

(19) 日本国特許庁(JP)

(12) 特 許 公 報(B2)

(11) 特許番号

特許第4455024号  
(P4455024)

(45) 発行日 平成22年4月21日(2010.4.21)

(24) 登録日 平成22年2月12日(2010.2.12)

(51) Int.Cl.  
G 0 1 N 21/23 (2006.01)F I  
G O 1 N 21/23

請求項の数 7 (全 14 頁)

(21) 出願番号	特願2003-389419 (P2003-389419)	(73) 特許権者	000001007 キヤノン株式会社
(22) 出願日	平成15年11月19日(2003.11.19)		東京都大田区下丸子3丁目30番2号
(65) 公開番号	特開2004-205500 (P2004-205500A)	(74) 代理人	100096965 弁理士 内尾 裕一
(43) 公開日	平成16年7月22日(2004.7.22)		
審査請求日	平成18年11月14日(2006.11.14)	(72) 発明者	竹内 誠二 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
(31) 優先権主張番号	特願2002-362251 (P2002-362251)	(72) 発明者	岸川 康宏 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
(32) 優先日	平成14年12月13日(2002.12.13)	(72) 発明者	畑田 晃宏 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
(33) 優先権主張国	日本国(JP)		

最終頁に続く

(54) 【発明の名称】 複屈折測定装置

(57) 【特許請求の範囲】

【請求項 1】

試料に円偏光の光束を入射させる入射手段と、  
 前記試料から出射した光束を該光束と同じ偏光状態の光束に分割する光束分割手段と、  
 前記光束分割手段で分割された光束を水平偏光の光束、垂直偏光の光束、+45度偏光の光束および右回り円偏光の光束にする偏光子と、  
 前記偏光子からの前記水平偏光の光束、前記垂直偏光の光束、前記+45度偏光の光束および前記右回り円偏光の光束の光量を光束毎に検出する受光部と、  
 前記受光部で検出された前記水平偏光の光束、前記垂直偏光の光束、前記+45度偏光の光束および前記右回り円偏光の光束の光量からストークスパラメータを求め、該ストークスパラメータから下記式に基づいて前記試料の複屈折を演算する演算部と、を備え、  
 前記光束分割手段は、  
 同じ反射特性と同じ透過特性を持つ第1の光学素子、第2の光学素子および第3の光学素子を有し、  
 前記第1の光学素子、前記第2の光学素子および前記第3の光学素子に入射する光束の入射角がそれぞれ等しくなるように配置され、  
 該光束分割手段に入射する光束を、前記第1の光学素子を反射して前記第2の光学素子を反射する光束と、前記第1の光学素子を透過して前記第3の光学素子を透過する光束とに分割することを特徴とする複屈折測定装置。

10

20

【数 1】

$$B = \frac{\pi}{2} - \arcsin\left(\frac{S_3}{S_0}\right)$$

【数 2】

$$\phi = -\frac{\pi}{4} + \frac{1}{2} \arctan\left(\frac{S_2}{S_1}\right)$$

10

B：複屈折量、 $\phi$ ：進相軸角度、 $S_0 \sim S_3$ ：ストークスパラメータ（ $S_0$ ：全光量、 $S_1$ ：水平直線偏光成分、 $S_2$ ：+45度直線偏光成分、 $S_3$ ：右回り円偏光成分）

【請求項 2】

前記光束分割手段は、前記試料から出射した光束を該光束と同じ偏光状態の、第 1 の光束と第 2 の光束とに分割する第 1 の光束分割手段と、

前記第 2 の光束を該第 2 の光束と同じ偏光状態の、第 3 の光束と第 4 の光束とに分割する第 2 の光束分割手段とを有し、

前記偏光子は、前記第 1 の光束を前記平行偏光の光束と前記垂直偏光の光束とに分割する第 1 の偏光子と、

前記第 3 の光束および前記第 4 の光束の一方を前記 + 45 度偏光の光束にする第 2 の偏光子と、

20

前記第 3 の光束および前記第 4 の光束の他方を前記右回り円偏光の光束にする第 3 の偏光子とを有する

ことを特徴とする請求項 1 記載の複屈折測定装置。

【請求項 3】

前記第 1 の偏光子はグラントムソンプリズムであることを特徴とする請求項 2 記載の複屈折測定装置。

【請求項 4】

前記入射手段は、光源と光源からの光を円偏光に変換する変換手段とを有することを特徴とする請求項 1 ～ 3 のいずれか一項記載の複屈折測定装置。

30

【請求項 5】

前記変換手段は、位相差板を有することを特徴とする請求項 4 記載の複屈折測定装置。

【請求項 6】

前記第 1 の光学素子、前記第 2 の光学素子および前記第 3 の光学素子は、平行平板であることを特徴とする請求項 1 ～ 5 のいずれか一項記載の複屈折測定装置。

