

(19) 日本国特許庁(JP)

(12) 特許公報(B2)

(11) 特許番号

特許第6679366号
(P6679366)

(45) 発行日 令和2年4月15日(2020.4.15)

(24) 登録日 令和2年3月23日(2020.3.23)

(51) Int. Cl.			F I		
GO 1 N	21/21	(2006.01)	GO 1 N	21/21	Z
GO 2 B	5/30	(2006.01)	GO 2 B	5/30	
GO 1 N	21/88	(2006.01)	GO 1 N	21/88	H
GO 2 B	27/28	(2006.01)	GO 2 B	27/28	Z
HO 4 N	5/225	(2006.01)	HO 4 N	5/225	

請求項の数 13 (全 16 頁)

(21) 出願番号	特願2016-61520 (P2016-61520)	(73) 特許権者	000001007 キヤノン株式会社 東京都大田区下丸子3丁目30番2号
(22) 出願日	平成28年3月25日(2016.3.25)	(74) 代理人	100110412 弁理士 藤元 亮輔
(65) 公開番号	特開2017-173223 (P2017-173223A)	(74) 代理人	100104628 弁理士 水本 敦也
(43) 公開日	平成29年9月28日(2017.9.28)	(74) 代理人	100121614 弁理士 平山 倫也
審査請求日	平成31年3月20日(2019.3.20)	(72) 発明者	石松 理絵 東京都大田区下丸子3丁目30番2号 キヤノン株式会社内
		(72) 発明者	桃木 和彦 東京都大田区下丸子3丁目30番2号 キヤノン株式会社内

最終頁に続く

(54) 【発明の名称】 光学装置および撮像装置

(57) 【特許請求の範囲】

【請求項1】

被写体からの光を撮像素子に導く光学装置であって、
遅相軸方向の偏光成分と進相軸方向の偏光成分との間に $\pi/2$ (rad) の相対位相差を与える第1の位相差板と、
液晶層を備え、遅相軸方向の偏光成分と進相軸方向の偏光成分との間に与える相対位相差を変更可能な第2の位相差板と、
前記撮像素子に導く偏光成分を抽出する偏光板と、を有し、
前記第1の位相差板、前記第2の位相差板、および前記偏光板は、前記被写体の側から前記撮像素子の側へ順に配置され、
前記第1の位相差板の遅相軸方向または進相軸方向は、前記偏光板が抽出する偏光成分の偏光方向に対して平行であり、
前記第2の位相差板の遅相軸方向または進相軸方向は、前記偏光方向に対して45度だけ傾いており、
前記第2の位相差板が与える相対位相差の最大値と最小値との差分である位相変化量は、設計波長を λ (nm) としたとき、 $2\lambda/5$ 以上 $3\lambda/5$ 以下であることを特徴とする光学装置。

【請求項2】

前記位相変化量は、 $\lambda/2$ であることを特徴とする請求項1に記載の光学装置。

【請求項3】

前記設計波長は、550nmであることを特徴とする請求項1または2に記載の光学装置。

【請求項4】

前記第2の位相差板に印加する電圧を変化させることで、前記第2の位相差板が与える相対位相差を設定する設定手段を更に有することを特徴とする請求項1から3のいずれか1項に記載の光学装置。

【請求項5】

前記液晶層は、VA液晶層であることを特徴とする請求項1から4のいずれか1項に記載の光学装置。

【請求項6】

前記偏光板は、使用波長域において前記偏光方向と直交する方向の偏光成分の50%以上を吸収することを特徴とする請求項1から5のうちいずれか1項に記載の光学装置。

【請求項7】

請求項1から6のうちいずれか1項に記載の光学装置と、前記撮像素子とを有することを特徴とする撮像装置。

【請求項8】

前記第2の位相差板が与える相対位相差を変化させて取得される複数の画像に基づいて前記被写体の偏光情報を取得する制御手段を有することを特徴とする請求項7に記載の撮像装置。

【請求項9】

前記複数の画像を取得する際の前記第2の位相差板が与える相対位相差には、前記最大値および前記最小値の少なくとも一方が含まれることを特徴とする請求項8に記載の撮像装置。

【請求項10】

前記撮像素子と前記偏光板との間に配置される複数の層を含む光学ローパスフィルタを更に有し、

前記光学ローパスフィルタの最も前記偏光板の側の層による光分離方向は、前記偏光方向に対して45度だけ傾いていることを特徴する請求項7から9のうちいずれか1項に記載の撮像装置。

【請求項11】

前記撮像素子と前記偏光板との間に配置される光学ローパスフィルタと、
前記光学ローパスフィルタと前記偏光板との間に配置され、遅相軸方向の偏光成分と進相軸方向の偏光成分との間に $\pi/2$ (rad) の相対位相差を与える第3の位相差板と、
を更に有し、

前記第3の位相差板の遅相軸方向または進相軸方向は、前記偏光方向に対して45度だけ傾いていることを特徴とする請求項7から9のうちいずれか1項に記載の撮像装置。

【請求項12】

前記第1の位相差板と前記第3の位相差板の少なくとも一方は、アクロマチック位相差板であることを特徴とする請求項11に記載の撮像装置。

【請求項13】

請求項1から6のうちいずれか1項に記載の光学装置と、前記第2の位相差板が与える相対位相差を変化させて取得される複数の画像に基づいて前記被写体の偏光情報を取得する制御手段とを有することを特徴とする制御装置。

【発明の詳細な説明】

【技術分野】

【0001】

本発明は、光学装置および撮像装置に関し、特に偏光情報を取得可能な光学装置およびそれを有する撮像装置に関する。

【背景技術】

【0002】

10

20

30

40

50

被写体からの光の偏光状態を観察することによって、被写体の所定の特徴を強調して検出可能な撮像装置が知られている。例えば、一眼レフカメラのレンズ前面に偏光フィルタを装着し撮影することで、被写体の色やコントラスト等の質感を際立たせることや、水面等の反射光の写り込みを強調または軽減することができる。また、異なる偏光方向で撮影を行い、被写体のエッジや欠陥部を検出可能な検査装置等も知られている。

【0003】

特許文献1では、固体撮像素子上の各画素に対して異なる偏光を透過するワイヤーグリッド偏光板を有し、複数の画素から偏光情報を抽出する撮像素子の構成が開示されている。また、特許文献2では、 $\pi/4$ 板、位相差を可変可能な2枚の位相差板、および偏光板を有し、位相差板の軸方向を変化させながら複数枚の画像を撮ることによりストークスパラメータの一部を取得する構成が開示されている。

10

【先行技術文献】

【特許文献】

【0004】

【特許文献1】特許第5682437号公報

【特許文献2】米国特許出願公開第2009/0079982号明細書

【発明の概要】

【発明が解決しようとする課題】

【0005】

しかしながら、特許文献1では、複数の画素を偏光情報の取得に割り当てるため、解像度または色情報が失われる。また、特許文献2では、2枚の可変位相差板が必要であり、制御が煩雑化してコストも高くなる。さらに、一般的なデジタル一眼レフカメラ等で撮像素子の手前に配置される光学ローパスフィルタやオートフォーカス手段に偏光依存性が存在する場合、上記特許文献の構成では被写体の偏光情報を正しく取得できない可能性がある。

