

(12) 特許協力条約に基づいて公開された国際出願

(19) 世界知的所有権機関
国際事務局

(43) 国際公開日
2018年3月8日(08.03.2018)



(10) 国際公開番号

WO 2018/043194 A1

(51) 国際特許分類:
G01N 21/41 (2006.01)

(21) 国際出願番号: PCT/JP2017/029871

(22) 国際出願日: 2017年8月22日(22.08.2017)

(25) 国際出願の言語: 日本語

(26) 国際公開の言語: 日本語

(30) 優先権データ:
特願 2016-166544 2016年8月29日(29.08.2016) JP

(71) 出願人: 国立大学法人 鹿児島大学(KAGOSHIMA UNIVERSITY) [JP/JP]; 〒8908580 鹿児島県鹿児島市郡元一丁目21番24号 Kagoshima (JP).

(72) 発明者: 肥後 盛秀(HIGO Morihide); 〒8908580 鹿児島県鹿児島市郡元一丁目21番24号 国立大学法人 鹿児島大学内 Kagoshima (JP). 満

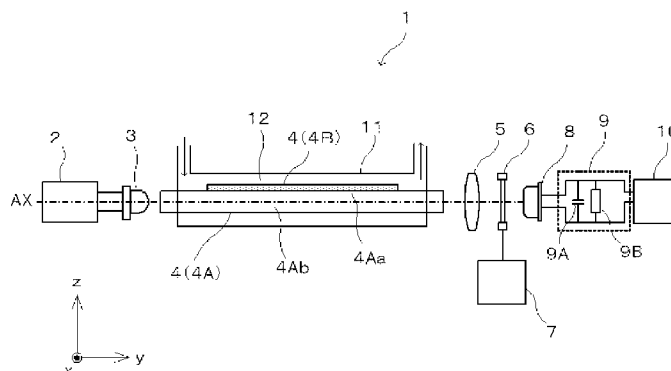
塩 勝(MITSUSHIO Masaru); 〒8908580 鹿児島県鹿児島市郡元一丁目21番24号 国立大学法人 鹿児島大学内 Kagoshima (JP).

(74) 代理人: 木村 満(KIMURA Mitsuru); 〒1010054 東京都千代田区神田錦町二丁目7番地 協販ビル2階 Tokyo (JP).

(81) 指定国(表示のない限り、全ての種類の国内保護が可能): AE, AG, AL, AM, AO, AT, AU, AZ, BA, BB, BG, BH, BN, BR, BW, BY, BZ, CA, CH, CL, CN, CO, CR, CU, CZ, DE, DJ, DK, DM, DO, DZ, EC, EE, EG, ES, FI, GB, GD, GE, GH, GM, GT, HN, HR, HU, ID, IL, IN, IR, IS, JO, JP, KE, KG, KH, KN, KP, KR, KW, KZ, LA, LC, LK, LR, LS, LU, LY, MA, MD, ME, MG, MK, MN, MW, MX, MY, MZ, NA, NG, NI, NO, NZ, OM, PA, PE, PG, PH, PL, PT, QA, RO, RS, RU, RW, SA, SC, SD, SE, SG, SK, SL,

(54) Title: REFRACTIVE INDEX MEASUREMENT DEVICE AND REFRACTIVE INDEX MEASUREMENT METHOD

(54) 発明の名称: 屈折率測定装置及び屈折率測定方法



(57) Abstract: In the present invention, an LED (3) emits light that includes a plurality of linearly-polarized-light components having different polarization directions. The light from the LED (3) enters one end of a waveguide member (4) having an elongated column shape, is totally reflected by side surfaces (4Aa, 4Ab) of the waveguide member (4) having metallic thin film (4B) that produces surface plasmon resonance partially formed thereon, and is then emitted from the other end. A polarizing plate (6) extracts a linearly-polarized-light component having a specific polarization direction from the light emitted by the waveguide member (4). A selection unit (7) selects the polarization direction of the linearly-polarized-light component extracted by the polarizing plate (6). A light-reception unit (8) detects the intensity of the linearly-polarized-light component of the light extracted by the polarizing plate (6). A measurement unit (10) measures the refractive index of a sample (12) on the basis of the light intensity detected by the light-reception unit (8). The waveguide member (4) has a plurality of planar side surfaces (4Aa, 4Ab) for which one of the plurality of linearly-polarized-light components included in the entering light is p-polarized and that each have different responses to p-polarized light.



SM, ST, SV, SY, TH, TJ, TM, TN, TR, TT, TZ, UA,
UG, US, UZ, VC, VN, ZA, ZM, ZW.

- (84) 指定国 (表示のない限り、全ての種類の広域保護が可能): ARIPO (BW, GH, GM, KE, LR, LS, MW, MZ, NA, RW, SD, SL, ST, SZ, TZ, UG, ZM, ZW), ユーラシア (AM, AZ, BY, KG, KZ, RU, TJ, TM), ヨーロッパ (AL, AT, BE, BG, CH, CY, CZ, DE, DK, EE, ES, FI, FR, GB, GR, HR, HU, IE, IS, IT, LT, LU, LV, MC, MK, MT, NL, NO, PL, PT, RO, RS, SE, SI, SK, SM, TR), OAPI (BF, BJ, CF, CG, CI, CM, GA, GN, GQ, GW, KM, ML, MR, NE, SN, TD, TG).

添付公開書類:

- 一 国際調査報告 (条約第21条(3))

(57) 要約: LED (3) は偏光方向が異なる複数の直線偏光成分を含む光を出射する。細長柱状の導波路部材 (4) はLED (3) からの光を一端から入射し、表面プラズモン共鳴現象を発生させる金属薄膜 (4 B) が一部に形成された側面 (4 A a, 4 A b) で全反射させた後、他端から出射する。偏光板 (6) は導波路部材 (4) から出射された光における特定の方向の直線偏光成分を抽出する。選択部 (7) は偏光板 (6) で抽出される光の直線偏光成分の偏光方向を選択する。受光部 (8) は偏光板 (6) で抽出された光の直線偏光成分の強度を検出する。測定部 (10) は、受光部 (8) で検出された光強度に基づいて、試料 (12) の屈折率を測定する。導波路部材 (4) には入射した光に含まれる複数の直線偏光成分のいずれかがP偏光となり、P偏光に対する応答がそれぞれ異なる平面状の複数の側面 (4 A a, 4 A b) が形成されている。

明 細 書

発明の名称：屈折率測定装置及び屈折率測定方法

技術分野

[0001] 本発明は、屈折率測定装置及び屈折率測定方法に関する。

背景技術

[0002] 表面プラズモン共鳴（SPR）現象とは、金属表面に存在する自由電子と光が相互作用を起こし、金属と接触している媒体の屈折率に応じて光の一部が吸収される現象である。このSPR現象を利用して、石英ガラス棒（光ファイバのコア）の側面に数十nmの厚さの金属薄膜を形成し、光ファイバの一端から入射し他端から出射した光の強度を測定することで、金属薄膜と接触している試料の屈折率を測定する（例えば、特許文献1乃至4参照）。

