(12) 特許協力条約に基づいて公開された国際出願

(19) 世界知的所有権機関
国際事務局

(43) 国際公開日
2023年6月8日(08.06.2023)

WIPO | PCT

(10) 国際公開番号
WO 2023/101013 A1

(51) 国際特許分類:
G03F 7/20 (2006.01)　*G02B 5/30* (2006.01)
G02B 3/02 (2006.01)　*G02B 5/32* (2006.01)
G02B 5/04 (2006.01)　*G02B 13/18* (2006.01)

(21) 国際出願番号：　PCT/JP2022/044588

(22) 国際出願日：　2022年12月2日(02.12.2022)

(25) 国際出願の言語：　日本語

(26) 国際公開の言語：　日本語

(30) 優先権データ：
特願 2021-196954　2021年12月3日(03.12.2021)　JP
特願 2022-191427　2022年11月30日(30.11.2022)　JP

(71) 出願人: 富士フイルム株式会社 (**FUJIFILM CORPORATION**) [JP/JP]; 〒1068620 東京都港区西麻布２丁目２６番３０号 Tokyo (JP).

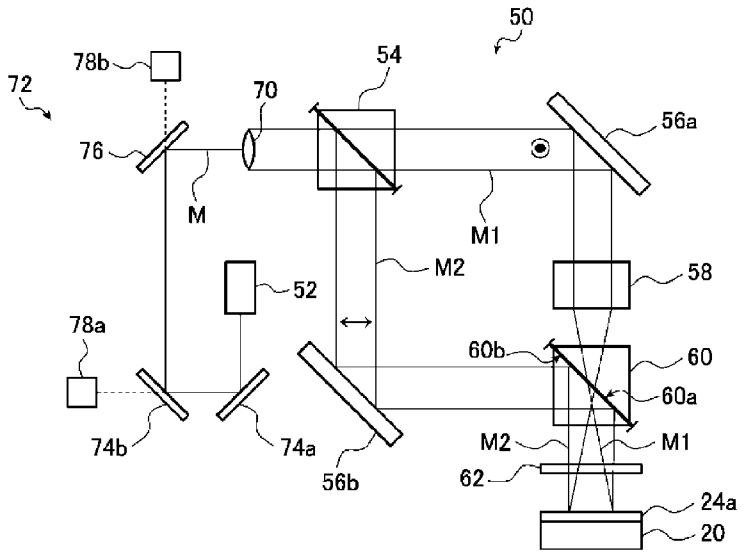
(72) 発明者: 森 将生(**MORI Masao**); 〒3319624 埼玉県さいたま市北区植竹町１丁目３２４番地 富士フイルム株式会社内 Saitama (JP). 北原 有(**KITAHARA Yu**); 〒3319624 埼玉県さいたま市北区植竹町１丁目３２４番地 富士フイルム株式会社内 Saitama (JP).

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

(81) 指定国(表示のない限り、全ての種類の国内保護が可能): AE, AG, AL, AM, AO, AT, AU, AZ,

(54) **Title:** EXPOSURE SYSTEM, FORMING METHOD FOR ALIGNMENT FILM, MANUFACTURING METHOD FOR OPTICAL ELEMENT, AND OPTICAL ELEMENT

(54) 発明の名称： 露光システム、配向膜の形成方法、光学素子の製造方法、および、光学素子



(57) **Abstract:** The present invention addresses the problem of providing: an exposure system with which it is possible to easily create an alignment film corresponding to an optical element for which the focal distance continuously changes; a forming method for the alignment film carried out by this exposure system; a manufacturing method for an optical element that uses this alignment film; and an optical element. In order to solve the problem, the present invention includes: a light source; a beam splitter that splits light emitted by the light source; a beam combiner that combines the light split by the beam splitter and that includes a first surface that transmits the light and a second surface that reflects the light; light collection elements provided upstream from the beam combiner; and a polarization conversion element. At least one of the light collection elements has a focal distance that continuously changes in a direction orthogonal to an optical axis and

WO 2023/101013 A1

［続葉有］

BA, BB, BG, BH, BN, BR, BW, BY, BZ, CA, CH, CL, CN, CO, CR, CU, CV, CZ, DE, DJ, DK, DM, DO, DZ, EC, EE, EG, ES, FI, GB, GD, GE, GH, GM, GT, HN, HR, HU, ID, IL, IN, IQ, IR, IS, IT, JM, JO, JP, KE, KG, KH, KN, KP, KR, KW, KZ, LA, LC, LK, LR, LS, LU, LY, MA, MD, MG, MK, MN, MW, MX, MY, MZ, NA, NG, NI, NO, NZ, OM, PA, PE, PG, PH, PL, PT, QA, RO, RS, RU, RW, SA, SC, SD, SE, SG, SK, SL, ST, SV, SY, TH, TJ, TM, TN, TR, TT, TZ, UA, UG, US, UZ, VC, VN, WS, ZA, ZM, ZW.

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

添付公開書類:

一　国際調査報告（条約第21条(3)）

away from the optical axis, and a maximum/minimum focal distance ratio is greater than 1.1.

(57) 要約：連続的に焦点距離が変化する光学素子に対応する配向膜を簡便に作れる露光システム、この露光システムによる配向膜の形成方法、この配向膜を用いる光学素子の製造方法、および、光学素子の提供を課題とする。光源と、光源が出射した光を分割するビームスプリッタと、ビームスプリッタが分割した光を合波する、光を透過する第１面および光を反射する第２面を有するビームコンバイナと、ビームコンバイナの上流に設けられる集光素子と、偏光変換素子とを有し、かつ、集光素子の１以上が、光軸と直交し、かつ、光軸から離間する方向に連続的に変化する焦点距離を有し、最大／最小の焦点距離の比が１．１超であることにより、課題を解決する。

明　細　書

発明の名称 ：

露光システム、配向膜の形成方法、光学素子の製造方法、および、光学素子

技術分野

[0001] 本発明は、干渉光を生成する露光システム、この露光システムを用いる配向膜の形成方法、この配向膜を用いる光学素子の製造方法、および、光学素子に関する。

背景技術

[0002] 光の方向を制御する光学素子は、多くの光学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））グラスおよび人工的に作られた仮想空間を現実のように表示するＶＲ（Virtual Reality（仮想現実））ゴーグルなどのヘッドマウントディスプレイ（ＨＭＤ（Head Mounted Display））、プロジェクター、ビームステアリング、ならびに、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において、光の方向を制御する光学素子が用いられている。

[0003] このような光の方向を制御する光学素子を様々なシステムおよびアプリケーション等に展開するためには、光学素子には、用途等に応じて、様々な方向に光を曲げることが求められる。このような目的を達成するために、面内すなわち光軸と直交する方向に、焦点距離が異なる光学素子が提案されている。

例えば、非特許文献１および特許文献１には、一方向に向かって光学軸が連続的に回転するように配向した液晶化合物を、放射状に設けた、同心円状の液晶配向パターンを有する光学素子（液晶回折レンズ）において、面内で焦点距離が異なる領域を有する光学素子が提案されている。

[0004] 一方向に向かって液晶化合物に由来する光学軸が回転する液晶配向パターンを有する光学素子では、一方向に向かって光学軸が１８０°回転する距離を１周期として、この１周期が短いほど、光の回折が大きくなる。

従って、上述のような同心円状の液晶配向パターンを有する光学素子は、内側（光軸）から外側に向かって、１周期が、漸次、短くするなることにより、集光または発散レンズとして作用する。また、光学素子では、１周期が短いほど、回折が大きくなるので、焦点距離は短くなる。

ここで、通常の光学素子（液晶回折レンズ）では、１周期の長さの減少は、反比例的な単調減少であり、面内すなわち光軸と直交する方向において、焦点距離は全面的にほぼ一定である。

これに対して、１周期の長さの減少の程度を制御することによって、光学素子の面内で、焦点距離が異なる領域を形成できる。

[0005] 光学素子は、通常、液晶配向パターンに応じた配向パターンを有する配向膜を形成し、この配向膜に、液晶化合物を含む光学異方性層を形成することで作製する。

従って、目的とする光学特性を有する光学素子を作製するためには、配向膜に、目的とする光学特性を実現するための液晶配向パターンに応じた配向パターンを形成する必要がある。

[0006] このような配向パターンの形成には、光の照射すなわち露光によって配向パターンを形成する光配向膜が好適に用いられる。

同心円状の液晶配向パターンを有する光学素子、すなわち、このような光学素子を形成するための光配向膜に、面内において焦点距離が異なる領域を有する配向パターンを形成する方法としては、特許文献２および非特許文献２に記載されるような直接描画露光方式、ならびに、特許文献３および非特許文献１に記載されるようなマスクを用いた露光方式が知られている。

先行技術文献

非特許文献

[0007] 非特許文献1：Junyu Zou et al., Doubling the optical efficiency of VR

systemswith a directional backlight and a diffractive deflection film , Vol. 29, No. 13 / 21 June 2021 / Optics Express 20673

非特許文献2：Jihwan Kim et al., Fabrication of ideal geometric-phase holograms with arbitrary wavefronts,Optica Vol. 2, Issue 11, pp. 958-964 (2015)

特許文献

[0008] 特許文献1：米国特許出願公開第２０２０／０３７１４７５号明細書

特許文献2：特表２０１５－５３２４６８号公報

特許文献3：特表２０１０－５２５３９５号公報

発明の概要

発明が解決しようとする課題

[0009] 直接描画露光方式とは、図２２に概念的に示すように、光源１００から出射した光ビームを、回転可能な偏光変換素子１０２（１／２波長板）を透過することで偏光方向が回転する直線偏光とし、この直線偏光を必要に応じてミラー１０４で反射して集光レンズ１０６で集光して、ｘ－ｙステージ１０８上に載置した未露光の光配向膜１１０に結像して露光する露光方式である。なお、図示例においては、未露光の光配向膜１１０はガラス基板１１２に支持されている。

直接描画露光方式では、ｘ－ｙステージ１０８を移動して、未露光の光配向膜１１０における光ビームの入射位置を制御することで、未露光の光配向膜１１０（光配向膜）に、例えば面内で焦点距離が異なる領域を有する光学素子に対応する、目的とする配向パターンを形成する。

この直接描画露光方式によれば、高い自由度で目的に応じた様々な配向パターンを有する配向膜、すなわち、様々な液晶配向パターンを有する光学素子を作製できる。その反面、この直接描画露光方式は、目的とするパターンを描画するために、多大な時間が必要で、生産性が低いという問題点がある。

[0010] 他方、特許文献３には、マスクを用いた露光方式として、形成する液晶配

向パターンに応じた複屈折性マスクを用いて、このマスクを介して未露光の配向膜を露光することにより、目的とする配向パターンを形成する方法が記載されている。

この露光方式では、複屈折性マスクを直接描画露光方式で形成し、この複屈折性マスクを用いて配向膜を露光して配向パターンを形成することで、設計自由度と生産性の両立を図っている。その反面、この露光方式は、複屈折性マスクで曲げきれない光がノイズ光となり、精度良く配向パターン化するのが難しい。

[0011] さらに、非特許文献１には、干渉を利用する配向パターンの露光において、マスクを用いる露光方式が記載されている。

この干渉露光方式では、直線偏光子を透過した光を偏光ビームスプリッタによって２分割し、分割した光を１／４波長板によって円偏光に変換する。さらに、一方の円偏光のみレンズを介して集光状態とした後に、両円偏光をビームコンバイナ（ビームスプリッタ）で合波することで干渉させて、干渉光によって未露光の配向膜を露光する。

この干渉露光によって、配向膜に、上述のような同心円状の配向パターンを形成することができる。

[0012] ここで、配向パターンにおける１周期の長さは、レンズの焦点距離によって決まる。非特許文献１に記載される露光方式では、レンズの焦点距離を調節すると共に、不要な部分をマスクで遮光して露光することを繰り返すことにより、面内において焦点距離が異なる領域を有する配向パターンを形成している。

しかしながら、この露光方式では、面内で連続的に焦点距離が変化する領域を形成することができない。また、この露光方式では、非特許文献１にも記載されるように、焦点距離が異なる領域の境目において、不均一な境界領域（Boundary）が発生してしまい、適正な液晶配向パターンの形成が難しいという問題がある。このような不均一な境界領域および配向パターンの乱れは、ゴーストと呼ばれる不要な像および多重像等の発生の原因となる。特に

、近年においては、ＡＲグラスおよびＶＲゴーグル等の解像度が向上し、かつ、視野角が広くなる傾向にある。そのため、例えば１５０μｍ以下の小さい境界領域でも、境界領域に起因するゴーストおよび多重像は、画質上、問題となる。

[0013] 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あり、境界領域が無く連続的に焦点距離が変化する領域を有する光学素子を製造するための配向膜を、簡便に形成できる露光システム、この露光システムを用いる配向膜の形成方法、ならびに、この配向膜を用いる光学素子の製造方法、および、ゴーストおよび多重像の発生を抑制できる光学素子を提供することにある。

課題を解決するための手段

[0014] 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］ 光源と、

光源が出射した光を分割するビームスプリッタ素子と、

ビームスプリッタ素子が分割した光を入射して、入射光の少なくとも一部を透過する第１面、および、ビームスプリッタ素子が分割した他の光を入射して、入射光の少なくとも一部を反射する第２面を有し、第１面を透過した光と第２面で反射された光とを重ね合わせた光を出射するビームコンバイナ素子と、

ビームコンバイナ素子の第１面に入射する第１の光の光路、および、ビームコンバイナ素子の第２面に入射する第２の光の光路の、少なくとも一方に設けられる、光を集光する集光素子とを有し、

集光素子の少なくとも１つは、光軸と直交する方向に連続的に変化する焦点距離ｆＬを有する焦点変化集光素子であり、焦点距離ｆＬの最大値ｆＬmaxと最小値ｆＬminとの比『ｆＬmax／ｆＬmin』が１．１超である、露光システム。

［２］ 光源とビームスプリッタ素子との間、および、ビームスプリッタ素子とビームコンバイナ素子との間で、かつ、光が集光していない位置の、

少なくとも一方の位置に、ビームエクスパンダ素子を有する、［１］に記載の露光システム。

［３］　焦点変化集光素子は、光軸と直交する方向に連続的に変化する焦点距離のプロファイルが、１以上の極値を有する、［１］または［２］に記載の露光システム。

［４］　焦点変化集光素子が、複数のレンズを有する、［１］～［３］のいずれかに記載の露光システム。

［５］　焦点変化集光素子が、非球面レンズおよびシリンダーレンズの少なくとも一方を有する、［１］～［４］のいずれかに記載の露光システム。

［６］　焦点変化集光素子に平行光を入射した際に、ビームコンバイナ素子から出射する光の少なくとも一部が、焦点変化集光素子の光軸に対して１５°以上の角度となる、［１］～［５］のいずれかに記載の露光システム。

［７］　焦点変化集光素子の光軸と直交する方向における光の強度の最大値と最小値との比が、露光面において、最大値／最小値で２５倍以下である、［１］～［６］のいずれかに記載の露光システム。

［８］　ビームスプリッタ素子とビームコンバイナ素子との間の光路長が８００ｍｍ以下である、［１］～［７］のいずれかに記載の露光システム。

［９］　存在する光学素子の１以上が、光源が出射する光に対する表面反射率が０．５％以下である、［１］～［８］のいずれかに記載の露光システム。

［１０］　光源が、波長３２０～４１０ｎｍの光を出射する、［１］～［９］のいずれかに記載の露光システム。

［１１］　光源が出射した光の光路をビームスプリッタ素子よりも上流で検出し、光の光路の検出結果に応じて、光の光路を調節する調節手段、および、ビームコンバイナ素子よりも下流において、重ね合わされた光の干渉による干渉縞を検出し、干渉縞の検出結果に応じて、ビームスプリッタ素子で分割した光の少なくとも一方の光路を調節する調節手段、の少なくとも一方の調節手段を有する、［１］～［１０］のいずれかに記載の露光システム。

［１２］　光配向性基を有する化合物を含む塗膜を、［１］～［１１］のいずれかに記載の露光システムによって露光する、配向膜の形成方法。

［１３］　［１２］に記載の配向膜の形成方法で形成した配向膜に、液晶化合物を含む組成物を塗布し、乾燥する工程を有する、光学素子の製造方法。

［１４］　組成物がキラル剤を含む、［１３］に記載の光学素子の製造方法。

［１５］　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同心円状に有する液晶層を含む、入射光を回折して出射する光学素子であって、

液晶層の液晶配向パターンにおいて、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、液晶配向パターンは、１周期の長さが一方向に沿って漸次変化するものであり、

光学素子は、同心円の中心から外側に向かう方向において、連続的に焦点距離ｆＧが変化し、

焦点距離ｆＧの最大値ｆＧmaxと最小値ｆＧminとの比『ｆＧmax／ｆＧmin』が１．１超であり、

光学素子の面内の、１次光の強度に対する０次光の強度の割合が最も大きい位置における、１次光の強度に対する０次光の強度の割合をＲmaxとした際に、割合Ｒmaxが３％以下であり、

１次光の強度に対する、１次光の回折角度よりも小さい回折角度の回折光のうち最も強度が大きい回折光の強度の割合をＸmaxとした際に、光学素子の面内において割合Ｘmaxが最も大きくなる位置における割合Ｘmaxが３％以下である、光学素子。

［１６］　液晶層のΔｎが０．２～０．５である、［１５］に記載の光学素子。

［１７］　複数層の液晶層を有し、

少なくとも２層の液晶層は、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した断面画像において観察される明暗線の傾斜が、互いに異なる領域を有する、［１５］または［１６］に記載の光学素子。

［１８］　明暗線が主面に対して傾斜する第１液晶層と、

明暗線の傾斜方向が第１液晶層と逆である第２液晶層と、

第１液晶層と第２液晶層との間に設けられる、主面に対する明暗線の角度が第１液晶層および第２液晶層よりも大きい第３液晶層との、少なくとも３層の液晶層を有する、［１７］に記載の光学素子。

発明の効果

[0015] 本発明の露光システムおよび本発明の配向膜の形成方法によれば、境界領域が無く、連続的に焦点距離が変化する領域を有する光学素子を製造するための配向膜を簡便に形成できる。また、本発明の光学素子の製造方法および光学素子によれば、境界領域が無く連続的に焦点距離が変化する領域を有する液晶配向パターンを有する、ゴーストおよび多重像の発生を抑制した光学素子を簡便に得られる。

図面の簡単な説明

[0016] [図1]図１は、本発明の露光システムの一例を概念的に示す図である。

[図2]図２は、集光素子の焦点距離を説明するための概念図である。

[図3]図３は、通常の干渉露光による配向パターンの一例を概念的に示す図である。

[図4]図４は、通常の集光素子の焦点距離プロファイルを概念的に示す図である。

[図5]図５は、本発明の実施例における集光素子の焦点距離プロファイル、および、本発明の実施例で作製した光学素子の焦点距離プロファイルを概念的に示す図である。

[図6]図６は、集光素子の一例を概念的に示す図である。

[図7]図７は、同心円状の液晶配向パターンを有する光学素子の一例を概念的に示す平面図である。

[図8]図８は、図７に示す光学素子の概略断面図である。

[図9]図９は、図７に示す光学素子を説明するための概念図である。

[図10]図１０は、図７に示す光学素子を説明するための概念図である。

[図11]図１１は、図７に示す光学素子を説明するための概念図である。

[図12]図１２は、光学素子の別の例の概略断面図である。

[図13]図１３は、図１２に示す光学素子を説明するための概念図である。

[図14]図１４は、図１２に示す光学素子を説明するための概念図である。

[図15]図１５は、図１２に示す光学素子を説明するための概念図である。

[図16]図１６は、焦点距離の比の測定方法を説明するための概念図である。

[図17]図１７は、０次光強度の測定方法を説明するための概念図である。

[図18]図１８は、ノイズ光強度の測定方法を説明するための概念図である。

[図19]図１９は、本発明の光学素子の別の例を概念的に示す図である。

[図20]図２０は、本発明の実施例における集光素子を概念的に示す図である。

[図21]図２１は、本発明の比較例で作製した光学素子の焦点距離プロファイルを概念的に示す図である。

[図22]図２２は、直接描画露光方式を説明するための概念図である。

発明を実施するための形態

[0017] 以下、本発明の露光システム、配向膜の形成方法、光学素子の製造方法、および、光学素子について、添付の図面に示される好適実施例をもとに、詳細に説明する。

以下に記載する構成要件の説明は、本発明の代表的な実施態様に基づいてなされることがあるが、本発明はそのような実施態様に限定されるものではない。

また、以下に示す図は、いずれも、本発明を説明するための概念的な図であって、各部材および部位などの大きさ、厚さ、および、位置関係等は、必ずしも、現実の物と一致しない。

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

[0018] 図１に、本発明の露光システムの一例を概念的に示す。

図１に示す露光システム５０は、光源５２と、ビームスプリッタ素子５４と、ミラー５６ａおよび５６ｂと、集光素子５８と、ビームコンバイナ素子６０と、偏光変換素子６２とを有する。

また、露光システム５０において、光源５２とビームスプリッタ素子５４との間には、好ましい態様として、ビームエクスパンダ素子７０および光路調節光学系７２が設けられる。光路調節光学系７２は、本発明における調節手段であって、光源５２が出射した光ビームＭを検出して、光ビームＭの光路を調節するもので、作動ミラー７４ａおよび７４ｂと、ミラー７６と、検出器７８ａおよび７８ｂとを有する。

また、本発明における集光素子５８の焦点距離ｆＬは下記の様に定義した。集光素子５８は、図２に概念的に示すように、集光素子５８の光軸Ｏａと直交する方向における、光軸Ｏａからの距離を距離Ｄｓとする。また、集光素子５８の光軸Ｏａから距離Ｄｓだけ離れた位置に入射した、光軸Ｏａと平行な光線が、集光素子５８を透過した後に光軸Ｏａと成す角度をθとする。さらに、『ｆＬ＝Ｄｓ／ｓｉｎθ』で示される『ｆＬ』を、集光素子５８における、光軸Ｏａからの距離Ｄｓの位置での焦点距離ｆＬとする。

なお、作製した光学素子（回折素子）については、『ｆＧ＝Ｄｓ／ｔａｎθ』で示される『ｆＧ』を、光学素子における、光軸Ｏａからの距離Ｄｓの位置での焦点距離ｆＧとする。具体的には、光学素子の焦点距離ｆＧは、後述する方法で測定すればよい。

[0019] 図示例の露光システム５０は、一例として、液晶化合物を配向するための配向膜（光配向膜）となる、光配向性基を有する化合物を含む未露光配向膜２４ａを露光して、配向パターンを有する配向膜を形成するものである。すなわち、図１に示す露光システム５０は、本発明の配光膜の形成方法を実施している。

以下の説明では、光配向性基を有する化合物を含む未露光配向膜２４ａを、便宜的に『未露光配向膜２４ａ』ともいう。図示例において、未露光配向

膜２４ａ（後述する配向膜２４）は、基板２０に支持されている。

[0020] なお、本発明の露光システム５０は、図示例のように未露光配向膜２４ａを露光するのに制限はされない。

すなわち、本発明の露光システム５０は、感光性を有する材料（感光材料）など、公知の各種の材料の露光に利用可能である。

[0021] 露光システム５０は、光源５２が出射した干渉性を持つ光ビームＭを、ビームエクスパンダ素子７０によって拡径して、ビームスプリッタ素子５４によって互いに直交する直線偏光に分割し、一方の直線偏光を集光素子５８で集光した後、２つの直線偏光をビームコンバイナ素子６０で重ね合わせて、偏光変換素子６２によって、円偏光に変換する。

この露光システム５０は、旋回方向が逆方向である２つの円偏光を干渉させて未露光配向膜２４ａに入射することで干渉縞を生成し、この干渉縞で未露光配向膜２４ａを露光して、未露光配向膜２４ａに干渉パターンによる配向パターンを形成するものである。

[0022] なお、光源５２が出射した光ビームＭは、ビームエクスパンダ素子７０に入射する前に、光路調節光学系７２によって、光路が適正になるように調節される。

光路調節光学系７２に関しては、後に詳述する。

[0023] また、上述のように、本発明の露光システム５０において、ビームエクスパンダ素子７０および光路調節光学系７２は、共に、好ましい態様として設けられるものである。従って、本発明の露光システムでは、ビームエクスパンダ素子７０および光路調節光学系７２の一方を有さなくてもよく、あるいは、両方とも有さなくてもよい。

すなわち、本発明の露光システムでは、光源５２が出射した光ビームＭは、ビームエクスパンダ素子７０に直接入射してもよい。あるいは、光源５２が出射した光ビームＭは、光路調節光学系７２から、ビームスプリッタ素子５４に入射してもよい。あるいは、光源５２が出射した光ビームＭは、ビームスプリッタ素子５４に、直接、入射してもよい。