20

【0006】

このような課題に鑑みて、本発明は、簡易な構成で良好な偏光情報を取得可能な光学装置および撮像装置を提供することを目的とする。

【課題を解決するための手段】

【0007】

本発明の一側面としての光学装置は、被写体からの光を撮像素子に導く光学装置であって、遅相軸方向の偏光成分と進相軸方向の偏光成分との間に $\pi/2$ (rad) の相対位相差を与える第1の位相差板と、液晶層を備え、遅相軸方向の偏光成分と進相軸方向の偏光成分との間に与える相対位相差を変更可変可能な第2の位相差板と、前記撮像素子に導く偏光成分を抽出する偏光板と、を有し、前記第1の位相差板、前記第2の位相差板、および前記偏光板は、前記被写体の側から前記撮像素子の側へ順に配置され、前記第1の位相差板の遅相軸方向または進相軸方向は、前記偏光板が抽出する偏光成分の偏光方向に対して平行であり、前記第2の位相差板の遅相軸方向または進相軸方向は、前記偏光方向に対して45度だけ傾いており、前記第2の位相差板が与える相対位相差の最大値と最小値との差分である位相変化量は、設計波長を λ (nm) としたとき、 $2\lambda/5$ 以上 $3\lambda/5$ 以下であることを特徴とする。

30

40

【発明の効果】

【0008】

本発明によれば、簡易な構成で良好な偏光情報を取得可能な光学装置および撮像装置を提供することができる。

【図面の簡単な説明】

【0009】

【図1】実施例1の撮像装置の構成図である。

【図2】入射光の偏光状態と光強度の方位依存性の一例を示す図である。

【図3】入射光の偏光方向に対する偏光取得手段の透過率依存性を示す図である。

50

【図4】可変位相差の位相差ごとの入射光の偏光成分に対する偏光取得手段の透過率依存性を示す図である。

【図5】可変位相差板の位相差に対応する最大透過角の偏光成分の状態変化図である。

【図6】可変位相差板の構成図である。

【図7】偏光取得手段の偏光成分の光強度依存性を示す図である。

【図8】入射光束の模式図である。

【図9】入射角度に対する透過光の光強度分布図である。

【図10】実施例1の偏光取得手段の入射角度に対する偏光情報の誤差分布を示す図である。

【図11】比較例1の偏光取得手段の入射角度に対する偏光情報の誤差分布を示す図である。

10

【図12】比較例2の偏光取得手段の入射角度に対する偏光情報の誤差分布を示す図である。

【図13】比較例3の偏光取得手段の入射角度に対する偏光情報の誤差分布を示す図である。

【図14】比較例4の偏光取得手段の入射角度に対する偏光情報の誤差分布を示す図である。

【図15】実施例2の撮像装置の構成図である。

【発明を実施するための形態】

【0010】

20

以下、本発明の実施例について、図面を参照しながら詳細に説明する。各図において、同一の部材については同一の参照番号を付し、重複する説明は省略する。

【実施例1】

【0011】

図1を参照して、本実施例の撮像装置100の構成について説明する。図1(a)は、本実施例の撮像装置100の構成を簡易的に示す概略図である。図中のz方向は、光学系1の光軸方向である。撮像装置100は、被写体からの光を撮像素子2上に結像させる光学系1、被写体の画像情報を取得する撮像素子2、光学系1と撮像素子2との間の光路上に配置された偏光取得手段7、およびマイクロコンピュータ等である制御装置(制御手段)18を有する。なお、本実施例では、偏光取得手段7は光学系1と撮像素子2との間の光路上に配置されているが、本発明はこれに限定されない。偏光取得手段7は、撮像素子2より光入射側(被写体側)に配置されればよく、例えば、光学系1より光入射側や、光学系1が複数の光学要素から形成されている場合、複数の光学要素の途中に配置されてもよい。また、偏光取得手段7は、本実施例では撮像装置100内に設けられているが、図1(b)および図1(c)に示されるように、撮像装置100とは別の光学装置であるアダプタ20として構成されてもよい。アダプタ20は、共通のマウントを持つレンズやデジタルカメラに取り付け可能に構成され、偏光情報を取得する場合に図1(b)や図1(c)に示される位置でレンズ30やデジタルカメラ40と組み合わせられて使用される。

30

【0012】

偏光取得手段7は、 $\lambda/4$ 板(第1の位相差板)3、可変位相差板(第2の位相差板)4、偏光板5、および位相差設定部(設定手段)6を有する。 $\lambda/4$ 板3、可変位相差板4および偏光板5は、各軸が光学系1の光学軸に垂直な面内(xy平面内)となるように配置されている。 $\lambda/4$ 板3は、延伸フィルムから構成され、入射光の直交する偏光成分間に $\lambda/2$ (rad)の相対位相差を与える。 $\lambda/4$ 板3が与える $\lambda/2$ の相対位相差は、不変(固定)である。本実施例では、 $\lambda/4$ 板を用いるが、 $\lambda/2$ の相対位相差を与えることが可能であれば $3\lambda/4$ 板や可変位相差板であってもよい。可変位相差板4は、液晶を用いた素子であり、 $\lambda/4$ 板3と同様に入射光の直交する偏光成分間に相対位相差(以下、可変位相差板4の位相差という)を与え、印加される電圧に応じて可変位相差板4の位相差を変更可能に構成される。偏光板5は、入射光の偏光成分のうち透過軸方向(透過偏光方向)の成分を透過させる。偏光取得手段7は撮像装置100に用いられるため、

40

50

偏光板 5 は不要光を吸収するタイプの偏光板を用いることが望ましい。不要光を反射するタイプの、例えばワイヤーグリッド偏光子のような偏光板を用いると、カットする側の偏光が反射されその光が迷光やゴーストとなって画像に悪影響を及ぼすため、撮像装置 100 の構成としては望ましくない。より好ましくは、ゴーストへの影響を抑えるため、偏光板 5 は使用波長域全域において、透過軸と直交する方向に振動する偏光のうち 50% 以上を吸収する特性を有するものが望ましい。このような偏光板としては、例えばヨウ素化合物を含有する樹脂部材を延伸したフィルム等があるが、このような材料に限らず、任意の吸収型偏光板を使用すればよい。なお、使用波長域は、撮像装置 100 により取得される波長範囲であり、用途や撮像素子 2 の波長特性によって選択可能である。本実施例では、使用波長域を可視域 (400 nm ~ 700 nm) としている。使用波長域は、撮像装置 100 の構成に基づいて、可視域 (400 ~ 700 nm)、近赤外域 (700 ~ 1100 nm)、および近紫外域 (200 ~ 400 nm) のうち少なくとも 1 つの領域を選択するようにすればよい。可変位相差板 4 の設計波長 (nm) は、適切な特性を有するように、撮像装置 100 により取得される使用波長域に応じて選択すればよい。位相差設定部 6 は、撮像装置 100 からの信号 (指示) に応じて、可変位相差板 4 の位相差を設定 (変更) する。なお、本実施例では、位相差設定部 6 は、偏光取得手段 7 内に設けられているが、撮像装置 100 内に偏光取得手段 7 とは別に設けてもよい。

