に屈折させ、また、徐々に逆方向に屈折を戻した方が、各光の屈折を制御し易く、各光の屈折を均一にし易い。この点を考慮すると、図 1 3 及び図 1 4 に示される光学素子 3 2 と同様、光学異方性層は、配列方向の最も端に位置する光学異方性層の液晶配向パターンの 1 周期 Λ をもっとも短くすることが好ましい。すなわち、配列方向の最も端に位置する光学異方性層による屈折を、最も大きくすることが好ましい。

なお、本発明の光学素子において、光学異方性層の液晶配向パターンの 1 周期 Λ は、光学異方性層の配列方向に、漸次、大きくなる構成でもよい。あるいは、図 1 3 及び図 1 4 に示す光学素子 3 2 のように、液晶配向パターンの 1 周期 Λ が最も大きい光学異方性層と、液晶配向パターンの 1 周期 Λ が最も小さい光学異方性層との間に、液晶配向パターンの 1 周期 Λ が中間の光学異方性層を設ける構成など、光学異方性層の液晶配向パターンの 1 周期 Λ の変化が、光学異方性層の配列方向に不規則であってもよい。すなわち、本発明の光学素子において、各光学異方性層の液晶配向パターンの 1 周期 Λ は、光の波長、及び、光学異方性層による屈折率に応じて、適宜、設定すればよい。

[0175] 本発明の光学素子においては、複数の波長変換位相差層を有する場合には、基本的に、図 1 3 及び図 1 4 に示す光学素子 3 2 と同様に、光学異方性層と波長変換位相差層とは、交互に配列される。この際においては、波長変換位相差層の層数は、光学異方性層の層数よりも、1 層、少ないことが好ましい。

しかしながら、本発明は、これに制限はされず、例えば、光学異方性層を

、複数枚、連続的に配列させて、複数の光学異方性層で連続して屈折させた光を、波長変換位相差層に入射するようにしてもよい。

また、2枚の光学異方性層の間に、複数枚の波長変換位相差層を配置してもよい。しかしながら、2枚の光学異方性層の間に同じ波長域の円偏光を逆の旋回方向の円偏光に変換する波長変換位相差層を、複数枚、配置する場合には、その数は、奇数枚とすることが好ましい。

[0176] 本発明の光学素子においては、液晶配向パターンの1周期 Λ が等しい光学異方性層が存在してもよい。

しかしながら、複数の波長域の光の屈折すなわち出射角度を均一にし易い等の点で、全ての光学異方性層で、液晶配向パターンの1周期 Λ が異なることが好ましい。

[0177] 本発明の光学素子において、光学異方性層の配向パターンにおける1周期 Λ 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。

[0178] 本発明の光学素子においては、最も短波長の設計波長の円偏光を選択的に逆の旋回方向の円偏光に変換する波長選択性位相差板を有していてもよい。例えば、第3光学異方性層26Cの後（光の進行方向の下流側）に青色光の円偏光を選択的に逆の旋回方向に変換する第3の波長選択性位相差板Bを配置してもよい。

前述のように、第3の波長選択性位相差板Bは、青色光の円偏光のみ、逆の旋回方向の円偏光に変換して、他の光は、そのまま透過するものである。

従って、赤色光の右円偏光 R_{3R} 、緑色光の右円偏光 G_{3R} 及び青色光の左円偏光 B_{3L} が、第3の波長選択性位相差板Bに入射して、透過すると、赤色光の右円偏光 R_{3R} 及び緑色光の右円偏光 G_{3R} は、そのまま透過する。これに対して、青色光の左円偏光 B_{3L} は、青色光の右円偏光 B_{3R} に変換される。

これにより、光学素子から出射する青色光、緑色光、赤色光の円偏光を同一の旋回方向の円偏光にすることができる。

[0179] ここで、本発明の光学素子は、一例として、ARガラスにおいて、ディスプレイが表示した光を屈折して導光板に導入する回折素子、及び、導光板を

伝播した光を屈折して導光板から使用者による観察位置に出射させる回折素子に、好適に利用される。特に、フルカラー画像に対応可能な光学素子 32 は、AR グラスにおける回折素子として好適に利用可能である。

この際においては、導光板で光を全反射させるためには、入射光に対して、ある程度の大きな角度で光を屈折させて導光板に導入する必要がある。また、導光板を伝播してきた光を確実に出射させるためにも、入射光に対して、ある程度の大きな角度で光を屈折させる必要がある。

また、前述のように、光学異方性層による光の透過角度は、液晶配向パターンにおける 1 周期 Λ を短くすることで、入射光に対する透過光の角度を大きくできる。

[0180] この点を考慮すると、光学異方性層の液晶配向パターンにおける 1 周期 Λ は、 $50\ \mu\text{m}$ 以下が好ましく、 $10\ \mu\text{m}$ 以下がより好ましく、 $3\ \mu\text{m}$ 以下が更に好ましい。

なお、液晶配向パターンの精度等を考慮すると、光学異方性層の液晶配向パターンにおける 1 周期 Λ は、 $0.1\ \mu\text{m}$ 以上とすることが好ましい。

[0181] 図 9～図 15 に示す光学素子は、光学異方性層の液晶配向パターンにおける液晶化合物 30 の光軸 30A は、矢印 X 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、光学異方性層において、液晶化合物 30 の光軸 30A 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。

[0182] 一例として、図 17 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 30 の光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、光学異方性層 34 が例示される。言い換えれば、図 17 に示す光学異方性層 34 の液晶配向パターンは、液晶化合物 30 の光軸の向きが連続的に回転しながら変化する一方向が、光学異方性層 34 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。

[0183] なお、図 17 においても、図 9 と同様、配向膜の表面の液晶化合物 30 のみを示すが、光学異方性層 34 においては、図 7 に示されるように、この配向膜の表面の液晶化合物 30 から、液晶化合物 30 が積み重ねられた構造を有するのは、前述の通りである。

更に、図 17 では、光学異方性層 34 を 1 層のみ示すが、本発明の光学素子は、光学異方性層を、複数、有し、少なくとも 1 対の 2 枚の光学異方性層の間に波長選択性位相差板を有するのは、前述の通りである。従って、このような同心円状の液晶配向パターンを有する光学異方性層を有する場合でも、一例として図 13 に示す光学素子 32 のように、第 1 光学異方性層と、赤色光の円偏光を変換する波長選択性位相差板と、第 2 光学異方性層と、緑色光の円偏光を変換する波長選択性位相差板と、第 3 光学異方性層と、を配列した構成を有する。

[0184] 図 17 に示す光学異方性層 34 において、液晶化合物 30 の光軸（図示省略）は、液晶化合物 30 の長手方向である。

光学異方性層 34 では、液晶化合物 30 の光軸の向きは、光学異方性層 34 の中心から外側に向かう多数の方向、例えば、矢印 A1 で示す方向、矢印 A2 で示す方向、矢印 A3 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光学異方性層 34 に入射した円偏光は、液晶化合物 30 の光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 30 の光軸の向きに応じて異なる。

[0185] 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光学異方性層 34 は、液晶化合物 30 の光軸の回転方向及び入射する円偏光の方向に応じて、入射光を、発散光又は集束光として透過できる。

すなわち、光学異方性層の液晶配向パターンを同心円状とすることにより、本発明の光学素子は、例えば、凸レンズ又は凹レンズとして機能を発現す

る。

[0186] ここで、光学異方性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軸が 180° 回転する1周期 Λ を、光学異方性層34の中心から、光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 Λ 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 Λ を、光学異方性層34の中心から、光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、光学異方性層34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。

[0187] なお、本発明においては、例えば凹レンズとする場合など、光学素子の用途によっては、液晶配向パターンにおいて光軸が 180° 回転する1周期 Λ を、光学異方性層34の中心から、光軸が連続的に回転する方向を逆方向に回転させ、1方向の外方向に向かって、漸次、短くすることが好ましい。

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 Λ 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 Λ を、光学異方性層34の中心から、光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、光学異方性層34による光の発散力を、より向上でき、凹レンズとしての性能を、向上できる。

[0188] なお、本発明においては、例えば光学素子を凹レンズとする場合など、入射する円偏光の旋回方向を逆にするのも好ましい。

[0189] 本発明において、光学素子を凸レンズ又は凹レンズとして作用させる場合には、下記の式を満たすことが好ましい。

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

ここで、 r は同心円の中心からの距離で次式 $r = (x^2 + y^2)^{1/2}$ 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。 $\Phi(r)$ は中心からの距離 r における光軸の角度、 λ は波長、 f は設計の焦点距離を表わす。

[0190] 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 Λ を、光学異方性層 34 の中心から、光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。

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

加えて、本発明の光学素子は、1 周期 Λ が全面的に均一な光学異方性層と、1 周期 Λ が異なる領域を有する光学異方性層とを有してもよい。この点に関しては、後述する、図 6 に示すような、一方向のみに光軸が連続的に回転する構成でも、同様である。

[0191] 図 18 に、配向膜（例えば、配向膜 24 A、配向膜 24 B 及び配向膜 24 C）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 80 は、レーザ 82 を備えた光源 84 と、レーザ 82 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 86 と、P 偏光 MP の光路に配置されたミラー 90 A 及び S 偏光 MS の光路に配置されたミラー 90 B と、S 偏光 MS の光路に配置されたレンズ 92 と、偏光ビームスプリッター 94 と、 $\lambda/4$ 板 96 とを有する。

[0192] 偏光ビームスプリッター 86 で分割された P 偏光 MP は、ミラー 90 A によって反射されて、偏光ビームスプリッター 94 に入射する。他方、偏光ビームスプリッター 86 で分割された S 偏光 MS は、ミラー 90 B によって反射され、レンズ 92 によって集光されて偏光ビームスプリッター 94 に入射する。

P 偏光 MP 及び S 偏光 MS は、偏光ビームスプリッター 94 で合波されて、 $\lambda/4$ 板 96 によって偏光方向に応じた右円偏光及び左円偏光となって、支持体 20 の上の配向膜 24 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 24 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 24 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。

[0193] この露光装置 80 において、液晶化合物 30 の光軸が一方向に沿って連続的に 180° 回転する液晶配向パターンの 1 周期 Λ は、レンズ 92 の屈折力（レンズ 92 の F ナンバー）レンズ 92 の焦点距離、及び、レンズ 92 と配向膜 24 との距離等を変化させることで、制御できる。

また、レンズ 92 の屈折力（レンズ 92 の F ナンバー）を調節することによって、光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 Λ を変更できる。

具体的には、平行光と干渉させる、レンズ 92 で広げる光の広がり角によって、光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 Λ を変えることができる。より具体的には、レンズ 92 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 Λ 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 92 の屈折力を強めると、液晶配向パターンの 1 周期の長さ Λ 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。

[0194] このように、光軸が連続的に回転する 1 方向において、光軸が 180° 回転する 1 周期 Λ を変更する構成は、図 6 ~ 15 に示す、矢印 X 方向の一方向のみに液晶化合物 30 の光軸 30 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 Λ を、矢印 X 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。また、液晶配向パターンにおいて、光軸が 180° 回転する方向を逆にすることにより、矢印 X 方向にのみ拡散するように光を透過する光学素子を得ることができる。なお、入射する円偏光の旋回方向を逆にすることでも

、矢印のX方向にのみ拡散するように光を透過する光学素子を得ることができる。

更に、例えば透過光に光量分布を設けたい場合など、光学素子の用途によって、矢印X方向に向かって、1周期 Λ を漸次、変更するのではなく、矢印X方向において、部分的に1周期 Λ 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 Λ を変更する方法として、集光したレーザ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。

[0195] 本発明の光学素子は、光学装置における光路変更部材、光集光素子、所定方向への光拡散素子、及び、回折素子等、入射方向とは異なる方向に光を透過する、各種の用途に利用可能である。

[0196] 好ましい一例として、図19に概念的に示すように、導光板42に離間して設けることで、前述のARグラスにおいて、ディスプレイ40が照射した光（投影像）を、全反射に十分な角度で導光板42に導入し、導光板42を伝播した光を、導光板42からARグラスの使用者Uによる観察位置に出射する、回折素子として用いることが例示される。なお、図19では、フルカラー画像に対応して図13に示す光学素子32を例示しているが、例えば、ARグラスで2色画像を表示する場合であれば、図6に示す光学素子10も好適に利用可能である。

前述のように、本発明の光学素子は、透過の際の屈折角度の角度依存性が小さいので、ディスプレイ40が照射した赤色光、緑色光及び青色光を同じ方向に屈折できる。そのため、1枚の導光板42で、赤色画像、緑色画像及び青色画像を伝播しても、色ズレのないフルカラー画像を、導光板からARグラスの使用者Uによる観察位置に出射できる。従って、本発明の光学素子を用いる本発明の光学素子によれば、ARグラスの導光板を、全体的に薄く、軽くして、ARグラスの構成を簡略化できる。

なお、本発明の導光素子は、図19に示すように、導光板42に、互いに離間する2つの本発明の光学素子を設ける構成に制限はされず、導光板42

への光の導入のため、又は、導光板 4 2 からの光の取り出しのため、導光板に本発明の光学素子を 1 つのみ、設けた構成であってもよい。

[0197] 以上の例は、本発明の光学素子を、2 層又は 3 層の光学異方性層を有する、緑色光及び青色光の 2 色、又は、赤色光、緑色光及び青色光の 3 色の光を透過して屈折する光学素子に利用したものであるが、本発明は、これに限定はされず、各種の構成は利用可能である。

例えば、本発明の光学素子は、図 1 3 と同様に 3 層の光学異方性層と 2 層の波長選択性位相差板とを有し、赤色光、緑色光及び青色光から選択される 2 色と、赤外線又は紫外線を透過して屈折する構成でもよい。あるいは、本発明の光学素子は、4 層又は 5 層（又は 6 層以上）の光学異方性層と、3 層又は 4 層（光学異方性層の層数－1 層）の波長選択性位相差板とを有し、赤色光、緑色光及び青色光に加え、赤外線及び／又は紫外線を透過して屈折する構成でもよい。あるいは、本発明の光学素子は、図 6 と同様に 2 層の光学異方性層と 1 層の波長選択性位相差板とを有し、赤色光及び青色光、又は、赤色光及び緑色光を透過して屈折する構成、又は、赤色光、緑色光及び青色光から選択される 1 色と、赤外線又は紫外線を屈折して透過する構成でもよい。又は、赤外線又は／及び紫外線を屈折して透過する構成でもよい。

実施例

[0198] 以下に実施例に基づいて本発明を更に詳細に説明する。

以下の実施例に示す材料、使用量、割合、処理内容、及び、処理手順等は、本発明の趣旨を逸脱しない限り適宜変更できる。従って、本発明の範囲は以下に示す実施例により限定的に解釈されるべきではない。

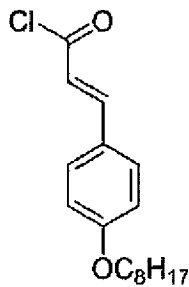
[0199] <実施例 1>

[光配向性基を有する重合体 P A－1 の合成]

