

(19)日本国特許庁(JP)

(12)特許公報(B2)

(11)特許番号
特許第7515601号
(P7515601)

(45)発行日 令和6年7月12日(2024.7.12)

(24)登録日 令和6年7月4日(2024.7.4)

(51)国際特許分類	F I		
G 0 2 B 5/30 (2006.01)	G 0 2 B	5/30	
G 0 2 B 5/18 (2006.01)	G 0 2 B	5/18	
G 0 2 B 27/02 (2006.01)	G 0 2 B	27/02	Z
G 0 2 F 1/13363(2006.01)	G 0 2 F	1/13363	

請求項の数 20 (全70頁)

(21)出願番号	特願2022-546951(P2022-546951)	(73)特許権者	306037311
(86)(22)出願日	令和3年9月1日(2021.9.1)		富士フイルム株式会社
(86)国際出願番号	PCT/JP2021/032176		東京都港区西麻布2丁目26番30号
(87)国際公開番号	WO2022/050319	(74)代理人	100152984
(87)国際公開日	令和4年3月10日(2022.3.10)		弁理士 伊東 秀明
審査請求日	令和5年2月24日(2023.2.24)	(74)代理人	100148080
(31)優先権主張番号	特願2020-147455(P2020-147455)		弁理士 三橋 史生
(32)優先日	令和2年9月2日(2020.9.2)	(72)発明者	佐藤 寛
(33)優先権主張国・地域又は機関	日本国(JP)		神奈川県南足柄市中沼210番地 富士フイルム株式会社内
(31)優先権主張番号	特願2020-177293(P2020-177293)	(72)発明者	齊藤 之人
(32)優先日	令和2年10月22日(2020.10.22)		神奈川県南足柄市中沼210番地 富士フイルム株式会社内
(33)優先権主張国・地域又は機関	日本国(JP)	(72)発明者	米本 隆
(31)優先権主張番号	特願2021-35617(P2021-35617)		神奈川県南足柄市中沼210番地 富士フイルム株式会社内
最終頁に続く		最終頁に続く	

(54)【発明の名称】 液晶回折素子、光学素子、画像表示ユニット、ヘッドマウントディスプレイ、ビームステアリング、および、センサー

(57)【特許請求の範囲】

【請求項1】
液晶化合物を含む液晶組成物を用いて形成された光学異方性層を備え、
前記光学異方性層は、前記液晶化合物由来の光学軸の向きが面内の少なくとも一方向に沿って連続的に回転しながら変化している液晶配向パターンを有し、
前記液晶化合物由来の光学軸の向きが面内で180°回転する長さを1周期とした際に、前記液晶配向パターンにおける前記1周期の長さが、前記一方向に沿って漸次変化し、
前記光学異方性層は、前記一方向に沿って厚さ方向に切断した断面を走査型電子顕微鏡で観察される断面画像において、一方の表面から他方の表面に延在する明部および暗部を有し、前記暗部が、厚さ方向において、表面に対する傾斜角度が変化する点を2つ以上有し、
厚さ方向において、前記暗部の傾斜方向が異なる領域を有し、
前記暗部の平均傾斜角が、前記一方向に沿って漸次変化している液晶回折素子。
ここで、前記暗部の平均傾斜角は、前記暗部の、前記光学異方性層の一方の表面との接点と他方の表面との接点とを結んだ線が、前記光学異方性層の主面の垂線となす角度である。

【請求項2】
前記液晶配向パターンにおける前記1周期の長さが短くなるにしたがって、前記暗部の平均傾斜角が大きくなる請求項1に記載の液晶回折素子。

【請求項3】

前記暗部の、傾斜方向が折り返される変曲点の数が奇数個である請求項 1 または 2 に記載の液晶回折素子。

【請求項 4】

前記暗部の、傾斜方向が折り返される変曲点の数が 1 つである請求項 1 ～ 3 のいずれか一項に記載の液晶回折素子。

【請求項 5】

前記暗部の、傾斜方向が折り返される変曲点の数が 3 つである請求項 1 ～ 3 のいずれか一項に記載の液晶回折素子。

【請求項 6】

前記光学異方性層の前記液晶配向パターンが、前記液晶化合物由来の光学軸の向きが連続的に回転しながら変化する前記一方向を、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、請求項 1 ～ 5 のいずれか一項に記載の液晶回折素子。

【請求項 7】

前記光学異方性層は、同心円状の中心部分の断面において前記光学異方性層の厚さ方向の中心線に対して、前記明部および前記暗部の形状が対称であり、同心円状の端部の断面において前記光学異方性層の厚さ方向の中心線に対して、前記明部および前記暗部の形状が非対称である、請求項 6 に記載の液晶回折素子。

【請求項 8】

前記光学異方性層は、同心円状の中心部分の断面において前記光学異方性層の厚さ方向の中心線に対して、前記明部および前記暗部の形状が非対称であり、同心円状の端部の断面において前記光学異方性層の厚さ方向の中心線に対して、前記明部および前記暗部の形状が非対称である、請求項 6 に記載の液晶回折素子。

【請求項 9】

前記光学異方性層の屈折率異方性に伴う屈折率差 Δn_{550} が 0.2 以上である、請求項 1 ～ 8 のいずれか 1 項に記載の液晶回折素子。

【請求項 10】

前記液晶配向パターンにおける 1 周期の長さが、 $1.0 \mu\text{m}$ 以下である領域を面内に有する、請求項 1 ～ 9 のいずれか一項に記載の液晶回折素子。

【請求項 11】

請求項 1 ～ 10 のいずれか一項に記載の液晶回折素子と円偏光板とを有する、光学素子。

【請求項 12】

前記円偏光板が位相差板と偏光子からなり、前記液晶回折素子と前記位相差板と前記偏光子をこの順で配置される、請求項 11 に記載の光学素子。

【請求項 13】

前記位相差板が $\lambda/4$ 板である、請求項 12 に記載の光学素子。

【請求項 14】

前記位相差板が逆波長分散性を有する、請求項 12 または 13 に記載の光学素子。

【請求項 15】

請求項 1 ～ 10 のいずれか一項に記載の液晶回折素子と酸化ケイ素層と支持体をこの順で有する、光学素子。

【請求項 16】

請求項 1 ～ 10 のいずれか一項に記載の液晶回折素子または請求項 11 ～ 15 のいずれか一項に記載の光学素子を少なくとも 1 つ以上有し、少なくとも 1 つ以上の位相変調素子を有する、光学素子。

【請求項 17】

請求項 1 ～ 10 のいずれか一項に記載の液晶回折素子または請求項 11 ～ 15 のいずれか一項に記載の光学素子を有する、画像表示ユニット。

【請求項 18】

請求項 17 に記載の画像表示ユニットを有する、ヘッドマウントディスプレイ。

【請求項 19】

10

20

30

40

50

請求項 1 ～ 1 0 のいずれか一項に記載の液晶回折素子または請求項 1 1 ～ 1 5 のいずれか一項に記載の光学素子を有する、ビームステアリング。

【請求項 2 0】

請求項 1 ～ 1 0 のいずれか一項に記載の液晶回折素子または請求項 1 1 ～ 1 5 のいずれか一項に記載の光学素子を有する、センサー。

【発明の詳細な説明】

【技術分野】

【0 0 0 1】

本発明は、入射した光を回折する液晶回折素子、および、これを用いる光学素子、ならびに、これを用いる画像表示ユニット、ヘッドマウントディスプレイ、ビームステアリングおよびセンサーに関する。

【背景技術】

【0 0 0 2】

光の方向を制御する光学素子は多くの光学デバイスあるいはシステムで利用されている。

例えば、液晶表示装置のバックライト、実際に見ている光景に、仮想の映像およ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、VR (Virtual reality (仮想現実)) グラス、MR (Mixed reality (複合現実)) グラスなどのヘッドマウントディスプレイ (HMD (Head Mounted Display))、ヘッドアップディスプレイ (HUD (Head Up Display))、プロジェクター、ビームステアリング、物体の検出および物体との距離の測定等を行うためのセンサーなど、様々な光学デバイスで光の方向を制御する光学素子が用いられている。

【0 0 0 3】

このような光の方向を制御する光学素子として、液晶化合物を含む液晶組成物を用いて形成された光学異方性層を有する液晶回折素子が提案されている。

【0 0 0 4】

特許文献 1 には、基板と、基板上の第 1 の偏光回折格子層であって、第 1 の偏光回折格子層の両面間に定められる第 1 の厚みにわたって第 1 の振じれ性に従って振じられている分子構造を含んでいる、第 1 の偏光回折格子層と、を備えている偏光回折格子が開示されている。この特許文献 1 には、偏光回折格子層が、液晶分子を所定の配向パターンで配向することで光を回折できることが記載されている。

【先行技術文献】

【特許文献】

【0 0 0 5】

【文献】特表 2 0 1 0 - 5 2 5 3 9 4 号公報

【発明の概要】

【発明が解決しようとする課題】

【0 0 0 6】

ところで、面内で液晶配向パターンを変化させて光を回折させる液晶回折素子は、様々な光学デバイスの光学部材としての適用が期待される。しかしながら、面内で液晶配向パターンを変化させて光を回折させる液晶回折素子は、回折角度が大きくなると回折効率が低下する、すなわち回折光の強度が弱くなるという問題があった。

【0 0 0 7】

そのため、面内で液晶配向パターンを変化させて光を回折させることでレンズ機能を発現させる素子などのように、光の入射位置によって回折角度が異なる素子の場合には、素子面内の入射位置によって回折効率に差が生じる。すなわち、素子面内の入射位置によって、透過した光が暗くなる領域が生じるという問題があった。

【0 0 0 8】

本発明の目的は、このような従来技術の問題点を解決することにより、回折角度によらず回折効率が高い液晶回折素子、および、これを用いる光学素子、ならびに、これを用いる画像表示ユニット、ヘッドマウントディスプレイ、ビームステアリングおよびセンサー

10

20

30

40

50

を提供することにある。

【課題を解決するための手段】

【0009】

この課題を解決するために、本発明は、以下の構成を有する。

〔1〕 液晶化合物を含む液晶組成物を用いて形成された光学異方性層を備え、

光学異方性層は、液晶化合物由来の光学軸の向きが面内の少なくとも一方向に沿って連続的に回転しながら変化している液晶配向パターンを有し、

液晶化合物由来の光学軸の向きが面内で 180° 回転する長さを1周期とした際に、液晶配向パターンにおける1周期の長さが、一方向に沿って漸次変化し、

光学異方性層は、一方向に沿って厚さ方向に切断した断面を走査型電子顕微鏡で観察される断面画像において、一方の表面から他方の表面に延在する明部および暗部を有し、暗部が、2つ以上の角度の変曲点を有し、

厚さ方向において、暗部の傾斜方向が異なる領域を有し、

暗部の平均傾斜角が、一方向に沿って漸次変化している液晶回折素子。

〔2〕 液晶配向パターンにおける1周期の長さが短くなるにしたがって、暗部の平均傾斜角が大きくなる〔1〕に記載の液晶回折素子。

〔3〕 暗部の、傾斜方向が折り返される変曲点の数が奇数個である〔1〕または〔2〕に記載の液晶回折素子。

〔4〕 暗部の、傾斜方向が折り返される変曲点の数が1つである〔1〕～〔3〕のいずれかに記載の液晶回折素子。

〔5〕 暗部の、傾斜方向が折り返される変曲点の数が3つである〔1〕～〔3〕のいずれかに記載の液晶回折素子。

〔6〕 光学異方性層の液晶配向パターンが、液晶化合物由来の光学軸の向きが連続的に回転しながら変化する一方向を、内側から外側に向かう同心円状に有する、同心円状のパターンである、〔1〕～〔5〕のいずれかに記載の液晶回折素子。

〔7〕 光学異方性層は、同心円状の中心部分の断面において光学異方性層の厚さ方向の中心線に対して、明部および暗部の形状が対称であり、同心円状の端部の断面において光学異方性層の厚さ方向の中心線に対して、明部および暗部の形状が非対称である、〔6〕に記載の液晶回折素子。

〔8〕 光学異方性層は、同心円状の中心部分の断面において光学異方性層の厚さ方向の中心線に対して、明部および暗部の形状が非対称であり、同心円状の端部の断面において光学異方性層の厚さ方向の中心線に対して、明部および暗部の形状が非対称である、〔6〕に記載の液晶回折素子。

〔9〕 光学異方性層の屈折率異方性に伴う屈折率差 Δn_{550} が0.2以上である、〔1〕～〔8〕のいずれかに記載の液晶回折素子。

〔10〕 液晶配向パターンにおける1周期の長さが、 $1.0\mu\text{m}$ 以下である領域を面内に有する、〔1〕～〔9〕のいずれかに記載の液晶回折素子。

〔11〕 〔1〕～〔10〕のいずれかに記載の液晶回折素子と円偏光板とを有する、光学素子。

〔12〕 円偏光板が位相差板と偏光子からなり、液晶回折素子と位相差板と偏光子をこの順で配置される、〔11〕に記載の光学素子。

〔13〕 位相差板が $\lambda/4$ 板である、〔12〕に記載の光学素子。

〔14〕 位相差板が逆波長分散性を有する、〔12〕または〔13〕に記載の光学素子。

〔15〕 〔1〕～〔10〕のいずれかに記載の液晶回折素子と酸化ケイ素層と支持体をこの順で有する、光学素子。

〔16〕 〔1〕～〔10〕のいずれかに記載の液晶回折素子または〔11〕～〔15〕のいずれかに記載の光学素子を少なくとも1つ以上有し、少なくとも1つ以上の位相変調素子を有する、光学素子。

〔17〕 〔1〕～〔10〕のいずれかに記載の液晶回折素子または〔11〕～〔15〕

10

20

30

40

50

】のいずれかに記載の光学素子を有する、画像表示ユニット。

【18】 【17】に記載の画像表示ユニットを有する、ヘッドマウントディスプレイ。

【19】 【1】～【10】のいずれかに記載の液晶回折素子または【11】～【15】のいずれかに記載の光学素子を有する、ビームステアリング。

【20】 【1】～【10】のいずれかに記載の液晶回折素子または【11】～【15】のいずれかに記載の光学素子を有する、センサー。

【発明の効果】

【0010】

本発明によれば、このような従来技術の問題点を解決することにより、回折角度によらず回折効率が高い液晶回折素子を提供することができる。

【図面の簡単な説明】

【0011】

【図1】図1は、本発明の液晶回折素子の光学異方性層の一例を概念的に示す図である。

【図2】図2は、図1に示す光学異方性層の平面図である。

【図3】図3は、図1のAで示す部分を拡大して示す図である。

【図4】図4は、図1のBで示す部分を拡大して示す図である。

【図5】図5は、本発明の液晶回折素子の光学異方性層の他の一例を概念的に示す図である。

【図6】図6は、図5のCで示す部分を拡大して示す図である。

【図7】図7は、図5のDで示す部分を拡大して示す図である。

【図8】図8は、光学異方性層の平面図の部分拡大図である。

【図9】図9は、光学異方性層の一部の領域を拡大して示す断面図である。

【図10】図10は、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11】図11は、図2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12】図12は、光学異方性層の作用を説明するための概念図である。

【図13】図13は、光学異方性層の作用を説明するための概念図である。

【図14】図14は、図1に示す液晶回折素子の作用を示す概念図である。

【図15】図15は、光学異方性層の他の一例を概念的に示す図である。

【図16】図16は、光学異方性層の他の一例を概念的に示す図である。

【図17】図17は、光学異方性層の他の一例を概念的に示す図である。

【図18】図18は、光学異方性層の他の一例を概念的に示す図である。

【発明を実施するための形態】

【0012】

以下、本発明の液晶回折素子、光学素子、画像表示ユニット、ヘッドマウントディスプレイ、ビームステアリングおよびセンサーについて、添付の図面に示される好適実施例を基に詳細に説明する。

【0013】

本明細書において「～」を用いて表される数値範囲は、「～」の前後に記載される数値を下限値および上限値として含む範囲を意味する。

本明細書において、「(メタ)アクリレート」は、「アクリレートおよびメタクリレートのいずれか一方または双方」の意味で使用される。

【0014】

本明細書において、可視光は、電磁波のうち、ヒトの目で見える波長の光であり、380～780nmの波長域の光を示す。非可視光は、380nm未満の波長域および780nmを超える波長域の光である。

【0015】

本明細書において、 $R_e(\lambda)$ は、波長 λ における面内のレタデーションを表す。特に記載がないときは、波長 λ は、550nmとする。

本明細書において、 $R_e(\lambda)$ は、AxoScan(Axometrics社製)にお

10

20

30

40

50

いて、波長 λ で測定した値である。 $AxScan$ にて平均屈折率 $((n_x + n_y + n_z) / 3)$ と膜厚 $d(\mu m)$ を入力することにより、

遅相軸方向 $(^\circ)$

$$Re(\lambda) = R0(\lambda)$$

が算出される。

なお、 $R0(\lambda)$ は、 $AxScan$ で算出される数値として表示されるものであるが、 $Re(\lambda)$ を意味している。

【0016】

〔液晶回折素子〕

本発明の液晶回折素子は、

液晶化合物を含む液晶組成物を用いて形成された光学異方性層を備え、

光学異方性層は、液晶化合物由来の光学軸の向きが面内の少なくとも一方向に沿って連続的に回転しながら変化している液晶配向パターンを有し、

液晶化合物由来の光学軸の向きが面内で 180° 回転する長さを1周期とした際に、液晶配向パターンにおける1周期の長さが、一方向に沿って漸次変化し、

光学異方性層は、一方向に沿って厚さ方向に切断した断面を走査型電子顕微鏡で観察される断面画像において、一方の表面から他方の表面に延在する明部および暗部を有し、暗部が、2つ以上の角度の変曲点を有し、

厚さ方向において、暗部の傾斜方向が異なる領域を有し、

暗部の平均傾斜角が、一方向に沿って漸次変化している液晶回折素子である。

【0017】

図1に、本発明の液晶回折素子の一例を概念的に示す。図2に、図1の液晶回折素子（光学異方性層）を上から見た平面図を示す。図1は、光学異方性層36aを走査型電子顕微鏡（SEM）で観察した際に、液晶相に由来して観察される明部および暗部を概念的に表す図である。

【0018】

図1および図2の液晶回折素子10aは、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36aを有する。光学異方性層36aは、液晶化合物を含む組成物を用いて形成されており、液晶化合物由来の光学軸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所定の液晶配向パターンを有する。

図2に示す例では、液晶層36の液晶配向パターンが、液晶化合物40の光学軸の向きが連続的に回転しながら変化する一方向（矢印 $A_1 \sim A_3$ ）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。同心円状のパターンとは、光学軸が同じ方向を向いた液晶化合物を結んだ線が円形であり、円形の線分が同心円状となるパターンである。言い換えれば、図2に示す光学異方性層36aの液晶配向パターンは、液晶化合物40の光学軸の向きが連続的に回転しながら変化する一方向が、液晶層36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。

【0019】

図2に示す光学異方性層36aにおいて、液晶化合物40の光学軸（図示省略）は、液晶化合物40の長手方向である。

光学異方性層36aでは、液晶化合物40の光学軸の向きは、光学異方性層36aの中心から外側に向かう多数の方向、例えば、矢印 A_1 で示す方向、矢印 A_2 で示す方向、矢印 A_3 で示す方向…に沿って、連続的に回転しながら変化している。矢印 A_1 、矢印 A_2 、および、矢印 A_3 は、後述する配列軸である。

図1は、例えば、この矢印 A_1 に沿った断面をSEMで観察した画像である。矢印 A_2 に沿った断面、および、矢印 A_3 に沿った断面のSEM画像も図1に示すような図となる。

【0020】

液晶回折素子10aが有する光学異方性層36aは、液晶配向パターンの1周期 Λ が、面内において異なる領域を有している。ここで、液晶配向パターンの1周期 Λ とは、液晶配向パターンの、面内で光学軸の向きが連続的に回転して変化する一方向において、液晶

10

20

30

40

50

化合物 40 の光学軸が 180° 回転する長さ（距離）である。

具体的には、図 1 は、例えば、図 2 における矢印 A_1 に沿った断面を示す図であり、液晶化合物 40 の光学軸の向きが連続的に回転しながら変化する方向において、中心から外側に向かうにしたがって、1 周期 Λ が漸次、短くなる構成を有する。すなわち、図 1 において、外側付近の 1 周期 Λ_2 は、中心部付近の 1 周期 Λ_1 よりも短い。

なお、本発明において、1 周期 Λ が漸次変化するとは、1 周期 Λ が連続的に変化するもの、および、1 周期 Λ が段階的に変化するものを意図している。

【0021】

後に詳述するが、液晶回折素子による回折角度は、液晶配向パターンの 1 周期 Λ に依存し、1 周期 Λ が小さいほど回折角度が大きくなる。

【0022】

光学異方性層 36 a が、液晶配向パターンが液晶化合物 40 の光学軸の向きが連続的に回転しながら変化する一方向を、光学異方性層 36 a の中心から放射状に設けられ、各方向において、中心から外側に向かうにしたがって、液晶配向パターンの 1 周期 Λ が漸次、短くなる構成を有すると、この液晶配向パターンを有する光学異方性層 36 a に入射した円偏光は、液晶化合物 40 の光学軸の向きが異なる個々の局所的な領域において、それぞれ屈曲（回折）される。この際に、それぞれの回折角度は、円偏光が入射した領域における 1 周期に応じて異なる。同心円状の液晶配向パターン、すなわち、放射状に光学軸が連続的に回転して変化する液晶配向パターンを有する光学異方性層 36 a は、液晶化合物 40 の光学軸の回転方向および入射する円偏光の方向に応じて、入射光を、集束光として透過できる。

すなわち、光学異方性層 36 a の液晶配向パターンを同心円状とすることにより、液晶回折素子 10 a は、例えば、凸レンズとして機能を発現する。

【0023】

ここで、本発明においては、図 1 に示すように、光学異方性層 36 a は、SEM 画像において、一方の表面から他方の表面に延在する明部 42 および暗部 44 を有し、暗部 44 が、2 つ以上の角度の変曲点を有し、厚さ方向において、暗部 44 の傾斜方向が異なる領域を有し、暗部 44 の平均傾斜角が、液晶化合物 40 の光学軸の向きが連続的に回転しながら変化する一方向（矢印 A_1 、 A_2 、 A_3 等）に沿って漸次変化している。

【0024】

図 1 に示す例では、光学異方性層 36 a は、明部 42 および暗部 44 の縞模様を有し、1 つの暗部 44 はそれぞれ、厚さ方向の 2 か所で、表面に対する傾斜角度が変化している。すなわち、各暗部 44 はそれぞれ 2 つの変曲点を有している。また、いずれの暗部 44 においても、図中上側の領域における傾斜方向と、図中下側の領域における傾斜方向とが互いに逆である。すなわち、各暗部 44 は、傾斜方向が異なる領域を有している。具体的には、図 1 に示す光学異方性層 36 a の中心より右側の部分では、図中上側の領域では、暗部 44 は、右方向に傾斜しており、図中下側の領域では、暗部 44 は、左方向に傾斜している。一方、光学異方性層 36 a の中心より左側の部分では、図中上側の領域では、暗部 44 は、左方向に傾斜しており、図中下側の領域では、暗部 44 は、右方向に傾斜している。

【0025】

また、光学異方性層 36 a は、各暗部 44 の一方の表面との接点と他方の表面との接点とを結んだ線が光学異方性層 36 a の主面の垂線となす角度を平均傾斜角とすると、暗部 44 の平均傾斜角は、液晶化合物 40 の光学軸の向きが連続的に回転しながら変化する一方向（矢印 A_1 、 A_2 、 A_3 等）に沿って漸次変化している。具体的には、図 1 に示す例では、中心付近における暗部 44 の平均傾斜角は略 0° であり、中心から外側に向かうにしたがって、平均傾斜角が漸次大きくなっている。すなわち、図示例の光学異方性層 36 a は、液晶配向パターンの 1 周期 Λ が漸次、短くなるにしたがって、暗部 44 の平均傾斜角が漸次、大きくなっている。

なお、本発明において、暗部の平均傾斜角が漸次変化するとは、平均傾斜角が連続的に

10

20

30

40

50

変化するもの、および、平均傾斜角が段階的に変化するものを意図している。

【0026】

このような光学異方性層36aは、厚さ方向に3つの領域(37a、37b、37c)を有しており、それぞれの領域で、面方向の同じ位置における暗部44の傾斜角度が異なっている、ということもできる。

【0027】

ここで、このような、暗部が2つ以上の角度の変曲点を有し、かつ、暗部の平均傾斜角が漸次変化している光学異方性層36aの液晶の配向について、図3および図4を用いて説明する。

図3は、図1のAで示す部分を拡大して示す概念図であり、図4は、図1のBで示す部分を拡大して示す概念図である。すなわち、図3は、光学異方性層36aの中心部分を拡大して示す概念図であり、図4は、光学異方性層36aの外側部分を拡大して示す概念図である。また、図3および図4においては、液晶化合物40の配列と、液晶相に由来してSEMにて観察される明部42および暗部44とを重畳して示している。なお、図4においては、紙面に平行な方向を向く液晶化合物40のみを図示するが、図4に破線で囲む部分を拡大して示すように、液晶化合物40は、図中右側に向かって反時計回りに回転するように配列されている。

10

【0028】

図3および図4に示すように、光学異方性層36aは、厚さ方向のどの位置においても、面方向において、液晶化合物40由来の光学軸(図示省略、液晶化合物40の長手方向と同方向)が中心から外側に向かって反時計回り(図中上側から見て左回り)に回転している。

20

【0029】

また、図3に示すように、中心部分において、液晶化合物40は、厚さ方向の下側の領域37cでは、厚さ方向に図中上側から下側に向かって時計回り(右回り)に振じれるように配向されている。

一方、厚さ方向の真ん中の領域37bでは、液晶化合物40は、厚さ方向に振じれておらず、厚さ方向に積み重ねられた液晶化合物40は、光学軸が同じ方向を向いている。すなわち、面方向の同じ位置に存在する液晶化合物40は、光学軸が同じ方向を向いている。

また、厚さ方向の上側の領域37aでは、液晶化合物40は、厚さ方向に図中上側から下側に向かって反時計回り(左回り)に振じれるように配向されている。

30

【0030】

すなわち、図3に示す例では、光学異方性層36aの領域37a、領域37b、および、領域37cにおける液晶化合物40の厚さ方向の振じれの状態がそれぞれ異なっている。

【0031】

光学異方性層36aのSEM画像における明部42および暗部44は、同じ向きの液晶化合物40を結ぶように観察される。一例として、図3では、光学軸が紙面に平行を向いている液晶化合物40を結ぶように暗部44が観察されることを示している。

【0032】

光学異方性層36aの領域37a、領域37b、および、領域37cにおける液晶化合物40の厚さ方向の振じれの状態がそれぞれ異なっているため、図3に示すように、SEM画像における明部42および暗部44は、略C形状をなしている。