【0013】

制御装置 18 は、偏光成分制御部 8、信号記録部 9、および信号処理部 10 を有し、撮像装置 100 による撮影を制御する。撮像装置 100 では、偏光板 5 の透過軸方向を固定して可変位相差板 4 の位相差を時間的に変えながら撮像することで、偏光状態の異なる複数の画像を撮影する。制御装置 18 は、撮影された複数の画像に基づいて被写体の偏光情報を取得する。偏光成分制御部 8 は、撮像素子 2 と同期して、可変位相差板 4 の位相差の制御信号を位相差設定部 6 に出力する。この制御によって、撮像素子 2 が受光する被写体からの光の偏光成分が変化し、被写体の偏光情報を有する画像の取得が可能となる。信号記録部 9 は、撮像素子 2 により得られた画像等を不図示の記録媒体 (RAM 等) に一時的に保管する。保管された画像は、そのまま複数の画像として出力されてもよいし、信号処理部 10 で所定の処理を行った後に 1 枚または複数枚の画像として出力されてもよい。そのまま複数の画像を出力する場合、複数の画像を別途、PC などの外部の処理装置を用いて画像処理することで、より複雑な演算の必要な画像を取得することができる。また、信号処理部 10 が所定の特徴量を抽出する処理を行う場合、所望の画像を高速に取得することができる。

【0014】

次に、一般的な被写体からの光強度の方位依存性について述べる。図 2 (a) に示される楕円は、例示的な偏光状態の振幅の方位依存性を示す。は、偏光方向の x 軸方向に対する方位角 (度) である。図 2 (b) は、方位角 を横軸、方位角 のときの図 2 (a) の楕円半径の 2 乗である光強度 $I(\theta)$ を縦軸とした図である。図 2 (a) の線種の異なる各矢印は、図 2 (b) の同じ線種の矢印に対応する。図 2 では、方位角 が 45 度である偏光成分の光強度が最も強い。そのため、方位角 が 45 度またはそれと直交する 135 度である偏光成分を抽出することで、被写体の特徴を最も強調した画像を取得できる。

【0015】

次に、図 3 を参照して、偏光板 5 の透過軸方向を固定し、かつ、可変位相差板 4 の位相差を一定に設定した場合の偏光取得手段 7 に入射した入射光の振る舞いについて説明する。図 3 は、入射光の偏光方向に対する偏光取得手段 7 の透過率依存性を示す図である。図 3 では、可変位相差板 4 の位相差は $\pi/4$ に設定されている。偏光取得手段 7 の透過前後の矢印の方向と長さはそれぞれ、偏光方位と強度である。 $\pi/4$ 板 3 および可変位相差板 4 上の破線矢印は遅相軸方向を示し、偏光板 5 上の破線矢印は透過軸方向を示している。すなわち、 $\pi/4$ 板 3 の遅相軸方向と偏光板 5 の透過軸方向は、y 軸方向に平行となっている。ただし、厳密に平行である必要はなく、数度程度ずれていても実質的に平行 (略平行) とみなされる。また、 $\pi/4$ 板 3 の遅相軸方向および偏光板 5 の透過軸方向の x 軸方

10

20

30

40

50

向に対する方位角は90度となっている。ただし、厳密に90度である必要はなく、数度程度ずれていても実質的に90度(略90度)とみなされる。可変位相差板4の遅相軸方向のx軸に対する方位角は45度となっている。ただし、厳密に45度である必要はなく、数度程度ずれていても実質的に45度(略45度)とみなされる。また、 $\pi/4$ 板3の進相軸方向を偏光板5の透過軸方向が、y軸方向に対して平行に配置されてもよい。この場合、可変位相差板4の進相軸方向のx軸方向に対する方位角は45度となっている。

【0016】

図3(a)は、方位角が90度である偏光成分が入射した場合を示している。この場合、入射光は、偏光方向が $\pi/4$ 板3の遅相軸方向と平行であるため位相変化を受けずに $\pi/4$ 板3を透過する。 $\pi/4$ 板3を透過した光は、可変位相差板4により右円偏光に変換されるため、偏光板5を透過すると入射光に対し約50%の強度の直線偏光となる。

10

【0017】

図3(b)は、方位角が45度である偏光成分が入射した場合を示している。この場合、入射光は、 $\pi/4$ 板3により左円偏光に変換される。 $\pi/4$ 板3を透過した光は、可変位相差板4により偏光方向の方位角が90度の直線偏光に変換され偏光板5の透過軸方向と平行となるため、偏光板5をほぼ損失なく透過する。

【0018】

図3(c)は、方位角が0度である偏光成分が入射した場合を示している。この場合、入射光は、偏光方向が $\pi/4$ 板3の遅相軸方向と直交するため位相変化を受けずに $\pi/4$ 板3を透過する。 $\pi/4$ 板3を透過した光は、可変位相差板4により左円偏光に変換されるため、偏光板5を透過すると入射光に対し約50%の強度の直線偏光となる。

20

【0019】

図3(d)は、方位角135度である偏光成分が入射した場合を示している。この場合、入射光は、 $\pi/4$ 板3により右円偏光に変換される。 $\pi/4$ 板3を透過した光は、可変位相差板4により偏光方向の方位角が0度の直線偏光に変換され偏光板5の透過軸方向と直交するため、偏光板5をほぼ透過しない。

【0020】

したがって、可変位相差板4の位相差が $\pi/4$ である場合、偏光取得手段7への入射光の偏光成分のうち、方位角が45度である偏光成分の透過率が最大になる。以降、偏光取得手段7への入射光の偏光成分のうち透過率が最大になる偏光成分のx軸方向に対する角度(最大透過角)を θ (度)とする。

30

【0021】

図4は、可変位相差板4の位相差ごとの入射光の偏光成分の方位角と偏光取得手段7の透過率T(%)の関係図である。図中の線(a)~(d)はそれぞれ、可変位相差板4の位相差が0、 $\pi/4$ 、 $\pi/2$ 、 $3\pi/4$ に設定された場合を示している。例えば、線(a)では、方位角が90度のときに透過率T(%)が100%となっており、最大透過角 θ は90度となる。

【0022】

図5は、可変位相差板4の位相差に対応する最大透過角 θ の偏光成分の状態変化図である。 $\pi/4$ 板3および可変位相差板4上の破線矢印は遅相軸方向を示し、偏光板5上の破線矢印は透過軸方向を示している。図5(a)では、可変位相差板4の位相差は0に設定されており、最大透過角 θ は90度である。図5(b)では、可変位相差板4の位相差は $\pi/4$ に設定されており、最大透過角 θ は45度である。図5(c)では、可変位相差板4の位相差は $\pi/2$ に設定されており、最大透過角 θ は0度である。図5(d)では、可変位相差板4の位相差は $3\pi/4$ に設定されており、最大透過角 θ は135度である。

40

【0023】

換言すれば、図5(a)~図5(d)のいずれの状態においても、入射光が $\pi/4$ 板3と可変位相差板4を透過することで、入射光の所望の偏光成分は、偏光板5の透過軸方向

50

と平行な直線偏光となり、偏光板 5 をほぼ損失なく透過する。さらに換言すれば、偏光取得手段 7 は、入射光の偏光成分のうち所望の偏光成分の方向を偏光板 5 の透過軸方向へ回転させ、所望の偏光成分をほぼ損失なく撮像素子 2 に導く。

