

(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2012-103010

(P2012-103010A)

(43) 公開日 平成24年5月31日(2012.5.31)

(51) Int.Cl. F 1 テーマコード (参考)  
 G 0 1 N 21/21 (2006.01) G 0 1 N 21/21 Z 2 G 0 5 9

審査請求 未請求 請求項の数 12 O L (全 18 頁)

(21) 出願番号 特願2010-249043 (P2010-249043) (22) 出願日 平成22年11月5日 (2010.11.5)	(71) 出願人 304036743 国立大学法人宇都宮大学 栃木県宇都宮市峰町350番地 (71) 出願人 390013239 株式会社アタゴ 東京都板橋区本町32番10号 (74) 代理人 100083806 弁理士 三好 秀和 (74) 代理人 100100712 弁理士 岩▲崎▼ 幸邦 (74) 代理人 100095500 弁理士 伊藤 正和 (74) 代理人 100101247 弁理士 高橋 俊一
---	--

最終頁に続く

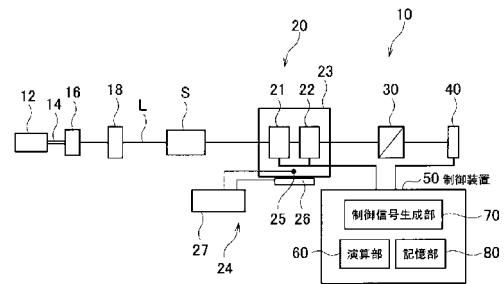
(54) 【発明の名称】 偏光測定装置及び偏光測定方法

(57) 【要約】

【課題】 分析対象光の偏光状態及びその波長分散を効率よく測定することができる偏光測定装置及び偏光測定方法を提供する。

【解決手段】 偏光測定装置は、分析対象光を偏光変調する偏光変調器と、偏光変調された光の所定の偏光成分を透過させる検光子と、検光子を透過した光の光強度を検出する検出手段と、検出手段により検出された光強度に基づいて分析対象光の偏光特性要素を演算する演算部とを備え、偏光変調器は、第1の変位相子と、第1の変位相子と検光子との間に配置された第2の変位相子とを含み、第2の変位相子の主軸は第1の変位相子の主軸に対して45°の奇数倍傾いている。

【選択図】 図1



## 【特許請求の範囲】

## 【請求項 1】

分析対象光の偏光状態を測定する偏光測定装置であって、  
前記分析対象光を偏光変調する偏光変調器と、  
偏光変調された光の所定の偏光成分を透過させる検光子と、  
前記検光子を透過した光の光強度を検出する検出手段と、  
前記検出手段により検出された光強度に基づいて前記分析対象光の偏光特性要素を演算する演算部と  
を備え、

前記偏光変調器は、第 1 の可変位相子と、前記第 1 の可変位相子と前記検光子との間に配置された第 2 の可変位相子とを含み、

前記第 2 の可変位相子の主軸は前記第 1 の可変位相子の主軸に対して  $45^\circ$  の奇数倍傾いている、偏光測定装置。

## 【請求項 2】

前記検光子の主軸は前記第 1 の可変位相子の主軸に対して  $45^\circ$  の偶数倍傾いている、請求項 1 に記載の偏光測定装置。

## 【請求項 3】

前記第 1 及び第 2 の可変位相子の複屈折位相差を変化させるために前記第 1 及び第 2 の可変位相子の各々への印加電圧を制御する制御部を更に含む、請求項 1 に記載の偏光測定装置。

## 【請求項 4】

前記制御部は、前記第 1 の可変位相子の複屈折位相差が常に前記第 2 の可変位相子の複屈折位相差と等しいように印加電圧を制御する、請求項 3 に記載の偏光測定装置。

## 【請求項 5】

前記演算部は、前記第 1 及び第 2 の可変位相子の複屈折位相差を変化させて検出した光強度をフーリエ解析し、得られたフーリエ係数に基づいて、前記分析対象光の偏光特性要素を演算する、請求項 1 ~ 4 のいずれか 1 項に記載の偏光測定装置。

## 【請求項 6】

前記偏光特性要素はストークスパラメータを含む、請求項 1 ~ 5 のいずれか 1 項に記載の偏光測定装置。

## 【請求項 7】

前記第 1 及び第 2 の可変位相子は液晶可変位相子を含む、請求項 1 ~ 6 のいずれか 1 項に記載の偏光測定装置。

## 【請求項 8】

分析対象光の偏光状態を測定する偏光測定方法であって、  
前記分析対象光を第 1 の可変位相子により偏光変調する工程と、  
前記第 1 の可変位相子により偏光変調された光を第 2 の可変位相子により偏光変調する工程と、

前記第 2 の可変位相子により偏光変調された光のうち検光子を透過した直線偏光成分の光強度を検出する工程と、

検出された光強度に基づいて前記分析対象光の偏光特性要素を演算する工程と  
を含み、

前記第 2 の可変位相子の主軸は前記第 1 の可変位相子の主軸に対して  $45^\circ$  の奇数倍傾いている、偏光測定方法。

## 【請求項 9】

前記検光子の主軸は前記第 1 の可変位相子の主軸に対して  $45^\circ$  の偶数倍傾いている、請求項 8 に記載の偏光測定方法。

## 【請求項 10】

前記第 1 及び第 2 の可変位相子の複屈折位相差を変化させるために前記第 1 及び第 2 の可変位相子の各々への印加電圧を制御する工程を更に含む、請求項 8 に記載の偏光測定方

10

20

30

40

50

法。

【請求項 1 1】

前記印加電圧を制御する工程は、前記第 1 の可変位相子の複屈折位相差が常に前記第 2 の可変位相子の複屈折位相差と等しいように印加電圧を制御する、請求項 1 0 に記載の偏光測定方法。

【請求項 1 2】

前記演算工程は、前記第 1 及び第 2 の可変位相子の複屈折位相差を変化させて検出した光強度をフーリエ解析し、得られたフーリエ係数に基づいて、前記分析対象光の偏光特性要素を演算する、請求項 8 ~ 1 1 のいずれか 1 項に記載の偏光測定方法。

【発明の詳細な説明】

10

【技術分野】

【0 0 0 1】

本発明は、分析対象光の偏光状態を測定する装置及び方法に関する。

【背景技術】

【0 0 0 2】

従来、分析対象光について楕円率などの偏光状態を測定する方法として、回転検光子法や回転位相子法が用いられてきた（特許文献 1）。しかし、回転検光子法では、楕円率が余弦関数で与えられるため、試料の複屈折位相差が  $0^\circ$  及び  $180^\circ$  付近の場合、測定精度が悪くなる。また、複屈折や旋光は波長依存性を有するため、波長毎の評価が必要であるが、回転位相子法では、波長毎に位相子を取り替えて偏光状態を測定する必要があるため、偏光状態の波長分散を効率よく測定することができない。

20

【0 0 0 3】

位相子と検光子とを回転させる 2 重回転法では、波長毎に位相子を取り替えることなく、偏光状態の波長分散を測定することができる（特許文献 2）。しかし、いずれの測定法も、位相子や検光子の回転機構としてモータ等の駆動部を必要とするために装置が大型化し、位相子や検光子を機械的に回転するために測定時間が長くなる。また、ファラデーセルや光弾性変調器（PEM）などの光学材料を用いて偏光変調を行う場合には、高い電圧及び消費電力が必要である。更に、回転する位相子及び検光子による分析対象光の偏光変調はポアンカレ球において 3 つの軸（ $S_1$  軸、 $S_2$  軸、及び  $S_3$  軸）回りの回転を含む複雑な動きとなるため、分析対象光の偏光状態を求めるための理論式も複雑となる。

