

(19) 日本国特許庁(JP)

(12) 公開特許公報(A)

(11) 特許出願公開番号

特開2012-194221

(P2012-194221A)

(43) 公開日 平成24年10月11日(2012.10.11)

(51) Int.Cl.	F I	テーマコード (参考)
G02B 5/30 (2006.01)	G02B 5/30	2H149
G03B 21/14 (2006.01)	G03B 21/14	Z
G03B 21/00 (2006.01)	G03B 21/00	D

審査請求 未請求 請求項の数 10 O L (全 27 頁)

(21) 出願番号 特願2011-56209 (P2011-56209)
 (22) 出願日 平成23年3月15日 (2011.3.15)

(71) 出願人 000000044
 旭硝子株式会社
 東京都千代田区丸の内一丁目5番1号
 (72) 発明者 村川 真弘
 福島県郡山市待池台1-8 郡山西部第二
 工業団地 AGCエレクトロニクス株式会
 社内
 (72) 発明者 小柳 篤史
 福島県郡山市待池台1-8 郡山西部第二
 工業団地 AGCエレクトロニクス株式会
 社内
 Fターム(参考) 2H149 AA17 AB01 BA02 BA06 BA29
 DA02 DA12 EA02 EA19 FA23Y
 FA41Z

最終頁に続く

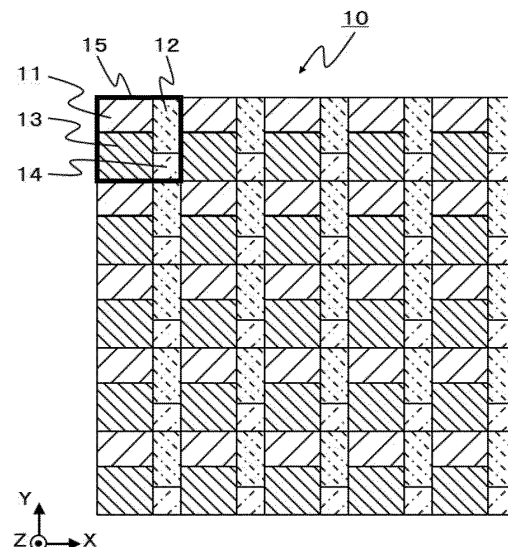
(54) 【発明の名称】 偏光解消素子および投射型表示装置

(57) 【要約】

【課題】コヒーレント性を有する複数の波長の光に対して高い偏光解消性を有する偏光解消素子およびスペックルノイズを低減することのできる投射型表示装置を提供する。

【解決手段】入射する光に対して発生する位相差が異なる m 個の領域($m \geq 4$)からなる単位領域が配置され、これら m 個の領域から抽出される2つの領域は、面積が異なる組み合わせを少なくとも1つ以上有し、波長が異なる複数の光が入射したとき、 m 個の各領域の面積および発生する位相差を設定することによって、 m 個の各領域を出射する光のストークスペクトルの合成を略0とし、コヒーレント性を有する複数の波長の光を自然光の偏光状態となるように変換することができる。

【選択図】図1



【特許請求の範囲】

【請求項 1】

複屈折性材料からなる複屈折性材料層を有し、入射する直線偏光の光に対して発生する位相差が異なる m 個の領域 ($m \geq 4$) からなる単位領域を有し、

前記 m 個の領域から抽出される 2 つの領域は、面積が異なる組み合わせを少なくとも 1 つ以上有し、

前記単位領域の面積を 1、 i を 1 ~ m の間の整数として、第 i の領域の面積を A_i 、前記第 i の領域に入射する光に対して発生する位相差を δ_i 、入射する直線偏光の光の偏光方向と前記複屈折性材料の光学軸とがなす角度を θ_i とするとき、下記の式を満足する前記前記光として、波長が異なる 2 つ以上の光が含まれ、前記光の偏光状態を変える偏光解消素子。

10

【数 1】

$$\left| \sum_{i=1}^m A_i \left(1 - 2 \sin^2 \frac{\delta_i}{2} \sin^2 2\theta \right) \right| \leq 0.0707 \quad \cdots (9a)$$

$$\left| \sum_{i=1}^m A_i \sin^2 \frac{\delta_i}{2} \sin 4\theta \right| \leq 0.0707 \quad \cdots (9b)$$

$$\left| \sum_{i=1}^m A_i \sin \delta_i \sin 2\theta \right| \leq 0.0707 \quad \cdots (9c)$$

20

【請求項 2】

前記単位領域は、 $4 \leq m \leq 8$ となる m 個の領域からなる請求項 1 に記載の偏光解消素子。

【請求項 3】

前記光は、波長 440 nm の光と波長 650 nm の光と、を含む請求項 1 または請求項 2 に記載の偏光解消素子。

【請求項 4】

前記光は、波長 532 nm の光を含む請求項 3 に記載の偏光解消素子。

30

【請求項 5】

前記光は、波長 440 nm ~ 波長 650 nm の帯域の光を含む請求項 4 に記載の偏光解消素子。

【請求項 6】

前記複屈折性材料の光学軸は同一方向に揃っており、

前記複屈折性材料層は、前記 m 個の領域毎に厚さが異なる (厚さが 0 も含む) 請求項 1 ~ 5 いずれか 1 項に記載の偏光解消素子。

【請求項 7】

前記 m 個の領域毎の厚さが、略等しい段差を有して互いに異なる請求項 6 に記載の偏光解消素子。

40

【請求項 8】

前記直線偏光の光の偏光方向と、前記複屈折性材料の光学軸の方向と、が略 45° であり、下記の式を満足する請求項 1 ~ 7 いずれか 1 項に記載の偏光解消素子。

【数 2】

$$\left| \sum_{i=1}^m A_i \cos \delta_i \right| \leq 0.1 \quad \cdots (17a)$$

$$\left| \sum_{i=1}^m A_i \sin \delta_i \right| \leq 0.1 \quad \cdots (17b)$$

【請求項 9】

10

コヒーレント光を発光する光源を少なくとも一つ含む光源部と、前記光源部が発光した光を変調して画像光を生成する画像光生成部と、前記画像光を投射する投射部とを備える投射型表示装置であって、

前記光源部から発光した光の光路中に、請求項 1 ～ 8 いずれかの偏光解消素子が配置される投射型表示装置。

【請求項 10】

配置される前記偏光解消素子を振動させるための揺動制御部を備える請求項 9 に記載の投射型表示装置。

【発明の詳細な説明】

【技術分野】

20

【0001】

本発明は、偏光解消素子および投射型表示装置に関し、とくに、コヒーレント性を有する光が入射する偏光解消素子、コヒーレント性を有する光源を使用した投射型表示装置に関する。

【背景技術】

【0002】

データプロジェクタあるいは背面投射型テレビジョン受像機のように、スクリーンに投影画像を表示する投射型表示装置において、光源としては、従来、超高圧水銀（UHP）ランプが使用されてきたが、単色性に優れていること、および光源の長寿命化の観点からレーザが提案されている。

30

【0003】

また、UHPランプはその性質から赤色の波長である 645 nm 近傍の波長帯域がブロードなスペクトルとなるため、赤色光源としてレーザを使用し、青色、緑色波長帯には UHPランプを使用する併用型の光源も提案されている。しかし、レーザを光源とした投射型表示装置では、投影画像中にレーザ光のコヒーレント性に起因する粒上のスペックルノイズが発生し、投影画像の画質が劣化するという問題がある。

【0004】

そこで、スペックルノイズを解消する手段として、レーザ光源からの光路中に液晶または高分子液晶を用いてなる位相変調素子を配置した投射型表示装置が報告されている（特許文献 1）。そして、この位相変調素子は、レーザ光の光軸と垂直な面内において遅相軸の方位方向とリタデーション値の一方または両方がそれぞれ異なった値で分布しており、レーザ光の入射面全面にわたって、遅相軸の方位方向が光軸を中心とする半径方向または円周方向に分布する例が示されている。

40

【先行技術文献】

【特許文献】

【0005】

【特許文献 1】国際公開第 2008 / 047800 号パンフレット

【発明の概要】

【発明が解決しようとする課題】

【0006】

50

しかし、特許文献 1 の位相変調素子は、入射するレーザ光の光軸と垂直な面において、遅相軸の方位方向、リタデーション値が全面的に滑らかに変化するように分布している。そのため、位相変調素子に入射する光の領域のうち、一部の狭い領域における分布については、遅相軸の方位方向やリタデーション値の変化が小さいため、一様な分布での偏光解消性を得ることが困難であり、投射型表示装置において部分的にスペckルノイズを大きく低減することが困難という問題があった。また、位相変調素子に入射する光のうち、特定の波長の光に対して高い偏光解消性を得る設定とした場合、それと異なる波長の光に対して、同レベルの高い偏光解消性まで得ることができず、偏光解消性の波長依存性があるという問題があった。

【 0 0 0 7 】

10

本発明は、従来技術のかかる問題を解決するためになされたものであり、コヒーレント性を有し、かつ、波長が異なる複数の光に対して、高い偏光解消性が得られる偏光解消素子の提供を目的とする。さらに、コヒーレント性を有し、波長が異なる複数の光を発射する光源を使用した場合、スペckルノイズを安定して大きく低減することができる信頼性の高い投射型表示装置の提供を目的とする。

【 0 0 0 8 】

本発明は、以上の点を鑑みてなされたものであって、複屈折性材料からなる複屈折性材料層を有し、入射する直線偏光の光に対して位相差が異なる m 個の領域 ($m \geq 4$) からなる単位領域を有し、前記 m 個の領域から抽出される 2 つの領域は、面積が異なる組み合わせを少なくとも 1 つ以上有し、前記単位領域の面積を 1、 i を 1 ~ m の間の整数として、第 i の領域の面積を A_i 、前記第 i の領域に入射する光に対して発生する位相差を δ_i 、入射する直線偏光の光の偏光方向と前記複屈折性材料の光学軸とがなす角度を θ_i とするとき下記の式を満足し、前記光として波長が異なる 2 つ以上の光が含まれ、前記光の偏光状態を変える偏光解消素子を提供する。

