

(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2010-60352

(P2010-60352A)

(43) 公開日 平成22年3月18日(2010.3.18)

(51) Int.Cl.
G01N 21/21 (2006.01)F I
G O I N 21/21テーマコード (参考)
2 G O 5 9

審査請求 未請求 請求項の数 8 O L (全 23 頁)

(21) 出願番号 特願2008-224392 (P2008-224392)
(22) 出願日 平成20年9月2日(2008.9.2)(71) 出願人 000138200
株式会社モリテックス
東京都渋谷区神宮前3丁目1番14号
(74) 代理人 100084984
弁理士 澤野 勝文
(74) 代理人 100094123
弁理士 川尻 明
(72) 発明者 田ノ岡 大 輔
神奈川県横浜市青葉区あざみ野南1-3-3
株式会社モリテックス
横浜テクニカルセンター内
Fターム(参考) 2G059 AA02 BB10 EE05 GG01 GG04
HH02 JJ19 KK01 MM01

(54) 【発明の名称】 光学異方性パラメータ測定方法及び測定装置

(57) 【要約】

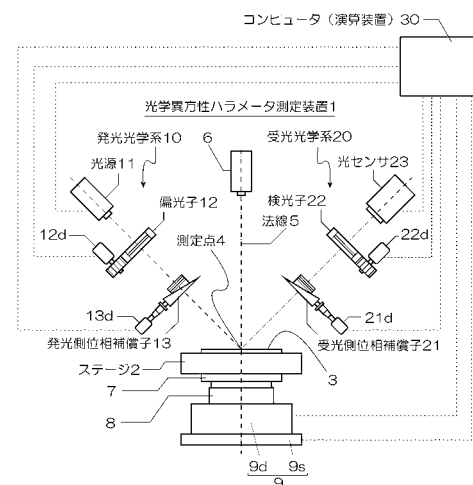
【課題】

差動SMP法を発展させ、異なる三つの偏光状態における複素振幅反射率比の位相差及び大きさを短時間で測定できるようにする。

【手段】

A～D中、三つの偏光状態の合計12種の光強度に基づき位相差及び大きさを測定する。

(A) $P \pm \alpha_A$ の偏光について偏光間位相を γ_{A1} 及び γ_{A2} に調整した合計4種類の偏光を入射させたときの反射光に含まれる合計4種類のS偏光；(B) P偏光を入射させたときに、反射光のP偏光とS偏光の偏光間位相差を γ_{B1} 及び γ_{B2} に調整した偏光のうち、 $S \pm \alpha_B$ に振動する合計4種類の偏光；(C) $S \pm \alpha_C$ の偏光について偏光間位相を γ_{C1} 及び γ_{C2} に調整した合計4種類の偏光を入射させたときの反射光に含まれる合計4種類のP偏光；(D) S偏光を入射させたときに、反射光のP偏光とS偏光の偏光間位相差を γ_{D1} 及び γ_{D2} に調整した偏光のうち、 $P \pm \alpha_D$ に振動する合計4種類の偏光。



【特許請求の範囲】

【請求項 1】

入射光を測定対象面上の測定点へ所定の測定方位から一定入射角度で照射し、その反射光に含まれる特定の方向の偏光成分の光強度を測定することにより得られた光強度データに基づき光学異方性パラメータとなる複素振幅反射率比の位相差 Δ_{χ} (χ は偏光状態) を測定する光学異方性パラメータ測定方法において、

前記入射光を偏光化して予め設定された測定方位で測定点に照射させて測定する際に、測定対象面を基準としてこれに直交する面内で振動する直線偏光を P 偏光とし、この P 偏光に直交する方向に振動する直線偏光を S 偏光としたときに、以下の A～D の四つの偏光状態のうち、少なくとも三つの偏光状態で各 4 種類ずつ合計 12 種類の反射光について測定された光強度データに基づき、予め設定したプログラムに従い、各偏光状態ごとに付与する偏光間位相差の等しい反射光強度データ同士の二つの差から二つの光強度差データを算出し、これら二つの光強度差データを除することによりその入射光の測定方位における複素振幅反射率比の位相差 Δ_{χ} を算出することを特徴とする光学異方性パラメータ測定方法。

A：P 偏光の振動方向に対して $\pm \alpha_A$ ($0 < \alpha_A < \pi/2$) の方向に振動する一対の偏光について、夫々の P 偏光成分と S 偏光成分の偏光間位相差を γ_{A1} 及び γ_{A2} に調整した合計 4 種類の偏光を入射光として測定対象面で反射させたときに、各反射光に含まれる合計 4 種類の S 偏光。

B：P 偏光を入射光として測定対象面で反射させたときに、反射光の P 偏光成分と S 偏光成分の偏光間位相差を γ_{B1} 及び γ_{B2} に調整した 2 種類の光に含まれる偏光のうち、S 偏光の振動方向に対して $\pm \alpha_B$ ($0 < \alpha_B < \pi/2$) の方向に振動する合計 4 種類の偏光。

C：S 偏光の振動方向に対して $\pm \alpha_C$ ($0 < \alpha_C < \pi/2$) の方向に振動する一対の偏光について、夫々の P 偏光成分と S 偏光成分の偏光間位相差を γ_{C1} 及び γ_{C2} に調整した合計 4 種類の偏光を入射光として測定対象面で反射させたときに、各反射光に含まれる合計 4 種類の P 偏光。

D：S 偏光を入射光として測定対象面で反射させたときに、反射光の P 偏光成分と S 偏光成分の偏光間位相差を γ_{D1} 及び γ_{D2} に調整した 2 種類の光に含まれる偏光のうち、P 偏光の振動方向に対して $\pm \alpha_D$ ($0 < \alpha_D < \pi/2$) の方向に振動する合計 4 種類の偏光。

【請求項 2】

入射光を測定対象面上の測定点へ所定の測定方位から一定入射角度で照射し、その反射光に含まれる特定の方向の偏光成分の光強度を測定することにより得られた光強度データに基づき光学異方性パラメータとなる複素振幅反射率比の位相差 Δ_{χ} (χ は偏光状態) を測定する光学異方性パラメータ測定方法において、

測定対象面を基準としてこれに直交する面内で振動する直線偏光を P 偏光とし、この P 偏光に直交する方向に振動する直線偏光を S 偏光としたときに、前記測定方位を測定点に立てられた法線の回りに変化させながら、以下の A～D の四つの偏光状態のうち、少なくとも三つの偏光状態で各 4 種類ずつ合計 12 種類の反射光について測定された測定方位一光強度データに基づき、予め設定したプログラムに従い、各偏光状態ごとに付与する偏光間位相差の等しい反射光強度データ同士の差から二つの測定方位一光強度差データを算出し、これら二つの光強度差データの比より入射光の測定方位に応じた複素振幅反射率比の位相差 Δ_{χ} を算出することを特徴とする光学異方性パラメータ測定方法。

A：P 偏光の振動方向に対して $\pm \alpha_A$ ($0 < \alpha_A < \pi/2$) の方向に振動する一対の偏光について、夫々の P 偏光成分と S 偏光成分の偏光間位相差を γ_{A1} 及び γ_{A2} に調整した合計 4 種類の偏光を入射光として測定対象面で反射させたときに、各反射光に含まれる合計 4 種類の S 偏光。

B：P 偏光を入射光として測定対象面で反射させたときに、反射光の P 偏光成分と S 偏光成分の偏光間位相差を γ_{B1} 及び γ_{B2} に調整した 2 種類の光に含まれる偏光のうち

、S 偏光の振動方向に対して $\pm \alpha_B$ ($0 < \alpha_B < \pi/2$) の方向に振動する合計 4 種類の偏光。

C : S 偏光の振動方向に対して $\pm \alpha_C$ ($0 < \alpha_C < \pi/2$) の方向に振動する一対の偏光について、夫々の P 偏光成分と S 偏光成分の偏光間位相差を γ_{C1} 及び γ_{C2} に調整した合計 4 種類の偏光を入射光として測定対象面で反射させたときに、各反射光に含まれる合計 4 種類の P 偏光。

D : S 偏光を入射光として測定対象面で反射させたときに、反射光の P 偏光成分と S 偏光成分の偏光間位相差を γ_{D1} 及び γ_{D2} に調整した 2 種類の光に含まれる偏光のうち、P 偏光の振動方向に対して $\pm \alpha_D$ ($0 < \alpha_D < \pi/2$) の方向に振動する合計 4 種類の偏光。

10

【請求項 3】

測定対象面上の測定点に対して所定の偏光状態に偏光化された光を所定の測定方位から一定入射角度で照射する発光光学系と、その反射光を所定の偏光状態に偏光化した光の光強度を検出する受光光学系と、測定された光強度に基づき光学異方性パラメータとなる複素振幅反射率比の位相差 Δ_χ (χ は偏光状態) を算出する演算装置を備えた光学異方性パラメータ測定装置において、

前記発光光学系には、単色光を照射する光源と、偏光方向の調整が可能な偏光子と、位相調整が可能な発光側位相補償子がこの順で介装されると共に、

前記受光光学系には、位相の調整が可能な受光側位相補償子と、偏光方向の調整が可能な検光子と、検光子を透過した偏光の光強度を測定する光センサがこの順で介装され、

20

測定対象面を基準としてこれに直交する面内で振動する直線偏光を P 偏光とし、これに直交する方向に振動する直線偏光を S 偏光としたときに、前記演算装置で、以下の A ~ D の四つの偏光状態のうち少なくとも三つの偏光状態の各 4 種類ずつ合計 12 種類の反射光について測定された光強度データに基づき、予め設定したプログラムに従い、各偏光状態ごとに付与する偏光間位相差の等しい反射光強度データ同士の二つの差から二つの光強度差データを算出し、これら二つの光強度差データの比よりその入射光の測定方位における複素振幅反射率比の位相差 Δ_χ を算出することを特徴とする光学異方性パラメータ測定装置。

A : P 偏光の振動方向に対して $\pm \alpha_A$ ($0 < \alpha_A < \pi/2$) の方向に振動する一対の偏光について、夫々の P 偏光成分と S 偏光成分の偏光間位相差を γ_{A1} 及び γ_{A2} に調整した合計 4 種類の偏光を入射光として測定対象面で反射させたときに、各反射光に含まれる合計 4 種類の S 偏光。

30

B : P 偏光を入射光として測定対象面で反射させたときに、反射光の P 偏光成分と S 偏光成分の偏光間位相差を γ_{B1} 及び γ_{B2} に調整した 2 種類の光に含まれる偏光のうち、S 偏光の振動方向に対して $\pm \alpha_B$ ($0 < \alpha_B < \pi/2$) の方向に振動する合計 4 種類の偏光。