【請求項 7】

前記試料が無い状態で測定される複屈折を記憶するメモリーを更に有し、前記演算部は前記メモリーに記憶された複屈折に基づいて前記試料の複屈折を演算することを特徴とする請求項 1 ～ 6 のいずれか一項記載の複屈折測定装置。

【発明の詳細な説明】

40

【技術分野】

【0001】

本発明は試料の複屈折を測定するための複屈折測定装置及び複屈折測定方法に関する。

【背景技術】

【0002】

従来から、様々な複屈折測定装置が提案されており、例えばヘテロダイン光源を用いた位相測定法が提案されている（例えば、非特許文献 1 参照）。また、位相変調素子を用いた複屈折測定装置も提案されている（例えば、非特許文献 2 参照）。

【0003】

一方、ストークスメーター、ポラリメーター、または偏光解析装置と呼ばれる装置も市

50

販されており、これらは大きく二つのタイプがある。一つは偏光状態を測定する光束を複数の光束に分離し、それぞれを偏光素子などを介して受光し、異なる偏光成分の光量から偏光状態を検出するものである（例えば、特許文献1又は2参照。）。もう一つは測定光を、回転する素子を通して検出するもので、一般的に回転検光子法と呼ばれる。

【特許文献1】特開平5 - 209791号公報

【特許文献2】特開平8 - 201175号公報

【非特許文献1】N. Umeda and H. Kohwa: "Measurement of the Residual Birefringence Distribution in Glass Laser Disk by Transverse Zeeman Laser", Electronics and Communications in Japan, Part 2, Vol. 74, No. 5 (1991) pp. 21 - 28

10

【非特許文献2】Wang & Oakberg, Rev. Sci. Instrum. 70 (1999), 3847 (1999)

【発明の開示】

【発明が解決しようとする課題】

【0004】

従来の複屈折測定装置においては、試料への入射偏光を変化させることによって、その試料から出射する偏光の状態を複数回測定し、その複数の結果から試料の複屈折を測定していた。従来の複屈折測定装置においては、試料からの偏光を受光する側に回転素子が配置されている場合と配置されていない場合とはあるものの、いずれにしても試料の入射側に回転素子などが配置されており、試料への入射偏光を変化させるためにその回転素子を回転させなければならず、複屈折測定に時間を要した。

20

【0005】

このため、複屈折量が急速に変化する場合などは測定が困難であった。また、光源がパルス光源の場合や出力が不安定な場合、測定が困難であった。

【0006】

そこで、本発明の例示的な目的は、上記課題を解決し、短時間で容易に複屈折を測定可能である複屈折測定装置又は複屈折測定方法を提供することにある。

【課題を解決するための手段】

30

【0007】

上記目的を達成するために、本発明の一つの側面は、複屈折測定装置において、試料に円偏光の光束を入射させる入射手段と前記試料から出射した光束を該光束と同じ偏光状態の光束に分割する光束分割手段と、前記光束分割手段で分割された光束を水平偏光の光束、垂直偏光の光束、+45度偏光の光束および右回り円偏光の光束にする偏光子と、前記偏光子からの前記水平偏光の光束、前記垂直偏光の光束、前記+45度偏光の光束および前記右回り円偏光の光束の光量を光束毎に検出する受光部と、前記受光部で検出された前記水平偏光の光束、前記垂直偏光の光束、前記+45度偏光の光束および前記右回り円偏光の光束の光量からストークスパラメータを求め、該ストークスパラメータから数13式と数14式に基づいて前記試料の複屈折を演算する演算部と、を備え前記光束分割手段は同じ反射特性と同じ透過特性を持つ第1の光学素子、第2の光学素子および第3の光学素子を有し、前記第1の光学素子、前記第2の光学素子および前記第3の光学素子に入射する光束の入射角がそれぞれ等しくなるように配置され、該光束分割手段に入射する光束を、前記第1の光学素子を反射して前記第2の光学素子を反射する光束と、前記第1の光学素子を透過して前記第3の光学素子を透過する光束とに分割することを特徴とする。