20

【 0 0 0 9 】

【 数 1 】

$$\left| \sum_{i=1}^m A_i \left(1 - 2 \sin^2 \frac{\delta_i}{2} \sin^2 2\theta \right) \right| \leq 0.0707 \quad \cdots (9a)$$

30

$$\left| \sum_{i=1}^m A_i \sin^2 \frac{\delta_i}{2} \sin 4\theta \right| \leq 0.0707 \quad \cdots (9b)$$

$$\left| \sum_{i=1}^m A_i \sin \delta_i \sin 2\theta \right| \leq 0.0707 \quad \cdots (9c)$$

【 0 0 1 0 】

また、前記単位領域は、 $4 \leq m \leq 8$ となる m 個の領域からなる上記の偏光解消素子を提供する。

40

【 0 0 1 1 】

また、前記光は、波長 440 nm の光と波長 650 nm の光と、を含む上記の偏光解消素子を提供する。

【 0 0 1 2 】

また、前記光は、波長 532 nm の光を含む上記の偏光解消素子を提供する。

【 0 0 1 3 】

また、前記光は、波長 440 nm ~ 波長 650 nm の帯域の光を含む上記の偏光解消素子を提供する。

【 0 0 1 4 】

また、前記複屈折性材料の光学軸は同一方向に揃っており、前記複屈折性材料層は、前

50

記 m 個の領域毎に厚さが異なる（厚さが 0 も含む）上記の偏光解消素子を提供する。

【0015】

また、前記 m 個の領域毎の厚さが、略等しい段差を有して互いに異なる上記の偏光解消素子を提供する。

【0016】

また、前記直線偏光の光の偏光方向と、前記複屈折性材料の光学軸の方向と、が略 45° であり、下記の式を満足する上記の偏光解消素子を提供する。

【0017】

【数 2】

$$\left| \sum_{i=1}^m A_i \cos \delta_i \right| \leq 0.1 \quad \cdots (17a)$$

$$\left| \sum_{i=1}^m A_i \sin \delta_i \right| \leq 0.1 \quad \cdots (17b)$$

【0018】

また、コヒーレント光を発光する光源を少なくとも一つ含む光源部と、前記光源部が発光した光を変調して画像光を生成する画像光生成部と、前記画像光を投射する投射部とを備える投射型表示装置であって、前記光源部から発光した光の光路中に、上記の偏光解消素子が配置される投射型表示装置を提供する。

【0019】

さらに、前配置される前記偏光解消素子を振動させるための揺動制御部を備える上記の投射型表示装置を提供する。

【発明の効果】

【0020】

本発明は、コヒーレント性を有し、かつ、波長が異なる複数の光に対して、一様に高い偏光解消性が得られる偏光解消素子を実現できる。また、本発明は、コヒーレント性を有し、かつ、波長が異なる複数の光を発射する光源を使用する投射型表示装置において、発生するスペックルノイズを、投射画像の全面にわたって安定して大きく低減できる効果がある。

【図面の簡単な説明】

【0021】

【図 1】偏光解消素子の平面模式図（1）。

【図 2】偏光解消素子の単位領域のレイアウト図（1）。

【図 3】偏光解消素子の平面模式図（2）。

【図 4】偏光解消素子の単位領域のレイアウト図（2）。

【図 5】各位置の偏光状態を示すポワンカレ球。

【図 6】単位領域の平面模式図。

【図 7】（a）単位領域の断面模式図の例 1。（b）単位領域の断面模式図の例 2。

【図 8】（a）単位領域の断面模式図の例 3。（b）単位領域の断面模式図の例 4。

【図 9】（a）単位領域の断面模式図の例 5。（b）単位領域の断面模式図の例 6。

【図 10】（a）投射型表示装置の構成概念図。（b）揺動制御部を有する投射型表示装置の構成概念図

【図 11】実施例に係る偏光解消素子の平面図

【図 12】実施例において、入射する光の波長に対する偏光解消特性（1）

【図 13】実施例において、入射する光の波長に対する偏光解消特性（2）

【図 14】比較例に係る偏光解消素子の平面図

【図 15】比較例において、入射する光の波長に対する偏光解消特性（1）

10

20

30

40

50

【図 1 6】比較例において、入射する光の波長に対する偏光解消特性 (2)

【発明を実施するための形態】

【0022】

(偏光解消素子の第 1 の実施形態)

図 1 は、本実施形態に係る偏光解消素子 10 の平面模式図である。偏光解消素子 10 は、同じ波長の光が入射したときに発生する位相差がそれぞれ異なる、第 1 の領域 11、第 2 の領域 12、第 3 の領域 13 および第 4 の領域 14 からなる単位領域 15 が 1 つ、または 2 次元的に複数個、並んで配置された領域を有する。ここで、同じレイアウトの単位領域 15 が複数個並んで配置される場合、偏光解消素子 10 に入射する (レーザ) 光の照射面積内に、3 ~ 50 個含まれるようにするのが好ましい。この場合、3 個未満であれば、偏光解消性の効果を十分に発揮することができず、50 個を超えると単位領域 15 の周期的な繰り返しによって発生する回折光が迷光になるうえに、光量のロスが生じ、高い光利用効率を得られなくなるからである。

10

【0023】

また、単位領域 15 を構成する 4 つの領域の面積は、同一ではない構成が好ましい。なお、ここで言う「同一ではない」とは、単位領域に含まれる 2 つの領域を抽出したとき、少なくとも 1 つ以上、領域の面積が異なる組み合わせを有する、という意味であって、組み合わせによっては同一の面積が抽出される場合が含まれてもよい。

【0024】

次に、図 2 (a) ~ 図 2 (h) は、単位領域 20 を構成する、第 1 の領域 16、第 2 の領域 17、第 3 の領域 18、第 4 の領域 19 を並べたレイアウトを示した例である。偏光解消素子 10 は、例えば、この 8 種類のレイアウトを示す単位領域から選択される 1 つが、複数個並べられて配置される構成でもよい。

20

【0025】

図 3 は、偏光解消素子 10 の別の構成の例を示す平面模式図であって、8 種類のレイアウトを示す単位領域 20 が 2 次元的に、ランダムに並ぶように配置される。このような配置を有する場合、偏光解消素子 10 は、単位領域 20 の配置による周期性が無い。そのため、この場合、偏光解消素子 10 を構成する単位領域 20 が並んで配置される個数は、偏光解消素子 10 に入射する (レーザ) 光の照射面積内において、50 個を超えてもよい。

【0026】

また、同じ偏光状態の光を出射するのであれば、例えば、第 1 の領域 11 が、単位領域 15 内で、複数の領域に離れて配置されてもよい。つまり、この場合、単位領域 15 内の各領域の面積が特定の比率を満足すれば、各領域のレイアウトは自由に設定できる。図 4 はその一例であって、単位領域 15 内で、第 1 の領域 11、第 2 の領域 12、第 3 の領域 13、第 4 の領域 15 が、それぞれ 4 つに離れて配置されている例を示す平面模式図である。つまり、図 4 の例のように、単位領域 15 が、別の単位領域を複数個並べたもの (この場合、 2×2) によって構成されてもよいことを示している。このような場合、偏光解消素子 10 において単位領域 15 が複数個、並んで配置される個数としては、偏光解消素子 10 に入射する (レーザ) 光の照射面積内に、3 個未満であってもよい。

30

【0027】

また、偏光解消素子 10 の単位領域 15 は、正方形の領域を有するものとして示したが、これに限らず、例えば、長方形、平行四辺形や台形、その他の多角形や曲面を有する形状であってもよい。

40

【0028】

また、上述のように、偏光解消素子 10 は、同じ波長の光が入射したときに発生する位相差が各領域でそれぞれ異なるとしたが、以下のように考えることができる。つまり、第 1 の領域 11 内を透過する光の偏光状態が同一であり、第 2 の領域 12 内を透過する光の偏光状態も同一であり、第 3 の領域 13 内を透過する光の偏光状態も同一であり、さらに、第 4 の領域 14 内を透過する光の偏光状態も同一であるが、これらの領域同士では、透過する光の偏光状態は互いに異なる。なお、ここでは、4 つの領域から単位領域 15 が構

50

成される例を示したが、これに限らず、4以上の領域からなればよい。また、分割する領域の数の上限はとくに制限はないが、8以下であれば、偏光解消素子10の構成が複雑化しないので好ましい。

【0029】

次に、ストークスパラメータ S を用いて、第1の領域11を透過する光の偏光状態、第2の領域12を透過する光の偏光状態、第3の領域13を透過する光の偏光状態および第4の領域14を透過する光の偏光状態について考える。まず、ストークスパラメータ S は、通常(S_0 、 S_1 、 S_2 、 S_3)の4次元ベクトルで表せる。そして、光の進行方向を Z 軸方向とし、 Z 軸方向に垂直な $X-Y$ 面を与え、 S_0 は光の強度、 S_1 は例えば X 軸方向を基準に 0° 方向に振動する電場の強度、 S_2 は X 軸方向を基準に 45° 方向に振動する電場の強度、そして S_3 は円偏光の強さを意味する。なお、光の強度 S_0 は、この場合、各領域の面積の大きさに比例した値が与えられる。

10

【0030】

図5は、ストークスパラメータ S のうち、 S_1 、 S_2 、 S_3 を用いて偏光状態を表すポワンカレ球であって、各領域を透過する光の偏光状態の関係について、このポワンカレ球を用いて考えられる。ここで、ポワンカレ球の中心点 C を基準として各ストークスパラメータの位置へ向かうベクトルをストークスベクトルとする。すなわち、ストークスベクトルは(S_1 、 S_2 、 S_3)で表記できる。そして、第1の領域11を透過する光のストークスベクトル、第2の領域12を透過する光のストークスベクトル、第3の領域13を透過する光のストークスベクトルおよび第4の領域14を透過する光のストークスベクトルと、の関係を考えて、これらのベクトルを合成して略ゼロとなれば、偏光が大きく解消された自然光の状態となる。本実施形態に係る偏光解消素子10は、少なくとも2つの異なる波長の光に対して、単位領域15を出射する各領域の光のストークスベクトルの合成が略ゼロとなるように設計される。