[0003] 特許文献1乃至4に開示された屈折率測定装置によれば、駆動機構を用いて入射角度を変化させて反射強度の変化を観測することなく、光ファイバのコアに入射され出射された光の強度を測定するだけで、試料の屈折率を測定することができる。

先行技術文献

特許文献

[0004] 特許文献1：特許第3991072号公報

特許文献2：特許第5013429号公報

特許文献3：特開2007-147585号公報

特許文献4：特開2005-49182号公報

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、金属薄膜が形成された光ファイバのコアに光を入射して屈折率を測定する光ファイバ型の測定装置では、光源における光強度の揺らぎや、光ファイバの側面からの光の漏れによる屈折率の測定精度の低下が懸念される。

[0006] また、このような屈折率測定装置では、一般に、金属薄膜として用いられる金属の種類や光の波長によって、測定可能な屈折率の範囲に制限がある。

[0007] さらに、試料が移動したり屈折率が変化する位置が変動したりするような場合には、屈折率を測定するのに加え、それらの位置情報を検出したいという要求もある。

[0008] 本発明は、上記実情に鑑みてなされたものであり、試料の屈折率の測定精度を向上するとともに測定範囲を広げることができるうえ、試料等の位置情報を検出することができる屈折率測定装置及び屈折率測定方法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

[0009] 上記目的を達成するために、本発明の第1の観点に係る屈折率測定装置は、

偏光方向が異なる複数の直線偏光成分を含む光を出射する投光部と、

前記投光部からの光を一端から入射し、表面プラズモン共鳴現象を発生させる金属薄膜が一部に形成された側面で全反射させた後、他端から出射する細長柱状の導波路部と、

前記導波路部から出射された光における特定の方向の直線偏光成分を抽出する偏光フィルタ部と、

前記偏光フィルタ部で抽出される光の直線偏光成分の偏光方向を選択する選択部と、

前記偏光フィルタ部で抽出された光の直線偏光成分の強度を検出する光強度検出部と、

前記光強度検出部で検出された光強度に基づいて、試料の屈折率を測定する測定部と、

を備え、

前記導波路部には、

入射した光に含まれる複数の直線偏光成分のいずれかがP偏光となり、P偏光に対する応答がそれぞれ異なる平面状の複数の側面が形成されている。

- [0010] この場合、前記導波路部は、
前記複数の側面として、金属薄膜が形成された第1の側面と、金属薄膜が形成されていない第2の側面を有しており、
前記測定部は、
前記第1の側面に対応するP偏光を前記選択部で選択したときに前記光強度検出部で検出された第1の光強度と、前記第2の側面に対応するP偏光を前記選択部で選択したときに前記光強度検出部で検出された第2の光強度とに基づいて、試料の屈折率を測定する、
こととしてもよい。
- [0011] 前記導波路部の前記複数の側面それぞれに形成された金属薄膜は、
側面毎に金属の種類又は膜厚が異なり、
前記測定部は、
複数の側面各々に対応するP偏光の光強度の測定結果に基づいて、試料の屈折率を測定する、
こととしてもよい。
- [0012] 前記導波路部では、
前記金属薄膜が形成された長手方向に関する位置が側面毎に異なり、
前記測定部は、
複数の側面各々に対応するP偏光の光強度の測定結果に基づいて、試料の屈折率を測定するとともに、試料の位置情報を検出する、
こととしてもよい。
- [0013] 前記導波路部では、
面積がそれぞれ異なる複数の金属薄膜が、長手方向に沿って形成されており、
前記測定部は、
複数の側面各々に対応するP偏光の光強度の測定結果に基づいて、試料の屈折率を測定するとともに、試料の位置情報を検出する、
こととしてもよい。

[0014] また、本発明の第2の観点に係る屈折率測定方法は、

細長柱状で、入射した光に含まれる複数の直線偏光成分のいずれかがP偏光となり、P偏光に対する応答がそれぞれ異なる平面状の複数の側面が設けられている導波路部材の一端から、偏光方向が異なる複数の直線偏光成分を含む投光部からの光を入射して、前記複数の側面で全反射させた後、前記導波路部材の他端から出射し、

前記導波路部材から出射された光における特定の方向の直線偏光成分を選択的に抽出しつつ、選択的に抽出された光の直線偏光成分の強度を検出し、

検出された光強度に基づいて、試料の屈折率を測定する。

発明の効果

[0015] 本発明によれば、1本の導波路部材だけで、表面プラズモン共鳴現象の発生に関連する状態がそれぞれ異なる側面で反射した光に基づく複数の測定結果を選択的に得ることができる。複数の測定結果には、側面の状態によって、外乱成分だけのものを含めたり、測定可能な屈折率の範囲が異なるものを含めたり、試料等の位置情報を検出可能な情報を含めたりすることができる。したがって、複数の側面各々での測定結果を組み合わせれば、試料の屈折率の測定精度を向上するとともに測定範囲を広げることができるうえ、試料等の位置情報を検出することができる。

図面の簡単な説明

[0016] [図1]本発明の実施の形態1に係る屈折率測定装置の全体構成を示す模式図である。

[図2]導波路部材の斜視図である。

[図3]屈折率の測定の動作の流れを示すフローチャートである。

[図4A]金属薄膜が形成された側面に対するP偏光の向きを示す図である。

[図4B]導波路部材の側面で光が反射する様子を示す図である。

[図4C]P偏光を測定する場合の偏光板の向きを示す図である。

[図5A]金属薄膜が形成された側面に対するS偏光の向きを示す図である。

[図5B]導波路部材の側面で光が反射する様子を示す図である。

[図5C] S 偏光の光強度の受光結果を測定する場合の偏光板の向きを示す図である。

[図6A] P 偏光の規格化透過光強度と試料の屈折率との関係を示すグラフである。

[図6B] S 偏光の規格化透過光強度と試料の屈折率との関係を示すグラフである。

[図7] 図 6 A の P 偏光の規格化透過光強度を図 6 B の S 偏光の規格化透過光強度で除算した規格化透過光強度と試料の屈折率との関係を示すグラフである。