[0024] 露光システム５０において、光源５２は、干渉性を有するコリメート光（平行光）を出射可能であれば、公知の光源を用いることができる。

特に干渉性に優れた光源として、コリメート光を出射するレーザ光源、および、拡散光を出射するレーザ光源とコリメートレンズとの組み合わせが好適に用いられる。

[0025] 本発明の露光システム５０において、光源５２が出射する光ビームＭの波長には制限はない。従って、光源５２が出射する光ビームＭは、紫外線でも、可視光でも、赤外線でもよい。光ビームＭが可視光である場合には、単色の光でも、赤色光と青色光などの２色以上が混合された光でも、白色光でもよい。

ここで、本発明の露光システムは、光配向性基を有する化合物を含む、光配向膜となる塗膜（未露光配向膜２４ａ）の露光に好適に用いられる。この点を考慮すると、光源５２が出射する光ビームＭは紫外線であるのが好ましく、波長３２０～４１０ｎｍの光がより好ましい。

[0026] 光源５２が出射した干渉性を持つ光ビームＭは、光路調節光学系７２を経てビームスプリッタ素子５４に入射する。

ビームスプリッタ素子５４は、光ビームＭを、互いに直交する直線偏光である第１光ビームＭ１と第２光ビームＭ２とに分割する。図示例においては、一例として、第１光ビームＭ１はＳ偏光で、第２光ビームＭ２はＰ偏光である。

ビームスプリッタ素子５４は、例えば、入射した干渉性を持つ光ビームＭを、Ｓ偏光の第１光ビームＭ１と、Ｐ偏光の第２光ビームＭ２とに分割する。第１光ビームＭ１は、本発明における第１の光であり、第２光ビームＭ２は、本発明における第２の光である。

なお、本発明において、光および部材等に付される『第１』および『第２』等の言葉は、２つ（複数）の物を簡便に区別するために、便宜的に付している言葉であり、技術的な意味はない。

[0027] ビームスプリッタ素子５４は、干渉性を持つ光ビームＭを互いに直交する

直線偏光に分割できるものであれば、キューブ型およびプレート型等、公知の偏光ビームスプリッタが、各種、利用可能である。

また、ビームスプリッタ素子５４としては、ハーフミラーおよび無偏光ビームスプリッタなどの干渉性を持つ光ビームＭを分割する光学素子と、少なくとも１つの偏光素子との組み合わせも利用可能である。ハーフミラーおよび無偏光ビームスプリッタ等によって分割された光は、互いに直交する直線偏光とはならないが、偏光素子と組み合わせることで、直交する直線偏光とすることができる。ここで、偏光素子は特に制限されず、ワイヤグリッド偏光子などの反射型偏光子、二色性を有する吸収型偏光素子、および、グラントムソンプリズムなどの偏光プリズム等、公知の各種のものを好適に用いることができる。

[0028] 図示例の露光システム５０は、好ましい態様として、光源５２とビームスプリッタ素子５４との間に、光ビームＭを拡径するためのビームエクスパンダ素子（ビーム拡大素子）を有する。

露光システム５０がビームエクスパンダ素子を有することにより、未露光配向膜２４ａにおける露光領域を大きくして、例えば、大型の光学素子（液晶回折レンズ）等の製造にも、好適に対応することが可能になる。

[0029] ビームエクスパンダ素子には、制限はなく、直線偏光で干渉性を持つ光ビームＭを拡径できるものであれば、ケプラー式ビームエキスパンダ、および、ガリレオ式ビームエキスパンダ等の、公知のビームエクスパンダが、各種、利用可能である。

[0030] 本発明の露光システムにおいて、ビームエクスパンダ素子７０の位置は、光源５２とビームスプリッタ素子５４との間に制限はされない。

例えば、ビームエクスパンダ素子７０を、ビームスプリッタ素子５４とビームコンバイナ素子６０との間の第１光ビームＭ１の光路および第２光ビームＭ２の光路に配置してもよい。ただし、この場合には、ビームエクスパンダ素子７０は、集光素子５８よりも上流に配置する。この点に関しては、第２光ビームＭ２の光路に集光素子を有する場合も、同様である。

また、本発明の露光システムにおいて、ビームエクスパンダ素子７０は、１つの光路に、複数を配置してもよい。例えば、ビームエクスパンダ素子７０を、ビームスプリッタ素子５４の上流および下流の両方に配置してもよい。

[0031] なお、本発明において、上流および下流とは、特に断りが無い場合には、光源５２から未露光配向膜２４ａに至る光ビームＭの進行方向の上流および下流である。

[0032] 第１光ビームＭ１は、ミラー５６ａによって反射され、集光素子５８によって集光されて、ビームコンバイナ素子６０に入射する。従って、集光素子５８を透過した光は、集光され、焦点以降では拡径される。

本発明において、集光素子５８は、本発明における焦点変化集光素子である。すなわち、集光素子５８は、面内すなわち光軸と直交する方向に連続的に変化する焦点距離を有する。さらに、集光素子５８は、焦点距離ｆＬの最大値をｆＬmax、同最小値をｆＬminとした際に、焦点距離ｆＬの最大値ｆＬmaxと最小値ｆＬminとの比『ｆＬmax／ｆＬmin』が１．１超である。この点に関しては、後に詳述する。

[0033] 後述するが、旋回方向が逆の円偏光を干渉させて、干渉光によって未露光配向膜２４ａを露光する本発明の露光システムは、このような集光素子５８（焦点変化集光素子）を用いて未露光配向膜２４ａを露光する。本発明の露光システムは、これにより、面内すなわち光軸と直交する方向において、焦点距離（焦点距離ｆＧ）が連続的に変化する領域を有する、本発明の光学素子（液晶回折レンズ）の作製が可能な配向膜（光配向膜）を形成できる。

集光素子５８に関しては、後に詳述する。

また、以下の説明では、集光素子５８および各種のレンズにおいて、光軸と直交する方向を、便宜的に『面内』ともいう。

[0034] 他方、第２光ビームＭ２は、ミラー５６ｂによって反射されてビームコンバイナ素子６０に入射する。

[0035] ビームコンバイナ素子６０は、入射光の少なくとも一部を透過する第１面

６０ａと、入射光の少なくとも一部を反射する第２面６０ｂとを有する。ビームコンバイナ素子６０の第１面６０ａに入射して透過した光と、第２面６０ｂに入射して反射された光とは、重ね合わされて、ビームコンバイナ素子６０から出射される。

以下の説明では、文章を簡潔にするために、『入射光の少なくとも一部を透過する』および『入射光の少なくとも一部を反射する』等の記載における、『少なくとも一部』の記載は、省略する。

[0036] 図示例の露光システム５０においては、集光素子５８を透過して集光された第１光ビームＭ１がビームコンバイナ素子６０の第１面６０ａに入射して透過し、平行光（コリメート光）である第２光ビームＭ２が第２面６０ｂに入射して反射される。

第１面６０ａに入射して透過した第１光ビームＭ１と、第２面６０ｂに入射して反射された第２光ビームＭ２とは、図１に示すように、重ね合わされる。上述のように、第１光ビームＭ１と第２光ビームＭ２とは、元々、同一であった干渉性を持つ光ビームＭを分割したものである。従って、重ね合わされた第１光ビームＭ１と第２光ビームＭ２とは、互いに干渉する。

[0037] ビームコンバイナ素子６０には、制限はなく、入射光を透過する第１面６０ａと、入射光を反射する第２面６０ｂとを有し、第１面６０ａに入射して透過した光と、第２面６０ｂによって反射された光とを、重ね合わせることができるものであれば、公知のものが利用可能である。

ビームコンバイナ素子６０としては、一例として、キューブ型およびプレート型などの公知のビームスプリッタ、ならびに、ハーフミラー等が利用可能である。

ビームコンバイナ素子６０は、偏光ビームスプリッタであっても無偏光ビームスプリッタであってもよい。ビームコンバイナ素子６０は、第１光ビームＭ１の偏光状態を変換することなく透過し、第２光ビームＭ２の偏光状態を変換することなく反射する性質を有するのが好ましい。

[0038] ビームコンバイナ素子６０によって重ね合わされた第１光ビームＭ１と第

２光ビームＭ２とは、次いで、偏光変換素子６２によって、円偏光に変換される。

上述のように、第１光ビームＭ１と第２光ビームＭ２とは、互いに直交する直線偏光の光である。従って、偏光変換素子６２によって変換された第１光ビームＭ１および第２光ビームＭ２は、例えば、第１光ビームＭ１が右円偏光に、第２光ビームＭ２が左円偏光に変換される。あるいは、偏光変換素子６２によって変換された第１光ビームＭ１および第２光ビームＭ２は、第１光ビームＭ１が左円偏光に、第２光ビームＭ２が右円偏光に変換される。

[0039] 偏光変換素子６２としては、入射光すなわち第１光ビームＭ１および第２光ビームＭ２の波長において、約１／４波長となる面方向のリターデーション（リターデーションＲｅ、位相差）を有する、いわゆる１／４波長板（１／４位相差板、λ／４板）が、好適に例示される。

１／４波長板としては、一例として、リターデーションと波長との比として面方向に０．２４～０．２６である１／４波長板が好ましく例示され、０．２４５～０．２５５である１／４波長板がより好ましく例示される。

なお、偏光変換素子６２は、複数の光学素子を組み合わせたものであってもよい。この際には、偏光変換素子６２を構成する複数の光学素子の個々の光学素子のリターデーションを合計したリターデーションが、約１／４波長となればよい。

[0040] 本発明に用いられる偏光変換素子６２を構成する材料は特に制限されない。

従って、偏光変換素子６２は、例えば、液晶化合物を含む組成物から形成された層であってもよく、あるいは、ポリマーフィルム（ポリマー（樹脂）から形成されるフィルム、特に、延伸処理が施されたポリマーフィルム）から形成された層であってもよい。

ポリマーフィルムとしては、ポリカーボネートフィルム、シクロオレフィンポリマーフィルム、ＴＡＣフィルム、および、ポリイミドフィルム等が挙げられる。

シクロオレフィンポリマーフィルムは、耐光性に優れ長期間の使用に耐える観点で特に好ましい。

[0041] 本発明に用いられる偏光変換素子６２が、複数の層からなる積層型波長板である場合、積層型波長板の各層が、それぞれ独立に異なる材料で構成されていてもよい。

[0042] 本発明に用いられる偏光変換素子６２は、液晶化合物を含む組成物から形成された層であるのが好ましい。偏光変換素子６２を、液晶化合物を含む組成物で形成することにより、偏光変換素子の薄型化が可能であり、光学特性の調節を容易に行うことができる。

液晶化合物を含む組成物は、重合性液晶化合物を含む組成物であるのが好ましい。重合性液晶化合物を含む組成物から形成されている層は、重合性液晶化合物が重合等によって固定されて形成された層であるのが好ましい。

[0043] 液晶化合物の種類は特に制限されない。

なお、液晶化合物は、その形状から、棒状液晶化合物と円盤状液晶化合物（ディスコティック液晶化合物）とに分類できる。さらに、それぞれの液晶化合物で、低分子タイプと高分子タイプとがある。高分子とは一般に重合度が１００以上のものを指す（高分子物理・相転移ダイナミクス，土井正男著，２頁，岩波書店，１９９２）。本発明では、いずれの液晶化合物を用いることもできる。

液晶組成物では、２種以上の棒状液晶化合物、２種以上の円盤状液晶化合物、および、棒状液晶化合物と円盤状液晶化合物との混合物等を用いてもよい。

なお、棒状液晶化合物としては、例えば、特表平１１－５１３０１９号公報の請求項１、および、特開２００５－２８９９８０号公報の段落［００２６］～［００９８］に記載のもの等を好ましく用いることができる。他方、円盤状液晶としては、例えば、特開２００７－１０８７３２号公報の段落［００２０］～［００６７］、および、特開２０１０－２４４０３８号公報の段落［００１３］～［０１０８］に記載のもの等を好ましく用いることがで

きる。

[0044] なお、本発明の露光システムにおいて、偏光変換素子６２の位置は、図示例のビームコンバイナ素子６０の下流に制限はされない。

例えば、偏光変換素子６２は、ビームコンバイナ素子６０の下流ではなく、ビームスプリッタ素子５４からビームコンバイナ素子６０までの第１光ビームＭ１の光路、および、ビームスプリッタ素子５４からビームコンバイナ素子６０までの第２光ビームＭ２の光路に配置してもよい。

なお、ビームコンバイナ素子６０の上流に偏光変換素子６２を配置する場合には、旋回方向が同じ方向の円偏光が、ビームコンバイナ素子６０の第１面６０ａおよび第２面６０ｂに入射するようにする。

ビームコンバイナ素子６０の第１面６０ａおよび第２面６０ｂに入射する円偏光を、旋回方向が同じ円偏光にする方法としては、例えば、第１光ビームＭ１の光路および第２光ビームＭ２の光路に配置する偏光変換素子６２の遅相軸を、直交する直線偏光を同じ旋回方向の円偏光となるように設定する方法が例示される。また、第１光ビームＭ１の光路および第２光ビームＭ２の光路に配置した偏光変換素子６２によって、直交する直線偏光を右円偏光および左円偏光に変換した後、一方の光路に１／２波長板を配置し、この円偏光を他方の光路と旋回方向が同じ円偏光に変換することにより、ビームコンバイナ素子６０の第１面６０ａおよび第２面６０ｂに入射する円偏光を、旋回方向が同じ円偏光にする方法も、利用可能である。

[0045] 上述のように、露光システム５０は、旋回方向が逆方向である２つの円偏光を干渉させて未露光配向膜２４ａに入射することで、干渉縞を生成して未露光配向膜２４ａを露光して、未露光配向膜２４ａに干渉パターンすなわち配向パターンを形成するものである。

露光システム５０において、未露光配向膜２４ａに形成する配向パターンは、集光素子５８によって変化する。言い換えれば、使用する集光素子５８を選択することによって、未露光配向膜２４ａに形成する配向パターンを選択することができる。

ここで、本発明の露光システム５０は、面内すなわち光軸と直交する方向に、焦点距離が連続的に変化する焦点距離を有する、焦点変化集光素子である集光素子５８を用いる。すなわち、集光素子５８は、面内において、光軸から離間する方向に連続的に焦点距離が変化する。

[0046] 図１に示すような、干渉光を用いる露光によって同心円状の配向パターン（干渉パターン）を形成する露光システムでは、通常、集光素子として、正レンズを用いる。この露光システムで用いる正レンズは、通常、面内すなわち光軸と直交する方向において、焦点距離は一定である。

露光システム５０と同様の露光システムにおいて、集光素子が正レンズである場合には、露光システムが未露光配向膜２４ａに形成する配向パターンは、図３に概念的に示すように、短い直線が、一方向に向かって連続的に回転しながら変化するパターンを、図中に矢印で示すように、放射状に有する配向パターンとなる。

言い換えれば、集光素子５８が正レンズである場合には、露光システム５０が未露光配向膜２４ａに形成する配向パターンは、図３に示すような、短い直線が、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、同心円状の配向パターンとなる。すなわち、この配向パターンは、同じ向きの短い直線による円を、同心円状に有するパターンである。

[0047] 露光システム５０では、右円偏光と左円偏光との干渉により、未露光配向膜２４ａに照射される光の偏光状態は、干渉縞状に周期的に変化するものとなる。

ここで、図１に示すように、第１光ビームＭ１は、集光素子（正レンズ）によって集光され、焦点以降では拡散する。従って、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状態が変化する。その結果、内側から外側に向かって周期が短くなる配向パターンが得られる。

[0048] 具体的には、この配向パターンでは、短い直線が、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、矢印A_4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。以下の説明では、向きが連続的に回転しながら変化する短い直線を、便宜的に『短線』ともいう。

短線の回転方向は、全ての方向（一方向）で同じ方向である。図示例では、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、および、矢印A_4で示す方向の全ての方向で、短線の回転方向は、反時計回りである。

すなわち、矢印A_1と矢印A_4とを１本の直線と見なすと、この直線上では、中心で、短線の回転方向が逆転する。一例として、矢印A_1と矢印A_4とが成す直線が、図中右方向（矢印A_1方向）に向かうとする。この場合には、短線は、最初は、外方向から中心に向かって時計回りに回転し、中心で回転方向が逆転し、その後は、中心から外方向に向かって反時計回りに回転する。

[0049] また、この干渉パターンにおいて、短線の向きが連続的に回転しながら変化する一方向における、短線の向きが１８０°回転する長さを１周期Λとした際に、１周期Λの長さが内側から外側に向かって、漸次、短くなる。

図１に示す露光システム５０において、集光素子として面内における焦点距離が一定の正レンズを用いた場合には、この内側から外側に向かう１周期Λの減少は、反比例的に単調減少する。

[0050] このような配向パターンを有する配向膜を用いて光学素子（液晶回折レンズ）を作製すると、得られる光学素子は、正レンズと同様、図４に概念的に示すように、面内における焦点距離が一定の集光レンズとして作用する。図４において、横軸は光軸すなわち中心からの距離であり、縦軸は、焦点距離である。

なお、１周期Λが短いほど、光学素子における回折が大きくなり、その結果、焦点距離が短くなるのは、上述のとおりである。

[0051] これに対して、本発明の露光システム５０では、このような干渉光を用いて露光を行うことで、同心円状の配向パターン（干渉パターン）を形成する露光システムにおいて、面内すなわち光軸と直交する方向において、連続的に焦点距離が変化する集光素子５８を用いる。

本発明の露光システム５０は、このような構成を有することにより、同心円状の配向パターンにおける１周期Λの減少の程度を、反比例的な単調減少ではなく、増加も含めて、変動させることができる。なお、本発明において、この配向パターンにおける１周期Λの長さが増加する領域は、含んでも含まなくてもよい。

そのため、このような配向パターンを有する配向膜を用いて光学素子を作製することにより、面内すなわち光軸と直交する方向において、焦点距離が連続的に変化する領域を有する光学素子が得られる。具体的には、この光学素子は、配向パターンにおける同心円の中心から外側に向かう方向において、連続的に焦点距離が変化する領域を有する。

[0052] 例えば、後に実施例で示す、図５の左側に概念的に示すような焦点距離プロファイルを有する集光素子５８を用いて未露光配向膜２４ａを露光した場合には、後に実施例で示す、図５の右側に概念的に示すような、面内で光軸から離間する方向に焦点距離が連続的に変化する領域を有する焦点距離プロファイルを有する光学素子を作製できる。

なお、焦点距離プロファイルとは、具体的には、レンズ等の光学素子の面内における、光軸からの距離に応じた焦点距離の変化である。従って、先と同様、図５において、横軸は光軸からの距離であり、縦軸は焦点距離である。従って、上述した面内における焦点距離が一定の一般的な光学素子は、上述した図４に示すように、横一直線の焦点距離プロファイルとなる。

図５の左に示す集光素子５８の焦点距離プロファイルは、上述した『ｆＬ＝Ｄｓ／ｓｉｎθ』を用いて、図５の右に示す作製した光学素子（回折素子）の焦点距離プロファイルは、上述した『ｆＧ＝Ｄｓ／ｔａｎθ』を用いて、それぞれ、算出したものである。

[0053] すなわち、本発明の露光システムによれば、例えば光学素子の作製において、境界領域等を有さず、連続的に焦点距離が変化する領域を有する光学素子が得られる配向膜を、簡便かつ高い生産性で形成できる。

[0054] 本発明の露光システム５０において、集光素子５８は、面内すなわち光軸

と直交する方向に連続的に変化する焦点距離を有する。

ここで、集光素子５８の焦点距離プロファイルには制限はない。

露光システム５０が形成する配向膜の配向パターン（干渉パターン）、すなわち、光学素子の焦点距離プロファイルは、基本的に、集光素子５８の焦点距離プロファイルによって決まる。従って、集光素子５８の焦点距離プロファイルは、目的とする光学素子の焦点距離プロファイルに応じて、この焦点距離プロファイルを有する光学素子が得られるプロファイルを、設計およびシミュレーション等によって、適宜、設定すればよい。

[0055] ここで、集光素子５８は、焦点距離プロファイルにおいて、１以上の極値を有するのが好ましい。焦点距離プロファイルにおける極値とは、焦点距離が減少から増加に転じる点（極大）、および、焦点距離が増加から減少に転じる点（極小）、である。

集光素子５８が、焦点距離プロファイルにおいて１以上の極値を有することにより、焦点距離プロファイルの変化が複雑な光学素子を作製できる配向パターンの形成が可能になる。

集光素子５８の焦点距離プロファイルにおける極値の数は、２以上がより好ましい。

[0056] さらに、集光素子５８は、焦点距離が連続的に変化する焦点距離プロファイルを有する焦点変化集光素子であり、かつ、焦点距離ｆＬの最大値をｆＬmax、最小値をｆＬminとした際に、最大値ｆＬmaxと最小値ｆＬminとの比『ｆＬmax／ｆＬmin』が１．１超である。

[0057] 具体的には、集光素子５８がレンズ（光学レンズ）である場合には、集光素子５８は、以下に示す集光素子である。

すなわち、図２に概念的に示すように、集光素子５８の光軸Ｏａと直交する方向における、光軸Ｏａからの距離を距離Ｄｓとする。また、集光素子５８の光軸Ｏａから距離Ｄｓだけ離れた位置に入射した、光軸Ｏａと平行な光線が、集光素子５８を透過した後に光軸Ｏａと成す角度をθとする。さらに、『ｆＬ＝Ｄｓ／ｓｉｎθ』で示される『ｆＬ』を、集光素子５８における

、光軸Ｏａからの距離Ｄｓの位置での焦点距離ｆＬとする。

本発明において、集光素子５８がレンズである場合には、このように定義される焦点距離ｆＬが、光軸Ｏｓと直交する方向に連続的に変化する、焦点変化集光素子である。また、集光素子５８は、このように定義される焦点距離ｆＬの最大値をｆＬmax、最小値をｆＬminとした際に、最大値ｆＬmaxと最小値ｆＬminとの比『ｆＬmax／ｆＬmin』が１．１超である。

[0058] 比『ｆＬmax／ｆＬmin』が１．１未満では、十分な焦点距離プロファイルの変化を有する光学素子に対応する配向膜を形成できない等の不都合が生じる。

十分な焦点距離プロファイルの変化を有する光学素子に対応する配向膜を好適に液性できる等の点で、比『ｆＬmax／ｆＬmin』は、１．２以上が好ましく、１．３以上がより好ましい。

比『ｆＬmax／ｆＬmin』の上限には、制限はないが、設計、集光素子の製造および光学素子製造の困難性等を考慮すると、２００以下が好ましく、１００以下がより好ましい。

[0059] 本発明の露光システムにおいて、集光素子５８には制限はなく、上記条件を満たすものであれば、各種の光学素子が利用可能である。

ここで、集光素子５８は、複数のレンズを有するのが好ましい。また、集光素子５８は、非球面レンズおよびシリンダーレンズ（シリンドリカルレンズ）の、少なくとも一方を有するのが好ましい。

一例として、図６に概念的に示すような、負メニスカスレンズ８０、曲率の異なる両正レンズ８２、および、非球面を有する正メニスカスレンズ８４、を組み合わせた集光素子５８が例示される。

[0060] また、本発明においては、集光素子５８としてシリンダーレンズを用いる方法、または、集光素子５８にシリンダーレンズを含める方法によって、集光素子５８において、非軸対称な焦点距離プロファイルを得る方法も利用可能である。また、本発明においては、第１光ビームＭ１の進行方向に対して、集光素子となる正レンズの光軸を傾けて配置する方法によって、集光素子

５８の焦点距離プロファイルを非軸対称にする方法も利用可能である。

さらに、本発明においては、集光素子となる正レンズの光軸に対して未露光配向膜２４ａの表面（露光面）を傾けて配置することにより、集光素子５８の焦点距離プロファイルを非軸対称にする方法も、利用可能である。

また、第２光ビームＭ２の進行方向を、ビームコンバイナ素子６０の入射面に対して傾けて入射することによって、集光素子５８の焦点距離プロファイルを非軸対称にする方法も利用可能である。

以上の方法は、２以上を組み合わせて用いてもよい。

[0061] 未露光配向膜２４ａは、集光素子５８の焦点の下流に配置されてもよいし、上流に配置されてもよい。

被照射体を集光素子５８の焦点の下流に配置することで、集光素子５８と被照射体との間に、ビームコンバイナ素子６０および偏光変換素子６２等を配置するスペースを確保できる。また、被照射体を集光素子５８の焦点の上流に配置することで、露光システム５０を小型化することができる。

[0062] 図示例の露光システム５０においては、ビームコンバイナ素子６０の第１面６０ａを透過する第１光ビームＭ１の光路のみに集光素子５８を配置しているが、本発明は、これに制限はされない。

すなわち、集光素子５８は、ビームコンバイナ素子６０の第２面６０ｂで反射される第２光ビームＭ２の光路のみに配置してもよく、第１光ビームＭ１の光路および第２光ビームＭ２の光路の両方に集光素子５８を配置してもよい。ただし、第１光ビームＭ１の光路および第２光ビームＭ２の光路の両方に集光素子５８を配置する場合には、第１光ビームＭ１の光路と第２光ビームＭ２の光路とで、異なる集光素子５８を配置する。