20

【0031】

次に、図1に示す単位領域15の具体的な構成について説明する。まず、図6は、図1の単位領域15を示すものであり、後述する断面形状について、第1の領域11および第2の領域12を含む直線 $A-A'$ および、第3の領域13および第4の領域14を含む直線 $B-B'$ を示している。そして、図7(a)は、直線 $A-A'$ に沿って得られる断面模式図の例、図7(b)は、直線 $B-B'$ に沿って得られる断面模式図の例を示している。偏光解消素子10は、透明基板16a上に複屈折性材料からなる複屈折性材料層21、22、23を有する。また、図7(a)、図7(b)は、単位領域15に Y 方向の直線偏光の光が入射し、各領域を出射した光の偏光状態も併せて模式的に示し、第1の領域11～第4の領域14を出射する各光の偏光状態をそれぞれ、11a、12a、13a、14aと示す。このとき、単位領域15を出射する光のストークスベクトルの合成が略ゼロとなるように、各領域の面積と、偏光状態すなわち複屈折性材料層の厚さを調整するとよい。

30

【0032】

透明基板16aは、入射する光に対して透明であれば、樹脂板、樹脂フィルムなど種々の材料を用いることができるが、ガラスや石英ガラスなどの光学的等方性材料を用いると、透過光に複屈折性の影響を与えないため好ましい。また、透明基板16aは、例えば、空気との界面に、多層膜による反射防止膜を備えると、フレネル反射による光反射損失を低減できるので好ましい。

40

【0033】

複屈折性材料としては、複屈折性を有する液晶モノマーを一方向に配向させるかまたは、ツイスト配向させた後に重合固化させた高分子液晶を用いることができる。また、例えば、図7(a)、図7(b)において、透明基板16aと複屈折性材料層21、22、23との間に図示しない配向膜が備わっていてもよく、ラビング処理された配向膜や紫外線などの光で配向方向を制御できる光配向膜、 SiO_2 などを斜方蒸着した配向膜や微細な溝構造により配向方向を制御する配向膜などを使用できる。

【0034】

50

また、複屈折性材料層としては、この他に、水晶や LiNbO_3 などの複屈折性結晶や、例えばポリカーボネートなどの有機フィルムを延伸させた複屈折性フィルムや、微細な凹凸状の格子形状により発生する構造複屈折または、凹凸上の格子形状の上に光学多層膜を積層してなるフォトリソグラフィ結晶などを使用できる。なお、構造複屈折、フォトリソグラフィ結晶などを用いる場合、光学軸は、微細な凹凸状の格子形状の長手方向と、その長手方向と直交する方向に相当する。

【0035】

次に、複屈折性材料層21、22、23の具体的構成について説明する。まず、偏光解消素子10に入射する直線偏光の光の進行方向をZ方向とし、透明基板16a面をX-Y平面として考える。さらに、直線偏光の偏光方向をY方向とする。このとき、複屈折性材料層21、22、23を構成する複屈折性材料の光学軸の方向が、X-Y平面において、Y方向に対して 45° をなし、厚さ方向に一樣に揃っているものとする。このように複屈折性材料層の光学軸をY方向に対して 45° または -45° 、すなわち入射する直線偏光の偏光方向に対して 45° または -45° に設定することは、後述する理由で、設計を簡単化できて好ましいが、それに限るものではない。なお、光学軸は、遅相軸または進相軸を意味する。ここで、複屈折性材料の常光屈折率を n_o 、異常光屈折率を n_e とし、 $|n_e - n_o|$ は、屈折率異方性 Δn とし、とくに、波長 λ に依存する屈折率異方性を $\Delta n(\lambda)$ と表現する。また、図7(b)において、第4の領域14には複屈折性材料層の厚さがゼロ、すなわち複屈折性材料層を有しない構成としたが、これに限らず、図示しない複屈折性材料層が備わっていてもよい。

10

20

【0036】

なお、以降の偏光解消素子に係る実施形態においても、とくに説明がない場合、透明基板や複屈折性材料として上記の材料を同様に使用できる。

【0037】

また、偏光解消素子10は、図7(a)、図7(b)の構成に限らず、この他に、以下に説明するように、単位領域15を示す図6の直線A-A'および、直線B-B'に沿って得られる断面模式図の他の例、それぞれが、図8(a)および図8(b)の構成、図9(a)および図9(b)の構成の構成であってもよい。まず、図8(a)、図8(b)は、厚さが異なる各領域の複屈折性材料層によってできる凹凸を充填平坦化する、等方性透明材料からなる充填材料層25を有し、透明基板16bを、透明基板16aと対向させて一体化する構成を示している。

30

【0038】

さらに、図9(a)、図9(b)は、透明基板16a上に第2の領域12の複屈折性材料層32、透明基板16b上に第3の領域13の複屈折性材料層33が備えられている。そして、第1の領域11の複屈折性材料層31として、透明基板16a上の複屈折性材料層32と同じ厚さの複屈折性材料層31aと、透明基板16b上の複屈折性材料層33と同じ厚さの複屈折性材料層31bと、を合わせて一つの層とみなした構成を示したものであり、複屈折性材料層31、32、33によってできる凹凸を、充填材料層35により充填平坦化して一体化する構成を示している。

40

【0039】

次に、偏光解消素子10に入射する直線偏光の光が、偏光解消素子10を透過して偏光が解消されることを、ストークスパラメータを用いて具体的に説明する。ここで、偏光解消素子10の偏光解消性は、個々の単位領域において偏光が解消された結果の重畳（あるいは平均化されたもの）とみなされるので、以下、単位領域15において、偏光が解消されることについて考える。ここで、単位領域15に入射する直線偏光の光は、X方向の直線偏光であって、(Input)とすると、式(1)のように、ストークスパラメータを用いて表記することができる。なお、式(1)は、前述したストークスパラメータの(S_0 、 S_1 、 S_2 、 S_3)の4次元ベクトルの表記を変えたものに相当する。

【0040】

【数 3】

$$I_input = \begin{pmatrix} 1 \\ 1 \\ 0 \\ 0 \end{pmatrix} \quad \dots \quad (1)$$

【0041】

10

ここで、単位領域15がm個の領域に分かれており、iが1～mのいずれかの整数を与える場合、第iの領域において発生する位相差を δi 、複屈折性材料層の進相軸が、X-Y平面において、X方向に対して θ の角度をなす方向に与えられるとき、ストークスパラメータを演算するための行列として式(2)のように表記できる。なお、位相差は、複屈折性材料層を透過する光のうち、遅相軸成分の光と進相軸成分の光の位相差に相当する。

【0042】

【数 4】

$$WPi(\delta i, \theta) = \begin{pmatrix} 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 1 - 2 \sin^2 \frac{\delta i}{2} \sin^2 2\theta & \sin^2 \frac{\delta i}{2} \sin 4\theta & -\sin \delta i \sin 2\theta \\ 0 & \sin^2 \frac{\delta i}{2} \sin 4\theta & 1 - 2 \sin^2 \frac{\delta i}{2} \cos^2 2\theta & \sin \delta i \cos 2\theta \\ 0 & \sin \delta i \sin 2\theta & -\sin \delta i \cos 2\theta & \cos \delta i \end{pmatrix} \quad \dots \quad (2)$$

【0043】

30

次に、単位領域の面積をAとして、第iの領域の面積を A_i とすると、式(3)のように表記できる。そして、式(3)において、 $A = 1$ と規格化すると、第iの領域に入射する直線偏光の光(I_i_input)は、式(4)のように表記できる。

【0044】

【数 5】

$$A = \sum_{i=1}^m A_i \quad \dots \quad (3)$$

【0045】

【数 6】

40

$$I_i_input = \begin{pmatrix} A_i \\ A_i \\ 0 \\ 0 \end{pmatrix} \quad \dots \quad (4)$$

【0046】

この結果、第iの領域を出射する光(I_i_Output)の偏光状態は、式(5)のように表記できる。ここで、例えば、ストークスベクトル S_0 について、第iの領域を出

50

射する光のストークスベクトルは、 $S_0(i)$ と表現する。

【 0 0 4 7 】

【 数 7 】

$$Ii_output = \begin{pmatrix} S_0(i) \\ S_1(i) \\ S_2(i) \\ S_3(i) \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} Ai \\ Ai \left(1 - 2 \sin^2 \frac{\delta i}{2} \sin^2 2\theta \right) \\ Ai \sin^2 \frac{\delta i}{2} \sin 4\theta \\ Ai \sin \delta i \sin 2\theta \end{pmatrix} \cdots (5)$$

10

【 0 0 4 8 】

この結果、単位領域 15 を出射する光 (I_Output) の偏光状態は、式 (6) のように表記できる。

【 0 0 4 9 】

【 数 8 】

$$I_output = \begin{pmatrix} \sum_{i=1}^m S_0(i) \\ \sum_{i=1}^m S_1(i) \\ \sum_{i=1}^m S_2(i) \\ \sum_{i=1}^m S_3(i) \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} 1 \\ \sum_{i=1}^m Ai \left(1 - 2 \sin^2 \frac{\delta i}{2} \sin^2 2\theta \right) \\ \sum_{i=1}^m Ai \sin^2 \frac{\delta i}{2} \sin 4\theta \\ \sum_{i=1}^m Ai \sin \delta i \sin 2\theta \end{pmatrix} \cdots (6)$$

20

【 0 0 5 0 】

30

ここで、式 (6) で表される単位領域 15 を出射する光が、偏光解消されて完全に自然光となるための条件としては、式 (6) の各ストークスパラメータについて、下記の式 (7a)、式 (7b) および式 (7c) を満足すればよい。

【 0 0 5 1 】

【 数 9 】

$$\sum_{i=1}^m Ai \left(1 - 2 \sin^2 \frac{\delta i}{2} \sin^2 2\theta \right) = 0 \cdots (7a)$$

40

$$\sum_{i=1}^m Ai \sin^2 \frac{\delta i}{2} \sin 4\theta = 0 \cdots (7b)$$

$$\sum_{i=1}^m Ai \sin \delta i \sin 2\theta = 0 \cdots (7c)$$

【 0 0 5 2 】

また、上記の式 (7a)、式 (7b) および式 (7c) を満たせば、単位領域 15 を出射する光が、完全な自然光とみなせるので好ましいが、式 (7a)、式 (7b) および式 (7c) の左辺が略 0 であれば、十分な偏光解消性が得られる。ここで、略 0 とは、以降に説明する条件を満たせばよい。