【 0 0 2 4 】

また、 / 4 板 3 と可変位相差板 4 の遅相軸、および可変位相差板 4 の遅相軸と偏光板 5 の透過軸がそれぞれ 4 5 度をなしているため、入射光のもつ位相情報の影響は最小限となる。例えば、完全な円偏光が入射した場合には / 4 板 3 により可変位相差板 4 の遅相軸と平行な方位角 4 5 度の直線偏光となるため、偏光取得手段 7 の透過率は可変位相差板 4 の位相差に関係なく偏光取得手段 7 の透過率は一定となる。楕円偏光の場合は、入射偏光の強度の方位依存性に応じた値が求められるため、強度についての情報は取得できる。10
なお、 / 4 板 3 と可変位相差板 4 の遅相軸、および可変位相差板 4 の遅相軸と偏光板 5 の透過軸がそれぞれ厳密に 4 5 度をなす必要はなく、数度程度ずれていても実質的に 4 5 度（略 4 5 度）とみなされる。

【 0 0 2 5 】

また、制御装置 1 8 は、入射光について光強度が最大となる偏光成分を求めるために、撮像素子 2 からの入力値を偏光成分の強度として、入射光の光強度の方位依存性に対して適切な関数（例えば、S i n 関数）で解析する。方位角 ϕ_i の偏光成分の光強度 $I(\phi_i)$ 、光強度 $I(\phi_i)$ に対する可変位相差板 4 の位相差を ϕ_j (nm) での偏光取得手段 7 の透過率 T_{ij} 、位相差 ϕ_j における入射光の全偏光成分の透過光強度 T_j は、以下の行列式 (1) を満足する。20

【 0 0 2 6 】

【数 1】

$$[T_j] = [T_{ij}] * [I(\phi_i)] \quad (1)$$

【 0 0 2 7 】

透過光強度 T_j の添え字 j は位相差 ϕ_j に対応し、各位相差が入射光の一方向の偏光成分にそれぞれ対応する。また、透過率 T_{ij} は、入射する直線偏光の振動方向と偏光取得手段 7 の構成が決まれば一意に求められる。よって、制御装置 1 8 は、あらかじめ透過率 T_{ij} を取得した上で、位相差 ϕ_j を変えて取得できる透過光強度 T_j を、入射光の偏光成分の振動方向に対する透過光強度プロットとして解析することで入射光の光強度の方位依存性を求めることができる。30

【 0 0 2 8 】

以上の方法を用いて、撮像装置 1 0 0 は、素子を回転駆動させることなく可変位相差板 4 を電氣的に駆動することで光強度の方位依存性の情報を取得することが可能となる。

【 0 0 2 9 】

次に、図 6 を参照して、可変位相差板 4 の構成について説明する。図 6 は可変位相差板 4 の構成図であり、図中の円形部分は液晶層の拡大図である。可変位相差板 4 は、基板 1 1、電極層 1 2、および配向膜 1 3 によって液晶層 1 4 を挟むように構成されている。液晶層 1 4 は、VA 方式の液晶層（VA 液晶層）で、液晶分子 1 5 が配向膜 1 3 に倣う形で配向している。印加電圧を 0 [V]、A [V]、B (> A) [V] へと変更させると、液晶分子 1 5 の配向角度（チルト角度）は最小値 ϕ_{min} から中間値 ϕ_{mid} を経て最大値 ϕ_{max} に変化する。位相差設定部 6 は、可変位相差板 4 に電圧を印加し、液晶分子 1 5 のチルト角度 ϕ 、すなわち屈折率異方性を制御することで、可変位相差板 4 の位相差を変化させる。40

【 0 0 3 0 】

チルト角が ϕ_{max} のときの位相差を最大位相差 ϕ_{max} (nm)、チルト角が ϕ_{min} のときの位相差を最小位相差 ϕ_{min} (nm) とすると、位相変化量は最大位相差 ϕ_{max} と最小位相差 ϕ_{min} の差分で表される。可変位相差板 4 の位相差は、印加電圧に応じて最小位相差 ϕ_{min} 以上、最大位相差 ϕ_{max} 以下の範囲内で変更可能であるが、駆50

動速度や可変位相差板 4 の角度特性を考慮すると、最大位相差と最小位相差であることが好ましい。よって、測定時の位相差を 2 値以上に変える場合は、最大位相差と最小位相差のいずれか一方を含むように位相差を設定することが好ましい。また、最大位相差と最小位相差の両方を含むように位相差を設定することがより好ましい。なお、位相変化量は、液晶層 1 4 の膜厚にも依存する。チルト角 θ_{max} 、 θ_{min} と液晶分子 1 5 の持つ屈折率異方性が一定でも、液晶層 1 4 の膜厚が増えれば位相変化量が大きくなる。位相変化量が大きくなると、偏光取得手段 7 の角度特性は低下する。

【0031】

ここで、位相変化量の適正值について説明する。上記説明では、最少位相差 θ_{min} を 0、最大位相差 θ_{max} を $3/4$ 、すなわち位相変化量を $3/4$ としていたが、本実施例では、位相変化量は、 $2/5$ 以上 $3/5$ 以下に設定する。すなわち、位相変化量を θ とするとき、位相変化量は $2/5 \leq \theta \leq 3/5$ なる条件を満たしている。位相変化量が大い場合、それに伴い液晶層 1 4 の膜厚が増加するとともに、偏光取得手段 7 の角度特性は低下してしまう。よって、偏光取得手段 7 の角度特性を考慮すると、位相変化量は $3/5$ 以下であることが好ましい。ただし、位相変化量は、厳密に $3/5$ 以下である必要はなく、 $3/5 \pm 1/10$ 以下であってもよい。一方、位相変化量が小さくなる場合、方位角 ϕ の可変量が小さくなる。方位角 ϕ の可変範囲が小さくなると、測定誤差がフィッティング精度に与える影響が大きくなり、取得される偏光情報の精度が低下する。よって、方位角 ϕ の可変範囲を考慮すると、位相変化量は $2/5$ 以上であることが好ましい。ただし、位相変化量は、厳密に $2/5$ 以上である必要はなく、 $2/5 \pm 1/10$ 以上であってもよい。

【0032】

本実施例では、可変位相差板 4 の位相変化量を $2/5$ 以上 $3/5$ 以下に設定することで、偏光取得手段 7 の角度特性を低下させることなく、偏光情報を高精度に取得することが可能となる。なお、位相変化量は、 $9/20$ 以上 $11/20$ 以下であることがより好ましく、 $19/40$ 以上 $21/40$ 以下であることがさらに好ましい。また、可変位相差板 4 の位相変化量を $\pi/2$ に設定することでより本発明の効果を実現することが可能である。なお、厳密に $\pi/2$ である必要はなく、 $\pi/2 \pm 1/10$ の範囲内であれば実質的に $\pi/2$ (略 $\pi/2$) とみなされる。