30

【0 0 0 4】

回転する位相子や検光子の代わりに液晶可変位相子を用いて偏光変調を行う装置及び方法が知られている（特許文献 3 及び特許文献 4）。しかし、特許文献 3 の装置及び方法では、試料の光学特性を測定することはできるが、任意の分析対象光の偏光状態を測定することはできない。また、特許文献 4 の装置及び方法では、波長毎に偏光状態を測定する必要があるため、偏光状態の波長分散を効率よく測定することができない。

【先行技術文献】

【特許文献】

【0 0 0 5】

【特許文献 1】特開 2 0 0 5 - 2 9 2 0 2 8 号公報

40

【特許文献 2】特開 2 0 0 9 - 0 8 5 8 5 3 号公報

【特許文献 3】特開 2 0 1 0 - 1 4 5 3 3 2 号公報

【特許文献 4】米国特許第 6, 7 4 4, 5 0 9 号明細書

【発明の概要】

【発明が解決しようとする課題】

【0 0 0 6】

本発明は、上記問題点を解決するためになされたものであり、その目的は、分析対象光の偏光状態及びその波長分散を効率よく測定することができる偏光測定装置及び偏光測定方法を提供することである。

【課題を解決するための手段】

50

## 【 0 0 0 7 】

上記目的を達成するため、本発明に係る偏光測定装置は、  
 分析対象光の偏光状態を測定する偏光測定装置であって、  
 分析対象光を偏光変調する偏光変調器と、  
 偏光変調された光の所定の偏光成分を透過させる検光子と、  
 検光子を透過した光の光強度を検出する検出手段と、  
 検出手段により検出された光強度に基づいて分析対象光の偏光特性要素を演算する演算部と  
 を備え、

偏光変調器は、第1の変位相子と、第1の変位相子と検光子との間に配置された第2の変位相子とを含み、

第2の変位相子の主軸は第1の変位相子の主軸に対して45°の奇数倍傾いている。

10

## 【 0 0 0 8 】

また、本発明に係る偏光測定方法は、  
 分析対象光の偏光状態を測定する偏光測定方法であって、  
 分析対象光を第1の変位相子により偏光変調する工程と、  
 第1の変位相子により偏光変調された光を第2の変位相子により偏光変調する工程と、

第2の変位相子により偏光変調された光のうち検光子を透過した直線偏光成分の光強度を検出する工程と、

検出された光強度に基づいて分析対象光の偏光特性要素を演算する工程とを含み、

第2の変位相子の主軸は第1の変位相子の主軸に対して45°の奇数倍傾いている。

20

## 【 発明の効果 】

## 【 0 0 0 9 】

本発明によれば、分析対象光の偏光状態及びその波長分散を効率よく測定することができる偏光測定装置及び偏光測定方法を提供することができる。

## 【 図面の簡単な説明 】

30

## 【 0 0 1 0 】

【図1】本発明に係る偏光測定装置を含む光学測定装置の実施形態の概略構成図である。

【図2】主軸方位0°の液晶可変位相子の作用を示すポアンカレ球である。

【図3】主軸方位45°の液晶可変位相子の作用を示すポアンカレ球である。

【図4】2つの液晶可変位相子による偏光変調を示すポアンカレ球である。

【図5】主軸90°の検光子の作用を示すポアンカレ球である。

【図6】波長486nm、590nm、656nmにおける液晶可変位相子の複屈折位相差と印加電圧の関係を示す。

【図7】光軸回りに回転する偏光子の透過光の偏光状態を示すポアンカレ球である。

【図8】偏光子の光軸回りの回転角と、偏光子の透過光のストークスパラメータ測定値から求めた方位角との関係を示す。

40

【図9】複屈折位相差が変化する液晶可変位相子の透過光の偏光状態を示すポアンカレ球である。

【図10】液晶可変位相子の複屈折位相差の設定値と、ストークスパラメータ測定値から求めた液晶可変位相子の複屈折位相差の測定値との関係を示す。

【図11】液晶可変位相子の複屈折位相差の設定値と、ストークスパラメータ測定値から求めた楕円率角との関係を示す。

【図12】波長486nm、590nm、656nmで測定した1/4波長板の複屈折位相差を示す。

## 【 発明を実施するための形態 】

50

## 【0011】

図1は、本発明に係る偏光測定装置10を含む光学測定装置の実施形態を示す。

## 【0012】

光学測定装置は、分析対象光として試料Sを透過した光を偏光測定装置10に入射させるために、試料Sに光を照射する光源12を含む。光源12として、例えば、ハロゲンランプなどの白色光源を使用することができる。

## 【0013】

光学測定装置は、光路Lに沿って光源12と試料Sとの間に配置された光ファイバー14と、コリメートレンズ16と、干渉フィルタ18とを更に含む。光ファイバー14は、光源12からの光を点光源とする。光ファイバー14として、例えば、直径200 $\mu$ mのものを使用することができる。コリメートレンズ16は、光ファイバー14により点光源にされた光を平行光とする。干渉フィルタ18は、コリメートレンズにより平行光にされた光を単色光とする。

10

## 【0014】

偏光測定装置10は、分析対象光(この実施形態では、試料Sを透過した光)を偏光変調する偏光変調器20と、偏光変調された光の所定の偏光成分を透過させる検光子30と、検光子30を透過した光の光強度を検出する検出手段40と、検出手段40により検出された光強度に基づいて分析対象光の偏光特性要素を演算する演算部60とを備える。

## 【0015】

偏光変調器20は、複屈折位相差を変化させることができる2つの可変位相子21、22を含む。可変位相子21、22は、例えば、ネマティック液晶セルを含む液晶可変位相子からなる。ネマティック液晶セルとして、例えば、液晶の屈折率異方性  $n$  が0.2、セルギャップが5.5 $\mu$ mのものを使用することができる。

20

## 【0016】

分析対象光の進行方向の手前側に配置された第1の液晶可変位相子21は、任意の方向に主軸(進相軸又は遅相軸)を有する。第1の液晶可変位相子21の主軸方位を0 $^{\circ}$ とすると、第1の液晶可変位相子21は、その複屈折位相差  $\delta_1$  に応じて任意の偏光のストークスパラメータ  $S_2$  及び  $S_3$  を変化させる。すなわち、第1の液晶可変位相子21は、図2に示すように、ポアンカレ球において任意の偏光状態を示す点Pを  $S_1$  軸回りに回転させる。

30

## 【0017】

分析対象光の進行方向の奥側に配置された第2の液晶可変位相子22は、第1の液晶可変位相子21の主軸方位に対して45 $^{\circ}$ の奇数倍傾いた方向に主軸(進相軸又は遅相軸)を有する。第1の液晶可変位相子21の主軸方位を0 $^{\circ}$ としたので、第2の液晶可変位相子22の主軸方位は45 $^{\circ}$ の奇数倍となり、第2の液晶可変位相子22は、その複屈折位相差  $\delta_2$  に応じて任意の偏光のストークスパラメータ  $S_1$  及び  $S_3$  を変化させる。すなわち、第2の液晶可変位相子22は、図3に示すように、ポアンカレ球において任意の偏光状態を示す点Pを  $S_2$  軸回りに回転させる。