40

【0009】

本発明の更なる目的又はその他の特徴は、以下、添付の図面を参照して説明される好ましい実施例等によって明らかにされるであろう。

【発明の効果】

【0010】

50

従来よりも、性能の良い複屈折測定装置及び複屈折測定方法を提供することができる。

【発明を実施するための最良の形態】

【0011】

以下に、本発明の実施の形態を添付の図面に基づいて詳細に説明する。

【実施例1】

【0012】

以下、本発明の第1実施例を図1、図2を用いて説明する。

【0013】

図1において101は光源、102、112、115は1光束型のグラントムソン偏光プリズム、103、114は変換手段としての / 4 位相差板、104は試料105への入射光、105は複屈折を測定する試料、106は試料105からの出射光、107と108は入射してきた光をその入射光と同じ偏光状態の2つの光束に分割し出射させるための分割ユニットである。109は2光束型のグラントムソン偏光プリズム、110、111、113、116は受光部、117は演算部である。

【0014】

光源101からの光は、偏光プリズム102を通して直線偏光となり、その後水平から + 45° 進相軸を傾けた / 4 位相差板103を通ることで、入射光104は右回り円偏光となる。ここで、光源101と偏光プリズム102と / 4 位相差板は入射手段を構成する。そして、この入射ユニットからの円偏光は試料105に入射され、試料105を出た出射光106は試料105の複屈折の影響で一般的に楕円偏光となって、分割ユニット107に入射する。出射光106と同じ偏光状態で反射する第1の光束と、出射光106と同じ偏光状態で透過する第2の光束に分離される。第1の光束は二光束型のグラントムソンプリズム109に入射し、2つの直交する偏光に分割され、それぞれ受光部110と111に入射する。分割ユニット107を透過する第2の光束は更に分割ユニット108に入射し、再度出射光106と同じ偏光状態で反射する第3の光束と、出射光106と同じ偏光状態で透過する第4の光束に分離される。第3の光束は透過軸を + 45° に回転して固定した一光束型のグラントムソンプリズム112に入射し、+ 45° 直線偏光成分を受光部113にて受光している。第4の光束は進相軸を + 45° に回転して固定した / 4 位相差板114に入射し、更に透過軸を90° に固定した一光束型のグラントムソンプリズム115に入射し、透過する偏光成分のみを受光部116で検出している。受光部110、111、113、116で検出された光量の検出値に基づいて、演算部117で演算し、ストークスパラメーターを求めている。

【0015】

次に、図2において偏光状態を保存する光束分割ユニットを説明する。

【0016】

図2は分割ユニットに入射する入射光束を入射光束と同じ偏光状態の2光束に分割して出射させる分割ユニットを説明する図である。

【0017】

201は入射光束、204、205、206は光束が45°の入射角で入射するように設置された平行平板、202は2枚の平行平板によって2回反射する第1の光束、203は2枚の平行平板を両方透過する光束。207、208は本実施例では用いない不要光である。

【0018】

第1の平行平板204と第2の平行平板205は第1の平行平板204を反射するp偏光成分が第2の平行平板205ではs偏光成分として反射するように設置されている。この構成によると、第1の平行平板204をs偏光で反射する偏光成分は第2の平行平板205ではp偏光成分として反射する。

【0019】

一方、第3の平行平板206は第1の平行平板204を透過するp偏光成分が第3の平行平板206ではs偏光成分として透過するように設置されている。この構成によると、

第1の平行平板204をs偏光で透過する偏光成分は第3の平行平板206ではp偏光成分として反射する。

【0020】

以下に入射光束と同じ偏光状態で二光束に分割される原理を説明する。ここでは簡略化のため、平行平板の裏面での反射は無視する。

【0021】

入射光束が完全偏光であれば、その電界ベクトルは

$$E = E_p + E_s$$

と第1平行平板の反射の際にp偏光成分となる直線偏光成分 $E_p$ とs偏光成分となる直線偏光成分 $E_s$ とに分解して計算することが可能である。入射光束が部分偏光や非偏光の時  
10  
もこれらは複数の完全偏光成分の集まりと考えられるので、各々の完全偏光が保存されれば良い。