【0033】

なお、本発明では、VA 方式の液晶を用いることが好ましいが、これに限定されない。例えば、TN 方式や OCB 方式等、種々の液晶を用いてもよい。また、位相差が波長分散を持つ場合、設計波長での位相差が上記位相変化量の条件を満たせばよい。設計波長は、使用波長域の中から任意に設定可能である。例えば、使用波長が可視波長域 ($400 \sim 700 \text{ nm}$) である場合、設計波長を 550 nm とし、 550 nm の光に対して上記位相変化量の条件を満たせばよい。

【0034】

撮像装置 1 0 0 により取得される画像は、それぞれが異なる偏光情報を有するものの画像処理等の演算処理を経ることなく、そのまま画像として用いることができる。また、異なる偏光情報を有する画像間で演算処理を行うことで、画素単位で被写体の特徴をより強調した画像を取得することができる。例えば、取得したデータのうち最も光強度の小さい値のみで画像を生成、または最も光強度の大きい値のみで画像を生成することで、被写体の散乱光成分を強調した画像や、被写体からの正反射成分を強調した画像を取得することができる。なお、偏光の光強度の値とは、偏光取得手段 7 で得られた画像の直接の値でもよいし、偏光解析からの内挿または外挿の値でもよい。内挿、外挿とは、得られた偏光強度の差を強調または抑制するように、解析結果からの推定値を用いることを意味する。

【0035】

このように被写体の物体情報を光学的に取得することで、その特徴量を強調または抑制した画像が得られる。また、これらの組合せにより、撮影者の意図に合った画像を生成することが可能となる。さらには、画像の領域ごとに異なる偏光情報もしくは強調効果を持

10

20

30

40

50

たせた画像にしてもよい。例えば、主たる被写体と背景（例えば空など）に対して異なる偏光状態の画像を組み合わせることで、背景の色を均一化でき、また背景と主被写体それぞれを強調した画像を取得することができる。他にも被写体の偏光の強度依存性を利用した様々な処理を行うことにより、目的に則した画像を取得することができる。

【0036】

以下、本実施例の構成について、具体的なデータを当てはめて説明する。 / 4 板 3 や可変位相差板 4 の位相差について、 を被視感度の高い波長 550 nm とする。可変位相差板 4 は 3 つの位相差 (= 0、 / 4、 / 2) (nm) を与え、位相変化量は / 2 である。表 1 に、可変位相差板 4 の各位相差に対応する振動方向の異なる直線偏光に対する透過率、すなわち式 (1) 式における透過率 [T_{ij}] を表す。表 1 の i (度) は、入射偏光の振動方向が x 軸方向となす角度を表し、数値は画像表示素子の中心付近の値であり、入射角度 15 度の入射光束の偏光特性が平均化された値として取得される。また、各位相差 における最大透過角 θ_0 を表 1 の最下行に示す。例えば、位相差 が / 4 である場合の可変位相差板 4 を透過後の偏光状態は図 3 の状態となる。そのため、角度 i が 45 度のとき最も高い透過率となり、それと直交する角度 i が 135 度のとき最も小さい透過率となる。また、最大透過角 θ_0 と位相差 (度) の関係は、 $\theta_0 = - / 2 + 90$ と表すことができる。なお、他の波長に対しては、可変位相差板 4 の波長分散に応じて最大透過角 θ_0 が変化するが、可変位相差板 4 の分散特性が既知であれば、任意の波長に対して最大透過角 θ_0 を求めることができる。

【0037】

図 2 に示した偏光成分の光が入射した場合を例に、入射偏光の光強度の方位依存性を見積もる方法について説明する。まず、図 2 (b) から、方位角 における光強度は $I(0) = 0.75$ 、 $I(45) = 1.0$ 、 $I(90) = 0.75$ と読み取ることができる。式 (1) に従い、これらの光強度を [$I(j)$] として、表 1 の透過率 [T_{ij}] との積を取ると、透過光強度 [T_j] は $T(j=0, = 0) = 1.500$ 、 $T(j=1, = / 4) = 1.746$ 、 $T(j=2, = / 2) = 1.500$ となる。最大値で規格化すると、 $T'(j=0) = 0.859$ 、 $T'(j=1) = 1.000$ 、 $T'(j=2) = 0.861$ となる。

【0038】

ここで、 $j = 0, 1, 2$ に対する最大透過角 θ_0 はそれぞれ 90 度、45 度、0 度であるので、 j を θ_0 に直した上で規格化後の透過光強度 $T'(\theta_0)$ を光強度 $I(\theta)$ に重ねてプロットしたグラフを図 7 (a) に示す。図 7 (a) の で示されるプロットは偏光板 5 の透過軸方向を最大透過角 θ_0 としたときに得られる光強度を示し、 で示されるプロットは偏光取得手段 7 により得られる光強度を示す。どちらのデータからも光強度が最大となる偏光成分の方位角が 45 度であることが、 $I(\theta) = A + B * \sin^2(\theta - \theta_0)$ として最小 2 乗法等による A, B, θ_0 のフィッティングから得られる。しかしながら、 で示されるプロットには光強度に比べてオフセットが多く乗っている。このオフセット分は、偏光情報取得過程における消光比の低下に起因するものであり、例えば、規格化後の透過率 T' の最小値を $T(\theta)$ から減算した後に、再度規格化することで簡易的にある程度キャンセルすることが可能である。この処理を施した後の図 7 (a) と同様のグラフを図 7 (b) に示す。図 7 (b) の各プロットは、図 7 (a) に準拠している。図 7 (b) では、図 7 (a) に比べて入射強度のプロットを反映したデータが得られている。

【0039】

【表 1】

	$\Delta=0\lambda$	$\Delta=1/4\lambda$	$\Delta=1/2\lambda$
$\phi_i=0$	0.0000	0.4971	1.0000
$\phi_i=45$	0.5000	1.0000	0.5057
$\phi_i=90$	1.0000	0.4971	0.0000
最大透過方位	$\phi=90$	$\phi=45$	$\phi=0$

10

【0040】

次に、広がりのある光束が偏光取得手段 7 に入射した場合について説明する。図 8 は、入射光束の模式図である。図 9 は、図 10 に示される最外入射角度の広がりを有する光束が偏光取得手段 7 に入射する場合について、シミュレーションにより求められた入射角度に対する透過光の光強度分布図である。シミュレーションでは、入射光の偏光状態は、方位角を 45 度、最大強度 1 の直線偏光、つまり、 A_i を 0、 B_i を 1、 ϕ_i を 45 度とし、角度 θ を 15 度としている。また、最小のチルト角 θ_{min} を 0°、最大のチルト角 θ_{max} を 90°、液晶の屈折率異方性 $|n_e - n_o|$ を 0.085、液晶層の膜厚 d を 3.2 μm としている。図 9 は、図 8 の位置 z_1 での光束を入射側から見た図である。図 9 (a) は、シミュレーションに用いた入射光束を表している。図 9 (b) ~ (d) は、可変位相差板 4 の位相差がそれぞれ 0、 $\pi/4$ 、 $\pi/2$ の場合の透過光強度分布を表している。図 9 (b) ~ (d) に示されるように、可変位相差板 4 の位相変化量が $\pi/2$ ある本実施例では、入射角度によらず、ほぼ均一の透過光強度分布を取得することができる。