Langmuir, 32 (36), 9245－9253, (2016 年) に記載された方法に従い、2－ヒドロキシエチルメタクリレート（HEMA）（東京化成試薬）と下記桂皮酸クロリド誘導体を用いて、以下に示すモノマー m－1 を合成した。

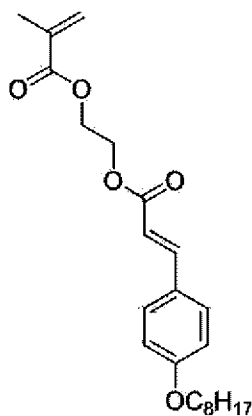
[0200] 桂皮酸クロリド誘導体

[化1]



[0201] モノマー m-1

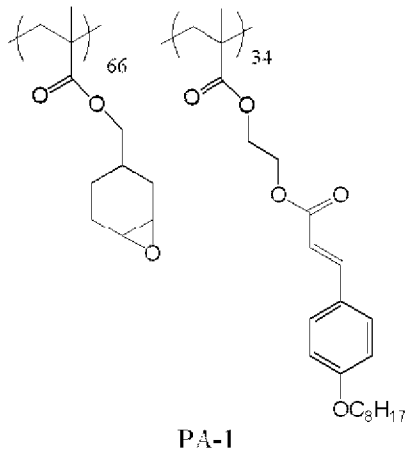
[化2]



[0202] 冷却管、温度計、及び攪拌機を備えたフラスコに、溶媒として２－ブタノン５質量部を仕込み、フラスコ内に窒素を５ｍＬ／ｍｉｎ流しながら、水浴加熱により還流させた。ここに、モノマー m-1 を５質量部、サイクロマー M100（３，４－エポキシシクロヘキシルメチルメタアクリレート、ダイセル社製）５質量部、重合開始剤として２，２′－アゾビス（イソブチロニトリル）を１質量部と、溶媒として２－ブタノン５質量部を混合した溶液を、３時間かけて滴下し、更に３時間還流状態を維持したまま攪拌した。反応終了後、室温まで放冷し、２－ブタノン３０質量部を加えて希釈することで約２０質量％の重合体溶液を得た。得られた重合体溶液を大過剰のメタノール中へ投入して重合体を沈殿させ、回収した沈殿物をろ別し、大量のメタノールで洗浄した後、５０℃において１２時間送風乾燥することにより、光配向性基を有する重合体 P A-1（下記参照）を得た。得られた重合体 P A-

1のエポキシ当量は396 g／eq、重量平均分子量は28,000であった。

[0203] [化3]



[0204] [光配向膜P-1の作製]

市販されているトリアセチルセルロースフィルム「Z-TAC」（富士フイルム社製）上に、下記光配向膜形成用組成物PC-1を#2.4のワイヤーバーで連続的に塗布した。塗膜が形成された支持体を140℃の温風で120秒間乾燥し、続いて偏光紫外線照射（10mJ／cm²、超高圧水銀ランプ使用）することで、光配向膜P-1を形成した。

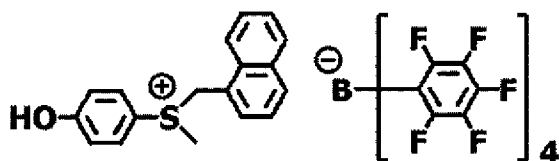
[0205] —————

光配向膜形成用組成物PC-1

上記重合体PA-1	100.00質量部
下記熱酸発生剤PAG	5.00質量部
イソプロピルアルコール	16.50質量部
酢酸ブチル	1072.00質量部
メチルエチルケトン	268.00質量部

[0206] 熱酸発生剤PAG

[化4]



[0207] [光学フィルムAの形成]

下記重合性液晶組成物1を、#13のワイヤーバーで光配向膜P-1上に塗布した。110℃で100秒間加熱した後、窒素雰囲気下、55℃にて、メタルハライドランプ（アイグラフィックス（株）製）を使用して組成物層に紫外線照射し（照射量：500 mJ / cm²）、液晶化合物の配向を固定化して光学異方性膜A1を形成した。

続いて、下記重合性液晶組成物2を、#16のワイヤーバーで光学異方性膜A1上に塗布し、110℃で100秒間加熱した後、窒素雰囲気下、55℃にて、メタルハライドランプを使用して組成物層に紫外線照射した（照射量：500 mJ / cm²）。下記重合性液晶組成物2の塗布から紫外線照射までの工程をさらに3回繰り返して行い、光学異方性膜A2を形成した。

さらに、下記重合性液晶組成物3を、#13のワイヤーバーで光学異方性膜A2上に、塗布し、110℃で100秒間加熱した後、窒素雰囲気下、55℃にて、メタルハライドランプを使用して組成物層に紫外線照射し（照射量：500 mJ / cm²）、光学異方性膜A3を形成した。

以上により、支持体／光配向膜P-1／光学異方性膜A1／光学異方性膜A2／光学異方性膜A3の順に積層された光学フィルムAを作製した。

なお、作製した光学フィルムAにおいて、光学異方性膜A1および光学異方性膜A3は、λ／4板に該当する。また、光学異方性膜A2は、図1に図示した液晶偏光干渉素子216に該当する。したがって、作製した光学フィルムAは、上記光学要素に該当する。

また、光学フィルムAを構成する各層は、後段の表1に示すような液晶化合物の配向状態を固定してなる層であった。また、光学フィルムAを構成する各層の位相差も後段の表1に示す。

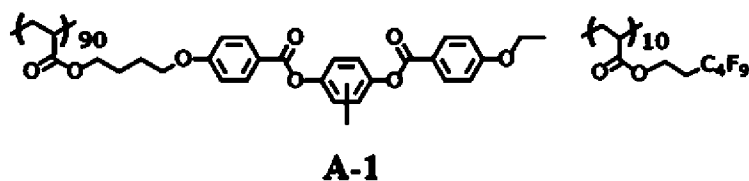
[0208] -----

重合性液晶組成物 1

・ 下記液晶化合物 A - 1 (重量平均分子量 20,000)	67 質量部
・ 下記液晶化合物 B - 1	33 質量部
・ 下記重合開始剤 S - 1	3 質量部
・ 下記キラル剤 A	0.40 質量部
・ 下記キラル剤 B	0.65 質量部
・ レベリング剤 (下記化合物 L - 1)	0.15 質量部
・ 垂直配向助剤 (下記化合物 T - 1)	0.2 質量部
・ シクロヘキサノン	516.8 質量部

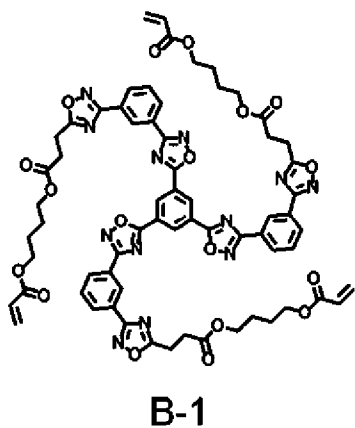
[0209] 液晶化合物 A - 1

[化5]



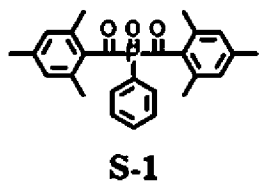
[0210] 液晶化合物 B - 1

[化6]



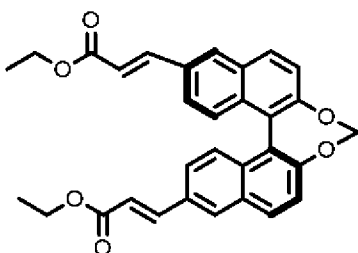
[0211] 重合開始剤 S-1

[化7]



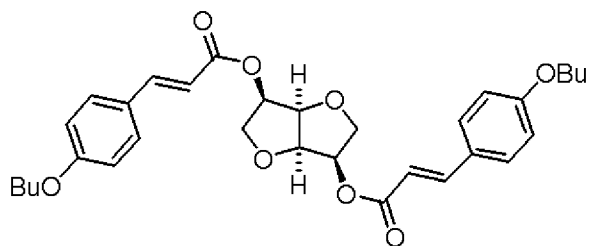
[0212] キラル剤 A

[化8]



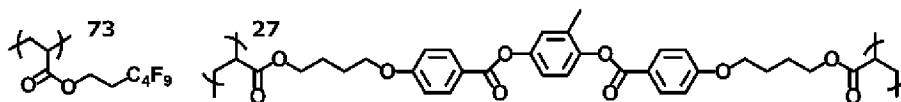
[0213] キラル剤 B

[化9]



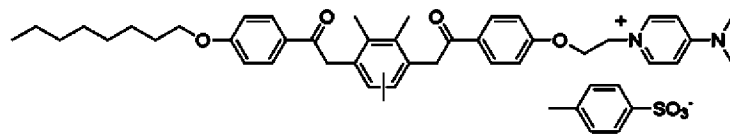
[0214] 化合物 L-1

[化10]



[0215] 化合物 T-1

[化11]

**T-1**

[0216] なお、上記重合性液晶組成物 2 を塗布すると、上記液晶化合物 A-1（棒状液晶化合物）が空気界面側に濃縮され、上記液晶化合物 B-1（円盤状液晶化合物）が空気界面側とは反対側に濃縮する。すなわち、光配向膜 P-1 側から、円盤状液晶化合物を含む層と、棒状液晶化合物を含む層とに分離する。また、上記キラル剤 A および上記キラル剤 B は、分離した各層に存在し、キラル剤 A は、円盤状液晶化合物および棒状液晶化合物に対する右捩れの螺旋誘起力を有する。一方、キラル剤 B は、棒状液晶化合物に対してのみ左捩れの螺旋誘起力を有する。結果として、円盤状液晶化合物を含む層は、右捩れとなり、棒状液晶化合物を含む層は、左捩れとなり、後段の表 1 に記載する光学異方性層 A 2 が形成された。

[0217] -----

重合性液晶組成物 2

・ 上記液晶化合物 A-1（重量平均分子量 20,000）	50 質量部
・ 上記液晶化合物 B-1	50 質量部
・ 上記重合開始剤 S-1	3 質量部
・ 上記キラル剤 A	0.05 質量部
・ 上記キラル剤 B	0.19 質量部
・ レベリング剤（上記化合物 L-1）	0.15 質量部
・ 垂直配向助剤（上記化合物 T-1）	0.2 質量部
・ シクロヘキサノン	516.8 質量部

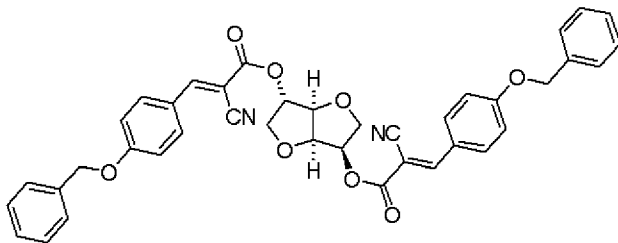
[0218] -----

重合性液晶組成物 3

・ 上記液晶化合物 A-1 (重量平均分子量 20,000)	33 質量部
・ 上記液晶化合物 B-1	67 質量部
・ 上記重合開始剤 S-1	3 質量部
・ 上記キラル剤 A	0.07 質量部
・ 下記キラル剤 C	0.58 質量部
・ レベリング剤 (上記化合物 L-1)	0.15 質量部
・ 垂直配向助剤 (上記化合物 T-1)	0.2 質量部
・ シクロヘキサノン	516.8 質量部

[0219] キラル剤 C

[化12]



[0220] <実施例 2>

重合性液晶組成物中のキラル剤 A、B、C の量、および、ワイヤーバーの径を変更した以外は、実施例 1 と同様の手順で光学フィルム B を作製した。すなわち、支持体／光配向膜 P-1／光学異方性膜 B 1／光学異方性膜 B 2／光学異方性膜 B 3 の順に積層された光学フィルム B を作製した。光学異方性膜 B 1、光学異方性膜 B 2、および、光学異方性膜 B 3 は、それぞれ順に、 $\lambda/4$ 板、図 1 に図示した液晶偏光干渉素子 216、および、 $\lambda/4$ 板に該当し、光学フィルム B は、上記光学要素に該当する。

光学フィルム B の作製時には、後段の表 2 に示すような位相差となるように条件を調整した。なお、光学フィルム B を構成する各層は、後段の表 2 に

示すような液晶化合物の配向状態を固定してなる層であった。

[0221] <実施例 3>

重合性液晶組成物中のキラル剤 A、B、C の量、および、ワイヤーバーの径を変更した以外は、実施例 1 と同様の手順で光学フィルム C を作製した。すなわち、支持体／光配向膜 P-1／光学異方性膜 C 1／光学異方性膜 C 2／光学異方性膜 C 3 の順に積層された光学フィルム C を作製した。光学異方性 C 1、光学異方性膜 C 2、および、光学異方性膜 C 3 は、それぞれ順に、 $\lambda/4$ 板、図 1 に図示した液晶偏光干渉素子 216、および、 $\lambda/4$ 板に該当し、光学フィルム C は、上記光学要素に該当する。

光学フィルム C の作製時には、後段の表 3 に示すような位相差となるように条件を調整した。なお、光学フィルム C を構成する各層は、後段の表 3 に示すような液晶化合物の配向状態を固定してなる層であった。

[0222] <実施例 4>

まず、実施例 1 と同様の手順で、支持体／光配向膜 P-1 が積層されたフィルムを作製した。

[0223] (光学フィルム D の形成)

下記重合性液晶組成物 4 を、#4 のワイヤーバーで光配向膜 P-1 上に塗布した。100℃で80秒間加熱した後、酸素を含む空気（酸素濃度：約20体積％）下、40℃にて、365nmLEDランプ（アクロエッジ（株）製）を使用して紫外線を組成物層に照射した（照射量：19mJ/cm²）。続いて、得られた組成物層を90℃で10秒間加熱した後、窒素雰囲気下、55℃にて、メタルハライドランプを使用して組成物層に紫外線照射し（照射量：500mJ/cm²）、液晶化合物の配向を固定化して光学異方性膜 4 を形成した。

続いて、下記重合性液晶組成物 5 を、#7 のワイヤーバーで光学異方性膜 4 上に塗布し、100℃で80秒間加熱した後、酸素を含む空気下、40℃にて、365nmLEDランプを使用して紫外線を組成物層に照射した（照射量：35mJ/cm²）。上記の紫外線の照射により、組成物層の空気界面

側とは反対側のみの重合を進行させ、かつ、空気界面側に含まれるキラル剤 C を失活させた。得られた組成物層を 90℃で 10 秒間加熱した後、窒素雰囲気下、55℃にて、メタルハライドランプを使用して組成物層に紫外線照射した。すなわち、空気界面側の組成物層の液晶化合物の捩れ方向を空気界面側とは反対側の層とは逆方向とし、組成物層全体の重合を進行させた。下記重合性液晶組成物 5 の塗布からメタルハライドランプによる紫外線照射までの工程をさらに 3 回繰り返して行い、光学異方性膜 5 を形成した。