【0022】

材質の同じ平行平板3枚を用いると3つの平行平板のp偏光とs偏光の複素振幅反射率 $r_p$ 、 $r_s$ は等しいため、入射光束のうち、第1平行平板の反射の際にp偏光成分となる直線偏光成分の複素振幅を $E_p$ 、s偏光成分の複素振幅を $E_s$ とすると、2回反射して得られる第1の光束202の第1偏光成分の複素振幅 $E_{11}$ は

$$E_{11} = r_s r_p E_p$$

となる。一方第2偏光成分の複素振幅 $E_{12}$ は

$$E_{12} = r_p r_s E_s$$

となる。これらの足し合わせである反射光束の複素振幅 $E_1$ は

$$E_1 = r_s r_p (E_p + E_s)$$

となり、入射光束に対して定数 $r_s r_p$ がかかっただけの光束となるため、この第1の光束202は偏光状態が入射光の偏光状態と同じ光束である。

【0023】

一方2回透過して得られる第2の光束203の第1偏光成分の複素振幅 $E_{21}$ は

$$E_{21} = t_s t_p E_p$$

となる。一方第2偏光成分の複素振幅 $E_{22}$ は

$$E_{22} = t_p t_s E_s$$

となる。これらの足し合わせである透過光束の複素振幅 $E_2$ は

$$E_2 = t_s t_p (E_p + E_s)$$

となり、入射光束に対して定数 $t_s t_p$ がかかっただけの光束となるため、この第2の光束203は偏光状態が入射光の偏光状態と同じ光束である。

【0024】

なお、ここでは平行平板に対して入射角 $45^\circ$ で入射するとしたが、3枚の入射角が同じであれば、 $45^\circ$ である必要はない。また、グレーティング、ビームスプリッターなど、光束分割可能な素子で、素子の偏光に対する反射特性、透過特性などの分割特性が同じものを3つ用いれば、同様の効果が得られる。 $r_p$ 、 $r_s$ 、 $t_p$ 、 $t_s$ などは単なる実数定数であるとは限らず、膜のついたスプリッターなどを用いる場合は、位相の変化を示す複素数定数となることもある。

【0025】

図1では不要光は図示していないが、図2の光束207と光束208は迷光となるため、ビームダンパーなどで吸収させている。

【0026】

図1において、一般的に試料の複屈折の影響を受けた出射光は楕円偏光となっている。演算部117は、4つのディテクターからの光量を以下の通り演算し、出射光の楕円偏光の偏光状態を示す、ストークスパラメータを求めている。ここでは2つの光束分割ユニット107と108は同じ特性を持っており、入射光と出射光は上記に説明した関係があるとする。また、グラントムソンプリズムと位相差板の透過率は100%と仮定する。受光部110、111、113、116で得られる光束の電界の複素振幅 $E_A$ 、 $E_B$ 、 $E_C$ 、  
40  
50

$E_D$  はそれぞれ

$$E_A = r_p r_s E_s$$

$$E_B = r_s r_p E_p$$

【 0 0 2 7 】

【 数 1 】

$$E_C = \frac{1}{\sqrt{2}} r_s r_p t_s t_p (E_p + E_s)$$

【 0 0 2 8 】

【 数 2 】

$$E_D = \frac{1}{\sqrt{2}} t_s^2 t_p^2 e^{\frac{\pi_i}{2}} \left( e^{-\frac{\pi_i}{4}} E_s + e^{\frac{\pi_i}{4}} E_p \right)$$

【 0 0 2 9 】

となり、受光部 1 1 0、1 1 1、1 1 3、1 1 6 で検出する光量  $I_1$ 、 $I_2$ 、 $I_3$ 、 $I_4$  はそれぞれ

$$I_1 = |r_p r_s|^2 |E_s|^2$$

$$I_2 = |r_s r_p|^2 |E_p|^2$$

【 0 0 3 0 】

【 数 3 】

$$I_3 = \frac{1}{2} |r_s r_p t_s t_p|^2 |E_s + E_p|^2$$

【 0 0 3 1 】

【 数 4 】

$$I_4 = \frac{1}{2} |t_s t_p|^4 \left| e^{-\frac{\pi_i}{4}} E_s + e^{\frac{\pi_i}{4}} E_p \right|^2$$

【 0 0 3 2 】

である。 $r_p$ 、 $r_s$ 、 $t_p$ 、 $t_s$  は予め計算が測定により求めておくことで、これらの定数は補正演算を行う。演算部 1 1 7 において以下の演算を行うことにより、ストークスパラメータ  $S_0$  (全光量)、 $S_1$  (水平直線偏光成分)、 $S_2$  (+45度直線偏光成分)、 $S_3$  (右回り円偏光成分) を求めている。