40

【0033】

また、図3に示す例では、領域37aの厚さと領域37cの厚さとが略同じであり、かつ、領域37aにおける液晶化合物40の厚さ方向の振じれ角と、領域37cにおける液晶化合物40の厚さ方向の振じれ角とが略同じである。従って、領域37aの暗部44と領域37cの暗部44とは、傾斜方向が逆で、傾斜角度が同じである。領域37bでは、液晶化合物40は厚さ方向に振じれていないため、暗部44は傾斜していない。従って、光学異方性層36aの中心部分における暗部44の平均傾斜角は、略0°となる。

【0034】

50

一方、図4に示す外側部分においては、液晶化合物40は、厚さ方向の下側の領域37cでは、厚さ方向に図中上側から下側に向かって時計回り（右回り）に振じれるように配向されている。領域37cの外側部分では、中心部分に比べて厚さ方向の振じれ角が大きくなっている。

また、厚さ方向の真ん中の領域37bでも、液晶化合物40は、厚さ方向に図中上側から下側に向かって時計回り（右回り）に振じれるように配向されている。

また、領域37cにおける厚さ方向の振じれ角と領域37bにおける厚さ方向の振じれ角とは異なっている。従って、領域37cの暗部44と、領域37bの暗部44とは、傾斜方向は同じであるが、傾斜角度が異なっている。

【0035】

一方、厚さ方向の上側の領域37aでは、液晶化合物40は、厚さ方向に図中上側から下側に向かって反時計回り（左回り）に振じれるように配向されている。従って、領域37aは、領域37cおよび領域37bとは逆方向に傾斜する。また、領域37aの外側部分では、中心部分に比べて厚さ方向の振じれ角が小さくなっている。そのため、領域37aにおける暗部44の傾斜角度の絶対値は、領域37cにおける暗部44の傾斜角度の絶対値よりも小さい。

【0036】

従って、光学異方性層36aの外側部分における暗部44の平均傾斜角は、 0° ではないある値となる。

【0037】

図1に示す例では、光学異方性層36aの領域37a、領域37bおよび領域37cは、中心から外側に向かうにしたがって、液晶配向パターンの1周期 Λ が漸次、短くなる構成を有している。また、領域37cでは、厚さ方向の右回りの振じれが、中心から外側に向かうにしたがって大きくなり、領域37bでは、厚さ方向の右回りの振じれが、中心から外側に向かうにしたがって大きくなり、領域37aでは、厚さ方向の左回りの振じれが、中心から外側に向かうにしたがって小さくなる。これは、各領域において、中心における厚さ方向の振じれに対して、外側に向かうにしたがって、右回りの振じれを付与したものであることができる。

【0038】

領域37a、領域37bおよび領域37cの液晶配向パターンの1周期 Λ 、および、厚さ方向の振じれ角をこのような構成とすることで、暗部44の平均傾斜角が、中心部で略 0° で、外側に向かうにしたがって、漸次大きくなる構成とすることができる。

【0039】

このような光学異方性層36aは、図1に示すように、同心円状の中心部分の断面において光学異方性層36aの厚さ方向の中心線に対して、明部42および暗部44の形状が対称であり、同心円状の端部の断面において光学異方性層36aの厚さ方向の中心線に対して、明部42および暗部44の形状が非対称である、ということができる。

【0040】

前述のとおり、面内で液晶配向パターンを変化させて光を回折させる液晶回折素子は、回折角度が大きくなると回折効率が低下する、すなわち回折光の強度が弱くなるという問題があった。具体的には、面内で液晶化合物の光学軸の向きが連続的に回転しながら変化している液晶配向パターンを有する光学異方性層による光の回折では、回折角度が大きくなると回折効率が低下する、すなわち回折光の強度が弱くなるという問題があった。そのため、光学異方性層を、液晶化合物の光学軸の向きが面内で 180° 回転する1周期の長さが異なる領域を有する構成とした場合には、光の入射位置によって回折角度が異なるため、面内の入射位置によって回折光の光量に差が生じる。すなわち、面内の入射位置によって、透過、回折した光が暗くなる領域が生じるという問題があった。

【0041】

これに対して、本発明の液晶回折素子は、光学異方性層の液晶配向パターンにおける1周期の長さが一方向に沿って漸次変化することで、面内で光の回折角度を変化させる構成

10

20

30

40

50

において、光学異方性層のSEM画像において観察される暗部が2つ以上の変曲点を有し、厚さ方向において暗部の傾斜方向が異なる領域を有し、かつ、暗部の平均傾斜角が、液晶配向パターンの1周期の変化方向に合わせて、この方向に沿って漸次変化している。光学異方性層がこのような構成を有することで、回折角度が大きくなる領域においても回折効率の低下を抑制することができる。これにより、回折角度によらず回折効率が高く、透過した光の光量が均一になる液晶回折素子とすることができる。

【0042】

また、本発明の液晶回折素子は、このような光学異方性層36a、すなわち、断面SEM画像において、一方の表面から他方の表面まで延在する明部42および暗部44を有し、暗部44が、2つ以上の角度の変曲点を有し、かつ、厚さ方向において、傾斜方向が異なる領域を有することにより、回折効率の波長依存性を小さくして、波長によらず、同様の回折効率で光を回折できる。

10

【0043】

上述のように、液晶化合物に由来する光学軸の向きが、少なくとも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光学異方性層を有する液晶回折素子は、例えば可視光全域など、広い波長範囲にわたって、入射光を波長に応じて異なる回折角度で回折できる。

しかしながら、本発明者らの検討によれば、従来の液晶配向パターンを有する液晶回折素子は、断面SEM画像において、表面（主面）に対して傾斜する暗部を有するものの、角度が変化する変曲点を有さない、または、特許文献1にも示されるように、変曲点を1点しか有さない。そのため、従来の液晶回折素子は、例えば、赤色光および緑色光の回折効率は高いが、青色光の回折効率は他の2色に比して低い等、回折効率の波長依存性が高い。

20

【0044】

これに対して、本発明の液晶回折素子は、断面SEM画像において観察される暗部44が、2か所以上の角度の変曲点を有し、かつ、厚さ方向において、傾斜方向が異なる領域を有することにより、回折効率の波長依存性が小さく、波長によらず同様の回折効率で光を回折できる。しかも、波長によらず、高い回折効率で光を回折できる。

【0045】

ここで、図1に示す例では、光学異方性層36aは、各暗部44の傾斜角度が変化する変曲点を2つ有する構成としたがこれに限定はされず、各暗部44は、3つ以上の変曲点を有する構成としてもよい。

30

【0046】

また、図1に示す例では、光学異方性層36aは、左右方向の中央に位置する暗部44以外の各暗部44は、傾斜方向が逆方向に折り返される変曲点を1つ有している。具体的には、各暗部44において、領域37aにおける傾斜方向と、領域37bにおける傾斜方向とが逆方向である。そのため、領域37aと領域37bの界面に位置する変曲点が、傾斜方向が逆方向に折り返される変曲点である。

【0047】

本発明においては、各暗部44が、傾斜方向が逆方向に折り返される変曲点を1つ有する構成に限定はされず、傾斜方向が逆方向に折り返される変曲点を2つ以上有する構成であってもよい。傾斜方向が逆方向に折り返される変曲点は奇数個であるのが好ましい。

40

【0048】

図5に、本発明の液晶回折素子の他の一例を概念的に表す図を示す。図5は、光学異方性層36bを走査型電子顕微鏡（SEM）で観察した際に、液晶相に由来して観察される明部および暗部を概念的に表す図である。

図5に示す液晶回折素子10bは、暗部が傾斜方向が逆方向に折り返される変曲点を3つ有する光学異方性層36bを有する例である。

【0049】

図5の液晶回折素子10bは、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

50

層 3 6 b を有する。光学異方性層 3 6 b は、液晶化合物を含む組成物を用いて形成されており、液晶化合物由来の光学軸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所定の液晶配向パターンを有する。なお、光学異方性層 3 6 b の平面図は、図 2 と同様である。

【0050】

液晶回折素子 1 0 b が有する光学異方性層 3 6 b は、液晶配向パターンの 1 周期 Λ が、面内において異なる領域を有している。すなわち、図 5 において、外側付近の 1 周期 Λ_2 は、中心部付近の 1 周期 Λ_1 よりも短い。

光学異方性層 3 6 b は、光学異方性層 3 6 a と同様に、同心円状の液晶配向パターンを有し、液晶配向パターンの 1 周期 Λ が中心から外側に向かって変化するため、凸レンズとして機能を発現する。

10

【0051】

ここで、図 5 に示すように、光学異方性層 3 6 b は、SEM 画像において、一方の表面から他方の表面に延在する明部 4 2 および暗部 4 4 を有し、暗部 4 4 が、3 つの角度の変曲点を有し、厚さ方向において、暗部 4 4 の傾斜方向が異なる領域を有し、暗部 4 4 の平均傾斜角が、液晶化合物 4 0 の光学軸の向きが連続的に回転しながら変化する一方向に沿って漸次変化している。

【0052】

図 5 に示す例では、光学異方性層 3 6 b は、明部 4 2 および暗部 4 4 の縞模様を有し、各暗部 4 4 はそれぞれ、厚さ方向の 3 か所で、表面に対する傾斜角度が変化している。すなわち、各暗部 4 4 はそれぞれ 3 つの変曲点を有している。また、いずれの暗部 4 4 においても、図中上側から領域 3 7 d、領域 3 7 e、領域 3 7 f および領域 3 7 g における暗部 4 4 の傾斜方向が交互になっている。すなわち、各暗部 4 4 は、傾斜方向が異なる領域を有している。また、各暗部 4 4 は、傾斜方向が逆方向に折り返される変曲点を 3 つ有している。

20

【0053】

具体的には、図 5 に示す光学異方性層 3 6 b の中心より右側の部分では、図中上側の領域 3 7 d では、暗部 4 4 は、右方向に傾斜しており、領域 3 7 e では、暗部 4 4 は、左方向に傾斜しており、領域 3 7 f では、暗部 4 4 は、右方向に傾斜しており、領域 3 7 g では、暗部 4 4 は、左方向に傾斜している。一方、光学異方性層 3 6 b の中心より左側の部分では、図中上側の領域 3 7 d では、暗部 4 4 は、左方向に傾斜しており、領域 3 7 e では、暗部 4 4 は、右方向に傾斜しており、領域 3 7 f では、暗部 4 4 は、左方向に傾斜しており、領域 3 7 g では、暗部 4 4 は、右方向に傾斜している。

30

【0054】

また、光学異方性層 3 6 b は、各暗部 4 4 の平均傾斜角が、液晶化合物 4 0 の光学軸の向きが連続的に回転しながら変化する一方向に沿って漸次変化している。具体的には、図 5 に示す例では、中心付近における暗部 4 4 の平均傾斜角は略 0° であり、中心から外側に向かうにしたがって、平均傾斜角が漸次大きくなっている。すなわち、図示例の光学異方性層 3 6 b は、液晶配向パターンの 1 周期 Λ が漸次、短くなるにしたがって、暗部 4 4 の平均傾斜角が漸次、大きくなっている。

40

【0055】

このような光学異方性層 3 6 b は、厚さ方向に 4 つの領域 (3 7 d、3 7 e、3 7 f、3 7 g) を有しており、それぞれの領域で、面方向の同じ位置における暗部 4 4 の傾斜角度が異なっている、ということもできる。

【0056】

このような、光学異方性層 3 6 b の液晶の配向について、図 6 および図 7 を用いて説明する。

図 6 は、図 5 の C で示す部分を拡大して示す概念図であり、図 7 は、図 5 の D で示す部分を拡大して示す概念図である。すなわち、図 6 は、光学異方性層 3 6 b の中心部分を拡大して示す概念図であり、図 7 は、光学異方性層 3 6 b の外側部分を拡大して示す概念図

50

である。また、図 6 および図 7 においては、液晶化合物 40 の配列と、液晶相に由来して SEM にて観察される明部 42 および暗部 44 とを重畳して示している。なお、図 7 においては、紙面に平行な方向を向く液晶化合物 40 のみを図示するが、図 7 に破線で囲む部分を拡大して示すように、液晶化合物 40 は、図中右側に向かって反時計回りに回転するように配列されている。

【0057】

図 6 および図 7 に示すように、光学異方性層 36 a は、厚さ方向のどの位置においても、面方向において、液晶化合物 40 由来の光学軸（図示省略、液晶化合物 40 の長手方向と同方向）が中心から外側に向かって反時計回り（図中上側から見て左回り）に回転している。

【0058】

また、図 6 に示すように、中心部分において、液晶化合物 40 は、厚さ方向の下側の領域 37 g では、厚さ方向に図中上側から下側に向かって時計回り（右回り）に振じれるように配向されている。

一方、領域 37 f では、液晶化合物 40 は、厚さ方向に図中上側から下側に向かって反時計回り（左回り）に振じれるように配向されている。

また、領域 37 e では、液晶化合物 40 は、厚さ方向に図中上側から下側に向かって時計回り（右回り）に振じれるように配向されている。

また、厚さ方向の上側の領域 37 d では、液晶化合物 40 は、厚さ方向に図中上側から下側に向かって反時計回り（左回り）に振じれるように配向されている。

【0059】

すなわち、図 6 に示す例では、光学異方性層 36 b の領域 37 d ～領域 37 g における液晶化合物 40 の厚さ方向の振じれの状態がそれぞれ異なっている。

【0060】

光学異方性層 36 a の領域 37 a、領域 37 b、および、領域 37 c における液晶化合物 40 の厚さ方向の振じれの状態がそれぞれ異なっているため、図 6 に示すように、SEM 画像における明部 42 および暗部 44 は、略 W 形状をなしている。

【0061】

また、図 6 に示す例では、領域 37 d の厚さと領域 37 g の厚さとが略同じであり、かつ、領域 37 d における液晶化合物 40 の厚さ方向の振じれ角と、領域 37 g における液晶化合物 40 の厚さ方向の振じれ角とが略同じである。従って、領域 37 d の暗部 44 と領域 37 g の暗部 44 とは、傾斜方向が逆で、傾斜角度が同じである。また、領域 37 e の厚さと領域 37 f の厚さとが略同じであり、かつ、領域 37 e における液晶化合物 40 の厚さ方向の振じれ角と、領域 37 f における液晶化合物 40 の厚さ方向の振じれ角とが略同じである。従って、領域 37 e の暗部 44 と領域 37 f の暗部 44 とは、傾斜方向が逆で、傾斜角度が同じである。従って、光学異方性層 36 b の中心部分における暗部 44 の平均傾斜角は、略 0° となる。

【0062】

一方、図 7 に示す外側部分においては、液晶化合物 40 は、厚さ方向の下側の領域 37 g では、厚さ方向に図中上側から下側に向かって時計回り（右回り）に振じれるように配向されている。領域 37 g の外側部分では、中心部分に比べて厚さ方向の振じれ角が大きくなっている。

また、領域 37 f では、液晶化合物 40 は、厚さ方向に図中上側から下側に向かって反時計回り（左回り）に振じれるように配向されている。領域 37 f の外側部分では、中心部分に比べて厚さ方向の振じれ角が大きくなっている。

また、領域 37 e では、液晶化合物 40 は、厚さ方向に図中上側から下側に向かって時計回り（右回り）に振じれるように配向されている。領域 37 e の外側部分では、中心部分に比べて厚さ方向の振じれ角が大きくなっている。

また、領域 37 d では、液晶化合物 40 は、厚さ方向に図中上側から下側に向かって反時計回り（左回り）に振じれるように配向されている。領域 37 d の外側部分では、中心

10

20

30

40

50

部分に比べて厚さ方向の捩じれ角が小さくなっている。

【0063】

そのため、領域37gおよび領域37eにおける暗部44の傾斜方向と、領域37fおよび領域37dにおける暗部44の傾斜方向とは異なっており、また、領域37dにおける暗部44の傾斜角度の絶対値が他の領域における暗部44の傾斜角度の絶対値よりも小さい。

従って、光学異方性層36bの外側部分における暗部44の平均傾斜角は、 0° ではないある値となる。

【0064】

領域37d～領域37gの液晶配向パターンの1周期 Λ 、および、厚さ方向の捩じれ角をこのような構成とすることで、暗部44の平均傾斜角が、中心部で略 0° で、外側に向かうにしたがって、漸次大きくなる構成とすることができる。

【0065】

このような光学異方性層36bは、図5に示すように、同心円状の中心部分の断面において光学異方性層36bの厚さ方向の中心線に対して、明部42および暗部44の形状が対称であり、同心円状の端部の断面において光学異方性層36bの厚さ方向の中心線に対して、明部42および暗部44の形状が非対称である、ということができる。

【0066】

このように、光学異方性層36bが、明部42および暗部44を略W形状で、傾斜方向を逆方向に折り返される変曲点を3つ有する構成とした場合でも、面内で光の回折角度が異なる構成において、回折角度によらず回折効率が高く、透過した光の光量が均一になる液晶回折素子とすることができる。

【0067】

他の中心部分の例として、図16に概念的に示すような、暗部44の変曲点に応じて、厚さ方向に4つの領域を有する光学異方性層が例示される。

本例では、最も下の領域では、暗部44は、図中左上方に向かって傾斜する。下から2番目の領域では、暗部44は、最も下の領域よりも表面に対して大きな角度で図中左上方に向かって傾斜する。下から3番目の領域では、暗部44は、図中右上方に向かって傾斜する。さらに、最も上の領域では、暗部44は、下から3番目の領域よりも表面に対して小さい角度で図中右上方に向かって傾斜する。

【0068】

すなわち、図16に示す光学異方性層は、暗部44の角度が変化する変曲点を、3か所、有し、かつ、暗部傾斜方向が折り返される変曲点を、下から2番目の領域と下から3番目の領域との界面に、1か所、有する。

図16に示す光学異方性層も、一番下の領域と一番上の領域、および、下から2番目の領域と下から3番目の領域とは、厚さが等しい。さらに、一番下の領域と、一番上の領域とは、傾斜方向は異なるが、光学異方性層の表面と暗部44とが成す角度（角度の絶対値）は、等しい。同様に、下から2番目の領域と、下から3番目の領域とは、傾斜方向は異なるが、光学異方性層の表面と暗部44とが成す角度は、等しい。

すなわち、図16に示す光学異方性層も、断面SEM画像における明部42および暗部44は、略C字状である。従って、図16に示す光学異方性層も、暗部44の形状が厚さ方向の中心線に対して、対称である。

【0069】

なお、光学異方性層の表面に対する暗部44の角度は、後述する、面内の一方向に向かって光学軸が 180° 回転する長さである1周期の長さ、および、厚さ方向に捩れ配向される液晶化合物40の捩れの大きさによって、調節できる。

【0070】

別の中心部分の例として、図17に概念的に示す、暗部44の変曲点に応じて、厚さ方向に5つの領域を有する光学異方性層が例示される。

本例では、最も下の領域では、暗部44は、図中左上方に向かって傾斜する。下から2

10

20

30

40

50

番目の領域では、暗部 4 4 は、最も下の領域よりも表面に対して大きな角度で図中左上方に向かって傾斜する。下から 3 番目の領域すなわち厚さ方向の中央の領域では、暗部 4 4 は、光学異方性層の厚さ方向に延在する。下から 4 番目の領域では、暗部 4 4 は、図中右上方に向かって傾斜する。さらに、最も上の領域では、暗部 4 4 は、下から 4 番目の領域よりも表面に対して小さい角度で図中右上方に向かって傾斜する。

【0071】

すなわち、図 1 7 に示す光学異方性層は、暗部 4 4 の角度が変化する変曲点を、4 か所、有する。

また、一番下の領域および下から 2 番目の領域と、下から 4 番目の領域と一番上の領域とでは、暗部 4 4 の傾斜方向が逆である。そのため、下から 2 番目の領域と、下から 4 番目の領域との界面に位置する変曲点が、傾斜方向が逆方向に折り返される変曲点である。すなわち、図 1 6 に示す光学異方性層は、傾斜方向が逆方向に折り返される変曲点を、1 か所、有している。

【0072】

図 1 7 に示す光学異方性層も、一番下の領域と一番上の領域、および、下から 2 番目の領域と上から 2 番目の領域とは、厚さが等しい。

この光学異方性層は、一番下の領域と、一番上の領域とは、傾斜方向は異なるが、光学異方性層の表面と暗部 4 4 とが成す角度は、等しい。同様に、下から 2 番目の領域と、下から 4 番目の領域とは、傾斜方向は異なるが、光学異方性層の表面と暗部 4 4 とが成す角度は、等しい。さらに、真ん中に位置する下から 3 番目の領域は、暗部 4 4 は光学異方性層の厚さ方向に延在する。

すなわち、図 1 7 に示す光学異方性層も、断面 SEM 画像における明部 4 2 および暗部 4 4 は、略 C 字状である。従って、図 4 に示す光学異方性層も、暗部 4 4 の形状が厚さ方向の中心線に対して、対称である。

【0073】

さらに、本発明の液晶回折素子の光学異方性層は、図 1 8 に、図 1 6 および図 1 7 に示す略 C 字状の暗部 4 4 を有する構成を例示して概念的に示すように、厚さ方向の領域の間隔、すなわち、厚さ方向の変曲点の間隔を短くすることで、暗部 4 4 が連続的に変化するような構成とすることも可能である。

【0074】

上述のように、図 1 6 ～図 1 8 の例において、光学異方性層の外側部分における暗部 4 4 の平均傾斜角は、 0° ではないある値となる。

従って、光学異方性層は、同心円状の中心部分の断面において光学異方性層の厚さ方向の中心線に対して、明部 4 2 および暗部 4 4 の形状が対称であり、同心円状の端部の断面において光学異方性層の厚さ方向の中心線に対して、明部 4 2 および暗部 4 4 の形状が非対称である、ということができる。

【0075】

なお、図 1 および図 5、ならびに、図 1 6 ～図 1 8 に示す例では、同心円状の中心部分の断面において光学異方性層の厚さ方向の中心線に対して、明部および暗部の形状が対称であり、同心円状の端部の断面において光学異方性層の厚さ方向の中心線に対して、明部および暗部の形状が非対称である構成としたが、これに限定はされず、同心円状の中心部分の断面において光学異方性層の厚さ方向の中心線に対して、明部および暗部の形状が非対称であり、同心円状の端部の断面において光学異方性層の厚さ方向の中心線に対して、明部および暗部の形状が非対称である構成であってもよい。

【0076】

以上の光学異方性層は、いずれも、液晶化合物として、棒状液晶化合物を用いているが、本発明は、これに制限はされず、円盤状液晶化合物を用いることも可能である。

なお、円盤状液晶化合物の場合には、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。

また、本発明の液晶回折素子において、光学異方性層は、図 1 5 に概念的に示すように

、棒状液晶化合物と、円盤状液晶化合物とを組み合わせ用いてもよい。棒状液晶化合物と、円盤状液晶化合物を組み合わせることで、異なる角度で入射した光に対し、高い回折効率で光を回折することができる。なお、棒状液晶化合物と、円盤状液晶化合物を組み合わせは図15に概念的に示した構成に制限されず、様々な構成で用いることができる。例えば、図4、図6、図7、図16、図17、および、図18において、棒状液晶化合物を、棒状液晶化合物と、円盤状液晶化合物を組み合わせにしてもよい。また、例えば、図15や上述の組み合わせにおいて、棒状液晶化合物と、円盤状液晶化合物を厚み方向で、より細分化して積層した構成としてもよい。

【0077】

なお、図示例の液晶回折素子10aおよび10bは、光学異方性層のみを有するものとしたが、他の層を有していてもよい。例えば、光学異方性層を形成する際の支持体および配向膜を有していてもよい。

【0078】

以下、各構成要素について説明する。

図9は、光学異方性層36a（領域37c）を含む液晶回折素子の微小な領域を拡大して示す概念図である。図8は、図9に示す光学異方性層36aの正面図である。

図9に示す液晶回折素子は、支持体30、配向膜32および光学異方性層36a、を有する。

【0079】

<<支持体>>

支持体30は、配向膜32、ならびに、光学異方性層36aを支持するものである。

支持体30は、配向膜およ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。

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

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

【0080】

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

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

【0081】

<<配向膜>>

支持体30の表面には配向膜32が形成される。

配向膜32は、光学異方性層36aを形成する際に、液晶化合物40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。

【0082】

前述のとおり、本発明の液晶回折素子において、光学異方性層は、液晶化合物40に由来する光学軸40A（図8参照）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、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。

また、液晶配向パターンにおける、光学軸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、光学軸30Aの向きが180°回転する長さを1周期Λ（光学軸の回転周期）とする。

10

20

30

40

50

【0083】

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

【0084】

配向膜は、公知の各種のものが利用可能である。

例えば、ポリマーなどの有機化合物からなるラビング処理膜、無機化合物の斜方蒸着膜、マイクログループを有する膜、ならびに、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およびステアリル酸メチルなどの有機化合物のラングミュア・プロジェット法によるLB（Langmuir-Blodgett：ラングミュア・プロジェット）膜を累積させた膜、等が例示される。

10

【0085】

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

【0086】

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

20

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

【0087】

本発明に利用可能な光配向膜に用いられる光配向材料としては、例えば、特開2006-285197号公報、特開2007-76839号公報、特開2007-138138号公報、特開2007-94071号公報、特開2007-121721号公報、特開2007-140465号公報、特開2007-156439号公報、特開2007-133184号公報、特開2009-109831号公報、特許第3883848号公報および特許第4151746号公報に記載のアゾ化合物、特開2002-229039号公報に記載の芳香族エステル化合物、特開2002-265541号公報および特開2002-317013号公報に記載の光配向性単位を有するマレイミドおよび／またはアルケニル置換ナジイミド化合物、特許第4205195号および特許第4205198号に記載の光架橋性シラン誘導体、特表2003-520878号公報、特表2004-529220号公報および特許第4162850号に記載の光架橋性ポリイミド、光架橋性ポリアミドおよび光架橋性エステル、ならびに、特開平9-118717号公報、特表平10-506420号公報、特表2003-505561号公報、国際公開第2010/150748号、特開2013-177561号公報および特開2014-12823号公報に記載の光二量化可能な化合物、特にシンナメート化合物、カルコン化合物およびクマリン化合物等が、好ましい例として例示される。

30

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、および、カルコン化合物は、好適に利用される。

40

【0088】

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。

【0089】

配向膜の形成方法には、制限はなく、配向膜の形成材料に応じた公知の方法が、各種、利用可能である。一例として、配向膜を支持体30の表面に塗布して乾燥させた後、配向膜をレーザ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。

50

【0090】

図10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。

【0091】

図10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 $\lambda/2$ 板65と、レーザ62から出射したレーザ光Mを光線MAおよび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およびMBの光路上にそれぞれ配置されたミラー70Aおよび70Bと、 $\lambda/4$ 板72Aおよび72Bと、を備える。