20

【0041】

次に、取得した透過光強度分布から、偏光情報 A 、 B 、 ϕ の分布をフィッティングにより算出する。図 10 は、算出された偏光情報 A 、 B 、 ϕ と、入射光の偏光情報 A_i ($= 0$)、 B_i ($= 1$)、 ϕ_i ($= 45$ 度) との絶対誤差 $|A - A_i|$ 、 $|B - B_i|$ 、 $|\phi - \phi_i|$ の分布図である。図 10 に示されるように、偏光情報 A 、 B は絶対誤差が 0.15 未満、偏光情報 ϕ の絶対誤差が 5 度未満で算出される。

30

【0042】

以下、入射角度依存性と可変位相差板 4 の位相変化量および測定時の位相差について明らかにするために、比較例を示す。

【0043】

(比較例 1)

本比較例では、可変位相差板 4 の位相変化量を $3\pi/4$ 、4 つの位相差 θ を 0、 $\pi/4$ 、 $\pi/2$ 、 $3\pi/4$ として撮影を行う。また、液晶層 14 の膜厚 d を 4.9 μm 、それ以外の構成を実施例 1 と同一としている。図 11 は、本比較例のシミュレーションで算出した絶対誤差 $|A - A_i|$ 、 $|B - B_i|$ 、 $|\phi - \phi_i|$ の分布図である。図 10 と図 11 を比較すると、本比較例では偏光情報を取得する際の入射角度による影響が実施例 1 より大きくなる。

40

【0044】

(比較例 2)

本比較例では、可変位相板の位相変化量を $3\pi/4$ 、3 つの位相差 θ を 0、 $\pi/4$ 、 $\pi/2$ として撮影を行う。また、液晶層 14 の膜厚 d を 4.9 μm 、それ以外の構成を実施例 1 と同一としている。図 12 は、本比較例のシミュレーションで算出した絶対誤差 $|A - A_i|$ 、 $|B - B_i|$ 、 $|\phi - \phi_i|$ の分布図である。図 10 と図 12 を比較すると、本比較例では、偏光情報を取得する際の入射角度による影響が実施例 1 より大きくなる

50

【0045】

(比較例3)

本比較例では、可変位相差板4の位相変化量を $\pi/4$ 、3つの位相差を 0 、 $\pi/4$ 、 $3\pi/4$ として撮影を行う。また、液晶層14の膜厚 d を $4.9\mu\text{m}$ 、それ以外の構成を実施例1と同一としている。図13は、本比較例のシミュレーションで算出した絶対誤差 $|A - A_i|$ 、 $|B - B_i|$ 、 $|C - C_i|$ の分布図である。図10と図13を比較すると、本比較例では、偏光情報を取得する際の入射角度による影響が実施例1より大きくなる。

【0046】

以上、比較例1-3のように位相変化量を大きくした場合、測定時の位相差量や測定回数によらず取得される偏光情報の誤差が大きくなる。したがって、位相変化量を $\pi/5$ より小さくすることが好ましい。

【0047】

(比較例4)

本比較例では、可変位相差板4の位相変化量を $\pi/4$ 、3つの位相差を 0 、 $\pi/8$ 、 $3\pi/4$ として撮影を行う。また、液晶層14の膜厚 d を $1.6\mu\text{m}$ 、それ以外の構成を実施例1と同一としている。図14は、本比較例のシミュレーションで算出した絶対誤差 $|A - A_i|$ 、 $|B - B_i|$ 、 $|C - C_i|$ の分布図である。図10と図14を比較すると、本比較例では、偏光情報を取得する際の入射角度による影響が実施例1より大きくなる。以上より、位相差が小さくなりすぎても、偏光情報の誤差が大きくなる。したがって、位相変化量を $2\pi/5$ より大きくすることが好ましい。

【実施例2】

【0048】

本実施例では、光学ローパスフィルタ等が配置された場合に生じる影響を考慮した撮像装置200について説明する。実施例1と重複する構成については、説明を省略する。

【0049】

一般に、デジタル一眼レフカメラ等の撮像装置では、モアレや偽色防止のため撮像素子の近傍に光学ローパスフィルタが配置される。実施例1で説明した構成を用いても、撮像素子2の手前に配置された光学ローパスフィルタやオートフォーカス手段に偏光依存性が存在する場合、被写体の偏光情報を正しく取得できない場合がある。また、偏光取得手段7を単に光学ローパスフィルタとレンズの間に配置すると、偏光取得手段7の影響により光学ローパスフィルタとしての所望の効果が得られない場合がある。

【0050】

図15は、光学ローパスフィルタ17を有する撮像装置200の概略図を示す。光学ローパスフィルタ17には、複屈折媒質が複数層積層されたものや偏光回折素子などの偏光特性を利用したものが用いられる。

【0051】

上述のような光学ローパスフィルタ等が配置された場合に生じる弊害に対し、実施例2では、偏光板5と光学ローパスフィルタ17の間にアクロマチック $\pi/4$ 板(アクロマチック位相差板、第3の位相差板)16を挿入し円偏光に変換する。通常のアクロマチック $\pi/4$ 板を挿入することとしてもよいが、アクロマチック $\pi/4$ 板には波長分散があり使用波長域全域で均一な円偏光とならず、波長による位相ズレが色の变化として画像に表れる可能性がある。そのため、挿入するアクロマチック $\pi/4$ 板としては、使用波長域(例えば、可視波長域)において位相差が最小となるように設計されたアクロマチック $\pi/4$ 板が望ましい。また、それ以外の対策として、光学ローパスフィルタ17の最も偏光取得手段7に近い層(積層構造となっている場合)の光分離方向と偏光板5の透過軸方向とが45度をなすように配置してもよい。この場合も、光学ローパスフィルタの特性と偏光取得手段7の特性を両立できる。いずれの対策を用いてもよいが、後者の方が簡易である。

【0052】

10

20

30

40

50

以上、本発明の好ましい実施形態について説明したが、本発明はこれらの辞し形態に限定されず、その要旨の範囲内で種々の変形および変更が可能である。

【0053】

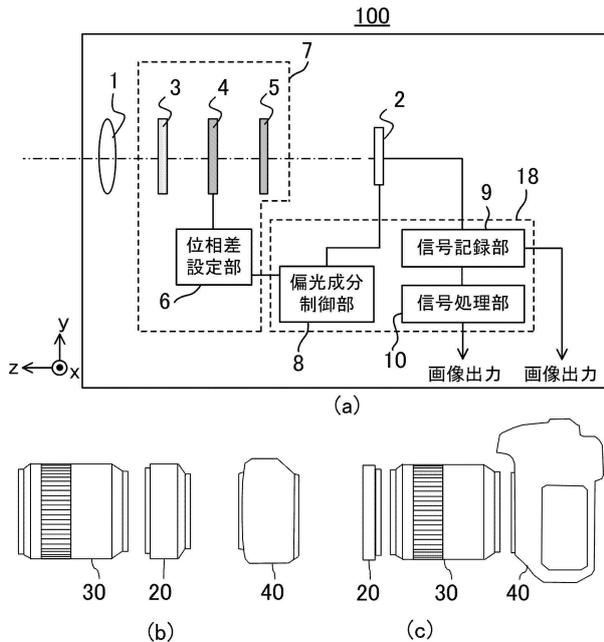
なお、可変位相差板4の位相差に示されるは、一般的な撮像装置の使用波長域は可視域(400~700nm)であるため、そのような波長であればよく、例えば中心波長550nmとすればよい。または、撮像装置の使用波長域が赤外域(700nm~1100nm)の場合は赤外域内の波長であればよく、例えば波長900nmとすればよい。その両方を含む場合には、可視域または赤外域内の波長であればよく、例えば波長750nmとすればよい。