さらに、下記重合性液晶組成物 6 を、#4 のワイヤーバーで光学異方性膜 5 上に塗布した。100℃で 80 秒間加熱した後、酸素を含む空気下、40℃にて、365 nm LED ランプを使用して紫外線を組成物層に照射した（照射量：38 mJ / cm²）。続いて、得られた組成物層を 90℃で 10 秒間加熱した後、窒素雰囲気下、55℃にて、メタルハライドランプを使用して組成物層に紫外線照射し（照射量：500 mJ / cm²）、液晶化合物の配向を固定化して光学異方性膜 6 を形成した。

以上により、支持体／光配向膜 P-1／光学異方性膜 4／光学異方性膜 5／光学異方性膜 6 の順に積層された光学フィルム D を作製した。なお、作製した光学フィルム D において、光学異方性膜 4 および光学異方性膜 6 は、λ／4 板に該当する。また、光学異方性膜 5 は、図 1 に図示した液晶偏光干渉素子 216 に該当する。したがって、作製した光学フィルム D は、上記光学要素に該当する。

なお、作製した光学フィルム D を構成する各層は、後段の表 4 に示すような液晶化合物の配向状態を固定してなる層であった。また、光学フィルム D の各層の位相差も後段の表 4 に示す。

[0224] —————

重合性液晶組成物 4

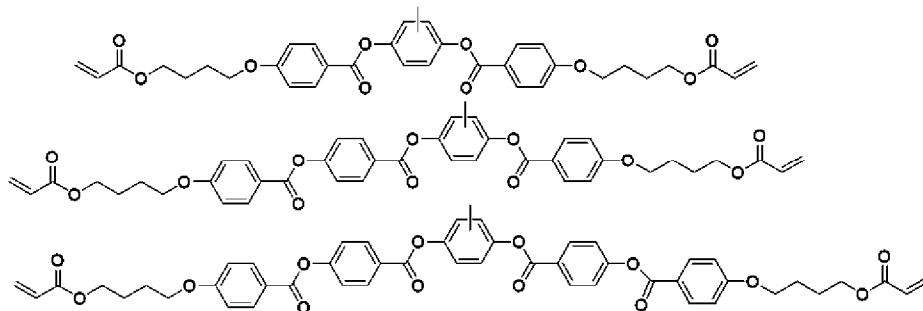
—————

- | | |
|----------------|--------|
| ・ 下記の棒状液晶化合物 A | 80 質量部 |
| ・ 下記の棒状液晶化合物 B | 3 質量部 |

・ 下記の棒状液晶化合物 C	1.7 質量部
・ エチレンオキサイド変性トリメチロールプロパントリアクリレート （V # 360、大阪有機化学（株）製）	4 質量部
・ 上記重合開始剤 S-1	3 質量部
・ 上記のキラル剤 B	0.24 質量部
・ 上記のキラル剤 C	0.55 質量部
・ レベリング剤（上記化合物 L-1）	0.08 質量部
・ メチルイソブチルケトン	3.6 質量部
・ プロピオン酸エチル	7.1 質量部
・ メチルエチルケトン	3.6 質量部

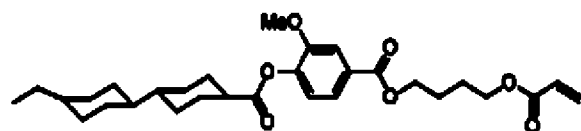
[0225] 棒状液晶化合物 A（以下に示す化合物の混合物）

[化13]



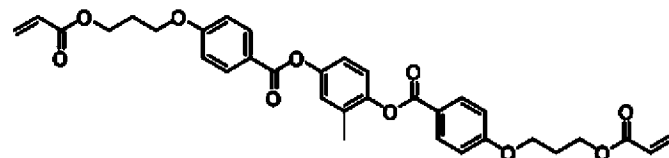
[0226] 棒状液晶化合物 B

[化14]



[0227] 棒状液晶化合物 C

[化15]



[0228] -----

重合性液晶組成物 5

・ 上記の棒状液晶化合物 A	8 0 質量部
・ 上記の棒状液晶化合物 B	3 質量部
・ 上記の棒状液晶化合物 C	1 7 質量部
・ エチレンオキサイド変性トリメチロールプロパントリアクリレート （V # 3 6 0、大阪有機化学（株）製）	4 質量部
・ 上記重合開始剤 S - 1	3 質量部
・ 上記のキラル剤 B	0 . 0 8 質量部
・ 上記のキラル剤 C	0 . 1 1 質量部
・ レベリング剤（上記化合物 L - 1）	0 . 0 8 質量部
・ メチルイソブチルケトン	3 6 質量部
・ プロピオン酸エチル	7 1 質量部
・ メチルエチルケトン	3 6 質量部

[0229] -----

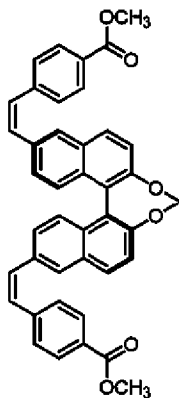
重合性液晶組成物 6

・ 上記の棒状液晶化合物 A	8 0 質量部
・ 上記の棒状液晶化合物 B	3 質量部
・ 上記の棒状液晶化合物 C	1 7 質量部
・ エチレンオキサイド変性トリメチロールプロパントリアクリレート （V # 3 6 0、大阪有機化学（株）製）	4 質量部
・ 上記重合開始剤 S - 1	3 質量部
・ 上記のキラル剤 B	0 . 1 2 質量部
・ 下記のキラル剤 D	0 . 9 4 質量部
・ レベリング剤（上記化合物 L - 1）	0 . 0 8 質量部

・メチルイソブチルケトン	36質量部
・プロピオン酸エチル	71質量部
・メチルエチルケトン	36質量部

[0230] キラル剤D

[化16]



[0231] <光学特性の測定>

上記で作製した光学フィルムA～Dの光学特性を、Axometrics社のAxoscan、および、同社の解析ソフトウェア（Multi-Layer Analysis）を用いて求めた。

なお、液晶化合物の配向軸角度は、フィルムの長手方向を基準の0°として、基材側とは反対側から観察し、時計回り（右回り）を負、反時計回り（左回り）を正として表してある。

また、ここで液晶化合物の振れ角は、基材側とは反対側から光学フィルムを観察し、支持体側（奥側）にある液晶化合物の配向方向を基準に、空気側（手前側）の液晶化合物の配向方向が時計回り（右回り）の時を負、反時計回り（左回り）の時を正として記載する。

[0232]

[表1]

表1	層	液晶	位相差 [nm]	遅相軸方位 [°]		振れ角度 [°]
				支持体側	空気側	
光学 異方性膜A1	1	円盤	138	-109	-31	78
	2	棒	275	-31	-5	26
光学 異方性膜A2	3	円盤	255	-5	13	18
	4	棒	255	13	-5	-18
	5	円盤	255	-5	13	18
	6	棒	255	13	-5	-18
	7	円盤	255	-5	13	18
	8	棒	255	13	-5	-18
	9	円盤	255	-5	13	18
	10	棒	255	13	-5	-18
光学 異方性膜A3	11	円盤	275	-5	21	26
	12	棒	138	21	99	78

[0233] [表2]

表2	層	液晶	位相差 [nm]	遅相軸方位 [°]		振れ角度 [°]
				支持体側	空気側	
光学 異方性膜B1	1	円盤	138	-109	-31	78
	2	棒	275	-31	-5	26
光学 異方性膜B2	3	円盤	320	-5	13	18
	4	棒	320	13	-5	-18
	5	円盤	320	-5	13	18
	6	棒	320	13	-5	-18
	7	円盤	320	-5	13	18
	8	棒	320	13	-5	-18
	9	円盤	320	-5	13	18
	10	棒	320	13	-5	-18
光学 異方性膜B3	11	円盤	275	-5	21	26
	12	棒	138	21	99	78

[0234]

[表3]

表2	層	液晶	位相差 [nm]	遅相軸方位 [°]		振れ角度 [°]
				支持体側	空気側	
光学 異方性膜B1	1	円盤	138	-109	-31	78
	2	棒	275	-31	-5	26
光学 異方性膜B2	3	円盤	320	-5	13	18
	4	棒	320	13	-5	-18
	5	円盤	320	-5	13	18
	6	棒	320	13	-5	-18
	7	円盤	320	-5	13	18
	8	棒	320	13	-5	-18
	9	円盤	320	-5	13	18
	10	棒	320	13	-5	-18
光学 異方性膜B3	11	円盤	275	-5	21	26
	12	棒	138	21	99	78

[0235] [表4]

表4	層	液晶	位相差 [nm]	遅相軸方位 [°]		振れ角度 [°]
				支持体側	空気側	
光学 異方性膜4	1	棒	138	-109	-31	78
	2	棒	275	-31	-5	26
光学 異方性膜5	3	棒	255	-5	13	18
	4	棒	255	13	-5	-18
	5	棒	255	-5	13	18
	6	棒	255	13	-5	-18
	7	棒	255	-5	13	18
	8	棒	255	13	-5	-18
	9	棒	255	-5	13	18
	10	棒	255	13	-5	-18
光学 異方性膜6	11	棒	275	-5	21	26
	12	棒	138	21	99	78

[0236] <円偏光板の作製>

後述する『透過の波長依存性の評価』を行うために、下記のようにして、円偏光板B、円偏光板Gおよび円偏光板Rを作製した。まず、円偏光板Gを作製した。まず、実施例1と同様の支持体を用意した。

[0237] [配向膜P-10の形成]

上記支持体上に、下記の配向膜P-10形成用塗布液を#2.4のワイヤーバーで連続的に塗布した。この配向膜P-10形成用塗布液の塗膜が形成された支持体を80℃のホットプレート上で5分間乾燥し、配向膜P-10を形成した。

[0238] -----

配向膜P-10形成用塗布液

・光配向用素材重合体A2	4.35質量部
・低分子化合物B2	0.80質量部
・架橋剤C1	2.20質量部
・化合物D1	0.48質量部
・化合物D2	1.15質量部
・酢酸ブチル	100.00質量部

[0239] (重合体A2の合成)

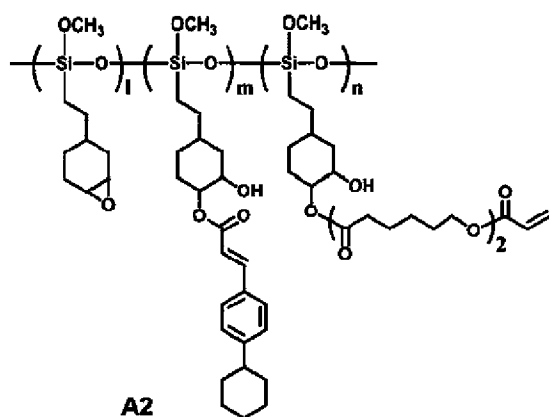
攪拌機、温度計、滴下漏斗および還流冷却管を備えた反応容器に、2-(3,4-エポキシシクロヘキシル)エチルトリメトキシシラン100質量部、メチルイソブチルケトン500質量部、および、トリエチルアミン10質量部を仕込み、室温で混合した。次いで、脱イオン水100質量部を滴下漏斗より30分かけて滴下した後、還流下で混合しつつ、80℃で6時間反応させた。反応終了後、有機相を取り出し、0.2質量%硝酸アンモニウム水溶液により洗浄後の水が中性になるまで洗浄した後、減圧下で溶媒および水を留去することにより、エポキシ含有ポリオルガノシロキサンを粘調な透明液体として得た。

このエポキシ含有ポリオルガノシロキサンについて、 $^1\text{H-NMR}$ (Nuclear Magnetic Resonance) 分析を行ったところ、化学シフト (δ) = 3.2 ppm 付近にオキシラニル基に基づくピークが理論強度どおりに得られ、反応中にエポキシ基の副反応が起こっていないことが確認された。このエポキシ含有ポリオルガノシロキサンの重量平均分子量 M_w は 2,200、エポキシ当量は 186 g/mol であった。

次に、100 mL の三口フラスコに、上記で得たエポキシ含有ポリオルガノシロキサン 10.1 質量部、アクリル基含有カルボン酸（東亜合成社製、アロニックス M-5300、アクリル酸 ω -カルボキシポリカプロラクトン（重合度 $n \div 2$ ））0.5 質量部、酢酸ブチル 20 質量部、特開 2015-26050 号公報の合成例 1 の方法で得られた桂皮酸誘導体 1.5 質量部、および、テトラブチルアンモニウムブロミド 0.3 質量部を仕込み、90℃ で 12 時間攪拌した。反応終了後、反応溶液と等量（質量）の酢酸ブチルで希釈し、3 回水洗した。この溶液を濃縮し、酢酸ブチルで希釈する操作を 2 回繰り返し、最終的に、光配向性基を有するポリオルガノシロキサン（下記重合体 A2）を含む溶液を得た。この重合体 A2 の重量平均分子量 M_w は 9,000 であった。また、 $^1\text{H-NMR}$ 分析の結果、重合体 A2 中のシンナメート基を有する成分は、23.7 質量% であった。

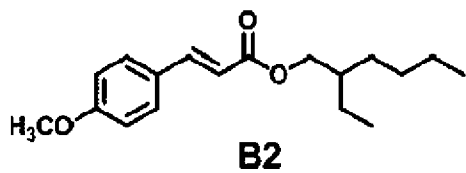
[0240] 重合体 A2

[化17]



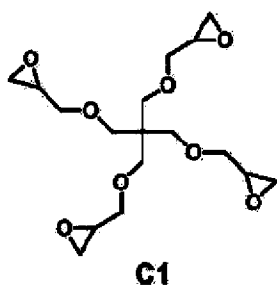
[0241] 低分子化合物 B2（日清オリイオ社、ノムコート TAB）

[化18]



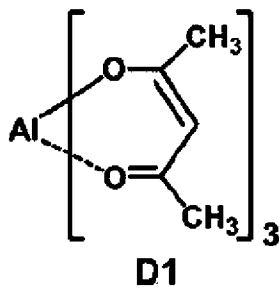
[0242] 架橋剤 C 1（下記式で表される架橋剤 C 1（ナガセケムテックス社製、デナコール EX 4 1 1））

[化19]



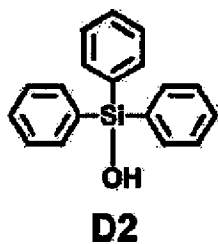
[0243] 化合物 D 1（下記式で表される化合物 D 1（川研ファインケミカル社製、アルミキレート A（W）））

[化20]



[0244] 化合物 D 2（下記式で表わされる化合物 D 2（東洋サイエンス社製、トリフェニルシラノール））

[化21]



[0245] (配向膜 P-10 の露光)

得られた配向膜 P-10 に偏光紫外線を照射 ($20 \text{ mJ} / \text{cm}^2$ 、超高压水銀ランプ使用) することで、配向膜 P-10 の露光を行った。

[0246] <光学異方性層 ($\lambda/4$ 板) の作製>

組成物 C-1 を配向膜 P-10 上に塗布し、塗膜をホットプレート上で 110°C に加熱し、その後、 60°C に冷却した。冷却後、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 $500 \text{ mJ} / \text{cm}^2$ 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て、光学異方性層を作製した。得られた光学異方性層の $\Delta n_{530} \times d \text{ (Re (530))}$ は 132.5 nm であった。