この場合、例えば２つの球面波の干渉による配向パターンが形成されるため、配向パターンの自由度を高めることができる。

また、第１光ビームＭ１の光路および第２光ビームＭ２の光路の両方に集光素子を配置する場合には、一方は集光素子５８すなわち本発明における焦点変化集光素子とし、他方は、面内で焦点距離が変化しない通常の正レンズ

であってもよい。

[0063] また、集光素子５８の配置位置も、ビームコンバイナ素子６０の上流に制限はされず、各種の位置が利用可能である。この際には、配置する集光素子５８は、複数であってもよい。

一例として、第１光ビームＭ１の光路および第２光ビームＭ２の光路の少なくとも一方に集光素子５８を設けた上で、さらに、ビームコンバイナ素子６０と偏光変換素子６２との間に、集光素子５８を配置してもよい。

[0064] ところで、第１光ビームＭ１は、集光素子５８によって集光され、焦点以降では拡散する。すなわち、ビームコンバイナ素子６０から出射した第１光ビームＭ１は、一部が、光軸に対して角度を有する。

この第１光ビームＭ１と光軸との角度が大きいほど、未露光配向膜２４ａに形成される配向パターン（干渉パターン）が微細になる。具体的には、未露光配向膜２４ａの主面に垂直な方向すなわち法線方向を０°とした際に、未露光配向膜２４ａに入射する第１光ビームＭ１の角度が大きいほど、微細な干渉パターンを得ることができる。すなわち、未露光配向膜２４ａに入射する第１光ビームＭ１が広角であるほど、未露光配向膜２４ａには、微細な干渉パターンが形成される。

具体的には、図３に示すような、短線が、一方向に向かって連続的に回転しながら変化するパターンであれば、未露光配向膜２４ａに入射する第１光ビームＭ１が広角であるほど、上述した、一方向（矢印の方向）に向かって短線が１８０°回転する１周期Λが短くなる。

なお、主面とは、シート状物（フィルム、層、板状物、膜）の最大面である。

[0065] 本発明の露光システム５０において、集光素子５８を透過して、ビームコンバイナ素子６０から出射した光の光軸に対する角度には、制限はない。

ここで、集光素子５８を透過した光（図示例で第１光ビームＭ１）は、集光素子５８に平行光を入射した際に、ビームコンバイナ素子６０から出射する光の少なくとも一部が、光軸に対して１５°以上の角度であるのが好まし

い。

ビームコンバイナ素子６０から出射する光の光軸に対する角度の最大値は、１７°以上がより好ましく、２０°以上がさらに好ましい。

ビームコンバイナ素子６０から出射する光の少なくとも一部が、光軸に対して１５°以上の角度を有することにより、微細な干渉パターンを形成できる。特に、図示例のように、集光素子５８を通過しない光（図示例で第２光ビームＭ２）が平行光である場合には、好適に微細な干渉パターンを形成できる。

[0066] 本発明の露光システム５０においては、未露光配向膜２４ａに照射される光の強度が、未露光配向膜２４ａの面内で均一であるのが好ましい。

具体的には、本発明の露光システム５０においては、光の強度は、被露光媒体の露光面において、面内（光軸と直交する方向）における光の強度の最大値／最小値の比で、２５倍以下であるのが好ましい。図示例においては、未露光配向膜２４ａの表面において、光の強度が、最大値／最小値の比で、２５倍以下であるのが好ましい。

なお、この際における光の強度とは、照度である。

このような構成を有することにより、未露光配向膜２４ａの露光精度を向上できる等の点で好ましい。

被露光媒体の露光面内の光の強度の最大値／最小値の比は、１０倍以下がより好ましく、５倍以下がさらに好ましく、１すなわち全面で均一強度であるのが最も好ましい。

[0067] 本発明の露光システム５０において、光源５２から未露光配向膜２４ａに至る光路長の長さには制限はないが、ビームスプリッタ素子５４とビームコンバイナ素子６０との間の光路長が８００ｍｍ以下であるのが好ましい。

このような構成を有することにより、露光システム５０の小型化を図れる、空気の揺らぎ、および、その他の振動等に起因する露光精度の低下を抑制できる等の点で好ましい。

ビームスプリッタ素子５４とビームコンバイナ素子６０との間の光路長は

、６００ｍｍ以下がより好ましく、４００ｍｍ以下がさらに好ましい。

[0068] 露光システム５０を構成する光学素子の表面で反射される光は、ノイズとなって、未露光配向膜２４ａの露光精度を低下してしまう。

この点を考慮すると、好ましくは、露光システム５０を構成する光学部材の少なくとも１つの光学素子、より好ましくはより多くの光学素子、さらに好ましくはビームエクスパンダ素子７０を含んでビームエクスパンダ素子７０より下流の全ての光学素子、特に好ましくは全ての光学素子は、光源５２が出射する波長の光の表面反射率が０．５％以下である。

なお、各光学素子において、表面反射率が０．５％以下である面は、少なくとも一方の面でもよいが、好ましくは光の入射面および出射面の両面である。

これにより、ノイズによる露光精度の低下を抑制して、より高精度な配向パターンを未露光配向膜２４ａ（配向膜２４）に形成できる。

光学部材の表面反射率は、０．３％以下がより好ましく、０．２％以下がさらに好ましい。

[0069] 光学部材の表面反射率を０．５％以下とする方法には、制限はなく、公知の方法が、各種、利用可能である。

一例として、表面にＡＲ（Anti Reflection）層（ＡＲフィルム）を設ける方法、表面にモスアイ層（モスアイフィルム）を設ける方法等が例示される。

[0070] 上述のように、図示例の露光システム５０は、光源５２とビームエクスパンダ素子７０との間に、ビームエクスパンダ素子７０よりも上流において光源５２が出射した光ビームＭを検出して、光ビームＭの光路（光軸）を調節する、光路調節光学系７２を有する。

図示例において、光路調節光学系７２は、作動ミラー７４ａおよび７４ｂと、ミラー７６と、検出器７８ａおよび７８ｂとを有する。

[0071] 作動ミラーおよび７４ｂは、ピエゾ素子等のアクチュエータによって、角度を調節できる、公知の角度可変ミラーである。

検出器７８ａは、作動ミラー７４ａへの光ビームＭの入射位置を検出する検出器（ディテクタ）である。検出器７８ｂは、ミラー７６への光ビームＭの入射位置を検出する検出器である。検出器７８ａおよび７８ｂによる光ビームＭの検出方法は、作動ミラー７４ａおよびミラー７６を透過する光をダイオードディテクタで検出する方法等の公知の方法が、各種、利用可能である。

ミラー７６は、公知の反射ミラーである。

[0072] 露光システム５０において、光路調節光学系７２は、未露光配向膜２４ａの露光中に、検出器７８ａによる作動ミラー７４ａ上における光ビームＭの入射位置の検出、および、検出器７８ｂによるミラー７６上における光ビームＭの入射位置の検出を行う。

光路調節光学系７２は、この光ビームＭの検出結果に応じて、光源５２からビームエクスパンダ素子７０に至る光ビームＭの光路が適正になるように、作動ミラー７４ａおよび作動ミラー７４ｂの角度を調節する。

[0073] 露光システム５０のみならず、各種の光学システムは、継時と共に光源５２が変動し、光ビームの光路がズレてしまう。

その結果、未露光配向膜２４ａへの干渉光の入射位置がズレ、未露光配向膜２４ａ上における露光位置が目的とする位置と異なってしまう。また、各光学素子への光ビームＭの入射位置および角度のズレとなる。光学素子への入射位置および入射角度のズレが生じると、各光学素子が所定の光学性能を発現できず、未露光配向膜２４ａの露光精度が低下してしまう。

これに対して、図示例の露光システム５０は、好ましい態様として、光ビームＭの光路を調節する光路調節光学系７２を有することにより、光ビームＭの光路を適正な位置として、未露光配向膜２４ａの露光を行うことができる。これにより、露光システム５０では、未露光配向膜２４ａの目的とする位置に、高精度な露光を行うことができる。

[0074] なお、本発明の露光システムにおいて、光路調節光学系は、図示例の構成に制限はされず、各種の光学システム（光学装置）で用いられる、公知の光

ビームの光路の自動調節手段が、各種、利用可能である。

一例として、図示例のようなビームスプリッタ素子５４の上流ではなく、ビームコンバイナ素子６０よりも下流において、第１光ビームＭ１と第２光ビームＭ２との干渉光による干渉縞を検出し、干渉縞の検出結果に応じて、適切な干渉縞が得られるように、第１光ビームＭ１および／または第２光ビームＭ２の光路を調節する手段が例示される。

図示例であれば、偏光変換素子６２の下流で干渉縞を検出し、適切な干渉縞が得られるように、ミラー５６ａおよび／またはミラー５６ｂの角度を調節して、第１光ビームＭ１および／または第２光ビームＭ２の光路を調節する方法が例示される。

この光ビーム光路の調節手段において、干渉縞の検出は、露光面上に撮像面がくるように撮像素子を置くことで可能である。

また、これらの光ビーム光路の調節手段は、１つのみを用いてもよく、複数の調節手段を併用してもよい。

[0075] 上述のように、未露光配向膜２４ａは、光配向性基を有する化合物を含む塗膜である。すなわち、図１に示す露光システム５０は、光配向性基を有する化合物を含む塗膜を、本発明の露光システムで露光する、本発明の配向膜の形成方法を実施するものである。

また、図示例において、未露光配向膜２４ａすなわち配向膜２４は、基板２０によって支持されている（図８参照）。ずなわち、図１に示す本発明の配向膜の形成方法は、一例として、基板２０の上に未露光配向膜２４ａを形成し、この未露光配向膜２４ａを本発明の露光システム５０によって露光することで、光配向膜からなる配向膜２４を形成するものである。

[0076] 基板２０は、未露光配向膜２４ａすなわち配向膜２４、および、後述する光学異方性層２６を支持できるものであれば、各種のシート状物が利用可能である。

基板２０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。

[0077] このような基板２０の表面に、光配向性基を有する化合物を含む塗膜を形成し、この塗膜を乾燥して、未露光配向膜２４ａとする。

その後、乾燥した塗膜を、上述した本発明の露光システム５０によって形成した、円偏光の第１光ビームＭ１と第２光ビームＭ２とを重ね合わせた干渉光を照射する。これにより、未露光配向膜２４ａを干渉パターンすなわち配向パターンで露光して、配向パターンを形成し、同心円状の配向パターンを有する配向膜２４を形成する。

この配向パターンは、同心円の中心から外側に向かう方向における１周期Λの減少の程度が、反比例的な単調減少ではなく、集光素子５８の焦点距離プロファイルに応じて、増加も含めて変動するものであるのは、上述のとおりである。

[0078] 本発明に利用可能な光配向性基を有する化合物、すなわち、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。

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。

[0079] 本発明の光学素子の製造方法は、このようにして形成した配向膜に、液晶化合物を含む組成物を塗布、乾燥して、さらに、必要に応じて液晶化合物を硬化するものである。

これにより、例えば、上述した、同心円状の液晶配向パターンを有する光学素子（液晶回折レンズ）を作製できる。

[0080] 図７および図８に、上述した、集光素子として正レンズを用いた通常の光学システムによって露光した、図３に示す配向パターンを有する配向膜２４に光学異方性層２６を形成した光学素子の一例を概念的に示す。

なお、図７は、光学素子を概念的に示す平面図、図８は、光学素子を概念的に示す断面図である。平面図とは、光学素子を厚さ方向（＝各層（膜）の積層方向）から見た図である。

[0081] 図７および図８に示す光学素子１０は、配向膜２４の上に、液晶化合物を含む組成物を用いて形成された液晶層である光学異方性層２６を有するものである。

上述のように、この配向膜２４は、図３に示すように、短線の向きが、一方向に向か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、内側から外側に向かう放射状に有する、同心円状の配向パターンを有するものである。

[0082] 光学異方性層２６における液晶配向パターンは、配向膜２４（未露光配向膜２４ａ）に形成した配向パターンにしたがう。具体的には、液晶化合物３０は、長手方向を配向膜２４の配向パターンにおける単線の長手方向に一致して、配向される。

従って、このような配向膜２４の上に形成される、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２６は、液晶化合物３０に由来する光学軸の向きが、一方向に向か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、内側から外側に向かう放射状に有するものである。すなわち、図７および図８に示す光学異方性層２６の液晶配向パターンは、液晶化合物３０に由来する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。

なお、図７～図１５（図１４を除く）においては、液晶化合物３０として、棒状液晶化合物を例示しているので、光学軸の方向は、液晶化合物３０の長手方向に一致する。

[0083] 具体的には、光学異方性層２６では、液晶化合物３０の光学軸の向きは、光学異方性層２６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、矢印A_4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。

従って、光学異方性層２６において、液晶化合物３０の光学軸の回転方向は、全ての方向（一方向）で同じ方向である。図示例では、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、および、矢印A_4で示す方向の全ての方向で、液晶化合物３０の光学軸の回転方向は、反時計回りである。

すなわち、矢印A_1と矢印A_4とを１本の直線と見なすと、この直線上では、光学異方性層２６の中心で、液晶化合物３０の光学軸の回転方向が逆転する。一例として、矢印A_1と矢印A_4とが成す直線が、図中右方向（矢印A_1方向）に向かうとする。この場合には、液晶化合物３０の光学軸は、最初は、光学異方性層２６の外方向から中心に向かって時計回りに回転し、光学異方性層２６の中心で回転方向が逆転し、その後は、光学異方性層２６の中心から外

方向に向かって反時計回りに回転する。

[0084] また、光学素子１０の光学異方性層２６において、液晶配向パターンは、液晶化合物３０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おける、液晶化合物に由来する光学軸の向きが１８０°回転する長さを１周期とした際に、１周期の長さが内側から外側に向かって、漸次、短くなる。

ここで、図３に示す配向膜２４は、通常の正レンズを集光素子として用いた露光システムで配向パターンを形成したものであり、上述のように、１周期Λの長さは、内側から外側に向かって、反比例的に単調減少する。

これに対して、本発明の露光システム５０は、光軸と直交する方向に連続的に変化する焦点距離を有する集光素子５８（焦点変化集光素子）を用いる。そのため、本発明の露光システム５０で露光して配向パターンを形成した配向膜２４は、同心円状の配向パターンにおける１周期Λの減少の程度が、反比例的な単調減少ではなく、増加も含めて、変動している。

従って、図７では表現していないが、この配向膜２４に形成した光学異方性層２６における１周期の長さも、内側から外側に向かう単調減少ではなく、増加も含めて、変動している。なお、本発明において、この液晶配向パターンにおける１周期の長さが増加する領域は、含んでも含まなくてもよい。

例えば、上述した図５の右側に示すような焦点距離プロファイルを有する光学素子であれば、この焦点距離プロファイルに応じて、内側から外側に向かって、１周期の長さの減少の程度が変動し、また、１周期の長さが増加する領域を有する。

しかしながら、以下に説明する光学異方性層の光学的な作用等に関しては、１周期の長さの減少の程度が変動する本発明の製造方法による光学異方性層２６も、１周期の長さが単調減少する通常の光学異方性層２３と同様である。

[0085] この液晶配向パターンを有する光学異方性層２６に入射した円偏光は、液晶化合物３０の光学軸の向きが異なる個々の局所的な領域において、それぞれ、絶対位相が変化する。この際に、それぞれの絶対位相の変化量は、円偏

光が入射した液晶化合物３０の光学軸の向きに応じて異なる。

液晶化合物３０の光学軸の向きが、一方向に向か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光学異方性層（光学素子１０）では、透過する光の回折方向は、液晶化合物３０の光学軸の回転方向に依存する。すなわち、この液晶配向パターンでは、液晶化合物３０の光学軸の回転方向が逆の場合には、透過する光の回折方向は、光学軸が回転する一方向に対して逆方向になる。

また、光学異方性層２６による回折角度は、１周期が短いほど、大きくなる。すなわち、光学異方性層２６による光の回折は、１周期が短いほど、大きくなる。

[0086] 従って、このような同心円状の液晶配向パターン、すなわち、放射状に光学軸が連続的に回転して変化する液晶配向パターンを有する光学異方性層２６は、液晶化合物３０の光学軸の回転方向および入射する円偏光の旋回方向に応じて、入射光（光ビーム）を、発散または集束して透過できる。

[0087] 光学異方性層２６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。

なお、図７においては、図面を簡略化して光学素子１０の構成を明確に示すために、光学異方性層２６は、共に、配向膜２４の表面の液晶化合物３０（液晶化合物分子）のみを示している。しかしながら、光学異方性層２６は、図８に概念的に示すように、通常の液晶化合物を含む組成物を用いて形成された光学異方性層と同様に、配向された液晶化合物３０が積み重ねられた構造を有する。

[0088] 光学異方性層２６は、面内リターデーション（面方向のリターデーション）の値をλ／２に設定した場合に、一般的なλ／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。

[0089] 光学異方性層２６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一方向（図７の矢印A_1～矢印A_4方向など）に連続的に回転

しながら変化する液晶配向パターンを、内側から外側に向かう放射状に有する。

なお、液晶化合物３０に由来する光学軸３０Ａとは、液晶化合物３０において屈折率が最も高くなる軸、いわゆる遅相軸である。例えば、液晶化合物３０が棒状液晶化合物である場合には、光学軸３０Ａ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３０に由来する光学軸３０Ａを、『液晶化合物３０の光学軸３０Ａ』または『光学軸３０Ａ』とも言う。

[0090] 以下、この光学異方性層２６について、図９に平面図を概念的に示す、光学軸３０Ａが矢印Ａ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光学異方性層２６Ａを参照して、説明する。

図７に示す、光学軸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放射状に有する同心円状の液晶配向パターンにおいても、光学軸が連続的に回転しながら変化する一方向に関しては、図９に示す液晶配向パターンと同様の光学的な作用効果を発現する。

[0091] 光学異方性層２６Ａにおいて、液晶化合物３０は、矢印Ａで示す一方向と、この矢印Ａ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、後述する図７および図８では、Ｙ方向は、紙面に直交する方向となる。

以下の説明では、『矢印Ａで示す一方向』を単に『矢印Ａ方向』とも言う。

図７に示す光学異方性層２６においては、同心円状の液晶配向パターンにおける、同心円の円周方向が、図９におけるＹ方向に相当する。

[0092] 光学異方性層２６Ａは、光学異方性層２６Ａの面内において、液晶化合物３０に由来する光学軸３０Ａの向きが、矢印Ａ方向に沿って連続的に回転しながら変化する液晶配向パターンを有する。

液晶化合物３０の光学軸３０Ａの向きが矢印Ａ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、矢印Ａ方向に沿って配

列されている液晶化合物３０の光学軸３０Ａと、矢印Ａ方向とが成す角度が、矢印Ａ方向の位置によって異なっており、矢印Ａ方向に沿って、光学軸３０Ａと矢印Ａ方向とが成す角度がθからθ＋１８０°あるいはθ－１８０°まで、順次、変化していることを意味する。

なお、矢印Ａ方向に互いに隣接する液晶化合物３０の光学軸３０Ａ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。

[0093] 一方、光学異方性層２６Ａを形成する液晶化合物３０は、矢印Ａ方向と直交するＹ方向、すなわち光学軸３０Ａが連続的に回転する一方向と直交するＹ方向では、光学軸３０Ａの向きが等しい液晶化合物３０が等間隔で配列されている。

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

図７に示す光学異方性層２６においては、中心を一致する円環状に、光学軸３０Ａの向きが同じである領域が形成され、同心円状の液晶配向パターンを形成する。

[0094] 上述の短線と同様、光学異方性層２６においても、光学軸３０Ａが一方向に向かって連続的に回転する液晶配向パターンにおいては、液晶化合物３０の光学軸３０Ａが１８０°回転する長さ（距離）を、液晶配向パターンにおける１周期の長さΛとする。

すなわち、図９に示す光学異方性層２６Ａであれば、面内で光学軸３０Ａの向きが連続的に回転して変化する矢印Ａ方向において、液晶化合物３０の光学軸３０Ａが１８０°回転する長さ（距離）を、液晶配向パターンにおける１周期Λとなる。言い換えれば、液晶配向パターンにおける１周期Λは、液晶化合物３０の光学軸３０Ａと矢印Ａ方向とのなす角度がθからθ＋１８０°となるまでの距離により定義される。

すなわち、矢印Ａ方向に対する角度が等しい２つの液晶化合物３０の、矢

印Ａ方向の中心間の距離が、１周期Λである。具体的には、図９に示すように、矢印Ａ方向と光学軸３０Ａの方向とが一致する２つの液晶化合物３０の、矢印Ａ方向の中心間の距離が、１周期Λである。

光学異方性層２６Ａ（光学異方性層２６）において、光学異方性層の液晶配向パターンは、この１周期Λを、矢印Ａ方向すなわち光学軸３０Ａの向きが連続的に回転して変化する一方向に繰り返す。

すなわち、光学素子１０は、透過型の液晶回折素子（液晶回折レンズ）でもあり、この１周期Λが、回折構造の周期（１周期）となる。

[0095] なお、光学軸３０Ａが連続的に回転する液晶配向パターンを、放射状に有する同心円状の液晶配向パターンを有する光学素子１０は、光学異方性層２６における、１周期Λが、内側（中心）から外側に向かって、漸次、短くなるのは、上述のとおりである。

[0096] 前述のように光学異方性層２６Ａにおいて、Ｙ方向に配列される液晶化合物は、光学軸３０Ａと矢印Ａ方向（液晶化合物３０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３０Ａと矢印Ａ方向とが成す角度が等しい液晶化合物３０が、Ｙ方向に配置された領域を、領域Ｒとする。

この場合に、それぞれの領域Ｒにおける面内リターデーション（Ｒｅ）の値は、半波長すなわちλ／２であるのが好ましい。これらの面内リターデーションは、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３０Ａの方向の液晶化合物３０の屈折率と、領域Ｒの面内において光学軸３０Ａに垂直な方向の液晶化合物３０の屈折率との差に等しい。つまり、上記屈折率差Δｎは、液晶化合物の屈折率差に等しい。

なお、光学軸３０Ａが一方向に向かって連続的に回転する液晶配向パター

ンを放射状に有する光学素子１０においては、中心を一致して円環状に形成される、光学軸３０Ａの向きが同じである領域が、図９における領域Ｒに相当する。この点に関しては、後述するコレステリック液晶層を有する反射型の光学素子３６でも同様である。

[0097] このような光学異方性層２６Ａに円偏光が入射すると、光は、回折され、かつ、円偏光の方向が変換される。

この作用を、図１０および図１１に概念的に示す。光学異方性層２６Ａは、液晶化合物の屈折率差と光学異方性層の厚さとの積の値がλ／２であるとする。

なお、上述のように、この作用は、光学軸３０Ａが一方向に向かって連続的に回転する液晶配向パターンを放射状に有する光学素子１０においても、全く同様である。

[0098] 図１０に示すように、光学異方性層２６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λ／２の場合に、光学異方性層２６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２６Ａ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、入射光L_1は、光学異方性層２６Ａを通過する際に、それぞれの液晶化合物３０の光学軸３０Ａの向きに応じて絶対位相が変化する。このとき、光学軸３０Ａの向きは、矢印Ａ方向に沿って回転しながら変化しているため、光学軸３０Ａの向きに応じて、入射光L_1の絶対位相の変化量が異なる。さらに、光学異方性層２６Ａに形成された液晶配向パターンは、矢印Ａ方向に周期的なパターンであるため、光学異方性層２６を通過した入射光L_1には、図１０に示すように、それぞれの光学軸３０Ａの向きに対応した矢印Ａ方向に周期的な絶対位相Ｑ１が与えられる。これにより、矢印Ａ方向に対して逆の方向に傾いた等位相面Ｅ１が形成される。

そのため、透過光L_2は、等位相面Ｅ１に対して垂直な方向に向かって傾くように回折され、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、入射方向に対して矢印Ａ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。

[0099] 一方、図１１に概念的に示すように、光学異方性層２６Ａの液晶化合物の屈折率差と光学異方性層の厚さとの積の値がλ／２のとき、光学異方性層２６Ａに右円偏光の入射光L_4が入射すると、入射光L_4は、光学異方性層２６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、入射光L_4は、光学異方性層２６Ａを通過する際に、それぞれの液晶化合物３０の光学軸３０Ａの向きに応じて絶対位相が変化する。このとき、光学軸３０Ａの向きは、矢印Ａ方向に沿って回転しながら変化しているため、光学軸３０Ａの向きに応じて、入射光L_4の絶対位相の変化量が異なる。さらに、光学異方性層２６Ａに形成された液晶配向パターンは、矢印Ａ方向に周期的なパターンであるため、光学異方性層２６を通過した入射光L_4は、図１１に示すように、それぞれの光学軸３０Ａの向きに対応した矢印Ａ方向に周期的な絶対位相Ｑ２が与えられる。