【符号の説明】

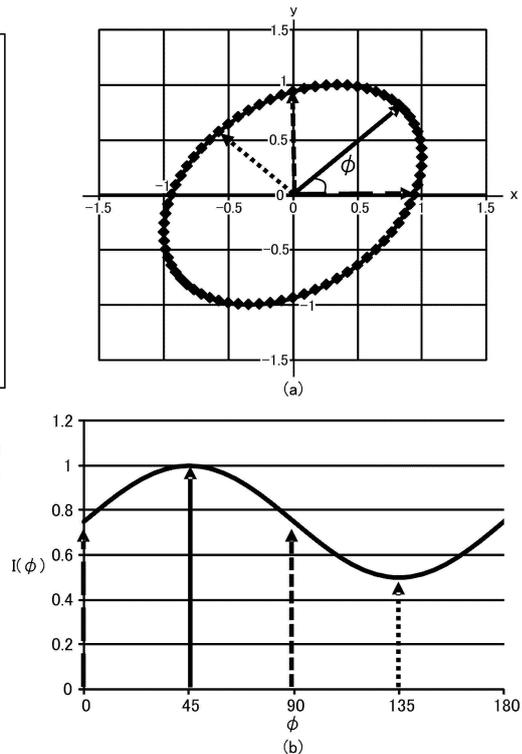
【0054】

- 3 / 4板(第1の位相差板)
- 4 可変位相差板(第2の位相差板)
- 5 偏光板
- 7 偏光取得手段(光学装置)
- 14 液晶層

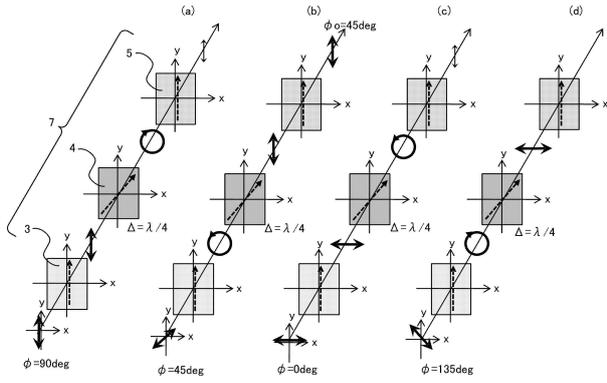
【図1】



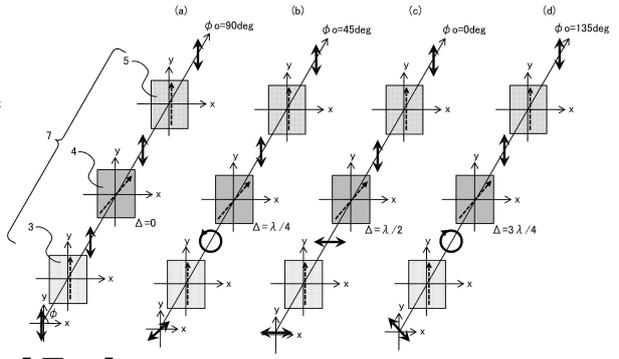
【図2】



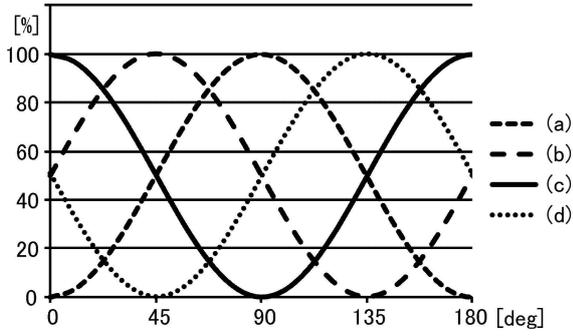
【 図 3 】



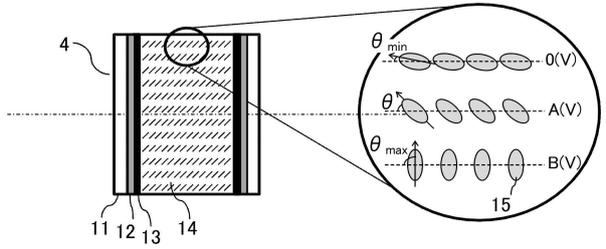
【 図 5 】



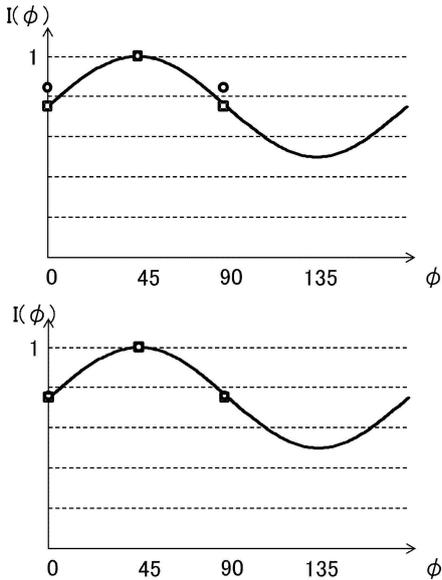
【 図 4 】



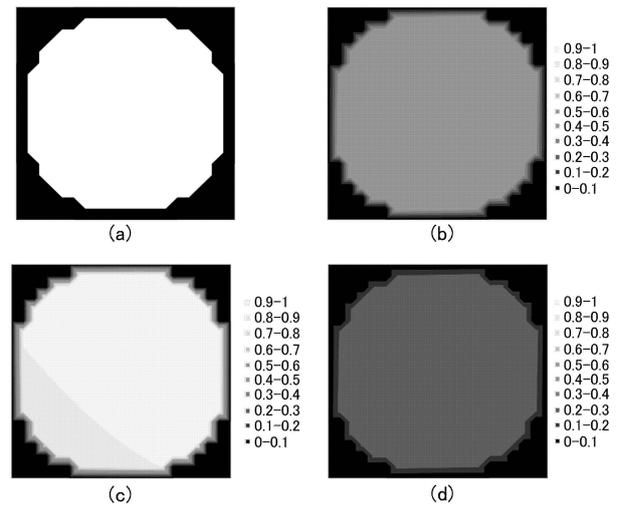
【 図 6 】



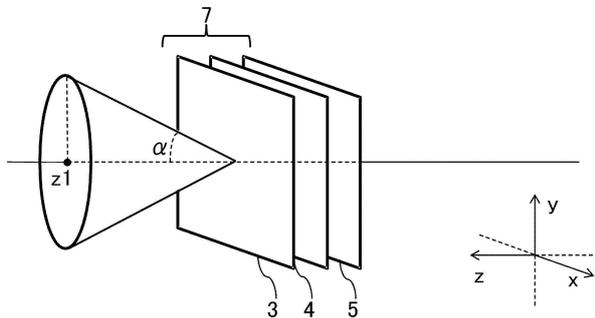
【 図 7 】



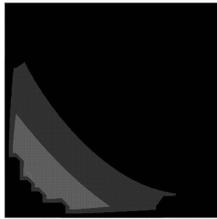
【 図 9 】



【 図 8 】



【 1 0 】



- 0.45-0.5
- 0.4-0.45
- 0.35-0.4
- 0.3-0.35
- 0.25-0.3
- 0.2-0.25
- 0.15-0.2
- 0.1-0.15
- 0.05-0.1
- 0-0.05