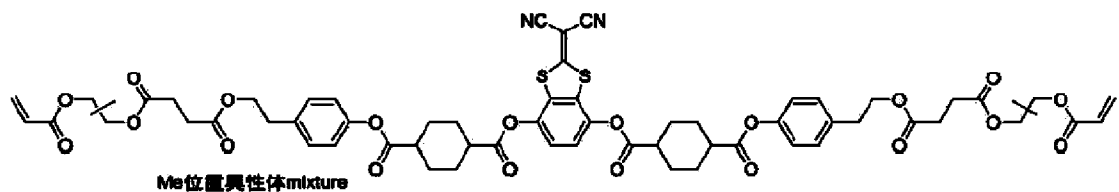
[0247] -----

$\lambda/4$ 板形成用塗布液

・液晶化合物 L-2	4.35 質量部
・液晶化合物 L-3	0.80 質量部
・液晶化合物 L-4	2.20 質量部
・重合開始剤 PI-1	0.48 質量部
・レベリング剤 G-1	1.15 質量部
・メチルエチルケトン	176.00 質量部
・シクロペンタノン	44.00 質量部

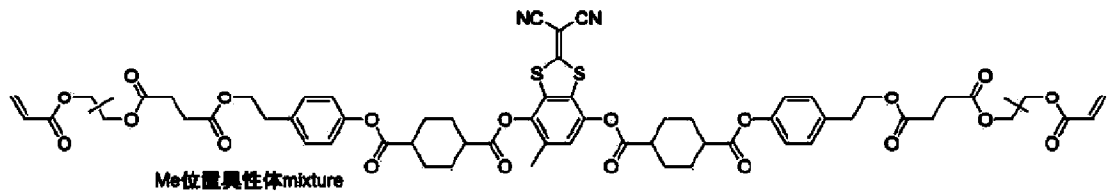
[0248] 液晶化合物 L-2

[化22]



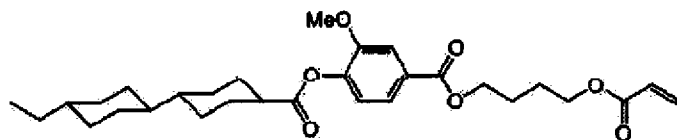
[0249] 液晶化合物 L-3

[化23]



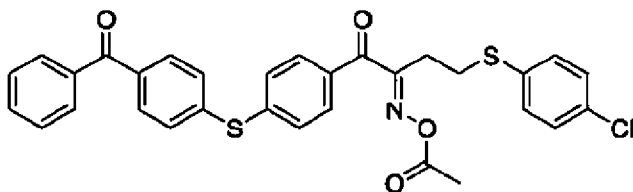
[0250] 液晶化合物 L-4

[化24]



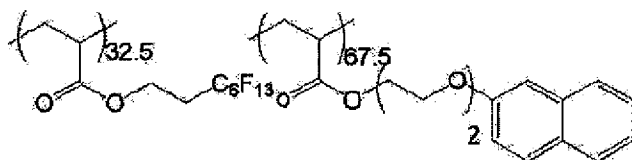
[0251] 重合開始剤 P I-1

[化25]



[0252] レベリング剤 G-1

[化26]



[0253] <円偏光板 G の作製>

上記光学異方性層（ $\lambda/4$ 板）の支持体側に、粘着剤を介して直線偏光板を貼り合わせて、円偏光板 G を得た。

[0254] <円偏光板 B および円偏光板 R の作製>

上記円偏光板 G の作製において、光学異方性層の膜厚を調整し、得られる光学異方性層の $\Delta n_{450} \times d$ (Re (450)) が 112.5 nm となるようにした以外は、円偏光板 G と同様にして、円偏光板 B を得た。

上記円偏光板 G の作製において、光学異方性層の膜厚を調整し、得られる

光学異方性層の $\Delta n_{635} \times d$ (Re (635)) が158.8 nmとなるようにした以外は、円偏光板Gと同様にして、円偏光板Rを得た。

[0255] <波長選択性評価>

作製した各光学フィルムに正面（法線に対する角度 0° の方向）、および、極角 30° （法線に対する角度 30° の方向）から光を入射した際における、赤色光、緑色光および青色光の偏光変換率を評価した。

具体的には、まず、2枚の円偏光板Rを、円偏光板Rの光学異方性層側が対向するように配置した。また、2枚の円偏光板Rの間に、光学フィルムを配置した。上記配置状態において、赤色光（635 nm）に中心波長を持つレーザ光を、円偏光板Rの法線方向から入射させて円偏光に変換し、当該円偏光を光学フィルムの法線方向から入射させ、光学フィルムを出射した円偏光を円偏光板Rに入射させ、円偏光板Rを出射した赤色光の強度を測定した。すなわち、赤色光レーザの透過率（ T_R ）を測定した。上記レーザ光の入射は、レーザ光を最初に入射する側の円偏光板Rの直線偏光子の透過軸の向きと、レーザ光の偏光方向の向きとが平行となるように調整した。

上記操作を行った際に、光学フィルムが、円偏光の赤色光に対して $\lambda/2$ の位相差を発生させる（逆の旋回方向の円偏光にする）場合には、レーザ光を入射した側とは反対側の円偏光板Rの直線偏光子によって赤色光が吸収される。一方、円偏光の赤色光に対して位相差を発生させない（円偏光の旋回方向変化させない）場合には、レーザ光を入射した側とは反対側の円偏光板Rの直線偏光子によって赤色光が吸収されずに赤色光が出射する。

[0256] 円偏光板Gと、緑色光（530 nm）に出力の中心波長を持つレーザ光とを用いた以外は、上記と同様にして緑色光レーザの透過率（ T_G ）を測定した。

また、円偏光板Bと、緑色光（450 nm）に出力の中心波長を持つレーザ光とを用いた以外は、上記と同様にして青色光レーザの透過率（ T_B ）を測定した。

上記 T_R 、 T_G 、および、 T_B のうち、最も小さい値を示す透過率の値を T_1

とし、それ以外の値をT2およびT3としたとき、下記基準に基づいて光学フィルムの波長選択性を評価した。A評価の方が波長選択性に優れるため好ましい。

A：T1が30%以下、かつ、T2およびT3が80%以上

B：T1が50%以下、かつ、T2およびT3が80%以上

なお、T1に対してT2およびT3が低い値となっていることは、光学フィルムが、特定の波長域の円偏光のみを逆の旋回方向の円偏光に変換できることを示す。また、T1を示す測定波長において、光学フィルムが円偏光を逆の旋回方向の円偏光に変換していることを示す。

さらに、各円偏光板の間に配置した光学フィルムのみの向きを変更して、光学フィルムの表面の法線方向から30°傾いた方向から円偏光が入射するようにして、上記と同様の評価を行った。

評価結果を下記表5に示す。

[0257] [表5]

表5		実施例1	実施例2	実施例3	実施例4
最小透過率波長		530	635	450	530
液晶層の液晶化合物		棒状および円盤状	棒状および円盤状	棒状および円盤状	棒状
波長 選択性	極角0°	A	A	A	A
	極角30°	A	A	A	B

[0258] 表5に示す結果から、各実施例の光学フィルム（光学要素）は、特定の波長域の円偏光のみを逆の旋回方向の円偏光に変換できることが確認された。なお、実施例1および4では、 T_G がT1（最小の透過率）となり、実施例2では、 T_R がT1となり、実施例3では、 T_B がT1となった。

実施例4と他の実施例との比較から、棒状液晶化合物及び円盤状液晶化合物のいずれか一方が、第1液晶層中の液晶化合物に含まれ、他方が、第2液晶層中の液晶化合物に含まれる場合、光学フィルム（光学要素）の表面の法線方向から傾いた方向から円偏光が入射した場合においても、波長選択性に優れることが確認された。

[0259] <光学素子>

以下の手順で、第１の光学異方性部材、第２の光学異方性部材、および、第３の光学異方性部材を作製した。

[0260] [第１の光学異方性部材の形成]

(支持体)

支持体として、ガラス基板を用意した。

[0261] (配向膜の形成)

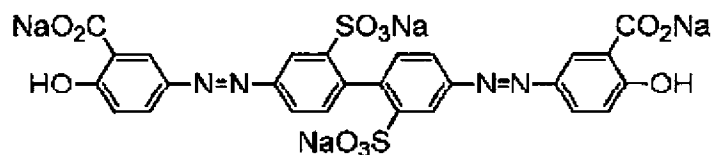
支持体上に、下記の配向膜形成用塗布液をスピコートで塗布した。この配向膜形成用塗布液の塗膜が形成された支持体を 60℃のホットプレート上で 60 秒間乾燥し、配向膜を形成した。

[0262] 配向膜形成用塗布液

光配向用素材 A	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

[0263] ー光配向用素材 A ー

[化27]



[0264] (配向膜の露光)

図 18 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 PG-1 を形成した。

露光装置において、レーザとして波長 (355 nm) 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 1000 mJ/cm²とした。

[0265] (光学異方性層の形成)

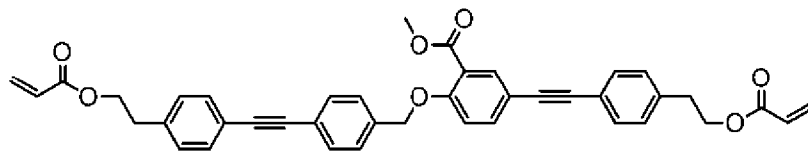
第1の光学異方性層を形成する液晶組成物として、下記の組成物E-1を調製した。

[0266] 組成物E-1

上記液晶化合物L-1	10.00質量部
下記液晶化合物L-5	90.00質量部
カイラル剤C1	0.69質量部
重合開始剤（BASF製、Irgacure OXE01）	1.00質量部
上記界面活性剤F2	0.30質量部
メチルエチルケトン	550.00質量部
シクロペンタノン	550.00質量部

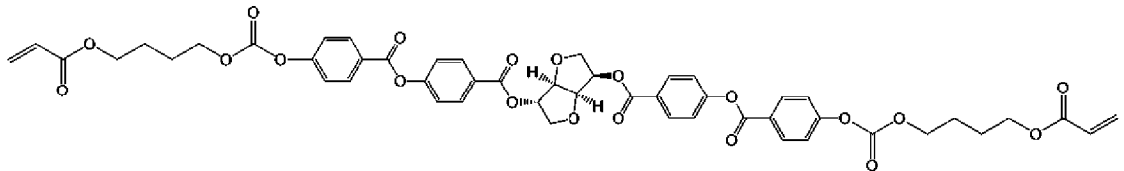
[0267] 液晶化合物L-5

[化28]



[0268] カイラル剤C1

[化29]



[0269] 光学異方性層は、組成物E-1を配向膜PG-1上に多層塗布することにより形成した。多層塗布とは、先ず配向膜の上に1層目の組成物E-1を塗布、加熱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、同様に加熱後に紫外線硬化を行うことを繰り返すことを指す。多層塗布により形成することにより、光学

異方性層の総厚が厚くなっても、配向膜の配向方向は、光学異方性層の下面から上面にわたって反映される。

[0270] まず、1層目は、配向膜PG-1上に上記の組成物E-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て液晶固定化層を形成した。

[0271] 2層目以降は、この液晶固定化層に重ね塗りして、上と同じ条件で加熱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、光学異方性層を形成して、液晶回折素子を作製した。

[0272] なお、液晶組成物E-1の硬化層の複素屈折率 Δn は、液晶組成物E-1を別途に用意したレ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）のレタレーション値および膜厚を測定して求めた。レタレーション値を膜厚で除算することにより Δn を算出できる。レタレーション値は、Axometrix社製のAxoscanを用いて目的の波長で測定し、膜厚は走査型電子顕微鏡を用いて測定した。

[0273] 光学異方性層は、最終的に液晶の $\Delta n_{550} \times$ 厚さ (Re (550)) が150nmになり、かつ、周期的な配向表面になっていることを偏光顕微鏡で確認した。なお、この光学異方性層の液晶配向パターンにおいて、液晶化合物の光軸が180°回転する1周期は、0.8μmであった。また、この光学異方性層において、液晶化合物の厚さ方向のねじれ角は83°であった。以下、特に記載が無い場合には、『 $\Delta n_{550} \times d$ 』等の測定は、同様に行った。

[0274] 第2の光学異方性層を形成する液晶組成物として、下記の組成物E-2を調製した。

[0275] 組成物E-2

上記液晶化合物L-1

10.00質量部

上記液晶化合物 L-5	90.00 質量部
上記カイラル剤 C 1	0.03 質量部
重合開始剤 (BASF 製、Irgacure OXE01)	1.00 質量部
上記界面活性剤 F 2	0.30 質量部
メチルエチルケトン	550.00 質量部
シクロペンタノン	550.00 質量部

[0276] 組成物 E-2 を用い、光学異方性層の膜厚を調節した以外は、第 1 の光学異方性層と同様にして第 2 の光学異方性層を形成した。

[0277] 光学異方性層は、最終的に液晶の $\Delta n_{550} \times$ 厚さ (Re (550)) が 335 nm になり、かつ、周期的な配向表面になっていることを偏光顕微鏡で確認した。なお、この光学異方性層の液晶配向パターンにおいて、液晶化合物の光軸が 180° 回転する 1 周期は、 $0.8 \mu\text{m}$ であった。また、この光学異方性層において、液晶化合物の厚さ方向のねじれ角は 8° であった。

[0278] 第 3 の光学異方性層を形成する液晶組成物として、下記の組成物 E-3 を調製した。

[0279] 組成物 E-3

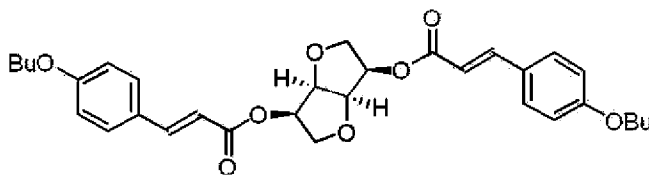
上記液晶化合物 L-1	10.00 質量部
上記液晶化合物 L-5	90.00 質量部
下記カイラル剤 C 2	0.60 質量部
重合開始剤 (BASF 製、Irgacure OXE01)	1.00 質量部
上記界面活性剤 F 2	0.30 質量部
メチルエチルケトン	550.00 質量部
シクロペンタノン	550.00 質量部

[0280] 組成物 E-3 を用い、光学異方性層の膜厚を調節した以外は、第 1 の光学異方性層と同様にして第 3 の光学異方性層を形成した。

[0281] 光学異方性層は、最終的に液晶の $\Delta n_{550} \times$ 厚さ (Re (550)) が 170 nm になり、かつ、周期的な配向表面になっていることを偏光顕微鏡で確認した。なお、この光学異方性層の液晶配向パターンにおいて、液晶化合物の光軸が 180° 回転する 1 周期は、 $0.8 \mu\text{m}$ であった。また、この光学異方性層において、液晶化合物の厚さ方向のねじれ角は -78° であった。このようにして、第 1 の液晶回折素子 A1 を含む第 1 の光学異方性部材を作製した。