C : S 偏光の振動方向に対して $\pm \alpha_C$ ($0 < \alpha_C < \pi/2$) の方向に振動する一対の偏光について、夫々の P 偏光成分と S 偏光成分の偏光間位相差を γ_{C1} 及び γ_{C2} に調整した合計 4 種類の偏光を入射光として測定対象面で反射させたときに、各反射光に含まれる合計 4 種類の P 偏光。

40

D : S 偏光を入射光として測定対象面で反射させたときに、反射光の P 偏光成分と S 偏光成分の偏光間位相差を γ_{D1} 及び γ_{D2} に調整した 2 種類の光に含まれる偏光のうち、P 偏光の振動方向に対して $\pm \alpha_D$ ($0 < \alpha_D < \pi/2$) の方向に振動する合計 4 種類の偏光。

【請求項 4】

測定対象面上の測定点に対して所定の偏光状態に偏光化された光を所定の測定方位から一定入射角度で照射する発光光学系と、その反射光を所定の偏光状態に偏光化した光の光強度を検出する受光光学系が、前記測定点に立てられた法線の回りに相対的に回転可能にあるいは放射状に配されて、入射光の測定方位に応じた光強度に基づき光学異方性パラメータとなる複素振幅反射率比の位相差 Δ_χ (χ は偏光状態) を算出する演算装置を備えた

50

光学異方性パラメータ測定装置において、

前記発光光学系には、単色光を照射する光源と、偏光方向の調整が可能な偏光子と、位相調整が可能な発光側位相補償子がこの順で介装されると共に、

前記受光光学系には、位相の調整が可能な受光側位相補償子と、偏光方向の調整が可能な検光子と、検光子を透過した偏光の光強度を測定する光センサがこの順で介装され、

測定対象面を基準としてこれに直交する面内で振動する直線偏光をP偏光とし、これに直交する方向に振動する直線偏光をS偏光としたときに、測定方位を変化させながら、以下のA～Dの四つの偏光状態のうち少なくとも三つの偏光状態の各4種類ずつ合計12種類の反射光について測定された測定方位－光強度データに基づき、前記演算装置で、予め設定したプログラムに従って、各偏光状態ごとに付与する偏光間位相差の等しい反射光強度データ同士の二つの差から二つの測定方位－光強度差データを算出し、これら二つの光強度差データの比より入射光の測定方位に応じた複素振幅反射率比の位相差 Δ_χ を算出することを特徴とする光学異方性パラメータ測定装置。

A：P偏光の振動方向に対して $\pm \alpha_A$ ($0 < \alpha_A < \pi/2$) の方向に振動する一対の偏光について、夫々のP偏光成分とS偏光成分の偏光間位相差を γ_{A1} 及び γ_{A2} に調整した合計4種類の偏光を入射光として測定対象面で反射させたときに、各反射光に含まれる合計4種類のS偏光。

B：P偏光を入射光として測定対象面で反射させたときに、反射光のP偏光成分とS偏光成分の偏光間位相差を γ_{B1} 及び γ_{B2} に調整した2種類の光に含まれる偏光のうち、S偏光の振動方向に対して $\pm \alpha_B$ ($0 < \alpha_B < \pi/2$) の方向に振動する合計4種類の偏光。

C：S偏光の振動方向に対して $\pm \alpha_C$ ($0 < \alpha_C < \pi/2$) の方向に振動する一対の偏光について、夫々のP偏光成分とS偏光成分の偏光間位相差を γ_{C1} 及び γ_{C2} に調整した合計4種類の偏光を入射光として測定対象面で反射させたときに、各反射光に含まれる合計4種類のP偏光。

D：S偏光を入射光として測定対象面で反射させたときに、反射光のP偏光成分とS偏光成分の偏光間位相差を γ_{D1} 及び γ_{D2} に調整した2種類の光に含まれる偏光のうち、P偏光の振動方向に対して $\pm \alpha_D$ ($0 < \alpha_D < \pi/2$) の方向に振動する合計4種類の偏光。

【請求項5】

前記三つの偏光状態で各4種類ずつ合計12種類の反射光について測定された光強度データに基づき、予め設定したプログラムに従い、各偏光状態ごとに付与する偏光間位相差の等しい反射光強度データの和を光強度和データとして算出し、前記光強度差データの一方と光強度和データの比よりその入射光の測定方位における複素振幅反射率比の大きさ $|R_\chi|$ (χ は偏光状態) を算出する請求項1記載の光学異方性パラメータ測定方法。

【請求項6】

前記三つの偏光状態で各4種類ずつ合計12種類の反射光について測定された測定方位－光強度データに基づき、予め設定したプログラムに従い、各偏光状態ごとに付与する偏光間位相差の等しい反射光強度データの和を測定方位－光強度和データとして算出し、前記光強度差データの一方と光強度和データの比より入射光の測定方位に応じた複素振幅反射率比の大きさ $|R_\chi|$ (χ は偏光状態) を算出する請求項2記載の光学異方性パラメータ測定方法。

【請求項7】

前記演算装置で、三つの偏光状態の各4種類ずつ合計12種類の反射光について測定された光強度データに基づき、予め設定したプログラムに従い、各偏光状態ごとに付与する偏光間位相差の等しい反射光強度データの和を光強度和データとして算出し、前記光強度差データの一方と光強度和データの比よりその入射光の測定方位における複素振幅反射率比の大きさ $|R_\chi|$ (χ は偏光状態) を算出する請求項3記載の光学異方性パラメータ測定装置。

【請求項8】

10

20

30

40

50

前記演算装置で、三つの偏光状態の各 4 種類ずつ合計 12 種類の反射光について測定された測定方位－光強度データに基づき、予め設定したプログラムに従い、各偏光状態ごとに付与する偏光間位相差の等しい反射光強度データの和を測定方位－光強度和データとして算出し、前記光強度差データの一方と光強度和データの比より入射光の測定方位に応じた複素振幅反射率比の大きさ $|R_{\chi}|$ (χ は偏光状態) を算出する請求項 4 記載の光学異方性パラメータ測定装置。

【発明の詳細な説明】

【技術分野】

10

【0001】

本発明は、測定対象面に形成された光学異方性膜の複素振幅反射率比の位相差を測定する光学的異方性パラメータ測定方法及び測定装置に関し、特に、液晶配向膜の検査等に用いて好適である。

【背景技術】

【0002】

液晶ディスプレイは、表面に透明電極及び配向膜を積層した裏側ガラス基板と、表面にカラーフィルタ、透明電極及び配向膜を積層形成した表側ガラス基板が、スペーサを介して配向膜同士を向かい合わせ、その配向膜の隙間に液晶を封入した状態で封止されると共に、その表裏両側に偏光フィルタが積層された構造と成っている。

20

【0003】

ここで、液晶ディスプレイが正常に動作するためには液晶分子が均一に同一方向に配列されている必要があり、配向膜が液晶分子の方向性を決定する。

この配向膜が液晶分子を整列させることができるのは、一軸性光学的異方性を有しているからであり、配向膜がその全面にわたって均一な一軸性光学的異方性を有していれば液晶ディスプレイに欠陥を生じにくく、光学的異方性の不均一な部分が存在すれば液晶分子の方向が乱れるため液晶ディスプレイが不良品となる。

すなわち、配向膜の品質はそのまま液晶ディスプレイの品質に影響し、配向膜に欠陥があれば液晶分子の方向性が乱れるため、液晶ディスプレイにも欠陥を生ずることになる。

【0004】

30

したがって、液晶ディスプレイを組み立てる際に、予め配向膜の欠陥の有無を検査して品質の安定した配向膜のみを使用するようにすれば、液晶ディスプレイの歩留りが向上し、生産効率が向上する。

このため従来より、配向膜の検査方法として、一般化エリブソメトリ法（非特許文献 1）が知られている。

【非特許文献 1】 R. M. A. Azzam and N.M. Bashara: Ellipsometry and Polarized Light (North-Holland, Amsterdam, 1986)

【0005】

この方法は 3 つ以上の複数の入射偏光状態に対してそれぞれ反射偏光状態を測定し、複素振幅反射率比 $R_{pp} \equiv r_{pp}/r_{ss}$ 、 $R_{ps} \equiv r_{ps}/r_{ss}$ 、 $R_{sp} \equiv r_{sp}/r_{ss}$ の測定方位方向依存性を測定する。

40

ここで、 R_{χ} (χ は偏光状態) は、それぞれ測定点に照射される入射光の複素振幅反射率によって定義され、具体的には、P 偏光を入射したときの P 偏光の複素振幅反射率 r_{pp} 、S 偏光を入射したときの S 偏光の複素振幅反射率 r_{ss} 、S 偏光を入射したときの P 偏光の複素振幅反射率 r_{ps} 、P 偏光を入射したときの S 偏光の複素振幅反射率 r_{sp} の比によって定義される。

そして、入射光の測定方位を測定点に立てられた法線の周りに 360 度回転させて測定したときに、複素振幅反射率比の測定方位方向依存性を測定できるため、詳細に配向膜の分子配向を評価できるものの、測定に時間がかかるという問題がある。また、膜厚が薄い場合、異方性の検出能が低いため、異方性そのものを検出できない場合がある。

【0006】

50

そこで本出願人は、分子配向による光学異方性を高速に測定する方法として、差動 S M P 法を提案した。

【特許文献 1】特開 2 0 0 8 - 7 6 3 2 4 号公報

【0 0 0 7】

この方法は、測定対象物に対して P 偏光又は S 偏光のいずれか一方の方向を基準方向とし、入射光及び測定光の一方を基準方向に振動する直線偏光とし、入射光及び測定光の他方を基準方向に対して $\pi/2 \pm \alpha$ ($0 < \alpha < \pi/2$) の方向に振動する一対の直線偏光とし、その一対の偏光に対応する二種類の測定光の光強度を測定し、得られた二つの光強度データの差分を表す差分データに基づいて光学異方性パラメータを測定するものであり、光学異方性パラメータとして、測定対象物の配向方位、光学軸の傾斜角、配向の大きさを短時間で測定することができる。

10

【0 0 0 8】

しかしながら、差動 S P M 法では光学異方性物質の特性を最もよく表す複素振幅反射率比の位相差及び大きさについてはこれを測定することができず、エリブソメトリなどの他の手法を併用せざるを得ないという問題があった。

そして、測定方位に応じた複素振幅反射率比の位相差及び大きさを測定することさえできれば、従来公知の手法により、その測定結果に基づき合計 7 つの全ての光学異方性パラメータ（配向方位、光学軸の傾斜角、常光屈折率、異常光屈折率、配向層膜厚、配向層屈折率、無配向層膜厚）を測定することも可能となる。