[図8] 本発明の実施の形態 2 に係る屈折率測定装置の導波路部の構成を示す斜視図である。

[図9A] 金属（金）薄膜が形成された側面に対する P 偏光の向きを示す図である。

[図9B] 金属（金）薄膜が形成された側面で光が反射する様子を示す図である。

[図9C] 金属（金）薄膜が形成された側面に対する P 偏光を測定する場合の偏光板の向きを示す図である。

[図10A] 金属（アルミニウム）薄膜が形成された側面に対する P 偏光の向きを示す図である。

[図10B] 金属（アルミニウム）薄膜が形成された側面で光が反射する様子を示す図である。

[図10C] 金属（アルミニウム）薄膜が形成された側面に対する P 偏光を測定する場合の偏光板の向きを示す図である。

[図11A] 金薄膜で反射した P 偏光の規格化透過光強度と試料の屈折率との関係を示すグラフである。

[図11B] アルミニウム薄膜で反射した P 偏光の規格化透過光強度と試料の屈折率との関係を示すグラフである。

[図12] 本発明の実施の形態 3 に係る屈折率測定装置の導波路部の構成を示す

斜視図である。

[図13A]屈折率測定装置で測定可能な4つの状態を示す図（その1）である。

[図13B]屈折率測定装置で測定可能な4つの状態を示す図（その2）である。

[図13C]屈折率測定装置で測定可能な4つの状態を示す図（その3）である。

[図13D]屈折率測定装置で測定可能な4つの状態を示す図（その4）である。

[図14]屈折率測定装置で測定可能な4つの状態での測定結果（光強度の応答）を示すグラフである。

[図15]本発明の実施の形態4に係る屈折率測定装置の導波路部の構成を示す斜視図である。

[図16A]屈折率測定装置で測定可能な4つの状態を示す図（その1）である。

[図16B]屈折率測定装置で測定可能な4つの状態を示す図（その2）である。

[図16C]屈折率測定装置で測定可能な4つの状態を示す図（その3）である。

[図16D]屈折率測定装置で測定可能な4つの状態を示す図（その4）である。

[図17]本発明の実施の形態2に係る屈折率測定装置において同種で膜厚が異なる金属（銀）薄膜を用いた場合の規格化透過光強度と試料の屈折率との関係を示すグラフである。

[図18]本発明の実施の形態3に係る屈折率測定装置において濃度0～30%のエタノール水溶液をパイプラインに流したときの応答の変化を示すグラフである。

[図19]エタノール水溶液の濃度が20%から30%に変化したときの応答の変化を示すグラフである。

発明を実施するための形態

[0017] 以下、本発明の実施の形態について図面を参照して詳細に説明する。

[0018] 実施の形態1.

まず、本発明の実施の形態1について説明する。

[0019] 図1に示すように、本実施の形態に係る屈折率測定装置1は、電源2と、投光部としての発光ダイオード（LED; Light Emitting Diode）3と、導波路部材4と、レンズ5と、偏光フィルタ部としての偏光板6と、選択部7

と、光強度検出部としての受光部 8 と、受光回路 9 と、測定部 10 とを備える。

[0020] 電源 2 は、LED 3 に電流を供給する直流安定化電源である。LED 3 は、電源 2 から供給された電流により光を出射する。この光は、表面プラズモン共鳴現象を発生させることが可能な波長帯域の光であり、偏光方向が異なる直線偏光成分を含んでいる。

[0021] 導波路部材 4 は、光軸 AX の方向（y 軸方向）に細長い柱状の導光部材である。LED 3 は、導波路部材 4 の光軸 AX 上に配置されている。導波路部材 4 は、LED 3 からの光を一端（-y 側の端部）から入射する。入射した光は、表面プラズモン共鳴現象を発生させる金属薄膜 4B が一部に形成された側面で全反射しながら導波路部材 4 内を +y 方向に進む。最終的には、導波路部材 4 は、+y 側の他端から光を出射する。

[0022] レンズ 5 は、屈折光学系であり、導波路部材 4 の光軸 AX 上に配置されている。レンズ 5 は、導波路部材 4 から出射された光を集光して、偏光板 6 に入射させる。偏光板 6 は、導波路部材 4 の光軸 AX 上に配置されており、導波路部材 4 から出射された光における特定の方向の直線偏光成分を抽出する。選択部 7 は、駆動機構を用いて偏光板 6 を光軸 AX 回りで回転駆動することにより、偏光板 6 で抽出される光の直線偏光成分の偏光方向を選択する。選択部 7 は手動で操作されるものであってもよいし、自動で操作されるものであってもよい。

[0023] 受光部 8 は、導波路部材 4 の光軸 AX 上に配置されている。受光部 8 は、偏光板 6 を通過した光を受光し、偏光板 6 で抽出された光の直線偏光成分の光強度を検出する。受光部 8 は、この光強度に対応する電流を発生させる。受光部 8 で発生した電流は、コンデンサ 9A 及び抵抗 9B より成る受光回路 9 により電圧に変換されて測定部 10 に入力される。

[0024] パイプライン 11 は、導波路部材 4 の周囲に配置されている。パイプライン 11 には、試料 12 を含む液体（溶媒）が流れている。屈折率測定装置 1 は、この液体に含まれる試料 12 の屈折率を測定する。測定部 10 は、受光

部 8 で検出された光強度に対応する電圧値に基づいて、金属薄膜 4 B に接触した試料 1 2 の屈折率を測定する。

[0025] 導波路部材 4 についてより詳細に説明する。図 2 に示すように、導波路部材 4 は、光軸 A X の方向（y 軸方向）に延びる細長い矩形柱状のガラス棒 4 A を中心に構成されている。ガラス棒 4 A の屈折率は高いのが望ましいが、例えば 1.458 である。ガラス棒 4 A の +z 側の側面が、側面 4 A a（第 1 の側面）であり、+x 側の側面が、側面 4 A b（第 2 の側面）である。側面 4 A a には、真空蒸着法等を用いて、金属薄膜 4 B が形成されている。

[0026] このように、本実施の形態では、側面 4 A a では、金属薄膜 4 B が形成されており、側面 4 A b では、金属薄膜 4 B が形成されていない。すなわち、導波路部材 4 は、周方向で、表面プラズモン共鳴現象の発生状態が異なるように形成されている。言い換えると、導波路部材 4 には、入射した光に含まれる複数の直線偏光成分のいずれかが P 偏光となり、P 偏光に対する応答がそれぞれ異なる平面状の複数の側面 4 A a, 4 A b が設けられている。

[0027] 本実施の形態に係る屈折率の測定の動作の流れについて説明する。図 3 に示すように、まず、屈折率測定装置 1 は、偏光方向が異なる複数の直線偏光成分を含む LED 3 からの光を、導波路部材 4 の一端に入射し、表面プラズモン共鳴現象を発生させる金属薄膜 4 B が一部に形成された側面で全反射させた後、導波路部材 4 の他端から出射する（ステップ S 1）。続いて、屈折率測定装置 1 は、選択部 7 により偏光板 6 を駆動して、導波路部材 4 から出射された光における特定の方向の直線偏光成分を選択的に抽出しつつ、偏光板 6 で抽出された光の直線偏光成分の強度を検出する（ステップ S 2）。さらに、屈折率測定装置 1 は、受光部 8 で検出された光強度に基づいて、試料 1 2 の屈折率を測定する（ステップ S 3）。