[0282] カイラル剤 C2

[化30]



[0283] [第 2 の光学異方性部材の作製]

(配向膜の形成)

上記と同様にして、配向膜を形成した。なお、配向膜の露光は、以下に示す手順で行った。

[0284] (配向膜の露光)

図 18 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 PG-2 を形成した。

露光装置において、レーザとして波長 (355 nm) 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 $1000 \text{ mJ} / \text{cm}^2$ とした。

[0285] 配向膜 PG-2 を用いた以外は、第 1 の液晶回折素子 A1 と同様の手順で、それぞれの光学異方性層が下記位相差となるように調整して、第 2 の液晶回折素子 A2 を含む第 2 の光学異方性部材を作製した。

[0286] 作製した第 2 の液晶回折素子 A2 において、第 1 の光学異方性層の $\Delta n_{550} \times$ 厚さ (Re (550)) が 150 nm になり、液晶化合物の厚さ方向のね

じれ角は 83° であり、第2の光学異方性層の $\Delta n_{550} \times$ 厚さ (Re (550)) が 335 nm になり、液晶化合物の厚さ方向のねじれ角は 8° であり、第3の光学異方性層の $\Delta n_{550} \times$ 厚さ (Re (550)) が 170 nm になり、液晶化合物の厚さ方向のねじれ角は -78° であった。なお、この液晶回折素子の光学異方性層の液晶配向パターンにおいて、液晶化合物の光軸が 180° 回転する1周期は、 $10.0\text{ }\mu\text{m}$ であった。

[0287] [第3の光学異方性部材の作製]

(配向膜の形成)

上記と同様にして、支持体上に配向膜を形成した。なお、配向膜の露光は、以下に示す手順で行った。

[0288] (配向膜の露光)

図18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PG-3を形成した。

露光装置において、レーザとして波長(355 nm)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 $1000\text{ mJ}/\text{cm}^2$ とした。

[0289] 配向膜PG-3を用いた以外は、第1の液晶回折素子A1と同様の手順で、それぞれの光学異方性層が下記位相差となるように調整して、第3の液晶回折素子A3を含む第3の光学異方性部材を作製した。

[0290] 作製した第3の液晶回折素子A3において、第1の光学異方性層の $\Delta n_{550} \times$ 厚さ (Re (550)) が 150 nm になり、液晶化合物の厚さ方向のねじれ角は 83° であり、第2の光学異方性層の $\Delta n_{550} \times$ 厚さ (Re (550)) が 335 nm になり、液晶化合物の厚さ方向のねじれ角は 8° であり、第3の光学異方性層の $\Delta n_{550} \times$ 厚さ (Re (550)) が 170 nm になり、液晶化合物の厚さ方向のねじれ角は -78° であった。なお、この液晶回折素子の光学異方性層の液晶配向パターンにおいて、液晶化合物の光軸が 180° 回転する1周期は、 $8.9\text{ }\mu\text{m}$ であった。

[0291] [光学素子の作製および評価]

上記液晶回折素子A1 (光学異方性層)、実施例2の光学フィルム (光学

要素)、上記液晶回折素子 A 2 (光学異方性層)、実施例 1 の光学フィルム (光学要素)、および、上記液晶回折素子 A 3 (光学異方性層) とをこの順に積層し、光学素子を作製した。

[0292] 作製した光学素子について、正面 (法線に対する角度 0° の方向) から光を入射した際における、赤色光、緑色光および青色光の、入射光に対する透過回折光の角度を測定した。透過回折光の角度は、入射光の入射方向を 0° とした際における、入射光に対する透過回折光の角度である。

具体的には、赤色光 (635 nm)、緑色光 (532 nm) および青色光 (450 nm) に出力の中心波長を持つレーザ光を、作製した光学素子に法線方向に 10 cm 離れた位置から垂直入射させ、透過回折光を 100 cm の距離に配置したスクリーンで捉えて、透過角度を算出した。なお、本例においては、最も長波長の光の設計波長 λ_a は 635 nm、中間の波長の光の設計波長 λ_b は 532 nm、最も短波長の光の設計波長 λ_c は 450 nm としている。

なお、レーザ光を各波長に対応する上記円偏光板 B、円偏光板 G および円偏光板 R に垂直入射させて、円偏光にした後、作製した光学素子に入射し、評価を行った。

赤色光、緑色光および青色光の平均透過角度 θ_{ave} と、赤色光、緑色光および青色光のうちの最大透過角度 θ_{max} および最小透過角度 θ_{min} とから、下記の式によって、透過回折光の回折角の波長依存性 PE [%] を算出した。PE が小さいほど、透過回折光の回折角の波長依存性が低い。

$$PE [\%] = [(\theta_{max} - \theta_{min}) / \theta_{ave}] \times 100$$

作製した光学素子において、算出した PE は 5 % 以下であり、透過回折光の回折角の波長依存性が低いことが確認された。

符号の説明

- [0293] 10 光学素子
12 第 1 光学異方性部材
14 第 2 光学異方性部材

1 6 第3光学異方性部材
1 8 G, 1 8 R, 1 0 0 波長選択性位相差板
2 0 支持体
2 4 A, 2 4 B, 2 4 C 配向膜
2 6 A 第1光学異方性層
2 6 B 第2光学異方性層
2 6 C 第3光学異方性層
3 0 液晶化合物
3 0 A 光軸
3 4 光学異方性層
4 0 ディスプレイ
4 2 導光板
6 0, 8 0 露光装置
6 2, 8 2 レーザ
6 4, 8 4 光源
6 8 ビームスプリッター
7 0 A, 7 0 B, 9 0 A, 9 0 B ミラー
7 2 A, 7 2 B, 9 6 $\lambda/4$ 板
8 6, 9 4 偏光ビームスプリッター
9 2 レンズ
1 1 2 第1の波長板
1 1 4 第2の波長板
1 1 6 第3の波長板
2 1 0, 2 3 0 フィルター
2 1 2 第1 $\lambda/4$ 板
2 1 4 第2 $\lambda/4$ 板
2 1 6, 2 4 6 液晶偏光干渉素子
2 1 8 液晶化合物（棒状液晶化合物）

2 2 0, 2 3 2 第 1 液晶層

2 2 4, 2 3 4 第 2 液晶層

2 2 6, 2 3 6 液晶層組

D 1 第 1 面内遅相軸方向

D 2 第 2 面内遅相軸方向

D 3 第 3 面内遅相軸方向

B_R, B_{2R} 青色光の右円偏光

G_R, G_{1R}, G_{2R}, G_{3R} 緑色光の右円偏光

R_R, R_{1R}, R_{3R} 赤色光の右円偏光

B_{1L}, B_{3L} 青色光の左円偏光

G_{1L}, G_{2L} 緑色光の左円偏光

R_{1L}, R_{2L} 赤色光の左円偏光

M レーザ光

MA, MB 光線

MP P 偏光

MS S 偏光

P_O 直線偏光

P_R 右円偏光

P_L 左円偏光

Q 1, Q 2 絶対位相

E 1, E 2 等位相面

U 使用者

請求の範囲

- [請求項1] 第1 $\lambda/4$ 板と、光学積層体と、第2 $\lambda/4$ 板とこの順で有する、光学要素であって、
- 前記光学積層体が、厚さ方向に振れ配向した液晶化合物を固定してなる第1液晶層と、厚さ方向に振れ配向した液晶化合物を固定してなり、前記液晶化合物の振れ方向が前記第1液晶層中の前記液晶化合物の振れ方向と逆方向である第2液晶層と、からなる液晶層組を、厚さ方向に2組以上有し、
- 前記液晶層組において、前記第1液晶層の前記第2液晶層側の表面における前記液晶化合物の配向方向と、前記第2液晶層の前記第1液晶層側の表面における前記液晶化合物の配向方向とが、平行であり、
- 前記第1液晶層の前記液晶化合物の振れ角度と、前記第2液晶層の前記液晶化合物の振れ角度とが等しい、光学要素。
- [請求項2] 棒状液晶化合物及び円盤状液晶化合物のいずれか一方が、前記第1液晶層中の前記液晶化合物に含まれ、他方が、前記第2液晶層中の前記液晶化合物に含まれる、請求項1に記載の光学要素。
- [請求項3] 前記第1 $\lambda/4$ 板及び前記第2 $\lambda/4$ 板の少なくとも一方が、厚さ方向に振れ配向した液晶化合物を固定してなる液晶層A、及び、厚さ方向に振れ配向した液晶化合物を固定してなる液晶層Bからなる積層体である、請求項1に記載の光学要素。
- [請求項4] 前記液晶層A中の液晶化合物の振れ角度が $16.5 \sim 36.5^\circ$ であり、前記液晶層Aの屈折率差 Δn_A と前記液晶層Aの厚み d_A の積 $\Delta n_A d_A$ が $252 \sim 312 \text{ nm}$ であり、
- 前記液晶層B中の液晶化合物の振れ角度が $68.6 \sim 88.6^\circ$ であり、前記液晶層Bの屈折率差 Δn_B と前記液晶層Bの厚み d_B の積 $\Delta n_B d_B$ が $110 \sim 170 \text{ nm}$ である、請求項3に記載の光学要素。
- [請求項5] 前記液晶層Aが、前記光学積層体側に配置されており、

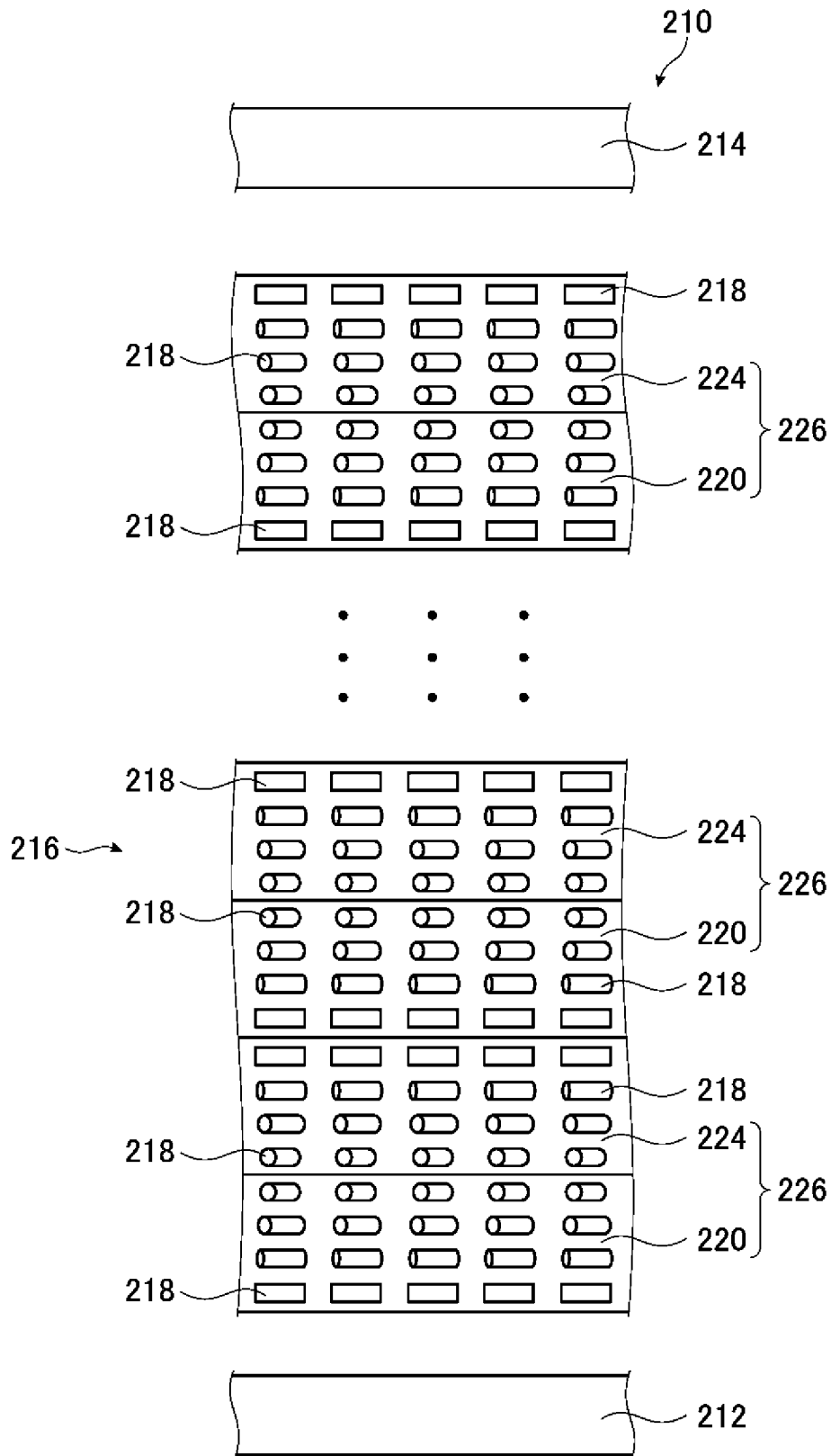
前記光学積層体の前記液晶層 A 側表面の前記液晶化合物の配向方向と、前記液晶層 A の前記光学積層体側表面の前記液晶化合物の配向方向とが平行である、請求項 3 に記載の光学要素。

[請求項6] 前記液晶層 A の前記液晶層 B 側表面の前記液晶化合物の配向方向と、前記液晶層 B の前記液晶層 A 側表面の前記液晶化合物の配向方向とが平行である、請求項 3 に記載の光学要素。