【 0 0 3 3 】

$$S_0 = (I_1 + I_2) / |r_p r_s|^2$$

$$S_1 = (I_1 - I_2) / |r_p r_s|^2$$

$$S_2 = 2 * I_3 / |r_p r_s t_p t_s|^2 - S_0$$

$$S_3 = 2 * I_4 / |t_p t_s|^4 - S_0$$

上記のようにストークスパラメータを求めると、光束の光量を含め、偏光状態のすべての情報が得られる。

【 0 0 3 4 】

図 6 において、出射光と複屈折の関係を説明する。出射光は試料の複屈折量と進相軸角度に応じて図 6 (a) に示したような傾いた楕円となる。長軸の傾きを、楕円が外接する長方形の対角線が長軸角度となす角とする。長軸の傾きは複屈折の進相軸角度と以下のような関係があり、楕円の楕円率は複屈折量  $B$  と以下の関係がある。

【 0 0 3 5 】

【 数 5 】

$$B = \frac{\pi}{2} - 2\varepsilon$$

10

20

30

40

50

【 0 0 3 6 】

【数 6】

$$\phi = \theta - \frac{\pi}{4}$$

【 0 0 3 7 】

また、 と はストークスパラメタ - で表すと以下の関係式が成り立つ。

【 0 0 3 8 】

【数 7】

$$\varepsilon = \frac{1}{2} \arcsin \left( \frac{S_3}{S_0} \right)$$

10

【 0 0 3 9 】

【数 8】

$$\theta = \frac{1}{2} \arctan \left( \frac{S_2}{S_1} \right)$$

【 0 0 4 0 】

演算部 1 1 7 において 以上 の演算を更に行うことにより、複屈折が求められる。

【 0 0 4 1 】

20

なお、ここでは 1 0 9 にグラントムソンプリズムを用いて説明したが、ローションプリズム、セナルモンプリズム、ウォラストンプリズム、または誘電体多層膜等で形成した偏光ビームスプリッターなど直交する偏光成分を分離する光学素子ならば何を用いても良い。ただし、どちらの偏光成分をどのディテクターで検出しているかに応じて、演算式は上記説明と異なる場合もある。

【 0 0 4 2 】

また、1 1 2、1 1 5 もグラントムソンプリズムを用いて説明したがこれも直線偏光成分を取り出すことが可能な光学素子であれば何を用いても良い。偏光素子としてプリュースター窓やシート型偏光板を用いることで安価な装置も可能である。

【 0 0 4 3 】

30

本実施例の複屈折測定装置では、従来の装置のように試料の入射側に回転素子を設ける必要が無いため、短時間で容易に複屈折を測定することが可能であり、装置自体も大型化しないというメリットがある。

【実施例 2】

【 0 0 4 4 】

本発明の第 2 実施例は、図 1 の第 2 実施例の装置において、1 0 9 で光束を 2 つに分離する変わりに、直線偏光成分を取り出す偏光素子を用い、一方 1 0 7 の分割ユニットの前に同じ分割ユニットをもう一つ設けて試料からの出射光と同じ偏光状態を有する光束をもう一つ分割し、1 0 9 で検出する直線偏光成分とは直交する直線偏光成分を取り出すよう偏光素子と検出器を設けるものである。この方法は特に直線偏光成分を正確に取り出すために 2 つの精度の高い偏光プリズムを利用する場合に有効である。

40

【実施例 3】

【 0 0 4 5 】

本発明の第 3 実施例はパルス光源を光源として用いる複屈折測定装置である。図 1 において光源 1 0 1 をパルス光源とする。極紫外光や、真空紫外光では A r F エキシマレーザーや F 2 エキシマレーザーなどのパルス光源が用いられる。データの処理方法は実施例 1 と同様であるが、4 つの受光部によって得られる信号を同期して処理することにより光源の光量変動などに依存することなくパルスごとに複屈折の測定をしている。また、試料と光学系を相対的に動かすことで、試料の複屈折の 2 次元分布を測定している。

【実施例 4】

50

## 【 0 0 4 6 】

本発明の第4実施例は、実施例1の装置において、受光部を2次元センサーとするものである。2次元センサーとしては例えばCCDカメラなどを用いている。コリメーターを用いて光源の光をほぼ平行光束となるように広げ、面内一様な特性が得られる偏光プリズムと位相差板を用いている。CCDカメラのピクセルは4つの対応しているディテクターが同じ位置を測定しているよう調整している。それぞれのピクセルで4つのストークスパラメーターを求め、それぞれ複屈折量と進相軸方位を求めることで、試料の複屈折の2次元分布が求められる。