[0028] ステップ S 2 における直線偏光成分の選択について説明する。図 4 A に示すように、導波路部材 4 に入射した光のうち、金属薄膜 4 B が形成された側面 4 A a の光の入射面に平行な直線偏光成分は、その側面 4 A a に対して P 偏光となる。図 4 B に示すように、P 偏光は、特定の入射角度で金属薄膜 4

Bに入射すると、表面プラズモン共鳴が発生し、反射光の強度が低下し、最終的に導波路部材4の他端から出射される光強度が低下する。この直線偏光成分の光を受光部8で受光するには、図4Cに示すように選択部7が偏光板6の向きをz軸方向とすればよい。

[0029] また、図5Aに示すように、導波路部材4に入射した光のうち、金属薄膜4Bが形成された側面4Aaの入射面に直交する直線偏光成分は、その側面4Aaに対してS偏光となる。S偏光は、特定の入射角度で金属薄膜4Bに入射しても、表面プラズモン共鳴現象が発生せず、反射光の強度が低下しない。したがって、導波路部材4の他端から出射されるS偏光は、表面プラズモン共鳴現象では低下しない。図5Bに示すように、S偏光は、ガラス棒4Aの側面4Abでも全反射しつつ、ガラス棒4A内を+y方向に進んで、導波路部材4の他端から出射される。この成分の光を受光部8で受光するには、図5Cに示すように選択部7が偏光板6の向きをx軸方向とすればよい。

[0030] 図6Aには、P偏光の規格化透過光強度と屈折率との関係が示されている。図6Aに示すように、P偏光の光強度は、試料12の屈折率に対して感度が大きく、大幅に変化する。ここでは、P偏光の光強度（規格化透過光強度）の応答曲線は、屈折率約1.380に最小値を有する曲線となった。

[0031] また、図6BにはS偏光の規格化透過光強度と屈折率との関係が示されている。図6Bに示すように、S偏光の光強度は、試料12の屈折率が大きくなるにつれて次第に低下している。光強度の低下は、ガラス棒4Aと試料12との屈折率差に起因する光の漏れが原因であり、試料12の屈折率が大きくなるにつれて、ガラス棒4Aの側面4Ab等からの光の漏れが大きくなっていることを示している。この光の漏れは、試料12の屈折率の検出精度の低下の要因の1つとなる。

[0032] そこで、測定部10は、ガラス棒4Aの側面4Aaの入射面に平行な直線偏光成分（P偏光）を選択部7で選択したときに受光部8で検出された光強度（図6A参照）と、ガラス棒4Aの側面4Abの入射面に直交する直線偏光成分（S偏光）を選択部7で選択したときに受光部8で検出された光強度

(図 6 B 参照) とに基づいて、試料 1 2 の屈折率を測定する。より具体的には、測定部 1 0 は、P 偏光の規格化透過光強度を、S 偏光の規格化透過光強度で除算し、その除算結果に基づいて、試料 1 2 の屈折率を求める。図 7 には、このような除算により求められた規格化透過光強度の屈折率特性が示されている。

[0033] 上述のように、本実施の形態に係る細長状の導波路部材 4 を用いた屈折率測定装置 1 は、金属薄膜 4 B が形成された平板状の側面 4 A a と、金属薄膜 4 B が形成されていない側面 4 A b とを有している。そして、測定部 1 0 は、金属薄膜 4 B が形成された側面 4 A a の P 偏光の光強度から S 偏光の光強度を除算して、透過光強度を補正して、試料 1 2 の屈折率を測定する。これにより、ガラス棒 4 A の側面 4 A b 等からの光の漏れの影響や、LED 3 から出射される光強度の揺らぎの影響を低減して、試料 1 2 の屈折率をより正確に測定することができる。

[0034] なお、導波路部材 4 について、ガラス棒 4 A としては、例えば一辺が 5 mm の正方形の断面を有するものを用いることができる。また、ガラス棒 4 A の長さを 150 mm とし、金属薄膜 4 B を金とし、その長さを 100 mm とすることができる。また、金属（金）薄膜 4 B の厚さは、例えば 45 nm とすることができる。金属（金）薄膜 4 B の厚さは、金属の種類に応じて適切な厚みとされる。さらに、LED 3 としては、実測波長が 654 nm の赤色発光ダイオードを用いることができる。

[0035] また、パイプライン 1 1 に流す溶液としては、エチレングレコールのメタノール溶液を用いることができる。この場合、試料 1 2 はエチレングリコールのメタノール溶液となる。エチレングリコールのメタノール溶液の屈折率と濃度とは相関関係があるため、エチレングリコールのメタノール溶液の屈折率がわかれば、溶液中のエチレングリコール濃度を求めることができる。

[0036] 実施の形態 2.

次に、本発明の実施の形態 2 について説明する。

[0037] 本実施の形態では、屈折率測定装置 1 の構成は、図 8 に示すように、導波

路部材 4 に代えて、導波路部材 1 4 を備えている点が、上記実施の形態 1 と異なる。具体的には、導波路部材 1 4 では、複数の側面 4 A a, 4 A b それぞれに金属薄膜が形成されている。さらに、側面 4 A a に形成される金属薄膜と、側面 4 A b に形成される金属薄膜とでは、金属の種類がそれぞれ異なっている。

[0038] 図 8 に示すように、導波路部材 1 4 では、ガラス棒 4 A の側面 4 A a に金属（金）薄膜 4 B が形成されており、ガラス棒の側面 4 A b に金属（アルミニウム）薄膜 4 C が形成されている。

[0039] 図 9 A に示すように、導波路部材 1 4 に入射した光のうち、金属（金）薄膜 4 B が形成された側面 4 A a の光の入射面に平行な直線偏光成分は、その側面 4 A a に対して P 偏光となる。図 9 B に示すように、この P 偏光は、特定の入射角度で金属（金）薄膜 4 B に入射すると、表面プラズモン共鳴が発生し、反射光の強度が低下する。この成分の光を受光部 8 で受光するには、図 9 C に示すように、選択部 7 が偏光板 6 の向きを z 軸方向とすればよい。

[0040] また、図 10 A に示すように、導波路部材 1 4 に入射した光のうち、金属（アルミニウム）薄膜 4 C が形成された側面 4 A b の光の入射面に平行な直線偏光成分は、その側面 4 A b に対して P 偏光となる。図 10 B に示すように、P 偏光は、特定の入射角度で金属（アルミニウム）薄膜 4 C に入射すると、表面プラズモン共鳴が発生し、反射光の強度が低下する。この成分の光を受光部 8 で受光するには、図 10 C に示すように、選択部 7 が偏光板 6 の向きを x 軸方向とすればよい。