ここで、入射光L_4は、右円偏光であるので、光学軸３０Ａの向きに対応した矢印Ａ方向に周期的な絶対位相Ｑ２は、左円偏光である入射光L_1とは逆になる。その結果、入射光L_4では、入射光L_1とは逆に矢印Ａ方向に傾斜した等位相面Ｅ２が形成される。

そのため、入射光L_4は、等位相面Ｅ２に対して垂直な方向に向かって傾くように回折され、入射光L_4の進行方向とは異なる方向に進行する。このように、入射光L_4は、入射方向に対して矢印Ａ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。

[0100] 光学異方性層２６において、複数の領域Ｒの面内リターデーションの値は、半波長であるのが好ましいが、波長が５５０ｎｍである入射光に対する光学異方性層２６の複数の領域Ｒの面内リターデーションＲｅ（５５０）＝Δｎ$_{550}$×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５５０ｎｍ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２６の厚さである。

２００ｎｍ≦Δｎ$_{550}$×ｄ≦３５０ｎｍ・・・（１）

なお、いわゆるλ／２板として機能するのは光学異方性層２６である。しかしながら、本発明では、基板２０および配向膜２４を有する場合には、これらを一体的に備えた積層体がλ／２板として機能する態様を含む。

[0101] ここで、光学異方性層２６Ａは、形成された液晶配向パターンの１周期Λを変化させることにより、透過光Ｌ$_2$およびＬ$_5$の回折の角度を調節できる。具体的には、液晶配向パターンの１周期Λが短いほど、互いに隣接した液晶化合物３０を通過した光同士が強く干渉するため、透過光Ｌ$_2$およびＬ$_5$を大きく回折させることができる。

また、入射光Ｌ$_1$およびＬ$_4$に対する透過光Ｌ$_2$およびＬ$_5$の回折の角度は、入射光Ｌ$_1$およびＬ$_4$（透過光Ｌ$_2$およびＬ$_5$）の波長によって異なる。具体的には、入射光の波長が長いほど、透過光は大きく回折する。すなわち、入射光が赤色光、緑色光および青色光である場合には、赤色光が最も大きく回折し、青色光の回折が最も小さい。

さらに、矢印Ａ方向に沿って回転する、液晶化合物３０の光学軸３０Ａの回転方向を逆方向にすることにより、透過光の回折の方向を、逆方向にできる。

[0102] 光学異方性層２６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を用いて形成されるものであり、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、上記のように配向された液晶配向パターンを有している。

基板２０上に、上述した液晶配向パターンに応じた配向パターンを有する配向膜２４を形成し、配向膜２４上に液晶組成物を塗布して、硬化することにより、液晶組成物の硬化層からなる光学異方性層を得ることができる。

なお、光学異方性層２６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。

[0103] また、光学異方性層２６は、入射光の波長に対して広帯域であることが望ましく、複屈折率が逆分散となる液晶材料を用いて構成されていることが好ましい。

[0104] ―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。

[0105] 光学異方性層２６では、棒状液晶化合物を重合によって配向を固定することがより好ましく、重合性棒状液晶化合物としては、Ｍａｋｒｏｍｏｌ．Ｃｈｅｍ．，　１９０巻、２２５５頁（１９８９年）、Ａｄｖａｎｃｅｄ　Ｍａｔｅｒｉａｌｓ　５巻、１０７頁（１９９３年）、米国特許４６８３２７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。

[0106] ―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３０は厚さ方向に立ち上がっており、液晶化合物に由来する光学軸３０Ａは、円盤面に垂直な軸、いわゆる進相軸として定義される。

[0107] なお、図８に示す光学異方性層２６は、厚さ方向には、液晶化合物が同じ方向に配向されている。

しかしながら、本発明の製造方法で作製する光学素子１０の光学異方性層２６は、これに制限はされず、後述するコレステリック液晶層３４のように、液晶化合物３０が厚さ方向に螺旋状に捩れ配向したものであってもよい。

光学異方性層２６において、液晶化合物３０を厚さ方向に螺旋状に捩れ配向することにより、回折効率を向上することができる。

また、光学異方性層２６において、液晶化合物３０を厚さ方向に螺旋状に捩れ配向することにより、入射光の波長に対して光学異方性層を実質的に広帯域化することもできる。例えば、光学異方性層２６において、捩れ方向が異なる２層を積層することによって広帯域のパターン化されたλ／２板を実現する方法が特開２０１４－０８９４７６号公報等に示されており、本発明において好ましく使用することができる。

この構成に関しては、後に詳述する。

[0108] 液晶化合物３０を厚さ方向に螺旋状に捩れ配向した光学異方性層２６において、液晶化合物３０の捩れ角には制限はなく、反射層（コレステリック液晶層）として作用しない捩れ角であればよい。

液晶化合物３０の捩れ角は、０°超１８０°以下が好ましく、０°超９０°以下がより好ましい。

[0109] このように厚さ方向に液晶化合物が捩れ配向した光学異方性層２６は、光学異方性層２６を形成するための液晶組成物に、後述するキラル剤を添加することで形成できる。

また、液晶化合物３０の捩れ角は、添加するキラル剤の種類、および、キラル剤の添加量等で調節できる。

[0110] なお、図７および図８に示す光学素子１０は、基板２０および配向膜２４

を有しているが、本発明の製造方法で製造する光学素子すなわち本発明の光学素子は、これに制限はされない。

例えば、本発明の製造方法で製造する本発明の光学素子は、図７等に示す光学素子１０から基板２０を剥離した、光学異方性層２６と配向膜２４とで構成されるものでもよく、あるいは、図７等に示す光学素子１０から基板２０および配向膜２４を剥離した、光学異方性層２６のみで構成されるものでもよく、あるいは、この光学異方性層２６を別の支持体に貼着したものであってもよい。

この点に関しては、以下に示す、コレステリック液晶層を有する光学素子も、同様である。

[0111] 以上の光学素子１０は、円偏光を透過して回折する透過型の光学素子１０であるが、本発明の製造方法で製造する光学素子は、これに制限はされない。

すなわち、本発明の製造方法で製造する光学素子は、コレステリック液晶層を有する、反射型の光学素子（液晶回折レンズ）であってもよい。

[0112] 図１２に、本発明の製造方法で製造する反射型の光学素子の一例を概念的に示す。なお、図１２に示す光学素子３６は、上述した透過型の光学素子１０と同じ部材を多用する。従って、同じ部材には、同じ符号を付し、以下の説明は、異なる部位を主に行う。

図１２は、反射型の光学素子３６の層構成を概念的に示す図である。光学素子３６は、上述した基板２０および配向膜２４と、反射型の光学素子３６としての作用を発現するコレステリック液晶層３４とを有する。

コレステリック液晶層３４における液晶化合物３０の液晶配向パターンは、上述した光学素子１０と同様、図７に示す、光学軸３０Ａが矢印Ａ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、放射状に有するものである。

[0113] なお、１周期の長さに関しては、図１２等に示す通常の同心円状の液晶配向パターンを有するコレステリック液晶層３４は、内側から外側に向かう単

調減少である。

これに対して、本発明の製造方法による同心円状の液晶配向パターンを有するコレステリック液晶層３４は、増加も含んで、１周期の長さの減少の程度が変動するのは、上述した光学異方性層２６と同様である。

しかしながら、以下に説明するコレステリック液晶層の光学的な作用等に関しては、１周期の長さの減少の程度が変動する本発明の製造方法によるコレステリック液晶層３４も、１周期の長さが単調減少する通常のコレステリック液晶層３４と同様である。

[0114] 図１３は、コレステリック液晶層３４の主面の面内における液晶化合物３０の配向状態を説明するための模式図である。なお、図１３は、コレステリック液晶層３４の配向膜２４との対向面における配向状態を示している。

上述した図９と同様、図１３に示すコレステリック液晶層３４Ａは、コレステリック液晶層３４を説明するために、光学軸３０Ａが矢印Ａ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で示している。しかしながら、光学軸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放射状（同心円状）に有する液晶配向パターンにおいても、光学軸が連続的に回転しながら変化する一方向に関しては、図１３に示す液晶配向パターンと同様の光学的な作用効果を発現する。

また、上述した図９と同様、図１３においても、図７に示す同心円状の液晶配向パターンにおける、同心円の円周方向が、図１３におけるＹ方向に相当する。

[0115] 図１２に示すように、コレステリック液晶層３４は、液晶化合物３０がコレステリック配向された層である。また、図１２および図１３は、コレステリック液晶層を構成する液晶化合物が、棒状液晶化合物の場合の例である。

以下の説明では、コレステリック液晶層を、単に液晶層ともいう。

[0116] 光学素子３６において、基板２０および配向膜２４は、先と同様のものである。

光学素子３６は、図３に示す配向パターンを有する配向膜２４の上に、図

７に示す液晶配向パターンを有する液晶層３４（コレステリック液晶層）を有する。

[0117] 液晶層３４は、液晶化合物をコレステリック配向して、コレステリック液晶相を固定してなる、コレステリック液晶層である。本例において、コレステリック液晶層は、液晶化合物由来の光学軸の向きが面内の少なくとも一方向に沿って連続的に回転しながら変化している液晶配向パターンを有する。

[0118] 液晶層３４は、図１２に概念的に示すように、通常のコレステリック液晶相を固定してなるコレステリック液晶層と同様に、液晶化合物３０が螺旋状に旋回して積み重ねられた螺旋構造を有し、液晶化合物３０が螺旋状に１回転（３６０°回転）して積み重ねられた構成を螺旋１ピッチ（螺旋ピッチＰ）として、螺旋状に旋回する液晶化合物３０が、複数ピッチ、積層された構造を有する。

[0119] 周知のように、コレステリック液晶相は、特定の波長において左右いずれかの円偏光に対して選択反射性を示す。反射光が右円偏光であるか左円偏光であるかは、コレステリック液晶相の螺旋の捩れ方向（センス）による。コレステリック液晶相による円偏光の選択反射は、コレステリック液晶相の螺旋の捩れ方向が右の場合は右円偏光を反射し、螺旋の捩れ方向が左の場合は左円偏光を反射する。

なお、コレステリック液晶相の旋回の方向は、コレステリック液晶層を形成する液晶化合物の種類および／または添加されるキラル剤の種類によって調節できる。

[0120] また、選択反射を示す選択反射帯域（円偏光反射帯域）の半値幅Δλ（ｎｍ）は、コレステリック液晶相のΔｎと螺旋ピッチＰとに依存し、『Δλ＝Δｎ×螺旋ピッチ』の関係に従う。そのため、選択反射帯域の幅の制御は、Δｎを調節して行うことができる。Δｎは、コレステリック液晶層を形成する液晶化合物の種類およびその混合比率、ならびに、配向固定時の温度により調節できる。

従って、液晶層３４が反射（回折）する光の波長は、例えば液晶層３４の

螺旋ピッチＰを調節して、液晶層の選択的な反射波長帯域を適宜設定すればよい。

[0121] 図１３に示すように、液晶層３４において、液晶化合物３０は、矢印Ａ方向、および、矢印Ａ方向と直交するＹ方向に沿って配列している。液晶化合物３０の光学軸３０Ａの向きは、面内の一方向すなわち矢印Ａ方向に連続的に回転しながら変化している。また、Ｙ方向では、光学軸３０Ａの向きが等しい液晶化合物３０が等間隔で配向している。

なお、「液晶化合物３０の光学軸３０Ａの向きが面内の一方向に連続的に回転しながら変化している」とは、上述した光学異方性層２６と同様、液晶化合物３０の光学軸３０Ａと矢印Ａ方向とのなす角度が、矢印Ａ方向の位置により異なっており、矢印Ａ方向に沿って光学軸３０Ａと矢印Ａ方向とのなす角度がθから$\theta+180°$あるいは$\theta-180°$まで徐々に変化していることを意味する。つまり、矢印Ａ方向に沿って配列する複数の液晶化合物３０は、図１３に示すように、光学軸３０Ａが矢印Ａ方向に沿って一定の角度ずつ回転しながら変化する。

なお、矢印Ａ方向に互いに隣接する液晶化合物３０の光学軸３０Ａ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。

[0122] 上述した光学異方性層２６と同様、液晶層３４においても、このような液晶化合物３０の液晶配向パターンにおいて、面内で光学軸３０Ａが連続的に回転して変化する矢印Ａ方向において、液晶化合物３０の光学軸３０Ａが１８０°回転する長さ（距離）を、液晶配向パターンにおける１周期の長さΛとする。

液晶層３４Ａの液晶配向パターンは、この１周期Λを、矢印Ａ方向すなわち光学軸３０Ａの向きが連続的に回転して変化する一方向に繰り返す。光学素子３６は、反射型の液晶回折素子でもあり、先と同様、この１周期Λが、回折構造の周期（１周期）となる。

[0123] 一方、液晶層３４Ａを形成する液晶化合物３０は、矢印Ａ方向と直交する

方向（図１３においてはＹ方向）、すなわち、光学軸３０Ａが連続的に回転する一方向と直交するＹ方向では、光学軸３０Ａの向きが等しい。図７に示す液晶配向パターンにおいては、このＹ方向は、同心円の円周方向であるのは、上述のとおりである。

言い換えれば、液晶層３４を形成する液晶化合物３０は、Ｙ方向では、液晶化合物３０の光学軸３０Ａと矢印Ａ方向（Ｘ方向）とが成す角度が等しい。

[0124] 図１２に示す液晶層３４ＡのＸ－Ｚ方向の断面を走査型電子顕微鏡（ＳＥＭ：Scanning Electron Microscope）で観察すると、図１４に示すような明線４２と暗線４４とが交互に配列された配列方向が、主面（Ｘ－Ｙ面）に対して所定角度で傾斜している縞模様が観察される。

この明線４２および暗線４４の間隔は、基本的に、コレステリック液晶層の螺旋ピッチＰに依存する。

従って、コレステリック液晶層が選択的に反射する光の波長帯域は、明線４２および暗線４４の間隔に相関する。すなわち、明線４２および暗線４４の間隔が長ければ、螺旋ピッチＰが長いので、コレステリック液晶層が選択的に反射する光の波長帯域は長波長になり、逆に、明線４２および暗線４４の間隔が短ければ、螺旋ピッチＰが短いので、コレステリック液晶層が選択的に反射する光の波長帯域は短波長になる。

コレステリック液晶層では、基本的に、明線４２と暗線４４の繰り返し２回分が、螺旋ピッチＰに相当する。従って、このようなＳＥＭで観察する断面において、隣接する明線４２から明線４２、または、暗線４４から暗線４４の、明線４２または暗線４４が成す線の法線方向（直交方向）における間隔が、螺旋ピッチＰの１／２ピッチに相当する。

すなわち、螺旋ピッチＰは、明線４２から明線４２、または、暗線４４から暗線４４の線に対する法線方向の間隔を１／２ピッチとして、測定すればよい。

[0125] 以下、液晶層３４Ａによる回折の作用について説明する。

従来のコレステリック液晶層において、コレステリック液晶相に由来する螺旋軸は、主面に対して垂直であり、その反射面は主面と平行な面である。また、液晶化合物の光学軸は、主面に対して傾斜していない。言い換えると、光学軸は主面に対して平行である。したがって、従来のコレステリック液晶層のＸ－Ｚ面をＳＥＭにて観察すると、明線と暗線とが交互に配列された配列方向は主面と垂直となる。

コレステリック液晶相は鏡面反射性であるため、例えば、コレステリック液晶層に法線方向から光が入射される場合、法線方向に光が反射される。

[0126] これに対して、液晶層３４Ａは、入射した光を、鏡面反射に対して矢印Ａ方向に傾けて反射する。液晶層３４Ａは、面内において、矢印Ａ方向（所定の一方向）に沿って光学軸３０Ａが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ものである。以下、図１５を参照して説明する。

[0127] 液晶層３４Ａは、一例として、緑色光の右円偏光G_Rを選択的に反射するコレステリック液晶層であるとする。従って、液晶層３４に光が入射すると、液晶層３４は、緑色光の右円偏光G_Rのみを反射し、それ以外の光を透過する。

[0128] 液晶層３４Ａでは、液晶化合物３０の光学軸３０Ａが矢印Ａ方向（一方向）に沿って回転しながら変化している。

液晶層３４Ａに形成された液晶配向パターンは、矢印Ａ方向に周期的なパターンである。そのため、液晶層３４に入射した緑色光の右円偏光G_Rは、図１５に概念的に示すように、液晶配向パターンの周期に応じた方向に反射（回折）され、反射された赤色光の右円偏光ＲＲは、ＸＹ面（コレステリック液晶層の主面）に対して矢印Ａ方向に傾いた方向に反射（回折）される。

[0129] また、同じ波長で、同じ旋回方向の円偏光を反射する場合に、矢印Ａ方向に向かう液晶化合物３０の光学軸３０Ａの回転方向を逆にすることで、円偏光の反射方向を逆にすることができる。

例えば、図１２および図１３においては、矢印Ａ方向に向かう光学軸３０Ａの回転方向は時計回りで、ある円偏光が矢印Ａ方向に傾けて反射されるが

、これを反時計回りとすることで、ある円偏光が矢印Ａ方向とは逆方向に傾けて反射される。

[0130] さらに、同じ液晶配向パターンを有する液晶層では、液晶化合物３０の螺旋の旋回方向すなわち反射する円偏光の旋回方向によって、反射方向が逆になる。

例えば、液晶層の螺旋の旋回方向が右捩じれの場合、右円偏光を選択的に反射するものであり、矢印Ａ方向に沿って光学軸３０Ａが時計回りに回転する液晶配向パターンを有することにより、右円偏光を矢印Ａ方向に傾けて反射する。

[0131] また、例えば、液晶層の螺旋の旋回方向が左捩じれの場合、左円偏光を選択的に反射するものであり、矢印Ａ方向に沿って光学軸３０Ａが時計回りに回転する液晶配向パターンを有する液晶層は、左円偏光を矢印Ａ方向と逆方向に傾けて反射する。

[0132] 従って、光学素子３６は、液晶層３４における内側から外側に向かう光学軸３０Ａの回転方向、および、液晶層３４が選択的に反射する円偏光の旋回方向に応じて、入射光を拡散するように反射する凸面鏡、および、入射光を集光するように反射する凹面鏡として用いることができる。

[0133] 上述のように、反射型の光学素子３６として作用する液晶層３４では、液晶化合物３０の液晶配向パターンにおいて、液晶化合物３０の光学軸３０Ａが１８０°回転する長さである１周期Λが、回折構造の周期（１周期）である。また、液晶層３４において、液晶化合物３０の光学軸３０Ａが回転しながら変化している一方向（矢印Ａ方向）が回折構造の周期方向である。

[0134] 液晶配向パターンを有する液晶層では、１周期Λが短いほど、入射光に対する反射光の回折角度が大きくなる。すなわち、１周期Λが短いほど、入射光を大きく回折して、鏡面反射とは大きく異なる方向に向けて反射できる。

本発明において、液晶層３４の１周期Λには、制限はなく、光学素子３６の用途等に応じて、適宜、設定すればよい。

液晶層３４の１周期Λは、０．１～２０μｍが好ましく、０．１～１０μ

ｍがより好ましい。

[0135] 液晶層３４は、液晶化合物３０が所定の配向状態に配向されてなる液晶相を層状に固定して形成できる。例えば、コレステリック液晶層の場合には、コレステリック液晶相を層状に固定して形成できる。

コレステリック液晶相を固定した構造は、液晶相となっている液晶化合物の配向が保持されている構造であればよく、典型的には、重合性液晶化合物を所定の液晶相の配向状態としたうえで、紫外線照射、加熱等によって重合、硬化し、流動性が無い層を形成して、同時に、外場または外力によって配向形態に変化を生じさせることない状態に変化した構造が好ましい。

なお、液晶相を固定した構造においては、液晶相の光学的性質が保持されていれば十分であり、液晶層において、液晶化合物３０は液晶性を示さなくてもよい。例えば、重合性液晶化合物は、硬化反応により高分子量化して、液晶性を失っていてもよい。

この点に関しては、上述した光学異方性層２６も同様である。

[0136] 液晶層３４の形成に用いる材料としては、一例として、液晶化合物を含む液晶組成物が挙げられる。液晶化合物は重合性液晶化合物であるのが好ましい。

（コレステリック）液晶層３４を形成する液晶組成物としては、上述した透過型の光学素子３６の光学異方性層２６を形成した液晶組成物に、液晶化合物３０を螺旋配向させるキラル剤を添加した液晶組成物が例示される。

[0137] －－キラル剤（光学活性化合物）－－

キラル剤（カイラル剤）はコレステリック液晶相の螺旋構造を誘起する機能を有する。キラル剤は、化合物によって誘起する螺旋の捩れ方向または螺旋ピッチＰが異なるため、目的に応じて選択すればよい。

キラル剤としては、特に制限はなく、公知の化合物（例えば、液晶デバイスハンドブック、第３章４－３項、ＴＮ（twisted nematic）、ＳＴＮ（Super Twisted Nematic）用キラル剤、１９９頁、日本学術振興会第１４２委員会編、１９８９に記載）、イソソルビド、および、イソマンニド誘導体等を用

いることができる。

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

また、キラル剤は、液晶化合物であってもよい。

[0138] キラル剤が光異性化基を有する場合には、塗布、配向後に活性光線などのフォトマスク照射によって、発光波長に対応した所望の反射波長のパターンを形成することができるので好ましい。光異性化基としては、フォトクロッミック性を示す化合物の異性化部位、アゾ基、アゾキシ基、または、シンナモイル基が好ましい。具体的な化合物として、特開２００２－８０４７８号公報、特開２００２－８０８５１号公報、特開２００２－１７９６６８号公報、特開２００２－１７９６６９号公報、特開２００２－１７９６７０号公報、特開２００２－１７９６８１号公報、特開２００２－１７９６８２号公報、特開２００２－３３８５７５号公報、特開２００２－３３８６６８号公報、特開２００３－３１３１８９号公報、および、特開２００３－３１３２９２号公報等に記載の化合物を用いることができる。

[0139] 液晶組成物における、キラル剤の含有量は、液晶化合物の含有モル量に対して０．０１～２００モル％が好ましく、１～３０モル％がより好ましい。

[0140] 液晶層３４を形成する際には、液晶層３４の形成面に液晶組成物を塗布して、液晶化合物３０を所望の液晶相の状態に配向した後、液晶化合物３０を硬化して、液晶層３４とするのが好ましい。

すなわち、配向膜２４上にコレステリック液晶層を形成する場合には、配向膜２４に液晶組成物を塗布して、液晶化合物３０をコレステリック液晶相の状態に配向した後、液晶化合物３０を硬化して、コレステリック液晶相を固定してなる液晶層３４を形成するのが好ましい。

塗布された液晶組成物は、必要に応じて乾燥および／または加熱され、その後、硬化され、液晶層を形成する。この乾燥および／または加熱の工程で、液晶組成物中の液晶化合物３０がコレステリック液晶相に配向すればよい。加熱を行う場合、加熱温度は、２００℃以下が好ましく、１３０℃以下がより好ましい。

[0141] 配向させた液晶化合物３０は、必要に応じて、さらに重合される。重合は、熱重合、および、光照射による光重合のいずれでもよいが、光重合が好ましい。この点に関しては、上述した光学異方性層２６も同様である。

光照射は、紫外線を用いるのが好ましい。照射エネルギーは、２０ｍＪ／ｃｍ^2～５０Ｊ／ｃｍ^{2}が好ましく、５０～１５００ｍＪ／ｃｍ^{2}がより好ましい。光重合反応を促進するため、加熱条件下または窒素雰囲気下で光照射を実施してもよい。照射する紫外線の波長は２５０～４３０ｎｍが好ましい。

[0142] 液晶層３４の厚さには、制限はなく、光学素子の用途、液晶層に要求される光の反射率、および、液晶層３４の形成材料等に応じて、必要な光の反射率が得られる厚さを、適宜、設定すればよい。

[0143] 本発明の光学素子（回折素子）は、基本的に、このような本発明の光学素子の製造方法で製造したものである。従って、本発明の光学素子は、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同心円状に有する液晶層を含む、入射光を回折して出射する光学素子である。

また、本発明の光学素子は、光学異方性層２６を有する透過型の場合には

、入射した光を回折によって屈折して集光するものであり、コレステリック液晶層３４を有する反射型である場合には、入射した光を回折して反射することで集光する。すなわち、本発明の光学素子は液晶回折素子であり、透過型である場合には例えば液晶回折レンズである。

[0144] また、本発明の光学素子において、液晶層における液晶配向パターンは、液晶化合物由来の光学軸の向きが面内で１８０°回転する１周期の長さが漸次変化する。具体的には、本発明の光学素子において、液晶層における液晶配向パターンは、液晶化合物由来の光学軸の向きが面内で１８０°回転する１周期の長さが、反比例的な単調減少ではなく、増加も含めて、漸次、変化する。なお、本発明の光学素子において、この液晶配向パターンにおける１周期の長さが増加する領域は、含んでも含まなくてもよい。