なお、図示は省略するが、光源64は直線偏光 P_0 を出射する。 $\lambda/4$ 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。

10

【0092】

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

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

露光装置60においては、2つの光線MAおよび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40に由来する光学軸40Aが一方向に沿って連続的に回転する配向パターンにおいて、光学軸40Aが回転する1方向における、光学軸40Aが 180° 回転する1周期の長さ（1周期 Λ ）を調節できる。

20

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パターン配向膜上に、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40に由来する光学軸40A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、光学異方性層36aを形成できる。

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

30

【0093】

上述のとおり、パターン配向膜は、パターン配向膜の上に形成される光学異方性層中の液晶化合物の光学軸の向きが面内の少なくとも一方向に沿って連続的に回転しながら変化している液晶配向パターンとなるように、液晶化合物を配向させる配向パターンを有する。パターン配向膜が、液晶化合物を配向させる向きに沿った軸を配向軸とすると、パターン配向膜は、配向軸の向きが面内の少なくとも一方向に沿って連続的に回転しながら変化している配向パターンを有するといえる。パターン配向膜の配向軸は、吸収異方性を測定することで検出することができる。例えば、パターン配向膜に直線偏光を回転させながら照射して、パターン配向膜を透過する光の光量を測定した際に、光量が最大または最小となる向きが、面内の一方向に沿って漸次変化して観測される。

40

【0094】

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

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

【0095】

配向膜32の露光装置としては、図10に示すような例に限定はされない。図11に配向膜32を露光する露光装置の別の例を示す。図11に示す露光装置は、配向膜に、図2

50

に示す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である。

【0096】

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90AおよびS偏光MSの光路に配置されたミラー90B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。

【0097】

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90A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90B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および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および左円偏光となって、支持体30の上の配向膜32に入射する。

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

【0098】

この露光装置80において、液晶化合物40の光学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、および、レンズ92と配向膜32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、光学軸が連続的に回転する一方向において、液晶配向パターンの1周期の長さ 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、光学軸が連続的に回転する一方向において、液晶配向パターンの1周期の長さ 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。

【0099】

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

【0100】

また、配向膜の露光に使用するレーザーの波長は、使用する配向膜の種類等に応じて、適宜設定することができる。例えば、深紫外～可視光～赤外の波長のレーザーを好ましく用いることができる。一例として、波長266nm、325nm、355nm、370nm、385nm、405nm、および、460nmなどの波長のレーザーを用いることができるが、上記には限定されず、配向膜の種類等に応じて様々な波長のレーザーを用いることができる。

【0101】

配向膜上に光学異方性層を設けた後、光学異方性層を配向膜から剥離・転写しても良い。転写は、光学異方性層の貼合面に応じて、複数回実施する事もできる。目的に応じて剥離・転写方法を自由に選択する事ができるが、例えば、接着層を有する基材に一度転写し

10

20

30

40

50

た後、転写したい物体に再転写し、上述の基材を剥離する事で、光学異方性層の配向膜側の界面を、転写したい物体側になる様にする事ができる。また、光学異方性層の配向膜とは逆側の面を、転写したい物体側にする場合は、光学異方性層と転写したい物体を、接着剤を介して貼り合わせた後、配向膜から光学異方性層を剥離しても良い。

光学異方性層を配向膜から剥離する場合は、光学異方性層、配向膜のダメージ（裂け、クニックなど）を低減するために、剥離角度や速度などを調整する事が好ましい。また、配向膜は配向性に問題ない範囲で、繰り返し用いても良い。配向膜上に光学異方性層を設ける前に、配向膜を有機溶媒などで洗浄する事もできる。

【0102】

＜＜光学異方性層＞＞

配向膜32の表面には、光学異方性層36aが形成される。

なお、図8においては、図面を簡略化して光学異方性層36aの構成を明確に示すために、光学異方性層36aは、配向膜の表面の液晶化合物40（液晶化合物分子）のみを示している。しかしながら、光学異方性層36aは、図9に光学異方性層36a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40が積み重ねられた構造を有する。

【0103】

前述のように、本発明の液晶回折素子において、光学異方性層36a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、面内レタデーションの値を $\lambda/2$ 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。

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

すなわち、光学異方性層は、円偏光を透過し、かつ、この透過光を回折する。

また、光学異方性層は、透過した円偏光の旋回方向を逆方向に変化させる。

【0104】

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学軸の向きが、矢印D（以下、配列軸Dという）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。図8に示す例では、配列軸Dの方向はX方向とし、配列軸Dの方向と直交する方向をY方向とする。

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

以下の説明では、液晶化合物40に由来する光学軸40Aを、『液晶化合物40の光学軸40A』または『光学軸40A』とも言う。

光学異方性層において、液晶化合物40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1、図3～図4、および、図5～図7では、Y方向は、紙面に垂直な方向となる。

【0105】

図8に、光学異方性層36aの平面図を概念的に示す。

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

また、図8では、本発明の液晶回折素子の構成を明確に示すために、液晶化合物40は配向膜32の表面の液晶化合物40のみを示している。しかしながら、光学異方性層36aは、厚さ方向には、図9に示されるように、この配向膜32の表面の液晶化合物40から、液晶化合物40が積み重ねられた構造を有するのは、前述のとおりである。

【0106】

10

20

30

40

50

なお、図 8 では、光学異方性層 36 a の面内の一部を代表例として説明するが、光学異方性層の面内の各位置において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、同様の構成および作用効果を有する。

【0107】

光学異方性層 36 a は、光学異方性層 36 a の面内において、液晶化合物 40 に由来する光学軸 40 A の向きが、配列軸 D 方向に沿って連続的に回転しながら変化する液晶配向パターンを有する。

液晶化合物 40 の光学軸 40 A の向きが配列軸 D 方向（所定の一方向）に連続的に回転しながら変化しているとは、具体的には、配列軸 D 方向に沿って配列されている液晶化合物 40 の光学軸 40 A と、配列軸 D 方向とが成す角度が、配列軸 D 方向の位置によって異なっており、配列軸 D 方向に沿って、光学軸 40 A と配列軸 D 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、配列軸 D 方向に互いに隣接する液晶化合物 40 の光学軸 40 A の角度の差は、 45° 以下であるのが好ましく、 15° 以下であるのがより好ましく、より小さい角度であるのがさらに好ましい。

【0108】

一方、光学異方性層 36 a を形成する液晶化合物 40 は、配列軸 D 方向と直交する Y 方向、すなわち光学軸 40 A が連続的に回転する一方向と直交する Y 方向では、光学軸 40 A の向きが等しい液晶化合物 40 が等間隔で配列されている。

言い換えれば、光学異方性層 36 a を形成する液晶化合物 40 において、Y 方向に配列される液晶化合物 40 同士では、光学軸 40 A の向きと配列軸 D 方向とが成す角度が等しい。

【0109】

本発明の液晶回折素子においては、このような液晶化合物 40 の液晶配向パターンにおいて、面内で光学軸 40 A の向きが連続的に回転して変化する配列軸 D 方向において、液晶化合物 40 の光学軸 40 A 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 40 の光学軸 40 A と配列軸 D 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、配列軸 D 方向に対する角度が等しい 2 つの液晶化合物 40 の、配列軸 D 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、配列軸 D 方向と光学軸 40 A の方向とが一致する 2 つの液晶化合物 40 の、配列軸 D 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。

本発明の液晶回折素子において、光学異方性層の液晶配向パターンは、この 1 周期 Λ を、配列軸 D 方向すなわち光学軸 40 A の向きが連続的に回転して変化する一方向に繰り返す。

【0110】

前述の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、光学軸 40 A と配列軸 D 方向（液晶化合物 40 の光学軸の向きが回転する 1 方向）とが成す角度が等しい。この光学軸 40 A と配列軸 D 方向とが成す角度が等しい液晶化合物 40 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 $\lambda/2$ であるのが好ましい。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、光学軸 40 A の方向の液晶化合物 40 の屈折率と、領域 R の面内において光学軸 40 A に垂直な方向の液晶化合物 40 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

10

20

30

40

50

等しい。

【0111】

このような光学異方性層 36a 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 12 に光学異方性層 36a を例示して概念的に示す。なお、図 12 および図 13 においては、図面を簡略化して液晶回折素子の構成を明確に示すために、光学異方性層 36a は、配向膜の表面の液晶化合物 40（液晶化合物分子）のみを示している。

また、光学異方性層 36a 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。

【0112】

図 12 に示すように、光学異方性層 36a 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、光学異方性層 36a 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、光学異方性層 36a を通過することにより 180° の位相差が与えられて、透過光 L_2 は、右円偏光に変換される。

また、光学異方性層 36a に形成された液晶配向パターンは、配列軸 D 方向に周期的なパターンであるため、透過光 L_2 は、入射光 L_1 の進行方向とは異なる方向に進行する。このように、左円偏光の入射光 L_1 は、入射方向に対して配列軸 D 方向に一定の角度だけ傾いた、右円偏光の透過光 L_2 に変換される。

【0113】

一方、図 13 に示すように、光学異方性層 36a の液晶化合物の屈折率差と光学異方性層 36a の厚さとの積の値が $\lambda/2$ のとき、光学異方性層 36a に右円偏光の入射光 L_4 が入射すると、入射光 L_4 は、光学異方性層 36a を通過することにより、 180° の位相差が与えられて、左円偏光の透過光 L_5 に変換される。

また、光学異方性層 36a に形成された液晶配向パターンは、配列軸 D 方向に周期的なパターンであるため、透過光 L_5 は、入射光 L_4 の進行方向とは異なる方向に進行する。このとき、透過光 L_5 は透過光 L_2 と異なる方向、つまり、入射方向に対して配列軸 D 方向とは逆の方向に進行する。このように、入射光 L_4 は、入射方向に対して配列軸 D 方向とは逆の方向に一定の角度だけ傾いた左円偏光の透過光 L_5 に変換される。

【0114】

光学異方性層 36a は、形成される液晶配向パターンの 1 周期 Λ を変化させることにより、透過光 L_2 および L_5 の屈折の角度を調節できる。具体的には、光学異方性層 36a 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 40 を通過した光同士が強く干渉するため、透過光 L_2 および L_5 を大きく屈折させることができる。

また、配列軸 D 方向に沿って回転する、液晶化合物 40 の光学軸 40A の回転方向を逆方向にすることにより、透過光の屈折の方向を、逆方向にできる。すなわち、図 12 ～ 図 13 に示す例では、配列軸 D 方向に向かう光学軸 40A の回転方向は時計回りであるが、この回転方向を反時計回りにすることで、透過光の屈折の方向を、逆方向にできる。

【0115】

さらに、前述のとおり、光学異方性層 36a は、光学軸が光学異方性層の厚さ方向でねじれて回転する領域を有しており、厚さ方向の捩じれ角および／または捩じれ方向が異なる領域を有する。

【0116】

光学異方性層 36a において、複数の領域 R の面内レタデーションの値は、半波長であるのが好ましいが、波長が 550 nm である入射光に対する光学異方性層 36a の複数の領域 R の面内レタデーション $R_e(550) = \Delta n_{550} \times d$ が下記式 (1) に規定される範囲内であるのが好ましい。ここで、 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、光学異方性層 36a 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、光学異方性層 36a の複数の領域 R の面内レタデーション $R_e(550) =$

10

20

30

40

50

$\Delta n_{550} \times d$ が式 (1) を満たしていれば、光学異方性層 36a に入射した光の十分な量の円偏光成分を、配列軸 D 方向に対して順方向または逆方向に傾いた方向に進行する円偏光に変換することができる。面内レタデーション $R_e(550) = \Delta n_{550} \times d$ は、 $225 \text{ nm} \leq \Delta n_{550} \times d \leq 340 \text{ nm}$ がより好ましく、 $250 \text{ nm} \leq \Delta n_{550} \times d \leq 330 \text{ nm}$ がさらに好ましい。

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 の面内レタデーション $R_e(\lambda) = \Delta n_{\lambda} \times d$ は下記式 (1-2) に規定される範囲内であるのが好ましく、適宜設定することができる。

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

【0117】

また、光学異方性層 36a における、複数の領域 R の面内レタデーションの値は、上記式 (1) の範囲外で用いることもできる。具体的には、 $\Delta n_{550} \times d < 200 \text{ nm}$ または $350 \text{ nm} < \Delta n_{550} \times d$ 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 または 550 nm に近づくと入射光の進行方向と同一の方向に進行する光の成分は増加し、入射光の進行方向とは異なる方向に進行する光の成分は減少する。

【0118】

さらに、波長が 450 nm の入射光に対する光学異方性層 36a の領域 R のそれぞれの面内レタデーション $R_e(450) = \Delta n_{450} \times d$ と、波長が 550 nm の入射光に対する光学異方性層 36a の領域 R のそれぞれの面内レタデーション $R_e(550) = \Delta n_{550} \times d$ は、下記式 (2) を満たすのが好ましい。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。

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

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

【0119】

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

【0120】

光学異方性層は、支持体上に上述した配向パターンを有する配向膜を形成し、この配向膜上に液晶組成物を塗布、硬化することにより形成される。光学異方性層が有する、液晶化合物の光学軸が光学異方性層の厚さ方向で振じれて回転する構造は、液晶組成物にキラル剤を添加することによって形成することができる。また、面内の領域ごとに厚さ方向の振じれ角が異なる構成は、液晶組成物に光反応性キラル剤を添加して、配向膜上に液晶組成物を塗布した後に、領域ごとに異なる照射量の光を照射して、領域ごとに光反応性キラル剤の HTP (ヘリカルツイスティングパワー) を異ならせることで、形成することができる。

【0121】

具体的には、光学異方性層において、厚さ方向の振じれ角が面内の領域ごとに異なる構成は、光の照射によって、戻り異性化、二量化、ならびに、異性化および二量化等を生じて、螺旋誘起力 (HTP: Helical Twisting Power) が変化するキラル剤を用い、光学異方性層を形成する液晶組成物の硬化前、または、液晶組成物の硬化時、キラル剤の HTP を変化させる波長の光を、領域ごとに照射量を変えて照射することで形成できる。

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

10

20

30

40

50

いため、ねじれ構造のねじれ角は大きくなる。

【0122】

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

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

【0123】

さらに、光学異方性層が、暗部が2つ以上の変曲点を有し、厚さ方向において暗部の傾斜方向が異なる領域を有し、かつ、暗部の平均傾斜角が、液晶配向パターンの1周期の変化方向に合わせて、この方向に沿って漸次変化している構成とするためには、厚さ方向の領域ごとに、異なる構成の光学異方性層を形成すればよい。

【0124】

例えば、図1に示す光学異方性層36aを形成する場合には、まず、支持体上に形成されたパターン配向膜上に、厚さ方向に右ねじれを誘起する光反応性キラル剤を含む液晶組成物を塗布し、領域ごとに異なる照射量の光を照射して、領域ごとに光反応性キラル剤のHTP（ヘリカルツイスティングパワー）を異ならせた後に、液晶組成物を硬化して領域37cを形成する。次に、形成した領域37cの上に光反応性キラル剤を含む液晶組成物を塗布し、領域ごとに異なる照射量の光を照射して、領域ごとに光反応性キラル剤のHTPを異ならせた後に、液晶組成物を硬化して領域37bを形成する。その際、領域37bは、領域37cとは異なる構造となるように、領域37cとは、液晶組成物に含まれる成分の種類、含有量等が異なってもよく、また、光反応性キラル剤のHTPを変化させる際の光の照射量等が異なってもよい。また、領域37cの上に液晶組成物を塗布すると、液晶組成物中の液晶化合物40は、領域37cの表面に存在する液晶化合物40の配列に合わせて配列される。そのため、領域37bにおいても、配列軸D方向に1周期Λが漸次変化する液晶配向パターンが形成される。

【0125】

さらに、形成した領域37bの上に光反応性キラル剤を含む液晶組成物を塗布し、領域ごとに異なる照射量の光を照射して、領域ごとに光反応性キラル剤のHTPを異ならせた後に、液晶組成物を硬化して領域37aを形成する。その際、領域37aは、厚さ方向に左ねじれを誘起する光反応性キラル剤を含む液晶組成物を用いて形成される。また、領域37bの上に液晶組成物を塗布すると、液晶組成物中の液晶化合物40は、領域37bの表面に存在する液晶化合物40の配列に合わせて配列される。そのため、領域37aにおいても、配列軸D方向に1周期Λが漸次変化する液晶配向パターンが形成される。

【0126】

以上のようにして、液晶化合物40の厚さ方向のねじれの状態がそれぞれ異なっている領域37a、領域37b、および、領域37cを形成することで、暗部44が2つ以上の角度の変曲点を有し、厚さ方向において、暗部44の傾斜方向が異なる領域を有し、暗部44の平均傾斜角が、一方向に沿って漸次変化している構成の光学異方性層を形成することができる。

【0127】

また図3に示すように、本発明の光学異方性層は、光学異方性層の界面において液晶化合物に由来する光学軸が、光学異方性層の界面に対し傾斜していない例を示したが、本発明の光学異方性層は液晶化合物に由来する光学軸が傾斜していてもよい。例えば、WO2019/189586A1に記載のように、液晶化合物に由来する光学軸が、光学異方性層の界面に対しプレチルト角を有していてもよい。また、WO2020/122127A1に記載のように、液晶化合物に由来する光学軸が、光学異方性層の一方の界面から、他方の界面に向けて、厚さ方向で傾斜角が変化していてもよい。液晶化合物に由来する光学軸を光学異方性層の界面に対し、傾斜させることで、光学異方性層の位相差を調整することができ、高い回折効率を得るように、適宜、調整することができる。

【0128】

また、本発明の光学異方性層は、面内で光学異方性層の膜厚が変化していてもよい。面内で光学異方性層の膜厚を変えることで、入射位置の異なる光に対して、高い回折効率を得るように、適宜、調整することができる。

【0129】

また、図3および図4の例で示すように、光学異方性層の領域37a、領域37b、および、領域37cは、中心部分と外側部分で、各領域の厚さが同一であってもよいし、異なってもよい。上述の例に限らず、本発明の液晶回折素子は、光学異方性層の各領域の厚さを、面内で同じにしてもよいし、変化させてもよい。光学異方性層の各領域の厚みは、所望の性能に合せて、適宜、設定することができる。

10

【0130】

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、支持体およ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、棒状液晶化合物または円盤状液晶化合物を含有し、さらに、レベリング剤、配向制御剤、重合開始剤および配向助剤などのその他の成分を含有していてもよい。

【0131】

—棒状液晶化合物—

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

20

【0132】

棒状液晶化合物を重合によって配向を固定することがより好ましく、重合性棒状液晶化合物としては、Makromol. Chem., 190巻、2255頁(1989年)、Advanced Materials 5巻、107頁(1993年)、米国特許4683327号明細書、同5622648号明細書、同5770107号明細書、国際公開第95/22586号、同95/24455号、同97/00600号、同98/23580号、同98/52905号、特開平1-272551号公報、同6-16616号公報、同7-110469号公報、同11-80081号公報、および、特願2001-64627号公報などに記載の化合物を用いることができる。さらに棒状液晶化合物としては、例えば、特表平11-513019号公報および特開2007-279688号公報に記載のものも好ましく用いることができる。

30

【0133】

—円盤状液晶化合物—

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

なお、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40は厚さ方向に立ち上がっており、液晶化合物に由来する光学軸40Aは、円盤面に垂直な軸、いわゆる進相軸として定義される。

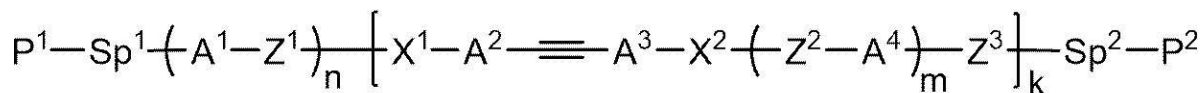
40

【0134】

液晶化合物としては、高い回折効率を得るために、屈折率異方性 Δn の高い液晶化合物を好ましく用いることができる。屈折率異方性を高める事により、入射角度が変化した際の回折効率を高く維持する事ができる。屈折率異方性 Δn の高い液晶化合物としては、特に限定されないが、WO2019/182129 A1に例示の化合物や、下記一般式(I)で表される化合物を好ましく用いる事ができる。

50

【化 1】



(I)

一般式 (I) 中、

P¹およびP²は、それぞれ独立に、水素原子、-CN、-NCSまたは重合性基を表す

。

Sp¹およびSp²は、それぞれ独立に、単結合または2価の連結基を表す。ただし、Sp¹およびSp²は、芳香族炭化水素環基、芳香族複素環基および脂肪族炭化水素環基からなる群より選ばれる少なくとも1つの基を含む2価の連結基を表すことはない。

Z¹、Z²およびZ³は、それぞれ独立に、単結合、-O-、-S-、-CHR-、-CH₂CHR-、-OCHR-、-CHRO-、-SO-、-SO₂-、-COO-、-OCO-、-CO-S-、-S-CO-、-O-CO-O-、-CO-NR-、-NR-CO-、-SCHR-、-CHRS-、-SO-CHR-、-CHR-SO-、-SO₂-CHR-、-CHR-SO₂-、-CF₂O-、-OCF₂-、-CF₂S-、-SCF₂-、-OCHRCHRO-、-SCHRCHRS-、-SO-CHRCHR-SO-、-SO₂-CHRCHR-SO₂-、-CH=CH-COO-、-CH=CH-OCO-、-COO-CH=CH-、-OCO-CH=CH-、-COO-CHRCHR-、-OCO-CHRCHR-、-CHRCHR-COO-、-CHRCHR-OCO-、-COO-CHR-、-OCO-CHR-、-CHR-COO-、-CHR-OCO-、-CR=CR-、-CR=N-、-N=CR-、-N=N-、-CR=N-N=CR-、-CF=CF-またはC≡C-を表す。Rは水素原子または炭素原子数1~10のアルキル基を表す。Rが複数存在する場合は、同一であっても異なってもよい。Z¹およびZ²は、それぞれ複数存在する場合は、同一であっても異なってもよい。複数存在するZ³は、同一であっても異なってもよい。ただし、Sp²に連結したZ³は、単結合を表す。

X¹およびX²は、それぞれ独立に、単結合またはS-を表す。複数存在するX¹およびX²は、それぞれ同一であっても異なってもよい。ただし、複数存在するX¹および複数存在するX²のうち、いずれか少なくとも1つは-S-を表す。

kは2~4の整数を表す。

mおよびnは、それぞれ独立に、0~3の整数を表す。複数存在するmは、同一であっても異なってもよい。

A¹、A²、A³およびA⁴は、それぞれ独立に、下記一般式(B-1)~(B-7)のいずれかで表される基、または下記一般式(B-1)~(B-7)のいずれかで表される基を2つ以上3つ以下連結してなる基を表す。複数存在するA²およびA³は、それぞれ同一であっても異なってもよい。A¹およびA⁴は、それぞれ複数存在する場合は、同一であっても異なってもよい。

10

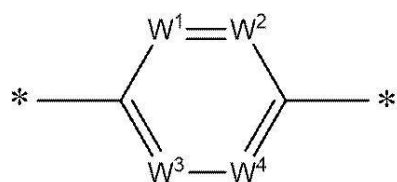
20

30

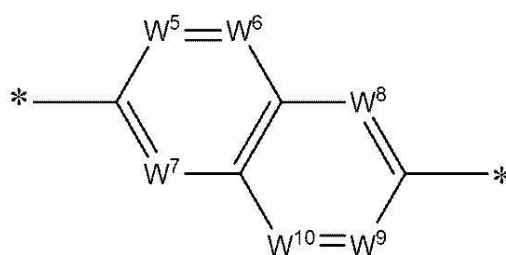
40

50

【化 2】

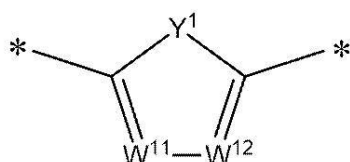


(B-1)

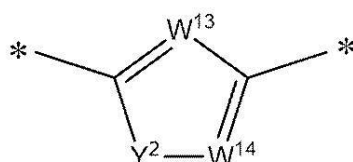


(B-2)

10

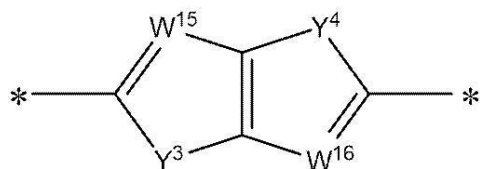


(B-3)

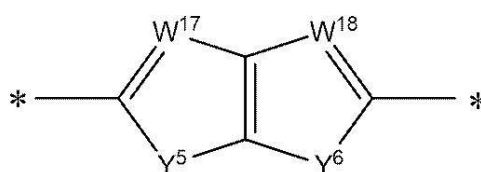


(B-4)

20

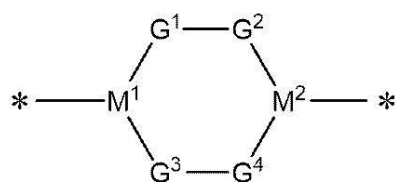


(B-5)



(B-6)

30



(B-7)

40

一般式 (B-1) ~ (B-7) 中、

$W^1 \sim W^{18}$ は、それぞれ独立に、 CR^1 または N を表し、 R^1 は水素原子または下記置換基 L を表す。

$Y^1 \sim Y^6$ は、それぞれ独立に、 NR^2 、 O または S を表し、 R^2 は水素原子または下記置換基 L を表す。

$G^1 \sim G^4$ は、それぞれ独立に、 CR^3R^4 、 NR^5 、 O または S を表し、 $R^3 \sim R^5$ は、それぞれ独立に、水素原子または下記置換基 L を表す。

M^1 および M^2 は、それぞれ独立に、 CR^6 または N を表し、 R^6 は水素原子または下記置換基 L を表す。

50

*は結合位置を表す。

置換基 L は、炭素原子数 1 ～ 10 のアルキル基、炭素原子数 1 ～ 10 のアルコキシ基、炭素原子数 1 ～ 10 のアルキルアミノ基、炭素原子数 1 ～ 10 のアルキルチオ基、炭素原子数 1 ～ 10 のアルカノイル基、炭素原子数 1 ～ 10 のアルカノイルオキシ基、炭素原子数 1 ～ 10 のアルカノイルアミノ基、炭素原子数 1 ～ 10 のアルカノイルチオ基、炭素原子数 2 ～ 10 のアルキルオキシカルボニル基、炭素原子数 2 ～ 10 のアルキルアミノカルボニル基、炭素原子数 2 ～ 10 のアルキルチオカルボニル基、ヒドロキシ基、アミノ基、メルカプト基、カルボキシ基、スルホ基、アミド基、シアノ基、ニトロ基、ハロゲン原子または重合性基である。ただし、置換基 L として記載した上記基が $-CH_2-$ を有する場合、上記基に含まれる $-CH_2-$ の少なくとも 1 つを、 $-O-$ 、 $-CO-$ 、 $-CH=CH-$ または $C\equiv C-$ に置き換えてなる基も置換基 L に含まれる。また、置換基 L として記載した上記基が水素原子を有する場合、上記基に含まれる水素原子の少なくとも 1 つを、フッ素原子および重合性基からなる群より選択される少なくとも 1 つに置き換えてなる基も置換基 L に含まれる。