[0041] 図 11 A には、金属（金）薄膜 4 B に対する P 偏光の規格化透過光強度と屈折率との関係が示されている。図 11 A に示すように、金属（金）薄膜 4 B に対する P 偏光の光強度は、試料 1 2 の屈折率で大幅に変化する。また、図 11 B には、金属（アルミニウム）薄膜 4 C に対する P 偏光の規格化透過光強度と屈折率との関係が示されている。図 11 B に示すように、金属（アルミニウム）薄膜 4 C に対する P 偏光の光強度は、試料 1 2 の屈折率が大きくなるにつれて次第に低下しており、極端に低下する部分は存在しない。

[0042] 図 1 1 A と図 1 1 B とを比較するとわかるように、金属（金）薄膜 4 B に対する P 偏光は、狭い範囲で屈折率に対する感度が高い。これに対して、金属（アルミニウム）薄膜 4 C に対する P 偏光では、試料 1 2 の屈折率に対する感度が金属（金）薄膜 4 B のそれに対して低いものの、屈折率の広い範囲で、光強度が変化している。

[0043] そこで、測定部 1 0 は、金属（アルミニウム）薄膜 4 C に対する P 偏光の光強度の測定結果に基づいて、試料 1 2 の屈折率の範囲を絞り、さらに、金属（金）薄膜 4 B に対する P 偏光の光強度の測定結果に基づいて、試料 1 2 の屈折率を詳細に測定する。このようにすれば、試料 1 2 の屈折率を広い測定範囲で、より正確に測定することが可能となる。

[0044] 本実施の形態では、側面 4 A a に形成される金属薄膜 4 B と、側面 4 A b に形成される金属薄膜 4 C とで、金属の種類（金／アルミニウム）を異なるものとした。しかしながら、側面 4 A a に形成される金属薄膜と、側面 4 A b に形成される金属薄膜とを、同じ種類の金属とし、その膜厚を異なるようにしてもよい。

[0045] 膜厚を変更する例として、2 mm 角のガラス棒 4 A の側面 4 A a に 30 nm の膜厚で 10 cm の長さの銀薄膜層（金属（金）薄膜 4 B の代わりに設けられる金属薄膜）を形成するとともに、側面 4 A b に 70 nm の膜厚で 10 cm の長さの銀薄膜層（金属（アルミニウム）薄膜 4 C の代わりに設けられる金属薄膜）を形成した。そして、受光部（フォトダイオード）8 前に設置した偏光板 6 で偏光を選択し、応答面を選択した。

[0046] この場合、70 nm の銀薄膜に対する P 偏光の受光結果では、図 1 7 に示すような曲線が得られ、屈折率 1.374 に最小値を有する結果が得られた。一方、S 偏光、すなわち 30 nm の銀薄膜に対する P 偏光では、図 1 7 に示すような曲線が得られ、屈折率 1.395 に最小値を有する結果が得られた。このように、同種の金属でも膜厚を変えることで応答を変えることができる。

[0047] 実施の形態 3.

次に、本発明の実施の形態3について説明する。

[0048] 本実施の形態では、図12に示すように、屈折率測定装置1の構成は、導波路部材4に代えて、導波路部材24を備えている点が、上記実施の形態1と異なる。具体的には、導波路部材24は、導波路部材4と同様に、複数の側面を有している。さらに、導波路部材24は、金属薄膜が形成された長手方向に関する位置が側面毎に異なっている。

[0049] 図12に示すように、導波路部材24では、ガラス棒4Aの側面4Aaの長手方向中心よりも $-y$ 側の部分に金属薄膜4B1が形成されており、ガラス棒4Aの側面4Abにおける長手方向中心よりも $+y$ 側の部分には金属薄膜4C1が形成されている。すなわち、導波路部材24では、金属薄膜4B1、4C1が、隣り合う2つの側面に位置をずらして真空蒸着により形成される。測定部10は、金属薄膜4B1に対するP偏光の光強度と、金属薄膜4C1に対するP偏光の光強度との測定を行う。このようにすれば、各測定結果の組み合わせで、試料12の屈折率に加え、試料12の位置情報を測定することができる。

[0050] 導波路部材24は、試料12を含む溶液（溶媒）で満たされているものとする。例えば、図13Aに示すように、金属薄膜4B1、4C1上に試料12がなく、溶媒だけ存在する状態を、状態Aとする。また、金属薄膜4B1の上に試料12が存在し、金属薄膜4C1の上には溶媒だけ存在する状態を、状態Bとする。また、金属薄膜4B1の上には溶媒だけ存在し、金属薄膜4C1の上には試料12が存在する状態を、状態Cとする。さらに、金属薄膜4B1、4C1の上に試料12が存在し、導波路部材24を覆った状態を、状態Dとする。

[0051] 図14には、状態A乃至Dでの金属薄膜4B1に対するP偏光の光強度の応答と、金属薄膜4C1に対するP偏光の光強度の応答とが示されている。図14に示すように、状態Aでは、金属薄膜4B1も、金属薄膜4C1についても応答（光強度の低下）がない。また、状態Bでは、金属薄膜4B1について応答が現れ、金属薄膜4C1については応答がない。また、状態Cで

は、金属薄膜4 B 1では応答がなく、金属薄膜4 C 1について応答が現れる。また、状態Dは、金属薄膜4 B 1及び金属薄膜4 C 1の両方に応答が現れる。

[0052] したがって、測定部1 0は、このような金属薄膜4 B 1に対するP偏光の光強度の応答測と、金属薄膜4 C 1に対するP偏光の光強度の応答とに基づいて、状態A～Dのうち、いずれの状態であるかを判定することにより、試料1 2の屈折率に加え、試料1 2の位置情報も検出することができる。

[0053] ここで、パイプライン1 1内に固定した2 mm角のガラス棒4 Aの側面4 A a, 4 A bに、3 cmの長さで厚さ4 5 nmの金属（金）薄膜4 B 1, 4 C 1を形成した。金属（金）薄膜4 B 1と金属（金）薄膜4 C 1との間は3 cmとした。そして、このガラス棒4 Aを用いて、受光部8の前に設置した偏光板6で偏光を選択しつつ、試料1 2として0～3 0%のエタノール水溶液を金属（金）薄膜4 B 1側からパイプライン1 1に流したときの応答の変化を測定した。

[0054] 図1 8では、この応答の変化が示されている。図1 8には、P偏光（金属（金）薄膜4 B 1に対するP偏光）の受光結果と、S偏光（金属（金）薄膜4 C 1に対するP偏光）の受光結果とが示されている。図1 8に示すように、P偏光及びS偏光ともに、エタノール水溶液の濃度が上がれば上がるほど、規格化透過光強度が低下している。