そのため、上述のように、本発明の光学素子は、焦点距離をｆＧとした際に、液晶配向パターンにおける同心円の中心から外側に向かう方向すなわち同心円の中心から半径方向に向かって、連続的に焦点距離ｆＧが変化する。なお、同心円状の液晶配向パターンを有する本発明の光学素子は、通常、液晶配向パターンにおける同心円の中心が光軸となる。従って、本発明の光学素子は、光軸から外側に向かって、連続的に焦点距離ｆＧが変化する。

なお、本発明の光学素子において、この焦点距離の連続的な変化は、各種の態様が利用可能である。すなわち、本発明の光学素子においては、同心円の中心から外側に向かう方向の全域で、焦点距離が連続的に変化してもよい。あるいは、本発明の光学素子においては、同心円の中心から外側に向かう方向に、焦点距離が連続的に変化する領域と、焦点距離が一定の領域とが、混在してもよい。

[0145] ここで、本発明の光学素子においては、液晶配向パターンにおける同心円の中心から外側に向かう方向に焦点距離ｆＧが連続的に変化すると共に、焦点距離ｆＧの最大値をｆＧmax、同最小値をｆＧminとした際に、最大値ｆＧmaxと最小値ｆＧminとの比『ｆＧmax／ｆＧmin』が１．１超である。

本発明の光学素子は、このような構成を有することにより、光学素子の面

方向の各位置において、光の進行方向を所望の方向に制御できる。そのため、本発明の光学素子は、例えば上述のようにＡＲグラスおよびＶＲゴーグルなどのＨＭＤ等に用いられた際に、ＨＭＤの光学系を構成する各部材への光の入射角度を最適にし、より効率良く高画質な画像を表示することが可能になる。

[0146] 本発明の光学素子において、比『ｆGmax／ｆGmin』は、１．２以上が好ましく、１．３以上がより好ましい。

また、本発明の光学素子において、比『ｆGmax／ｆGmin』の上限には制限はないが、配向パターンの作り易さ、レンズとしての精度等を考慮すると、２００以下が好ましい。

[0147] 本発明の光学素子においては、以下の方法で焦点距離ｆＧの最大値ｆGmaxおよび最小値ｆGminを測定して、比『ｆGmax／ｆGmin』を算出する。

図１６に概念的に示すように、測定対象（サンプル）となる光学素子Ｓの同心円パターンの中心Ｃ（光軸）から外側すなわち半径方向の１方向に向かって、全域で１ｍｍおきに上述した液晶配向パターンの１周期Λ（面内ピッチΛ）を測定する。１周期Λの測定は、光学顕微鏡を用いて行えばよい。

その上で、１周期Λを測定した１ｍｍ毎に、中心から端部方向への距離ｒ、波長λ、および、測定した１周期Λを用いて、下記の式を用いて、距離ｒ毎に焦点距離ｆＧを算出する。なお、波長λは、光学素子Ｓが対象とする光の波長に応じて、適宜、設定すればよいが、一例として５３０ｎｍが例示される。

$$\sin\theta = \lambda / \Lambda$$

$$\tan\theta = r / fG$$

このようにして算出した焦点距離ｆＧから、焦点距離ｆＧの最大値ｆGmaxおよび最小値ｆGminを選択して、比『ｆGmax／ｆGmin』を算出する。

また、この測定方法を用いることで、液晶配向パターンにおける同心円の中心から外側に向かう方向に焦点距離ｆＧが連続的に変化することも確認できる。

[0148] 上述のように、本発明によれば、非特許文献１および特許文献３等に記載されるような、不均一な境界領域（Boundary）等を有さず、連続的に焦点距離が変化する領域を有する光学素子が得られる配向膜を、簡便かつ高い生産性で形成できる。

また、後に実施例でも示すが、特許文献２および非特許文献２に記載されるような直接描画露光方式では、配向パターンにおける１周期が細かくなると、配向パターンに乱れが生じ易くなる。中でも１周期を短くする必要が有る端部近傍では、配向パターンに乱れが生じ易い。これに対して、上述のように、光軸と直交する方向に焦点距離が連続的に変化する集光素子５８（焦点変化集光素子）を用いた干渉露光によって配向膜を形成する本発明によれば、このような配向パターンの乱れも、大幅に抑制できる。

そのため、本発明の光学素子は、回折の０次光の発生、および、回折の１次光と０次光との間に生じる、１次光よりも回折角度が小さい回折光の発生を大幅に抑制できる。その結果、本発明の光学素子によれば、ゴーストと呼ばれる不要な像、および、多重像等の発生を抑制できる。

[0149] このような本発明の光学素子は、光学素子の面内において、回折の１次光の強度に対する０次光の強度の割合が最も大きい位置における、１次光の強度に対する０次光の強度の割合をＲmaxとした際に、０次光の割合Ｒmaxが３％以下である。

すなわち、本発明の光学素子は、面内における、１次光に対する０次光の強度の割合が最も大きい位置でも、０次光の強度は１次光の３％以下である。

[0150] 加えて、本発明の光学素子は、回折角度が１次光よりも小さい回折光のうち、最も強度が大きい回折光の１次光に対する強度の割合を割合Ｘmaxとした際に、回折素子の面内において、割合Ｘmaxが最も大きくなる位置における割合Ｘmaxが３％以下である。

回折素子においては、１次光と０次光との間に、１次光よりも回折角度が小さい光が、１以上、生じる場合がある（図１８参照）。このような１次光

と０次光との間に生じる光は、いわば光の回折におけるノイズ光と言うことができる。

すなわち、本発明の光学素子は、１次光の強度に対する最も高強度のノイズ光の強度の割合を割合Ｘmaxとした際に、回折素子の面内において割合Ｘmaxが最も大きくなる位置における割合Ｘmaxが３％以下である。言い換えれば、本発明の光学素子は、面内における１次光に対するノイズ光の強度が最も大きな位置でも、ノイズ光の強度は１次光の３％以下である。

以下の説明では、回折素子の面内において、割合Ｘmaxが最も大きくなる位置における割合Ｘmaxを、便宜的に『ノイズ光の最大割合Ｘmax』ともいう。

[0151] ０次光は、上述したゴーストの大きな原因の１つとなる。また、ノイズ光は、多重像の大きな原因の１つとなる。これに対して、上記構成を有する本発明の光学素子は、１次光に対する０次光の強度が低く、また、１次光に対するノイズ光の強度も低い。

そのため、本発明の光学素子によれば、上述のように、ゴーストおよび多重像等の発生を、好適に抑制できる。

[0152] ０次光の割合Ｒmaxが３％を超えると、ゴーストを十分に抑制できない等の不都合を生じる。

０次光の割合Ｒmaxは、２％以下が好ましく、１％以下がより好ましい。

[0153] ノイズ光の最大割合Ｘmaxが３％を超えると、多重像を十分に抑制できない等の不都合を生じる。

ノイズの最大割合Ｘmaxは、２％以下が好ましく、１％以下がより好ましい。

[0154] 本発明の光学素子において、０次光の割合Ｒmaxは以下のように測定する。

図１７に概念的に示すように、光源ＬＳから測定対象（サンプル）となる光学素子Ｓに、法線方向から測定光を入射し、光学素子Ｓによって適正に回折（屈折）された１次光、および、光学素子Ｓを真っすぐに透過した０次光の光強度を、光検出器で測定する。

このような１次光および０次光の強度測定を、図１７の下段に概念定期に

示すように、同心円パターンの中心すなわち光軸を中心とする、±ｘ方向、および、ｘ方向と直交する±ｙ方向において、１ｍｍ間隔で行う。また、測定を行った各位置で、１次光に対する０次光の強度の割合を算出する。

これにより、光学素子Ｓの面内において、１次光に対する０次光の強度の割合が最も大きい位置を検出し、この位置における１次光に対する０次光の強度の割合すなわち０次光の割合Ｒmaxを検出する。

[0155] なお、１次光の測定位置は、以下のように決定する。

まず、上述の１ｍｍ毎の測定における光源ＬＳからの測定光の入射位置における、液晶配向パターンの１周期Λ（面内ピッチΛ）を光学顕微鏡で測定する。

この１周期Λの測定結果、光源ＬＳが出射する測定光の波長λ、および、測定光の入射角度φinを用いて、下記の式を用いて１次光の出射角度φoutを算出して、この出射角度φにおける光強度を、１次光の光強度として測定する。

$$\sin\phi_{out} = \lambda / \Lambda + \sin\phi_{in}$$

$$\Lambda = \lambda / (\sin\phi_{out} - \sin\phi_{in})$$

０次光の割合Ｒmaxの測定において、測定光の波長λは、光学素子Ｓが対象とする光の波長に応じて、適宜、設定すればよいが、一例として５３０ｎｍが例示される。また、光検出器の位置にも制限はないが、一例として、光学素子Ｓから３０ｃｍの距離が例示される。

[0156] また、本発明の光学素子において、ノイズ光の最大割合Ｘmaxは、以下のように行う。

すなわち、上述した０次光の割合Ｒmaxの測定において、さらに、１次光と０次光との間に存在する１次光よりも回折角度が小さいノイズ光のうち、最も強度が大きいノイズ光の光強度を測定し、このノイズ光の１次光に対する強度の割合Ｘmaxを算出する。

これにより、光学素子Ｓの面内において、１次光に対するノイズ光の割合Ｘmaxが最も大きい位置における割合Ｘmaxを、ノイズ光の最大割合Ｘmaxとす

る。

[0157] なお、以上の比『ｆＧmax／ｆＧmin』、０次光の割合Ｒmax、および、ノイズ光の最大割合Ｘmaxの測定方法は、いずれも、本発明の光学素子が透過型の光学素子（液晶回折レンズ）である場合を例示している。

しかしながら、発明の光学素子が、コレステリック液晶層等を用いる反射型の光学素子である場合にも、測定光を法線に対して斜めから入射する方法等を用いて、上述した図１６～図１８に示す方法に準拠して、比『ｆＧmax／ｆＧmin』、０次光の割合Ｒmax、および、ノイズ光の最大割合Ｘmaxを測定すればよい。

[0158] 本発明の光学素子において、液晶層のΔｎ（複屈折）には、制限はないが、０．２～０．５であるのが好ましい。

液晶層のΔｎを０．２～０．５とすることにより、０次光を抑制できる、回折効率を向上できる等の点で好ましい。

液晶層のΔｎは、０．２４～０．４５がより好ましい。

なお、液晶層のΔｎは、以下のように測定すればよい。

まず、液晶層を形成するための液晶組成物を、別途に用意したリターデーション測定用の配向膜付きの支持体上に塗布する。次いで、液晶化合物のダイレクタが支持体に水平となるよう配向させた後に、紫外線を照射して固定化する。

このようにして得られた液晶層（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、リターデーション値を膜厚で除算することにより、液晶層のΔｎを算出できる。液晶層のリターデーション値は、Ａｘｏｍｅｔｒｉｘ社製のＡｘｏｓｃａｎを用いて、目的の波長で測定すればよい。他方、液晶層の膜厚は、ＳＥＭを用いて測定すればよい。

[0159] 上述のように、本発明の光学素子が透過型（液晶回折レンズ）である場合、光学異方性層２６すなわち液晶層において、液晶化合物３０が厚さ方向に螺旋状に捩れ配向したものであってもよい。このような液晶化合物が捩れ配向した光学異方性層を有することにより、回折効率を向上することができる

。

このように、光学異方性層において液晶化合物が厚さ方向に捩れ配向したものである場合、本発明の光学素子は、液晶化合物を厚さ方向に捩れ配向した２層以上の光学異方性層を有するのが好ましい。

[0160] ここで、上述のように、本発明の光学素子は、液晶層（光学異方性層２６）は、液晶化合物に由来する光学軸が少なくとも一方向に向かって連続的に回転しながら変化する、同心円状の液晶配向パターンを有するものである。

このような液晶配向パターンを有する光学異方性層においては、光学軸が回転する１方向に沿って厚さ方向に切断した断面をＳＥＭで観察すると、上述したコレステリック液晶層と同様、この断面画像において、液晶化合物の向きに応じた明線４２および暗線４４が観察される（図１９参照）。

以下、この断面ＳＥＭ画像で観察される明線４２および暗線４４を、単に、明線４２および暗線４４、または、明暗線ともいう。

[0161] このように、液晶化合物が厚さ方向に捩れ配向された光学異方性層において、この明暗線の主面に対する傾斜角は、螺旋のピッチすなわち螺旋が３６０°回転する厚さ方向の長さに応じて異なる。具体的には、螺旋ピッチが長いほど、主面に対する明暗線の傾斜角は大きくなり、液晶化合物が捩れ配向しない場合には、明暗線は厚さ方向に一致する。言い換えると、液晶化合物の螺旋の捩じれ角が小さいほど、主面に対する明暗線の傾斜角は大きくなり、液晶化合物の螺旋の捩じれ角が大きいほど、主面に対する明暗線の傾斜角は小さくなる。

また、液晶化合物の螺旋の捩れ方向が逆になると、主面に対する明暗線の傾斜方向は逆になる。すなち、液晶化合物の螺旋状の捩れ方向が、右捩じれの場合と左捩れの場合とでは、主面に対する明暗線の傾斜方向が、例えば右肩上がりと左肩上がりのようになる。

[0162] 本発明の光学素子において、液晶化合物が厚さ方向に捩れ配向される光学異方性層を有する場合には、主面に対する明暗線の傾斜が互いに異なる複数の光学異方性層を有するのが好ましい。なお、主面に対する明暗線の傾斜が

互いに異なるとは、主面に対する傾斜角が異なる構成、および、主面に対する傾斜方向が異なる構成等を示す。中でも、主面に対する明暗線の傾斜方向が互いに異なる光学異方性層を含む構成は、好適に用いられる。

特に、本発明の光学素子が、液晶化合物が厚さ方向に捩れ配向された光学異方性層を有する場合には、液晶化合物が厚さ方向に捩れ配向された少なくとも２層の光学異方性層を含む、主面に対する明暗線が互いに異なる少なくとも３層の光学異方性層を有するのが好ましい。

さらに、この３層以上の構成では、図１９に概念的に示すように、第３光学異方性層２６ｃを挟む第１光学異方性層２６ａおよび第２光学異方性層２６ｂは、明線４２および暗線４４の傾斜方向が逆で、間の第３光学異方性層２６ｃの明暗線の主面に対する傾斜角は、両側の２層よりも大きいのが、より好ましい。この構成において、第３光学異方性層２６ｃの明暗線は、厚さ方向に近いほど好ましく、厚さ方向に一致すなわち液晶化合物が厚さ方向に捩れ配向されないのが、さらに好ましい。

このような構成を有することにより、より回折効率を向上できる、０次光の発生を抑制できる等の点で好ましい。

[0163] 以上、本発明の露光システム、配向膜の形成方法、光学素子の製造方法、および、光学素子について詳細に説明したが、本発明は上述の例に制限はされず、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

[0164] 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。

[0165] ［実施例１］

（集光素子Ｘの作製）

図２０に示すような、負メニスカスレンズ（レンズ１）、曲率の異なる両凸レンズ（レンズ２）、および、非球面を有する正メニスカスレンズ（レンズ３）の３枚のレンズからなる、図６に示す集光素子５８と同様の構成を有する集光素子を作製した。

レンズの並び順は、上流から、レンズ１、レンズ２およびレンズ３である。従って、レンズ３の下流には、ビームコンバイナ素子、偏光変換素子および未露光配向膜（露光面）が、この順で位置する。

さらに、図示は省略するが、レンズ１の上流にレンズ絞りを設けた。レンズ絞りの直径は６０．０ｍｍとした。

集光素子は、レンズ絞り、各レンズ、光学素子および露光面の光学面ａ～ｋの曲率半径Ｒ、各光学面と下流側（露光面側）に隣接する面との光軸上の間隔Ｄ、および、波長３５５ｎｍにおける屈折率Ｎが、下記の表１に記載の数値となるように設計した。なお、レンズ絞りの光学面（出射面）は、光学面０と表記する。また、正メニスカスレンズであるレンズ３は、入射面すなわち光学面ｅが非球面である。

[0166] [表1]

表　1		曲率半径R	間隔D	屈折率N	形成材料
絞り	光学面０	0.0000	30.00		
レンズ１	光学面ａ	-36.4701	10.00	1.53817	H-K9L.NHG
	光学面ｂ	-52.6458	78.90		
レンズ２	光学面ｃ	94.5339	33.76	1.53817	H-K9L.NHG
	光学面ｄ	-1055.2392	6.93		
レンズ３	光学面ｅ	58.3680	27.10	1.53817	H-K9L.NHG
	光学面ｆ	195.9158	30.00		
ビーム	光学面g	0.0000	70.00	1.47609	SiO_2
コンバイナ	光学面h	0.0000	9.00		
偏光変換	光学面i	0.0000	1.00	1.47609	SiO_2
素子	光学面j	0.0000	25.00		
露光面	光学面k	0.0000	0.00		

光学面eは非球面である

[0167] 上述のように、レンズ３は非球面レンズで、光学面ｅ（入射面）が非球面

である。

このレンズ３は、非球面が下記の表２に示す非球面係数を有するように、設計した。

[0168] [表2]

表　2

K	1.000000000000E+00
A 3	4.671348572416E-05
A 4	5.272908371892E-05
A 5	-9.060428982275E-06
A 6	5.977957128431E-07
A 7	-2.027632634091E-08
A 8	3.772555132489E-10
A 9	-3.667266211701E-12
A 1 0	1.455381336087E-14

[数1]

$$Z = \frac{C}{1+\sqrt{1-K\times(C\times h)^2}}\times h^2+\sum_{i=3}^{10}A_i\times h^i$$

上記式において、

Ｚは、非球面深さ、すなわち、高さｈの非球面上の点から、非球面頂点が接する光軸に垂直な平面に下ろした垂線の長さを、

ｈは、高さ、すなわち、レンズ面上のある点の光軸からの距離を、

Ｃは、近軸曲率半径の逆数を、

ＫおよびＡｉは、非球面係数を、それぞれ示す。

[0169] 以上の設計により、図５の左側に示すような焦点距離プロファイルを有する集光素子Ｘを作製した。

図２に示す『ｆＬ＝Ｄｓ／ｓｉｎθ』で示される焦点距離ｆＬの最大値ｆＬmaxと最小値ｆＬminとの比『ｆＬmax／ｆＬmin』は１．４であった。

[0170] （配向膜の形成）

厚さ１．１ｍｍのガラス基板上に、下記の配向膜形成用塗布液を＃２のワ

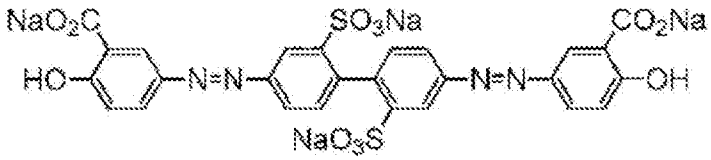
イヤーバーで連続的に塗布した。この配向膜形成用塗布液の塗膜が形成された支持体を６０℃のホットプレート上で６０秒間乾燥して、未露光配向膜を形成した。

[0171] 配向膜形成用塗布液

光配向用素材Ａ	１．００質量部
水	１６．００質量部
ブトキシエタノール	４２．００質量部
プロピレングリコールモノメチルエーテル	４２．００質量部

[0172] －光配向用素材Ａ－

[化1]



[0173] （配向膜の露光）

図１に示す露光システムを用いて未露光配向膜を露光して、配向パターンを有する配向膜を形成した。露光時間は４分とした。なお、露光時間は、作製した配向膜に光学異方性層を設けた際に、液晶が配向可能となる、最短の露光時間によって決定した。

光源は、出力１００ｍＷ／ｍ^2、波長３５５ｎｍのレーザ光を出射するレーザ光源を用いた。また、図１に示す、２台の作動ミラーおよび２台の検出器を用いる光路調節光学系を作動して、レーザ光の検出結果に応じて作動ミラーの角度を調節するフィードバック制御（表３、光路調節）を行うことにより、レーザ光の光路を安定化した。

図１に示す露光システムは、ビームスプリッタ素子の光源側に、ビームエクスパンダ素子を有する。ビームエクスパンダ素子は、ビームスプリッタ素

子に入射するビームのビーム径が６０ｍｍφとなるように、ビーム径を拡大した。

ビームエクスパンダ素子、ビームスプリッタ素子、ビームコンバイナ素子、集光素子および偏光変換素子は、入射面および出射面に反射防止処理を施し、波長３５５ｎｍの光に対する表面反射率（表３、表面反射率）を０．３％以下とした。なお、集光素子は、全てのレンズに対して反射防止処理を施した。

露光システムにおいては、ビームスプリッタ素子とビームコンバイナ素子との間の光路長（表３、光路長）が４５０ｍｍになるように各光学素子を配置した。

照度計を用いて測定したところ、本例において、ビームコンバイナ素子から出射する光の強度の最大値／最小値（表３、面内強度比）は、露光対象となる配向膜の面内（露光面）の位置で１７倍であった。

また、集光素子に平行光を入射したところ、ビームコンバイナ素子から出射する光の光軸に対する最大角度（表３、入射角）は、３６．５°であった。

[0174] （光学異方性層（液晶層）の形成）

第１、第２および第３の光学異方性層を形成する液晶組成物として、下記の組成物Ｂ－１、Ｂ－２およびＢ－３を調製した。

[0175] 組成物Ｂ－１

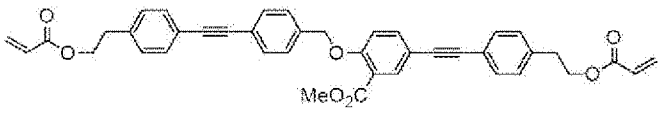
ーーーーーーーーーーーーーーーーーーーーーーーーーーーーーーーー

液晶化合物Ｌ－１	１００．００質量部
キラル剤Ｃ－３	０．２３質量部
キラル剤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

－－

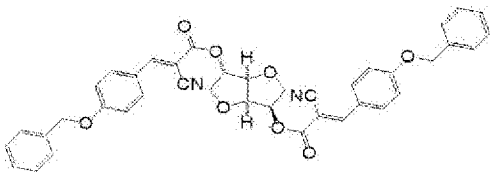
[0176] 液晶化合物Ｌ－１

[化2]



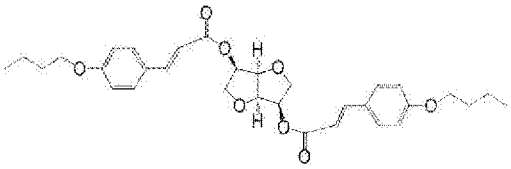
キラル剤Ｃ－３

[化3]



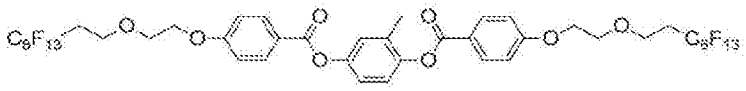
キラル剤Ｃ－４

[化4]



レベリング剤Ｔ－１

[化5]



[0177] 組成物Ｂ－２

－－

液晶化合物Ｌ－１	１００．００質量部
キラル剤Ｃ－３	０．５４質量部
キラル剤Ｃ－４	０．６２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

―――――――――――――――――――――――――――――――――

[0178] 組成物Ｂ－３

―――――――――――――――――――――――――――――――――

液晶化合物Ｌ－１	１００．００質量部
キラル剤Ｃ－３	０．４８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

―――――――――――――――――――――――――――――――――

[0179] 最初に、組成物Ｂ－１を配向膜上に多層塗布することにより、第１光学異方性層を形成した。

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。

[0180] 具体的には、第１光学異方性層の１層目は、配向膜上に組成物Ｂ－１を塗布して、塗膜をホットプレート上で８０℃に加熱し、その後、ＬＥＤ-ＵＶ露光機によって波長３６５ｎｍの紫外線を塗膜に照射した。その後、ホットプレート上で８０℃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３６５ｎｍの紫外線を３００ｍＪ／ｃｍ^{2}の照射量で塗膜に照射することにより、液晶化合物の配向を固定化した。

[0181] ２層目以降は、この１層目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、第１光学異方性層を形成した。

第１光学異方性層は、最終的に液晶のΔｎ$_{550}$×厚さ（Ｒｅ（５５０））が１

６０ｎｍで、液晶化合物Ｌ－１の厚さ方向の捩れ角は左回りに８０°（－８０°）であった。

[0182] 次に、第１光学異方性層の上に組成物Ｂ－２を塗布して、総厚が所望の膜厚になるように変更した以外は、第１光学異方性層と同様にして、第２光学異方性層を形成した。