50

【 0 0 5 3 】

まず、単位領域 1 5 を出射する光の偏光状態を調べるために、偏光解消素子 1 0 の後方に、特定の方向の直線偏光のみを 1 0 0 % 透過する検光子を、X - Y 平面に平行に配置する系を考える。このとき、X - Y 平面内で検光子の透過軸を、例えば、X 軸方向を基準に角度 ϕ に配置する場合、検光子を透過する光の光量は、式 (8) で表記できる。

【 0 0 5 4 】

【 数 1 0 】

$$\frac{1}{2} \left(1 + \sum_{i=1}^m S_1(i) \cos 2\phi + \sum_{i=1}^m S_2(i) \sin 2\phi \right) \quad \dots (8)$$

10

【 0 0 5 5 】

ここで、検光子の透過軸の方向を変えた場合、つまり、 ϕ を変えた場合であっても、偏光が解消された状態、すなわち、式 (7 a)、式 (7 b) を満たしていると、 ϕ の値に依存せずに、式 (8) の値は常に 0 . 5 となる。一方、式 (7 a)、式 (7 b) を満たさない場合、式 (8) の値は、 ϕ の値に依存して、以下の範囲の値をとる。

【 0 0 5 6 】

【 数 1 1 】

$$\frac{1}{2} \left(1 - \sqrt{\left(\sum_{i=1}^m S_1(i) \right)^2 + \left(\sum_{i=1}^m S_2(i) \right)^2} \right) \sim \frac{1}{2} \left(1 + \sqrt{\left(\sum_{i=1}^m S_1(i) \right)^2 + \left(\sum_{i=1}^m S_2(i) \right)^2} \right) \quad 20$$

【 0 0 5 7 】

ここで、式 (8) において、十分に偏光が解消されているとみなされるレベルとしては、0 . 4 5 から 0 . 5 5 の範囲であって、式 (6) で表される単位領域 1 5 を出射する光が、この範囲にある条件は、式 (9 a)、式 (9 b) で与えられる。

【 0 0 5 8 】

【 数 1 2 】

$$\left| \sum_{i=1}^m A_i \left(1 - 2 \sin^2 \frac{\delta_i}{2} \sin^2 2\theta \right) \right| \leq 0.0707 \quad \dots (9a) \quad 30$$

$$\left| \sum_{i=1}^m A_i \sin^2 \frac{\delta_i}{2} \sin 4\theta \right| \leq 0.0707 \quad \dots (9b)$$

【 0 0 5 9 】

さらに、単位領域 1 5 を出射する光の偏光状態を調べるために、偏光解消素子 1 0 の後方に、1 / 4 波長板を X - Y 平面に平行に配置し、その後方に、特定の方向の直線偏光のみを 1 0 0 % 透過する検光子を、X - Y 平面に平行に配置する系を考える。このとき、X - Y 平面内で検光子の透過軸を、例えば、X 軸方向を基準に角度 ϕ に配置する場合、検光子を透過する光の光量は、式 (1 0) で表記できる。

40

【 0 0 6 0 】

【 数 1 3 】

$$\frac{1}{2} \left(1 - \sum_{i=1}^m S_3(i) \cos 2\phi + \sum_{i=1}^m S_2(i) \sin 2\phi \right) \quad \dots (10)$$

【 0 0 6 1 】

50

ここで、検光子の透過軸の方向を変えた場合、つまり、 φ を変えた場合であっても、偏光が解消された状態、すなわち、式(7b)、式(7c)を満たしていると、 φ の値に依存せずに、式(10)の値は常に0.5となる。一方、式(7b)、式(7c)を満たさない場合、式(10)の値は、 φ の値に依存して、以下の範囲の値をとる。

【0062】

【数14】

$$\frac{1}{2} \left(1 - \sqrt{\left(\sum_{i=1}^m S_3(i) \right)^2 + \left(\sum_{i=1}^m S_2(i) \right)^2} \right) \sim \frac{1}{2} \left(1 + \sqrt{\left(\sum_{i=1}^m S_3(i) \right)^2 + \left(\sum_{i=1}^m S_2(i) \right)^2} \right) \quad 10$$

【0063】

ここで、式(10)において、十分に偏光が解消されているとみなされるレベルとしては、0.45から0.55の範囲であって、式(6)で表される単位領域15を出射する光が、この範囲にある条件は、式(9b)、式(9c)で与えられる。なお、式(9b)は既出の式(9b)と同じ式である。

【0064】

【数15】

$$\left| \sum_{i=1}^m A_i \sin^2 \frac{\delta_i}{2} \sin 4\theta \right| \leq 0.0707 \quad \dots (9b) \quad 20$$

$$\left| \sum_{i=1}^m A_i \sin \delta_i \sin 2\theta \right| \leq 0.0707 \quad \dots (9c)$$

【0065】

このように、十分な偏光解消性を得るには、式(9a)、式(9b)および式(9c)を満たせばよく、本発明の偏光解消素子10としては、その単位領域15の第iの領域の面積 A_i および、第iの領域で発生する位相差 δ_i を調整することで、少なくとも値が異なる2つの以上の波長の光を対象に、式(9a)、式(9b)および式(9c)を満足できる。さらに、3値の異なる3つ以上の波長の光、あるいは、特定の波長帯域にある光を対象に、式(9a)、式(9b)および式(9c)を満足するように、単位領域15の第iの領域の面積 A_i および、第iの領域で発生する位相差 δ_i を設定できればより好ましい。

【0066】

ここで、本発明の偏光解消素子が、異なる波長の光に対して、偏光を解消することについて、波長と第iの領域で発生する位相差 δ_i を関連づける。第iの領域で発生する位相差 δ_i は、複屈折性材料層の屈折率異方性 Δn と、第iの領域の複屈折性材料層の厚さ d_i と波長 λ によって、式(11)のように表される。ここで、位相差 δ_i を波長 λ の関数として $\delta_i(\lambda)$ 、屈折率異方性 Δn には一般に波長分散があるので、波長 λ の関数として $\Delta n(\lambda)$ と表記している。

【0067】

【数16】

$$\delta_i(\lambda) = \frac{360^\circ}{\lambda} \Delta n(\lambda) \times d_i \quad \dots (11)$$

【0068】

すなわち、異なる波長の光を対象に、式(9a)、式(9b)および式(9c)を満足 50

するように、単位領域 15 の第 i の領域で発生する位相差 δi を設定するということは、所望の屈折率異方性の波長分散 $\Delta n(\lambda)$ を有する複屈折性材料の選定と、その厚さ $d i$ を設定することである。

【0069】

なお、単位領域 15 の第 i の領域で発生する位相差 δi として、 k を、 $1 \sim (m - 1)$ までの整数とし、第 k の領域で発生する位相差と、第 $(k + 1)$ の領域で発生する位相差と、の差を一定値 δ として、さらに、 i を、 $1 \sim m$ の整数として、式 (12) で表されるような限定を加えてもよい。

【0070】

【数 17】

10

$$\delta i = (m - i) \delta \quad \dots (12)$$

【0071】

こうした限定を加えることで、単位領域 15 内の各領域の複屈折性材料層の厚さを、一定の段差で段階的に構成でき、例えば、製造上のエッチングプロセスにおいて都合が良い場合がある。また、式 (12) は、第 m の領域で発生する位相差はゼロであって、第 m の領域の複屈折性材料層の厚さがゼロ、すなわち、第 m の領域には複屈折性材料層を形成しないこと意味している。この場合、前記 m 個の領域毎の厚さは、略等しい段差を有して互いに異なっていればよい。なお、ここでいう略等しいとは、段差数 $(m - 1)$ 個の平均の段差を基準とする、各段差が $-20\% \sim +20\%$ 以内の範囲であればよく、 $-10\% \sim +10\%$ 以内の範囲が好ましく、 $-5\% \sim +5\%$ 以内の範囲がより好ましい。

20

【0072】

次に、入射する直線偏光の光の偏光方向と、偏光解消素子 10 (あるいは単位領域 15) の複屈折性材料層の進相軸方向との角度 θ が 45° である場合について説明する。この場合、第 i の領域を出射する光 ($I i_Output$) の偏光状態は式 (13)、単位領域 15 を出射する光 (I_Output) の偏光状態は式 (14) で表される。

【0073】

【数 18】

$$I i_output = \begin{pmatrix} S_0(i) \\ S_1(i) \\ S_2(i) \\ S_3(i) \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} A_i \\ A_i \cos \delta i \\ 0 \\ A_i \sin \delta i \end{pmatrix} \quad \dots (13)$$

30

【0074】

【数 19】

$$I_output = \begin{pmatrix} \sum_{i=1}^m S_0(i) \\ \sum_{i=1}^m S_1(i) \\ \sum_{i=1}^m S_2(i) \\ \sum_{i=1}^m S_3(i) \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} 1 \\ \sum_{i=1}^m A_i \cos \delta i \\ 0 \\ \sum_{i=1}^m A_i \sin \delta i \end{pmatrix} \quad \dots (14)$$

40

50

【 0 0 7 5 】

ここで、式 (1 4) で表される単位領域 1 5 を出射する光が、偏光解消されて完全に自然光となるための条件としては、式 (1 4) の各ストークスパラメータについて、下記の式 (1 5 a)、式 (1 5 b) を満足すればよい。

【 0 0 7 6 】

【 数 2 0 】

$$\sum_{i=1}^m A_i \cos \delta i = 0 \quad \cdots (15a)$$

$$\sum_{i=1}^m A_i \sin \delta i = 0 \quad \cdots (15b)$$

10

【 0 0 7 7 】

また、上記の式 (1 5 a)、式 (1 5 b) を満たせば、単位領域 1 5 を出射する光が、完全な自然光とみなせるので好ましいが、式 (1 5 a)、式 (1 5 b) の左辺により得られる値が略 0 であれば、十分な偏光解消性を得られる。ここで、略 0 とは、以降に説明する条件を満たせばよい。