【発明の開示】

20

【発明が解決しようとする課題】

【0 0 0 9】

そこで本発明は、差動 S M P 法をさらに発展させ、第 1 に異なる三つの偏光状態における複素振幅反射率比の位相差を測定することができ、第 2 に夫々の偏光状態における複素振幅反射率比を測定することができるようにすることを技術的課題としている。

【課題を解決するための手段】

【0 0 1 0】

この課題を解決するために、請求項 1 の発明は、入射光を測定対象面上の測定点へ所定の測定方位から一定入射角度で照射し、その反射光に含まれる特定の方向の偏光成分の光強度を測定することにより得られた光強度データに基づき光学異方性パラメータとなる複素振幅反射率比の位相差 Δ_χ (χ は偏光状態) を測定する光学異方性パラメータ測定方法において、

30

前記入射光を偏光化して予め設定された測定方位で測定点に照射させて測定する際に、測定対象面を基準としてこれに直交する面内で振動する直線偏光を P 偏光とし、この P 偏光に直交する方向に振動する直線偏光を S 偏光としたときに、以下の A ~ D の四つの偏光状態のうち、少なくとも三つの偏光状態で各 4 種類ずつ合計 1 2 種類の反射光について測定された光強度データに基づき、予め設定したプログラムに従い、各偏光状態ごとに付与する偏光間位相差の等しい反射光強度データ同士の二つの差から二つの光強度差データを算出し、これら二つの光強度差データを除することによりその入射光の測定方位における複素振幅反射率比の位相差 Δ_χ を算出することを特徴としている。

40

A : P 偏光の振動方向に対して $\pm \alpha_A$ ($0 < \alpha_A < \pi/2$) の方向に振動する一対の偏光について、夫々の P 偏光成分と S 偏光成分の偏光間位相差を γ_{A1} 及び γ_{A2} に調整した合計 4 種類の偏光を入射光として測定対象面で反射させたときに、各反射光に含まれる合計 4 種類の S 偏光。

B : P 偏光を入射光として測定対象面で反射させたときに、反射光の P 偏光成分と S 偏光成分の偏光間位相差を γ_{B1} 及び γ_{B2} に調整した 2 種類の光に含まれる偏光のうち、S 偏光の振動方向に対して $\pm \alpha_B$ ($0 < \alpha_B < \pi/2$) の方向に振動する合計 4 種類の偏光。

C : S 偏光の振動方向に対して $\pm \alpha_C$ ($0 < \alpha_C < \pi/2$) の方向に振動する一対の偏光について、夫々の P 偏光成分と S 偏光成分の偏光間位相差を γ_{C1} 及び γ_{C2} に調整

50

した合計 4 種類の偏光を入射光として測定対象面で反射させたときに、各反射光に含まれる合計 4 種類の P 偏光。

D : S 偏光を入射光として測定対象面で反射させたときに、反射光の P 偏光成分と S 偏光成分の偏光間位相差を γ_{D1} 及び γ_{D2} に調整した 2 種類の光に含まれる偏光のうち、P 偏光の振動方向に対して $\pm \alpha_D$ ($0 < \alpha_D < \pi/2$) の方向に振動する合計 4 種類の偏光。

【0011】

請求項 2 の発明は、前記測定方位を測定点に立てられた法線の回りに変化させながら、少なくとも三つの偏光状態で各 4 種類ずつ合計 12 種類の反射光について測定された測定方位—光強度データに基づき、予め設定したプログラムに従い、入射光の測定方位に応じた複素振幅反射率比の位相差 Δ_χ を算出することを特徴としている。

10

【0012】

請求項 3 の発明は、測定対象面上の測定点に対して所定の偏光状態に偏光化された光を所定の測定方位から一定入射角度で照射する発光光学系と、その反射光を所定の偏光状態に偏光化した光の光強度を検出する受光光学系と、測定された光強度に基づき光学異方性パラメータとなる複素振幅反射率比の位相差 Δ_χ (χ は偏光状態) を算出する演算装置を備えた光学異方性パラメータ測定装置において、

前記発光光学系には、単色光を照射する光源と、偏光方向の調整が可能な偏光子と、位相の調整が可能な発光側位相補償子がこの順で介装されると共に、

前記受光光学系には、位相の調整が可能な受光側位相補償子と、偏光方向の調整が可能な検光子と、検光子を透過した偏光の光強度を測定する光センサがこの順で介装され、

20

測定対象面を基準としてこれに直交する面内で振動する直線偏光を P 偏光とし、これに直交する方向に振動する直線偏光を S 偏光としたときに、前記演算装置では、四つの偏光状態 A～D のうち少なくとも三つの偏光状態の各 4 種類ずつ合計 12 種類の反射光について測定された光強度データに基づき、予め設定したプログラムに従い、各偏光状態ごとに付与する偏光間位相差の等しい反射光強度データ同士の二つの差から二つの光強度差データを算出し、これら二つの光強度差データを除することによりその入射光の測定方位における複素振幅反射率比の位相差 Δ_χ を算出することを特徴としている。

【0013】

請求項 4 の発明は、発光光学系及び受光光学系が測定点に立てられた法線の回りに相対的に回転可能にあるいは放射状に配されて、入射光の測定方位に応じた光強度に基づき光学異方性パラメータとなる複素振幅反射率比の位相差 Δ_χ (χ は偏光状態) を算出する演算装置を備えており、演算装置では、四つの偏光状態 A～D のうち少なくとも三つの偏光状態の各 4 種類ずつ合計 12 種類の反射光について測定された測定方位—光強度データに基づき、予め設定したプログラムに従って、各偏光状態ごとに付与する偏光間位相差の等しい反射光強度データ同士の二つの差から二つの測定方位—光強度差データを算出し、これら二つの光強度差データを除することにより入射光の測定方位に応じた複素振幅反射率比の位相差 Δ_χ を算出することを特徴としている。

30

【0014】

さらに、請求項 5～8 では、偏光状態ごとに位相等しい一組の反射光強度データの和を光強度和データとして算出し、前記光強度差データの一方と光強度和データの比よりその入射光の測定方位における χ に応じた複素振幅反射率比の大きさ $|R_\chi|$ を算出するようにしている。

40

【発明の効果】

【0015】

請求項 1 及び 3 の発明によれば、所定の測定方位から入射光を測定点に照射し、その反射光の光強度を測定する際に、予め設定された三つの偏光状態で測定し、光強度差データの比を算出することにより、その測定方位方向について夫々の偏光状態におけるその複素振幅反射率比の位相差 Δ_χ (χ は偏光状態) を測定することができる。

ここで、請求項 5, 7 の発明のように、光強度差データと光強度和データの比を算出す

50

れば、その測定方位方向について夫々の偏光状態におけるその複素振幅反射率比の大きさ $|R_{\chi}|$ (χ は偏光状態) を測定することができる。

【0016】

また、請求項 2 及び 4 のように、例えば、発光光学系及び受光光学系が測定点に立てられた法線の回りに相対的に回転可能あるいは放射状に配されて、測定方位を連続的又は段階的に変化させながら測定できるようになっていれば、入射光の測定方位に応じた複素振幅反射率比の位相差 Δ_{χ} (χ は偏光状態) を測定できるので、位相差 Δ_{χ} を測定方位の関数として測定することができる。

ここで、請求項 6, 8 の発明のように、光強度差データと光強度和データの比を算出すれば、変化する測定方位方向について夫々の偏光状態におけるその複素振幅反射率比の大きさ $|R_{\chi}|$ (χ は偏光状態) を測定できるので、複素振幅反射率比の大きさを測定方位の関数として測定することができる。

【発明を実施するための最良の形態】

【0017】

本発明は、差動 S M P 法をさらに発展させ、異なる三つの偏光状態における複素振幅反射率比の位相差を測定するという目的を達成するため、入射光を測定対象面上の測定点へ一定入射角度で照射し、その反射光に含まれる特定の方向の偏光成分の光強度を測定することにより得られた光強度データに基づき光学異方性パラメータとなる複素振幅反射率比の位相差 Δ_{χ} (χ は偏光状態) を測定する光学異方性パラメータ測定方法において、

前記入射光を偏光化して予め設定された測定方位で測定点に照射させて測定する際に、測定対象面を基準としてこれに直交する面内で振動する直線偏光を P 偏光とし、この P 偏光に直交する方向に振動する直線偏光を S 偏光としたときに、以下の A ~ D の四つの偏光状態のうち、少なくとも三つの偏光状態で各 4 種類ずつ合計 12 種類の反射光について測定された光強度データに基づき、予め設定したプログラムに従い、各偏光状態ごとに付与する偏光間位相差の等しい反射光強度データ同士の二つの差から二つの光強度差データを算出し、これら二つの光強度差データを除することによりその入射光の測定方位における複素振幅反射率比の位相差 Δ_{χ} を算出することとした。

A : P 偏光の振動方向に対して $\pm \alpha_A$ ($0 < \alpha_A < \pi/2$) の方向に振動する一対の偏光について、夫々の P 偏光成分と S 偏光成分の偏光間位相差を γ_{A1} 及び γ_{A2} に調整した合計 4 種類の偏光を入射光として測定対象面で反射させたときに、各反射光に含まれる合計 4 種類の S 偏光。

B : P 偏光を入射光として測定対象面で反射させたときに、反射光の P 偏光成分と S 偏光成分の偏光間位相差を γ_{B1} 及び γ_{B2} に調整した 2 種類の光に含まれる偏光のうち、S 偏光の振動方向に対して $\pm \alpha_B$ ($0 < \alpha_B < \pi/2$) の方向に振動する合計 4 種類の偏光。

C : S 偏光の振動方向に対して $\pm \alpha_C$ ($0 < \alpha_C < \pi/2$) の方向に振動する一対の偏光について、夫々の P 偏光成分と S 偏光成分の偏光間位相差を γ_{C1} 及び γ_{C2} に調整した合計 4 種類の偏光を入射光として測定対象面で反射させたときに、各反射光に含まれる合計 4 種類の P 偏光。

D : S 偏光を入射光として測定対象面で反射させたときに、反射光の P 偏光成分と S 偏光成分の偏光間位相差を γ_{D1} 及び γ_{D2} に調整した 2 種類の光に含まれる偏光のうち、P 偏光の振動方向に対して $\pm \alpha_D$ ($0 < \alpha_D < \pi/2$) の方向に振動する合計 4 種類の偏光。