[0055] 図1 9では、2 0%から3 0%にエタノール溶液の濃度を変えた時間T（図1 8参照）における応答の変化を拡大して示している。図1 9に示すように、エタノールの濃度が2 0%から3 0%へ変化する間に、状態A（図1 3 A, 図1 4）から、状態B（図1 3 B, 図1 4）に遷移し、さらに状態D（図1 3 D, 図1 4）に遷移していることが示されている。

[0056] なお、本実施の形態では、2つの側面4 A a, 4 A bに形成する金属薄膜の金属を同じ種類（金）としたが、本発明はこれには限られず、側面毎に異なる金属を用いるようにしてもよい。また、側面毎に、金属薄膜の膜厚や長さを変えるようにしてもよい。

[0057] 実施の形態４．

次に、本発明の実施の形態４について説明する。

[0058] 本実施の形態では、図１５に示すように、屈折率測定装置１の構成は、導波路部材４に代えて、導波路部材３４を備えている点が、上記実施の形態１と異なる。具体的には、導波路部材３４では、面積がそれぞれ異なる複数の金属薄膜が、長手方向に沿って形成されている。

[0059] 屈折率が同一である試料１２に対する屈折率測定装置１の応答の変化量（規格化透過光強度の変化量）は、蒸着している金属の面積に比例すると考えられる。そこで、本実施の形態では、図１５に示すように、ガラス棒４Ａの側面４Ａａの長手方向に、複数の金属薄膜４Ｂ１，４Ｂ２，４Ｂ３を設け、金属薄膜４Ｂ１，４Ｂ２，４Ｂ３の蒸着面積に、１：２：４（面積比が２の乗数となる）というように差を付け、測定部１０で、応答（光強度）の変化量の比を取ることで試料１２の位置情報を検出する。なお、本実施の形態では、ガラス棒４Ａの側面４Ａｂの長手方向にも金属薄膜４Ｃ１，４Ｃ２，４Ｃ３が設けられている。金属薄膜４Ｃ１，４Ｃ２，４Ｃ３は、同じ面積で、蒸着により形成されている。金属薄膜４Ｂ１と金属薄膜４Ｃ１との面積比は４：２であり、金属薄膜４Ｂ２と金属薄膜４Ｃ２との面積比は８：２であり、金属薄膜４Ｂ３と金属薄膜４Ｃ３との面積比は１６：２である。

[0060] ここで、図１６Ａに示すように、金属薄膜４Ｂ１，４Ｃ１の周囲にのみ試料１２が存在している状態を、状態Ａとする。また、図１６Ｂに示すように、金属薄膜４Ｂ１，４Ｃ１の周囲及び金属薄膜４Ｂ２，４Ｃ２の周囲に試料１２が存在している状態を、状態Ｂとする。また、図１６Ｃに示すように、金属薄膜４Ｂ２，４Ｃ２の周囲及び金属薄膜４Ｂ３，４Ｃ３の周囲に試料１２が存在している状態を、状態Ｃとする。また、図１６Ｄに示すように、金属薄膜４Ｂ３，４Ｃ３の周囲にのみ試料１２が存在している状態を、状態Ｄとする。

[0061] 状態Ａの場合、側面４Ａａに対するＰ偏光の光強度と、側面４Ａｂに対するＰ偏光の光強度との変化量の比は、４：２（＝２：１）となる。また、状

態Bの場合、側面4 A aに対するP偏光の光強度と、側面4 A bに対するP偏光の光強度との変化量の比は、 $12 : 4 (= 3 : 1)$ となる。また、状態Cの場合、側面4 A aに対するP偏光の光強度と、側面4 A bに対するP偏光の光強度との変化量の比は、 $24 : 4 (= 6 : 1)$ となる。さらに、状態Dの場合、側面4 A aに対するP偏光の光強度と、側面4 A bに対するP偏光の光強度との変化量の比は、 $16 : 2 (= 8 : 1)$ となる。

[0062] このように、側面4 A aに対するP偏光の光強度と、側面4 A bに対するP偏光の光強度との変化量の比は、試料12の存在する位置によって一意に決まる。このため、測定部10は、側面4 A aに対するP偏光の光強度と、側面4 A bに対するP偏光の光強度との変化量の比に基づいて、試料12の位置情報を検出することができる。

[0063] また、測定部10は、側面4 A aに対するP偏光の光強度の変化量又は側面4 A bに対するP偏光の光強度の変化量を金属薄膜の面積で除算することで試料12の屈折率を検出することができる。従って、屈折率測定装置1を用いて、パイプライン11内の溶液の反応の追跡が可能となる。また、屈折率が温度でも変化することを利用して反応層中の異常反応（温度変化）の監視を行うことができる他、屈折率測定装置1を様々な用途に利用することができる。

[0064] 本実施の形態では、金属薄膜の面積を長手方向で変更したが、本発明はこれには限られない。例えば、金属薄膜の種類、膜厚等を長手方向で変更するようにしてもよい。

[0065] 以上詳細に説明したように、本実施の形態によれば、1本の導波路部材4だけで、表面プラズモン共鳴現象の発生に関連する状態がそれぞれ異なる側面4 A a, 4 A bで反射した光に基づく複数の測定結果を選択的に得ることができる。複数の測定結果には、側面4 A a, 4 A bの状態によって、外乱成分だけのものを含めたり、測定可能な屈折率の範囲が異なるものを含めたり、試料12等の位置情報を検出可能な情報を含めたりすることができる。したがって、複数の側面4 A a, 4 A b各々での測定結果を組み合わせれば

、試料 1 2 の屈折率の測定精度を向上するとともに測定範囲を広げることができるうえ、試料 1 2 等の位置情報を検出することができる。

[0066] なお、上記実施の形態では、導波路部材 4 の周方向で表面プラズモン共鳴現象の発生に関連する側面 4 A a, 4 A b の状態が異なる場合について説明したが、本発明はこれには限られない。導波路部材 4 の周方向には表面プラズモン共鳴現象の発生に関連する側面の状態が均一であり、導波路部材 4 の長手方向に P 偏光に対する応答が異なる金属薄膜が形成された導波路部材を採用するようにしてもよい。

[0067] 上記実施の形態では、金属薄膜の金属を、金又は銀あるいはアルミニウムとしたが、本発明はこれには限られない。金属薄膜の金属として銅を用いてもよい。ここで、金属は、その用途に応じて適切に用いられる必要がある。例えば、銅は、腐食しやすく、硫化銅を作りやすいので、硫化銅を作りやすい環境で用いるのは適切ではない。また、銀は、塩化銀をつくりやすいので、塩化銀を作りやすい環境で用いるのは適切ではない。アルミニウムは表面に薄いアルミナを形成しているが、酸やアルカリと反応して腐食するので、酸性やアルカリ性の環境で用いるのは適切ではない。金は化合物を作りにくいので、反応しやすい環境で用いる場合においても最適である。