【 0 0 7 8 】

単位領域 1 5 を出射する光の偏光状態を調べるために、偏光解消素子 1 0 の後方に、特定の方向の直線偏光のみを 1 0 0 % 透過する検光子を、X - Y 平面に平行に配置する系を考える。このとき、X - Y 平面内で検光子の透過軸を、例えば、X 軸方向を基準に角度 ϕ に配置する場合、検光子を透過する光の光量は、式 (1 6) で表記できる。

20

【 0 0 7 9 】

【 数 2 1 】

$$\frac{1}{2} \left(1 + \sum_{i=1}^m S_1(i) \cos 2\phi \right) \quad \cdots (16)$$

【 0 0 8 0 】

ここで、検光子の透過軸の方向を変えた場合、つまり、 ϕ を変えた場合であっても、偏光が解消された状態、すなわち、式 (1 5 a) を満たしていると、 ϕ の値に依存せずに、式 (1 6) の値は常に 0 . 5 となる。一方、式 (1 6 a) を満たさない場合、式 (8) の値は、 ϕ の値に依存して、以下の範囲の値をとる。

30

【 0 0 8 1 】

【 数 2 2 】

$$\frac{1}{2} \left(1 - \sum_{i=1}^m S_1(i) \right) \sim \frac{1}{2} \left(1 + \sum_{i=1}^m S_1(i) \right)$$

【 0 0 8 2 】

ここで、式 (1 6) において、十分に偏光が解消されているとみなされるレベルとしては、0 . 4 5 から 0 . 5 5 の範囲であって、式 (1 4) で表される単位領域 1 5 を出射する光が、この範囲にある条件は、式 (1 7 a) で与えられる。

40

【 0 0 8 3 】

【 数 2 3 】

$$\left| \sum_{i=1}^m A_i \cos \delta i \right| \leq 0.1 \quad \cdots (17a)$$

【 0 0 8 4 】

50

さらに、単位領域 15 を出射する光の偏光状態を調べるために、偏光解消素子 10 の後方に、1/4 波長板を X - Y 平面に平行に配置し、その後方に、特定の方向の直線偏光のみを 100% 透過する検光子を、X - Y 平面に平行に配置する系を考える。このとき、X - Y 平面内で検光子の透過軸を、例えば、X 軸方向を基準に角度 ϕ に配置する場合、検光子を透過する光の光量は、式 (18) で表記できる。

【0085】

【数 24】

$$\frac{1}{2} \left(1 - \sum_{i=1}^m S_3(i) \cos 2\phi \right) \cdots (18)$$

10

【0086】

ここで、検光子の透過軸の方向を変えた場合、つまり、 ϕ を変えた場合であっても、偏光が解消された状態、すなわち、式 (15b) を満たしていると、 ϕ の値に依存せずに、式 (18) の値は常に 0.5 となる。一方、式 (15b) を満たさない場合、式 (18) の値は、 ϕ の値に依存して、以下の範囲の値をとる。

【0087】

【数 25】

$$\frac{1}{2} \left(1 - \sum_{i=1}^m S_3(i) \right) \sim \frac{1}{2} \left(1 + \sum_{i=1}^m S_3(i) \right)$$

20

【0088】

ここで、式 (18) において、十分に偏光が解消されているとみなされるレベルとしては、0.45 から 0.55 の範囲であって、式 (14) で表される単位領域 15 を出射する光が、この範囲にある条件は、式 (17b) で与えられる。

【0089】

【数 26】

$$\left| \sum_{i=1}^m A_i \sin \delta_i \right| \leq 0.1 \cdots (17b)$$

30

【0090】

このように、十分な偏光解消性を得るには、式 (15a)、式 (15b) を満たせばよく、本発明の偏光解消素子 10 としては、その単位領域 15 の第 i の領域の面積 A_i および、第 i の領域で発生する位相差 δ_i を調整することで、少なくとも値が異なる 2 つの以上の波長の光を対象に、式 (15a)、式 (15b) を満足できる。さらに、3 値の異なる 3 つ以上の波長の光、あるいは、特定の波長帯域にある光を対象に、式 (15a)、式 (15b) を満足するように、単位領域 15 の第 i の領域の面積 A_i および、第 i の領域で発生する位相差 δ_i を設定できればより好ましい。

40

【0091】

また、入射する直線偏光の光の偏光方向と、偏光解消素子 10 (あるいは単位領域 15) の複屈折性材料層の進相軸方向との角度 θ が 45° という限定を加えると、以下の点で都合がいい場合がある。つまり、角度 θ が 45° の場合、偏光解消素子 10 が十分な偏光解消性を得る条件となる、式 (17a)、式 (17b) を満足すればよく、一方、角度 θ が 45° と異なる場合、偏光解消素子 10 が十分な偏光解消性を得る条件である、式 (9a)、式 (9b) および式 (9c) を満足する場合に比べて、簡単化および値を緩和できる場合があるので好ましい。なお、角度 θ は略 45° であればよく、このとき、略 45° とは、 $35^\circ \sim 55^\circ$ の範囲であればよく、 $40^\circ \sim 50^\circ$ の範囲であれば好ましく、 $43^\circ \sim 47^\circ$ の範囲であれば、より好ましい。

50

【 0 0 9 2 】

以上、ストークスパラメータを用いて説明したように、本発明の偏光解消素子 1 0 において、偏光解消素子 1 0 を構成する単位領域 1 5 において、第 i の領域の面積 A i および、第 i の領域で発生する位相差 δ i を調整することで、少なくとも値が異なる 2 つの以上の波長の光に対して、十分な偏光解消性が得られる。さらに、広帯域にわたる波長の光が入射する場合でも、偏光解消性が高い偏光解消素子が得られる。

【 0 0 9 3 】

次に、具体的に、偏光解消素子 1 0 に示すように、単位領域 1 5 が、第 1 の領域 1 1、第 2 の領域 1 2、第 3 の領域 1 3 および第 4 の領域 1 4 からなる場合を考える。複屈折性材料層を構成する複屈折性材料は、以下の式 (1 9) に基づいた屈折率異方性 Δ n の波長分散を有し、α = 0 . 0 3、β = 0 . 0 0 1 5、γ = 0 の材料とする。そして、入射する光の波長について、λ₁ = 4 4 0 n m、λ₂ = 5 3 2 n m、λ₃ = 6 5 0 n m として、これら 3 種類の波長の光に対する偏光解消性について考える。なお、式 (1 9) の λ の単位は μ m である。

【 0 0 9 4 】

【 数 2 7 】

$$\Delta n(\lambda) = \alpha + \frac{\beta}{\lambda^2} + \frac{\gamma}{\lambda^4} \quad \dots \quad (19)$$

【 0 0 9 5 】

ここで、単位領域 1 5 の面積を 1 と規格化し、第 i の領域の面積 A i について、それぞれ、A 1 = 0 . 1 5、A 2 = 0 . 3 6、A 3 = 0 . 3 5、A 4 = 0 . 1 4 とした。そして、第 1 の領域 1 1 における複屈折性材料層の厚さを 2 2 . 0 μ m、第 2 の領域 1 2 における複屈折性材料層の厚さを 1 4 . 7 μ m、第 3 の領域 1 3 における複屈折性材料層の厚さを 7 . 3 μ m、第 4 の領域 1 4 には複屈折性材料層を備えないものとする。また、入射する直線偏光の光の偏光方向と、偏光解消素子 1 0 の複屈折性材料層の進相軸方向との角度 θ は、4 5 ° とする。

【 0 0 9 6 】

ここで、第 i の領域で発生する位相差 δ i (λ) は式 (1 1) で与えられており、式 (1 9) において、λ = λ₁ = 4 4 0 n m とすると、第 i の領域の位相差 δ 1 (4 4 0) = 6 7 9 °、位相差 δ 2 (4 4 0) = 4 5 3 °、位相差 δ 3 (4 4 0) = 2 2 6 °、位相差 δ 3 (4 4 0) = 0 ° となる。このとき、偏光解消素子 1 0 を出射する光の偏光状態は式 (1 4) のストークスパラメータで表すと、(1 , - 0 . 0 0 6 , 0 , 0 . 0 0 8) となり、いずれも、式 (1 7 a)、式 (1 7 b) を満足する。

【 0 0 9 7 】

また、式 (1 9) において、λ = λ₂ = 5 3 2 n m とすると、第 i の領域の位相差 δ 1 (5 3 2) = 5 2 6 °、位相差 δ 2 (5 3 2) = 3 5 0 °、位相差 δ 3 (5 3 2) = 1 7 5 °、位相差 δ 3 (5 3 2) = 0 ° となる。このとき、同様に、偏光解消素子 1 0 を出射する光の偏光状態は式 (1 4) のストークスパラメータで表すと、(1 , 0 . 0 0 1 , 0 , 0 . 0 0 7) となり、いずれも式 (1 7 a)、式 (1 7 b) を満足する。

【 0 0 9 8 】

さらに、式 (1 8) において、λ = λ₃ = 6 5 0 n m とすると、第 i の領域の位相差 δ 1 (6 5 0) = 4 0 9 °、位相差 δ 2 (6 5 0) = 2 7 3 °、位相差 δ 3 (6 5 0) = 1 3 6 °、位相差 δ 3 (6 5 0) = 0 ° となる。このとき、同様に、偏光解消素子 1 0 を出射する光の偏光状態は式 (1 4) のストークスパラメータで表すと、(1 , 0 . 0 1 8 , 0 , - 0 . 0 0 5) となり、いずれも式 (1 7 a)、式 (1 7 b) を満足する。

【 0 0 9 9 】

なお、偏光解消素子 1 0 の偏光解消性は、式 (1 6) および式 (1 8) で表される値が、0 . 4 5 ~ 0 . 5 5 内にあることを確認することで評価でき、おのこの値が 0 . 5 に

10

20

30

40

50

近いほど偏光解消性が高いといえる。また、式(16)および式(18)で表される値が、0.45~0.55の間で成立する光は広帯域であればよく、波長440nm~波長760nmの範囲であれば好ましく、波長400nm~波長700nmの範囲であれば、より好ましい。

【0100】

(投射型表示装置の実施形態)