第２光学異方性層は、最終的に液晶のΔn_{550}×厚さ（Ｒｅ（５５０））が３５５ｎｍで、液晶化合物Ｌ－２の厚さ方向の捩れ角は左周りに４°（－４°）であった。

[0183] 次に、第２光学異方性層の上に組成物Ｂ－３を塗布して、総厚が所望の膜厚になるように変更した以外は第１光学異方性層と同様にして、第３光学異方性層を形成した。

第３の光学異方性層は、最終的に液晶のΔn_{550}×厚さ（Ｒｅ（５５０））が１６０ｎｍになり、液晶化合物Ｌ－２の厚さ方向のねじれ角は右回りに８０°（＋８０°）であった。

以上のようにして、第１～３の光学異方性層を有する実施例１の光学素子（液晶回折レンズ）を作製した。

[0184] 得られた光学素子を光学顕微鏡で観察したところ、光学異方性層は、液晶化合物に由来する光学軸が一方向に向かって連続的に回転する配向パターンを、放射状に有する、直径が６０ｍｍの、図３に示すような同心円状の液晶配向パターンを有することを確認した。但し、光学軸が一方向に向かって連続的に回転する配向パターンにおいて、光学軸が１８０°回転する１周期の長さの減少の程度は、反比例的な単調減少ではなく、１周期の長さの変化に応じて、光学素子の面内で、焦点距離が異なる領域が形成されていることが確認された。

光学顕微鏡で観察した液晶配向パターンの１周期の変化のプロファイル（ピッチプロファイル）から、作製した光学素子の焦点距離プロファイルを確認したところ、焦点距離が連続的に変化する、図５の右側に示すような焦点距離プロファイルであった。

[0185] ［実施例２］

ビームスプリッタ素子とビームコンバイナ素子との間の光路長（表３、光路長）を１０００ｍｍとし、かつ露光時間を１０分にした以外は、実施例１と同様にして、実施例２の光学素子を作製した。

[0186] ［実施例３］

ビームエクスパンダ素子、ビームスプリッタ素子、ビームコンバイナ素子、集光素子および偏光変換素子の入射面および出射面に施す反射防止処理を変更して、波長３５５ｎｍの光に対する表面反射率（表３、表面反射率）を０．７％とし、かつ、露光時間を１０分にした以外は、実施例１と同様にして、実施例３の光学素子を作製した。

[0187] ［実施例４］

光路調節光学系による光ビームＭの光路のフィードバック制御（表３、光路調節）を行わずに固定ミラーとし、かつ、露光時間を１５分にした以外は、実施例１と同様にして、実施例４の光学素子を作製した。

[0188] ［実施例５］

集光素子Ｘを構成するレンズ３の非球面の非球面係数を変更することにより、比『ｆＬmax／ｆＬmin』が１．２になるように集光素子（集光素子Ｙ）を設計し、かつ、露光時間を１０分にした以外は、実施例１と同様にして、実施例５の光学素子を作製した。

なお、実施例１と同様に測定したところ、ビームコンバイナ素子から出射する光の強度の最大値／最小値（表３、面内強度比）は、配向膜の面内の位置で３５倍であった。

[0189] ［比較例１］

未露光配向膜の露光を、上述した、図２２に示す直接描画露光方式で行った以外は、実施例１と同様にして、比較例１の光学素子を作製した。

なお、未露光配向膜の露光すなわち描画は、得られる配向膜に形成する配向パターンが、実施例１の配向パターンと同様となるように行った。従って、得られる光学素子の焦点距離プロファイルは、実施例１～５と同様である

。

なお、本例では、配向膜の露光（描画）に３時間以上の時間を要した。

[0190] ［比較例２］

図１に示す露光システムにおいて、集光素子として、面内で焦点距離が変動しない通常の集光レンズ（正レンズ）を用いた。

集光素子は、焦点距離の異なる３種類の集光素子を準備し、これらの集光素子を、順次、図１に示す露光システムに適用し、３回に分けてマスク露光することで、配向膜を作製した。その後、実施例１と同様にして光学異方性層を形成して、光学素子を作製した。

なお、露光時間は、１回、４分とした（４分×３回）。また、比『ｆＬmax／ｆＬmin』は、実施例１と同様の１．４となるようにした。

実施例１と同様に作製した光学素子の焦点距離プロファイルを確認したところ、図２１に示すような焦点距離プロファイルであった。

[0191] なお、作製した各光学素子について、液晶化合物に由来する光学軸が連続的に回転する一方向に沿って厚さ方向に切断した断面をＳＥＭで確認した。

その結果、いずれの光学素子も、図１９に示すように、３層の光学異方性層を有し、明暗線（明線および暗線）の傾斜方向は、上下の光学異方性層では逆方向で、真ん中の光学異方性層は、厚さ方向とほぼ等しかった。

[0192] ［評価］

作製した光学素子について、境界領域、および、配向性を評価した。

＜境界領域＞

偏光顕微鏡によって、作製した光学素子における、焦点距離が異なる領域の間の境界領域の有無を確認した。

[0193] ＜配向性＞

偏光顕微鏡を用いて、作製した光学素子の同心円状の液晶配向パターンを中央部～端部まで観察し、以下の評価基準で液晶化合物の配向状態を評価した。

Ａ：同心円状の液晶配向パターンが、中央部～端部で良好な配向状態であ

るもの。

Ｂ：同心円状の液晶配向パターンが、中央部の配向は良好だが、端部で配向欠陥が観察されたもの。

Ｃ：　同心円状の液晶配向パターン内に、液晶化合物が配向していない領域が観察されたもの。

結果を下記の表３に示す。

[0194] [表3]

表　3	実施例1	実施例2	実施例3	実施例4	実施例5	比較例1	比較例2
配向膜の露光方式	干渉露光	干渉露光	干渉露光	干渉露光	干渉露光	直接描画	干渉露光+マスク
集光素子	X	X	X	X	Y	—	Z
fLmax/fLmin	1.4	1.4	1.4	1.4	1.2	—	1.4
面内強度比	17	17	17	17	35	—	—
入射角	36.5°	36.5°	36.5°	36.5°	36.5°	—	—
光路長	450mm	1000mm	450mm	450mm	450mm	—	450mm
表面反射率	0.3%以下	0.3%以下	0.7%	0.3%以下	0.3%以下	—	0.3%以下
光路調節	有り	有り	有り	無し	有り	—	有り
露光時間	4分	10分	10分	15分	10分	3時間～	4分×3回
境界領域	無し	無し	無し	無し	無し	無し	有り
配向性	A	A	A	A	A	B	C

[0195] 表３に示すように、図１に示す露光システムにおいて、焦点距離が面方向で一定では無い焦点距離プロファイルを有する集光素子を用いて干渉露光を行った実施例１～５の光学素子は、いずれも、液晶配向パターンにおける焦点距離が異なる領域に境界領域を有さず、さらに、配向性も良好であった。また、露光時間も、全て１５分以内であった。

中でも特に、配向膜の面内における光の最高強度／最低強度の比（面内強度比）、ビームスプリッタ素子とビームコンバイナ素子との間の光路長（光路長）、各光学素子の入射面および反射面における表面反射率（表面反射率）、ならびに、フィードバック制御（光路調節）によるレーザ光源の光路を安定化等の点で、好ましい態様を全て満たす実施例１は、実施例２～４に比して、短い露光時間での配向が可能であり、生産性等の点で優れていた。

これに対して、直接描画露光方式（直接描画）を用いた比較例１は、配向膜の配向パターンの形成に３時間以上の時間がかかり、また、同心円状の液晶配向パターンの端部に配向欠陥が観察された。

また、図１に示す露光システムにおいて、集光素子として通常の正レンズを交換して用い、マスキングによる露光（干渉露光＋マスク）を行った比較例２は、焦点距離が異なる領域の間の境界領域が認められ、この境界領域において、液晶化合物が配向していない領域が観察された。

[0196] 実施例１、比較例１および比較例２で作製した光学素子について、上述した図１６～図１８に示す方法によって、焦点距離の最大値と最小値の比『ｆＧmax／ｆＧmin』、０次光の割合Ｒmax、および、ノイズ光の最大割合Ｘmaxを測定した。

なお、測定光は波長５３０ｎｍのレーザ光を用いた。また、光検出器はフォトダイオードセンサーを有するパワーメーターを用い、測定対象となる光学素子から３０ｃｍの位置に配置した。

[0197] その結果、実施例１の光学素子は、同心円の中心から外側に向かう方向において連続的に焦点距離が変化しており、

比『ｆＧmax／ｆＧmin』は１．４、

０次光の割合Ｒmaxは０．７％、

ノイズ光の最大割合Ｘmaxが０．１％未満、であり、０次光およびノイズ光は十分に抑制されていた。

また、直接描画による比較例１の光学素子は、同心円の中心から外側に向かう方向において連続的に焦点距離が変化しており、

比『ｆＧmax／ｆＧmin』は１．４、

０次光の割合Ｒmaxは３．５％、

ノイズ光の最大割合Ｘmaxが３．５％、であり、０次光およびノイズ光の強度が大きかった。

さらに、マスクを用いた干渉露光による比較例２の光学素子は、同心円の中心から外側に向かう方向において連続的に焦点距離が変化している領域は

なく、

比『ｆＧmax／ｆＧmin』は１．４、

０次光の割合Ｒmaxは６．０％、

ノイズ光の最大割合Ｘmaxが５．０％、であり、０次光およびノイズ光の強度が大きかった。

[0198] なお、液晶層のΔｎを、上述した方法で、Ａｘｏｍｅｔｒｉｘ社製のＡｘｏｓｃａｎおよびＳＥＭを用いて測定した。その結果、いずれの光学素子も液晶層のΔｎは０．２４であった。

[0199] さらに、市販のヘッドマウントディスプレイ（ＨＴＣ社製、ＶＩＶＥ ＦＩｏｗ）を分解して、液晶ディスプレイに作製した光学素子を貼合して、ヘッドマウントディスプレイを組み立てなおして、画像を表示し、表示画像におけるゴーストおよび多重像の発生を目視で評価した。

その結果、実施例１の光学素子を用いたヘッドマウントディスプレイでは、ゴーストは許容範囲であり、また、多重像は視認されなかった。

これに対して、比較例１および比較例２の光学素子を用いたヘッドマウントディスプレイでは、いずれも、ゴーストおよび多重像が容易に視認された。

[0200] なお、実施例２～５で作製した光学素子に関しても、同様の測定を行った。

その結果、いずれの光学素子も、比『ｆＧmax／ｆＧmin』が１．１超、０次光の割合Ｒmaxが３％以下、および、ノイズ光の最大割合Ｘmaxが３％以下の範囲であり、かつ、ゴーストは許容範囲で、多重像は視認されずあるいは許容範囲であった。

以上の結果より、本発明の効果は、明らかである。

産業上の利用可能性

[0201] 各種の光学装置を構成する光学素子の作製に、好適に利用可能である。

符号の説明

[0202] １０，３６ 光学素子

２０　基板

２４　配向膜

２６，２６Ａ　光学異方性層

３０　液晶化合物

３０Ａ　光学軸

３４，３４Ａ　（コレステリック）液晶層

４２　明線

４４　暗線

５２，１００　光源

５４　ビームスプリッタ素子

５６ａ，５６ｂ，７６，１０４　ミラー

５８　集光素子

６０　ビームコンバイナ素子

６０ａ　第１面

６０ｂ　第２面

６２　偏光変換素子

７０　ビームエクスパンダ素子

７２　光路調節光学系

７４ａ，７４ｂ　作動ミラー

７８ａ，７８ｂ　検出器

１０２偏光変換素子

１０６　集光レンズ

１０８　ｘ－ｙステージ

１１０　未露光の光配向膜

１１２　ガラス基板

Ｍ　光ビーム

Ｍ１　第１光ビーム

Ｍ２　第２光ビーム

ＬＳ　光源

Ｓ　光学素子

請求の範囲

[請求項1] 光源と、

前記光源が出射した光を分割するビームスプリッタ素子と、

前記ビームスプリッタ素子が分割した光を入射して、入射光の少なくとも一部を透過する第１面、および、前記ビームスプリッタ素子が分割した他の光を入射して、入射光の少なくとも一部を反射する第２面を有し、前記第１面を透過した光と前記第２面で反射された光とを重ね合わせた光を出射するビームコンバイナ素子と、

前記ビームコンバイナ素子の前記第１面に入射する第１の光の光路、および、前記ビームコンバイナ素子の前記第２面に入射する第２の光の光路の、少なくとも一方に設けられる、光を集光する集光素子とを有し、

前記集光素子の少なくとも１つは、光軸と直交する方向に連続的に変化する焦点距離ｆＬを有する焦点変化集光素子であり、前記焦点距離ｆＬの最大値ｆＬmaxと最小値ｆＬminとの比『ｆＬmax／ｆＬmin』が１．１超である、露光システム。

[請求項2] 前記光源と前記ビームスプリッタ素子との間、および、前記ビームスプリッタ素子と前記ビームコンバイナ素子との間で、かつ、光が集光していない位置の、少なくとも一方の位置に、ビームエクスパンダ素子を有する、請求項１に記載の露光システム。

[請求項3] 前記焦点変化集光素子は、前記光軸と直交する方向に連続的に変化する焦点距離のプロファイルが、１以上の極値を有する、請求項１に記載の露光システム。

[請求項4] 前記焦点変化集光素子が、複数のレンズを有する、請求項１に記載の露光システム。

[請求項5] 前記焦点変化集光素子が、非球面レンズおよびシリンダーレンズの少なくとも一方を有する、請求項１に記載の露光システム。

[請求項6] 前記焦点変化集光素子に平行光を入射した際に、前記ビームコンバ

イナ素子から出射する光の少なくとも一部が、前記焦点変化集光素子の光軸に対して１５°以上の角度となる、請求項１に記載の露光システム。

[請求項7] 前記焦点変化集光素子の光軸と直交する方向における光の強度の最大値と最小値との比が、露光面において、最大値／最小値で２５倍以下である、請求項１に記載の露光システム。

[請求項8] 前記ビームスプリッタ素子と前記ビームコンバイナ素子との間の光路長が８００ｍｍ以下である、請求項１に記載の露光システム。

[請求項9] 存在する光学素子の１以上が、前記光源が出射する光に対する表面反射率が０．５％以下である、請求項１に記載の露光システム。

[請求項10] 前記光源が、波長３２０～４１０ｎｍの光を出射する、請求項１に記載の露光システム。

[請求項11] 前記光源が出射した光の光路を前記ビームスプリッタ素子よりも上流で検出し、前記光の光路の検出結果に応じて、前記光の光路を調節する調節手段、および、前記ビームコンバイナ素子よりも下流において、重ね合わされた光の干渉による干渉縞を検出し、前記干渉縞の検出結果に応じて、前記ビームスプリッタ素子で分割した光の少なくとも一方の光路を調節する調節手段、の少なくとも一方の調節手段を有する、請求項１に記載の露光システム。

[請求項12] 光配向性基を有する化合物を含む塗膜を、請求項１～１１のいずれか１項に記載の露光システムによって露光する、配向膜の形成方法。

[請求項13] 請求項１２に記載の配向膜の形成方法で形成した配向膜に、液晶化合物を含む組成物を塗布し、乾燥する工程を有する、光学素子の製造方法。

[請求項14] 前記組成物がキラル剤を含む、請求項１３に記載の光学素子の製造方法。

[請求項15] 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同心円状に有

する液晶層を含む、入射光を回折して出射する光学素子であって、

前記液晶層の前記液晶配向パターンにおいて、前記液晶化合物由来の光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は、前記１周期の長さが前記一方向に沿って漸次変化するものであり、

前記光学素子は、前記同心円の中心から外側に向かう方向において、連続的に焦点距離ｆＧが変化し、

前記焦点距離ｆＧの最大値ｆＧmaxと最小値ｆＧminとの比『ｆＧmax／ｆＧmin』が１．１超であり、

前記光学素子の面内の、１次光の強度に対する０次光の強度の割合が最も大きい位置における、前記１次光の強度に対する０次光の強度の割合をＲmaxとした際に、前記割合Ｒmaxが３％以下であり、

１次光の強度に対する、１次光の回折角度よりも小さい回折角度の回折光のうち最も強度が大きい回折光の強度の割合をＸmaxとした際に、前記光学素子の面内において前記割合Ｘmaxが最も大きくなる位置における前記割合Ｘmaxが３％以下である、光学素子。

[請求項16] 前記液晶層のΔｎが０．２～０．５である、請求項１５に記載の光学素子。

[請求項17] 複数層の前記液晶層を有し、

少なくとも２層の前記液晶層は、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した断面画像において観察される明暗線の傾斜が、互いに異なる領域を有する、請求項１５または１６に記載の光学素子。

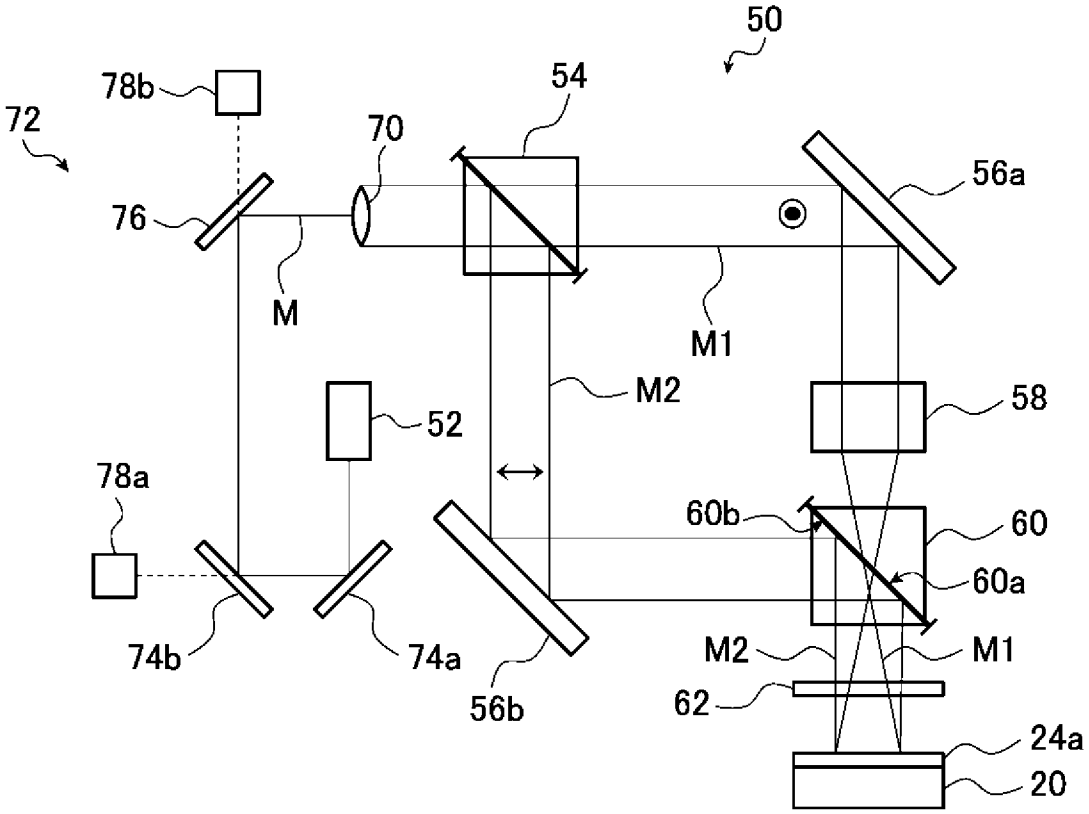
[請求項18] 前記明暗線が主面に対して傾斜する第１液晶層と、

前記明暗線の傾斜方向が前記第１液晶層と逆である第２液晶層と、

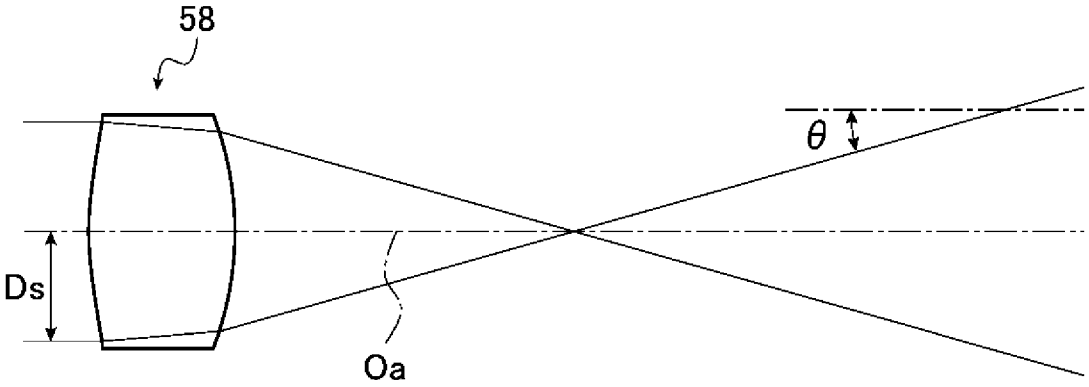
前記第１液晶層と第２液晶層との間に設けられる、主面に対する前記明暗線の角度が前記第１液晶層および前記第２液晶層よりも大きい第３液晶層との、少なくとも３層の前記液晶層を有する、請求項１７

に記載の光学素子。

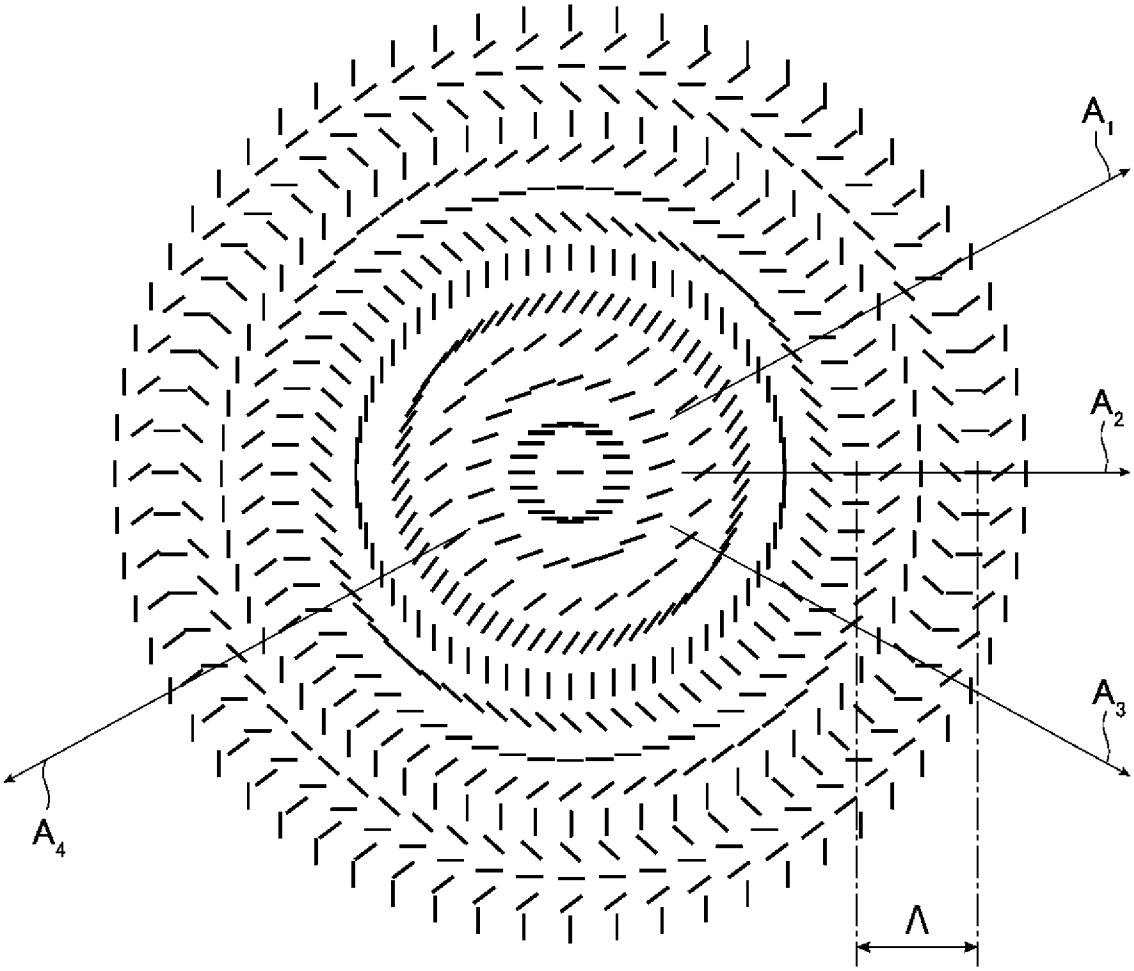
[図1]