## 【実施例5】

## 【 0 0 4 7 】

本発明の第5実施例は、実施例1の装置において受光部を1次元センサーとするものである。1次元センサーとしては1次元CCDアレイなどを用いている。コリメーターを用いて光源の光をほぼ平行光束となるように広げ、投光側の入射ユニットとしての偏光プリズムと位相差板と受光側の各受光ユニットの前には、面内一様な特性が得られる偏光プリズムと位相差板を用いている。CCDアレイのピクセルは4つの対応しているディテクターが同じ位置を測定しているよう調整している。それぞれのピクセルで4つのストークスパラメーターを求め、それぞれ複屈折量と進相軸方位を求めることで、ライン状の領域の試料の複屈折を求めている。図3において301は試料、302はライン状の測定領域、303は試料スキャン方向である。試料をライン状の測定領域に対して動かすことで複屈折の二次元分布を測定している。また、試料と測定領域は相対的に動くことが要件であるので、試料を固定して、投光部と受光部を動かすことで同様の効果が得られる。

## 【 0 0 4 8 】

試料の走査方法はステップ送りや、連続等速移動などがあるが、CCDの積算時間や、光源が連続光源かパルス光源かなどに応じて適切な走査方法と走査速度を選択している。

## 【実施例6】

## 【 0 0 4 9 】

本発明の第6実施例は、実施例5の装置を円形試料に適応させた例である。回転させて円形の測定領域を得るものである。図4において401は試料、402はライン状の測定領域、403は試料回転方向、404は回転中心である。ライン状の測定領域を試料の回転中心から半径方向に設置し、回転中心404を中心に回転することで複屈折の二次元分布を測定している。回転するディスクの複屈折測定に適している。また、試料と測定領域は相対的に動くことが要件であるので、試料を回転したくない場合は試料を固定して、投光部と受光部を回転することで試料を回転することなく円形試料の複屈折量と進相軸の角度の二次元分布を求めることも可能である。

## 【実施例7】

## 【 0 0 5 0 】

本発明の第7実施例を図5に示す。入射手段505の中に光源501があり、光源からの光は、フィルター502、偏光板503、 $\lambda/4$ 位相差板504、などを通り、所望の波長の円偏光になって試料506に入射する。偏光解析装置507は試料からの出射光を検出し、出力を演算部508に送る。

## 【 0 0 5 1 】

紫外光用の光源としてはD2ランプがあるが、レーザーなどを用いても構わない。フィルター502は波長選択フィルターであり、光源からの光のうち所定波長の光を選択して透過させるものである。例えば248nmや193nm、157nmなど、試料の複屈折を測る波長を選択している。なお、フィルターの代わりに分光器を用いても構わない。偏光板503は、可視光に用いるものとしてはフィルムタイプがあるが、紫外光ではグラインダーレーザープリズムやローションプリズムなどを用いられる。変換手段である波長板504としては水晶、フッ化マグネシウムなどの結晶タイプが紫外光用途には多く用いられる。偏光板にて直線偏光にし、その直線偏光に対して進相軸を45度回転させた $\lambda/4$ 位相差板を用いることで、その出射光は円偏光となる。



## 【 0 0 5 2 】

こうして試料に入射する光は円偏光になる。図 6 において、出射光と複屈折の関係を説明する。試料の複屈折によって試料から射出する出射光は試料の複屈折量と進相軸角度に応じて図 6 に示したような傾いた楕円となる。長軸の傾きを、楕円が外接する長方形の対角線が長軸角度となす角を とする。長軸の傾きは複屈折の進相軸角度 と以下のような関係があり、楕円の楕円率は複屈折量 B と以下のある関係がある。

## 【 0 0 5 3 】

## 【 数 9 】

$$B = \frac{\pi}{2} - 2\varepsilon$$

10

## 【 0 0 5 4 】

## 【 数 1 0 】

$$\phi = \theta - \frac{\pi}{4}$$

## 【 0 0 5 5 】

この楕円偏光は偏光解析装置によって測定を行うが、偏光解析装置によってストークスパラメータ  $S_0$ 、 $S_1$ 、 $S_2$ 、 $S_3$ 、を求めた場合、 と はストークスパラメータ - で表すと以下の関係式が成り立つ。