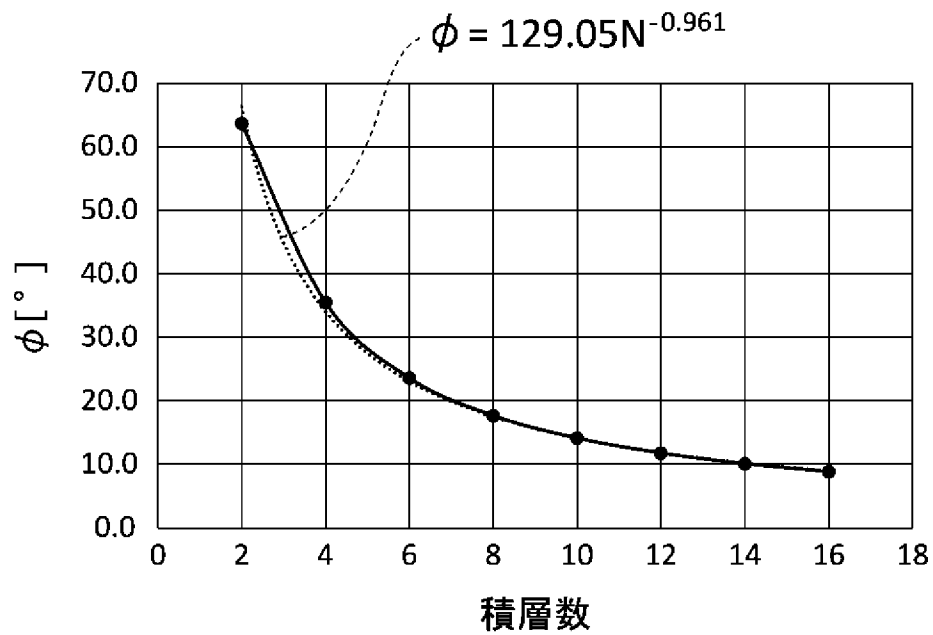
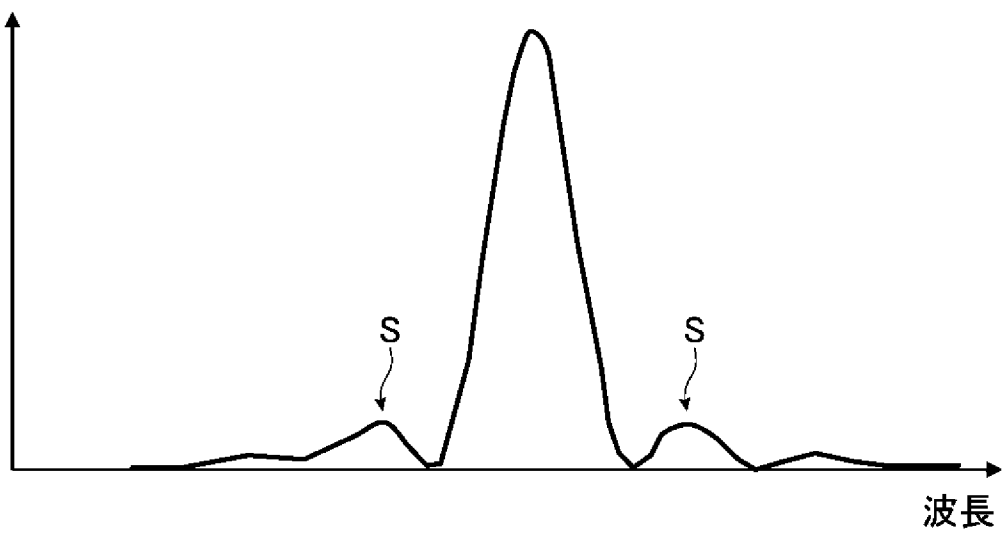
[請求項7] 液晶化合物を含む組成物を用いて形成された、前記液晶化合物由来の光軸の向きが面内の少なくとも一方向に沿って連続的に回転しながら変化している液晶配向パターンを有する、複数の光学異方性層と、
前記複数の光学異方性層における、隣接する 2 枚の前記光学異方性層のうちの、少なくとも一対の間に配置される、請求項 1 ～ 6 のいずれか一項に記載の光学要素を有し、かつ、

前記光学異方性層の前記液晶配向パターンにおいて、前記液晶化合物由来の光軸の向きが連続的に回転しながら変化する前記一方向における、前記液晶化合物由来の光軸の向きが 180° 回転する長さを 1 周期とした際に、少なくとも 1 層の前記光学異方性層は、他の前記光学異方性層と前記 1 周期の長さが異なる、光学素子。

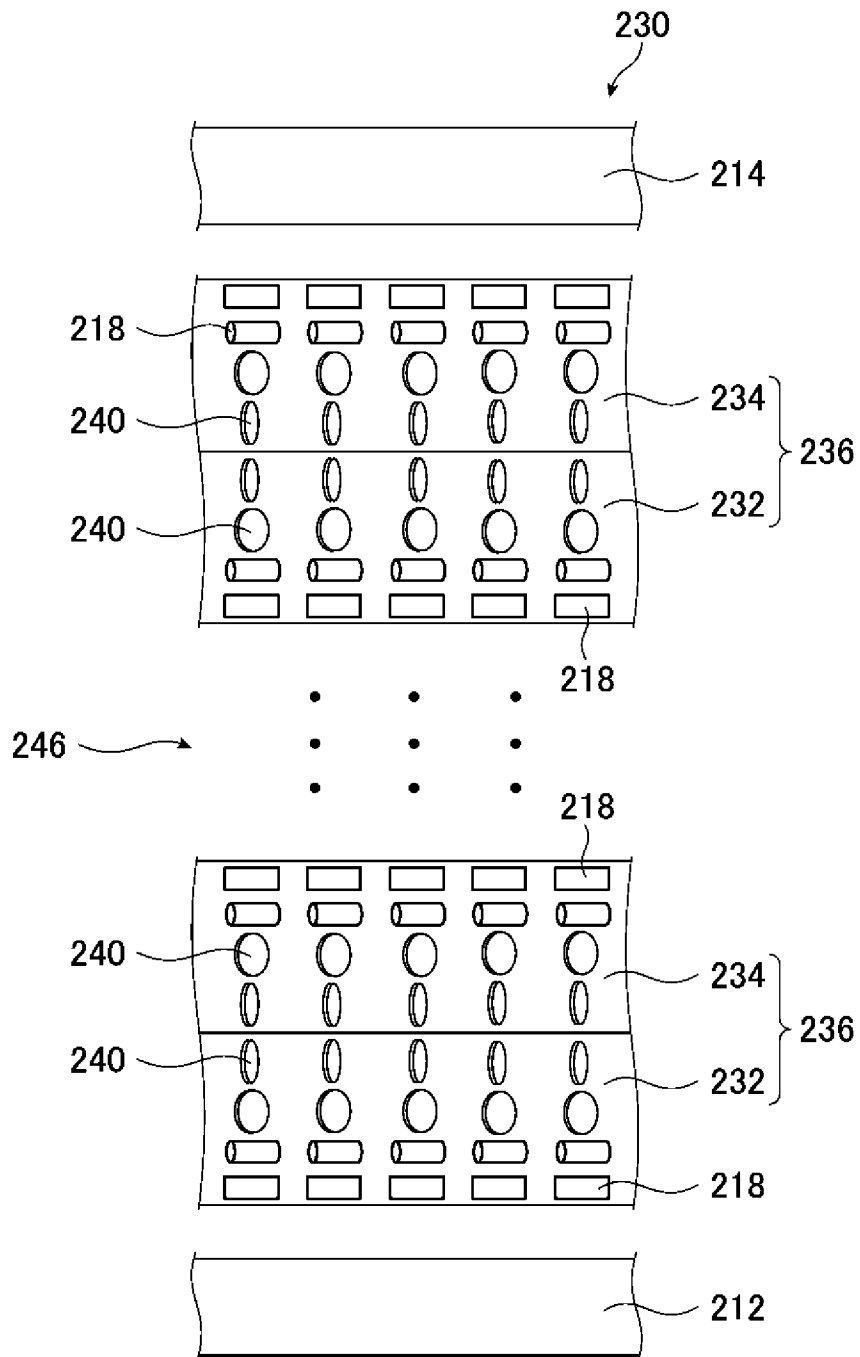
[図1]



[図2]

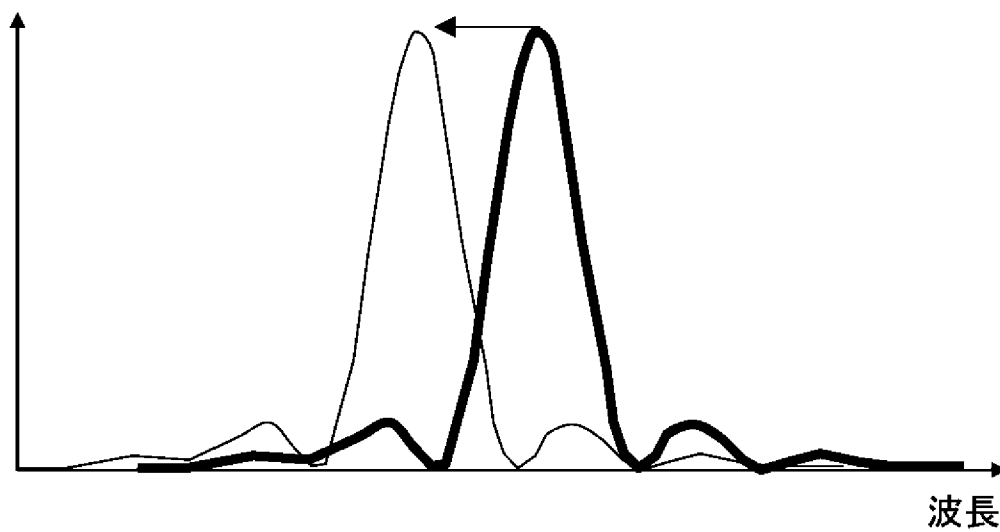
[図3]
透過率

[図4]

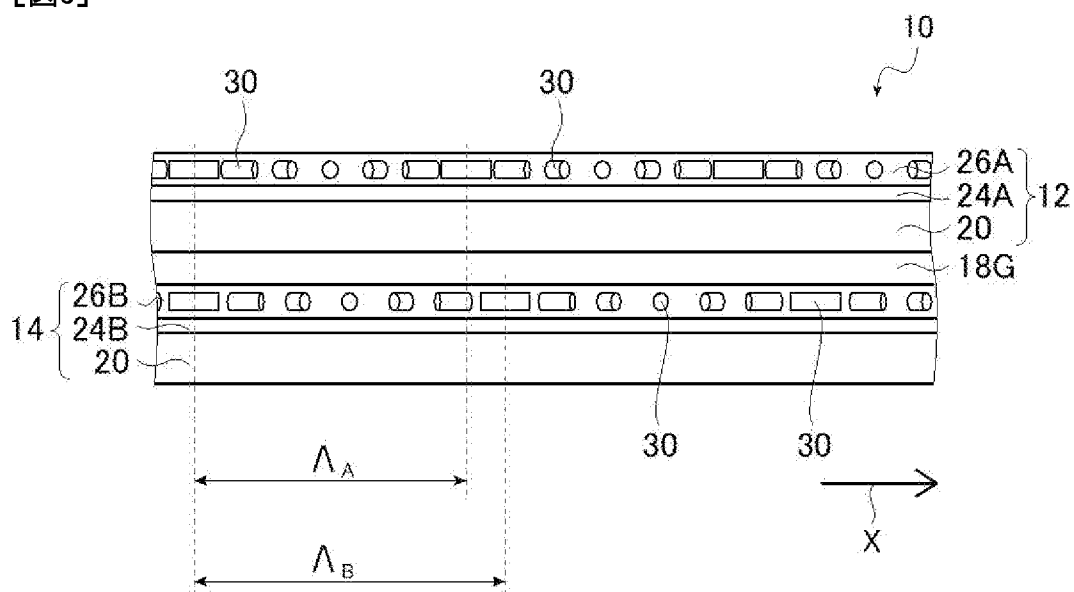


[図5]

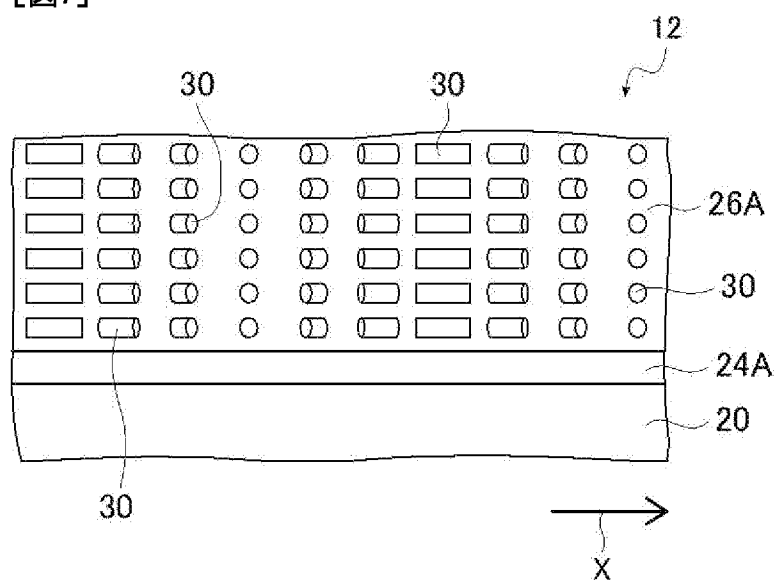
透過率



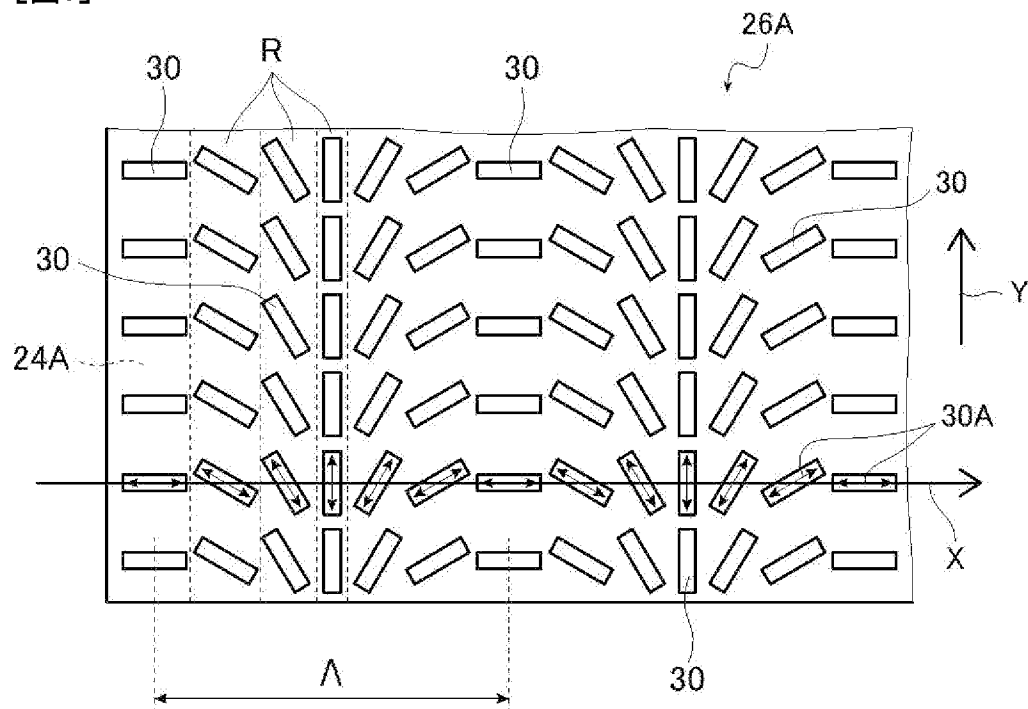
[図6]