## 【0018】

偏光変調器20は、主軸方位が0 $^{\circ}$ である第1の液晶可変位相子21と、主軸方位が45 $^{\circ}$ の奇数倍である第2の液晶可変位相子22とを備えるので、分析対象光のストークスパラメータ  $S_2$  及び  $S_3$  を第1の液晶可変位相子21の複屈折位相差  $\delta_1$  に応じて変化させ、次いでストークスパラメータ  $S_1$  及び  $S_3$  を第2の液晶可変位相子22の複屈折位相差  $\delta_2$  に応じて変化させる。すなわち、偏光変調器20は、図4に示すように、ポアンカレ球において分析対象光の偏光状態を示す点P<sub>0</sub>を  $S_1$  軸回りの回転により矢印aで示すように点P<sub>1</sub>に移動させ、更に点P<sub>1</sub>を  $S_2$  軸回りの回転により矢印bで示すように点P<sub>2</sub>に移動させる。

40

## 【0019】

2つの液晶可変位相子の主軸方位をこのように設定したことにより、偏光変調器20による分析対象光の偏光変調は、ポアンカレ球において2つの軸( $S_1$ 軸及び  $S_2$ 軸)回り

50

の回転のみを含み、 $S_3$  軸回りの回転を含まない単純な動きとなるため、分析対象光の偏光状態を求めるための理論式を単純にすることができる。

【0020】

偏光変調器20は更に、液晶可変位相子21、22を取り囲む恒温ブロック23と、液晶可変位相子21、22の温度を制御する温度制御部24とを含む。温度制御部24は、液晶可変位相子21、22の温度を感知する温度センサ25と、ペルチェ素子26と、温度センサ25が感知した温度に基づいてペルチェ素子26を制御するペルチェコントローラ27とを含む。

【0021】

検光子30は、偏光変調器20により偏光変調された光の特定方向の直線偏光成分を透過させる。検光子30は、第1の液晶可変位相子21の主軸方位に対して $45^\circ$ の偶数倍傾いた方向に主軸(透過軸)を有する直線偏光子であり、任意の偏光のストークスパラメータ $S_1$ に相当する垂直直線偏光成分を透過させる。すなわち、検光子30は、図5に示すように、ポアンカレ球において任意の偏光状態を示す点 $P_2$ を $S_1$ 軸に投影した点 $P_3$ に移動させる。

10

【0022】

検出手段40は、検光子30を透過した直線偏光の光強度を検出する。検出手段40は、受光センサとしてフォトセンサを含む。

【0023】

偏光測定装置10は、制御装置50として、演算部60と、制御信号発生部70と、記憶部80とを含む。

20

【0024】

演算部60は、分析対象光の偏光状態を示す偏光特性要素、例えばストークスパラメータを演算する。演算部60が演算する偏光特性要素は、ストークスパラメータ、楕円率角、方位角を含み得る。偏光測定装置10が光学測定装置の一部として構成される場合、演算部60は、分析対象光のストークスパラメータに基づいて、試料Sの旋光度、複屈折、ミューラー行列等を演算する。

【0025】

制御信号発生部70は、第1及び第2の液晶可変位相子21、22の複屈折位相差を変化させるために、第1及び第2の液晶可変位相子21、22の各々への印加電圧を制御する信号を発生する。

30

【0026】

記憶部80は、検出手段40が検出した光強度、演算部60が演算した分析対象光の偏光特性要素などを一時的に記憶する。

【0027】

上記の構成によれば、2つの液晶可変位相子への印加電圧を変えることにより2つの液晶可変位相子の複屈折位相差を変化させて光強度を検出することができるので、分析対象光のストークスパラメータ等の偏光状態、及びその波長分散を容易に測定することができる。また、2つの液晶可変位相子を含む偏光変調器を用い、位相子や検光子を回転せずに測定を行うので、位相子や検光子を回転するための駆動部が不要である。したがって、装置を小型化し、駆動電圧及び消費電力を低減することができる。更に、機械的な駆動がないため、測定速度を向上することができ、機械的な故障を低減することができる。

40

【0028】

以上、本発明の実施形態における偏光測定装置10を説明したが、本発明に係る偏光測定装置はこれに限定されるものではない。偏光測定装置10の各部の構成は同様の機能を有する任意の構成のものに置き換えることができる。

【0029】

干渉フィルタ18は、検光子30と検出手段40の間に配置しても良い。或いは、干渉フィルタ18を用いる代わりに、検出手段40を分光手段としての回折格子と受光手段としての光検出アレイとを有する分光受光器としてもよい。これにより、分光受光器に入射

50

した光を回折格子により波長毎に分光し、光検出アレイを構成するそれぞれの受光素子により波長毎の光強度を同時に検出することができる。したがって、偏光状態の波長分散をより効率よく測定することができる。

【0030】

続いて、本発明に係る偏光測定装置及び偏光測定方法による測定の原理を、数式を簡単にするために、第1の液晶可変位相子21の主軸方位を $0^\circ$ とし、第2の液晶可変位相子22の主軸方位を $45^\circ$ とし、検光子30の主軸方位を $90^\circ$ として説明する。

【0031】

分析対象光の各波長 $\lambda$ におけるストークスパラメータを $S_0(\lambda)$ 、 $S_1(\lambda)$ 、 $S_2(\lambda)$ 、 $S_3(\lambda)$ とすると、分析対象光の各波長におけるストークスベクトル $S_{IN}$ は

10

【数1】

$$S_{IN} = \begin{bmatrix} S_0(\lambda) \\ S_1(\lambda) \\ S_2(\lambda) \\ S_3(\lambda) \end{bmatrix} \quad (1)$$

と表される。

【0032】

20

主軸方位が $0^\circ$ である第1の液晶可変位相子21のミュラー行列 $LC_1$ は、

【数2】

$$LC_1(\delta_1(\lambda), 0^\circ) = \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & \cos \delta_1(\lambda) & \sin \delta_1(\lambda) \\ 0 & 0 & -\sin \delta_1(\lambda) & \cos \delta_1(\lambda) \end{bmatrix} \quad (2)$$

と表される。ここで、 $\delta_1(\lambda)$ は波長 $\lambda$ における第1の液晶可変位相子21の複屈折位相差である。このミュラー行列 $LC_1$ によって表される第1の液晶可変位相子21による偏光変調は、図4のポアンカレ球において矢印aで表される。したがって、第1の液晶可変位相子21を通過した光の偏光状態は、ストークスベクトルで

30

【数3】

$$LC_1(\delta_1(\lambda), 0^\circ) \cdot S_{IN} = \begin{bmatrix} S_0(\lambda) \\ S_1(\lambda) \\ S_2(\lambda) \cdot \cos \delta_1(\lambda) + S_3(\lambda) \cdot \sin \delta_1(\lambda) \\ -S_2(\lambda) \cdot \sin \delta_1(\lambda) + S_3(\lambda) \cdot \cos \delta_1(\lambda) \end{bmatrix} \quad (3)$$