20

## 【 0 0 5 6 】

## 【 数 1 1 】

$$\varepsilon = \frac{1}{2} \arcsin \left( \frac{S_3}{S_0} \right)$$

## 【 0 0 5 7 】

## 【 数 1 2 】

$$\theta = \frac{1}{2} \arctan \left( \frac{S_2}{S_1} \right)$$

30

## 【 0 0 5 8 】

そこで演算部は以下の通り偏光解析屈折装置からのストークスパラメータを処理し、複屈折を求めている。

## 【 0 0 5 9 】

## 【 数 1 3 】

$$B = \frac{\pi}{2} - \arcsin \left( \frac{S_3}{S_0} \right)$$

## 【 0 0 6 0 】

## 【 数 1 4 】

$$\phi = -\frac{\pi}{4} + \frac{1}{2} \arctan \left( \frac{S_2}{S_1} \right)$$

40

## 【 0 0 6 1 】

本実施例では偏光解析装置 5 0 7 としてストークスメータを用いているが、ストークスメータ以外の偏光解析部によって楕円率、楕円の傾きを求めてもよい。

## 【 0 0 6 2 】

なお、試料は X、Y ステージなどの上に配置されており、試料のある位置の複屈折を測定した後は X、Y ステージを移動して繰り返し複屈折測定を行うことで、試料の複屈折の二次元分布を測定している。

50

## 【 0 0 6 3 】

偏光解析装置としては、従来例で挙げた通り様々なものがある。実施例 1 で挙げたようなものも一例である。

## 【実施例 8】

## 【 0 0 6 4 】

本発明の第 8 実施例は、装置誤差の除去に関するものである。実施例 7 における位相差板 5 0 4 は波長 2 4 8 n m、1 9 3 n m、1 5 7 n m などの波長 3 7 0 n m 以下の光（特に波長 2 0 0 n m 以下の光）、において良好な品質なものは非常に高価であり、誤差の無い完全な / 4 となる位相差板を得るのは困難である。一般には、この位相差板自身の誤差、直線偏光光に対する 4 5 度に位置合わせする際の位置合わせ誤差などにより、位相差板から射出する円偏光は完全な円偏光ではなく、楕円偏光（略円偏光）となる。そこで本実施例では、この装置誤差を測定法と演算によって除去している。

10

## 【 0 0 6 5 】

まず、試料を光路に配置せずに実施例 7 の方法により複屈折を測定し、その複屈折を不図示のメモリーに記憶する。上述の装置誤差が無い場合には、試料が無い場合複屈折は測定されず、検出する光は図 6（a）のような完全円偏光であるはずである。しかし、その装置誤差により本来完全な円偏光であるべき入射光自体が楕円偏光となっているため、この楕円成分を複屈折として測定してしまう。この試料無しで測定した複屈折を s とする。

## 【 0 0 6 6 】

次に、試料を光路に挿入して複屈折を測定する。ここで得られる複屈折は、試料の複屈折 c の他に上述の装置誤差による複屈折 s が含まれた複屈折 c' である。

20

## 【 0 0 6 7 】

そして、演算部において、あらかじめ求めた試料無しで測定した複屈折 s と測定によって得られた複屈折 c' とに基づいて、一般的に複屈折 c の試料のジョーンズ行列 C は以下の通り表される。ここで c は位相差を単位ラジアンで示したものである。

## 【 0 0 6 8 】

## 【数 1 5】

$$C = \begin{pmatrix} \exp\left(-i\frac{c}{2}\right) & 0 \\ 0 & \exp\left(i\frac{c}{2}\right) \end{pmatrix}$$

30

## 【 0 0 6 9 】

を装置誤差複屈折と試料の真の複屈折の進相軸角度との差とし、回転による座標変換行列を R（ ）、装置誤差複屈折のジョーンズ行列を S、試料の真の複屈折のジョーンズ行列を C、装置誤差を含んだ複屈折のジョーンズ行列を C' とすると、