図10(a)、図10(b)は、本実施形態に係る投射型表示装置の構成を示す模式図である。発光手段であるコヒーレント光を発する光源部として、例えば半導体レーザや固体レーザなど、少なくとも1つのレーザ101から出射された光はコリメータレンズ102によって略平行光となるように集光され、偏光子103を通過する。レーザ101として例えば、半導体レーザは直線偏光の光を出射するが、製造ばらつきや使用環境温度変化等により、その偏光方向にばらつきや時間的変動を有する場合がある。偏光子103は、この光の偏光状態を一定にするためのものであるが、省略できる。偏光子103を通過した光は、偏光解消素子10によって偏光状態が異なる光を透過させることにより空間的な光干渉性を平均化して出射する。偏光解消素子10を透過した散乱光は、集光レンズ104により、画像光生成部である空間光変調器105に集光される。また、レーザ101から出射する光は、ファイバなどを用いて導光されることで散乱される光でもよく、この場合、投射型表示装置100a、100bは、図10(a)、図10(b)に示す構成を有してもよいが、コリメータレンズ102、偏光子103を含まない構成としてもよい。

【0101】

偏光解消素子10を通過した光は、集光レンズ104を通過後、均質化されて空間変調器105へ照射される。集光レンズ104としては、例えば、開口数が大きなコンデンサレンズを使用すると、光を効率よく取り込めるので、光利用効率を高くできる。空間光変調器105としては、典型的には透過型液晶パネルが使用可能であるが、反射型の液晶パネルやデジタルマイクロミラーデバイス(DMD)などを使用してもよく、透過型の液晶パネルや反射型の液晶パネルを使用する時は、光の利用効率を上げるために偏光解消素子10と空間変調器105と、の間に偏光変換素子を配置してもよい。つまり、この偏光変換素子を透過させることで、偏光状態を揃えることができ、例えば、偏光依存性のある光学素子を透過または反射させる場合、光の利用効率を高くできる。

【0102】

このように空間光変調器105に入射した光束は、画像信号に応じて変調され、投影レンズ106によってスクリーン107などに投影される。なお、光源は、1つのレーザ光源のみを使用する構成であっても、異なる波長の光を出射するレーザ光源を複数配置する構成であっても、コヒーレント性を有さない光源とレーザ光源とを組み合わせる構成であってもよい。また、偏光解消素子10は空間変調素子105と投影レンズ106と、の間の光路中または、投影レンズ106とスクリーン107と、の間の光路中に配置してもよい。

【0103】

また、図10(b)に示す投射型表示装置100bは、偏光解消素子10を揺動するための揺動制御部18を備え、それ以外は、図10(a)に示す投射型表示装置100aと同じ構成を示した。具体的に揺動制御部18は、一定の時間的周期で特定の方向に偏光解消素子10を揺動できればよく、モータ、パネ、圧電素子、電磁力を利用したアクチュエータなどの機械的機構を有する。偏光解消素子10を揺動させる方向は、例えば、光軸に対して垂直な面内において1次元方向に繰り返し振動させたり、光軸を中心に回転させたり、または、光軸に対して垂直な面内において円を描くように振動させたりしてもよい。さらに、揺動制御部18は、偏光解消素子10を光軸方向に振動させたり、3次元的に振動させたりする機構が備わっていてもよい。また、振動させる周期としては、人間の目によって追従できなくなる30Hz以上とすることが好ましく、50Hz以上であればより好ましい。このように、揺動制御部18で振動制御させることで、透過する光の偏光状態を空間的に変えるだけでなく、時間的にも変えられるので、スペックルノイズを大きく低

減できる。

【実施例】

【0104】

本実施例では、第1の実施形態に係る偏光解消素子10として、図3に示すように、単位領域20が、4つの領域からなるとともに、単位領域20のレイアウトがランダムになっているパターンを作製した。具体的に、図11は、作製した偏光解消素子を拡大した平面写真である。なお、図11における太線は、単位領域を明確に示すための境界線であって、実際の平面写真に付加的に与えた。そして、この単位領域の形状は、 $0.4\text{ mm} \times 0.4\text{ mm}$ の正方形である。

【0105】

次に、本実施例に係る偏光解消素子10の作製方法について、図9(a)、図9(b)を用いて説明する。基板16aとして石英ガラス基板を用い、一方の面に可視域の光に対して図示しない反射防止膜を成膜し、反対側の面に図示しないポリイミド膜を塗布し、図の座標系のX軸に対して 45° 方向にラビング処理をして配向膜を形成した。そして、配向膜上に高分子液晶を、厚さが $14\text{ }\mu\text{m}$ となるように成膜した。使用した高分子液晶は、式(19)において、波長分散の係数が、 $\alpha = 0.03$ 、 $\beta = 0.0015$ 、 $\gamma = 0$ となる特性を有する。

【0106】

次に、フォトリソグラフィおよびエッチングプロセスにより、第1の領域11の複屈折性材料層31aに相当する高分子液晶と、第2の領域12の複屈折性材料層32に相当する高分子液晶を残し、第3の領域13および第4の領域14の高分子液晶を取り除いた。なお、単位領域20の面積を100%として、第1の領域11の面積は15%、第2の領域12の面積は36%とした。

【0107】

次に、基板16bとして石英ガラス基板を用い、一方の面に可視域の光に対して図示しない反射防止膜を成膜し、反対側の面に図示しないポリイミド膜を塗布し、図の座標系のX軸に対して 45° 方向にラビング処理をして配向膜を形成した。そして、配向膜上に高分子液晶を、厚さが $7\text{ }\mu\text{m}$ となるように成膜した。使用した高分子液晶は、式(19)において、波長分散の係数が、 $\alpha = 0.03$ 、 $\beta = 0.0015$ 、 $\gamma = 0$ となる特性を有する。

【0108】

次に、フォトリソグラフィおよびエッチングプロセスにより、第1の領域11の複屈折性材料層31bに相当する高分子液晶と、第3の領域13の複屈折性材料層33に相当する高分子液晶を残し、第2の領域12および第4の領域14の高分子液晶を取り除いた。なお、単位領域20の面積を100%として、第1の領域11の面積は15%、第3の領域13の面積は35%とした。次に、基板16aと基板16bとを、高分子液晶が向かい合うようにして、等方性の接着剤を介して一体化し、偏光解消素子10を作製した。なお、このとき、それぞれの配向膜の配向方向が一致するように重ねた。

【0109】

作製した偏光解消素子10について、X-Y平面内にてZ軸方向に進行する、Y軸方向の直線偏光の光を入射したときの、偏光解消性を評価するために、式(15a)、式(15b)の左辺に対応する値、そして式(16)に対応する値を測定した。なお、偏光解消素子10に入射した光の直径は2mmで、波長は400~700nmの範囲とした。図12は、式(15a)の左辺に対応する値を評価する検光子を、 15° おきに $-90^\circ \sim 90^\circ$ の範囲で回転させて得られた出力の値のうち、実線はこの出力の最大値、破線はこの出力の最小値を示した結果である。図12に示す通り、波長440nm、波長532nm、波長650nmを含む、波長420nm~波長700nmの範囲で、最大値を示す実線と最小値を示す破線が0.45~0.55の間にある結果になった。

【0110】

図13は、式(15b)の左辺に対応する値を評価する検光子を、 15° おきに -90°

10

20

30

40

50

° ~ 90° の範囲で回転させて得られた出力の値のうち、実線はこの出力の最大値、破線はこの出力の最小値を示した結果である。図 13 に示す通り、波長 440 nm、波長 532 nm、波長 650 nm を含む、波長 400 nm ~ 波長 700 nm の範囲で、最大値を示す実線と最小値を示す破線が 0.45 ~ 0.55 の間にある結果になった。これより、式 (15a)、式 (15b) と式 (16) に対応する値が、十分に偏光が解消されているとみなすレベルである 0.45 ~ 0.55 の間にあるので、偏光解消性素子 10 が広帯域にわたり十分な偏光解消性を確認できた。

【0111】

(比較例)

比較例では、単位領域が 4 つの領域から構成され、かつ、4 つの領域の面積がいずれも等しい偏光解消素子を作製して偏光解消性を評価した。具体的に、図 14 は、作製した偏光解消素子を拡大した平面写真である。なお、図 14 における太線は、単位領域を明確に示すための境界線であって、実際の平面写真に付加的に与えた。そして、この単位領域の形状は、1.0 mm × 1.0 mm の正方形であり、単位領域を構成する 4 つの領域それぞれの形状は、0.5 mm × 0.5 mm の正方形とした。

【0112】

比較例における偏光解消素子は、以下の点を除いて、実施例に示す偏光解消素子 10 と同様の材料および同様の方法で作製した。図 14 の単位領域を構成する 4 つの領域を、左上、右上、左下、右下の順に、第 1 の領域、第 2 の領域、第 3 の領域、第 4 の領域とするとき、一方の石英ガラス基板のうち、第 1 の領域および第 2 の領域のみに、厚さ 7.5 μm の高分子液晶層を形成した。そして、もう一方の石英ガラス基板のうち、第 1 の領域および第 3 の領域のみに、厚さ 3.8 μm の高分子液晶層を形成し、それぞれの高分子液晶層が向かい合うようにして、等方性の接着剤を介して一体化した。なお、作製した偏光解消素子は、波長 532 nm の光に対して、高い偏光解消性が得られるように高分子液晶層の厚さ等を設計した。

【0113】

作製した偏光解消素子について、X - Y 平面内にて Z 軸方向に進行する、Y 軸方向の直線偏光の光を入射したときの、偏光解消性を評価するために、式 (15a)、式 (15b) の左辺に対応する値、そして式 (16) に対応する値を測定した。なお、入射した光の波長は 400 ~ 700 nm の範囲とした。図 15 は、式 (15a) の左辺に対応する値を評価する検光子を、15° おきに -90° ~ 90° の範囲で回転させて得られた出力の値のうち、実線はこの出力の最大値、破線はこの出力の最小値を示した結果である。図 15 に示す通り、波長 532 nm を含む、波長 510 nm ~ 波長 700 nm の範囲で、最大値を示す実線と最小値を示す破線が 0.45 ~ 0.55 の間にある結果になった。一方、波長 400 nm ~ 波長 510 nm の範囲では、最大値が 0.55 以上になるとともに、最小値が 0.45 以下となった。