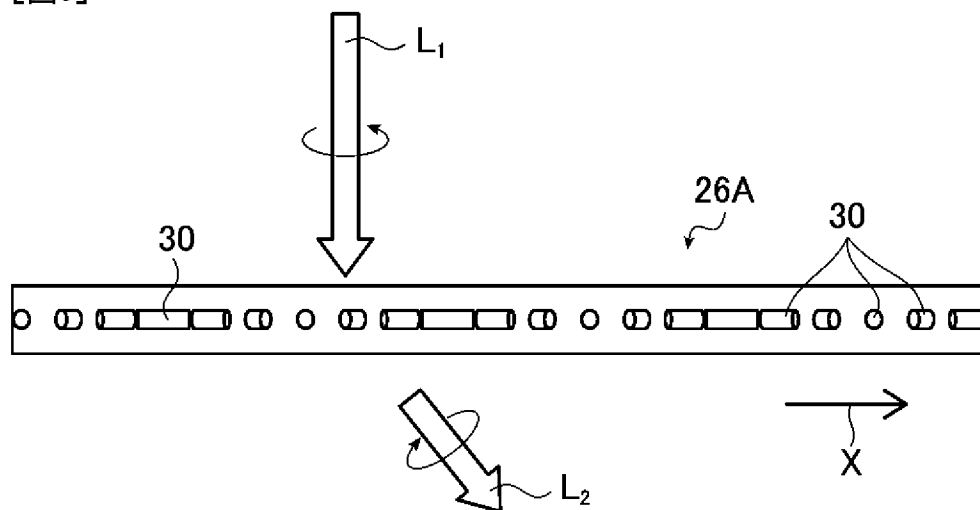
[図7]



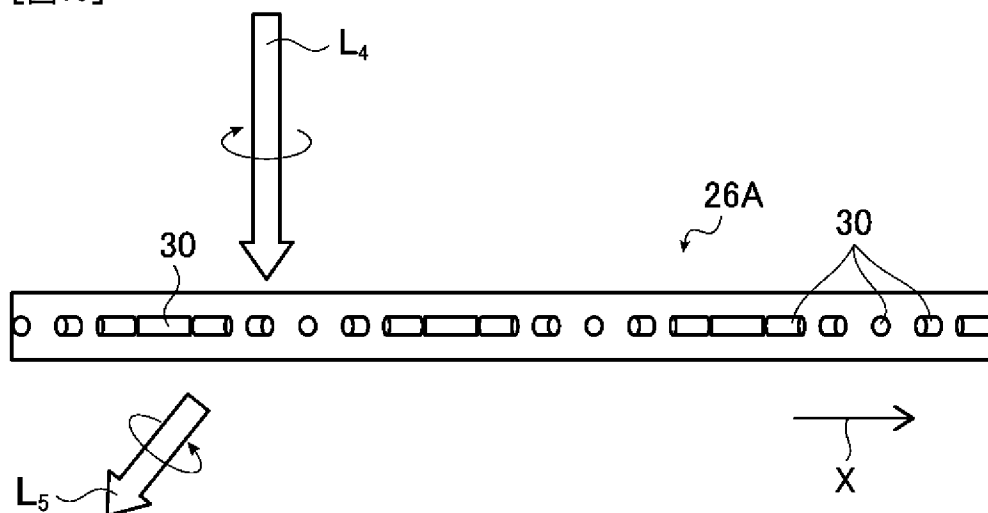
[図8]



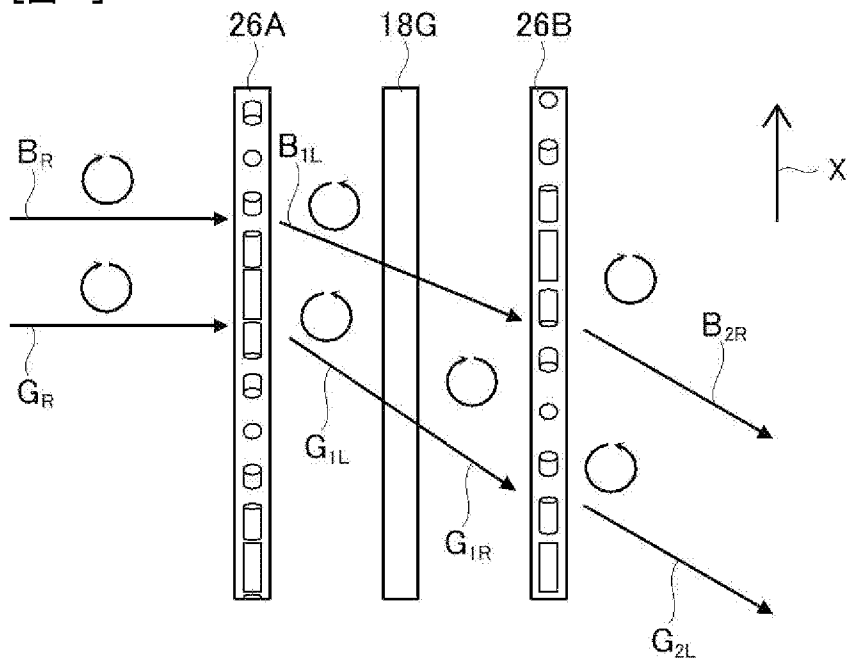
[図9]



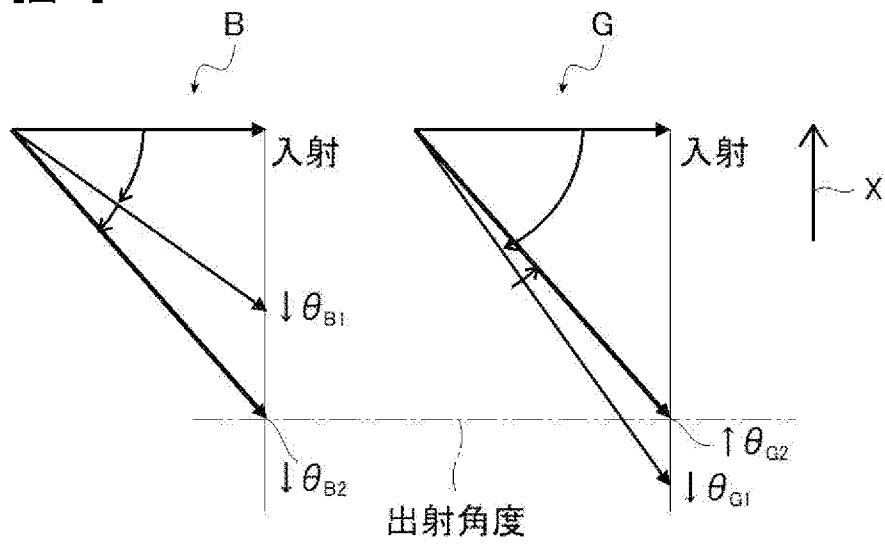
[図10]



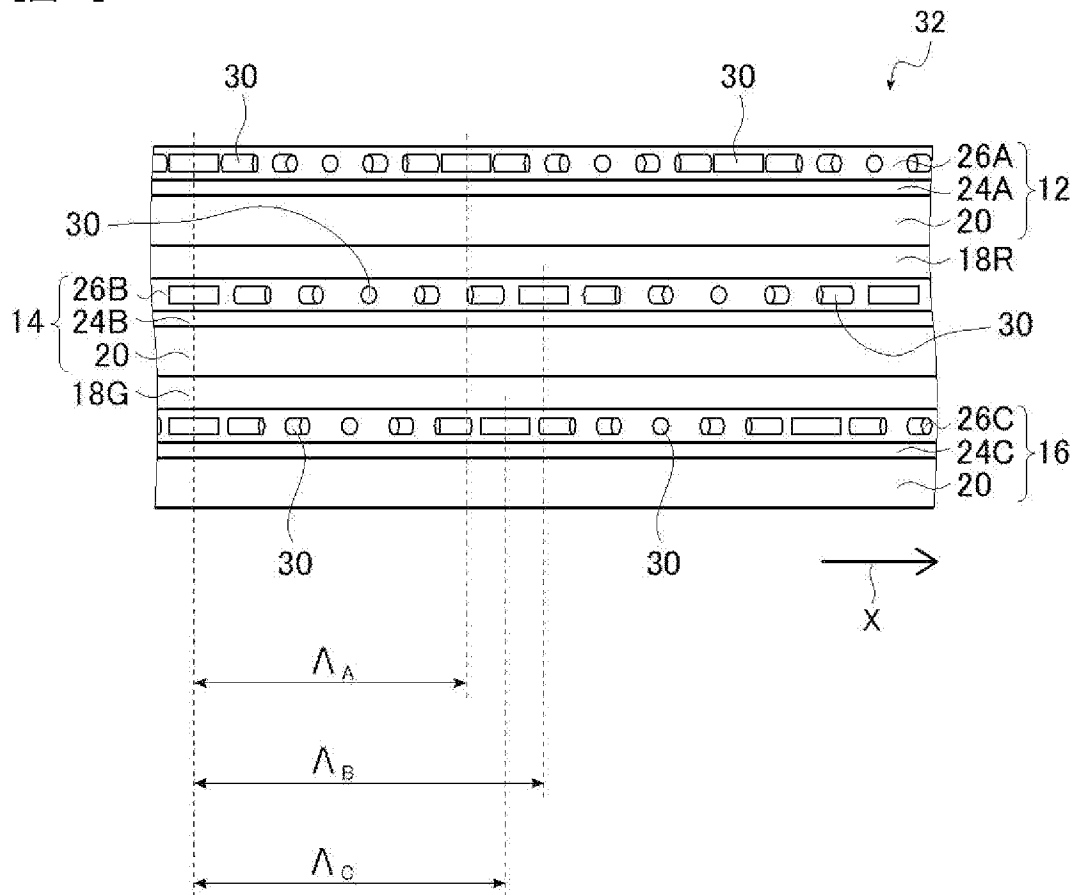
[図11]



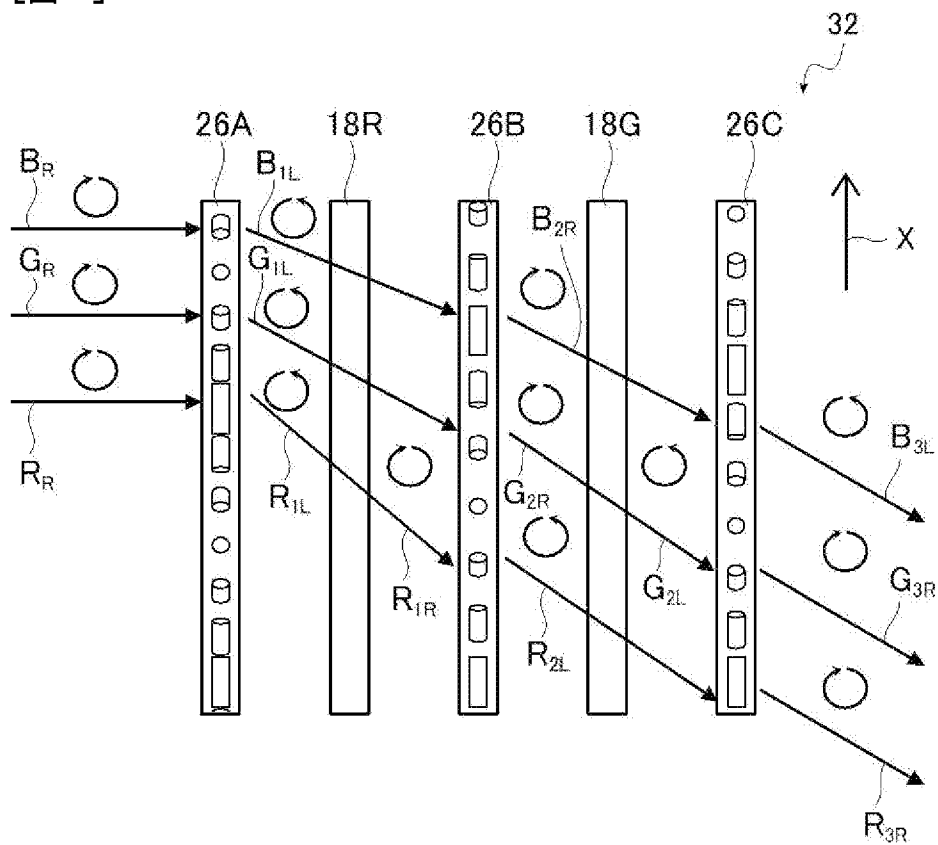
[図12]



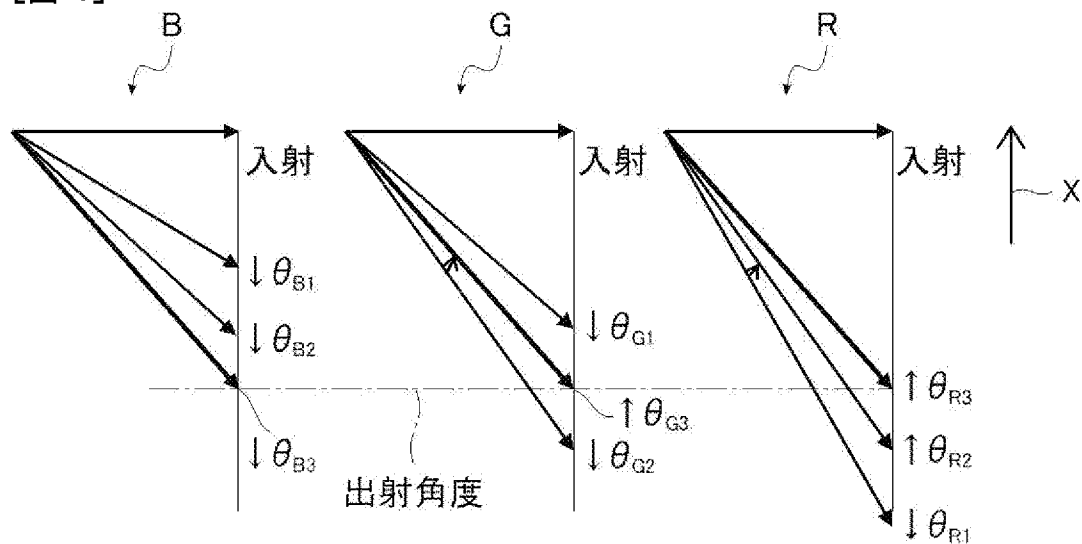
[図13]