10

【0135】

入射角度が変化した場合の回折効率を高く維持するため、液晶化合物の屈折率異方性 Δn_{50} は 0.15 以上が好ましく、0.2 以上がより好ましく、0.25 以上がさらに好ましく、0.3 以上が最も好ましい。

【0136】

また、本発明の液晶回折素子は、光学異方性層の屈折率異方性 Δn や平均屈折率を面内で変えてもよい。光学異方性層の屈折率異方性 Δn や平均屈折率を面内で変えることで、入射位置の異なる光に対して、回折効率を、適宜、調整することができる。

20

【0137】

—光反応型キラル剤—

光反応型キラル剤は、例えば、下記一般式 (I) で表される化合物からなり、液晶性化合物の配向構造を制御し得ると共に、光の照射により液晶化合物の螺旋ピッチ、即ち螺旋構造の捻れ力 (HTP: ヘリカルツイスティングパワー) を変化させることができる特質を有する。即ち、液晶性化合物、好ましくはネマチック液晶化合物に誘起する螺旋構造の捻れ力の変化を光照射 (紫外線～可視光線～赤外線) によって起こさせる化合物であり、必要な部位 (分子構造単位) として、カイラル部位 (キラル部位) と光の照射によって構造変化を生じる部位とを有する。しかも、下記一般式 (I) で表される光反応型キラル剤は、特に液晶分子の HTP を大きく変化させることができる。

30

【0138】

尚、前述の HTP は、液晶の螺旋構造の捻れ力、即ち、 $HTP = 1 / (\text{ピッチ} \times \text{キラル剤濃度〔質量分率〕})$ を表し、例えば、ある温度での液晶分子の螺旋ピッチ (螺旋構造の一周期; μm) を測定し、この値をキラル剤 (キラル剤) の濃度から換算 (μm^{-1}) して求めることができる。光反応型キラル剤により光の照度により選択反射色を形成する場合、前述の HTP の変化率 (= 照射前の HTP / 照射後の HTP) としては、照射後に HTP がより小さくなる場合には 1.5 以上が好ましく、更に 2.5 以上がより好ましく、照射後に HTP がより大きくなる場合には 0.7 以下が好ましく、更に 0.4 以下がより好ましい。

40

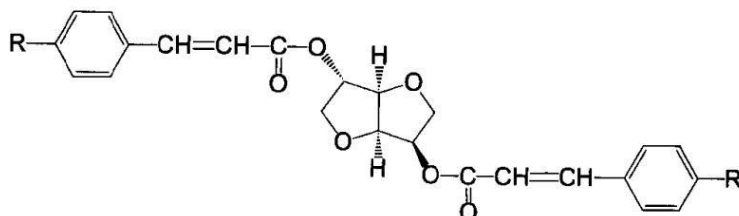
【0139】

次に、一般式 (I) で表される化合物について説明する。

一般式 (I)

【0140】

【化 3】



【0141】

10

前述の式中、Rは、水素原子、炭素数1～15のアルコキシ基、総炭素数3～15のアクリロイルオキシアルキルオキシ基、総炭素数4～15のメタクリロイルオキシアルキルオキシ基を表す。

前述の炭素数1～15のアルコキシ基としては、例えば、メトキシ基、エトキシ基、プロポキシ基、ブトキシ基、ヘキシルオキシ基、ドデシルオキシ基等が挙げられ、中でも、炭素数1～12のアルコキシ基が好ましく、炭素数1～8のアルコキシ基が特に好ましい。

【0142】

前述の総炭素数3～15のアクリロイルオキシアルキルオキシ基としては、例えば、アクリロイルオキシエチルオキシ基、アクリロイルオキシブチルオキシ基、アクリロイルオキシデシルオキシ基等が挙げられ、中でも、炭素数5～13のアクリロイルオキシアルキルオキシ基が好ましく、炭素数5～11のアクリロイルオキシアルキルオキシ基が特に好ましい。

20

【0143】

前述の総炭素数4～15のメタクリロイルオキシアルキルオキシ基としては、例えば、メタクリロイルオキシエチルオキシ基、メタクリロイルオキシブチルオキシ基、メタクリロイルオキシデシルオキシ基等が挙げられ、中でも、炭素数6～14のメタクリロイルオキシアルキルオキシ基が好ましく、炭素数6～12のメタクリロイルオキシアルキルオキシ基が特に好ましい。

【0144】

前述の一般式(I)で表される光反応型キラル剤の分子量としては、300以上が好ましい。また、後述する液晶性化合物との溶解性の高いものが好ましく、その溶解度パラメータSP値が、液晶性化合物に近似するものがより好ましい。

30

【0145】

以下、前述の一般式(I)で表される化合物の具体例(例示化合物(1)～(15))を示すが、本発明においてはこれらに制限されるものではない。

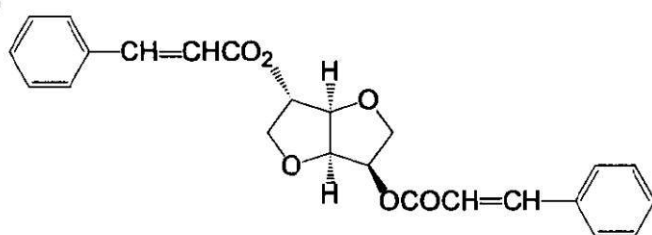
【0146】

40

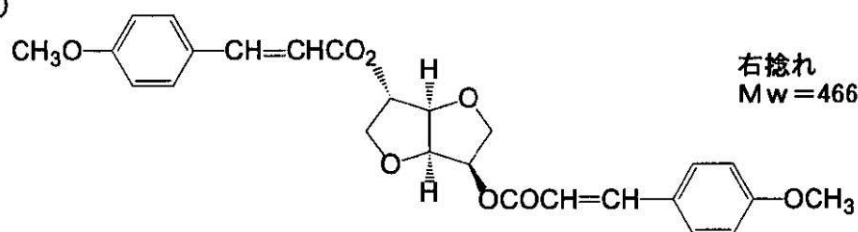
50

【化 4】

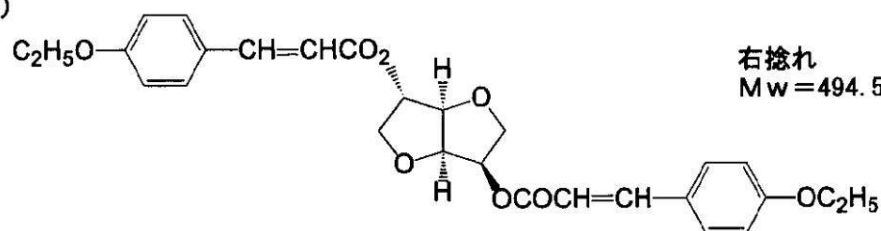
(1)

右捻れ
Mw = 406. 43

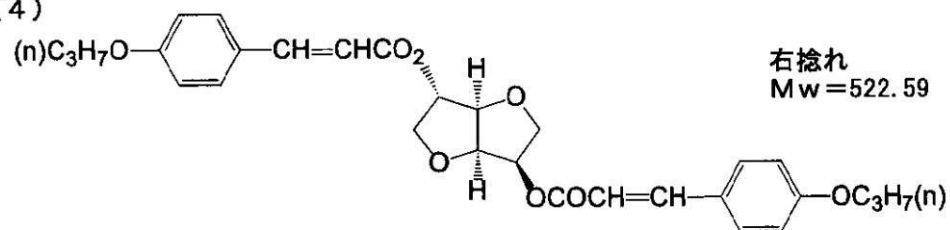
(2)

右捻れ
Mw = 466. 48

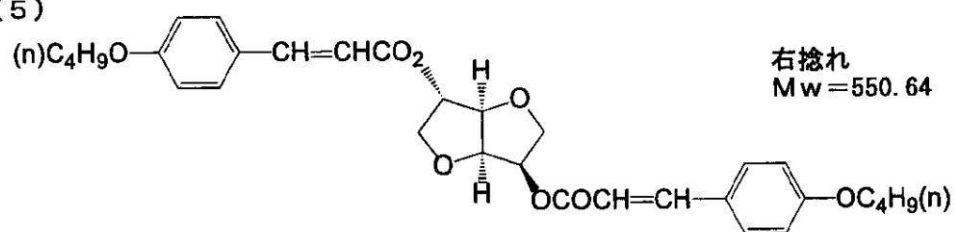
(3)

右捻れ
Mw = 494. 53

(4)

右捻れ
Mw = 522. 59

(5)

右捻れ
Mw = 550. 64

【 0 1 4 7 】

10

20

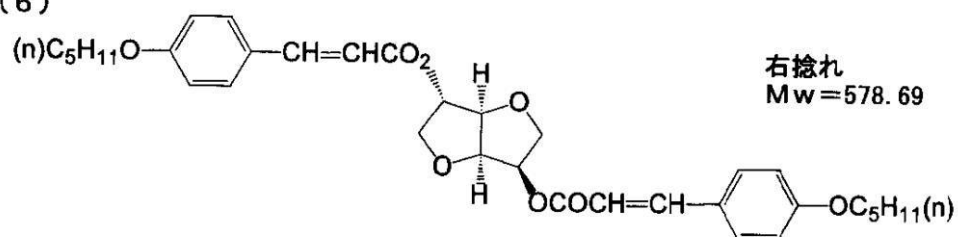
30

40

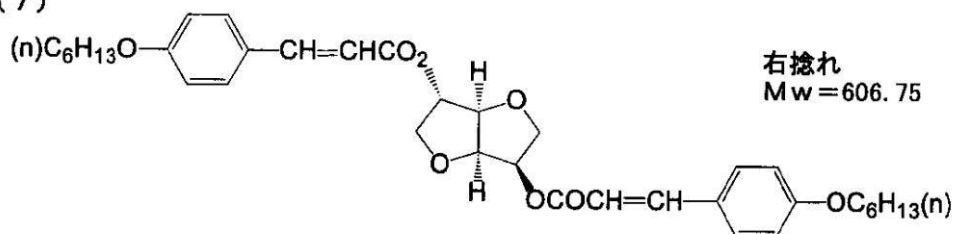
50

【化 5】

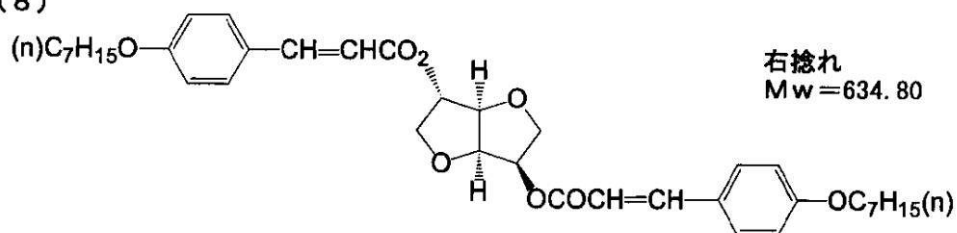
(6)



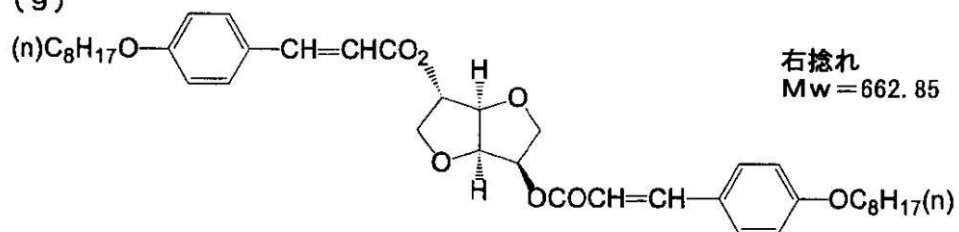
(7)



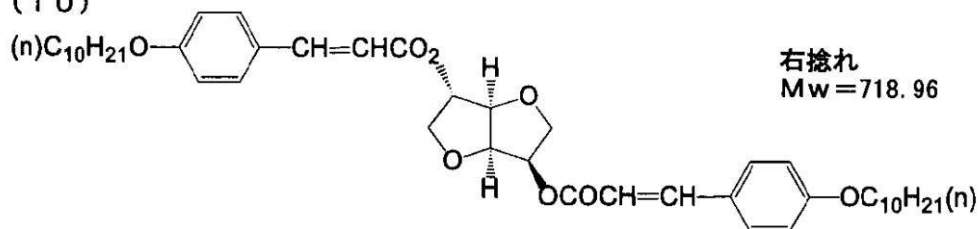
(8)



(9)



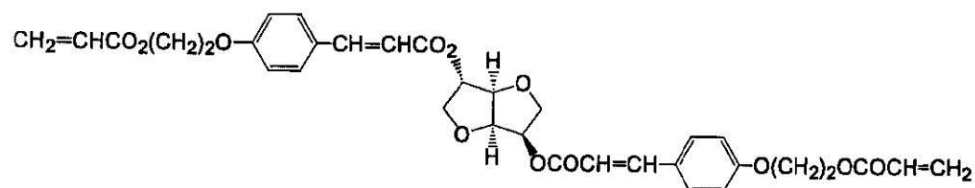
(10)



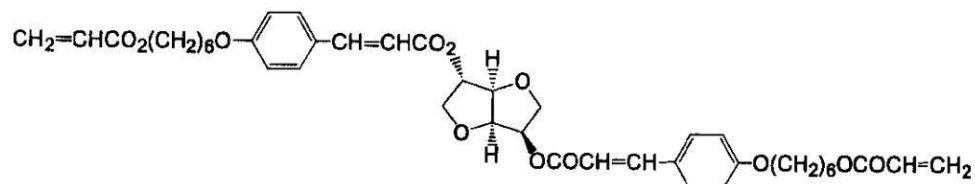
【 0 1 4 8 】

【化 6】

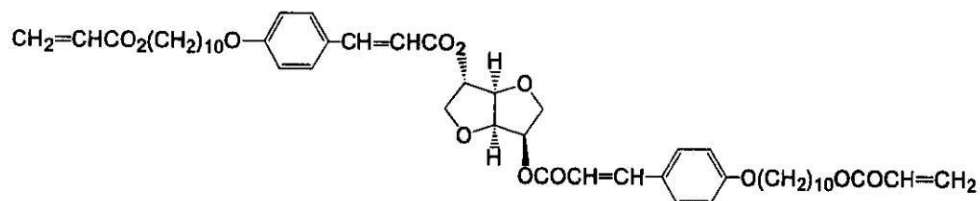
(11)



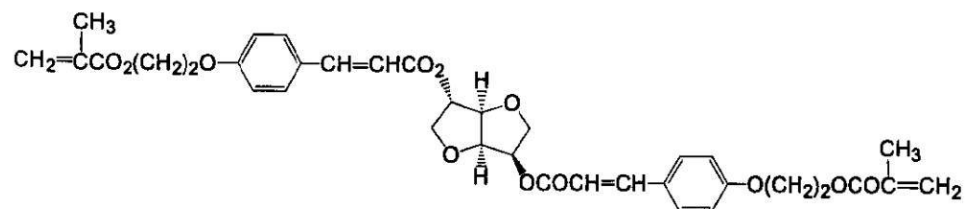
(12)



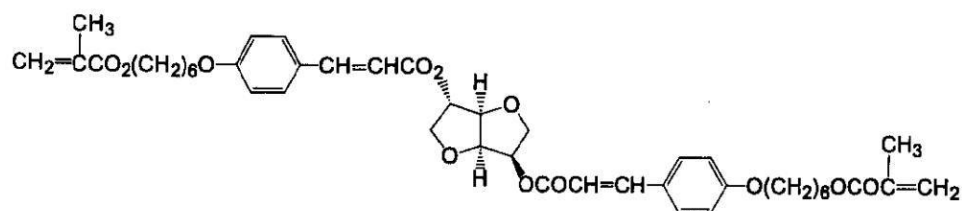
(13)



(14)



(15)



【0149】

本発明において、光反応型キラル剤としては、例えば、下記一般式 (II) で表される光反応型光学活性化合物も用いられる。

【0150】

一般式 (II)

【0151】

10

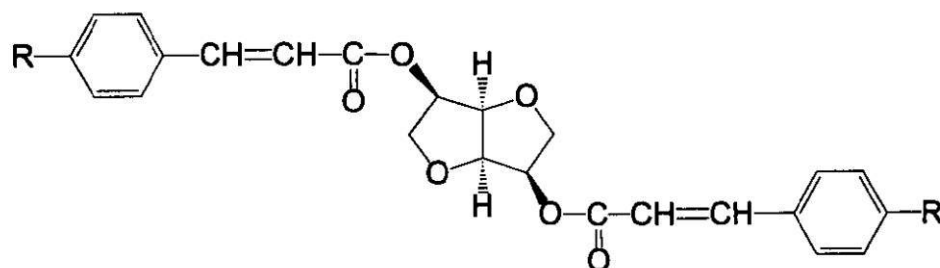
20

30

40

50

【化 7】



10

【0152】

前述の式中、Rは、水素原子、炭素数1～15のアルコキシ基、総炭素数3～15のアクリロイルオキシアルキルオキシ基、総炭素数4～15のメタクリロイルオキシアルキルオキシ基を表す。

前述の炭素数1～15のアルコキシ基としては、例えば、メトキシ基、エトキシ基、プロポキシ基、ブトキシ基、ヘキシルオキシ基、オクチルオキシ基、ドデシルオキシ基等が挙げられ、中でも、炭素数1～10のアルコキシ基が好ましく、炭素数1～8のアルコキシ基が特に好ましい。

【0153】

前述の総炭素数3～15のアクリロイルオキシアルキルオキシ基としては、例えば、アクリロイルオキシ基、アクリロイルオキシエチルオキシ基、アクリロイルオキシプロピルオキシ基、アクリロイルオキシヘキシルオキシ基、アクリロイルオキシブチルオキシ基、アクリロイルオキシデシルオキシ基等が挙げられ、中でも、炭素数3～13のアクリロイルオキシアルキルオキシ基が好ましく、炭素数3～11のアクリロイルオキシアルキルオキシ基が特に好ましい。

20

【0154】

前述の総炭素数4～15のメタクリロイルオキシアルキルオキシ基としては、例えば、メタクリロイルオキシ基、メタクリロイルオキシエチルオキシ基、メタクリロイルオキシヘキシルオキシ基等が挙げられ、中でも、炭素数4～14のメタクリロイルオキシアルキルオキシ基が好ましく、炭素数4～12のメタクリロイルオキシアルキルオキシ基が特に好ましい。

30

【0155】

前述の一般式(II)で表される光反応型光学活性化合物の分子量としては、300以上が好ましい。また、後述する液晶性化合物との溶解性の高いものが好ましく、その溶解度パラメータSP値が、液晶性化合物に近似するものがより好ましい。

【0156】

以下、前述の一般式(II)で表される光反応型光学活性化合物の具体例(例示化合物(21)～(32))を示すが、本発明においてはこれらに制限されるものではない。

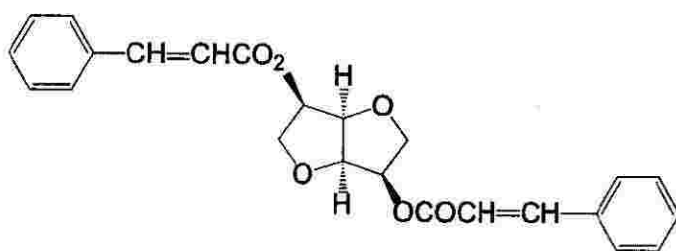
【0157】

40

50

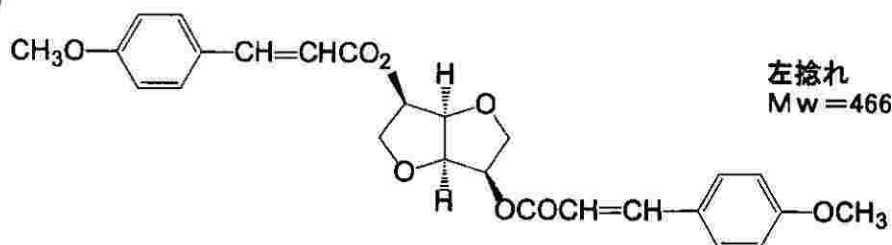
【化 8】

(21)



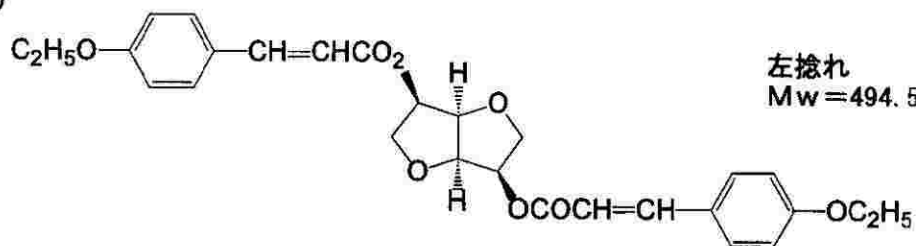
左捻れ
Mw = 406. 43

(22)



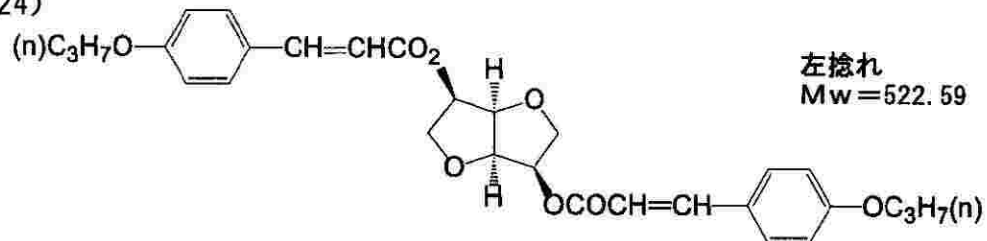
左捻れ
Mw = 466. 48

(23)



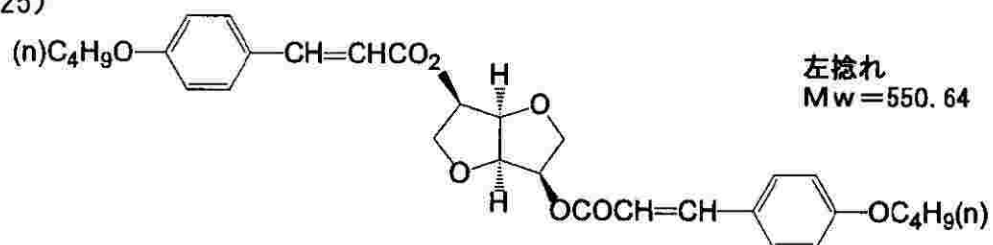
左捻れ
Mw = 494. 53

(24)



左捻れ
Mw = 522. 59

(25)



左捻れ
Mw = 550. 64

【 0 1 5 8 】

10

20

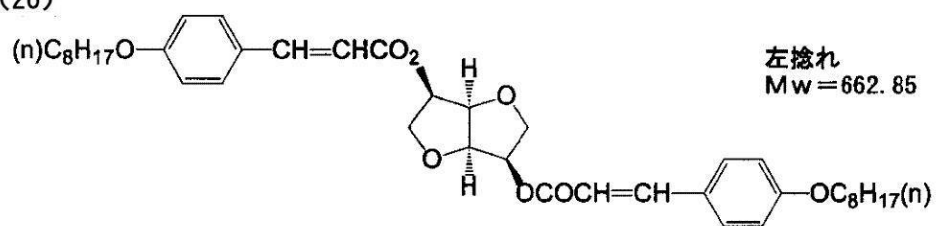
30

40

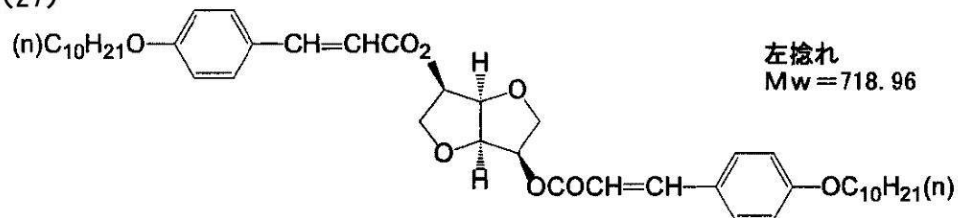
50

【化 9】

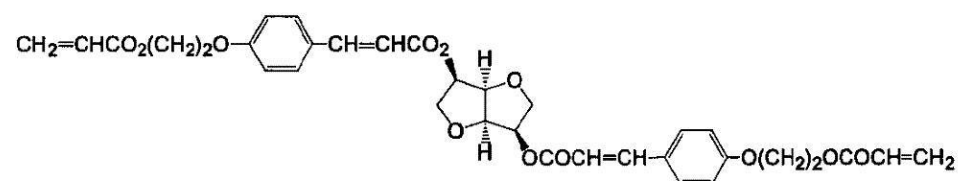
(26)



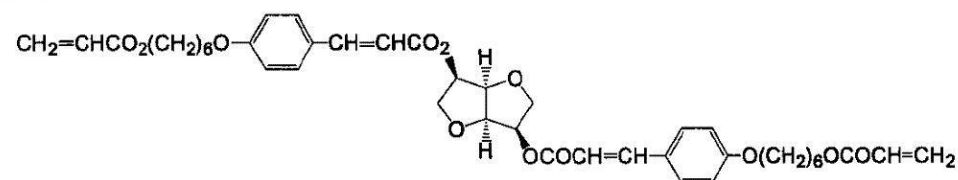
(27)



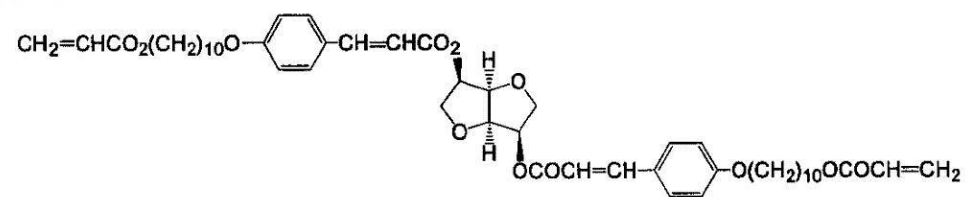
(28)



(29)