【0114】

図 16 は、式 (15b) の左辺に対応する値を評価する検光子を、15° おきに -90° ~ 90° の範囲で回転させて得られた出力の値のうち、実線はこの出力の最大値、破線はこの出力の最小値を示した結果である。図 16 に示す通り、波長 532 nm を含む、波長 410 nm ~ 波長 570 nm の範囲で、最大値を示す実線と最小値を示す破線が 0.45 ~ 0.55 の間にある結果になった。一方、波長 570 nm ~ 波長 700 nm の範囲では、最大値が 0.55 以上になるとともに、最小値が 0.45 以下となった。

【0115】

これより、式 (15a)、式 (15b) と式 (16) に対応する値が、十分に偏光が解消されているとみなすレベルである 0.45 ~ 0.55 の間にある波長範囲は 510 nm ~ 570 nm であり、高帯域における高い偏光解消性が得られなかった。

【産業上の利用可能性】

【0116】

以上のように、本発明は、コヒーレント性を有し、かつ、波長が異なる複数の光に対し

10

20

30

40

50

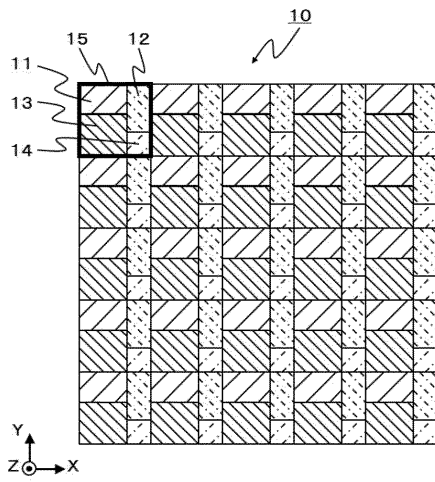
て、一様に高い偏光解消性が得られる偏光解消素子を提供できる。また、本発明は、コヒーレント性を有し、かつ、波長が異なる複数の光を発射する光源を使用する投射型表示装置において、発生するスペックルノイズを、投射画像の全面にわたって安定して大きく低減できる効果が得られる。

【符号の説明】

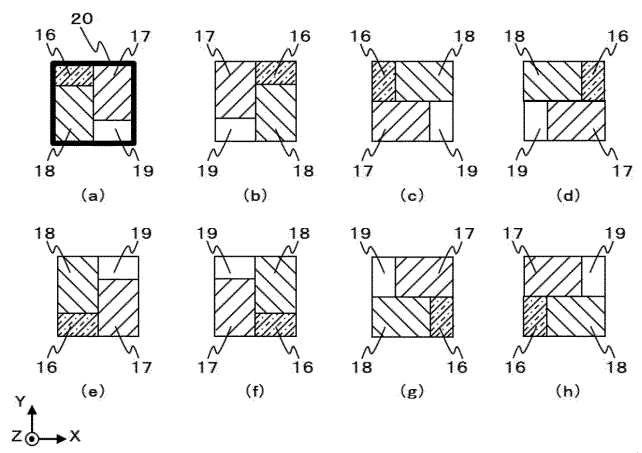
【 0 1 1 7 】

1 0	偏光解消素子	
1 1、1 6	第 1 の領域	
1 1 a	第 1 の領域を出射する光の偏光状態	
1 2、1 7	第 2 の領域	10
1 2 a	第 2 の領域を出射する光の偏光状態	
1 3、1 8	第 3 の領域	
1 3 a	第 3 の領域を出射する光の偏光状態	
1 4、1 9	第 4 の領域	
1 4 a	第 4 の領域を出射する光の偏光状態	
1 5、2 0	単位領域	
1 6 a、1 6 b	透明基板	
1 8	揺動制御部	
2 1、2 2、2 3、2 6、2 7、2 8、3 1、3 1 a、3 1 b、3 2、3 3	複屈折性	
材料層		20
2 5、3 5	充填材料層	
1 0 0 a、1 0 0 b	投射型表示装置	
1 0 1	レーザ	
1 0 2	コリメータレンズ	
1 0 3	偏光子	
1 0 4	集光レンズ	
1 0 5	空間光変調器	
1 0 6	投影レンズ	
1 0 7	スクリーン	