と表され、図4のポアンカレ球において点 $P_1$ で示される。

40

【0033】

主軸方位が $45^\circ$ である第2の液晶可変位相子22のミュラー行列 $LC_2$ は、

【数4】

$$LC_2(\delta_2(\lambda), 45^\circ) = \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & \cos \delta_2(\lambda) & 0 & -\sin \delta_2(\lambda) \\ 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & \sin \delta_2(\lambda) & 0 & \cos \delta_2(\lambda) \end{bmatrix} \quad (4)$$

と表される。ここで、 $\delta_2(\lambda)$ は波長 $\lambda$ における第2の液晶可変位相子22の複屈折位相差である。このミュラー行列 $LC_2$ によって表される第2の液晶可変位相子22による

50

偏光変調は、図4のポアンカレ球において矢印bで表される。したがって、第2の液晶可変位相子22を通過した光の偏光状態は、ストークスベクトルで

【数5】

$$LC_2(\delta_2(\lambda), 45^\circ) \cdot LC_1(\delta_1(\lambda), 0^\circ) \cdot S_{IN} = \begin{bmatrix} S_0(\lambda) \\ \cos \delta_2(\lambda) \cdot S_1(\lambda) - \sin \delta_2(\lambda) \cdot (-S_2(\lambda) \cdot \sin \delta_1(\lambda) + S_3(\lambda) \cdot \cos \delta_1(\lambda)) \\ S_2(\lambda) \cdot \cos \delta_1(\lambda) + S_3(\lambda) \cdot \sin \delta_1(\lambda) \\ \sin \delta_2(\lambda) \cdot S_1(\lambda) + \cos \delta_2(\lambda) \cdot (-S_2(\lambda) \cdot \sin \delta_1(\lambda) + S_3(\lambda) \cdot \cos \delta_1(\lambda)) \end{bmatrix} \quad (5)$$

と表され、図4のポアンカレ球において点P<sub>2</sub>で示される。

10

【0034】

主軸方位が90°である検光子30のミュラー行列Aは、

【数6】

$$A(90^\circ) = \frac{1}{2} \cdot \begin{bmatrix} 1 & -1 & 0 & 0 \\ -1 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 \end{bmatrix} \quad (6)$$

と表される。このミュラー行列Aによって表される検光子30による垂直直線偏光成分の取り出しは、図5のポアンカレ球において矢印cで表される。したがって、検光子30を通過した光のストークスベクトルS<sub>OUT</sub>は、

20

【数7】

$$S_{OUT} = A(90^\circ) \cdot LC_2(\delta_2(\lambda), 45^\circ) \cdot LC_1(\delta_1(\lambda), 0^\circ) \cdot S_{IN} \\ = \frac{1}{2} \cdot \begin{bmatrix} S_0(\lambda) - \cos \delta_2(\lambda) \cdot S_1(\lambda) + \sin \delta_2(\lambda) \cdot (-S_2(\lambda) \cdot \sin \delta_1(\lambda) + S_3(\lambda) \cdot \cos \delta_1(\lambda)) \\ -S_0(\lambda) + \cos \delta_2(\lambda) \cdot S_1(\lambda) - \sin \delta_2(\lambda) \cdot (-S_2(\lambda) \cdot \sin \delta_1(\lambda) + S_3(\lambda) \cdot \cos \delta_1(\lambda)) \\ 0 \\ 0 \end{bmatrix} \quad (7)$$

と表される。この偏光状態は、図5のポアンカレ球においてP<sub>3</sub>で示される。

30

【0035】

式(7)から、検出手段40によって検出される各波長の光強度I<sub>1</sub>(λ), I<sub>2</sub>(λ)は、ストークスベクトルS<sub>OUT</sub>のS<sub>0</sub>成分であるので、以下の式で表される。

【数8】

$$I(\delta_1(\lambda), \delta_2(\lambda)) = \frac{1}{2} \{S_0(\lambda) - \cos \delta_2(\lambda) \cdot S_1(\lambda) + \sin \delta_2(\lambda) \cdot (-S_2(\lambda) \cdot \sin \delta_1(\lambda) + S_3(\lambda) \cdot \cos \delta_1(\lambda))\} \quad (8)$$

【0036】

第1及び第2の液晶可変位相子21、22の複屈折位相差δ<sub>1</sub>(λ), δ<sub>2</sub>(λ)をδ<sub>1</sub>(λ) = δ<sub>2</sub>(λ) = δ(λ)とすると、光強度I(δ(λ))は以下の式で表される。

40

【数9】

$$I(\delta(\lambda)) = \frac{1}{4} (2S_0(\lambda) - S_2(\lambda) - 2\cos \delta(\lambda) \cdot S_1(\lambda) + \cos 2\delta(\lambda) \cdot S_2(\lambda) + \sin 2\delta(\lambda) \cdot S_3(\lambda)) \quad (9)$$

【0037】

式(9)をδ(λ)に対してフーリエ解析したときのフーリエ級数の各係数は、ストークスパラメータS<sub>0</sub>(λ), S<sub>1</sub>(λ), S<sub>2</sub>(λ), S<sub>3</sub>(λ)により以下の式で表される。



【数 1 0】

$$a_0/2 = \frac{1}{4}(2S_0(\lambda) - S_2(\lambda)) \quad (10a)$$

$$a_1 = -\frac{1}{2}S_1(\lambda) \quad (10b)$$

$$a_2 = \frac{1}{4}S_2(\lambda) \quad (10c)$$

$$b_2 = \frac{1}{4}S_3(\lambda) \quad (10d)$$

10

【0 0 3 8】

したがって、分析対象光のストークスパラメータ  $S_0$  ( )、 $S_1$  ( )、 $S_2$  ( )、 $S_3$  ( ) は、それぞれ以下の式で表される。

【数 1 1】

$$S_0(\lambda) = a_0 + 2a_2 \quad (11a)$$

$$S_1(\lambda) = -2a_1 \quad (11b)$$

$$S_2(\lambda) = 4a_2 \quad (11c)$$

$$S_3(\lambda) = 4b_2 \quad (11d)$$

20

【0 0 3 9】

以上から、本発明に係る装置及び方法は、位相変調量 ( ) を変化させて各波長の検出した光強度  $I$  ( ) をフーリエ解析することにより、分析対象光の各波長のストークスパラメータ  $S_0$  ( )、 $S_1$  ( )、 $S_2$  ( )、 $S_3$  ( ) を算出することができる。

30

【0 0 4 0】

図 6 に示すように、液晶可変位相子への印加電圧と液晶可変位相子の複屈折位相差との関係は波長によって異なるので、予め測定したそれぞれの波長における印加電圧と複屈折位相差との関係に基づいて、波長毎に印加電圧を複屈折位相差へ換算できるようにしておくことにより、それぞれの波長のストークスパラメータを測定することができる。

【0 0 4 1】

また、ストークスパラメータが得られることにより、方位角や楕円率角などの他の偏光特性要素を容易に得ることができる。偏光測定装置が表示部 ( 図示せず ) を更に含む場合、分析対象光のストークスパラメータをポアンカレ球表示することにより、分析対象光の偏光状態を容易に視覚化することができる。また、本発明に係る偏光測定装置が光学特性測定装置に組み込まれる場合には、試料の旋光度、複屈折、ミューラー行列等も容易に測定することができる。