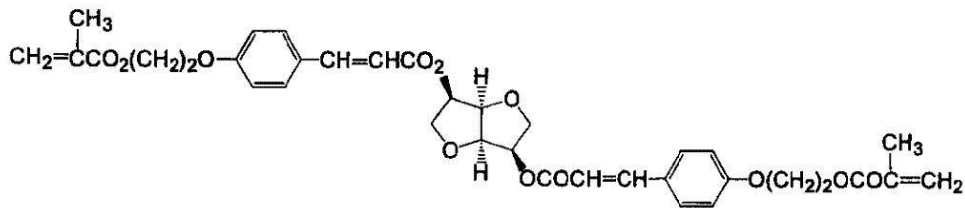
(30)



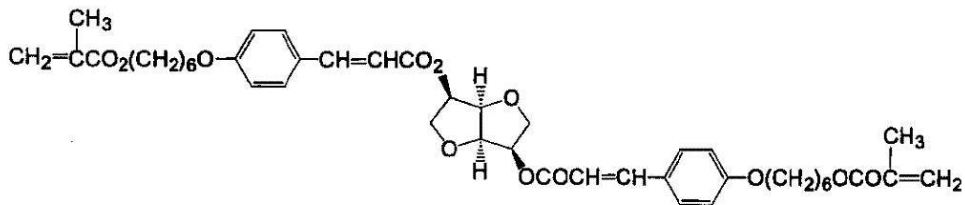
【 0 1 5 9 】

【化 10】

(31)



(32)



【0160】

また、光反応型キラル剤は、捻れ力の温度依存性が高いカイラル化合物など、光反応性のないキラル剤と併用することもできる。前述の光反応性のない公知のキラル剤としては、例えば、特開2000-44451号、特表平10-509726号、WO98/00428、特表2000-506873号、特表平9-506088号、Liquid Crystals (1996、21、327)、および、Liquid Crystals (1998、24、219) 等に記載のキラル剤が挙げられる。

【0161】

<液晶回折素子の作用>

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

そのため、図1に示す例のように、液晶化合物由来の光学軸の向きが連続的に回転しながら変化する一方向（配列軸D方向）を、内側から外側に向かう同心円状に有し、中心から外側に向かって1周期Λが小さくなる光学異方性層を形成した場合には、図14に示すように、光学異方性層36aの面内の中心付近に入射した光L₆は、ほとんど回折されずに光L₇として光学異方性層36aを透過する。また、中心と図中右側の外側との中間の領域に入射した光L₈は、中心側に回折されて光L₉として光学異方性層36aを透過する。また、図中右側の外側の領域に入射した光L₁₀は、中心側により大きい角度で回折されて光L₁₁として光学異方性層36aを透過する。また、中心と図中左側の外側との中間の領域に入射した光L₁₂は、中心側に回折されて光L₁₃として光学異方性層36aを透過する。また、図中左側の外側の領域に入射した光L₁₄は、中心側により大きい角度で回折されて光L₁₅として光学異方性層36aを透過する。

そのため、図14に示すように、光学異方性層36aは、透過する光を集光する集光レンズとして機能する。

【0162】

本発明の液晶回折素子において、光学異方性層中の液晶化合物の厚さ方向のねじれ角は、面内の液晶配向パターンの1周期Λに応じて、適宜、設定すればよい。

【0163】

また、図1等に示す例では、光学異方性層が、液晶化合物由来の光学軸の向きが連続的に回転しながら変化する一方向を、内側から外側に向かう同心円状に有する、同心円状の液晶配向パターンを有する構成としたがこれに限定はされない。

例えば、光学異方性層の液晶配向パターンの配列軸Dを一方向に有し、1周期Λがこの

一方向に沿って漸次変化し、暗部の平均傾斜角が、この一方向に沿って漸次変化している構成としてもよい。

また、液晶配向パターンが、内側から外側に向かって対称な同心円状でなく、非対称な液晶配向パターンであってもよい。そのとき、液晶配向パターンの中心が、液晶回折素子の中心と異なってもよい。液晶配向パターンは上述の構成には限定されず、液晶回折素子に求められる機能に応じて、適宜、設定すればよい。

【0164】

本発明の液晶回折素子は、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、および、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。

【0165】

本発明の液晶回折素子は、可視光を透過して屈折するものであってもよく、赤外線または／および紫外線を屈折して透過する構成でもよい。

【0166】

本発明の光学素子は、上述した液晶回折素子と円偏光板とを有するものである。

液晶回折素子に入射した円偏光の一部は回折されずに、液晶回折素子を透過する場合がある（0次光）。液晶回折素子に回折されなかった円偏光は、用途によって性能を低下させる恐れがある。これに対して、液晶回折素子と円偏光板とを組み合わせることで、液晶回折素子で回折されずに透過した光（0次光）を低減することができる。

一例として、液晶回折素子と円偏光板（位相差板と直線偏光板（偏光子）をこの順で配置）について説明する。液晶回折素子に右円偏光を入射すると、入射した右円偏光は回折されて液晶回折素子から出射される。また、回折される際に右円偏光は左円偏光に変換される。液晶回折素子に回折された左円偏光（すなわち、1次光）は、円偏光板の位相差板（1／4波長板）によって直線偏光に変換される。位相差板によって変換された直線偏光は、直線偏光板を透過して出射される。

【0167】

ここで、液晶回折素子で一部の光が回折されなかった場合、液晶回折素子に入射した右円偏光の一部は回折されずに、液晶回折素子を透過する。円偏光板がない場合には、液晶回折素子で回折されなかった右円偏光は、そのまま直進する。この直進する右円偏光は用途によって不要な光となり性能を低下させる。

【0168】

これに対して、上記のとおり、光学素子は円偏光板を有する形態も好ましく用いることができる。円偏光板を有する場合、液晶回折素子に回折されなかった右円偏光（すなわち、0次光）は、円偏光板の位相差板に入射して上述とは直交方向の直線偏光に変換され、直線偏光板に入射して吸収される。すなわち、液晶回折素子に回折されなかった右円偏光は、円偏光板によって吸収される。従って、左円偏光による所望の1次光を透過させ、回折されなかった右円偏光は低減することができる。そのため、不要な光（0次光）により性能が低下することを抑制することができる。

【0169】

<偏光板>

本発明で用いる直線偏光板は、一方の偏光方向の直線偏光を透過し、他方の偏光方向の直線偏光を吸収する機能を有する直線偏光板であれば特に限定されず、従来公知の直線偏光板を利用することができる。直線偏光板は、吸収型の直線偏光板であっても反射型の直線偏光板であってもよい。

【0170】

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

10

20

30

40

50

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

吸収型偏光子としては、延伸を行わず、液晶の配向性を利用して二色性色素を配向させた偏光子は特に好ましい。上記偏光子は、厚みが $0.1\mu\text{m}\sim 5\mu\text{m}$ 程度と非常に薄層化できること、特開2019-194685号公報に記載されているように折り曲げた時のクラックが入りにくいこと、および、熱変形が小さいこと、特許6483486号公報に記載されるように50%を超えるような透過率の高い偏光板でも耐久性に優れること、また加熱成形性に優れる等、多くの長所を有する。

10

これらの長所を生かして、高輝度および小型軽量が求められる用途、微細な光学系用途、曲面を有する部位への成形用途、フレキシブルな部位への用途が可能である。また、支持体を剥離して偏光子を転写して使用することも可能である。

ヘッドアップディスプレイ等の車載ディスプレイ光学系、ARグラス、VRグラス等の光学系およびLiDAR、顔認証システム、偏光イメージング等の光学センサーなどで迷光抑止の目的で吸収型偏光子を組み込むことも好ましい。

【0171】

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

20

【0172】

本発明に用いる偏光板は、表面が平滑であることが好ましい。特に、偏光板をレンズ等に適用する場合は、レンズの像拡大の効果によって、僅かな表面凹凸が像の歪みに繋がるため、表面に凹凸がないことが望まれる。具体的には、表面の平均算術粗さ R_a が 50nm 以下であることが好ましく、 30nm 以下であることがさらに好ましく、 10nm 以下がさらには好ましく、 5nm 以下であることが最も好ましい。また、偏光板の表面上において、1平方ミリメートルの範囲内における表面凹凸の高低差が、 100nm 以下であることが好ましく、 50nm 以下であることがさらに好ましく、 20nm 以下であることが最も好ましい。

30

表面の凹凸および平均算術粗さは、粗さ計および干渉計等を用いて測定することができる。たとえば、株式会社菱化システム製の干渉計「vertscan」を用いて測定することができる。

【0173】

<位相差板>

本発明で用いる位相差板は、入射した偏光の位相を変換する位相差板である。位相差板は、入射する偏光を直線偏光に近くなるように変換するか、円偏光に近くなるように変換するかに応じて、遅相軸の方向を調整して配置される。具体的には、位相差板は、隣接して配置される直線偏光板の吸収軸に対して、遅相軸が $+45^\circ$ または -45° となるように配置すればよい。

40

【0174】

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

50

【0175】

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

【0176】

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

【0177】

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

【0178】

$\lambda/4$ 板の厚さは特に制限はないが、 $1\sim500\mu\text{m}$ が好ましく、 $1\sim50\mu\text{m}$ がより好ましく、 $1\sim5\mu\text{m}$ がさらに好ましい。

【0179】

本発明に用いられる位相差板は、逆波長分散性を有することが好ましい。逆波長分散性を有することで、位相差板における位相変化が理想的になり、直線偏光と円偏光との間の変換が理想的になる。

【0180】

本発明の液晶回折素子と円偏光板とを組み合わせた形態において、円偏光板の下流に他の光学素子を組み合わせてもよい。

一例として、円偏光板の下流に位相差板を配置してもよい。円偏光板（位相差板と直線偏光板をこの順で配置）を透過した直線偏光を、円偏光板の下流に配置した位相差板により円偏光および楕円偏光、偏光方向の異なる直線偏光に変換する構成も好ましく用いることができる。また、位相差板に替えて、少なくとも一部の波長域の光の偏光状態を解消する偏光解消層を用いてもよい。偏光解消層としては、高位相差フィルム（面内位相差が 3000nm 以上）、および、光散乱層等を用いることができる。このように円偏光板から出射した光の偏光状態を制御することにより、用途に応じて偏光状態を合せることができる。

他の一例として、円偏光板の下流に光を偏向する光学素子を配置してもよい。例えば、円偏光板の下流にレンズ等の光を偏向する光学素子を配置することにより、円偏光板から出射した光の進行方向を変えることができる。このように円偏光板から出射した光の偏向方向を制御することにより、用途に応じて光の出射方向を合せることができる。

【0181】

<接着層（粘着剤層）、接着剤>

光学フィルムは、各層の接着のために接着層を含んでもよい。本明細書において、「接着」は「粘着」も含む概念で用いられる。

例えば、水溶性接着剤、紫外線硬化型接着剤、エマルジョン型接着剤、ラテックス型接着剤、マスチック接着剤、複層接着剤、ペースト状接着剤、発泡型接着剤、サポートフィルム接着剤、熱可塑型接着剤、熱溶融型（ホットメルト）接着剤、熱固化接着剤、熱活性接着剤、ヒートシール接着剤、熱硬化型接着剤、コンタクト型接着剤、感圧性接着剤（すなわち、粘着剤）、重合型接着剤、溶剤型接着剤、溶剤活性接着剤、セラミック接着剤等が挙げられる。具体的には、ホウ素化合物水溶液、特開2004-245925号公報に示されるような、分子内に芳香環を含まないエポキシ化合物の硬化性接着剤、特開2008-174667号公報記載の $360\sim450\text{nm}$ の波長におけるモル吸光係数が400以上である光重合開始剤と紫外線硬化性化合物とを必須成分とする活性エネルギー線硬化型接着剤、特開2008-174667号公報記載の（メタ）アクリル系化合物の合計量100質量部中に（a）分子中に（メタ）アクリロイル基を2以上有する（メタ）アクリル系化合物と、（b）分子中に水酸基を有し、重合性二重結合をただ1個有する（メ

10

20

30

40

50

タ) アクリル系化合物と、(c) フェノールエチレンオキサイド変性アクリレートまたはノニルフェノールエチレンオキサイド変性アクリレートとを含有する活性エネルギー線硬化型接着剤なども挙げられる。必要に応じて、各種接着剤を単独で用いる事も、混合して用いる事もできる。

【0182】

積層光学フィルムにおいて、余計な反射を低減する観点から、接着層は隣接する層との屈折率差が小さいことが好ましい。具体的には、隣接する層の屈折率差は、0.05以下が好ましく、0.01以下がより好ましい。接着層の屈折率の調整方法として特に制限はないが、ジルコニア系、シリカ系、アクリル系、アクリルースチレン系、メラミン系などの微粒子を添加する方法、樹脂屈折率の調整、および、特開平11-223712号公報に記載の方法など既知の方法を用いる事ができる。

10

また、隣接する層が、面内において屈折率の異方性を有する場合には、面内における全ての方向において、隣接する層との屈折率差が0.05以下であることが好ましい。そのため、接着層は面内に屈折率異方性を有するものであってもよい。

接着する界面間の屈折率差が大きい場合は、接着層の厚み方向で屈折率に分布を付ける事で、界面反射率を低減する事ができる。厚み方向で屈折率に分布を付ける方法としては、接着剤層を複数層設ける方法、複数層設けた接着剤層間の界面を混合する方法、接着剤層内の素材の偏在状態を制御して屈折率分布を付与する方法などがあげられる。

【0183】

また、接着層は、貼合する一方の部材、または両方の部材に、塗布、蒸着、転写などの任意の方法で設ける事ができ、接着強度を上げる観点から、加熱処理および紫外線照射などの後処理を接着剤の種類に合わせて施す事ができる。接着層の厚みは任意に調整する事ができるが、20 μ 以下が好ましく、0.1 μ 以下が更に好ましい。0.1 μ 以下の接着層を形成する方法としては、酸化ケイ素(SiO_x層)などのセラミック接着剤を貼合面に蒸着する方法があげられる。貼合部材の貼合面は、貼合前にプラズマ処理、コロナ処理、鹼化処理等の表面改質処理を施す事、ならびに、プライマー層を付与する事等ができる。また、貼合面が複数ある場合は、貼合面毎に接着層の種類および厚み等を調整する事ができる。

20

【0184】

<積層体の裁断>

作製した積層体を所定サイズに切断する事ができる。積層体の切断方法には限定はなく、トムソン刃等の刃物を用いて物理的に切断する方法、レーザーを照射して切断する方法等の公知の方法が各種利用可能である。レーザーを用いる場合は、裁断性や材料へのダメージを考慮して、パルス幅(ナノ秒、ピコ秒、フェムト秒)、波長を選択する事が好ましい。また、積層体を所定形状に加工した後、例えば、端面の研磨加工を行ってもよい。裁断時の加工性を改善や、発塵抑制などの観点で、剥離可能な保護フィルムを付けた状態で裁断する事もできる。また、例えば特開2004-141889に示す方法により、液晶配向パターンを観察しながら裁断する事で、裁断位置を任意に決める事が可能である。この際、液晶配向パターンを見えやすくするために、偏光板や位相差膜等を通して観察する事もできる。また、1つの基板上に複数の光学素子を設けた場合には、複数の光学素子を同時に裁断する事が好ましい。

30

40

【0185】

<その他の処理>

積層体をデバイスに精度良く設置する、裁断時の軸や裁断位置の精度を向上させる等の目的から、必要に応じて任意の形状の目印を付与する事ができる。目印の種類は、任意に選択する事ができ、レーザー、インクジェット方式等で物理的に付与する方法、液晶の配向状態を部分的に変更する方法、部分的に脱色または染色された領域を付与する方法などを選択する事ができる。

また、液晶層を保護する目的から、必要に応じて保護層(ガスバリア層、水分などに対する遮断層、紫外線吸収層、耐傷擦性層など)を設ける事ができる。保護層は液晶層上に

50

直接形成する事もできるし、粘着剤層や、他の光学フィルムを介して設けても良い。表面の反射率を低減する目的で反射防止層（LR層、AR層、モスアイ層など）を設けても良い。各種保護層は、公知のものの中から適宜選択することができる。ガスバリア層を設ける場合は、ポリビニルアルコールが好ましい。ポリビニルアルコールは偏光子としての機能を兼ねる事もできる。また、紫外線吸収層は、紫外線吸収剤を含有する層であり、紫外線吸収剤としては、波長370nm以下の紫外線の吸収能に優れ、かつ良好な表示性の観点から、波長400nm以上の可視光の吸収が少ないものが好ましく用いられる。紫外線吸収剤は1種のみ用いても良いし、2種以上を併用しても良い。例えば、特開2001-72782号公報や特表2002-543265号公報に記載の紫外線吸収剤が挙げられる。紫外線吸収剤の具体例としては、例えばオキシベンゾフェノン系化合物、ベンゾトリアゾール系化合物、サリチル酸エステル系化合物、ベンゾフェノン系化合物、シアノアクリレート系化合物、および、ニッケル錯塩系化合物などが挙げられる。

10

【0186】

<複数の液晶回折素子の組み合わせ>

本発明の液晶回折素子は、複数の液晶回折素子を組み合わせる用いることができる。

例えば、Optics Express, Vol.28, No16/3 August 2020に開示されているように複数の液晶回折素子を組み合わせ、液晶回折素子へ入射する偏光状態を変えることで、出射する光の集光性／発散性を複数切り替えることができる。

このような複数の液晶回折素子を組み合わせることで、ARグラスおよびVRグラスなどのHMDにおいて、中心窩に対応した表示（Foveated display）を行うことができる。

20

【0187】

<位相変調素子との組み合わせ>

本発明の液晶回折素子は、位相変調素子と組み合わせる構成も好ましく用いることができる。

例えば、US10,379,419B1に開示されているような電圧で位相差を変調できるスイッチング可能なλ/2板（Switchable Half Waveplate）と本発明の液晶回折素子（Passive Elementとして使用）を組み合わせることで、素子面内の光の入射位置によらず、高い回折効率を有する焦点可変レンズを実現することができる。また、位相変調素子と液晶回折素子との組み合わせを複数セット組み合わせることで、調整可能な焦点距離を複数に増やすことができる。

30

このような焦点可変レンズをARグラスおよびVRグラスに用いることで、HMDの表示画像の焦点位置を任意に変更することができる。

【0188】

<レンズとの組み合わせ>

本発明の液晶回折素子は、他のレンズ素子と組み合わせる構成も好ましく用いることができる。

例えば、SID 2020 DIGEST, 40-4, pp579-582.に開示されているようなフレネルレンズと液晶回折素子の組み合わせに、本発明の液晶回折素子を用いることで素子面内の光の入射位置によらず、高い回折効率で、レンズの色収差を改善することができる。組み合わせるレンズとして制限はなく、屈折率レンズ、US3,443,858、および、Optics Express, Vol.29, No4/15 February 2021等を開示されているようなパンケーキレンズ（Pancake lens）との組み合わせも好適に用いることができる。

40

このようなレンズと液晶回折素子を組み合わせた光学系をARグラスおよびVRグラス等に用いることで、HMDの表示画像の色ズレ（レンズの色収差）を改善することができる。

【0189】

<導光板との組み合わせ>

本発明の液晶回折素子は、導光板と組み合わせる構成も好ましく用いることができる。

例えば、Proc. of SPIE Vol.11062, Digital Optical Technologies 2019, 110620J (16 July 2019)に開示されているような導光板とレンズの組み合わせにおいて、上記

50

レンズとして本発明の液晶回折素子を用いることで、導光板から出射した表示画像の焦点位置を変えることができる。

このように導光板と組み合わせることで、ARグラスおよびVRグラスなどのHMDの表示画像の焦点位置を調整することができる。なお、ARグラスに用いる場合は、Proc. of SPIE Vol.11062, Digital Optical Technologies 2019, 110620J (16 July 2019)に開示されているように、導光板を挟んで、正/負が異なるレンズとして本発明の液晶回折素子を用いることで、実際の光景と導光板から出力される表示画像の両方を歪みがなく観察することができる。

【0190】

＜画像表示装置との組み合わせ＞

本発明の液晶回折素子は、画像表示装置との組み合わせも好ましく用いることができる。

例えば、Crystals 2021, 11, 107 に開示されているような画像表示装置と液晶回折素子（Diffraction Deflection Filmとして使用）を組み合わせることで、画像表示装置からの出射光の輝度分布を調整することができる。

このように画像表示装置と組み合わせた画像表示ユニットとすることで、ARグラスおよびVRグラスなどのHMDの輝度分布を好適に調整することができる。

【0191】

＜ビームステアリングとの組み合わせ＞

本発明の液晶回折素子は、光偏向素子（ビームステアリング）との組み合わせも好ましく用いることができる。

例えば、WO2019/189675に開示されているような光偏向素子の回折素子として、本発明の液晶回折素子を用いることで、高い回折効率で、出射光の高偏向角化が可能である。

このように光偏向素子（ビームステアリング）と組み合わせることで、LiDAR（Light Detection and Ranging）などの測距センサーの光の照射角度を好適に広げることができる。

【0192】

以上、本発明の液晶回折素子、光学素子、画像表示ユニット、ヘッドマウントディスプレイ、ビームステアリングおよびセンサー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、各種の改良および変更等を行ってもよいのは、もちろんである。

【実施例】

【0193】

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

【0194】

〔比較例1〕

＜液晶回折素子の作製＞

（支持体）

支持体として、ガラス基板を用意した。

【0195】

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

【0196】

配向膜形成用塗布液

10

20

30

40

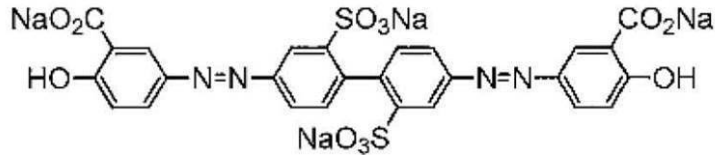
50

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

【0197】

ー光配向用素材 Aー

【化11】



10

【0198】

(配向膜の露光)

図11に示す露光装置を用いて配向膜を露光して、同心円状の配向パターンを有する配向膜P-1を形成した。

露光装置において、レーザとして波長(325nm)のレーザ光を出射するものを用いた。干渉光による露光量を1000mJ/cm²とした。なお、図11に示す露光装置を用いることによって、配向パターンの1周期が、中心から外方向に向かって、漸次、短くなるようにした。

20

【0199】

(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A-1を調製した。

組成物 A-1

液晶化合物 L-1	100.00 質量部
カイラル剤 C-1	0.32 質量部
重合開始剤 (BASF 製、Irgacure OXE01)	1.00 質量部
レベリング剤 T-1	0.08 質量部
メチルエチルケトン	1050.00 質量部

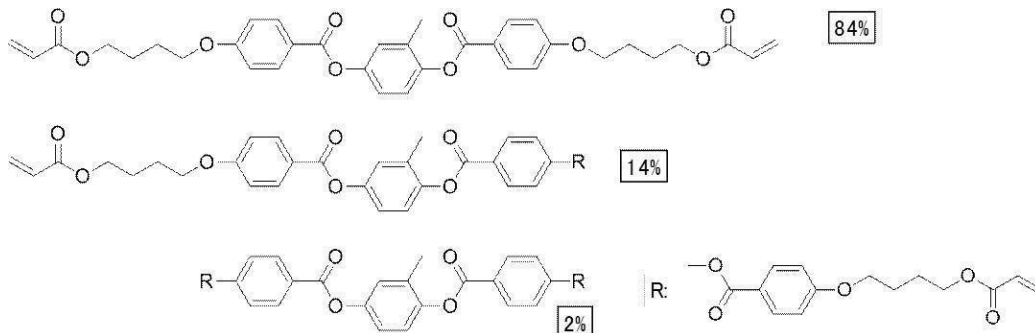
30

【0200】

液晶化合物 L-1

【0201】

【化12】



40

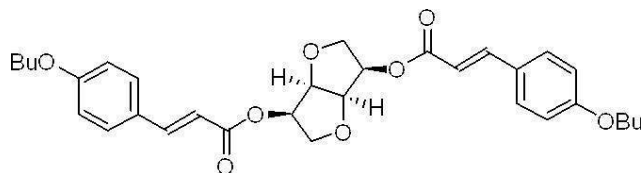
【0202】

カイラル剤 C-1

50

【0203】

【化13】

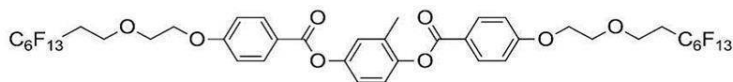


【0204】

レベリング剤 T-1

【0205】

【化14】



【0206】

光学異方性層は、組成物 A-1 を配向膜 P-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 A-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た時でも配向膜の配向方向が光学異方性層の下面から上面にわたって反映される。

【0207】

先ず 1 層目は、配向膜 P-1 上に下記の組成物 A-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 365 nm の紫外線を 300 mJ/cm² の照射量で塗膜に照射することにより、液晶化合物の配向を固定化した。

【0208】

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。

【0209】

なお、液晶組成物 A-1 の硬化層の複素屈折率 Δn は、液晶組成物 A-1 を別途に用意したリターデーション測定用の配向膜付き支持体上に塗布し、液晶化合物のダイレクタが基材に水平となるよう配向させた後に紫外線照射して固定化して得た液晶固定化層（硬化層）のリターデーション値および膜厚を測定して求めた。リターデ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。リターデーション値は Axometrics 社の Axoscanner を用いて目的の波長で測定し、膜厚は走査型電子顕微鏡（Scanning Electron Microscope、SEM）を用いて測定した。

【0210】

光学異方性層は、最終的に液晶の $\Delta n_{550} \times$ 厚さ（Re(550)）が 275 nm になり、かつ、図 2 に示すような同心円状（放射状）の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、液晶化合物の光学軸が 180° 回転する 1 周期は、中心から約 2 mm の距離での 1 周期が 10 μ m、中心から 25 mm の距離での 1 周期が 1 μ m、中心から 30 mm の距離での 1 周期が 0.6 μ m であり、外方向に向かって周期が短くなる液晶配向パターンであった。また、光学異方性層の厚さ方向のねじれ角は面内の全域で、左回りに 70°（-70°）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。

【0211】

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 A-2 を調製した。

組成物 A-2

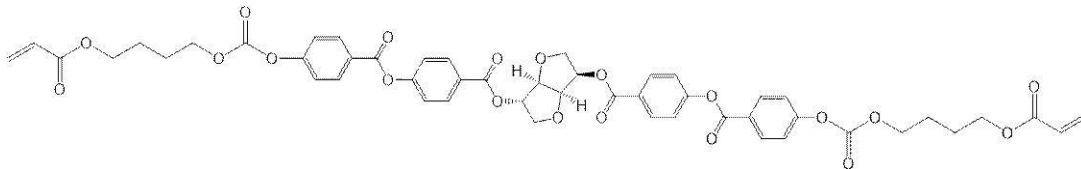
液晶化合物 L-1	100.00 質量部
カイラル剤 C-2	0.18 質量部
重合開始剤 (BASF 製、Irgacure OXE01)	1.00 質量部
レベリング剤 T-1	0.08 質量部
メチルエチルケトン	1050.00 質量部