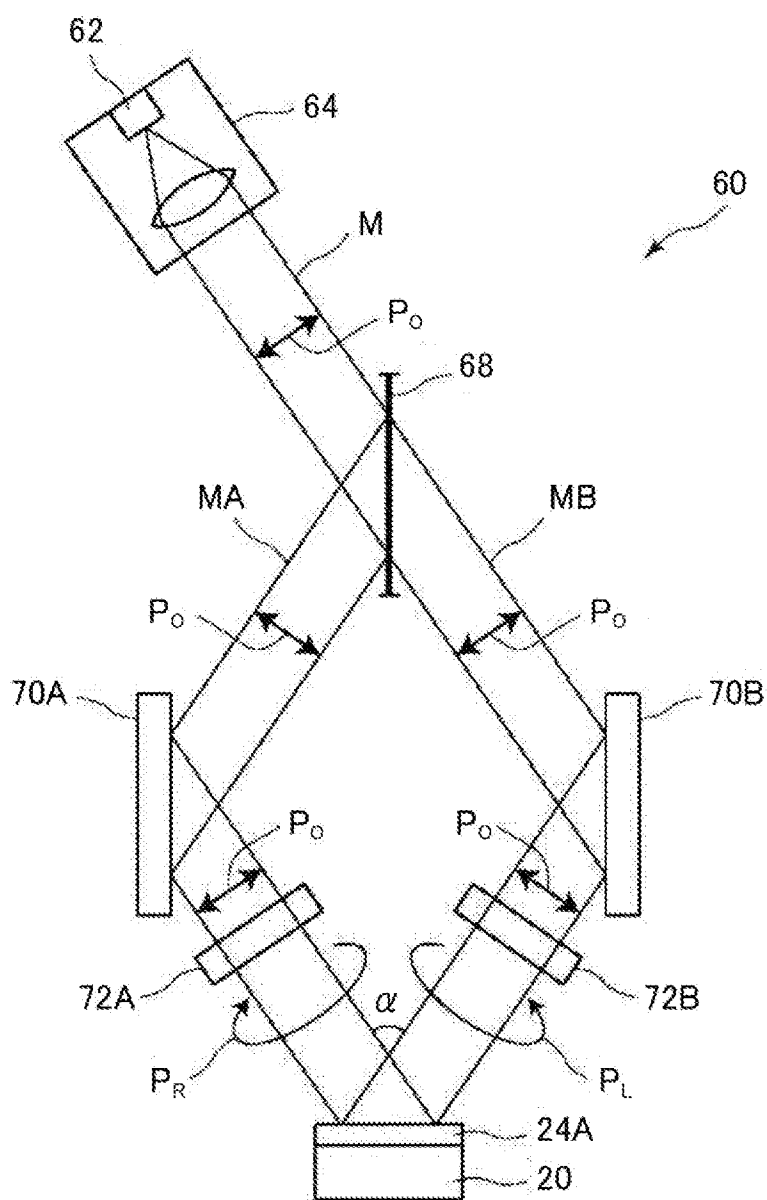
[図14]



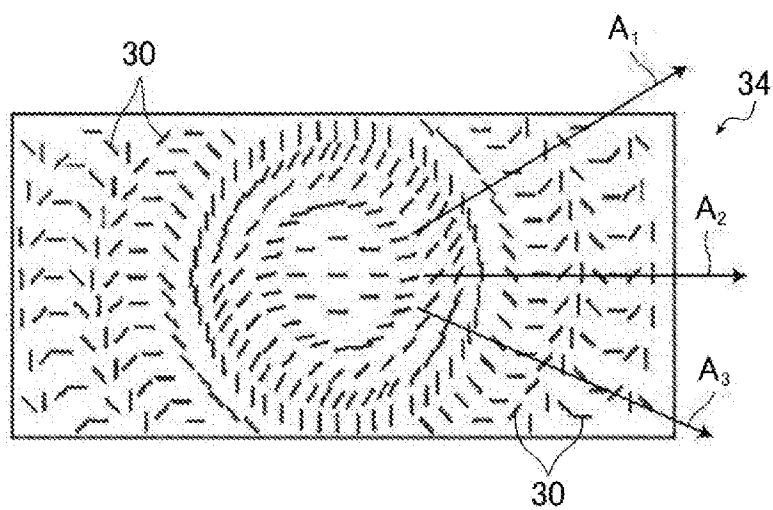
[図15]



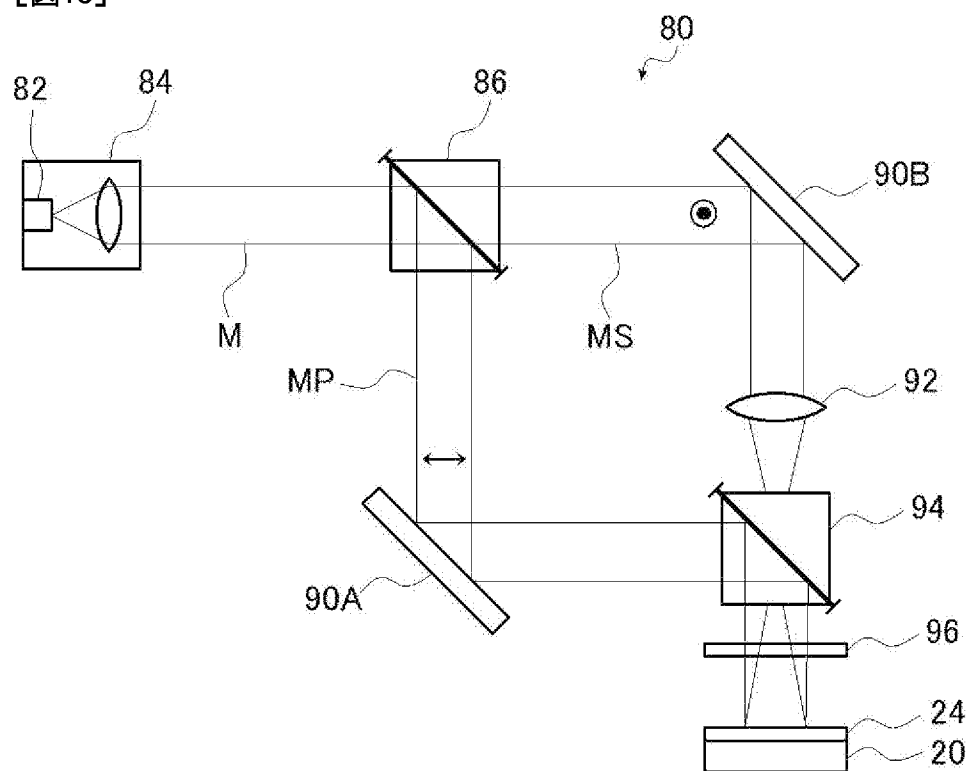
[図16]



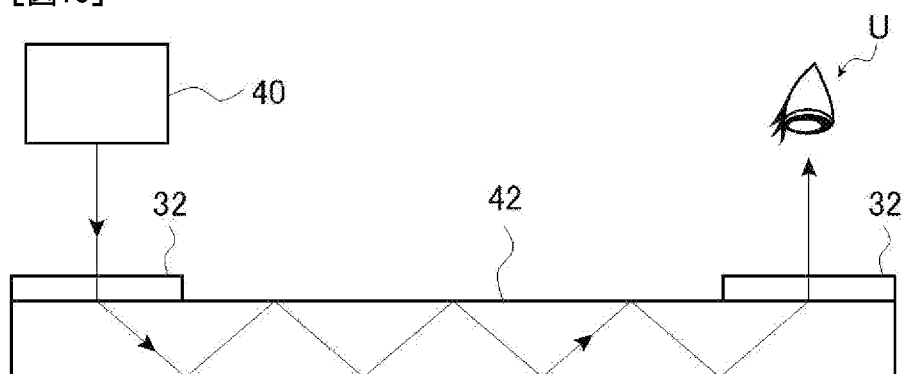
[図17]



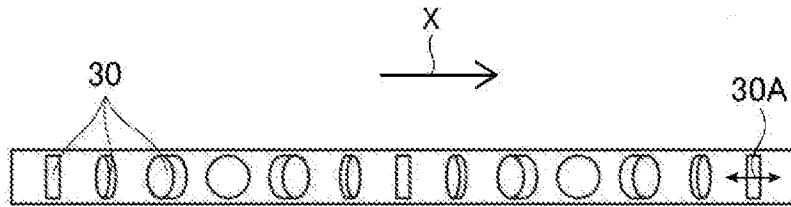
[図18]



[図19]



[図20]



INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.

PCT/JP2024/010683

A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER**G02B 5/30**(2006.01)i; **G02B 5/00**(2006.01)i; **G02B 5/18**(2006.01)i

FI: G02B5/30; G02B5/00 Z; G02B5/18

According to International Patent Classification (IPC) or to both national classification and IPC

B. FIELDS SEARCHED

Minimum documentation searched (classification system followed by classification symbols)

G02B5/30; G02B5/00; G02B5/18

Documentation searched other than minimum documentation to the extent that such documents are included in the fields searched

Published examined utility model applications of Japan 1922-1996

Published unexamined utility model applications of Japan 1971-2024

Registered utility model specifications of Japan 1996-2024

Published registered utility model applications of Japan 1994-2024

Electronic data base consulted during the international search (name of data base and, where practicable, search terms used)

C. DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
X	WO 2021/235416 A1 (FUJIFILM CORPORATION) 25 November 2021 (2021-11-25) paragraphs [0110]-[0116], [0122], [0126], [0129], fig. 12-14	1-6
A	paragraphs [0110]-[0116], [0122], [0126], [0129], fig. 12-14	7
X	CN 113093440 A (CHANGCHUN INSTITUTE OF OPTICS, FINE MECHANICS AND PHYSICS, CHINESE ACADEMY OF SCIENCES) 09 July 2021 (2021-07-09) paragraphs [0032], [0041], fig. 1, 3, 5	1-6
A	paragraphs [0032], [0041], fig. 1, 3, 5	7
A	JP 2014-89476 A (NORTH CAROLINA STATE UNIVERSITY) 15 May 2014 (2014-05-15) entire text, all drawings	1-7
A	WO 2019/131918 A1 (FUJIFILM CORPORATION) 04 July 2019 (2019-07-04) entire text, all drawings	7

☐ Further documents are listed in the continuation of Box C.☒ See patent family annex.

* Special categories of cited documents:

“A” document defining the general state of the art which is not considered to be of particular relevance

“D” document cited by the applicant in the international application

“E” earlier application or patent but published on or after the international filing date

“L” document which may throw doubts on priority claim(s) or which is cited to establish the publication date of another citation or other special reason (as specified)

“O” document referring to an oral disclosure, use, exhibition or other means

“P” document published prior to the international filing date but later than the priority date claimed

“T” later document published after the international filing date or priority date and not in conflict with the application but cited to understand the principle or theory underlying the invention

“X” document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered novel or cannot be considered to involve an inventive step when the document is taken alone

“Y” document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered to involve an inventive step when the document is combined with one or more other such documents, such combination being obvious to a person skilled in the art

“&” document member of the same patent family

Date of the actual completion of the international search

15 April 2024

Date of mailing of the international search report

07 May 2024

Name and mailing address of the ISA/JP

Japan Patent Office (ISA/JP)
3-4-3 Kasumigaseki, Chiyoda-ku, Tokyo 100-8915
Japan

Authorized officer

Telephone No.

INTERNATIONAL SEARCH REPORT
Information on patent family members

International application No.
PCT/JP2024/010683

Patent document cited in search report			Publication date (day/month/year)	Patent family member(s)	Publication date (day/month/year)
WO	2021/235416	A1	25 November 2021	US 2023/0097214 A1 paragraphs [0238]-[0248], [0256], [0262], [0265]-[0266], fig. 12-14 CN 115605785 A	
CN	113093440	A	09 July 2021	(Family: none)	
JP	2014-89476	A	15 May 2014	US 2013/0077040 A1 entire text, all drawings WO 2008/130555 A1 EP 2388625 A1 KR 10-2010-0024387 A CN 103472521 A	
WO	2019/131918	A1	04 July 2019	US 2020/0348545 A1 entire text, all drawings	

A. 発明の属する分野の分類（国際特許分類（IPC））

G02B 5/30(2006.01)i; G02B 5/00(2006.01)i; G02B 5/18(2006.01)i

FI: G02B5/30; G02B5/00 Z; G02B5/18

B. 調査を行った分野

調査を行った最小限資料（国際特許分類（IPC））

G02B5/30; G02B5/00; G02B5/18

最小限資料以外の資料で調査を行った分野に含まれるもの

日本国実用新案公報

1922-1996年

日本国公開実用新案公報

1971-2024年

日本国実用新案登録公報

1996-2024年

日本国登録実用新案公報

1994-2024年

国際調査で使用した電子データベース（データベースの名称、調査に使用した用語）

C. 関連すると認められる文献

引用文献の カテゴリー*	引用文献名 及び一部の箇所が関連するときは、その関連する箇所の表示	関連する 請求項の番号
X	WO 2021/235416 A1 (富士フイルム株式会社) 25.11.2021 (2021-11-25) 段落 [0110] - [0116]、[0122]、[0126]、[0129]、図12-14	1-6
A	段落 [0110] - [0116]、[0122]、[0126]、[0129]、図12-14	7
X	CN 113093440 A (CHANGCHUN INSTITUTE OF OPTICS, FINE MECHANICS AND PHYSICS, CHINESE ACADEMY OF SCIENCES) 09.07.2021 (2021-07-09) 段落 [0032]、[0041]、図1、3、5	1-6
A	段落 [0032]、[0041]、図1、3、5	7
A	JP 2014-89476 A (ノース・キャロライナ・ステイト・ユニヴァーシティ) 15.05.2014 (2014-05-15) 全文・全図	1-7
A	WO 2019/131918 A1 (富士フイルム株式会社) 04.07.2019 (2019-07-04) 全文・全図	7

☐ C欄の続きにも文献が列挙されている。

☒ パテントファミリーに関する別紙を参照。

* 引用文献のカテゴリー

“A” 特に関連のある文献ではなく、一般的技術水準を示すもの

“D” 国際出願で出願人が先行技術文献として記載した文献

“E” 国際出願日前の出願または特許であるが、国際出願日以後に公表されたもの

“L” 優先権主張に疑義を提起する文献又は他の文献の発行日若しくは他の特別な理由を確立するために引用する文献（理由を付す）

“O” 口頭による開示、使用、展示等に言及する文献

“P” 国際出願日前で、かつ優先権の主張の基礎となる出願の日の後に公表された文献

“T” 国際出願日又は優先日後に公表された文献であって出願と抵触するものではなく、発明の原理又は理論の理解のために引用するもの

“X” 特に関連のある文献であって、当該文献のみで発明の新規性又は進歩性がないと考えられるもの

“Y” 特に関連のある文献であって、当該文献と他の1以上の文献との、当業者にとって自明である組合せによって進歩性がないと考えられるもの

“&” 同一パテントファミリー文献

国際調査を完了した日

15. 04. 2024

国際調査報告の発送日

07. 05. 2024

名称及びあて先

日本国特許庁(ISA/JP)

〒100-8915

日本国

東京都千代田区霞が関三丁目4番3号

権限のある職員（特許庁審査官）

吉川 陽吾 20 2338

電話番号 03-3581-1101 内線 3271

国際調査報告
パテントファミリーに関する情報

国際出願番号

PCT/JP2024/010683

引用文献			公表日	パテントファミリー文献	公表日
WO	2021/235416	A1	25.11.2021	US 2023/0097214 A1 段落 [0 2 3 8] - [0 2 4 8]、[0 2 5 6]、 [0 2 6 2]、[0 2 6 5] - [0 2 6 6]、図 1 2 - 1 4 CN 115605785 A	
CN	113093440	A	09.07.2021	(ファミリーなし)	
JP	2014-89476	A	15.05.2014	US 2013/0077040 A1 全文・全図 WO 2008/130555 A1 EP 2388625 A1 KR 10-2010-0024387 A CN 103472521 A	
WO	2019/131918	A1	04.07.2019	US 2020/0348545 A1 全文・全図	