40

【0 0 4 2】

本発明に係る装置及び方法による測定の原理を、数式を簡単にするために、主軸方位  $0^\circ$  の第 1 の液晶可変位相子 2 1 と、主軸方位  $45^\circ$  の第 2 の液晶可変位相子 2 2 と、主軸方位  $90^\circ$  の検光子 3 0 とを用いた場合について説明した。しかし、第 1 の液晶可変位相子 2 1 の主軸方位は分析対象光の進行方向に垂直な任意の方向とすることができる。このとき、第 1 の液晶可変位相子 2 1 の主軸方位に対して、第 2 の液晶可変位相子 2 2 の主軸方位を  $45^\circ$  の奇数倍傾いた方向とし、検光子 3 0 の主軸方位を  $45^\circ$  の偶数倍傾いた方向とすることにより、分析対象光のストークスパラメータを同様に算出することができる。

50

。

## 【 0 0 4 3 】

光強度の式 ( 9 ) は、第 1 の可変位相子 2 1 の主軸方位に対する第 2 の可変位相子 2 2 の主軸方位及び検光子 3 0 の主軸方位の組み合わせによって異なる。光強度の式が異なる他の 3 つの組合せの例を第 1 ~ 第 3 の変更例として以下に示す。

## 【 0 0 4 4 】

第 1 の変更例として、第 1 の可変位相子 2 1 の主軸方位を  $0^\circ$  とし、第 2 の液晶可変位相子 2 2 の主軸方位を  $45^\circ$  とし、検光子 3 0 の主軸方位を  $0^\circ$  とすると、検光子 3 0 を通過した光のストークスベクトル  $S_{OUT}$ 、検出手段 4 0 によって検出される各波長の光強度  $I ( \quad_1 ( \quad ) , \quad_2 ( \quad ) )$  は、以下の式で表される。

10

## 【 数 1 2 】

$$S_{OUT} = A(0^\circ) \cdot LC_2(\delta_2(\lambda), 45^\circ) \cdot LC_1(\delta_1(\lambda), 0^\circ) \cdot S_{IN}$$

$$= \frac{1}{2} \begin{bmatrix} 1 & 1 & 0 & 0 \\ 1 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & \cos \delta_2(\lambda) & 0 & -\sin \delta_2(\lambda) \\ 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & \sin \delta_2(\lambda) & 0 & \cos \delta_2(\lambda) \end{bmatrix} \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & \cos \delta_1(\lambda) & \sin \delta_1(\lambda) \\ 0 & 0 & -\sin \delta_1(\lambda) & \cos \delta_1(\lambda) \end{bmatrix} \begin{bmatrix} S_0(\lambda) \\ S_1(\lambda) \\ S_2(\lambda) \\ S_3(\lambda) \end{bmatrix} \quad (12a)$$

$$= \frac{1}{2} \begin{bmatrix} S_0(\lambda) + \cos \delta_2(\lambda) \cdot S_1(\lambda) - \sin \delta_2(\lambda) \cdot (-\sin \delta_1(\lambda) \cdot S_2(\lambda) + \cos \delta_1(\lambda) \cdot S_3(\lambda)) \\ S_0(\lambda) + \cos \delta_2(\lambda) \cdot S_1(\lambda) - \sin \delta_2(\lambda) \cdot (-\sin \delta_1(\lambda) \cdot S_2(\lambda) + \cos \delta_1(\lambda) \cdot S_3(\lambda)) \\ 0 \\ 0 \end{bmatrix} \quad (12b)$$

20

## 【 0 0 4 5 】

第 1 及び第 2 の液晶可変位相子 2 1、2 2 の複屈折位相差  $\delta_1 ( \quad )$ 、 $\delta_2 ( \quad )$  を  $\delta_1 ( \quad ) = \delta_2 ( \quad ) = \delta ( \quad )$  とすると、光強度  $I ( \quad ( \quad ) )$  は以下の式で表される。

。

## 【 数 1 3 】

$$I(\delta(\lambda)) = \frac{1}{4} (2S_0(\lambda) + S_2(\lambda) + 2\cos \delta(\lambda) \cdot S_1(\lambda) - \cos 2\delta(\lambda) \cdot S_2(\lambda) - \sin 2\delta(\lambda) \cdot S_3(\lambda)) \quad (13)$$

30

## 【 0 0 4 6 】

第 2 の変更例として、第 1 の可変位相子 2 1 の主軸方位を  $0^\circ$  とし、第 2 の液晶可変位相子 2 2 の主軸方位を  $-45^\circ$  とし、検光子 3 0 の主軸方位を  $90^\circ$  とすると、検光子 3 0 を通過した光のストークスベクトル  $S_{OUT}$ 、検出手段 4 0 によって検出される各波長の光強度  $I ( \quad_1 ( \quad ) , \quad_2 ( \quad ) )$  は、以下の式で表される。

【数 1 4】

$$\begin{aligned}
S_{OUT} &= A(90^\circ) \cdot LC_2(\delta_2(\lambda), -45^\circ) \cdot LC_1(\delta_1(\lambda), 0^\circ) \cdot S_{IN} \\
&= \frac{1}{2} \begin{bmatrix} 1 & -1 & 0 & 0 \\ -1 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & \cos \delta_2(\lambda) & 0 & \sin \delta_2(\lambda) \\ 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & -\sin \delta_2(\lambda) & 0 & \cos \delta_2(\lambda) \end{bmatrix} \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & \cos \delta_1(\lambda) & \sin \delta_1(\lambda) \\ 0 & 0 & -\sin \delta_1(\lambda) & \cos \delta_1(\lambda) \end{bmatrix} \begin{bmatrix} S_0(\lambda) \\ S_1(\lambda) \\ S_2(\lambda) \\ S_3(\lambda) \end{bmatrix} \quad (14a) \\
&= \frac{1}{2} \begin{bmatrix} S_0(\lambda) - \cos \delta_2(\lambda) \cdot S_1(\lambda) - \sin \delta_2(\lambda) \cdot (-\sin \delta_1(\lambda) \cdot S_2(\lambda) + \cos \delta_1(\lambda) \cdot S_3(\lambda)) \\ -S_0(\lambda) + \cos \delta_2(\lambda) \cdot S_1(\lambda) + \sin \delta_2(\lambda) \cdot (-\sin \delta_1(\lambda) \cdot S_2(\lambda) + \cos \delta_1(\lambda) \cdot S_3(\lambda)) \\ 0 \\ 0 \end{bmatrix} \quad 10
\end{aligned}$$

$$I(\delta_1(\lambda), \delta_2(\lambda)) = \frac{1}{2} \{S_0(\lambda) - \cos \delta_2(\lambda) \cdot S_1(\lambda) - \sin \delta_2(\lambda) \cdot (-\sin \delta_1(\lambda) \cdot S_2(\lambda) + \cos \delta_1(\lambda) \cdot S_3(\lambda))\} \quad (14b)$$

【0 0 4 7】

第 1 及び第 2 の液晶可変位相子 2 1、2 2 の複屈折位相差  $\delta_1(\lambda)$ 、 $\delta_2(\lambda)$  を  $\delta_1(\lambda) = \delta_2(\lambda) = \delta(\lambda)$  とすると、光強度  $I(\lambda)$  は以下の式で表される。