【0212】

カイラル剤 C-2

【0213】

【化15】



【0214】

組成物 A-2 を用い、光学異方性層の膜厚を調整した以外は、第 1 の光学異方性層と同様に第 2 の光学異方性層を形成した。

【0215】

光学異方性層は、最終的に液晶の $\Delta n_{550} \times$ 厚さ (Re (550)) が 275 nm になり、かつ、図 2 に示すような同心円状 (放射状) の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は、外方向に向かって周期が短くなる液晶配向パターンであった。また、光学異方性層の厚さ方向のねじれ角は面内で、右回りに 70° であった。

【0216】

【実施例 1】

【0217】

(光学異方性層の形成)

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 B-1、B-2 および B-3 を調製した。

組成物 B-1

【0218】

液晶化合物 L-1	100.00 質量部
カイラル剤 C-3	0.23 質量部
カイラル剤 C-4	0.82 質量部
重合開始剤 (BASF 製、Irgacure OXE01)	1.00 質量部
レベリング剤 T-1	0.08 質量部
メチルエチルケトン	1050.00 質量部

【0219】

カイラル剤 C-3

【0220】

10

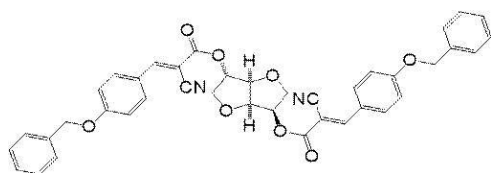
20

30

40

50

【化 1 6】

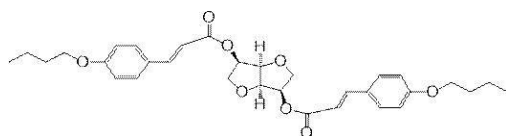


【 0 2 2 1】

カイラル剤 C - 4

【 0 2 2 2】

【化 1 7】



【 0 2 2 3】

第 2 の光学異方性層を形成する液晶組成物として、実施例 1 の組成物 B - 1 において、カイラル剤 C - 3 を 0 . 5 4 質量部、カイラル剤 C - 4 を 0 . 6 2 質量部に変更して組成物 B - 2 を調整した。

【 0 2 2 4】

第 3 の光学異方性層を形成する液晶組成物として、実施例 1 の組成物 B - 1 において、カイラル剤 C - 3 を 0 . 4 8 質量部、カイラル剤 C - 4 を未添加に変更して組成物 B - 3 を調整した。

【 0 2 2 5】

まず、組成物 B - 1 を配向膜 P - 1 上に多層塗布することにより 1 つ目の領域を形成した。多層塗布とは、先ず配向膜の上に 1 層目の組成物 B - 1 を塗布、加熱、冷却後に紫外線硬化を行って液晶固定化層を作製した後、2 層目以降はその液晶固定化層に重ね塗りして塗布を行い、同様に加熱、冷却後に紫外線硬化を行うことを繰り返すことを指す。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た時でも配向膜の配向方向が光学異方性層の下面から上面にわたって反映される。

【 0 2 2 6】

先ず 1 層目は、配向膜 P - 1 上に上記の組成物 B - 1 を塗布して、塗膜をホットプレート上で 8 0 ° C に加熱し、その後、LED - UV 露光機の波長 3 6 5 n m の紫外線を塗膜に照射した。このとき、面内で紫外線の照射量を変化させて塗膜に照射した。具体的には中心部から端部に向けて照射量が増加するように面内で照射量を変化させて塗膜への照射を行った。その後、ホットプレート上で 8 0 ° C に加熱した塗膜を、窒素雰囲気下で高圧水銀灯を用いて波長 3 6 5 n m の紫外線を 3 0 0 m J / c m 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た。

【 0 2 2 7】

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、光学異方性層の 1 つ目の領域を形成した。

1 つ目の領域は、最終的に液晶の $\Delta n_{550} \times$ 厚さ (R e (5 5 0)) が 1 6 0 n m になり、かつ、図 2 に示すような同心円状 (放射状) の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、液晶化合物の光学軸が 1 8 0 ° 回転する 1 周期は、中心から約 2 m m の距離での 1 周期が 1 0 μ m 、中心から 2 5 m m の距離での 1 周期が 1 μ m 、中心から 3 0 m m の距離での 1 周期が 0 . 6 μ m であり、外方向に向かって周期が短くなる液晶配向パターンであった。また、光学異方性層の厚さ方向のねじれ角は、中心から約 2 m m の距離でのねじれ角が左回りに 8 0 ° (- 8 0 °) 、中心から 2 5 m m の距離でのねじれ角が左回りに 1 1 5 ° (- 1 1 5 °) であり、外方向に向かってねじれ角が大きくなっていた。

以上のようにして面内でねじれ角が変化する光学異方性層を形成した。

【0228】

次に、組成物B-2を1つ目の領域上に多層塗布することにより2つ目の領域を形成した。

1つ目の領域の上に組成物B-2を塗布して、実施例1の1つ目の領域の作製において、中心部から端部に向けて塗膜へ照射する紫外線の照射量を変更（中心部から端部に向けて照射量を増加）し、総厚が所望の膜厚になるように変更した以外は同様にして、光学異方性層を形成した。

【0229】

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、光学異方性層の2つ目の領域を形成した。

この2つ目の領域は、最終的に液晶の $\Delta n_{550} \times$ 厚さ（Re（550））が335nmになり、かつ、図2に示すような同心円状（放射状）の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、液晶化合物の光学軸が180°回転する1周期は、中心から約2mmの距離での1周期が10 μ m、中心から25mmの距離での1周期が1 μ m、中心から30mmの距離での1周期が0.6 μ mであり、外方向に向かって周期が短くなる液晶配向パターンであった。また、光学異方性層の厚さ方向のねじれ角は、中心から約2mmの距離でのねじれ角が0°、中心から25mmの距離でのねじれ角が左回りに76°（-76°）であり、外方向に向

以上のようにして面内でねじれ角が変化する光学異方性層を形成した。

【0230】

次に、組成物B-3を2つ目の領域上に多層塗布することにより3つ目の領域を形成した。

2つ目の領域の上に組成物B-3を塗布して、実施例1の1つめの領域の作製において、中心部から端部に向けて塗膜へ照射する紫外線の照射量を変更（中心部から端部に向けて照射量を増加）し、総厚が所望の膜厚になるように変更した以外は同様にして、光学異方性層を形成した。

【0231】

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、光学異方性層の3つ目の領域を形成した。

この3つ目の領域は、最終的に液晶の $\Delta n_{550} \times$ 厚さ（Re（550））が160nmになり、かつ、図2に示すような同心円状（放射状）の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、液晶化合物の光学軸が180°回転する1周期は、中心から約2mmの距離での1周期が10 μ m、中心から25mmの距離での1周期が1 μ m、中心から30mmの距離での1周期が0.6 μ mであり、外方向に向かって周期が短くなる液晶配向パターンであった。また、光学異方性層の厚さ方向のねじれ角は、中心から約2mmの距離でのねじれ角が右回りに80°（ねじれ角80°）、中心から25mmの距離でのねじれ角が右回りに48°（ねじれ角48°）であり、外方向に向かってねじれ角が小さくなっていた。

以上のようにして3つの領域を有する光学異方性層を形成した。

【0232】

作製した光学異方性層の断面をSEMで観察したところ、明部および暗部が、図1に示すような形状であった。すなわち、暗部が2つの変曲点を有し、平均傾斜角が、中心では略0°で、外方向に向かって大きくなっていた。

【0233】

〔実施例2〕

【0234】

10

20

30

40

50

(光学異方性層の形成)

光学異方性層を形成する液晶組成物として、実施例1の組成物B-1において、カイラル剤C-3、および、カイラル剤C-4の添加量を適宜変更し、組成物C-1、C-2、C-3およびC-4を調製した。

【0235】

まず、組成物C-1を配向膜P-1上に多層塗布することにより1つ目の領域を形成した。

配向膜P-1上に組成物C-1を塗布して、実施例1の第1の光学異方性層作製において、中心部から端部に向けて塗膜へ照射する紫外線の照射量を変更し、総厚が所望の膜厚になるように変更した以外は同様にして、光学異方性層の1つ目の領域を形成した。

この領域は、最終的に液晶の $\Delta n_{550} \times$ 厚さ(Re(550))が190nmになり、かつ、図2に示すような同心円状(放射状)の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、液晶化合物の光学軸が180°回転する1周期は、中心から約2mmの距離での1周期が10 μ m、中心から25mmの距離での1周期が1 μ m、中心から30mmの距離での1周期が0.6 μ mであり、外方向に向かって周期が短くなる液晶配向パターンであった。また、光学異方性層の1つ目の領域の厚さ方向のねじれ角は、中心から約2mmの距離でのねじれ角が左回りに87°(-87°)、中心から25mmの距離でのねじれ角が左回りに115°(-115°)であり、外方向に向かってねじれ角が大きくなっていた。

【0236】

次に、組成物C-2を1つ目の領域上に多層塗布することにより2つ目の領域を形成した。

1つ目の領域の上に組成物C-2を塗布して、実施例1の1つ目の領域の作製において、中心部から端部に向けて塗膜へ照射する紫外線の照射量を変更し、総厚が所望の膜厚になるように変更した以外は同様にして、2つ目の領域を形成した。

この領域は、最終的に液晶の $\Delta n_{550} \times$ 厚さ(Re(550))が150nmになり、かつ、図2に示すような同心円状(放射状)の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、液晶化合物の光学軸が180°回転する1周期は、中心から約2mmの距離での1周期が10 μ m、中心から25mmの距離での1周期が1 μ m、中心から30mmの距離での1周期が0.6 μ mであり、外方向に向かって周期が短くなる液晶配向パターンであった。また、光学異方性層の2つ目の領域の厚さ方向のねじれ角は、中心から約2mmの距離でのねじれ角が右回りに14°(14°)、中心から25mmの距離でのねじれ角が左回りに18°(-18°)であり、外方向に向かってねじれ角が変化していた。

【0237】

次に、組成物C-3を2つ目の領域上に多層塗布することにより3つ目の領域を形成した。

2つ目の領域の上に組成物C-3を塗布して、実施例1の1つ目の領域の作製において、中心部から端部に向けて塗膜へ照射する紫外線の照射量を変更し、総厚が所望の膜厚になるように変更した以外は同様にして、3つ目の領域を形成した。

この領域は、最終的に液晶の $\Delta n_{550} \times$ 厚さ(Re(550))が150nmになり、かつ、図2に示すような同心円状(放射状)の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、液晶化合物の光学軸が180°回転する1周期は、中心から約2mmの距離での1周期が10 μ m、中心から25mmの距離での1周期が1 μ m、中心から30mmの距離での1周期が0.6 μ mであり、外方向に向かって周期が短くなる液晶配向パターンであった。また、光学異方性層の3つ目の領域の厚さ方向のねじれ角は、中心から約2mmの距離でのねじれ角が左回りに14°(-14°)、中心から25mmの距離でのねじれ角が左回りに8°(-8°)であり、外方向に向かってねじれ角が小さくなっていた。

【0238】

次に、組成物 C-4 を 3 つ目の領域上に多層塗布することにより 4 つ目の領域を形成した。

3 つ目の領域の上に組成物 C-4 を塗布して、実施例 1 の 1 つ目の領域の作製において、中心部から端部に向けて塗膜へ照射する紫外線の照射量を変更し、総厚が所望の膜厚になるように変更した以外は同様にして、4 つ目の領域を形成した。

この領域は、最終的に液晶の $\Delta n_{550} \times$ 厚さ (Re (550)) が 190 nm になり、かつ、図 2 に示すような同心円状 (放射状) の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、液晶化合物の光学軸が 180° 回転する 1 周期は、中心から約 2 mm の距離での 1 周期が 10 μ m、中心から 25 mm の距離での 1 周期が 1 μ m、中心から 30 mm の距離での 1 周期が 0.6 μ m であり、外方向に向かって周期が短くなる液晶配向パターンであった。また、光学異方性層の 4 つ目の領域の厚さ方向のねじれ角は、中心から約 2 mm の距離でのねじれ角が右回りに 87°、中心から 25 mm の距離でのねじれ角が右回りに 237° であり、外方向に向かってねじれ角が大きくなっていた。

以上のようにして 4 つの領域を有する光学異方性層を形成した。

【0239】

作製した光学異方性層の断面を SEM で観察したところ、明部および暗部が、図 5 に示すような形状であった。すなわち、暗部は 3 つの変曲点を有し、平均傾斜角が、中心では略 0° で、外方向に向かって大きくなっていた。

【0240】

〔実施例 3〕

【0241】

(光学異方性層の形成)

光学異方性層を形成する液晶組成物として、実施例 1 の組成物 B-1 において、カイラル剤 C-3、および、カイラル剤 C-4 の添加量を適宜変更し、組成物 D-1、D-2、D-3 を調製した。

【0242】

まず、組成物 D-1 を配向膜 P-1 上に多層塗布することにより 1 つ目の領域を形成した。次に、組成物 D-2 を 1 つ目の領域上に多層塗布することにより 2 つ目の領域を形成した。次に、組成物 D-3 を 2 つ目の領域上に多層塗布することにより 3 つ目の領域を形成した。

【0243】

各領域の形成では、実施例 1 の 1 つ目の領域の作製において、中心部から端部に向けて塗膜へ照射する紫外線の照射量を変更し、総厚が所望の膜厚になるように変更した以外は同様にして、光学異方性層を形成した。

【0244】

作製した光学異方性層は、図 2 に示すような同心円状 (放射状) の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、液晶化合物の光学軸が 180° 回転する 1 周期は、中心から約 2 mm の距離での 1 周期が 10 μ m、中心から 25 mm の距離での 1 周期が 1 μ m、中心から 30 mm の距離での 1 周期が 0.6 μ m であり、外方向に向かって周期が短くなる液晶配向パターンであった。

【0245】

光学異方性層の 1 つ目の領域は、最終的に液晶の $\Delta n_{550} \times$ 厚さ (Re (550)) が 150 nm になり、厚さ方向のねじれ角は、中心から約 2 mm の距離でのねじれ角が左回りに 83° (-83°)、中心から 25 mm の距離でのねじれ角が左回りに 114° (-114°)、中心から 30 mm の距離でのねじれ角が左回りに 161° (-161°) であり、外方向に向かってねじれ角が大きくなっていた。

光学異方性層の 2 つ目の領域は、最終的に液晶の $\Delta n_{550} \times$ 厚さ (Re (550)) が 335 nm になり、厚さ方向のねじれ角は、中心から約 2 mm の距離でのねじれ角が左回

10

20

30

40

50

りに 8° (-8°)、中心から25mmの距離でのねじれ角が左回りに 85° (-85°)、中心から30mmの距離でのねじれ角が左回りに 137° (-137°)であり、外方向に向かってねじれ角が大きくなっていた。

光学異方性層の3つ目の領域は、最終的に液晶の $\Delta n_{550} \times$ 厚さ (Re (550)) が170nmになり、厚さ方向のねじれ角は、中心から約2mmの距離でのねじれ角が右回りに 78° 、中心から25mmの距離でのねじれ角が右回りに 41° 、中心から30mmの距離でのねじれ角が右回りに 19° であり、外方向に向かってねじれ角が小さくなっていた。

以上のようにして3つの領域を有する光学異方性層を形成した。

【0246】

作製した光学異方性層の断面をSEMで観察したところ、明部および暗部が、図1に示すような形状であった。すなわち、暗部が2つの変曲点を有し、平均傾斜角が、中心から外方向に向かって大きくなっていた。

【0247】

〔実施例4〕

(光学異方性層の形成)

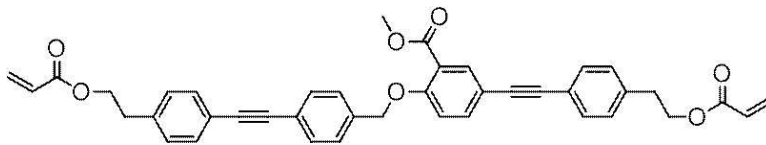
光学異方性層を形成する液晶組成物として、実施例1の組成物B-1において、液晶化合物L-1を10質量部、液晶化合物L-2を90質量部に変更し、カイラル剤C-3、および、カイラル剤C-4、レベリング剤T-1の添加量を適宜変更し、組成物E-1、E-2、E-3を調製した。

【0248】

液晶化合物L-2

【0249】

【化18】



【0250】

まず、組成物E-1を配向膜P-1上に多層塗布することにより1つ目の領域を形成した。次に、組成物E-2を1つ目の領域上に多層塗布することにより2つ目の領域を形成した。次に、組成物E-3を2つ目の領域上に多層塗布することにより3つ目の領域を形成した。

【0251】

各領域の形成では、実施例1の1つ目の領域の作製において、中心部から端部に向けて塗膜へ照射する紫外線の照射量を変更し、総厚が所望の膜厚になるように変更した以外は同様にして、光学異方性層を形成した。

【0252】

作製した光学異方性層は、図2に示すような同心円状(放射状)の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、液晶化合物の光学軸が 180° 回転する1周期は、中心から約2mmの距離での1周期が $10\mu\text{m}$ 、中心から25mmの距離での1周期が $1\mu\text{m}$ 、中心から30mmの距離での1周期が $0.6\mu\text{m}$ であり、外方向に向かって周期が短くなる液晶配向パターンであった。

【0253】

光学異方性層の1つ目の領域は、最終的に液晶の $\Delta n_{550} \times$ 厚さ (Re (550)) が150nmになり、厚さ方向のねじれ角は、中心から約2mmの距離でのねじれ角が左回りに 83° (-83°)、中心から25mmの距離でのねじれ角が左回りに 114° (-114°)、中心から30mmの距離でのねじれ角が左回りに 161° (-161°)で

10

20

30

40

50

あり、外方向に向かってねじれ角が大きくなっていた。

光学異方性層の２つ目の領域は、最終的に液晶の $\Delta n_{550} \times$ 厚さ（Re（550））が335 nmになり、厚さ方向のねじれ角は、中心から約2 mmの距離でのねじれ角が左回りに 8° （ -8° ）、中心から25 mmの距離でのねじれ角が左回りに 85° （ -85° ）、中心から30 mmの距離でのねじれ角が左回りに 137° （ -137° ）であり、外方向に向かってねじれ角が大きくなっていた。

光学異方性層の３つ目の領域は、最終的に液晶の $\Delta n_{550} \times$ 厚さ（Re（550））が170 nmになり、厚さ方向のねじれ角は、中心から約2 mmの距離でのねじれ角が右回りに 78° 、中心から25 mmの距離でのねじれ角が右回りに 41° 、中心から30 mmの距離でのねじれ角が右回りに 19° であり、外方向に向かってねじれ角が小さくなっていた。

10

以上のようにして３つの領域を有する光学異方性層を形成した。

【0254】

作製した光学異方性層の断面をSEMで観察したところ、明部および暗部が、図1に示すような形状であった。すなわち、暗部が２つの変曲点を有し、平均傾斜角が、中心から外方向に向かって大きくなっていた。

【0255】

〔実施例５〕

（光学異方性層の形成）

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F-1、F-2およびF-3を調製した。

20

組成物F-1

【0256】

液晶化合物L-1	10.00質量部
液晶化合物L-2	90.00質量部
カイラル剤C-1	0.78質量部
重合開始剤（BASF製、Irgacure OXE01）	1.00質量部
レベリング剤T-1	0.22質量部
メチルエチルケトン	1050.00質量部

30

【0257】

第２の光学異方性層を形成する液晶組成物として、実施例５の組成物F-1において、カイラル剤C-1を0.01質量部に変更して組成物F-2を調整した。

【0258】

第３の光学異方性層を形成する液晶組成物として、実施例５の組成物F-1において、カイラル剤を下記カイラル剤C-5に変更し、添加量を0.55質量部にして組成物F-3を調整した。

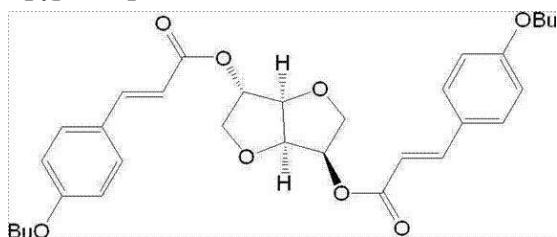
【0259】

カイラル剤C-5

40

【0260】

【化19】



50

【0261】

まず、組成物F-1を配向膜P-1上に多層塗布することにより1つ目の領域を形成した。次に、組成物F-2を1つ目の領域上に多層塗布することにより2つ目の領域を形成した。次に、組成物F-3を2つ目の領域上に多層塗布することにより3つ目の領域を形成した。

【0262】

各領域の形成では、実施例1の1つ目の領域の作製において、中心部から端部に向けて塗膜へ照射する紫外線の照射量を変更し、総厚が所望の膜厚になるように変更した以外は同様にして、光学異方性層を形成した。

【0263】

作製した光学異方性層は、図2に示すような同心円状（放射状）の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、液晶化合物の光学軸が 180° 回転する1周期は、中心から約2mmの距離での1周期が $10\mu\text{m}$ 、中心から25mmの距離での1周期が $1\mu\text{m}$ 、中心から30mmの距離での1周期が $0.6\mu\text{m}$ であり、外方向に向かって周期が短くなる液晶配向パターンであった。

【0264】

光学異方性層の1つ目の領域は、最終的に液晶の $\Delta n_{550} \times$ 厚さ（Re（550））が 197nm になり、厚さ方向のねじれ角は、中心から約2mmの距離でのねじれ角が左回りに 91° （ -91° ）、中心から25mmの距離でのねじれ角が左回りに 82° （ -82° ）であり、外方向に向かってねじれ角が変化していた。

光学異方性層の2つ目の領域は、最終的に液晶の $\Delta n_{550} \times$ 厚さ（Re（550））が 347nm になり、厚さ方向のねじれ角は、中心から約2mmの距離でのねじれ角が左回りに 19° （ -19° ）、中心から25mmの距離でのねじれ角が左回りに 13° （ -13° ）であり、外方向に向かってねじれ角が変化していた。

光学異方性層の3つ目の領域は、最終的に液晶の $\Delta n_{550} \times$ 厚さ（Re（550））が 195nm になり、厚さ方向のねじれ角は、中心から約2mmの距離でのねじれ角が右回りに 69° 、中心から25mmの距離でのねじれ角が右回りに 77° であり、外方向に向かってねじれ角が変化していた。

以上のようにして3つの領域を有する光学異方性層を形成した。

【0265】

作製した光学異方性層の断面をSEMで観察したところ、暗部が2つの変曲点を有し、平均傾斜角が、中心から外方向に向かって変化していた。

【0266】

〔実施例6〕

（光学異方性層の形成）

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G-1、G-2およびG-3を調製した。

【0267】

第1の光学異方性層を形成する液晶組成物として、実施例5の組成物F-3において、カイラル剤C-5の添加量を適宜変更して組成物G-1を調整した。

【0268】

第2の光学異方性層を形成する液晶組成物として、実施例5の組成物F-3において、カイラル剤C-5の添加量を適宜変更して組成物G-2を調整した。

【0269】

第3の光学異方性層を形成する液晶組成物として、実施例5の組成物F-1において、カイラル剤C-1の添加量を適宜変更して組成物G-3を調整した。

【0270】

まず、組成物G-1を配向膜P-1上に多層塗布することにより1つ目の領域を形成した。次に、組成物G-2を1つ目の領域上に多層塗布することにより2つ目の領域を形成

10

20

30

40

50

した。次に、組成物 G-3 を 2 つ目の領域上に多層塗布することにより 3 つ目の領域を形成した。

【0271】

各領域の形成では、実施例 1 の 1 つ目の領域の作製において、中心部から端部に向けて塗膜へ照射する紫外線の照射量を変更し、総厚が所望の膜厚になるように変更した以外は同様にして、光学異方性層を形成した。

【0272】

作製した光学異方性層は、図 2 に示すような同心円状（放射状）の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、液晶化合物の光学軸が 180° 回転する 1 周期は、中心から約 2 mm の距離での 1 周期が $10\ \mu\text{m}$ 、中心から 2.5 mm の距離での 1 周期が $1\ \mu\text{m}$ 、中心から 3.0 mm の距離での 1 周期が $0.6\ \mu\text{m}$ であり、外方向に向かって周期が短くなる液晶配向パターンであった。

【0273】

光学異方性層の 1 つ目の領域は、最終的に液晶の $\Delta n_{550} \times$ 厚さ (Re (550)) が $157\ \text{nm}$ になり、厚さ方向のねじれ角は、中心から約 2 mm の距離でのねじれ角が右回りに 88° 、中心から 2.5 mm の距離でのねじれ角が右回りに 96° であり、外方向に向かってねじれ角が変化していた。

光学異方性層の 2 つ目の領域は、最終的に液晶の $\Delta n_{550} \times$ 厚さ (Re (550)) が $355\ \text{nm}$ になり、厚さ方向のねじれ角は、中心から約 2 mm の距離でのねじれ角が右回りに 16° 、中心から 2.5 mm の距離でのねじれ角が右回りに 40° であり、外方向に向かってねじれ角が変化していた。

光学異方性層の 3 つ目の領域は、最終的に液晶の $\Delta n_{550} \times$ 厚さ (Re (550)) が $187\ \text{nm}$ になり、厚さ方向のねじれ角は、中心から約 2 mm の距離でのねじれ角が左回りに 76° (-76°)、中心から 2.5 mm の距離でのねじれ角が左回りに 62° (-62°) であり、外方向に向かってねじれ角が変化していた。

以上のようにして 3 つの領域を有する光学異方性層を形成した。

【0274】

作製した光学異方性層の断面を SEM で観察したところ、暗部が 2 つの変曲点を有し、平均傾斜角が、中心から外方向に向かって変化していた。

【0275】

[実施例 7]

(光学異方性層の形成)

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 H-1、H-2 および H-3 を調製した。

【0276】

第 1 の光学異方性層を形成する液晶組成物として、実施例 5 の組成物 F-1 において、カイラル剤をカイラル剤 C-1 とカイラル剤 C-2 に変更し、カイラル剤 C-1 およびカイラル剤 C-2 の添加量を適宜変更して組成物 H-1 を調整した。

【0277】

第 2 の光学異方性層を形成する液晶組成物として、実施例 5 の組成物 F-2 において、カイラル剤をカイラル剤 C-1 とカイラル剤 C-2 に変更し、カイラル剤 C-1 および C-2 の添加量を適宜変更して組成物 H-2 を調整した。

【0278】

第 3 の光学異方性層を形成する液晶組成物として、実施例 5 の組成物 F-3 において、カイラル剤 C-5 の添加量を適宜変更して組成物 H-3 を調整した。

【0279】

まず、組成物 H-1 を配向膜 P-1 上に多層塗布することにより 1 つ目の領域を形成した。次に、組成物 H-2 を 1 つ目の領域上に多層塗布することにより 2 つ目の領域を形成した。次に、組成物 H-3 を 2 つ目の領域上に多層塗布することにより 3 つ目の領域を形