50
78b
54
72
70
56a
76
M
M1
M2
58
52
78a
60b
60
60a
74b
74a
56b
M2
M1
62
24a
20

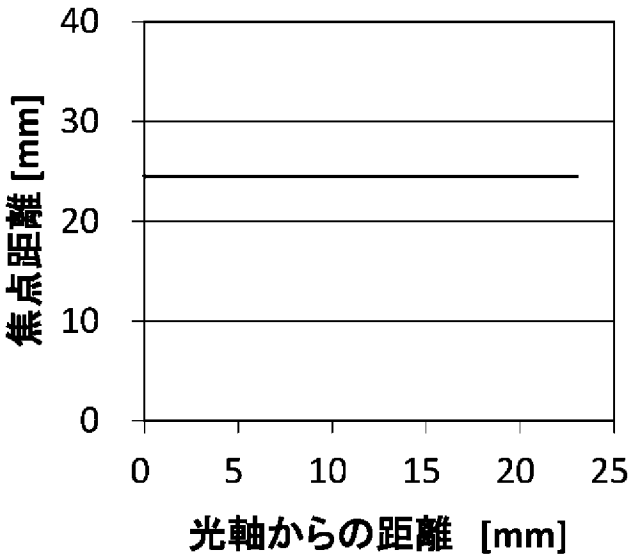
[図2]


58
θ
Ds
Oa

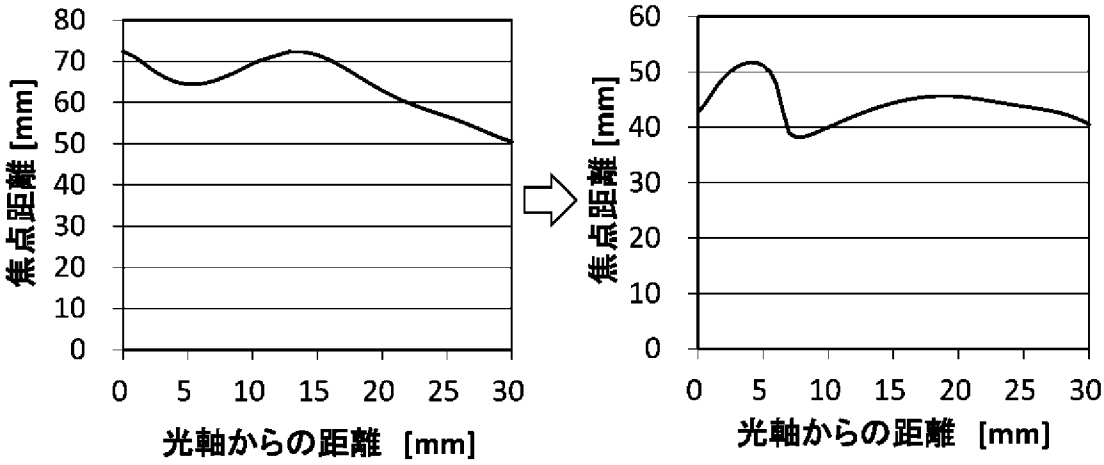
[図3]



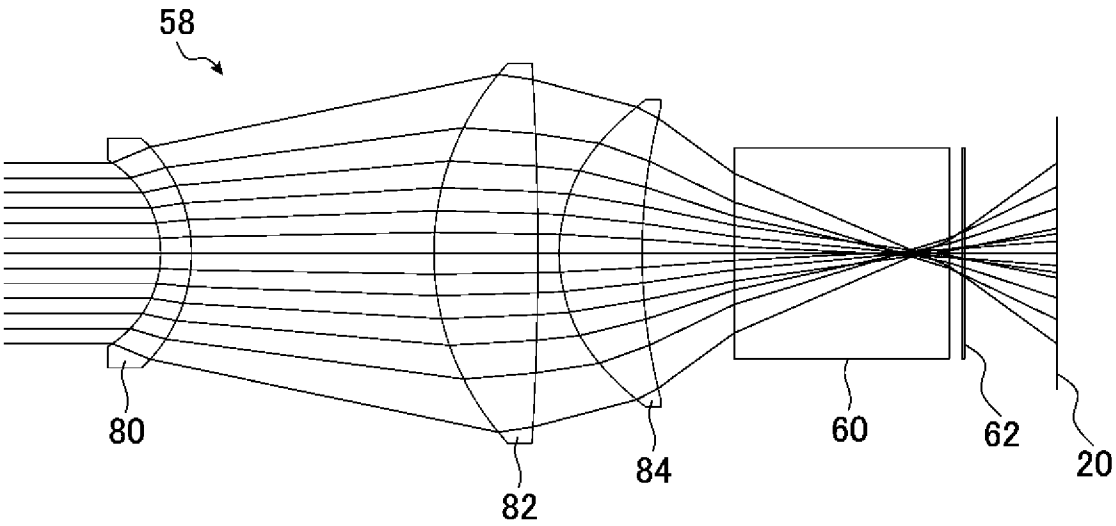
[図4]



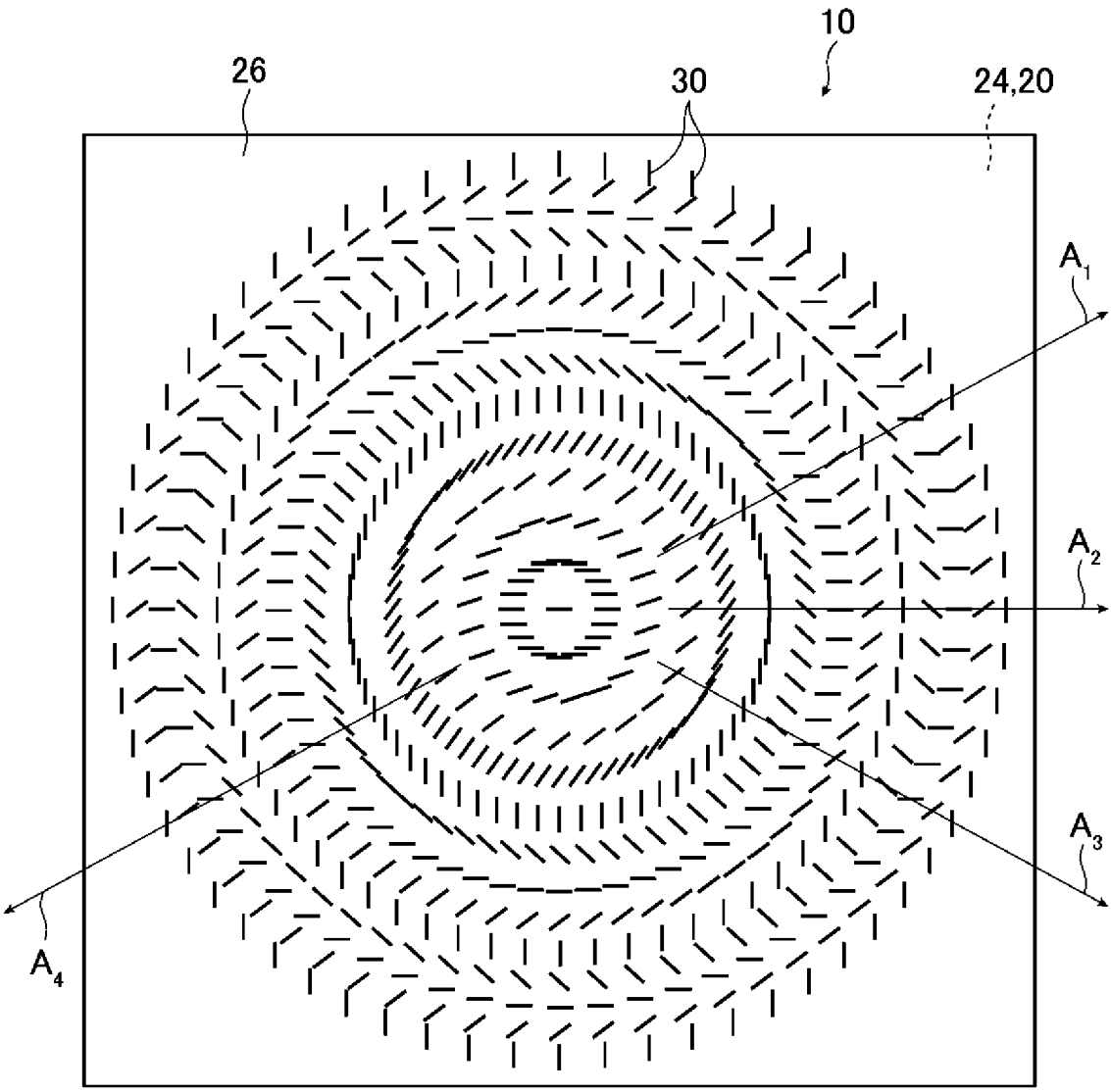
[図5]


焦点距離 [mm]
80
70
60
50
40
30
20
10
0
0 5 10 15 20 25 30
光軸からの距離 [mm]
焦点距離 [mm]
60
50
40
30
20
10
0
0 5 10 15 20 25 30
光軸からの距離 [mm]

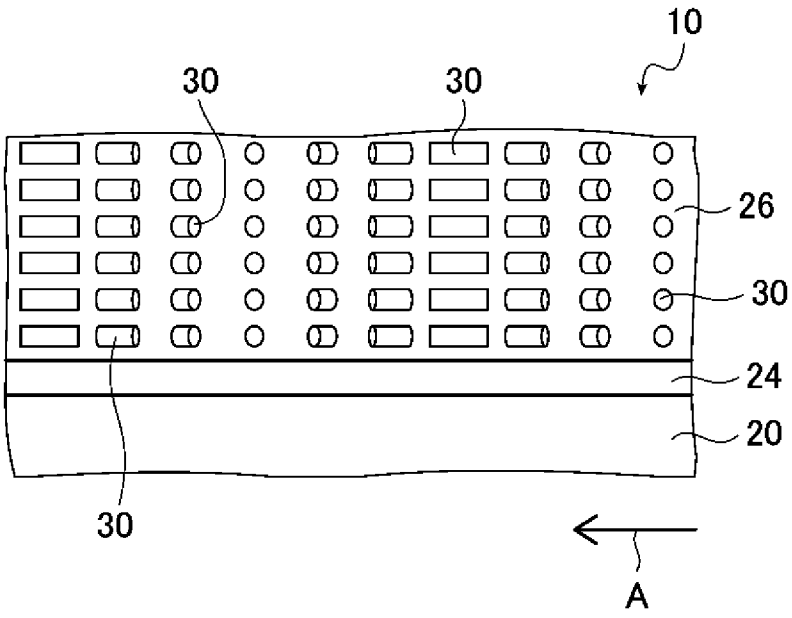
[図6]


58
80
82
84
60
62
20

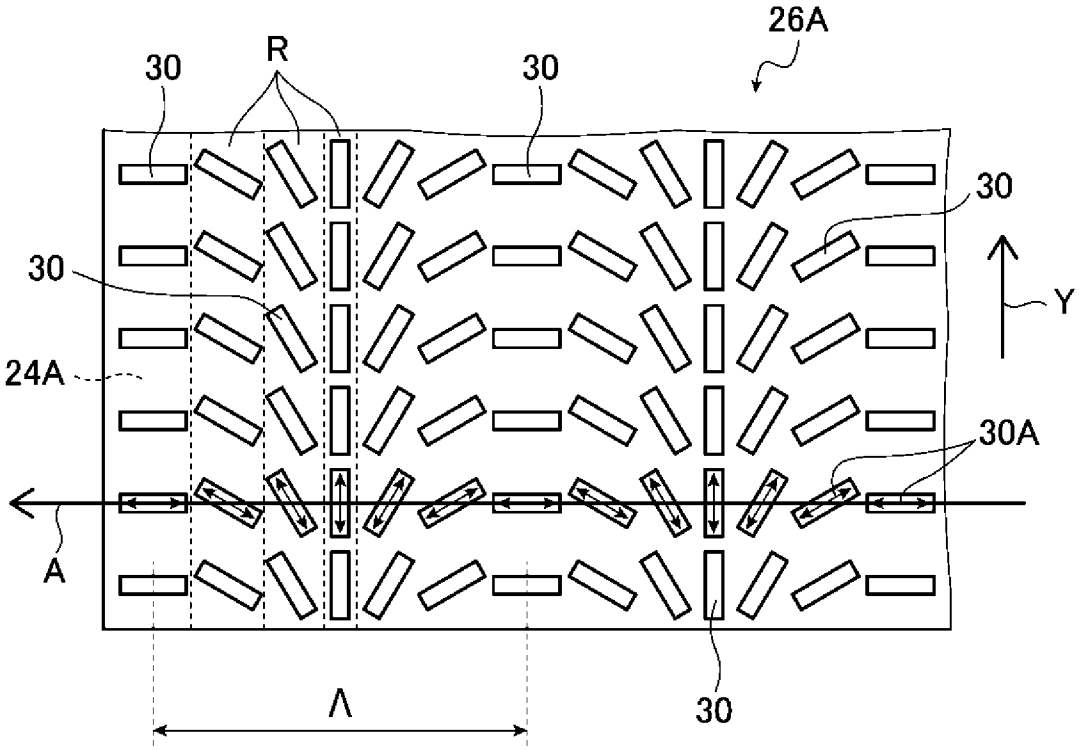
[図7]



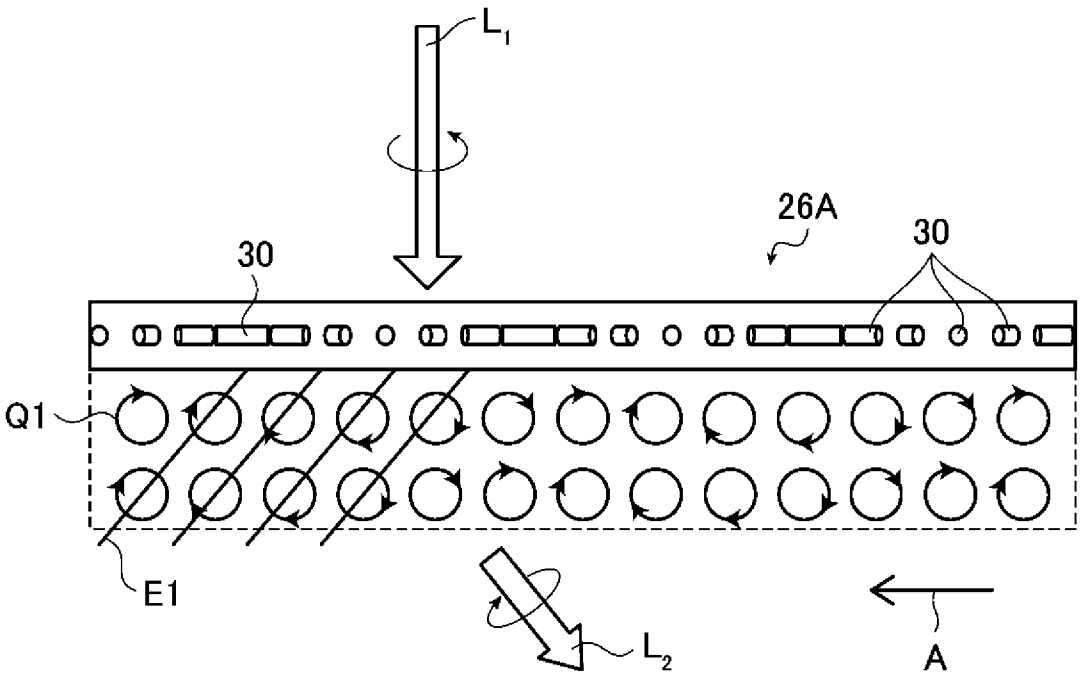
[図8]



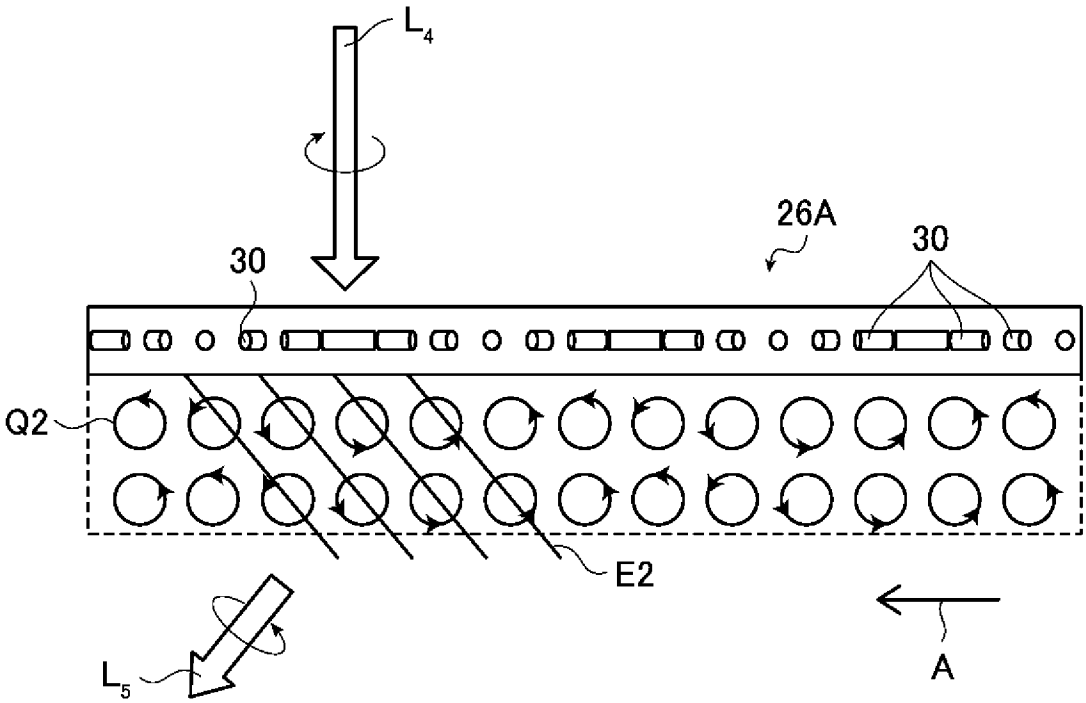
[図9]



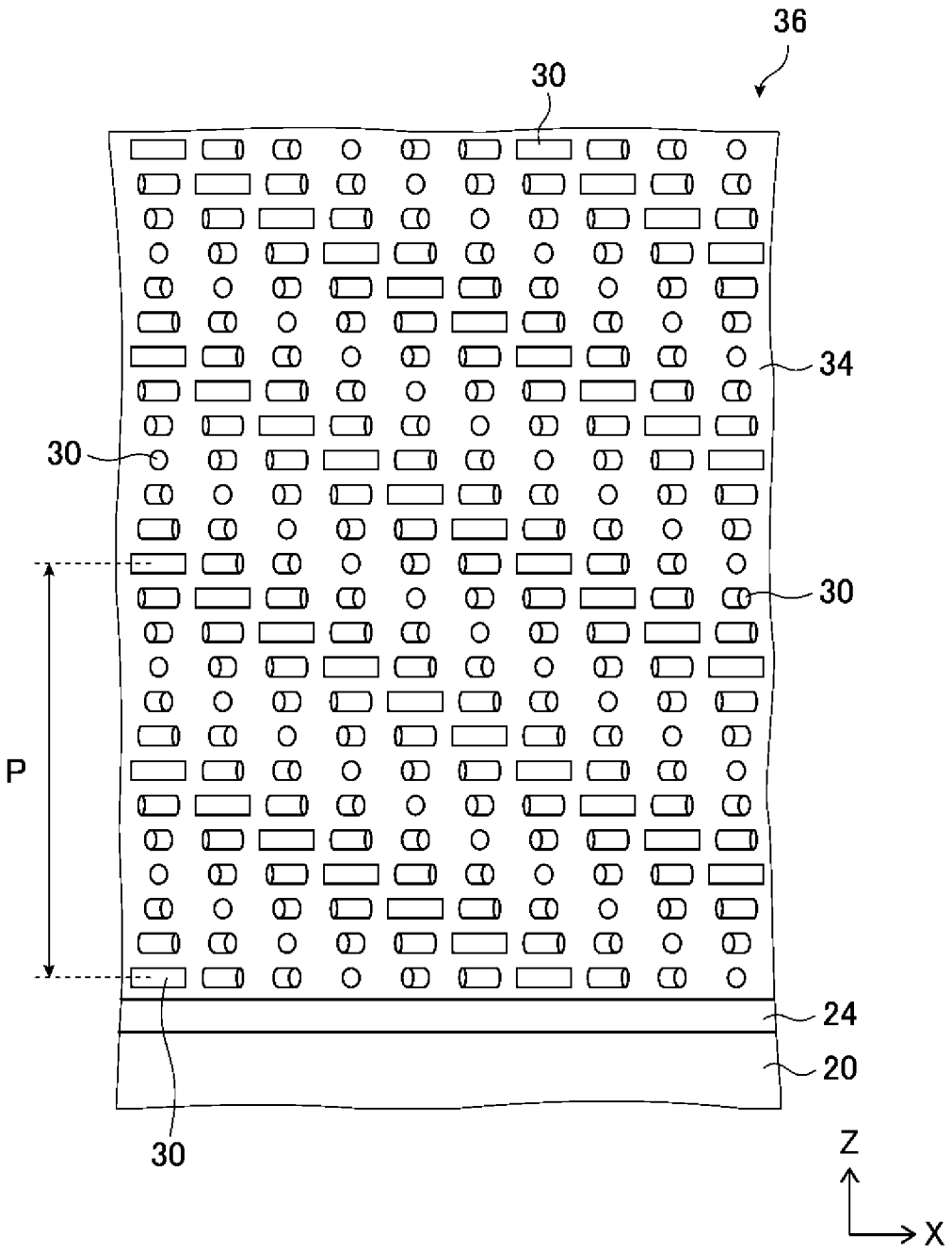
[図10]



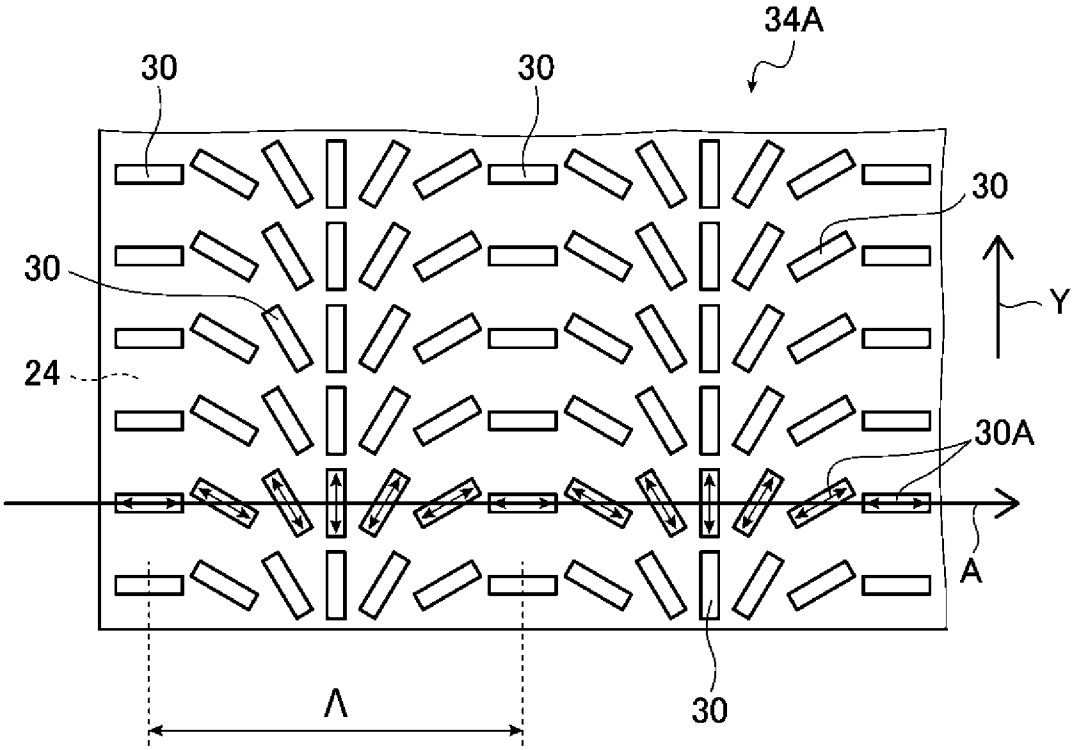
[図11]