$$C' = C \quad R \quad S \quad R \quad -$$

である。

## 【 0 0 7 0 】

従って、以下のような行列演算を演算部において行うことで、試料の装置誤差複屈折を取り除いた真の複屈折が求められることとなる。

40

## 【 0 0 7 1 】

$$C = C' \quad R \quad S^{-1} \quad R \quad -$$

ここで  $S^{-1}$  は S の逆行列である。上の式では C、C' に回転行列が含まれることもある。

## 【 0 0 7 2 】

以上、本実施例の複屈折測定装置によれば、試料に入射する光が完全な円偏光ではなくても、高精度に複屈折を測定することが可能となる。

## 【 0 0 7 3 】

なお、本実施例は以上の全ての実施例において適用可能である。

50

## 【 0 0 7 4 】

以上、本発明の好ましい実施例について説明したが、本発明はこれらの実施例に限定されないことはいうまでもなく、その要旨の範囲内で種々の変形及び変更が可能である。

## 【図面の簡単な説明】

## 【 0 0 7 5 】

【図 1】本発明の複屈折測定装置を表す図である。

【図 2】本発明の光分割ユニットを表す図である。

【図 3】本発明の測定領域と試料の走査を表す図である。

【図 4】本発明の測定領域と試料の回転を表す図である。

【図 5】本発明の複屈折測定装置を表す図である。

10

【図 6】本発明の試料に入射する光と試料から出射する光の偏光状態とを表す図である。

## 【符号の説明】

## 【 0 0 7 6 】

1 0 1 , 5 0 1 光源

1 0 4 , 1 0 6 , 2 0 1 , 2 0 2 , 2 0 3 光束

1 0 3 , 1 1 4 , 5 0 4 位相差板

1 0 2 , 1 1 2 , 1 1 5 , 5 0 3 偏光子

1 1 0 , 1 1 1 , 1 1 3 , 1 1 6 受光器

1 1 7 , 5 0 8 演算部

1 0 7 , 1 0 8 偏光状態を保存して光束を分割する光束分割手段

20

1 0 9 2 光束型のグラントムソン偏光プリズム ( 偏光子 )

2 0 4 , 2 0 5 , 2 0 6 平行平板

2 0 7 , 2 0 8 不要光

1 0 5 , 3 0 1 , 4 0 1 , 5 0 6 試料

3 0 2 , 4 0 2 測定領域

3 0 3 試料走査方向

4 0 3 試料回転方向

4 0 4 試料回転中心

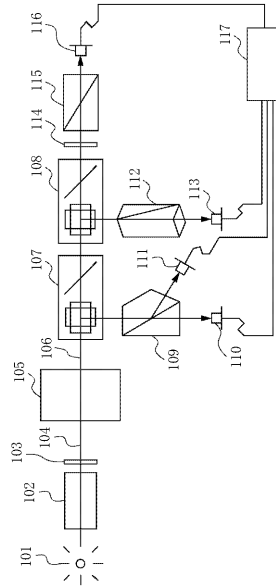
5 0 2 フィルター

5 0 5 入射ユニット

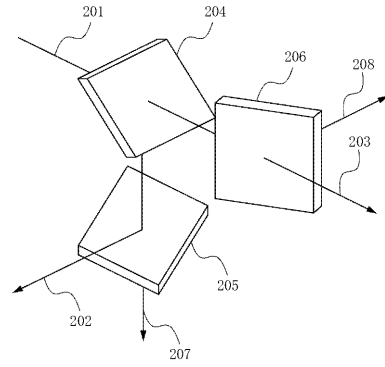
30

5 0 7 偏光解析装置

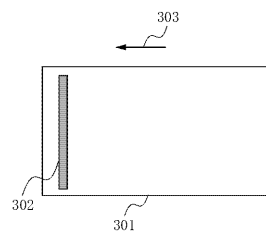
【図 1】



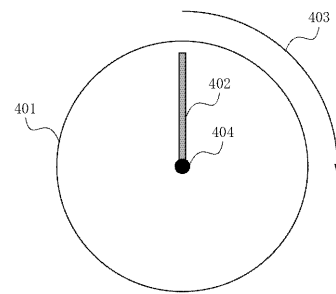
【図 2】



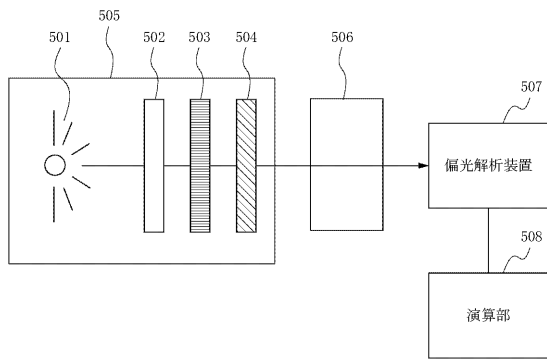
【図 3】



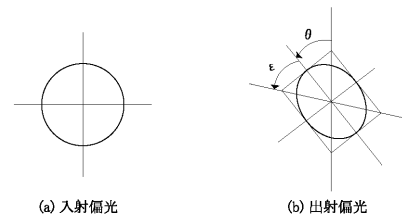
【図 4】



【図 5】



【図 6】



---

フロントページの続き

審査官 西村 直史

- (56)参考文献 特開平11-142322(JP,A)  
特開平08-327498(JP,A)  
特開平05-281137(JP,A)  
特開平05-281136(JP,A)  
特開昭63-103926(JP,A)

(58)調査した分野(Int.Cl., DB名)

G01J3/00-4/04  
7/00-9/04

G01M11/00-11/08

G01N21/00-21/01

21/17-21/61

JSTPlus/JMEDPlus/JST7580(JDreamII)