【0018】

図 1 は本発明に係る光学的異方性パラメータ測定装置の一例を示す説明図、図 2 は演算装置のメインルーチンの処理手順を示すフローチャート、図 3 はサブルーチンの処理手順を示すフローチャート、図 4 は偏光状態 A における光強度差データ、光強度和データを示すグラフ、図 5 は偏光状態 B における光強度差データ、光強度和データを示すグラフ、図 6 は偏光状態 C における光強度差データ、光強度和データを示すグラフ、図 7 は偏光状態 D における光強度差データ、光強度和データを示すグラフ、図 8 は算出された複素振幅反

射率比の位相差を示すグラフ、図 9 は算出された複素振幅反射率比の大きさを示すグラフである。

【0019】

まず、本発明による複素振幅反射率及びその位相差の測定理論について説明する。

偏光の反射を考えると、複素振幅反射率 r_χ (χ は偏光状態) は、

$$r_\chi = |r_\chi| \exp[i\delta_\chi]$$

r_{PP} : P 偏光を入射したときの反射光の P 偏光の複素振幅反射率
 r_{SP} : P 偏光を入射したときの反射光の S 偏光の複素振幅反射率
 r_{PS} : S 偏光を入射したときの反射光の P 偏光の複素振幅反射率
 r_{SS} : S 偏光を入射したときの反射光の S 偏光の複素振幅反射率
 δ_{PP} : 入射光の P 偏光の位相に対する反射光の P 偏光の位相の跳び
 δ_{SP} : 入射光の P 偏光の位相に対する反射光の S 偏光の位相の跳び
 δ_{PS} : 入射光の S 偏光の位相に対する反射光の P 偏光の位相の跳び
 δ_{SS} : 入射光の S 偏光の位相に対する反射光の S 偏光の位相の跳び

で表される。

【0020】

このとき、複素振幅反射率比 R_χ を下式で定義すると、

$$\begin{aligned}
 R_\chi &= r_\chi / r_{SS} \\
 &= (|r_\chi| \exp[i\delta_\chi]) / (|r_{SS}| \exp[i\delta_{SS}]) \\
 &= (|r_\chi| / |r_{SS}|) \exp[i(\delta_\chi - \delta_{SS})] \\
 &= |R_\chi| \exp[i\Delta_\chi]
 \end{aligned}$$

となり、複素振幅反射率比 R_χ の位相差 Δ_χ は、

$$\Delta_\chi = \delta_\chi - \delta_{SS}$$

で表される。

【0021】

このように定義される複素振幅反射率比 R_χ の三種類の位相差 Δ_{PP} 、 Δ_{SP} 、 Δ_{PS} と、三種類の大きさ $|R_{PP}|$ 、 $|R_{SP}|$ 、 $|R_{PS}|$ が、配向膜などの光学異方性材料の物性パラメータとして重要であり、特に、位相差 Δ_{PP} 、 Δ_{SP} 、 Δ_{PS} を知ることが、その光学異方性材料の評価を行う上で重要である。

【0022】

各偏光状態で測定した反射光強度の理論式は以下の通りである。

[偏光状態 A]

P 偏光の振動方向に対して $\pm \alpha_A$ ($0 < \alpha_A < \pi/2$) の方向に振動する一対の偏光について、夫々の P 偏光成分と S 偏光成分の偏光間位相差を γ_{A1} 及び γ_{A2} に調整した合計 4 種類の偏光を入射光として測定対象面で反射させたときの反射光の光強度はジョーンズ行列を用いて以下で表せる。

【数 1】

$$I_A = |E_{out}|^2 = I_0 \left\{ \mathbf{M_R}(-\theta_A) \cdot \mathbf{M_A} \cdot \mathbf{M_R}(\theta_A) \cdot \mathbf{M_S} \cdot \mathbf{Q}_\gamma \cdot \mathbf{M_R}(-\theta_p) \cdot \mathbf{M_P} \cdot \mathbf{M_R}(\theta_p) \cdot \mathbf{E}_{in} \right\}$$

ここで、 I_0 は装置定数、 E_{in} 、 E_{out} は入射光および測定光の偏光ベクトル、 M_P 、 Q 、 M_S 、 M_A 、 M_R はそれぞれ偏光子、位相板、試料、検光子、座標回転のジョーンズ行列であり、夫々以下の形で与えられる。

10

20

30

40

【数 2】

$$\mathbf{E} = \begin{pmatrix} E_x \\ E_y \end{pmatrix}$$

$$\mathbf{M}_R(\theta) = \begin{pmatrix} \cos \theta & \sin \theta \\ -\sin \theta & \cos \theta \end{pmatrix}$$

$$\mathbf{M}_P = \begin{pmatrix} 1 & 0 \\ 0 & 0 \end{pmatrix}$$

$$\mathbf{Q}_\gamma = \begin{pmatrix} 1 & 0 \\ 0 & e^{-i\gamma} \end{pmatrix}$$

$$\mathbf{M}_S = \begin{pmatrix} r_{pp} & r_{ps} \\ r_{sp} & r_{ss} \end{pmatrix}$$

$$\mathbf{M}_A = \begin{pmatrix} 1 & 0 \\ 0 & 0 \end{pmatrix}$$

10

20

 γ : 偏光間位相差 θ_p : 偏光子の振れ角 θ_A : 検光子の振れ角入射光の偏光の振れ角を θ とすると光強度 $I_A(\theta, \gamma)$ は次式で算出される。

【数 3】

$$I_A(\theta, \gamma) = I_0 \left\{ |r_{sp}|^2 \cos^2 \theta + |r_{ss}|^2 \sin^2 \theta + |r_{sp}| |r_{ss}| \sin(2\theta) \cos(\delta_{sp} - \delta_{ss} + \gamma) \right\}$$

偏光状態 A において、以下の各条件の下、光強度の測定が行われる。

30

測定 1 : $[\gamma, \theta_p, \theta_A] = [\gamma_{A1}, +\alpha_A, 90^\circ]$ 測定 2 : $[\gamma, \theta_p, \theta_A] = [\gamma_{A1}, -\alpha_A, 90^\circ]$ 測定 3 : $[\gamma, \theta_p, \theta_A] = [\gamma_{A2}, +\alpha_A, 90^\circ]$ 測定 4 : $[\gamma, \theta_p, \theta_A] = [\gamma_{A1}, -\alpha_A, 90^\circ]$

上式にこの値を代入して、

$$I_{A11} = I_A(\alpha_A, \gamma_{A1})$$

$$I_{A12} = I_A(\alpha_A, \gamma_{A2})$$

$$I_{A21} = I_A(-\alpha_A, \gamma_{A1})$$

$$I_{A22} = I_A(-\alpha_A, \gamma_{A2})$$

をそれぞれ求め、その差分、和分をとると、これらは以下で与えられる。

【数 4】

40

$$DI_{A1} = 2I_0 \sin(2\alpha_A) |r_{sp}| |r_{ss}| \cos(\delta_{sp} - \delta_{ss} + \gamma_{A1})$$

$$DI_{A2} = 2I_0 \sin(2\alpha_A) |r_{sp}| |r_{ss}| \cos(\delta_{sp} - \delta_{ss} + \gamma_{A2})$$

$$SI_A = 2I_0 \left(|r_{sp}|^2 \cos^2 \alpha_A + |r_{ss}|^2 \sin^2 \alpha_A \right)$$

D I_{A1} : I_{A11} と I_{A21} の差D I_{A2} : I_{A12} と I_{A22} の差S I_A : I_{A11} と I_{A21} 、または、 I_{A12} と I_{A22} の和

50

【 0 0 2 3 】

〔偏光状態 B〕

P 偏光を入射光として測定対象面で反射させたときに、反射光の P 偏光成分と S 偏光成分の偏光間位相差を γ_{B1} 及び γ_{B2} に調整した 2 種類の光に含まれる偏光のうち、S 偏光の振動方向に対して $\pm \alpha_B$ ($0 < \alpha_B < \pi/2$) の方向に振動する合計 4 種類の偏光の光強度は次式で算出される。

【数 5】

$$I_B = |\mathbf{E}_{out}|^2 = I_0 \left\{ \mathbf{M}_R(-\theta_A) \cdot \mathbf{M}_A \cdot \mathbf{M}_R(\theta_A) \cdot \mathbf{Q}_\gamma \cdot \mathbf{M}_S \cdot \mathbf{M}_R(-\theta_p) \cdot \mathbf{M}_P \cdot \mathbf{M}_R(\theta_p) \cdot \mathbf{E}_{in} \right\} \quad 10$$

また反射光の偏光の振れ角を θ とすると光強度 $I_B(\theta, \gamma)$ は次式で算出される。

【数 6】

$$I_B(\theta, \gamma) = I_0 \left\{ |r_{pp}|^2 \sin^2 \theta + |r_{sp}|^2 \cos^2 \theta + |r_{pp}| |r_{sp}| \sin(2\theta) \cos(\delta_{pp} - \delta_{sp} + \gamma) \right\}$$

偏光状態 B において、以下の各条件の下、光強度の測定が行われる。

測定 1 : $[\gamma, \theta_p, \theta_A] = [\gamma_{B1}, 0^\circ, 90^\circ + \alpha_B]$

測定 2 : $[\gamma, \theta_p, \theta_A] = [\gamma_{B1}, 0^\circ, 90^\circ - \alpha_B]$

測定 3 : $[\gamma, \theta_p, \theta_A] = [\gamma_{B2}, 0^\circ, 90^\circ + \alpha_B]$

測定 4 : $[\gamma, \theta_p, \theta_A] = [\gamma_{B1}, 0^\circ, 90^\circ - \alpha_B]$ 20

上式にこの値を代入して、

$$I_{B11} = I_B(\alpha_B, \gamma_{B1})$$

$$I_{B12} = I_B(\alpha_B, \gamma_{B2})$$

$$I_{B21} = I_B(-\alpha_B, \gamma_{B1})$$

$$I_{B22} = I_B(-\alpha_B, \gamma_{B2})$$

をそれぞれ求め、その差分、和分をとると、これらは以下で与えられる。

【数 7】

$$\begin{aligned} DI_{B1} &= 2I_0 \sin(2\alpha_B) |r_{pp}| |r_{sp}| \cos(\delta_{pp} - \delta_{sp} + \gamma_{B1}) \\ DI_{B2} &= 2I_0 \sin(2\alpha_B) |r_{pp}| |r_{sp}| \cos(\delta_{pp} - \delta_{sp} + \gamma_{B2}) \\ SI_B &= 2I_0 \left(|r_{pp}|^2 \sin^2 \alpha_B + |r_{sp}|^2 \cos^2 \alpha_B \right) \end{aligned} \quad 30$$