【数 1 5】

$$I(\delta(\lambda)) = \frac{1}{4} (2S_0(\lambda) + S_2(\lambda) - 2\cos \delta(\lambda) \cdot S_1(\lambda) - \cos 2\delta(\lambda) \cdot S_2(\lambda) - \sin 2\delta(\lambda) \cdot S_3(\lambda)) \quad (15) \quad 20$$

【0 0 4 8】

第 3 の変更例として、第 1 の可変位相子 2 1 の主軸方位を  $0^\circ$  とし、第 2 の液晶可変位相子 2 2 の主軸方位を  $-45^\circ$  とし、検光子 3 0 の主軸方位を  $0^\circ$  とすると、検光子 3 0 を通過した光のストークスベクトル  $S_{OUT}$ 、検出手段 4 0 によって検出される各波長の光強度  $I(\lambda)$  は、以下の式で表される。

【数 1 6】

$$\begin{aligned}
S_{OUT} &= A(0^\circ) \cdot LC_2(\delta_2(\lambda), -45^\circ) \cdot LC_1(\delta_1(\lambda), 0^\circ) \cdot S_{IN} \\
&= \frac{1}{2} \begin{bmatrix} 1 & 1 & 0 & 0 \\ 1 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & \cos \delta_2(\lambda) & 0 & \sin \delta_2(\lambda) \\ 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & -\sin \delta_2(\lambda) & 0 & \cos \delta_2(\lambda) \end{bmatrix} \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & \cos \delta_1(\lambda) & \sin \delta_1(\lambda) \\ 0 & 0 & -\sin \delta_1(\lambda) & \cos \delta_1(\lambda) \end{bmatrix} \begin{bmatrix} S_0(\lambda) \\ S_1(\lambda) \\ S_2(\lambda) \\ S_3(\lambda) \end{bmatrix} \quad (16a) \quad 30 \\
&= \frac{1}{2} \begin{bmatrix} S_0(\lambda) + \cos \delta_2(\lambda) \cdot S_1(\lambda) + \sin \delta_2(\lambda) \cdot (-\sin \delta_1(\lambda) \cdot S_2(\lambda) + \cos \delta_1(\lambda) \cdot S_3(\lambda)) \\ S_0(\lambda) + \cos \delta_2(\lambda) \cdot S_1(\lambda) + \sin \delta_2(\lambda) \cdot (-\sin \delta_1(\lambda) \cdot S_2(\lambda) + \cos \delta_1(\lambda) \cdot S_3(\lambda)) \\ 0 \\ 0 \end{bmatrix}
\end{aligned}$$

$$I(\delta_1(\lambda), \delta_2(\lambda)) = \frac{1}{2} \{S_0(\lambda) + \cos \delta_2(\lambda) \cdot S_1(\lambda) + \sin \delta_2(\lambda) \cdot (-\sin \delta_1(\lambda) \cdot S_2(\lambda) + \cos \delta_1(\lambda) \cdot S_3(\lambda))\} \quad (16b) \quad 40$$

【0 0 4 9】

第 1 及び第 2 の液晶可変位相子 2 1、2 2 の複屈折位相差  $\delta_1(\lambda) = \delta_2(\lambda) = \delta(\lambda)$  とすると、光強度  $I(\lambda)$  は以下の式で表される。

【数 1 7】

$$I(\delta(\lambda)) = \frac{1}{4} (2S_0(\lambda) - S_2(\lambda) + 2\cos \delta(\lambda) \cdot S_1(\lambda) + \cos 2\delta(\lambda) \cdot S_2(\lambda) + \sin 2\delta(\lambda) \cdot S_3(\lambda)) \quad (17)$$

【0 0 5 0】

したがって、第1～3の変更例においても、式(13)、(15)、(17)を に対してフーリエ解析したときのフーリエ係数から、同様に析対象光のストークスパラメータ  $S_0(\lambda)$ 、 $S_1(\lambda)$ 、 $S_2(\lambda)$ 、 $S_3(\lambda)$  を算出することができる。また、第1の液晶可変位相子21の主軸方位を $0^\circ$ 以外の任意の方向とした場合でも、第1の液晶可変位相子21の主軸方位に対する第2の液晶可変位相子22の主軸方位及び検光子30の主軸方位に応じて、式(9)、(13)、(15)、(17)のいずれかに基づいて、光強度  $I(\lambda)$  をフーリエ解析することにより、分析対象光のストークスパラメータを同様に算出することができる。

【0051】

尚、検光子30の主軸方位は、必ずしも第1の液晶可変位相子21の主軸方位に対して $45^\circ$ の偶数倍傾いた方向でなくてもよい。しかし、例えば、第1の液晶可変位相子21の主軸方位を $0^\circ$ とし、第2の液晶可変位相子22の主軸方位を $-45^\circ$ としたとき、検光子30の主軸方位を $45^\circ$ とすると、検光子30を通過した直線偏光の光強度の式には、分析対象光のストークスパラメータ  $S_0(\lambda)$ 、 $S_1(\lambda)$ 、 $S_2(\lambda)$ 、 $S_3(\lambda)$  のすべてが含まれず、分析対象光のストークスパラメータを得ることができない。したがって、検光子30の主軸方位は、検光子30を通過した直線偏光の光強度の式に分析対象光のストークスパラメータ  $S_0(\lambda)$ 、 $S_1(\lambda)$ 、 $S_2(\lambda)$ 、 $S_3(\lambda)$  のすべてが含まれるように選択される必要がある。

【0052】

サンプリング数を減らすために、フーリエ解析による方法の代わりに、液晶可変位相子の位相変調量を $0^\circ$ 、 $45^\circ$ 、 $90^\circ$ 、 $135^\circ$ としたときの光強度  $I(0)$ 、 $I(45)$ 、 $I(90)$ 、 $I(135)$  を用いてストークスパラメータを得ることもできる。それぞれの光強度は、

【数18】

$$I(0) = \frac{1}{2}(S_0(\lambda) - S_1(\lambda)) \quad (18a)$$

$$I(45) = \frac{1}{2}(S_0(\lambda) - \sqrt{2}/2 \cdot S_1(\lambda) - 1/2 S_2(\lambda) + 1/2 \cdot S_3(\lambda)) \quad (18b)$$

$$I(90) = \frac{1}{2}(S_0(\lambda) - S_2(\lambda)) \quad (18c)$$

$$I(135) = \frac{1}{2}(S_0(\lambda) + \sqrt{2}/2 S_1(\lambda) - 1/2 \cdot S_2(\lambda) - 1/2 \cdot S_3(\lambda)) \quad (18d)$$

と表される。式(18a)～(18d)から、それぞれのストークスパラメータは、以下のように表される。

【数19】

$$\begin{bmatrix} S_0(\lambda) \\ S_1(\lambda) \\ S_2(\lambda) \\ S_3(\lambda) \end{bmatrix} = 2 \cdot \begin{bmatrix} I(45) + I(135) - I(90) \\ I(45) + I(135) - I(90) - I(0) \\ I(45) + I(135) - 2 \cdot I(90) \\ (1 + \sqrt{2}) \cdot I(45) + (\sqrt{2} - 1) \cdot I(135) - \sqrt{2} \cdot I(90) - \sqrt{2} \cdot I(0) \end{bmatrix} \quad (19)$$

【0053】

したがって、この方法でも分析対象光のストークスパラメータを算出することができる。なお、位相変調量を $0^\circ$ 、 $45^\circ$ 、 $90^\circ$ 、 $135^\circ$ とするために第1及び第2の液晶可変位相子21、22へ印加する電圧は波長によって異なるので、この方法ではそれぞ