10

20

30

40

50

成した。

【0280】

各領域の形成では、実施例1の1つ目の領域の作製において、中心部から端部に向けて塗膜へ照射する紫外線の照射量を変更し、総厚が所望の膜厚になるように変更した以外は同様にして、光学異方性層を形成した。

【0281】

作製した光学異方性層は、図2に示すような同心円状（放射状）の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、液晶化合物の光学軸が 180° 回転する1周期は、中心から約2mmの距離での1周期が $10\mu\text{m}$ 、中心から25mmの距離での1周期が $1\mu\text{m}$ 、中心から30mmの距離での1周期が $0.6\mu\text{m}$ であり、外方向に向かって周期が短くなる液晶配向パターンであった。

【0282】

光学異方性層の1つ目の領域は、最終的に液晶の $\Delta n_{550} \times$ 厚さ（Re（550））が 176nm になり、厚さ方向のねじれ角は、中心から約2mmの距離でのねじれ角が左回りに 76° （ -76° ）、中心から25mmの距離でのねじれ角が左回りに 14° （ -14° ）であり、外方向に向かってねじれ角が変化していた。

光学異方性層の2つ目の領域は、最終的に液晶の $\Delta n_{550} \times$ 厚さ（Re（550））が 344nm になり、厚さ方向のねじれ角は、中心から約2mmの距離でのねじれ角が右回りに 10° 、中心から25mmの距離でのねじれ角が右回りに 126° であり、外方向に向かってねじれ角が変化していた。

光学異方性層の3つ目の領域は、最終的に液晶の $\Delta n_{550} \times$ 厚さ（Re（550））が 154nm になり、厚さ方向のねじれ角は、中心から約2mmの距離でのねじれ角が右回りに 84° 、中心から25mmの距離でのねじれ角が右回りに 133° であり、外方向に向かってねじれ角が変化していた。

以上のようにして3つの領域を有する光学異方性層を形成した。

【0283】

作製した光学異方性層の断面をSEMで観察したところ、暗部が2つの変曲点を有し、平均傾斜角が、中心から外方向に向かって変化していた。

【0284】

【実施例8】

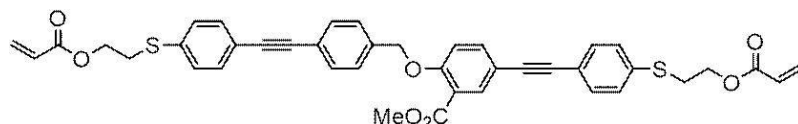
光学異方性層を形成する液晶組成物として、実施例1の組成物B-1において、液晶化合物L-3を100質量部に変更し、カイラル剤C-3、および、カイラル剤C-4、レベリング剤T-1の添加量を適宜変更し、組成物I-1、I-2、I-3を調製した。

【0285】

液晶化合物L-3

【0286】

【化20】



【0287】

まず、組成物I-1を配向膜P-1上に多層塗布することにより1つ目の領域を形成した。次に、組成物I-2を1つ目の領域上に多層塗布することにより2つ目の領域を形成した。次に、組成物I-3を2つ目の領域上に多層塗布することにより3つ目の領域を形成した。

【0288】

各領域の形成では、実施例1の1つ目の領域の作製において、中心部から端部に向けて塗膜へ照射する紫外線の照射量を変更し、光学異方性層を形成するときの塗膜の加熱温度

を55℃に変更し、総厚が所望の膜厚になるように変更した以外は同様にして、光学異方性層を形成した。

【0289】

作製した光学異方性層は、図2に示すような同心円状（放射状）の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、液晶化合物の光学軸が180°回転する1周期は、中心から約2mmの距離での1周期が10μm、中心から25mmの距離での1周期が1μm、中心から30mmの距離での1周期が0.6μmであり、外方向に向かって周期が短くなる液晶配向パターンであった。

【0290】

光学異方性層の1つ目の領域は、最終的に液晶の $\Delta n_{550} \times$ 厚さ（Re（550））が150nmになり、厚さ方向のねじれ角は、中心から約2mmの距離でのねじれ角が左回りに83°（-83°）、中心から25mmの距離でのねじれ角が左回りに114°（-114°）、中心から30mmの距離でのねじれ角が左回りに161°（-161°）であり、外方向に向かってねじれ角が大きくなっていた。

光学異方性層の2つ目の領域は、最終的に液晶の $\Delta n_{550} \times$ 厚さ（Re（550））が335nmになり、厚さ方向のねじれ角は、中心から約2mmの距離でのねじれ角が左回りに8°（-8°）、中心から25mmの距離でのねじれ角が左回りに85°（-85°）、中心から30mmの距離でのねじれ角が左回りに137°（-137°）であり、外方向に向かってねじれ角が大きくなっていた。

光学異方性層の3つ目の領域は、最終的に液晶の $\Delta n_{550} \times$ 厚さ（Re（550））が170nmになり、厚さ方向のねじれ角は、中心から約2mmの距離でのねじれ角が右回りに78°、中心から25mmの距離でのねじれ角が右回りに41°、中心から30mmの距離でのねじれ角が右回りに19°であり、外方向に向かってねじれ角が小さくなっていた。

以上のようにして3つの領域を有する光学異方性層を形成した。

【0291】

作製した光学異方性層の断面をSEMで観察したところ、明部および暗部が、図1に示すような形状であった。すなわち、暗部が2つの変曲点を有し、平均傾斜角が、中心から外方向に向かって大きくなっていた。

【0292】

なお、実施例3の液晶層（液晶化合物）の Δn_{550} は0.15、実施例4の液晶層の Δn_{550} は0.25、実施例8の液晶層の Δn_{550} は0.32であった。

【0293】

〔評価〕

<回折効率の評価>

作製した液晶回折素子に正面（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、出射光の、回折効率を評価した。

具体的には、光源から405nm、450nm、532nm、650nmのそれぞれに出力中心波長を持つレーザー光を照射し、作製した液晶回折素子に垂直入射させた。出射光のうち、液晶回折素子からの所望の方向に回折した回折光（1次光）とその他方向へ出射した0次光（入射光と同一方向へ出射）、-1次光（0次光に対する1次光の回折角度を θ としたときに、 $-\theta$ 方向へ回折する光）の光強度を光検出器で測定し、各波長における回折効率を下記式で算出した。

$$\text{回折効率} = \text{1次光} / (\text{1次光} + \text{0次光} + (-\text{1次光}))$$

【0294】

波長405nm、450nm、532nm、650nmそれぞれの測定値から回折効率の平均値を求め、回折効率の波長依存性を以下の基準で評価した。

なお、レーザー光の波長に対応する円偏光板に垂直入射させて、円偏光にした後、作製した液晶回折素子に光を入射し、評価を行った。

また、作製した液晶回折素子における液晶配向パターンの同心円の中心部および同心円の中心付近（１周期が１０μm）、および、端部付近（１周期が１μm）の２か所において評価を行った。

A：回折効率の平均値が９５％以上

B：回折効率の平均値が９０％以上、９５％未満

C：回折効率の平均値が９０％未満

結果を表１および表２に示す。なお、表１および表２において、５３２nmの光に対する回折角度を回折角度（５３２）としている。

【０２９５】

【表１】

表１

			比較例１	実施例１	実施例２	実施例３
中心 付近	液晶配向パターン	１周期 [μm]	10	10	10	10
	１つ目の領域	Re(550) [nm]	275	160	190	150
		ねじれ角 [°]	-70	-80	-87	-83
	２つ目の領域	Re(550) [nm]	275	335	150	335
		ねじれ角 [°]	70	0	14	-8
	３つ目の領域	Re(550) [nm]	-	160	150	170
		ねじれ角 [°]	-	80	-14	78
	４つ目の領域	Re(550) [nm]	-	-	190	-
		ねじれ角 [°]	-	-	87	-
	評価	角度の変曲点数	1	2	3	2
		傾斜方向が折り返される変曲点数	1	1	3	1
		回折角度(532) [°]	3	3	3	3
		回折効率の波長依存性	C	A	A	A
端部 付近	液晶配向パターン	１周期 [μm]	1	1	1	1
	１つ目の領域	Re(550) [nm]	275	160	190	150
		ねじれ角 [°]	-70	-115	-115	-114
	２つ目の領域	Re(550) [nm]	275	335	150	335
		ねじれ角 [°]	70	-76	-18	-85
	３つ目の領域	Re(550) [nm]	-	160	150	170
		ねじれ角 [°]	-	48	-8	41
	４つ目の領域	Re(550) [nm]	-	-	190	-
		ねじれ角 [°]	-	-	237	-
	評価	角度の変曲点数	1	2	3	2
		傾斜方向が折り返される変曲点数	1	1	1	1
		回折角度(532) [°]	32	32	32	32
		回折効率の波長依存性	C	A	A	A

【０２９６】

なお、実施例５～７では、実施例１～４に対し、入射する偏光が逆の円偏光になるようにして、評価を行った。このとき、実施例５～７は実施例１～４に対し、１次光および１次光の回折方向は逆（θ方向へ回折する光の符号が逆となる方向へ回折）となった。また、実施例７では、端部付近（１周期が１μm）において、液晶回折素子への光の入射角度を２５°にして評価を行った。実施例５～７の比較例は、比較例１で作製した液晶回折素子を用いて同様の評価を行った。結果は表１に記載の比較例１と同様の結果が得られた。

【０２９７】

10

20

30

40

50

【表 2】

			実施例4	実施例5	実施例6	実施例7
中心 付近	液晶配向パターン	1周期 [μm]	10	10	10	10
	1つ目の領域	Re(550) [nm]	150	197	157	176
		ねじれ角 [°]	-83	-91	88	-76
	2つ目の領域	Re(550) [nm]	335	347	355	344
		ねじれ角 [°]	-8	-19	16	10
	3つ目の領域	Re(550) [nm]	170	195	187	154
		ねじれ角 [°]	78	69	-76	84
	4つ目の領域	Re(550) [nm]	-	-	-	-
		ねじれ角 [°]	-	-	-	-
	評価	角度の変曲点数	2	2	2	2
		傾斜方向が折り返される変曲点数	1	1	1	1
		回折角度(532) [°]	3	3	3	3
		回折効率の波長依存性	A	A	A	A
端部 付近	液晶配向パターン	1周期 [μm]	1	1	1	1
	1つ目の領域	Re(550) [nm]	150	197	157	176
		ねじれ角 [°]	-114	-82	96	-14
	2つ目の領域	Re(550) [nm]	335	347	355	344
		ねじれ角 [°]	-85	-13	40	126
	3つ目の領域	Re(550) [nm]	170	195	187	154
		ねじれ角 [°]	41	77	-62	133
	4つ目の領域	Re(550) [nm]	-	-	-	-
		ねじれ角 [°]	-	-	-	-
	評価	角度の変曲点数	2	2	2	2
		傾斜方向が折り返される変曲点数	1	1	1	1
		回折角度(532) [°]	32	32	32	32
		回折効率の波長依存性	A	A	A	A

【0298】

【評価】

<回折効率の評価>

比較例1、実施例3、実施例4、実施例8で作製した液晶回折素子に、正面（法線に対する角度0°の方向）から±40°（10°刻み）で入射角度を変えて光を入射した際における、出射光の、回折効率を評価した。

具体的には、光源から405nm、450nm、532nm、650nmのそれぞれに出力中心波長を持つレーザー光を照射し、作製した液晶回折素子に入射させた。出射光のうち、液晶回折素子からの所望の方向に回折した回折光（1次光）とその他方向へ出射した0次光（入射光と同一方向へ出射）、-1次光（0次光に対する1次光の回折角度をθとしたときに、-θ方向へ回折する光）の光強度を光検出器で測定し、各波長における回折効率を下記式で算出した。

$$\text{回折効率} = 1\text{次光} / (1\text{次光} + 0\text{次光} + (-1\text{次光}))$$

【0299】

異なる入射角度で測定した、波長405nm、450nm、532nm、650nmそれぞれの測定値から回折効率の平均値を求め、回折効率の波長依存性を評価した。

なお、レーザー光の波長に対応する円偏光板に垂直入射させて、円偏光にした後、作製した液晶回折素子に光を入射し、評価を行った。

また、作製した液晶回折素子における液晶配向パターンの同心円の中心部および同心円の中心付近（1周期が10μm）、端部付近（1周期が1μm）、および端部（0.6μm）の3か所において評価を行った。

【0300】

評価の結果、比較例1に対し、実施例3、実施例4、および実施例8の液晶回折素子は、いずれも高い回折効率（平均値）が得られた。

【0301】

また、評価の結果、実施例 3 に対し、実施例 4 の回折効率の平均値は向上しており、実施例 8 の回折効率の平均値はさらに向上していた。

【0302】

以上から、液晶回折素子の液晶層の屈折率差 Δn_{550} が高い方が、異なる入射角に対する光の利用効率が向上することがわかる。

【0303】

<円偏光板の作製>

(位相差板の作製)

特開 2019-215416 号公報の段落 0102 から段落 0126 に記載のポジティブ A プレートと同様の方法で、セルロースアシレートフィルム、配向膜および光学異方性層 C を有するフィルムを得た。

光学異方性層 C はポジティブ A プレート (位相差板) であり、 $R_e(550)$ が 138 nm となるように、ポジティブ A プレートの厚さを制御している。

【0304】

直線偏光板に粘着剤を介して上記作製した位相差板を貼合し、円偏光板を作製した。なお、位相差板の遅相軸と直線偏光板の吸収軸の相対角度が 45° になるように配置した。

【0305】

<光学素子の作製>

実施例 1 ~ 実施例 8 で作製した液晶回折素子に、上記作製した円偏光板を貼合し光学素子を作製した。なお、液晶回折素子、位相差板、直線偏光板の順になるように配置して、光学素子を形成した。

【0306】

[評価]

作製した光学素子に正面 (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、出射光の光強度を評価した。

具体的には、光源から 405 nm 、 450 nm 、 532 nm 、 650 nm のそれぞれに出力中心波長を持つレーザー光を照射し、作製した光学素子に垂直入射させた。出射光のうち、液晶回折素子からの所望の方向に回折した回折光 (1 次光) と他方向へ出射した 0 次光 (入射光と同一方向へ出射) の光強度を光検出器で測定した。なお、レーザー光の波長に対応する円偏光板に垂直入射させて、円偏光にした後、作製した光学素子の液晶回折素子側から光を入射し、評価を行った。

【0307】

実施例 1 ~ 実施例 7 で作製した液晶回折素子に円偏光板を貼合した光学素子では、円偏光板の貼合前に対して、いずれの波長においても 0 次光の光強度を大幅に低減することができ、コントラスト比 (1 次光 / 0 次光の光強度比) が向上することを確認した。なお、実施例 5 ~ 7 では、入射する円偏光および、円偏光板の位相差板と直線偏光板の配置を適宜変更して評価を行った。また、実施例 7 では、端部付近 (1 周期が $1\text{ }\mu\text{m}$) において、液晶回折素子への光の入射角度を 25° にして評価を行った。

【0308】

[評価]

<入射角度依存性の評価>

比較例 1、実施例 3、実施例 4 および実施例 8 で作製した液晶回折素子を用いた光学素子に、正面 (法線に対する角度 0° の方向) から $\pm 40^\circ$ (10° 刻み) で入射角度を変えて光を入射した際における、出射光の、光強度を評価した。

具体的には、光源から 405 nm 、 450 nm 、 532 nm および 650 nm のそれぞれに出力中心波長を持つレーザー光を照射し、作製した液晶回折素子に入射させた。出射光のうち、液晶回折素子からの所望の方向に回折した回折光 (1 次光) と他方向へ出射した 0 次光 (入射光と同一方向へ出射) の光強度を光検出器で測定した。

【0309】

異なる入射角度で測定した、波長 405 nm 、 450 nm 、 532 nm および 650 nm

10

20

30

40

50

mそれぞれの測定値から光強度の入射角に対する平均値を求めた。

また、作製した液晶回折素子における液晶配向パターンの同心円の中心部および同心円の中心付近（1周期が10 μm）、端部付近（1周期が1 μm）、および端部（1周期が0.6 μm）の3か所において評価を行った。

なお、レーザー光の波長に対応する円偏光板に垂直入射させて、円偏光にした後、作製した光学素子の液晶回折素子側から光を入射し、評価を行った。

【0310】

実施例3～実施例4、および、実施例8で作製した液晶回折素子に円偏光板を貼合した光学素子では、円偏光板の貼合前に対して、いずれの波長においても0次光の光強度を大幅に低減することができ、コントラスト比（1次光／0次光の光強度比）が向上することを確認した。また、比較例1で作製した液晶回折素子を用いた光学素子に対し、実施例3、実施例4、および実施例8で作製した液晶回折素子を用いた光学素子は、いずれも高いコントラスト比が得られた。

【0311】

また、評価の結果、実施例3で作製した液晶回折素子を用いた光学素子に対し、実施例4で作製した液晶回折素子を用いた光学素子のコントラスト比の入射角に対する平均値は向上しており、実施例8で作製した液晶回折素子を用いた光学素子のコントラスト比の入射角に対する平均値はさらに向上していた。

【0312】

以上から、液晶回折素子に円偏光板を貼合した光学素子においても、液晶層の屈折率差 Δn_{550} が高い方が、異なる入射角に対するコントラスト比が向上することがわかる。

【0313】

<円偏光板の作製>

前述の円偏光板作製において、直線偏光板（ポリビニルアルコール層型）を、後述の様にして作製した吸収型偏光板に変更した以外は同様にして、円偏光板を作製した。

【0314】

<光学素子の作製>

実施例1～実施例8で作製した液晶回折素子に、下記で作製した吸収型偏光板を用いて作製した円偏光板を貼合し光学素子を作製した。なお、液晶回折素子、位相差板、直線偏光板の順になるように配置して、光学素子を形成した。

【0315】

[吸収型偏光子の作製]

<透明支持体1の作製>

後述する配向層形成用塗布液PA1を、ワイヤーバーで連続的にセルロースアシレートフィルム（厚み40 μmのTAC基材；TG40 富士フィルム社）上に塗布した。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、塗膜に対して偏光紫外線照射（10 mJ / cm²、超高圧水銀ランプ使用）することで、光配向層PA1を形成し、光配向層付きTACフィルムを得た。

膜厚は0.3 μmであった。

【0316】

（配向層形成用塗布液PA1）

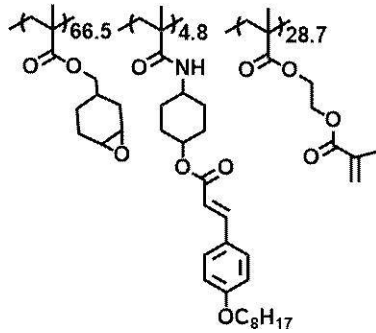
下記記重合体PA-1	100.00質量部
下記酸発生剤PAG-1	5.00質量部
下記酸発生剤CPI-110TF	0.005質量部
キシレン	1220.00質量部
メチルイソブチルケトン	122.00質量部

【0317】

重合体 P A - 1

【 0 3 1 8 】

【 化 2 1 】



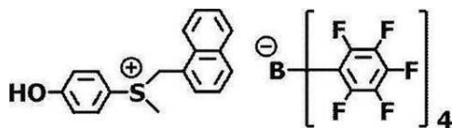
10

【 0 3 1 9 】

酸発生剤 P A G - 1

【 0 3 2 0 】

【 化 2 2 】



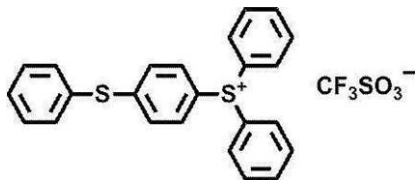
20

【 0 3 2 1 】

酸発生剤 C P I - 1 1 0 T F

【 0 3 2 2 】

【 化 2 3 】



30

【 0 3 2 3 】

< 光吸収異方性層 P 1 の形成 >

得られた配向層 P A 1 上に、下記の光吸収異方性層形成用組成物 P 1 をワイヤーバーで連続的に塗布し、塗布層 P 1 を形成した。

次いで、塗布層 P 1 を 1 4 0 ° C で 3 0 秒間加熱し、塗布層 P 1 を室温 (2 3 ° C) になるまで冷却した。

次いで、9 0 ° C で 6 0 秒間加熱し、再び室温になるまで冷却した。

その後、LED 灯 (中心波長 3 6 5 n m) を用いて照度 2 0 0 m W / c m 2 の照射条件で 2 秒間照射することにより、配向層 P A 1 上に光吸収異方性層 P 1 を作製した。

膜厚は 1 . 6 μ m であった。

これを積層体 1 B とした。

【 0 3 2 4 】

光吸収異方性層形成用組成物 P 1 の組成

・ 下記二色性物質 D - 1	0 . 2 5 質量部
・ 下記二色性物質 D - 2	0 . 3 6 質量部
・ 下記二色性物質 D - 3	0 . 5 9 質量部
・ 下記高分子液晶性化合物 P - 1	2 . 2 1 質量部

50

・下記低分子液晶性化合物 M-1	1.36 質量部
・重合開始剤	
IRGACURE OXE-02 (BASF 社製)	0.200 質量部
・下記界面活性剤 F-1	0.026 質量部
・シクロペンタノン	46.00 質量部
・テトラヒドロフラン	46.00 質量部
・ベンジルアルコール	3.00 質量部

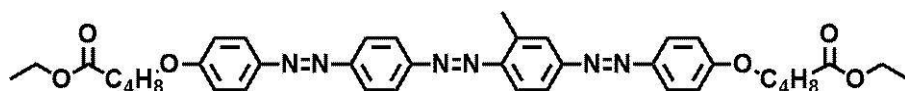
【0325】

D-1

10

【0326】

【化24】

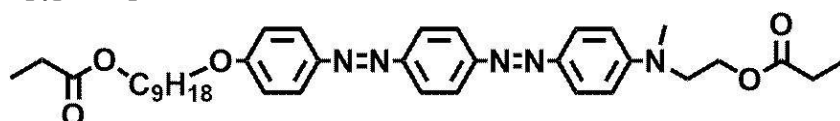


【0327】

D-2

【0328】

【化25】



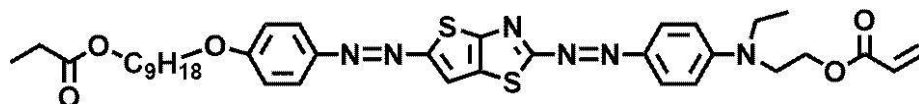
20

【0329】

D-3

【0330】

【化26】



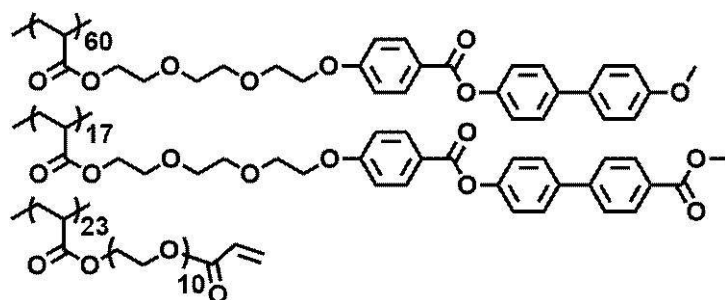
30

【0331】

高分子液晶性化合物 P-1

【0332】

【化27】



40

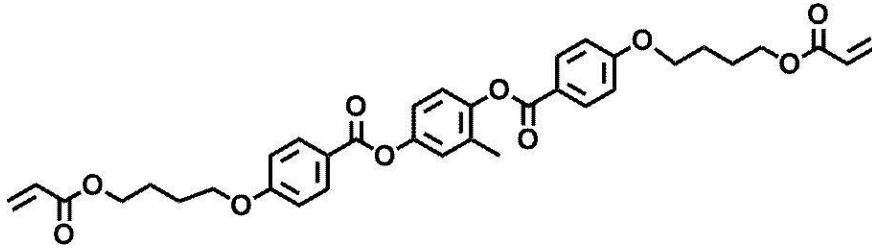
【0333】

低分子液晶性化合物 M-1

【0334】

50

【化 2 8】

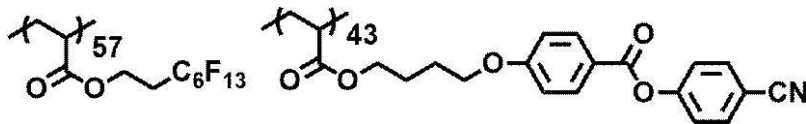


【 0 3 3 5】

界面活性剤 F - 1

【 0 3 3 6】

【化 2 9】



【 0 3 3 7】

< UV 接着剤の作製 >

下記の UV 接着剤組成物を調製した。

UV 接着剤組成物

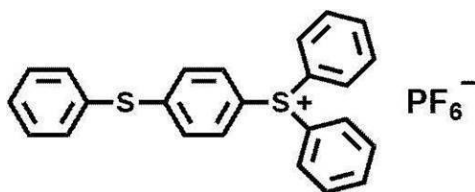
・ C E L 2 0 2 1 P (ダイセル社製)	7 0 質量部
・ 1、4-ブタンジオールジグリシジルエーテル	2 0 質量部
・ 2-エチルヘキシルグリシジルエーテル	1 0 質量部
・ C P I - 1 0 0 P	2 . 2 5 質量部

【 0 3 3 8】

C P I - 1 0 0 P

【 0 3 3 9】

【化 3 0】



【 0 3 4 0】

< 吸収型偏光フィルムの作製 >

積層体 1 B の光吸収異方性層表面に対し、上記 UV 接着剤を用いて、樹脂基材 S 1 としてテクノロイ S 0 0 1 G (メタクリル樹脂 5 0 μm 厚、 $\tan \delta$ ピーク温度 1 2 8 $^{\circ}\text{C}$ 、住化アクリル販売 (株)) を貼り合わせた。その後、セルロースアシレートフィルム 1 のみ剥離して、樹脂基材/接着層/光吸収異方性層/配向層がこの順に配置された吸収型偏光フィルムを作製した。UV 接着層の厚みは 2 μm であった。

【 0 3 4 1】

得られた吸収型偏光フィルムの平均算術粗さ R_a は、1 0 nm 以下であった。一方、直線偏光板 (ポリビニルアルコール層型) の平均算術粗さ R_a は、2 0 nm 以上であった。

これにより、作製した吸収型偏光フィルムは、偏光フィルムの表面凹凸での光の偏向 (屈折および散乱等) を低減できる。また、画像表示装置に用いた場合、表示される画像の歪みを抑制することができる。