DI_{B1} : I_{B11} と I_{B21} の差

DI_{B2} : I_{B12} と I_{B22} の差

SI_B : I_{B11} と I_{B21} 、または、 I_{B12} と I_{B22} の和

【 0 0 2 4 】

〔偏光状態 C〕

S 偏光の振動方向に対して $\pm \alpha_C$ ($0 < \alpha_C < \pi/2$) の方向に振動する一対の偏光について、夫々の P 偏光成分と S 偏光成分の偏光間位相差を γ_{C1} 及び γ_{C2} に調整した合計 4 種類の偏光を入射光として測定対象面で反射させたときの反射光の光強度は次式で表せる。

【数 8】

$$I_C = |\mathbf{E}_{out}|^2 = I_0 \left\{ \mathbf{M}_R(-\theta_A) \cdot \mathbf{M}_A \cdot \mathbf{M}_R(\theta_A) \cdot \mathbf{M}_S \cdot \mathbf{Q}_\gamma \cdot \mathbf{M}_R(-\theta_p) \cdot \mathbf{M}_P \cdot \mathbf{M}_R(\theta_p) \cdot \mathbf{E}_{in} \right\} \quad 40$$

また偏光の振れ角を θ とすると光強度 $I_C(\theta, \gamma)$ は次式で算出される。

【数 9】

$$I_C(\theta, \gamma) = I_0 \left\{ |r_{pp}|^2 \sin^2 \theta + |r_{ps}|^2 \cos^2 \theta + |r_{pp}| |r_{ps}| \sin(2\theta) \cos(\delta_{pp} - \delta_{ps} + \gamma) \right\}$$

偏光状態 C において、以下の各条件の下、光強度の測定が行われる。

- 測定 1 : $[\gamma, \theta_p, \theta_A] = [\gamma_{C1}, 90^\circ + \alpha_C, 0^\circ]$
 測定 2 : $[\gamma, \theta_p, \theta_A] = [\gamma_{C1}, 90^\circ - \alpha_C, 0^\circ]$
 測定 3 : $[\gamma, \theta_p, \theta_A] = [\gamma_{C2}, 90^\circ + \alpha_C, 0^\circ]$
 測定 4 : $[\gamma, \theta_p, \theta_A] = [\gamma_{C1}, 90^\circ - \alpha_C, 0^\circ]$

上式にこの値を代入して、

$$\begin{aligned} I_{C11} &= I_C(\alpha_C, \gamma_{C1}) \\ I_{C12} &= I_C(\alpha_C, \gamma_{C2}) \\ I_{C21} &= I_C(-\alpha_C, \gamma_{C1}) \\ I_{C22} &= I_C(-\alpha_C, \gamma_{C2}) \end{aligned}$$

をそれぞれ求め、その差分、和分をとると、これらは以下で与えられる。

【数 10】

$$\begin{aligned} DI_{C1} &= 2I_0 \sin(2\alpha_C) |r_{pp}| |r_{ps}| \cos(\delta_{pp} - \delta_{ps} + \gamma_{C1}) \\ DI_{C2} &= 2I_0 \sin(2\alpha_C) |r_{pp}| |r_{ps}| \cos(\delta_{pp} - \delta_{ps} + \gamma_{C2}) \\ SI_C &= 2I_0 \left(|r_{pp}|^2 \sin^2 \theta + |r_{ps}|^2 \cos^2 \theta \right) \end{aligned}$$

DI_{C1} : I_{C11} と I_{C21} の差

DI_{C2} : I_{C12} と I_{C22} の差

SI_C : I_{C11} と I_{C21} 、または、 I_{C12} と I_{C22} の和

【0025】

〔偏光状態 D〕

S 偏光を入射光として測定対象面で反射させたときに、反射光の P 偏光成分と S 偏光成分の偏光間位相差を γ_{D1} 及び γ_{D2} に調整した 2 種類の光に含まれる偏光のうち、P 偏光の振動方向に対して $\pm \alpha_D$ ($0 < \alpha_D < \pi/2$) の方向に振動する合計 4 種類の偏光の光強度は下式で表される。

【数 11】

$$I_D = |\mathbf{E}_{out}|^2 = I_0 \left\{ \mathbf{M}_R(-\theta_A) \cdot \mathbf{M}_A \cdot \mathbf{M}_R(\theta_A) \cdot \mathbf{Q}_\gamma \cdot \mathbf{M}_S \cdot \mathbf{M}_R(-\theta_p) \cdot \mathbf{M}_P \cdot \mathbf{M}_R(\theta_p) \cdot \mathbf{E}_{in} \right\}$$

また偏光の振れ角を θ とすると光強度 $I_D(\theta, \gamma)$ は次式で算出される。

【数 12】

$$I_D(\theta, \gamma) = I_0 \left\{ |r_{ps}|^2 \cos^2 \theta + |r_{ss}|^2 \sin^2 \theta + |r_{ps}| |r_{ss}| \sin(2\theta) \cos(\delta_{ps} - \delta_{ss} + \gamma) \right\}$$

偏光状態 D において、以下の各条件の下、光強度の測定が行われる。

- 測定 1 : $[\gamma, \theta_p, \theta_A] = [\gamma_{D1}, 90^\circ, 0^\circ + \alpha_D]$
 測定 2 : $[\gamma, \theta_p, \theta_A] = [\gamma_{D1}, 90^\circ, 0^\circ - \alpha_D]$
 測定 3 : $[\gamma, \theta_p, \theta_A] = [\gamma_{D2}, 90^\circ, 0^\circ + \alpha_D]$
 測定 4 : $[\gamma, \theta_p, \theta_A] = [\gamma_{D1}, 90^\circ, 0^\circ - \alpha_D]$

上式にこの値を代入して、

$$\begin{aligned} I_{D11} &= I_D(\alpha_D, \gamma_{D1}) \\ I_{D12} &= I_D(\alpha_D, \gamma_{D2}) \\ I_{D21} &= I_D(-\alpha_D, \gamma_{D1}) \end{aligned}$$

$$I_{D22} = I_D(-\alpha_D, \gamma_{D2})$$

をそれぞれ求め、その差分、和分をとると、これらは以下で与えられる。

【数 1 3】

$$DI_{D1} = 2I_0 \sin(2\alpha_D) |r_{ps}| |r_{ss}| \cos(\delta_{ps} - \delta_{ss} + \gamma_{D1})$$

$$DI_{D2} = 2I_0 \sin(2\alpha_D) |r_{ps}| |r_{ss}| \cos(\delta_{ps} - \delta_{ss} + \gamma_{D2})$$

$$SI_D = 2I_0 \left(|r_{ps}|^2 \cos^2 \theta + |r_{ss}|^2 \sin^2 \theta \right)$$

10

【0026】

偏光状態 A ～ D で測定した反射光強度の差同士の比及び、差と和の比を求めると以下の式が導かれる。

〔偏光状態 A〕

(1) 差の比

$$DI_{A1} / DI_{A2} = \cos(\Delta_{SP} + \gamma_{A1}) / \cos(\Delta_{SP} + \gamma_{A2})$$

(2) 差と和の比

$$DI_{A1} / SI_A = \sin(2\alpha_A) |R_{SP}| \cos(\Delta_{SP} + \gamma_{A1}) / \{ 2 (|R_{SP}|^2 \cos^2 \alpha_A + \sin^2 \alpha_A) \}$$

〔偏光状態 B〕

20

(1) 差の比

$$DI_{B1} / DI_{B2} = \cos(\Delta_{PP} - \Delta_{SP} + \gamma_{B1}) / \cos(\Delta_{PP} - \Delta_{SP} + \gamma_{B2})$$

(2) 差と和の比

$$DI_{B1} / SI_B = \sin(2\alpha_B) |R_{PP}| |R_{SP}| \cos(\Delta_{PP} - \Delta_{SP} + \gamma_{B1}) / \{ 2 (|R_{PP}|^2 \cos^2 \alpha_B + |R_{SP}|^2 \sin^2 \alpha_B) \}$$

〔偏光状態 C〕

(1) 差の比

$$DI_{C1} / DI_{C2} = \cos(\Delta_{PP} - \Delta_{PS} + \gamma_{C1}) / \cos(\Delta_{PP} - \Delta_{PS} + \gamma_{C2})$$

30

(2) 差と和の比

$$DI_{C1} / SI_C = \sin(2\alpha_C) |R_{PP}| |R_{PS}| \cos(\Delta_{PP} - \Delta_{PS} + \gamma_{C1}) / \{ 2 (|R_{PP}|^2 \cos^2 \alpha_C + |R_{PS}|^2 \sin^2 \alpha_C) \}$$

〔偏光状態 D〕

(1) 差の比

$$DI_{D1} / DI_{D2} = \cos(\Delta_{PS} + \gamma_{D1}) / \cos(\Delta_{PS} + \gamma_{D2})$$

(2) 差と和の比

$$DI_{D1} / SI_D = \sin(2\alpha_D) |R_{PS}| \cos(\Delta_{PS} + \gamma_{D1}) / \{ 2 (|R_{PS}|^2 \cos^2 \alpha_D + \sin^2 \alpha_D) \}$$

40

【0027】

上式中、光強度差データ DI_{A1} 、 DI_{A2} 、 DI_{B1} 、 DI_{B2} 、 DI_{C1} 、 DI_{C2} 、 DI_{D1} 、 DI_{D2} は測定された反射光強度から算出できる既知の値であり、偏光の振り角 $\alpha_A \sim \alpha_D$ や、位相補償子などにより付与される偏光間位相差 γ_{A1} 、 γ_{A2} 、 γ_{B1} 、 γ_{B2} 、 γ_{C1} 、 γ_{C2} 、 γ_{D1} 、 γ_{D2} も既知の設定値である。

そして、三つの複素振幅反射率比の位相差 Δ_{PP} 、 Δ_{SP} 、 Δ_{PS} と、三つの複素振幅反射率の大きさ $|R_{PP}|$ 、 $|R_{SP}|$ 、 $|R_{PS}|$ が未知数であるから、各値を代入することにより、これらの未知数を算出することができる。

50

【0028】

また、測定点に立てられた法線の回りから測定点に向かう入射光の測定方位を変化させながら反射光強度を測定すれば、反射光強度、光強度差データ、光強度和データの測定方位に対する変化を測定することができ、光強度差データの変化に基づいて配向方向を求めることができ、また、位相差 Δ_{PP} 、 Δ_{SP} 、 Δ_{PS} 及び複素振幅反射率比の大きさ $|R_{PP}|$ 、 $|R_{SP}|$ 、 $|R_{PS}|$ についても測定方位に対する変化を測定することができる。