れの位相変調量 における光強度の検出を波長毎に行う必要がある。

【 0 0 5 4 】

測定例 1

本発明の実施形態である図 1 に示した偏光測定装置を使用し、試料として光軸回りに回転可能な偏光子を用い、試料を透過した分析対象光のストークスパラメータ  $S_0$  ( )、 $S_1$  ( )、 $S_2$  ( )、 $S_3$  ( ) を測定した。測定は、試料としての偏光子を  $10^\circ$  ずつ回転させて行った。また、測定したストークスパラメータ  $S_1$  及び  $S_2$  を用いて、以下の式 ( 2 0 ) から方位角 ( ) を求めた。

【 数 2 0 】

$$\psi(\lambda) = \tan^{-1}(S_2(\lambda)/S_1(\lambda))/2 \quad 0 \leq \psi \leq \pi \quad (20)$$

10

【 0 0 5 5 】

図 7 は、測定したストークスパラメータ  $S_1$  ( )、 $S_2$  ( )、 $S_3$  ( ) をプロットしたポアンカレ球を示す。図 7 から、測定したストークスパラメータ  $S_1$  ( )、 $S_2$  ( )、 $S_3$  ( ) がポアンカレ球の赤道に沿ってプロットされていることが分かる。これは、分析対象光のストークスパラメータ  $S_3$  が概ねゼロであること、すなわち試料としての偏光子を通過した光の偏光状態が直線偏光であることを示す。また、測定毎 ( 偏光子の回転毎 ) に、直線偏光の方位角が変化していることが分かる。

【 0 0 5 6 】

図 8 は、偏光子の光軸回りの回転角と、測定したストークスパラメータ  $S_1$  ( ) 及び  $S_2$  ( ) から求めた方位角 ( ) との関係を示す。図 8 から、偏光子による出射偏光角度に対して、直線偏光の方位角が線形性よく測定されていることが分かる。したがって、本発明の偏光測定装置によって、分析対象光のストークスパラメータ  $S_1$  ( ) 及び  $S_2$  ( ) が精度良く測定されたことが分かる。

20

【 0 0 5 7 】

測定例 2

本発明の実施形態である図 1 に示した偏光測定装置を使用し、試料として液晶可変位相子を用い、試料を透過した分析対象光のストークスパラメータ  $S_0$  ( )、 $S_1$  ( )、 $S_2$  ( )、 $S_3$  ( ) を測定した。液晶可変位相子には配向方向  $45^\circ$  のネマティック液晶セルを使用した。測定は、印加電圧を制御することにより試料としての液晶可変位相子の複屈折位相差を変化させて行った。

30

【 0 0 5 8 】

液晶可変位相子を透過した分析対象光のストークスパラメータ  $S_0$  ( )、 $S_1$  ( )、 $S_2$  ( )、 $S_3$  ( ) は、以下の式 ( 2 1 a ) で表される。測定したストークスパラメータ  $S_1$  ( ) 及び  $S_3$  ( ) を用いて、式 ( 2 1 b ) から複屈折位相差 ( ) を求めた。また、測定したストークスパラメータ  $S_0$  ( ) と  $S_3$  ( ) を用いて、式 ( 2 1 c ) から楕円率角 ( ) を求めた。

【 数 2 1 】

$$S = \begin{bmatrix} S_0(\lambda) \\ S_1(\lambda) \\ S_2(\lambda) \\ S_3(\lambda) \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & \cos \delta(\lambda) & 0 & -\sin \delta(\lambda) \\ 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & \sin \delta(\lambda) & 0 & \cos \delta(\lambda) \end{bmatrix} \cdot \frac{1}{2} \cdot \begin{bmatrix} 1 & 1 & 0 & 0 \\ 1 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 \end{bmatrix} \cdot I_0 \cdot \begin{bmatrix} 1 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \end{bmatrix} = \frac{I_0}{2} \cdot \begin{bmatrix} 1 \\ \cos \delta(\lambda) \\ 0 \\ \sin \delta(\lambda) \end{bmatrix} \quad (21a)$$

40

$$\delta(\lambda) = \tan^{-1}(S_3(\lambda)/S_1(\lambda)) \quad (21b)$$

$$\chi(\lambda) = \sin^{-1}(S_3(\lambda)/S_0(\lambda))/2 \quad -\pi/4 \leq \chi \leq \pi/4 \quad (21c)$$

【 0 0 5 9 】

50

図9は、測定したストークスパラメータ $S_1$  ( )、 $S_2$  ( )、 $S_3$  ( )をプロットしたポアンカレ球を示す。図9から、測定したストークスパラメータ $S_1$  ( )、 $S_2$  ( )、 $S_3$  ( )が $S_2$ 軸を中心にポアンカレ球の経線に沿ってプロットされていることが分かる。これは、分析対象光の偏光状態が円偏光と直線偏光との間で変化していることを表している。

【0060】

図10は、印加電圧を制御することにより設定した液晶可変位相子の複屈折位相差の設定値と、測定したストークスパラメータ $S_1$  ( )及び $S_3$  ( )を用いて式(21b)から求めた複屈折位相差との関係を示す。図10から、測定結果から求めた液晶可変位相子の複屈折位相差が、設定値とよく対応していることが分かる。すなわち、分析対象光の偏光状態から、分析対象光が透過した試料の光学特性が精度よく測定されていることが分かる。

10

【0061】

図11は、液晶可変位相子の複屈折位相差の設定値と、測定したストークスパラメータ $S_0$  ( )と $S_3$  ( )から導いた楕円率角 ( )との関係を示す。図11から、楕円率角 ( )が線形性よく測定されていることが読み取れる。したがって、本発明の偏光測定装置によって、分析対象光のストークスパラメータ $S_3$  ( )も精度良く測定されたことが分かる。

【0062】

### 測定例3

20

本発明の実施形態である図1に示した偏光測定装置を使用し、試料として中心波長590nm、水晶製の1/4波長板を用い、試料を透過した分析対象光のストークスパラメータを測定した。波長486nm、590nm、656nmの干渉フィルタを用いて、ストークスパラメータの波長分散も測定した。また、それぞれの波長で測定したストークスパラメータから、測定例2と同様に式(21b)を用いて試料の複屈折位相差を算出した。

【0063】

図12は、波長486nm、590nm、656nmでのストークスパラメータ測定値から算出した試料の複屈折位相差を示す。また実線は、以下の複屈折位相差の式と、厚さ $d = 1.65 \mu\text{m}$ と、各波長における水晶の常光屈折率 $n_o$  ( )及び異常光屈折率 $n_e$  ( )の値とを用いたシミュレーションにより求めた1/4波長板の複屈折位相差の波長分散曲線である。

30

【数22】

$$\delta = \frac{2\pi}{\lambda} \cdot (n_o - n_e) \cdot d \quad (22)$$

【0064】

測定値から求めたそれぞれの波長における試料の複屈折位相差はいずれも、シミュレーションにより求めた複屈折位相差の波長分散曲線上に乗っている。本発明の偏光測定装置によって、分析対象光のストークスパラメータの波長分散が精度良く測定され、それにより分析対象光が透過した試料の波長分散もまた精度良く測定されていることが分かる。