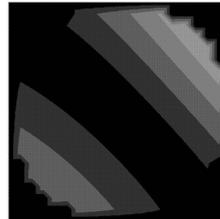
(a)



- 0.45-0.5
- 0.4-0.45
- 0.35-0.4
- 0.3-0.35
- 0.25-0.3
- 0.2-0.25
- 0.15-0.2
- 0.1-0.15
- 0.05-0.1
- 0-0.05

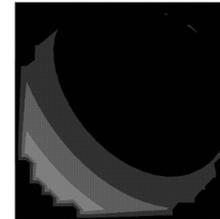
(b)

【 1 1 】



- 27-30
- 24-27
- 21-24
- 18-21
- 15-18
- 12-15
- 9-12
- 6-9
- 3-6
- 0-3

(a)



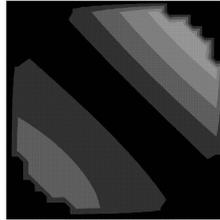
- 0.45-0.5
- 0.4-0.45
- 0.35-0.4
- 0.3-0.35
- 0.25-0.3
- 0.2-0.25
- 0.15-0.2
- 0.1-0.15
- 0.05-0.1
- 0-0.05

(b)



- 27-30
- 24-27
- 21-24
- 18-21
- 15-18
- 12-15
- 9-12
- 6-9
- 3-6
- 0-3

(c)



- 0.45-0.5
- 0.4-0.45
- 0.35-0.4
- 0.3-0.35
- 0.25-0.3
- 0.2-0.25
- 0.15-0.2
- 0.1-0.15
- 0.05-0.1
- 0-0.05

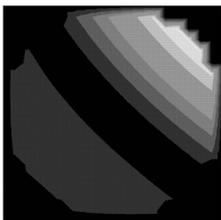
(c)

【 1 2 】



- 0.45-0.5
- 0.4-0.45
- 0.35-0.4
- 0.3-0.35
- 0.25-0.3
- 0.2-0.25
- 0.15-0.2
- 0.1-0.15
- 0.05-0.1
- 0-0.05

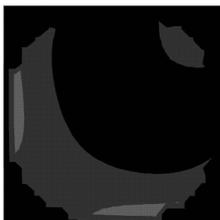
(a)



- 0.45-0.5
- 0.4-0.45
- 0.35-0.4
- 0.3-0.35
- 0.25-0.3
- 0.2-0.25
- 0.15-0.2
- 0.1-0.15
- 0.05-0.1
- 0-0.05

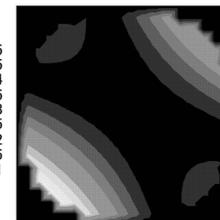
(b)

【 1 3 】



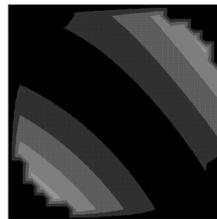
- 0.45-0.5
- 0.4-0.45
- 0.35-0.4
- 0.3-0.35
- 0.25-0.3
- 0.2-0.25
- 0.15-0.2
- 0.1-0.15
- 0.05-0.1
- 0-0.05

(a)



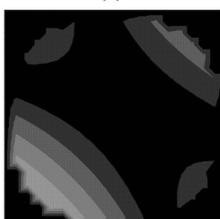
- 0.45-0.5
- 0.4-0.45
- 0.35-0.4
- 0.3-0.35
- 0.25-0.3
- 0.2-0.25
- 0.15-0.2
- 0.1-0.15
- 0.05-0.1
- 0-0.05

(b)



- 27-30
- 24-27
- 21-24
- 18-21
- 15-18
- 12-15
- 9-12
- 6-9
- 3-6
- 0-3

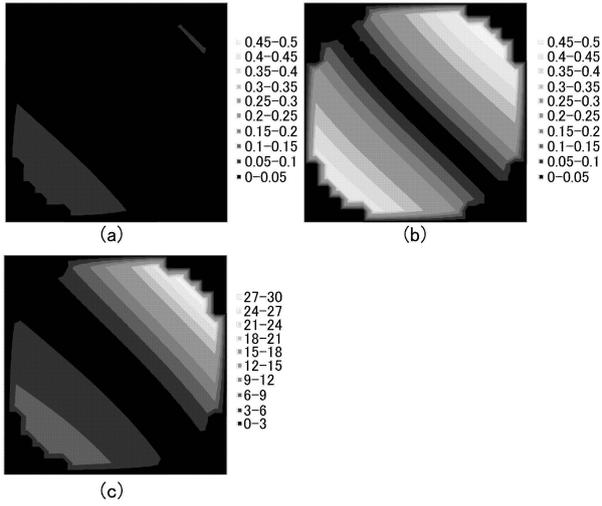
(c)



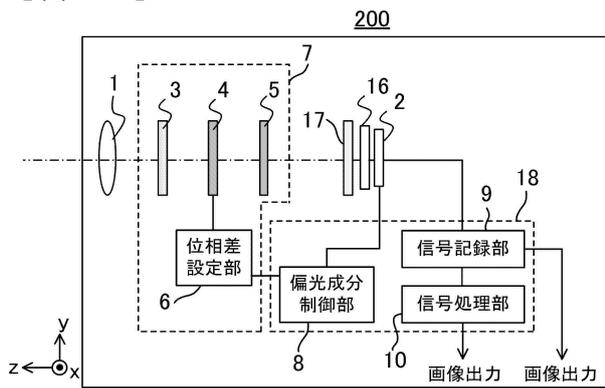
- 27-30
- 24-27
- 21-24
- 18-21
- 15-18
- 12-15
- 9-12
- 6-9
- 3-6
- 0-3

(c)

【 図 1 4 】



【 図 1 5 】



フロントページの続き

(72)発明者 山口 裕
東京都大田区下丸子3丁目30番2号 キヤノン株式会社内

審査官 嶋田 行志

(56)参考文献 特開2010-124011(JP,A)
米国特許出願公開第2009/0135422(US,A1)
米国特許出願公開第2009/0079982(US,A1)
特開2000-258760(JP,A)
特開2008-250014(JP,A)
特開2007-065555(JP,A)
Imaging Stokes polarimeter based on a single liquid crystal variable retarder, Applied
Optics, 2015年, Vol. 54, No. 20, p. 6177-6181

(58)調査した分野(Int.Cl., DB名)

G01N 21/00 - 21/61
G01J 3/00 - 3/52
G01J 4/00 - 4/04
G02B 5/30
G02B 7/00 - 9/64
H04N 5/222 - 5/257
JSTPlus/JST7580/JSTChina(JDreamIII)