この場合、複素振幅反射率比の位相差 Δ_{χ} 及び大きさ $|R_{\chi}|$ は、配向方位、光学軸の傾斜角、常光屈折率、異常光屈折率、配向層膜厚、配向層屈折率、無配向層膜厚の七つのパラメータの関数として表すことができるので、これら六つの値に基づき、コンピュータを用いてフィッティングを行う従来公知の手法により、前記七つの光学異方性パラメータを求めることができる。

【実施例】

【0029】

図1に示す光学異方性パラメータ測定装置1は、ステージ2に置かれたサンプルの表面（測定対象面）3上の測定点4に対して所定の偏光状態に偏光化された光を所定の測定方位から一定入射角度で照射する発光光学系10と、その反射光を所定の偏光状態に偏光化した光の光強度を検出する受光光学系20が、前記測定点4に立てられた法線5の回りに相対的に回転可能あるいは放射状に配されると共に、入射光の測定方位に応じた光強度に基づき光学異方性パラメータとなる複素振幅反射率比の位相差 Δ_{χ} （ χ は偏光状態）及び大きさ $|R_{\chi}|$ を算出するコンピュータ（演算装置）30を備えている。

なお、ステージ2の上方にはあおり量検出のためのオートコリメータ6が配され、ステージ2はあおり調整テーブル7、高さ調整テーブル8、回転テーブル9に取り付けられている。

【0030】

発光光学系10には、単色光を照射する光源11と、偏光方向の調整が可能な偏光子12と、位相調整が可能な発光側位相補償子13がこの順で介装されている。

本例では、光源11として発信波長532nmの半導体励起SHGレーザを用い、偏光子として消光比 10^{-6} のグラントムソンプリズムを用い、位相補償子13としてバビネソレイユ補償板を用いた。

【0031】

受光光学系20には、P偏光成分とS偏光成分の偏光間位相差の調整が可能な受光側位相補償子21と、偏光方向の調整が可能な検光子22と、検光子22を透過した偏光の光強度を測定する光センサ23がこの順で介装されている。

本例では、位相補償子21としてバビネソレイユ補償板を用い、検光子22として消光比 10^{-6} のグラントムソンプリズムを用い、光センサ23として光電子増倍管を用い、この光センサ23で検出された光強度がコンピュータ30に組み込まれたA-D変換器を用いてデジタルデータ化されて読み取られるようになっている。

【0032】

また、本例では、一对の発光光学系10及び受光光学系20で入射角の測定方位を連続的に変化させることができるように、サンプルを置くステージ2に対して相対的に回転可能に配され、具体的には、ステージ2が水平に回転駆動される回転テーブルで形成されている。

この場合、ステージ2を固定して、発光光学系10及び受光光学系20を回転可能に配する場合であってもよく、また、例えば複数対の発光光学系10及び受光光学系20を等角的に放射状に配する場合であっても良い。

さらに、複素振幅反射率比の位相差 Δ_{χ} 及び大きさ $|R_{\chi}|$ を特定の測定方位についてのみ測定する場合は、発光光学系10及び受光光学系20をステージ2に対して相対的に回転可能に配したり、放射状に複数対設けるなどの測定方位可変機構は必要ない。

【0033】

10

20

30

40

50

そして、ステージを回転させ入射光の測定方位を変化させながら、以下のA～Dの四つの偏光状態のうち少なくとも三つの偏光状態の各4種類ずつ合計12種類の反射光について測定方位－光強度データを測定する。

A：P偏光の振動方向に対して $\pm \alpha_A$ ($0 < \alpha_A < \pi/2$) の方向に振動する一対の偏光について、夫々のP偏光成分とS偏光成分の偏光間位相差を γ_{A1} 及び γ_{A2} に調整した合計4種類の偏光を入射光として測定対象面で反射させたときに、各反射光に含まれる合計4種類のS偏光。

B：P偏光を入射光として測定対象面で反射させたときに、反射光のP偏光成分とS偏光成分の偏光間位相差を γ_{B1} 及び γ_{B2} に調整した2種類の光に含まれる偏光のうち、S偏光の振動方向に対して $\pm \alpha_B$ ($0 < \alpha_B < \pi/2$) の方向に振動する合計4種類の偏光。

C：S偏光の振動方向に対して $\pm \alpha_C$ ($0 < \alpha_C < \pi/2$) の方向に振動する一対の偏光について、夫々のP偏光成分とS偏光成分の偏光間位相差を γ_{C1} 及び γ_{C2} に調整した合計4種類の偏光を入射光として測定対象面で反射させたときに、各反射光に含まれる合計4種類のP偏光。

D：S偏光を入射光として測定対象面で反射させたときに、反射光のP偏光成分とS偏光成分の偏光間位相差を γ_{D1} 及び γ_{D2} に調整した2種類の光に含まれる偏光のうち、P偏光の振動方向に対して $\pm \alpha_D$ ($0 < \alpha_D < \pi/2$) の方向に振動する合計4種類の偏光。

【0034】

コンピュータ30は、その入力側にステージ2を駆動する回転テーブル9の回転角センサ9s、光センサ23が接続され、出力側に、光源11、回転テーブル9の駆動機構9d、偏光子12の駆動機構12d、発光側位相補償子13の駆動機構13d、受光側位相補償子21の駆動機構21d、検光子22の駆動機構22dが接続されている。

これにより、偏光子12、発光側位相補償子13、受光側位相補償子21、検光子22を調整して、偏光状態A～Dに設定することができ、また、夫々の偏光状態A～Dにおいて光センサ23で光強度を検出すると同時に、その検出時点における入射光の測定方位が入力されるようになっている。

【0035】

そして、コンピュータ30では、予め設定したプログラムに従って、偏光状態ごとに位相の等しい反射光強度データ同士の二つの差から二つの測定方位－光強度差データを算出し、これら二つの光強度差データの比より入射光の測定方位に応じた複素振幅反射率比の位相差 Δ_χ を及び大きさ $|R_\chi|$ を算出する。

【0036】

図2及び図3はコンピュータによる処理手順を示すフローチャートである。

まず、ステップSTP1は初期設定を行う。

偏光状態A～Dのうちどの偏光状態で測定するか三つの偏光状態を設定すると共に、ここで設定した偏光状態に応じて、偏光子13により設定されるP偏光及びS偏光に対する振れ角 α_A 及び α_C と、検光子14により設定されるS偏光及びP偏光に対する振れ角 α_B 及び α_D を設定し、発光側位相補償子13及び受光側位相補償子21で設定される位相差を設定する。

本例では、偏光状態A～Cが設定され、偏光子13又は検光子による振れ角が

$$\alpha_A = \alpha_B = \alpha_C = \alpha_D = 10^\circ$$

に設定され、発光側位相補償子13及び受光側位相補償子21で付与される偏光間位相差が、

$$\gamma_{A1} = \gamma_{B1} = \gamma_{C1} = \gamma_{D1} = 0^\circ$$

$$\gamma_{A2} = \gamma_{B2} = \gamma_{C2} = \gamma_{D2} = 90^\circ$$

に設定される。

【0037】

ステップSTP2では所定のスタートスイッチが押されるまで待機し、押されたときに

ステップ S T P 3 で光源 1 1 及び光センサ 2 3 がオンされて、ステージ 2 上に載せられたサンプルについて光学異方性パラメータの測定を開始する。

まず、ステップ S T P 4 では、偏光状態 A が選択されているか否かが判断され、選択されているときはサブルーチン A の処理を行い、選択されていないときあるいはその処理が終了した時点でステップ S T P 5 に移行する。

ステップ S T P 5 では、偏光状態 B が選択されているか否かが判断され、選択されているときはサブルーチン B の処理を行い、選択されていないときあるいはその処理が終了した時点でステップ S T P 6 に移行する。

ステップ S T P 6 では、偏光状態 C が選択されているか否かが判断され、選択されているときはサブルーチン C の処理を行い、選択されていないときあるいはその処理が終了した時点でステップ S T P 7 に移行する。

ステップ S T P 7 では、偏光状態 D が選択されているか否かが判断され、選択されているときはサブルーチン D の処理を行い、選択されていないときあるいはその処理が終了した時点でステップ S T P 8 に移行する。

【 0 0 3 8 】

便宜上、偏光子及び検光子の角度は P 偏光方向を 0° 、S 偏光方向を 90° とし、偏光子 1 2 の角度 θ_p 、発光側位相補償子 1 3 により付与される偏光間位相差 λ_{in} 、受光側位相補償子 1 4 により付与される偏光間位相差 λ_{out} 、検光子 1 2 の角度 θ_A とする。

図 3 (a) に示すサブルーチン A のステップ S T P 1 1 では、各駆動機構 1 2 d、1 3 d、2 1 d、2 2 d を起動して、 $[\theta_p, \lambda_{in}, \lambda_{out}, \theta_A] = [0 + \alpha_A, 0, 0, 90]$ となるように発光光学系 1 0 及び受光光学系 2 0 を調整し、ステップ 1 2 でステージ 2 を 360° 回転させながら所定角度間隔ごとに光強度 I_{A11} を読み込む。

ステップ S T P 1 3 で、 $[\theta_p, \lambda_{in}, \lambda_{out}, \theta_A] = [0 - \alpha_A, 0, 0, 90]$ となるように発光光学系 1 0 及び受光光学系 2 0 を調整し、ステップ S T P 1 4 でステージ 2 を 360° 回転させながら所定角度間隔ごとに光強度 I_{A21} を読み込む。

ステップ S T P 1 5 で、 $[\theta_p, \lambda_{in}, \lambda_{out}, \theta_A] = [0 + \alpha_A, 90, 0, 90]$ となるように発光光学系 1 0 及び受光光学系 2 0 を調整し、ステップ S T P 1 6 でステージ 2 を 360° 回転させながら所定角度間隔ごとに光強度 I_{A12} を読み込む。

ステップ S T P 1 7 で、 $[\theta_p, \lambda_{in}, \lambda_{out}, \theta_A] = [0 - \alpha_A, 90, 0, 90]$ となるように発光光学系 1 0 及び受光光学系 2 0 を調整し、ステップ S T P 1 8 でステージ 2 を 360° 回転させながら所定角度間隔ごとに光強度 I_{A22} を読み込む。

【 0 0 3 9 】

以下同様に、図 3 (b) に示すサブルーチン B のステップ S T P 2 1 では、 $[\theta_p, \lambda_{in}, \lambda_{out}, \theta_A] = [0, 0, 0, 90 + \alpha_B]$ として、ステップ 2 2 で光強度 I_{B11} を読み込む。