なお、平均算術粗さ R_a は、株式会社菱化システム製の干渉計「*vertscan*」を用いて測定した。

【0342】

〔評価〕

作製した光学素子に正面（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、出射光の光強度を評価した。

具体的には、光源から 405 nm 、 450 nm 、 532 nm 、および、 650 nm に出力中心波長を持つレーザー光を照射し、作製した光学素子に垂直入射させた。出射光のうち、液晶回折素子からの所望の方向に回折した回折光（1次光）と他方向へ出射した0次光（入射光と同一方向へ出射）の光強度を光検出器で測定した。なお、レーザー光の波長に対応する円偏光板に垂直入射させて、円偏光にした後、作製した光学素子の液晶回折素子側から光を入射し、評価を行った。

実施例1～実施例7で作製した液晶回折素子に円偏光板を貼合した光学素子では、円偏光板の貼合前に対して、いずれの波長においても0次光の光強度を大幅に低減することができ、コントラスト比（1次光／0次光の光強度比）が向上することを確認した。なお、実施例5～7では、入射する円偏光および、円偏光板の位相差板と直線偏光板の配置を適宜変更して評価を行った。また、実施例7では、端部付近（1周期が $1\text{ }\mu\text{m}$ ）において、液晶回折素子への光の入射角度を 25° にして評価を行った。

【0343】

〔評価〕

<入射角度依存性の評価>

比較例1、実施例3、実施例4および実施例8で作製した液晶回折素子を用いた光学素子に、正面（法線に対する角度 0° の方向）から $\pm 40^\circ$ （ 10° 刻み）で入射角度を変えて光を入射した際における、出射光の、光強度を評価した。

具体的には、光源から 405 nm 、 450 nm 、 532 nm 、 650 nm のそれぞれに出力中心波長を持つレーザー光を照射し、作製した液晶回折素子に入射させた。出射光のうち、液晶回折素子からの所望の方向に回折した回折光（1次光）と他方向へ出射した0次光（入射光と同一方向へ出射）の光強度を光検出器で測定した。

【0344】

異なる入射角度で測定した、波長 405 nm 、 450 nm 、 532 nm 、および、 650 nm それぞれの測定値から光強度の入射角に対する平均値を求めた。

また、作製した液晶回折素子における液晶配向パターンの同心円の中心部および同心円の中心付近（1周期が $10\text{ }\mu\text{m}$ ）、端部付近（1周期が $1\text{ }\mu\text{m}$ ）、および端部（1周期が $0.6\text{ }\mu\text{m}$ ）の3か所において評価を行った。

なお、レーザー光の波長に対応する円偏光板に垂直入射させて、円偏光にした後、作製した光学素子の液晶回折素子側から光を入射し、評価を行った。

【0345】

実施例3～実施例4、および、実施例8で作製した液晶回折素子に円偏光板を貼合した光学素子では、円偏光板の貼合前に対して、いずれの波長においても0次光の光強度を大幅に低減することができ、コントラスト比（1次光／0次光の光強度比）が向上することを確認した。また、比較例1で作製した液晶回折素子を用いた光学素子に対し、実施例3、実施例4、および、実施例8で作製した液晶回折素子を用いた光学素子は、いずれも高いコントラスト比が得られた。

【0346】

また、評価の結果、実施例3で作製した液晶回折素子を用いた光学素子に対し、実施例4で作製した液晶回折素子を用いた光学素子のコントラスト比の入射角に対する平均値は向上しており、実施例8で作製した液晶回折素子を用いた光学素子のコントラスト比の入射角に対する平均値はさらに向上していた。

【0347】

以上から、液晶回折素子に円偏光板を貼合した光学素子においても、液晶層の屈折率差

10

20

30

40

50

Δn_{550} が高い方が、異なる入射角に対するコントラスト比が向上することがわかる。

【0348】

<支持体の変更>

以下に記載の方法を用い、目的に応じて液晶回折素子の支持体を適宜変更することができる。また、以下に記載の方法では、液晶回折素子と変更した支持体間の厚みを薄くすることができ、例えば粘着剤（厚み：数 μm ～数十 μm ）に対し、支持体変更後の液晶回折素子面内の厚さを均一にすることができる。このように、液晶回折素子の支持体を変更した場合でも、面内の厚さを均一にすることで、液晶回折素子から出射した光の方向を面内で精密に制御することができる。

【0349】

なお、液晶回折素子と新たな支持体の積層は、一例として、以下の手順で行えばよい。

(1) 積層する、支持体、配向膜および液晶回折素子の液晶層側に、仮支持体を貼合する。本例においては、仮支持体は、藤森工業社製、MASTACK AS3-304を用いた。

(2) 次に、液晶回折素子の作製段階から存在していた支持体および配向膜を剥離し、液晶回折素子の配向膜側の界面を露出させる。

(3) この液晶回折素子の配向膜側の界面と、新たに準備した支持体の界面との両方に対し、酸化ケイ素層（ SiO_x 層）を形成する。酸化ケイ素層の形成方法には、制限はないが、真空蒸着が好ましく例示される。本例においては、酸化ケイ素層の形成は、アルバック社製の蒸着装置（型番ULEYES）を用いて行った。蒸着源は、 SiO_2 粉体を用いた。酸化ケイ素層の厚さには制限はないが、50nm以下が好ましい。本例においても、酸化ケイ素膜の厚さは50nm以下とした。

(4) 次に、形成した酸化ケイ素膜の両方にプラズマ処理を施し、形成した酸化ケイ素膜同士を、120℃で貼合した後、仮支持体を剥離する。

【0350】

上記(1)～(4)の工程により、液晶回折素子と新たに準備した支持体が積層された回折素子を作製できる。また、支持体を別の液晶回折素子に変え、(1)～(4)の工程を繰り返すことにより、2層あるいは3層以上の液晶回折素子が積層された回折素子を作製できる。

【0351】

上記(1)～(4)の工程により、実施例1で作製した液晶回折素子の支持体を厚さ0.3mmのガラス基板に変更した。比較として、厚み25 μm の粘着剤を用い、実施例1で作製した液晶回折素子の支持体を厚さ0.3mmのガラス基板に変更（粘着剤を介して、液晶回折素子をガラス基板に貼合）した。上記(1)～(4)の工程で、作製した液晶回折素子は、粘着剤を介して作製したものより、液晶回折素子面内の厚さを均一にすることができた。

【0352】

<積層体の作製>

同様にして、液晶回折素子と他の光学部材等の積層体を作製することができる。

一例として、液晶回折素子、位相差板、偏光板の積層体を下記方法により作製した。

積層する、支持体、配向膜および液晶層を有する液晶回折素子の液晶層側と、液晶回折素子に貼合する位相差板の貼合面側に酸化ケイ素層（ SiO_x 層）を形成した。酸化ケイ素層の形成方法には、制限はないが、真空蒸着が好ましく例示される。本例においては、酸化ケイ素層の形成は、アルバック社製の蒸着装置（型番ULEYES）を用いて行った。蒸着源は、 SiO_2 粉体を用いた。酸化ケイ素層の厚さには制限はないが、50nm以下が好ましい。本例においても、酸化ケイ素膜の厚さは50nm以下とした。形成した酸化ケイ素膜の両方にプラズマ処理を施し、酸化ケイ素膜同士を、120℃で貼合した。これにより、液晶回折素子と位相差板の積層体を形成した。同様にして、位相差板上に偏光板層を貼合し、上記支持体、配向膜を剥離する事で、液晶層(液晶回折素子)／位相差板／偏光板からなる積層体を作製した。

10

20

30

40

50

なお、液晶回折素子として、実施例 1～実施例 7 で作製した液晶回折素子を用いた。位相差板として、上述の円偏光板作製で用いた位相差板を用いた。偏光板として、上述の直線偏光板（ポリビニルアルコール層型）および吸収型偏光板をそれぞれ用いて積層体を作製した。

液晶回折素子、位相差板、偏光板の積層体した光学素子では、円偏光板（位相差板と偏光板の積層体）の貼合前に対して、いずれの波長においても 0 次光の光強度を大幅に低減することができ、コントラスト比（1 次光／0 次光の光強度比）が向上することを確認した。

以上の結果より、本発明の効果は明らかである。

【符号の説明】

【0353】

10 a、10 b 液晶回折素子
 30 支持体
 32 配向膜
 36 a、36 b 光学異方性層
 37 a～37 g 領域
 40 液晶化合物
 40 A 光学軸
 42 明部
 44 暗部
 60, 80 露光装置
 62, 82 レーザ
 64, 84 光源
 65 $\lambda/2$ 板
 68 ビームスプリッター
 70 A, 70 B, 90 A, 90 B ミラー
 72 A, 72 B, 96 $\lambda/4$ 板
 86, 94 偏光ビームスプリッター
 92 レンズ
 Λ 、 Λ_1 、 Λ_2 1 周期
 D、 $A_1 \sim A_3$ 配列軸
 R 領域
 M レーザ光
 MA, MB 光線
 MP P 偏光
 MS S 偏光
 PO 直線偏光
 PR 右円偏光
 PL 左円偏光
 α 交差角
 L_1 、 L_2 、 $L_3 \sim L_{15}$ 光

10

20

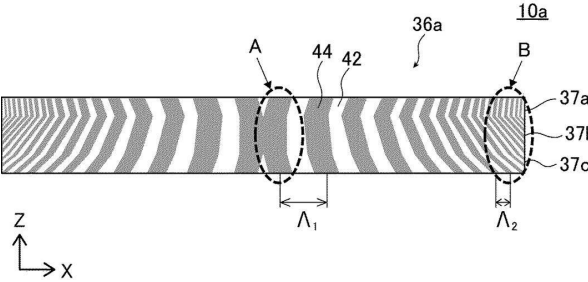
30

40

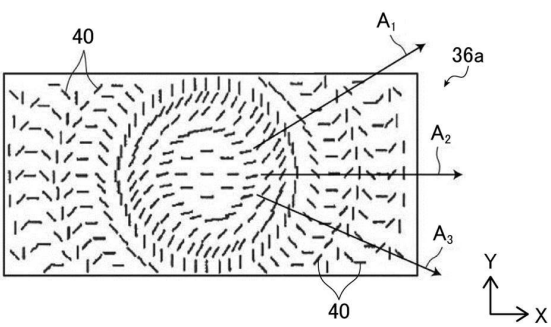
50

【図面】

【図 1】

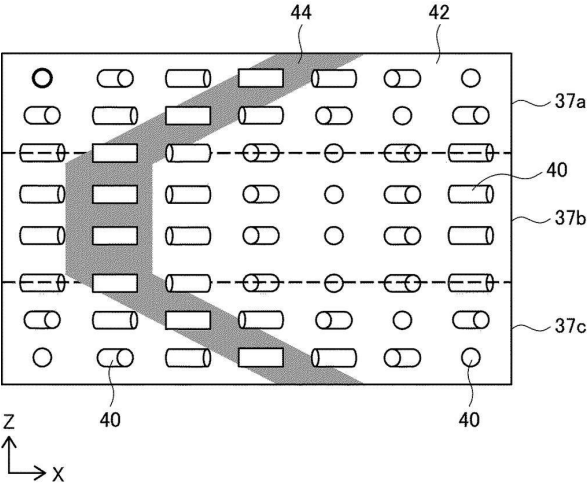


【図 2】

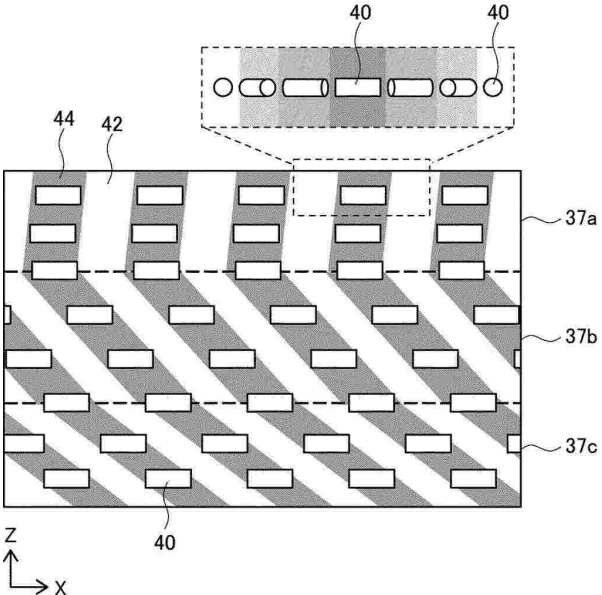


10

【図 3】



【図 4】



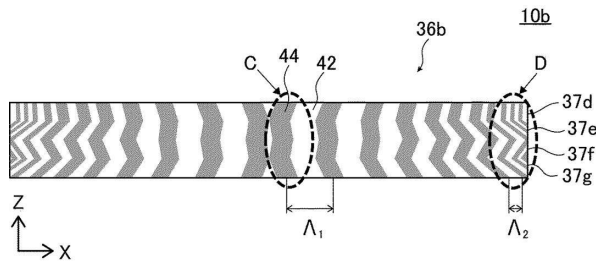
20

30

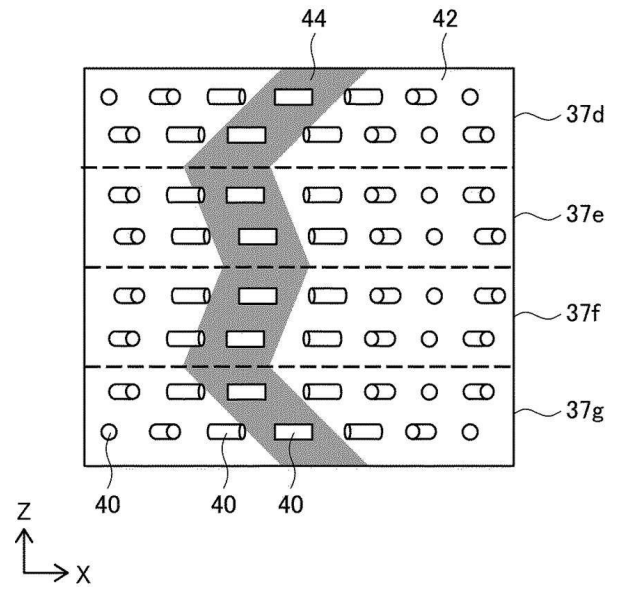
40

50

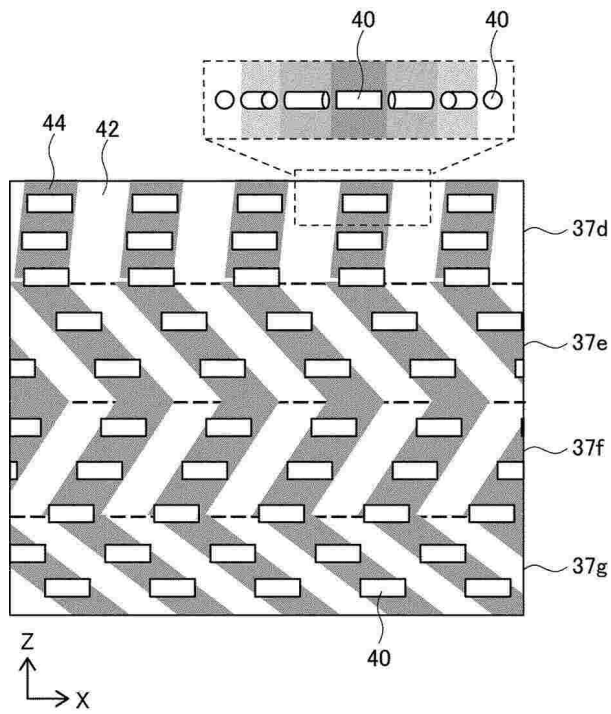
【図 5】



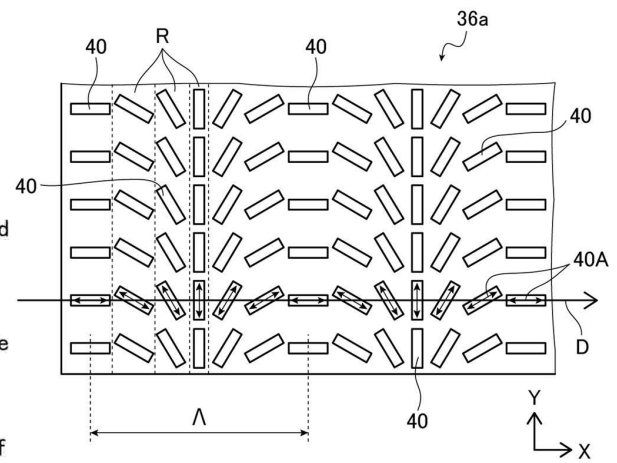
【図 6】



【図 7】



【図 8】



10

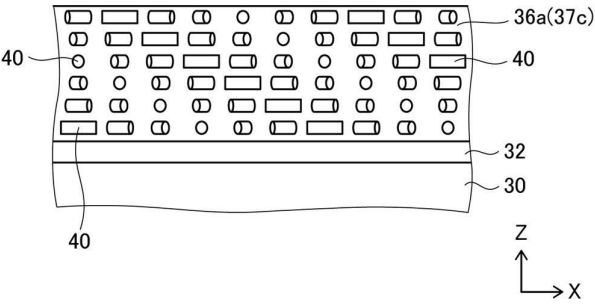
20

30

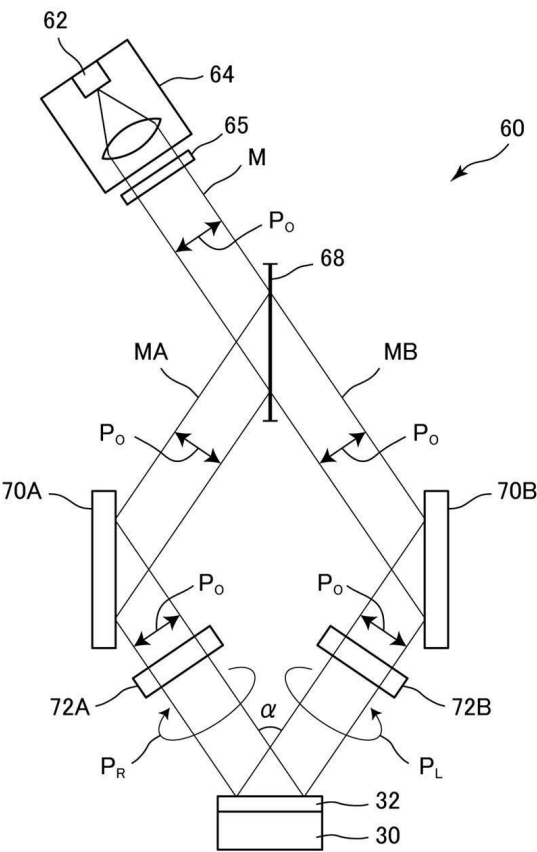
40

50

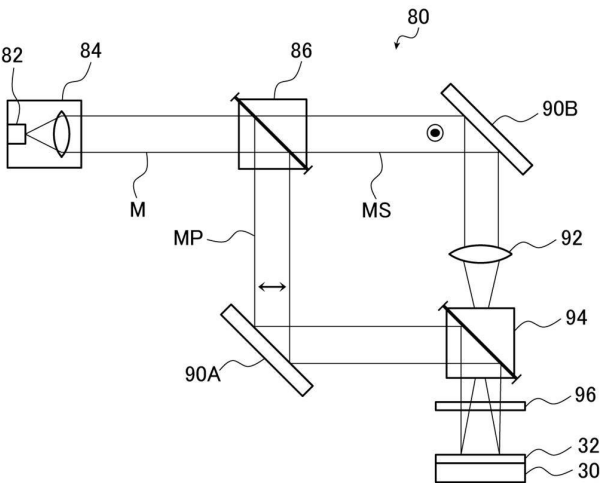
【図 9】



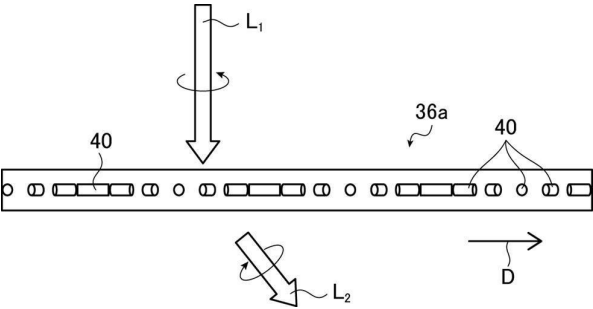
【図 10】



【図 11】



【図 12】



10

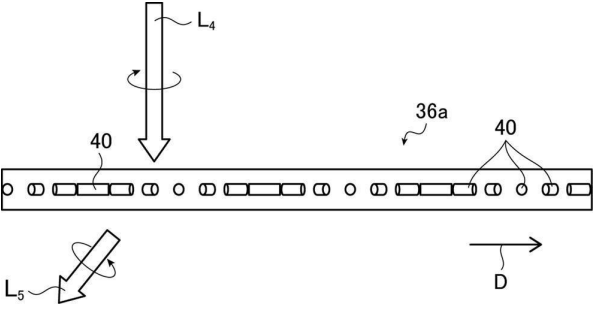
20

30

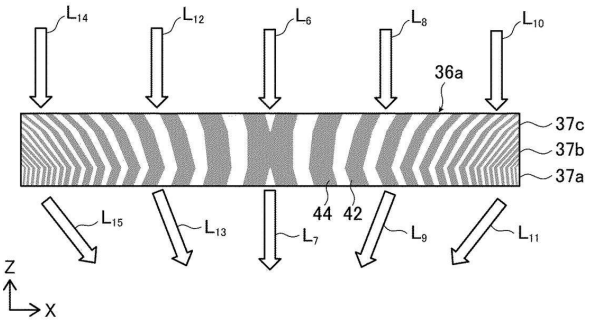
40

50

【図 1 3】

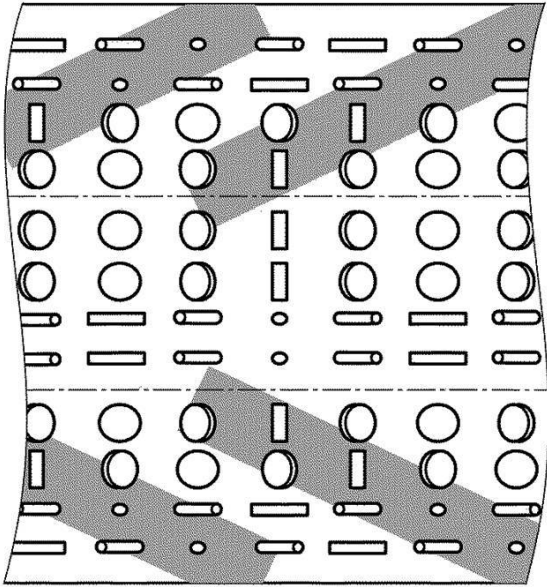


【図 1 4】

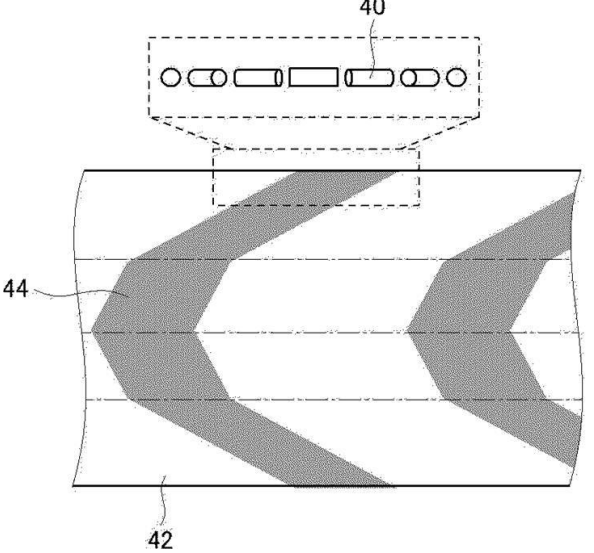


10

【図 1 5】



【図 1 6】



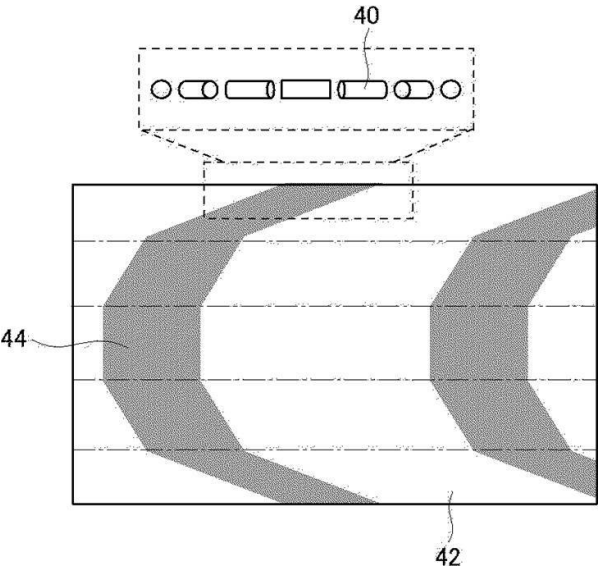
20

30

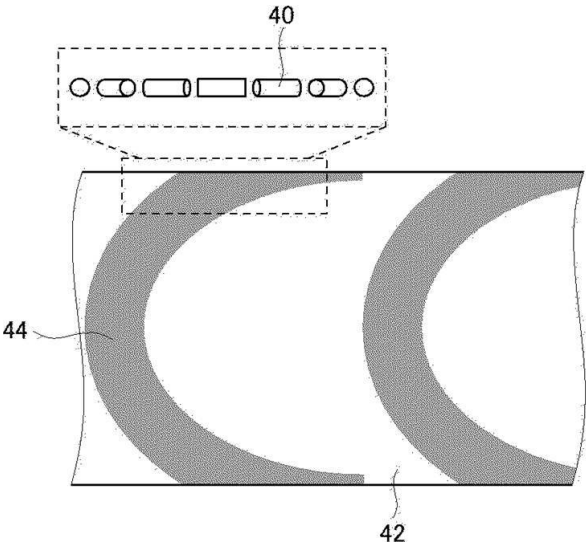
40

50

【図 1 7】



【図 1 8】



10

20

30

40

50

フロントページの続き

- (32)優先日 令和3年3月5日(2021.3.5)
(33)優先権主張国・地域又は機関
日本国(JP)
(31)優先権主張番号 特願2021-65238(P2021-65238)
(32)優先日 令和3年4月7日(2021.4.7)
(33)優先権主張国・地域又は機関
日本国(JP)
フィルム株式会社内
(72)発明者 石黒 誠
神奈川県南足柄市中沼210番地 富士フィルム株式会社内
審査官 吉川 陽吾
(56)参考文献 国際公開第2020/066429 (WO, A1)
国際公開第2020/022434 (WO, A1)
国際公開第2019/182052 (WO, A1)
米国特許出願公開第2019/0317450 (US, A1)
国際公開第2008/130555 (WO, A1)
国際公開第2006/092758 (WO, A2)
国際公開第2019/189852 (WO, A1)
(58)調査した分野 (Int.Cl., DB名)
G02B 5/30
G02B 5/18
G02B 27/02
G02F 1/13363