[0068] また、金属薄膜は、異なる金属から成る薄膜を積層したものであってもよい。

[0069] また、上記実施の形態では、LED 3 として、例えば、赤色の発光ダイオードを用いた。しかしながら、表面プラズモン共鳴現象が発生するのであれば、より短波長又は長波長の光を発生させる LED を用いるようにしてもよい。

[0070] ここで、金属薄膜と光の波長との関係についてまとめる。このような関係が、金属薄膜の種類、光の波長を選択するうえで重要な要素となる。

(1) 金の場合

・赤色、赤外線発光ダイオードを用いた場合、広い膜厚の範囲で良好な応答が得られる。

- ・波長による最小値屈折率の変化が非常に大きい。この変化は、膜厚が厚い方が顕著になる。

- ・短波長の光では、表面プラズモン共鳴現象は得られにくい。

(2) 銀の場合

- ・金と比較して、応答が大きい。

- ・波長による最小値屈折率の変化が小さい。

- ・緑色LEDでも応答（表面プラズモン共鳴現象）が見られた。

(3) アルミニウムの場合

- ・金、銀と比較して、広い屈折率範囲でなだらかに透過光強度が変化する。すなわち透過光強度の感度が小さい。

- ・光強度の落ち込みと最小値の屈折率は、波長、膜厚が変わってもそれほど変化しない。

- ・短波長の光でも良好な応答を示す。

[0071] また、LED3の光を、長波長から短波長まで広い波長帯域を含む光としてもよい。金属の種類によって感度のある屈折率は異なってくるので、本発明のように、導波路部材4の複数の側面各々に、異なる金属の薄膜を形成し、様々な波長の光を入射可能としておけば、測定可能な屈折率の範囲を大幅に広げることが可能となる。

[0072] 多角形状のガラス棒は極めて製作し易く、使い捨ても可能である。このため、本発明は、測定精度を向上したり測定範囲を広げたりするのを容易にするだけでなく、コンタミネーションを防止するうえで好適である。

[0073] また、金属薄膜の上に直鎖の高分子から成るスペーサを設け、さらにその上にフッ素樹脂膜を選択膜として成膜するようにしてもよい。フッ素樹脂膜は分子サイズの穴が存在しており、揮発性物質を透過させる。例えば、日本酒等に含まれるアルコールを試料12とする場合、フッ素樹脂膜は、糖分や有機酸などを通さず、アルコール成分だけを金属薄膜上に通す。したがって、スペーサ、フッ素樹脂膜を設けることにより、アルコール濃度を正確に計測することができる。

- [0074] 試料 1 2 は、一般的には溶液（溶媒）中に含まれる成分となる。例えば、清酒、ワイン等の酒のアルコールなどを試料 1 2 とすることができる。また、エンジンオイル内に含まれるガソリンを試料 1 2 とすることも可能である。
- [0075] また、偏光板 6 の代わりに偏光ビームスプリッタを配置して、偏光ビームスプリッタで分割された光を別々の受光部 8 で受光してそれぞれの光強度を検出するようにしてもよい。このようにすれば、側面が異なる 2 つの光強度を同時に検出することが可能となる。また、偏光板 6 を回転させるなどの選択部 7 における駆動機構も不要となる。
- [0076] また、上記各実施の形態では、ガラス棒 4 A の断面を矩形（正方形）としたが、これには限られない。ガラス棒 4 A の断面形状は、長方形、菱形、台形であってもよい。また、ガラス棒 4 A の断面形状は、3 角形でもよいし、5 角形以上の多角形であってもよい。法線方向が異なる少なくとも 2 つの平板状の側面があればよいのであって、その他の側面は曲面であってもよい。
- [0077] なお、側面同士の法線方向が直交していない側面同士では、一方の光強度の測定結果に他方の光強度の測定結果の成分が混入する。この場合、測定部 1 0 は、両側面の成す角度での混入成分を算出し、一方の光強度の測定結果から算出した混入成分を差し引いて、差し引いた値を、真の光強度として算出するようにすればよい。
- [0078] また、金属薄膜が形成された側面に対向する側面に金属薄膜を形成するようにしてもよい。
- [0079] この発明は、この発明の広義の精神と範囲を逸脱することなく、様々な実施の形態及び変形が可能とされるものである。また、上述した実施の形態は、この発明を説明するためのものであり、この発明の範囲を限定するものではない。すなわち、この発明の範囲は、実施の形態ではなく、特許請求の範囲によって示される。そして、特許請求の範囲内及びそれと同等の発明の意義の範囲内で施される様々な変形が、この発明の範囲内とみなされる。
- [0080] なお、本願については、2016 年 8 月 29 日に出願された日本国特許出

願 2 0 1 6 - 1 6 6 5 4 4 号を基礎とする優先権を主張し、本明細書中に日本国特許出願 2 0 1 6 - 1 6 6 5 4 4 号の明細書、特許請求の範囲、図面全体を参照として取り込むものとする。

産業上の利用可能性

[0081] 本発明によれば、試料の屈折率の測定に利用することができる。例えば、焼酎の製造工程（蒸留、熟成、瓶詰め等）において、アルコール度数を測定する度数計に本発明を適用することができる。

符号の説明

[0082] 1 屈折率測定装置、2 電源、3 発光ダイオード（LED）、4 導波路部材、4 A ガラス棒、4 A a, 4 A b 側面、4 B, 4 B 1, 4 B 2, 4 B 3 金属（金）薄膜、4 C 金属（アルミニウム）薄膜、4 C 1, 4 C 2, 4 C 3 金属（金）薄膜、5 レンズ、6 偏光板、7 選択部、8 受光部、9 受光回路、9 A コンデンサ、9 B 抵抗、1 0 測定部、1 1 パイプライン、1 2 試料（測定対象）、1 4, 2 4, 3 4 導波路部材

請求の範囲

- [請求項1] 偏光方向が異なる複数の直線偏光成分を含む光を出射する投光部と、
- 、
- 前記投光部からの光を一端から入射し、表面プラズモン共鳴現象を発生させる金属薄膜が一部に形成された側面で全反射させた後、他端から出射する細長柱状の導波路部と、
- 前記導波路部から出射された光における特定の方向の直線偏光成分を抽出する偏光フィルタ部と、
- 前記偏光フィルタ部で抽出される光の直線偏光成分の偏光方向を選択する選択部と、
- 前記偏光フィルタ部で抽出された光の直線偏光成分の強度を検出する光強度検出部と、
- 前記光強度検出部で検出された光強度に基づいて、試料の屈折率を測定する測定部と、
- を備え、
- 前記導波路部には、
- 入射した光に含まれる複数の直線偏光成分のいずれかがP偏光となり、P偏光に対する応答がそれぞれ異なる平面状の複数の側面が形成されている、
- 屈折率測定装置。
- [請求項2] 前記導波路部は、
- 前記複数の側面として、金属薄膜が形成された第1の側面と、金属薄膜が形成されていない第2の側面を有しており、
- 前記測定部は、
- 前記第1の側面に対応するP偏光を前記選択部で選択したときに前記光強度検出部で検出された第1の光強度と、前記第2の側面に対応するP偏光を前記選択部で選択したときに前記光強度検出部で検出された第2の光強度とに基づいて、試料の屈折率を測定する、