ステップ S T P 2 3 で、 $[\theta_p, \lambda_{in}, \lambda_{out}, \theta_A] = [0, 0, 0, 90 - \alpha_B]$ として、ステップ S T P 2 4 で光強度 I_{B21} を読み込む。

ステップ S T P 2 5 で、 $[\theta_p, \lambda_{in}, \lambda_{out}, \theta_A] = [0, 0, 90, 90 + \alpha_B]$ として、ステップ S T P 2 6 で光強度 I_{B12} を読み込む。

ステップ S T P 2 7 で、 $[\theta_p, \lambda_{in}, \lambda_{out}, \theta_A] = [0, 90, 0, 90 - \alpha_B]$ として、ステップ S T P 2 8 で光強度 I_{B22} を読み込む。

【 0 0 4 0 】

図 3 (c) に示すサブルーチン C のステップ S T P 3 1 では、 $[\theta_p, \lambda_{in}, \lambda_{out}, \theta_A] = [90 + \alpha_C, 0, 0, 0]$ として、ステップ 2 2 で光強度 I_{C11} を読み込む。

ステップ S T P 2 3 では、 $[\theta_p, \lambda_{in}, \lambda_{out}, \theta_A] = [90 - \alpha_C, 0, 0, 0]$ として、ステップ S T P 2 3 で光強度 I_{C21} を読み込む。

ステップ S T P 2 5 では、 $[\theta_p, \lambda_{in}, \lambda_{out}, \theta_A] = [90 + \alpha_C, 90, 0, 0]$ として、ステップ S T P 2 6 で光強度 I_{C12} を読み込む。

ステップ S T P 2 7 では、 $[\theta_p, \lambda_{in}, \lambda_{out}, \theta_A] = [90 - \alpha_C, 90, 0, 0]$

0]] として、ステップ S T P 2 8 で光強度 I_{C22} を読み込む。

【0041】

図 3 (d) に示すサブルーチン D のステップ S T P 4 1 では、 $[\theta_P, \lambda_{in}, \lambda_{out}, \theta_A] = [0, 0, 0, 90 + \alpha_B]$ として、ステップ 4 2 で光強度 I_{D11} を読み込む。

ステップ S T P 4 3 では、 $[\theta_P, \lambda_{in}, \lambda_{out}, \theta_A] = [0 - \alpha_B, 0, 0, 90]$ として、ステップ S T P 4 4 で光強度 I_{D21} を読み込む。

ステップ S T P 4 5 では、 $[\theta_P, \lambda_{in}, \lambda_{out}, \theta_A] = [0 + \alpha_B, 90, 0, 90]$ として、ステップ S T P 4 6 で光強度 I_{D12} を読み込む。

ステップ S T P 4 7 では、 $[\theta_P, \lambda_{in}, \lambda_{out}, \theta_A] = [0 - \alpha_B, 90, 0, 90]$ として、ステップ S T P 4 8 で光強度 I_{D22} を読み込む。 10

【0042】

各サブルーチン A ~ D による測定が終了すると、ステップ S T P 8 に移行し、測定結果に基づき、複素振幅反射率比の位相差 Δ_χ を及び大きさ $|R_\chi|$ が算出される。

ステップ S T P 8 では各偏光状態 A ~ D で測定された光強度に基づき、偏光状態ごとに位相の等しい反射光強度データ同士の二つの差から二つの測定方位 - 光強度差データを算出し、位相の等しい反射光強度データの和を測定方位 - 光強度和データとして算出する。

図 4 (a) ~ (c) は、偏光状態 A における反射光強度差 $D I_{A1} = I_{A11} - I_{A21}$ 、反射光強度差 $D I_{A2} = I_{A12} - I_{A22}$ 、反射光強度和 $S I_A = I_{A11} + I_{A21}$ の測定結果である。 20

図 5 (a) ~ (c) は、偏光状態 B における反射光強度差 $D I_{B1} = I_{B11} - I_{B21}$ 、反射光強度差 $D I_{B2} = I_{B12} - I_{B22}$ 、反射光強度和 $S I_B = I_{B11} + I_{B21}$ の測定結果である。

図 6 (a) ~ (c) は、偏光状態 C における反射光強度差 $D I_{C1} = I_{C11} - I_{C21}$ 、反射光強度差 $D I_{C2} = I_{C12} - I_{C22}$ 、反射光強度和 $S I_C = I_{C11} + I_{C21}$ の測定結果である。

図 7 (a) ~ (c) は、偏光状態 D における反射光強度差 $D I_{D1} = I_{D11} - I_{D21}$ 、反射光強度差 $D I_{D2} = I_{D12} - I_{D22}$ 、反射光強度和 $S I_D = I_{D11} + I_{D21}$ の測定結果である。

そして、ステップ S T P 9 では、偏光状態ごとに二つの光強度差データの比が算出されると共に、光強度差データ的一方と光強度和データの比が算出される。 30

【0043】

次いで、ステップ S T P 10 では、複素振幅反射率比の位相差 Δ_{PP} 、 Δ_{SP} 、 Δ_{PS} 及び大きさ $|R_{PP}|$ 、 $|R_{SP}|$ 、 $|R_{PS}|$ が算出される。

このとき、光強度差データの比を表す理論式と、光強度差データ的一方と光強度和データの比を表す理論式は、ステップ S T P 1 で設定したパラメータより、次式に書き換えられる。

[偏光状態 A]

(1) 差の比

$$D I_{A1} / D I_{A2} = \cot(\Delta_{SP}) \quad 40$$

(2) 差と和の比

$$D I_{A1} / S I_A = \cos(\Delta_{SP}) / \{ \tan 10 / |R_{SP}| + |R_{SP}| / \tan 10 \}$$

$D I_{A1}$ 、 $D I_{A2}$ 、 $S I_A$ は測定値から算出できる既知の値であるので、これらの式から Δ_{SP} 及び $|R_{SP}|$ が算出される。

[偏光状態 B]

(1) 差の比

$$D I_{B1} / D I_{B2} = \cot(\Delta_{PP} - \Delta_{SP})$$

(2) 差と和の比

$$D I_{B1} / S I_B = \cos(\Delta_{PP} - \Delta_{SP}) / \{ |R_{SP}| \tan 10 / |R_{PP}| + |R_{PP}| / \tan 10 \} \quad 50$$

$D I_{B1}$ 、 $D I_{B2}$ 、 $S I_B$ は測定値から算出できる既知の値、 Δ_{SP} 及び $|R_{SP}|$ は偏光状態 A の測定結果により既知であるので、これらの式から Δ_{PP} 及び $|R_{PP}|$ が算出される。

[偏光状態 C]

(1) 差の比

$$D I_{C1} / D I_{C2} = \cot (\Delta_{PP} - \Delta_{PS})$$

(2) 差と和の比

$$D I_{C1} / S I_C = \cos (\Delta_{PP} - \Delta_{PS}) / \{ |R_{SP}| \tan 10^\circ / |R_{PP}| + |R_{PP}| / \tan 10^\circ \}$$

$D I_{C1}$ 、 $D I_{C2}$ 、 $S I_C$ は測定値から算出できる既知の値、 Δ_{PP} 及び $|R_{PP}|$ は偏光状態 B の測定結果により既知であるので、これらの式から Δ_{PS} 及び $|R_{PS}|$ が算出される。

10

[偏光状態 D]

(1) 差の比

$$D I_{D1} / D I_{D2} = \cot (\Delta_{PS})$$

(2) 差と和の比

$$D I_{D1} / S I_D = \cos (\Delta_{PS}) / \{ \tan 10^\circ / |R_{PS}| + |R_{PS}| / \tan 10^\circ \}$$

$D I_{D1}$ 、 $D I_{D2}$ 、 $S I_D$ は測定値から算出できる既知の値であるので、これらの式から Δ_{PS} 及び $|R_{PS}|$ が算出される。

20

【0044】

このように、偏光状態 A～D から、複素振幅反射率比の三種類の位相差 Δ_{PP} 、 Δ_{SP} 、 Δ_{PS} に関しこれらを未知数とする合計 4 種類の光強度差データの比の理論式が成り立つので、このうち三種類を用いることにより、位相差 Δ_{PP} 、 Δ_{SP} 、 Δ_{PS} を算出することができ、したがって、三種類の偏光状態について反射光強度を測定すれば足りる。

また同様に、偏光状態 A～D から、複素振幅反射率比の三種類の大きさ $|R_{PP}|$ 、 $|R_{SP}|$ 、 $|R_{PS}|$ に関しこれらを未知数とする合計 4 種類の光強度差データの比の理論式が成り立つので、このうち三種類を用いることにより、位相差 Δ_{PP} 、 Δ_{SP} 、 Δ_{PS} を算出することができ、したがって、三種類の偏光状態について反射光強度を測定すれば足りる。

30

【0045】

図 8 (a)～(c) が算出された複素振幅反射率比の位相差 Δ_{PP} 、 Δ_{SP} 、 Δ_{PS} 、図 9 (a)～(c) が算出された複素振幅反射率比の大きさ $|R_{PP}|$ 、 $|R_{SP}|$ 、 $|R_{PS}|$ を表すグラフである。

【0046】

また、このようにして算出された複素振幅反射率比の位相差 Δ_{PP} 、 Δ_{SP} 、 Δ_{PS} 及び大きさ $|R_{PP}|$ 、 $|R_{SP}|$ 、 $|R_{PS}|$ は、それぞれ、配向方位、光学軸の傾斜角、常光屈折率、異常光屈折率、配向層膜厚、配向層屈折率、無配向層膜厚の七つのパラメータの関数として表すことができるので、これら六つの値に基づき、コンピュータを用いてフィッティングを行う従来公知の手法により、前記七つの光学異方性パラメータを求めることができる。

40

【0047】

液晶配向膜をサンプルとして測定された複素振幅反射率比の位相差及び大きさに基づいて、Berreman の 4×4 行列を使い、上記パラメータをフィッティングにより求めたところ、配向方位 90.3° 、光学軸の傾斜角 24.6° 、常光屈折率 1.76、異常光屈折率 1.79、配向層膜厚 6.0 nm、配向層屈折率 1.77、無配向層膜厚 94.1 nm であり、一般のエリプソメトリによる測定結果と一致した。

【0048】

さらに、測定に際し、発光光学系 10 及び受光光学系 20 を調整しながらステージ 2 を合計 12 回転させる必要があるが、それでも合計測定時間は、20～30 秒前後であり、一般化エリプソメトリ法による測定に比して $1/10$ の時間の極めて短い時間で測定が可