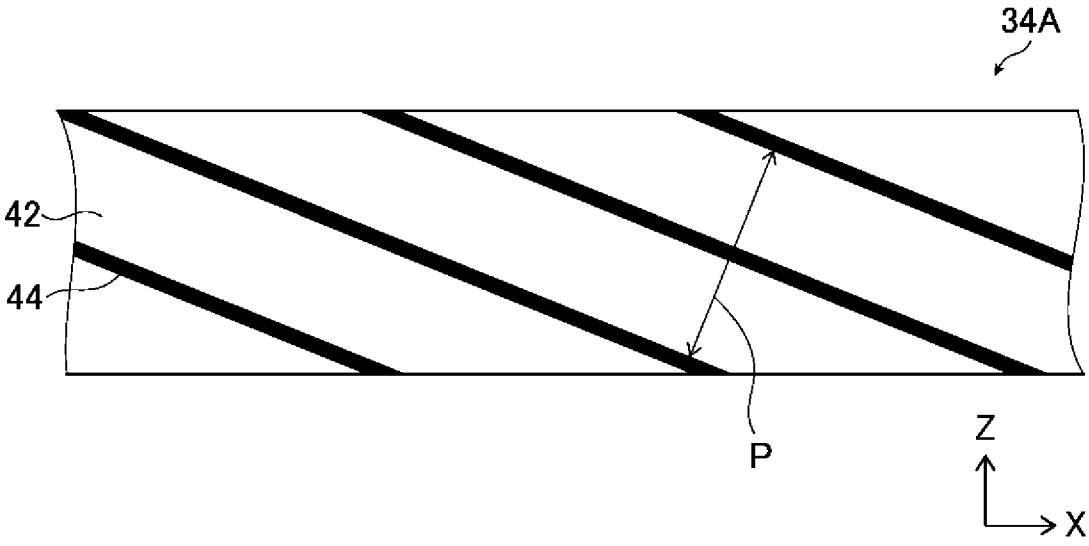
[図12]



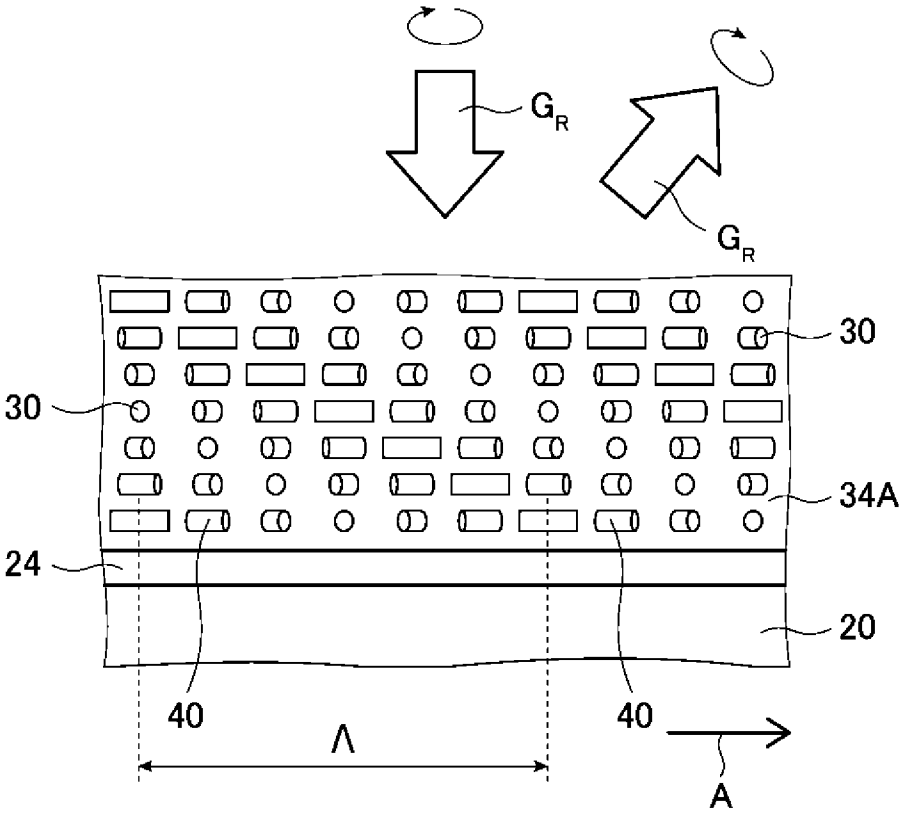
[図13]



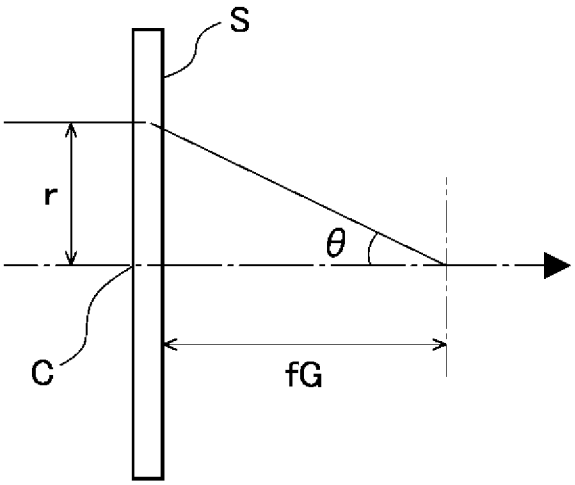
[図14]



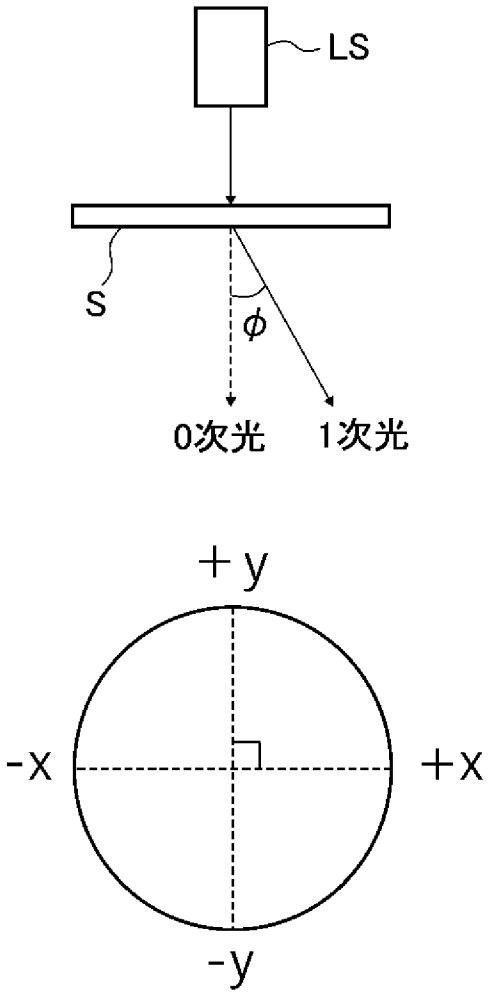
[図15]



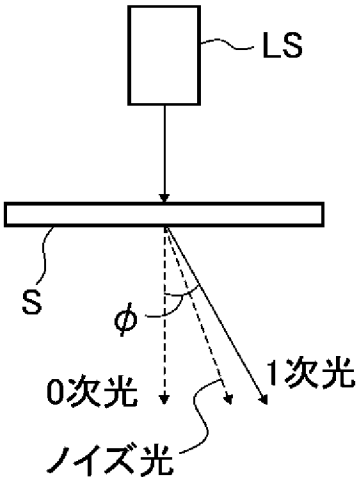
[図16]



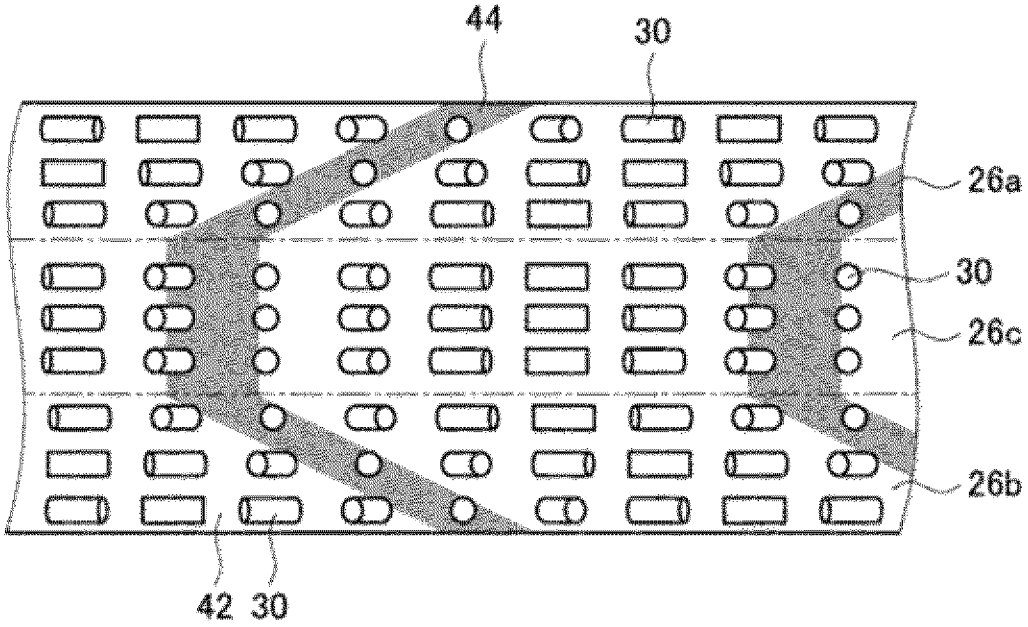
[図17]



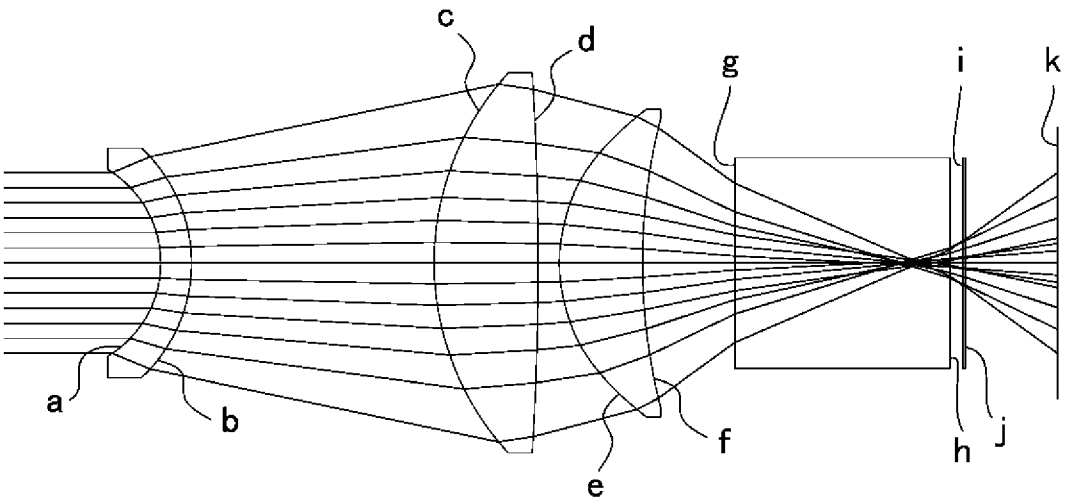
[図18]



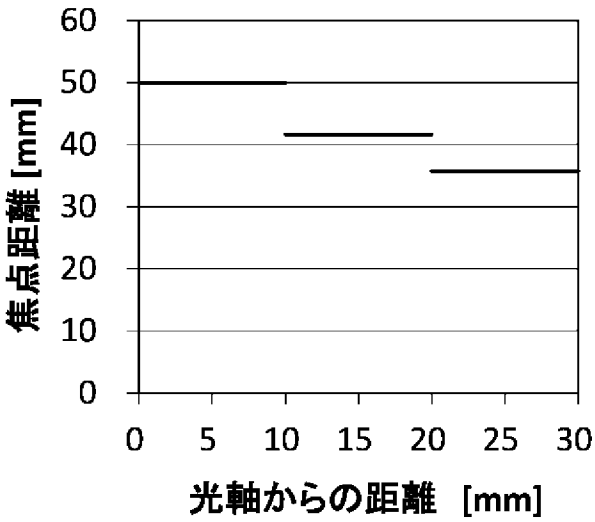
[図19]


44
30
26a
30
26c
26b
42
30

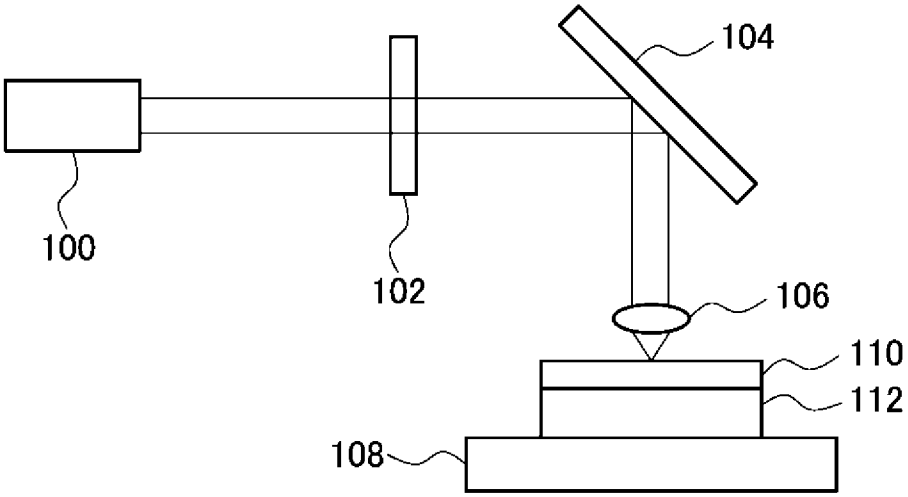
[図20]


c
d
g
i
k
a
b
f
e
h
j

[図21]


60
50
40
30
20
10
0
焦点距離 [mm]
0
5
10
15
20
25
30
光軸からの距離 [mm]

[図22]



INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.
PCT/JP2022/044588

A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER

G03F 7/20(2006.01)i; ***G02B 3/02***(2006.01)i; ***G02B 5/04***(2006.01)i; ***G02B 5/30***(2006.01)i; ***G02B 5/32***(2006.01)i; ***G02B 13/18***(2006.01)i
FI: G03F7/20 501; G02B5/30; G02B5/32; G02B3/02; G02B13/18; G02B5/04 B

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

B. FIELDS SEARCHED

Minimum documentation searched (classification system followed by classification symbols)

G03F7/20; G02B3/02; G02B5/04; G02B5/30; G02B5/32; G02B13/18

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

Published examined utility model applications of Japan 1922-1996
Published unexamined utility model applications of Japan 1971-2023
Registered utility model specifications of Japan 1996-2023
Published registered utility model applications of Japan 1994-2023

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

C. DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
X	WO 2020/022504 A1 (FUJIFILM CORPORATION) 30 January 2020 (2020-01-30) paragraphs [0084]-[0092], fig. 9	1-2, 4-10, 12-14
A		3, 11, 15-18
A	JP 10-284369 A (NIKON CORP) 23 October 1998 (1998-10-23) entire text, all drawings	1-18
A	WO 2019/004336 A1 (FUJIFILM CORPORATION) 03 January 2019 (2019-01-03) entire text, all drawings	1-18

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

* Special categories of cited documents:
"A" document defining the general state of the art which is not considered to be of particular relevance
"E" earlier application or patent but published on or after the international filing date
"L" document which may throw doubts on priority claim(s) or which is cited to establish the publication date of another citation or other special reason (as specified)
"O" document referring to an oral disclosure, use, exhibition or other means
"P" document published prior to the international filing date but later than the priority date claimed
"T" later document published after the international filing date or priority date and not in conflict with the application but cited to understand the principle or theory underlying the invention
"X" document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered novel or cannot be considered to involve an inventive step when the document is taken alone
"Y" document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered to involve an inventive step when the document is combined with one or more other such documents, such combination being obvious to a person skilled in the art
"&" document member of the same patent family

Date of the actual completion of the international search	Date of mailing of the international search report
27 January 2023	**07 February 2023**
Name and mailing address of the ISA/JP **Japan Patent Office (ISA/JP)** **3-4-3 Kasumigaseki, Chiyoda-ku, Tokyo 100-8915** **Japan**	Authorized officer Telephone No.

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.
PCT/JP2022/044588

Box No. III Observations where unity of invention is lacking (Continuation of item 3 of first sheet)

This International Searching Authority found multiple inventions in this international application, as follows:

Claims 1-14 have the special technical feature in that "at least one of the focusing elements is a focus-changing focusing element having a focal length fL that continuously changes in the direction perpendicular to the optical axis, and the ratio "fLmax/fLmin" of the maximum value fLmax and the minimum value fLmin of the focal length fL is greater than 1.1," and are thus classified as invention 1.

The invention in claim 1 is an invention of an exposure system while the invention in claims 15-18 is an invention of an optical element, and thus claims 15-18 does not have the same or corresponding special technical features with claim 1 classified as invention 1.

In addition, claims 15-18 are not dependent on claim 1. Furthermore, claims 15-18 are not substantially identical to or similarly closely related to any of the claims classified as invention 1.

Therefore, claims 15-18 cannot be classified as invention 1.

In addition, claims 15-18 have the special technical feature in that "with respect to the optical element, the focal length fG is continuously changed in the direction from the center of the concentric circle toward the outside, the ratio "fGmax/fGmin" of the maximum value fGmax and the minimum value fGmin of the focal length fG is greater than 1.1, and when the ratio of the intensity of the zeroth-order light to the intensity of the first-order light in the plane of the optical element is Rmax at the position in which the ratio of the intensity of the zeroth-order light to the intensity of the first-order light is the biggest, the ratio Rmax is 3% or less, and when the ratio of the intensity of diffracted light having the largest intensity among diffracted lights having a diffraction angle smaller than the diffraction angle of the first-order light to the intensity of the first-order light is Xmax, the ratio Xmax is 3% or less at the position in which the ratio Xmax is the biggest in the plane of the optical element," and are thus classified as invention 2.

1. ☑ As all required additional search fees were timely paid by the applicant, this international search report covers all searchable claims.

2. ☐ As all searchable claims could be searched without effort justifying additional fees, this Authority did not invite payment of additional fees.

3. ☐ As only some of the required additional search fees were timely paid by the applicant, this international search report covers only those claims for which fees were paid, specifically claims Nos.:

4. ☐ No required additional search fees were timely paid by the applicant. Consequently, this international search report is restricted to the invention first mentioned in the claims; it is covered by claims Nos.:

Remark on Protest

☐ The additional search fees were accompanied by the applicant's protest and, where applicable, the payment of a protest fee.

☐ The additional search fees were accompanied by the applicant's protest but the applicable protest fee was not paid within the time limit specified in the invitation.

☑ No protest accompanied the payment of additional search fees.

INTERNATIONAL SEARCH REPORT
Information on patent family members

International application No.
PCT/JP2022/044588

Patent document cited in search report	Publication date (day/month/year)	Patent family member(s)	Publication date (day/month/year)
WO 2020/022504 A1	30 January 2020	US 2021/0149256 A1 paragraphs [0248]-[0267], fig. 9	
JP 10-284369 A	23 October 1998	(Family: none)	
WO 2019/004336 A1	03 January 2019	US 2020/0142200 A1 entire text, all drawings	

国際調査報告

国際出願番号
PCT/JP2022/044588

A. 発明の属する分野の分類（国際特許分類（ＩＰＣ））

G03F 7/20(2006.01)i; G02B 3/02(2006.01)i; G02B 5/04(2006.01)i; G02B 5/30(2006.01)i; G02B 5/32(2006.01)i; G02B 13/18(2006.01)i
FI: G03F7/20 501; G02B5/30; G02B5/32; G02B3/02; G02B13/18; G02B5/04 B

B. 調査を行った分野

調査を行った最小限資料（国際特許分類（ＩＰＣ））

G03F7/20; G02B3/02; G02B5/04; G02B5/30; G02B5/32; G02B13/18

最小限資料以外の資料で調査を行った分野に含まれるもの

日本国実用新案公報	１９２２－１９９６年
日本国公開実用新案公報	１９７１－２０２３年
日本国実用新案登録公報	１９９６－２０２３年
日本国登録実用新案公報	１９９４－２０２３年

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

C. 関連すると認められる文献

引用文献のカテゴリー*	引用文献名　及び一部の箇所が関連するときは、その関連する箇所の表示	関連する請求項の番号
X	WO 2020/022504 A1 (富士フイルム株式会社) 30.01.2020 (2020-01-30) 段落0084-0092, 図9	1-2, 4-10, 12-14
A		3, 11, 15-18
A	JP 10-284369 A (株式会社ニコン) 23.10.1998 (1998-10-23) 全文・全図	1-18
A	WO 2019/004336 A1 (富士フイルム株式会社) 03.01.2019 (2019-01-03) 全文・全図	1-18

☐ Ｃ欄の続きにも文献が列挙されている。

☑ パテントファミリーに関する別紙を参照。

* 引用文献のカテゴリー
“A” 特に関連のある文献ではなく、一般的技術水準を示すもの
“E” 国際出願日前の出願または特許であるが、国際出願日以後に公表されたもの
“L” 優先権主張に疑義を提起する文献又は他の文献の発行日若しくは他の特別な理由を確立するために引用する文献（理由を付す）
“O” 口頭による開示、使用、展示等に言及する文献
“P” 国際出願日前で、かつ優先権の主張の基礎となる出願の日の後に公表された文献
“T” 国際出願日又は優先日後に公表された文献であって出願と抵触するものではなく、発明の原理又は理論の理解のために引用するもの
“X” 特に関連のある文献であって、当該文献のみで発明の新規性又は進歩性がないと考えられるもの
“Y” 特に関連のある文献であって、当該文献と他の１以上の文献との、当業者にとって自明である組合せによって進歩性がないと考えられるもの
“&” 同一パテントファミリー文献

国際調査を完了した日	国際調査報告の発送日
27.01.2023	07.02.2023

名称及びあて先
日本国特許庁(ISA/JP)
〒100-8915
日本国
東京都千代田区霞が関三丁目４番３号

権限のある職員（特許庁審査官）
田中　秀直 2G 3409

電話番号 03-3581-1101 内線 3226

国際調査報告

国際出願番号
PCT/JP2022/044588

第Ⅲ欄　発明の単一性が欠如しているときの意見（第１ページの３の続き）

次に述べるようにこの国際出願に二以上の発明があるとこの国際調査機関は認めた。

請求項１－１４は、「前記集光素子の少なくとも１つは、光軸と直交する方向に連続的に変化する焦点距離ｆＬを有する焦点変化集光素子であり、前記焦点距離ｆＬの最大値ｆＬmaxと最小値ｆＬminとの比『ｆＬmax／ｆＬmin』が１．１超である」という特別な技術的特徴を有しているので発明１に区分する。

請求項１に係る発明は、露光システムの発明であるのに対し、請求項１５－１８に係る発明は光学素子の発明であるから、請求項１５－１８は、発明１に区分された請求項１と、同一の又は対応する特別な技術的特徴を有しているとはいえない。

また、請求項１５－１８は請求項１の従属請求項ではない。さらに、請求項１５－１８は、発明１に区分されたいずれの請求項に対しても実質同一又はそれに準ずる関係にはない。

したがって、請求項１５－１８は発明１に区分できない。

そして、請求項１５－１８は、「前記光学素子は、前記同心円の中心から外側に向かう方向において、連続的に焦点距離ｆＧが変化し、前記焦点距離ｆＧの最大値ｆＧmaxと最小値ｆＧminとの比『ｆＧmax／ｆＧmin』が１．１超であり、前記光学素子の面内の、１次光の強度に対する０次光の強度の割合が最も大きい位置における、前記１次光の強度に対する０次光の強度の割合をＲmaxとした際に、前記割合Ｒmaxが３％以下であり、１次光の強度に対する、１次光の回折角度よりも小さい回折角度の回折光のうち最も強度が大きい回折光の強度の割合をＸmaxとした際に、前記光学素子の面内において前記割合Ｘmaxが最も大きくなる位置における前記割合Ｘmaxが３％以下である」という特別な技術的特徴を有しているので、発明２に区分する。

1. ☑ 出願人が必要な追加調査手数料をすべて期間内に納付したので、この国際調査報告は、すべての調査可能な請求項について作成した。

2. ☐ 追加調査手数料を要求するまでもなく、すべての調査可能な請求項について調査することができたので、追加調査手数料の納付を求めなかった。

3. ☐ 出願人が必要な追加調査手数料を一部のみしか期間内に納付しなかったので、この国際調査報告は、手数料の納付のあった次の請求項のみについて作成した。

4. ☐ 出願人が必要な追加調査手数料を期間内に納付しなかったので、この国際調査報告は、請求の範囲の最初に記載されている発明に係る次の請求項について作成した。

追加調査手数料の異議の申立てに関する注意

☐ 追加調査手数料及び、該当する場合には、異議申立手数料の納付と共に、出願人から異議申立てがあった。

☐ 追加調査手数料の納付と共に出願人から異議申立てがあったが、異議申立手数料が納付命令書に示した期間内に支払われなかった。

☑ 追加調査手数料の納付はあったが、異議申立てはなかった。

国際調査報告
パテントファミリーに関する情報

国際出願番号
PCT/JP2022/044588

引用文献	公表日	パテントファミリー文献	公表日
WO 2020/022504 A1	30.01.2020	US 2021/0149256 A1 0248-0267, 図9	
JP 10-284369 A	23.10.1998	（ファミリーなし）	
WO 2019/004336 A1	03.01.2019	US 2020/0142200 A1 全文・全図	