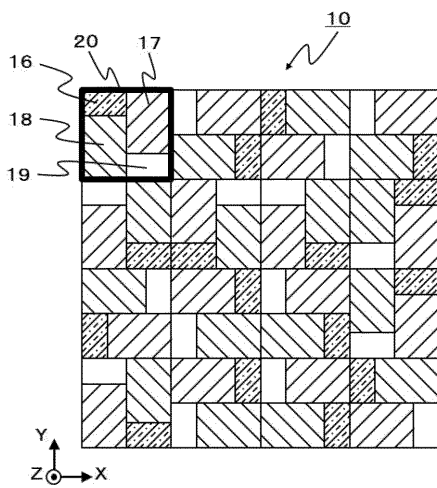
【図 1】



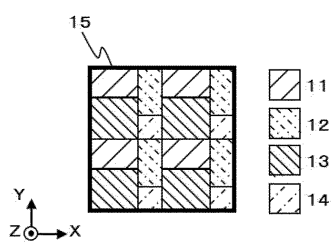
【図 2】



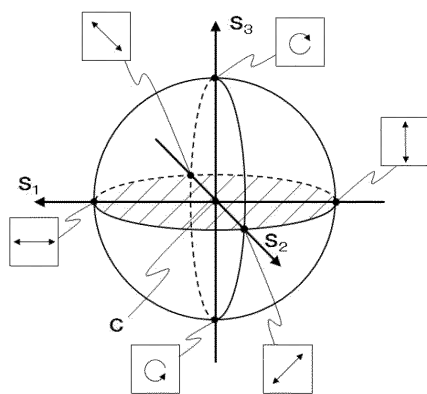
【図 3】



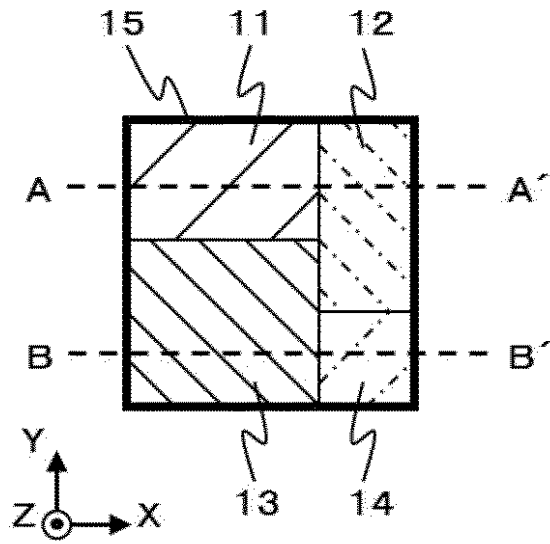
【図 4】



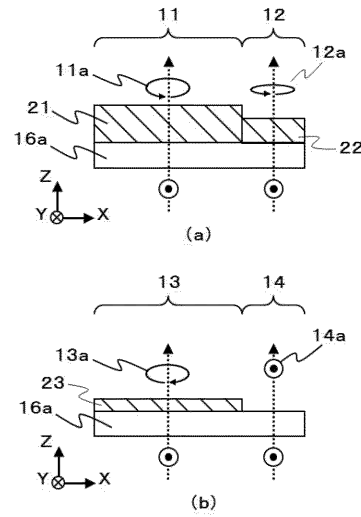
【図 5】



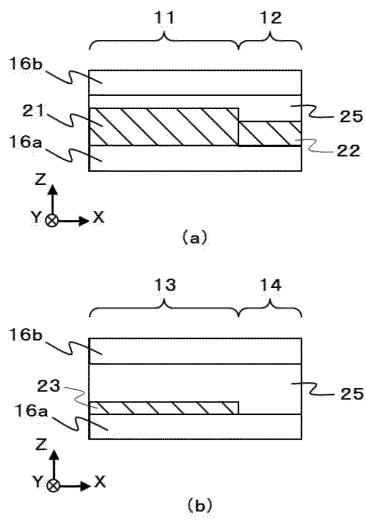
【図 6】



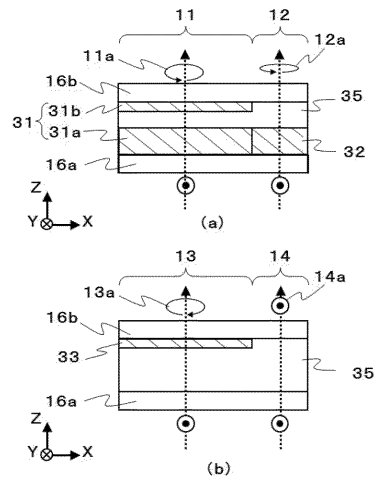
【図 7】



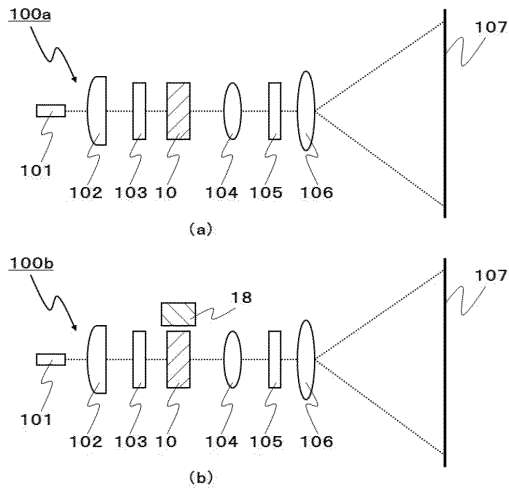
【図 8】



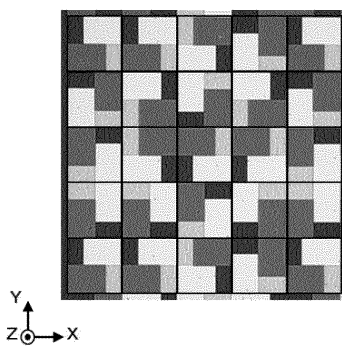
【図 9】



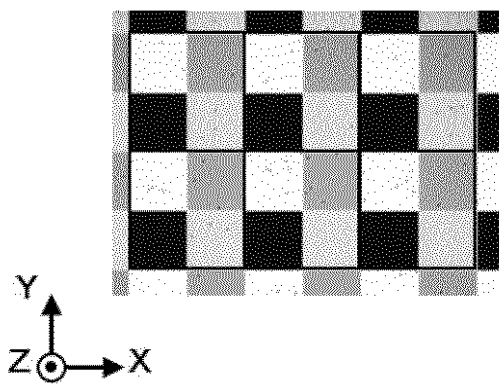
【図 10】



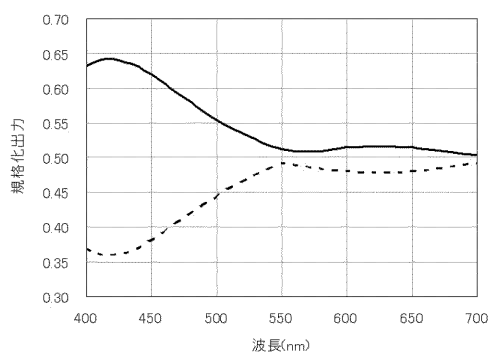
【図 11】



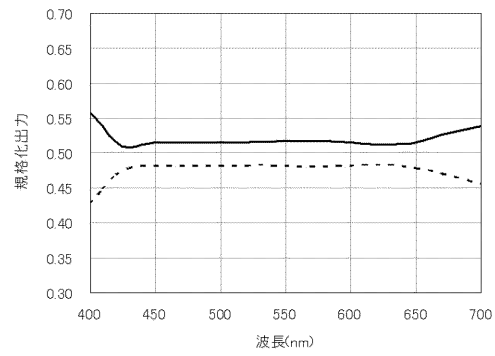
【図 14】



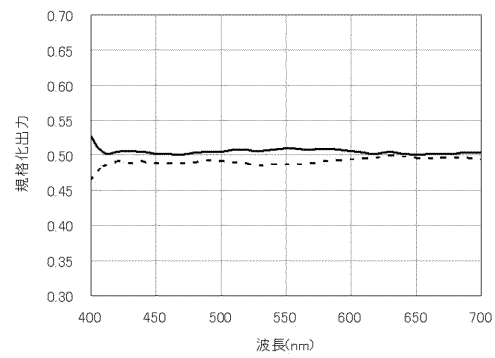
【図 15】



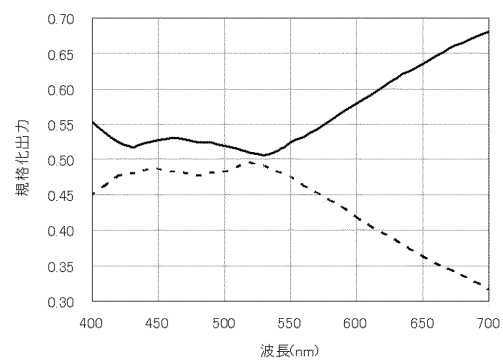
【図 12】



【図 13】



【図 16】



【手続補正書】

【提出日】平成24年3月13日(2012.3.13)

【手続補正 1】

【補正対象書類名】特許請求の範囲

【補正対象項目名】請求項 1

【補正方法】変更

【補正の内容】

【請求項 1】

複屈折性材料からなる複屈折性材料層を有し、入射する直線偏光の光に対して発生する位相差が異なる m 個の領域 ($m \geq 4$) からなる単位領域を有し、

前記 m 個の領域から抽出される 2 つの領域は、面積が異なる組み合わせを少なくとも 1 つ以上有し、

前記単位領域の面積を 1、 i を 1 ~ m の間の整数として、第 i の領域の面積を A_i 、前記第 i の領域に入射する光に対して発生する位相差を δ_i 、入射する直線偏光の光の偏光方向と前記複屈折性材料の光学軸とがなす角度を θ とするとき、下記の式を満足する前記前記光として、波長が異なる 2 つ以上の光が含まれ、前記光の偏光状態を変える偏光解消素子。

【数 1】

$$\left| \sum_{i=1}^m A_i \left(1 - 2 \sin^2 \frac{\delta_i}{2} \sin^2 2\theta \right) \right| \leq 0.0707 \quad \cdots (9a)$$

$$\left| \sum_{i=1}^m A_i \sin^2 \frac{\delta_i}{2} \sin 4\theta \right| \leq 0.0707 \quad \cdots (9b)$$

$$\left| \sum_{i=1}^m A_i \sin \delta_i \sin 2\theta \right| \leq 0.0707 \quad \cdots (9c)$$

【手続補正 2】

【補正対象書類名】明細書

【補正対象項目名】0008

【補正方法】変更

【補正の内容】

【0008】

本発明は、以上の点を鑑みてなされたものであって、複屈折性材料からなる複屈折性材料層を有し、入射する直線偏光の光に対して位相差が異なる m 個の領域 ($m \geq 4$) からなる単位領域を有し、前記 m 個の領域から抽出される 2 つの領域は、面積が異なる組み合わせを少なくとも 1 つ以上有し、前記単位領域の面積を 1、 i を 1 ~ m の間の整数として、第 i の領域の面積を A_i 、前記第 i の領域に入射する光に対して発生する位相差を δ_i 、入射する直線偏光の光の偏光方向と前記複屈折性材料の光学軸とがなす角度を θ とするとき下記の式を満足し、前記光として波長が異なる 2 つ以上の光が含まれ、前記光の偏光状態を変える偏光解消素子を提供する。

【手続補正 3】

【補正対象書類名】明細書

【補正対象項目名】0026

【補正方法】変更

【補正の内容】

【0026】

また、同じ偏光状態の光を出射するのであれば、例えば、第 1 の領域 11 が、単位領域

15内で、複数の領域に離れて配置されてもよい。つまり、この場合、単位領域15内の各領域の面積が特定の比率を満足すれば、各領域のレイアウトは自由に設定できる。図4はその一例であって、単位領域15内で、第1の領域11、第2の領域12、第3の領域13、第4の領域14が、それぞれ4つに離れて配置されている例を示す平面模式図である。つまり、図4の例のように、単位領域15が、別の単位領域を複数個並べたもの（この場合、 2×2 ）によって構成されてもよいことを示している。このような場合、偏光解消素子10において単位領域15が複数個、並んで配置される個数としては、偏光解消素子10に入射する（レーザ）光の照射面積内に、3個未満であってもよい。

【手続補正4】

【補正対象書類名】明細書

【補正対象項目名】0046

【補正方法】変更

【補正の内容】

【0046】

この結果、第*i*の領域を出射する光（ I_{i_output} ）の偏光状態は、式（5）のように表記できる。ここで、例えば、ストークスペクトル S_0 について、第*i*の領域を出射する光のストークスペクトルは、 $S_0(i)$ と表現する。

【手続補正5】

【補正対象書類名】明細書

【補正対象項目名】0048

【補正方法】変更

【補正の内容】

【0048】

この結果、単位領域15を出射する光（ I_{output} ）の偏光状態は、式（6）のように表記できる。

【手続補正6】

【補正対象書類名】明細書

【補正対象項目名】0080

【補正方法】変更

【補正の内容】

【0080】

ここで、検光子の透過軸の方向を変えた場合、つまり、 φ を変えた場合であっても、偏光が解消された状態、すなわち、式（15a）を満たしていると、 φ の値に依存せずに、式（16）の値は常に0.5となる。一方、式（15a）を満たさない場合、式（16）の値は、 φ の値に依存して、以下の範囲の値をとる。

【手続補正7】

【補正対象書類名】明細書

【補正対象項目名】0096

【補正方法】変更

【補正の内容】

【0096】

ここで、第*i*の領域で発生する位相差 $\delta_i(\lambda)$ は式（11）で与えられており、式（19）において、 $\lambda = \lambda_1 = 440\text{ nm}$ とすると、第*i*の領域の位相差 $\delta_1(440) = 679^\circ$ 、位相差 $\delta_2(440) = 453^\circ$ 、位相差 $\delta_3(440) = 226^\circ$ 、位相差 $\delta_4(440) = 0^\circ$ となる。このとき、偏光解消素子10を出射する光の偏光状態は式（14）のストークスパラメータで表すと、（1, -0.006, 0, 0.008）となり、いずれも、式（17a）、式（17b）を満足する。

【手続補正8】

【補正対象書類名】明細書

【補正対象項目名】0097

【補正方法】変更

【補正の内容】

【0097】

また、式(19)において、 $\lambda = \lambda_2 = 532 \text{ nm}$ とすると、第*i*の領域の位相差 $\delta_1(532) = 526^\circ$ 、位相差 $\delta_2(532) = 350^\circ$ 、位相差 $\delta_3(532) = 175^\circ$ 、位相差 $\delta_4(532) = 0^\circ$ となる。このとき、同様に、偏光解消素子10を出射する光の偏光状態は式(14)のストークスパラメータで表すと、 $(1, 0.001, 0, 0.007)$ となり、いずれも式(17a)、式(17b)を満足する。

【手続補正9】

【補正対象書類名】明細書

【補正対象項目名】0098

【補正方法】変更

【補正の内容】

【0098】

さらに、式(19)において、 $\lambda = \lambda_3 = 650 \text{ nm}$ とすると、第*i*の領域の位相差 $\delta_1(650) = 409^\circ$ 、位相差 $\delta_2(650) = 273^\circ$ 、位相差 $\delta_3(650) = 136^\circ$ 、位相差 $\delta_4(650) = 0^\circ$ となる。このとき、同様に、偏光解消素子10を出射する光の偏光状態は式(14)のストークスパラメータで表すと、 $(1, 0.018, 0, -0.005)$ となり、いずれも式(17a)、式(17b)を満足する。

【手続補正10】

【補正対象書類名】明細書

【補正対象項目名】0115

【補正方法】変更

【補正の内容】

【0115】

これより、式(15a)、式(15b)と式(16)に対応する値が、十分に偏光が解消されているとみなすレベルである $0.45 \sim 0.55$ の間にある波長範囲は $410 \text{ nm} \sim 570 \text{ nm}$ であり、高帯域における高い偏光解消性が得られなかった。

フロントページの続き

F ターム(参考) 2K103 AA05 AB10 BA02 BC11 BC14 BC47 BC50 CA17 CA26 CA29
CA75 CA76