50

能となり、工場の生産ラインの製品検査などに応用することが可能となった。

【0049】

なお、発光側及び受光側の位相補償子12、21にバビネソレイユ位相板を用いた場合について説明したが、これに限るものではなく、位相差固定の位相板を光路に対して進退可能に配した位相補償子を用いてもよい。

【産業上の利用可能性】

【0050】

本発明は、光学異方性を有する製品、特に、液晶配向膜の品質検査などに適用することができる。

【図面の簡単な説明】

10

【0051】

【図1】本発明に係る光学的異方性パラメータ測定装置の一例を示す説明図。

【図2】演算装置のメインルーチンの処理手順を示すフローチャート。

【図3】サブルーチンの処理手順を示すフローチャート。

【図4】偏光状態Aにおける光強度差データ、光強度和データを示すグラフ。

【図5】偏光状態Bにおける光強度差データ、光強度和データを示すグラフ。

【図6】偏光状態Cにおける光強度差データ、光強度和データを示すグラフ。

【図7】偏光状態Dにおける光強度差データ、光強度和データを示すグラフ。

【図8】算出された複素振幅反射率比の位相差を示すグラフ。

【図9】算出された複素振幅反射率比の大きさを示すグラフ。

20

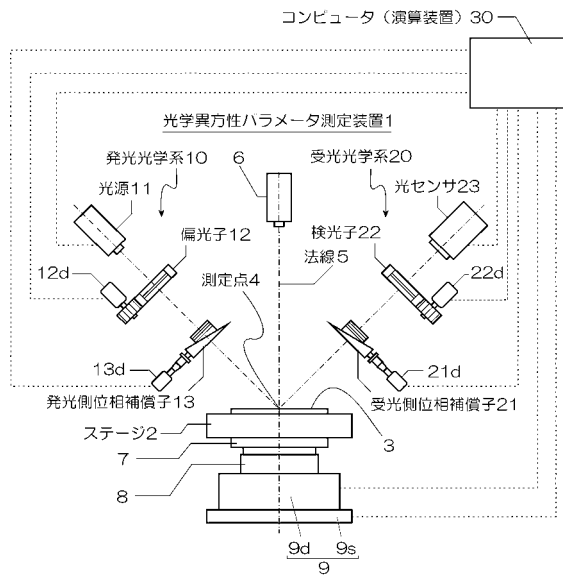
【符号の説明】

【0052】

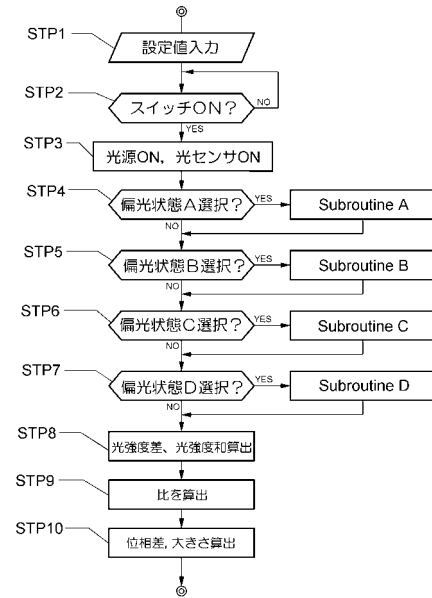
- 1 光学異方性パラメータ測定装置
- 2 ステージ
- 3 サンプルの表面（測定対象面）
- 4 測定点
- 5 法線
- 10 発光光学系
- 11 光源
- 12 偏光子
- 13 発光側位相補償子
- 20 受光光学系
- 21 受光側位相補償子
- 22 検光子
- 23 光センサ
- 30 コンピュータ（演算装置）

30

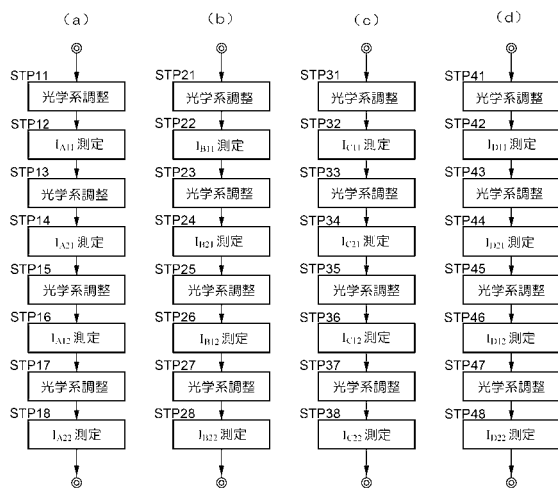
【図 1】



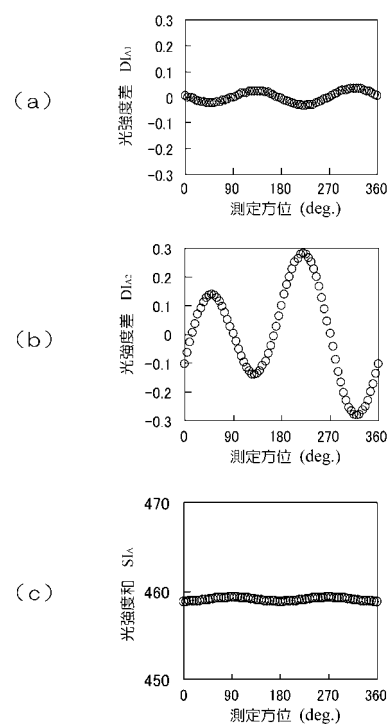
【図 2】



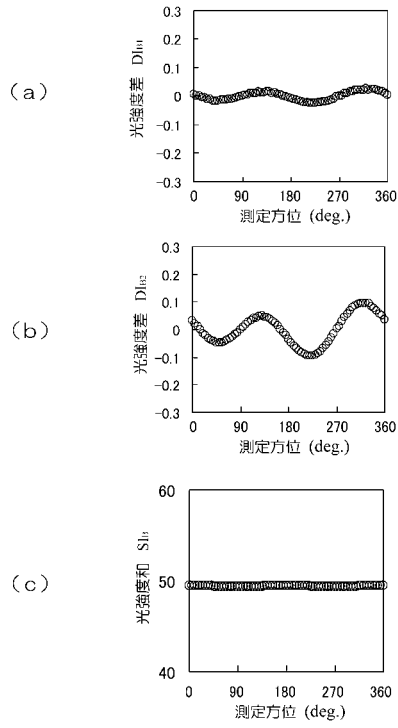
【図 3】



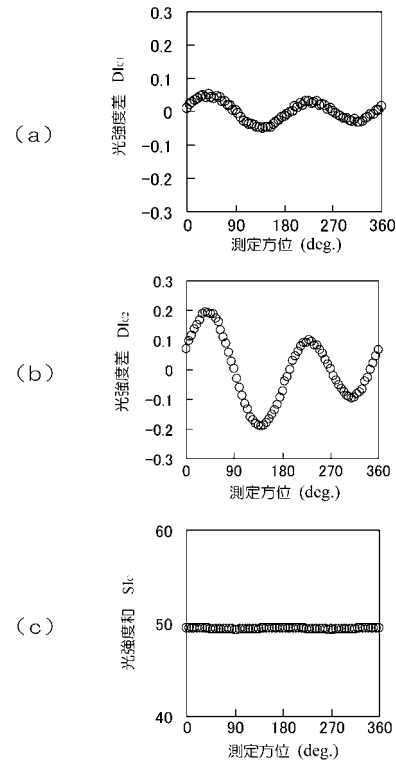
【図 4】



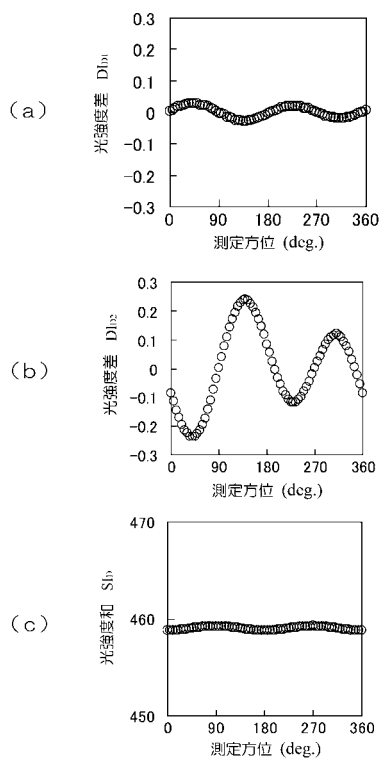
【図 5】



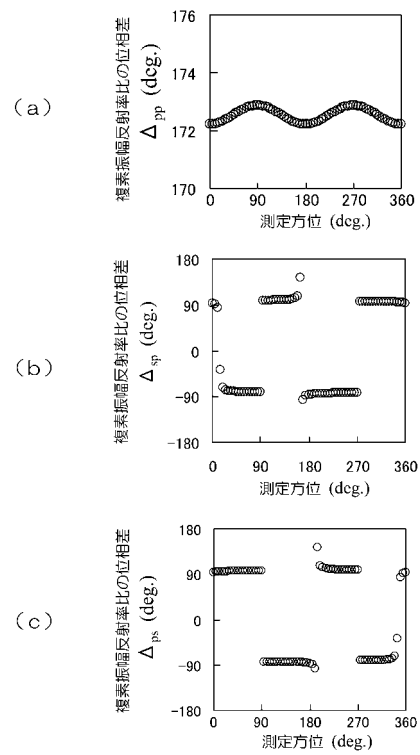
【図 6】



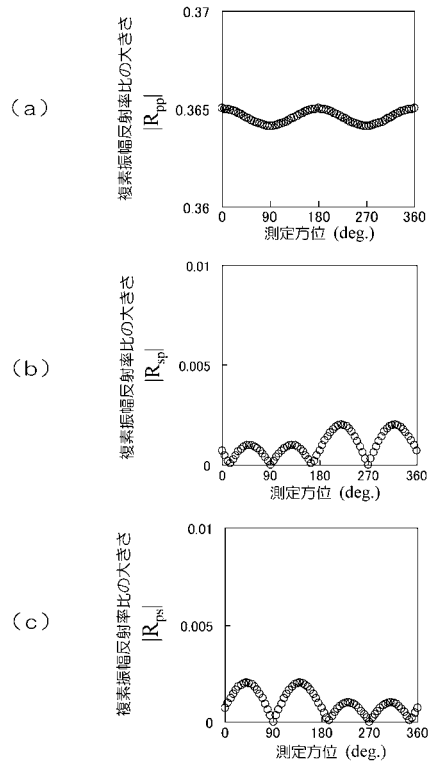
【図 7】



【図 8】



【図 9】



フロントページの続き

【要約の続き】

【選択図】図1