40

【0065】

以上、本発明の実施形態に係る偏光測定装置及び偏光測定方法を説明したが、本発明はこれに限定されるものではない。

【符号の説明】

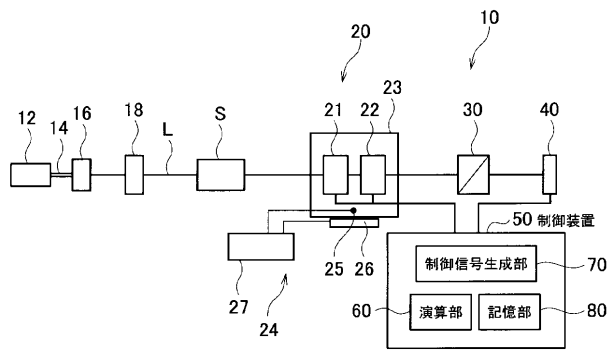
【0066】

- 10 偏光測定装置
- 12 光源
- 14 光ファイバー
- 16 コリメートレンズ
- 18 干渉フィルタ

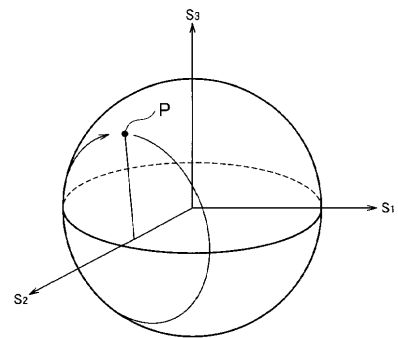
50

- 2 0 偏光変調器
- 2 1 第 1 の液晶可変位相子
- 2 2 第 2 の液晶可変位相子
- 2 3 恒温ブロック
- 2 4 温度制御部
- 2 5 温度センサ
- 2 6 ペルチェ素子
- 2 7 ペルチェコントローラ
- 3 0 検光子
- 4 0 検出手段
- 5 0 制御装置
- 6 0 演算部
- 7 0 制御信号発生部
- 8 0 記憶部
- S 試料
- L 光路

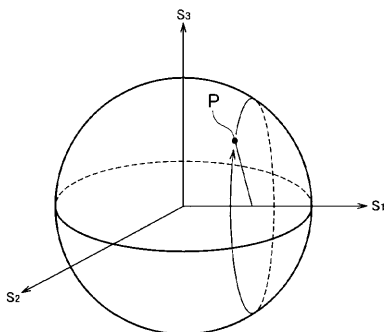
【 図 1 】



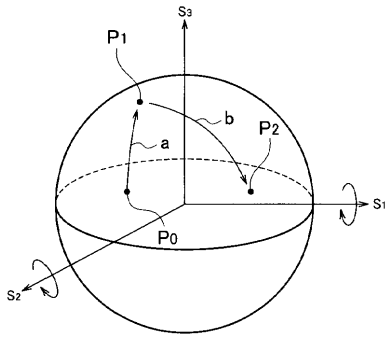
【 図 3 】



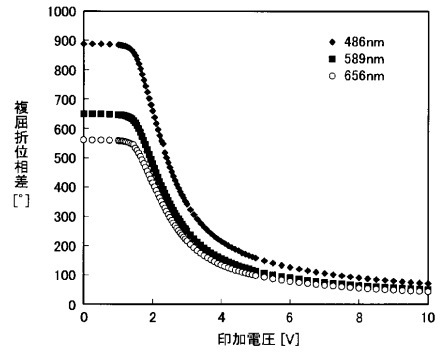
【 図 2 】



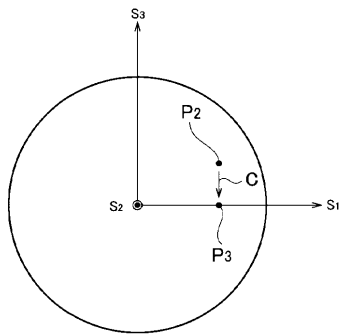
【 図 4 】



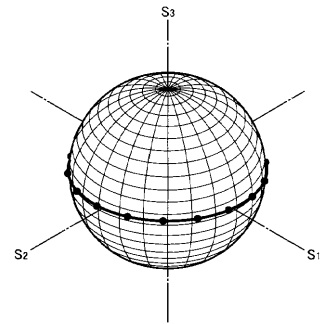
【 図 6 】



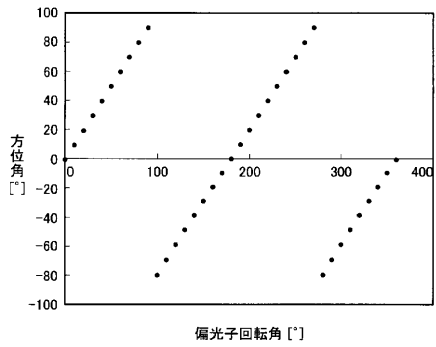
【 図 5 】



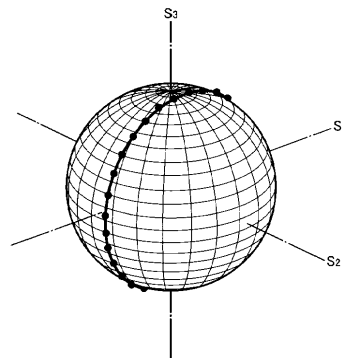
【 図 7 】



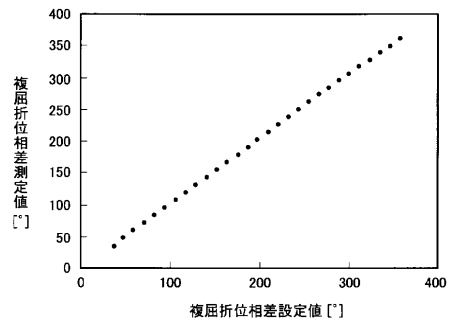
【 図 8 】



【 図 9 】

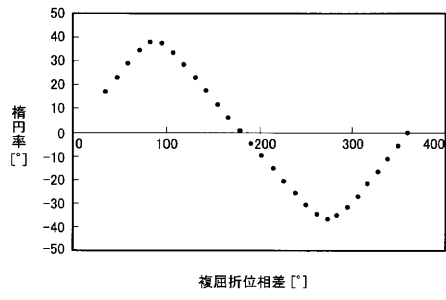


【 図 10 】

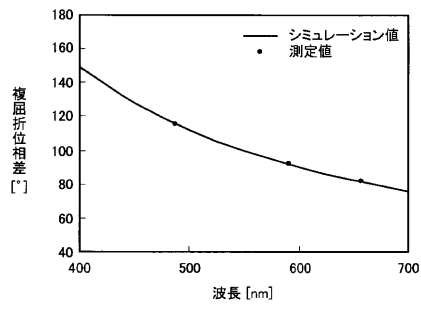




【 図 1 1 】



【 図 1 2 】



---

フロントページの続き

(74)代理人 100098327

弁理士 高松 俊雄

(72)発明者 大谷 幸利

栃木県宇都宮市陽東7-1-2 国立大学法人宇都宮大学内

(72)発明者 田中 政之介

東京都板橋区本町3-2番10号 株式会社アタゴ内

Fターム(参考) 2G059 AA02 BB10 BB15 EE05 EE11 HH02 HH06 JJ03 JJ11 JJ17  
JJ18 JJ19 KK01 MM01