請求項 1 に記載の屈折率測定装置。

[請求項3] 前記導波路部の前記複数の側面それぞれに形成された金属薄膜は、側面毎に金属の種類又は膜厚が異なり、
前記測定部は、
複数の側面各々に対応する P 偏光の光強度の測定結果に基づいて、
試料の屈折率を測定する、

請求項 1 に記載の屈折率測定装置。

[請求項4] 前記導波路部では、
前記金属薄膜が形成された長手方向に関する位置が側面毎に異なり、
前記測定部は、
複数の側面各々に対応する P 偏光の光強度の測定結果に基づいて、
試料の屈折率を測定するとともに、試料の位置情報を検出する、

請求項 1 に記載の屈折率測定装置。

[請求項5] 前記導波路部では、
面積がそれぞれ異なる複数の金属薄膜が、長手方向に沿って形成されており、
前記測定部は、
複数の側面各々に対応する P 偏光の光強度の測定結果に基づいて、
試料の屈折率を測定するとともに、試料の位置情報を検出する、

請求項 1 に記載の屈折率測定装置。

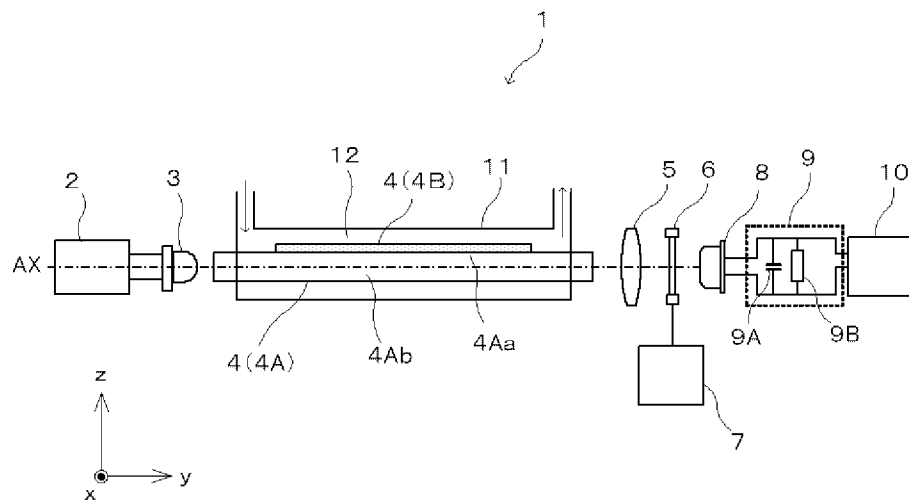
[請求項6] 細長柱状で、入射した光に含まれる複数の直線偏光成分のいずれかが P 偏光となり、P 偏光に対する応答がそれぞれ異なる平面状の複数の側面が設けられている導波路部材の一端から、偏光方向が異なる複数の直線偏光成分を含む投光部からの光を入射して、前記複数の側面で全反射させた後、前記導波路部材の他端から出射し、

前記導波路部から出射された光における特定の方向の直線偏光成分を選択的に抽出しつつ、選択的に抽出された光の直線偏光成分の強度

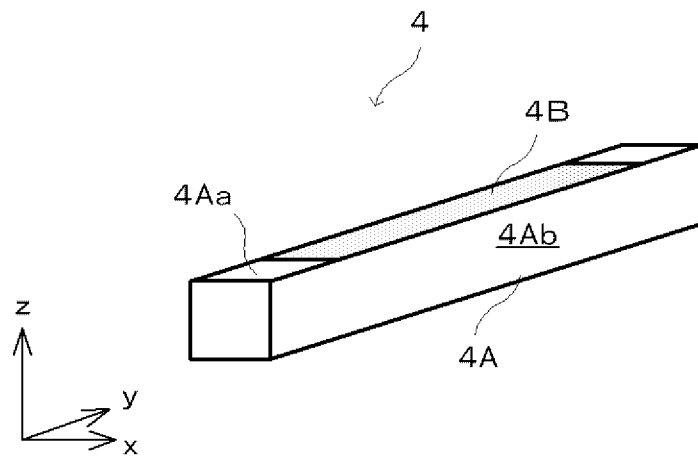
を検出し、

検出された光強度に基づいて、試料の屈折率を測定する、
屈折率測定方法。

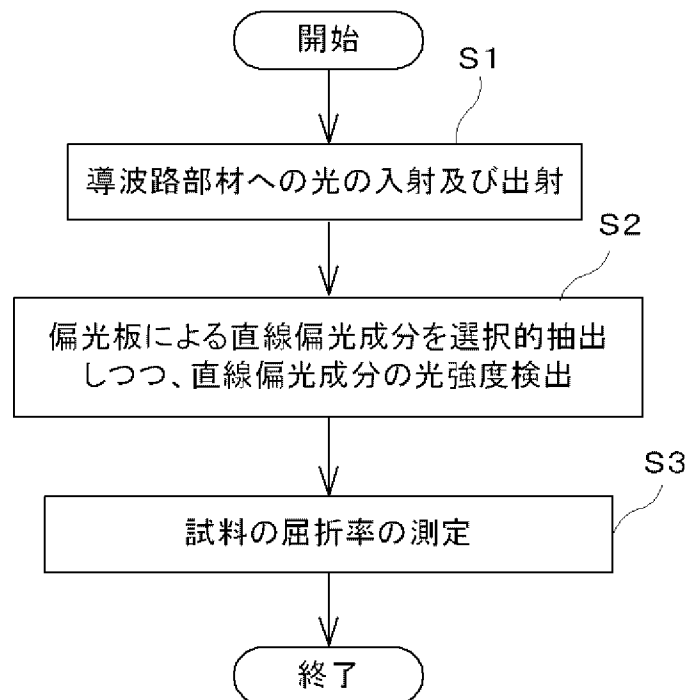
[図1]



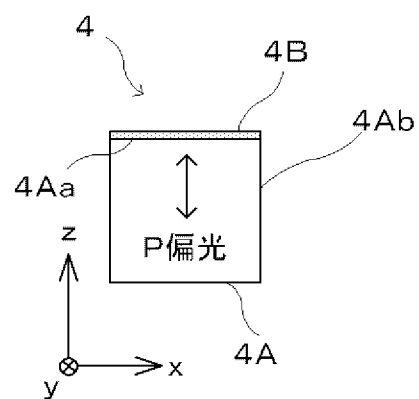
[図2]



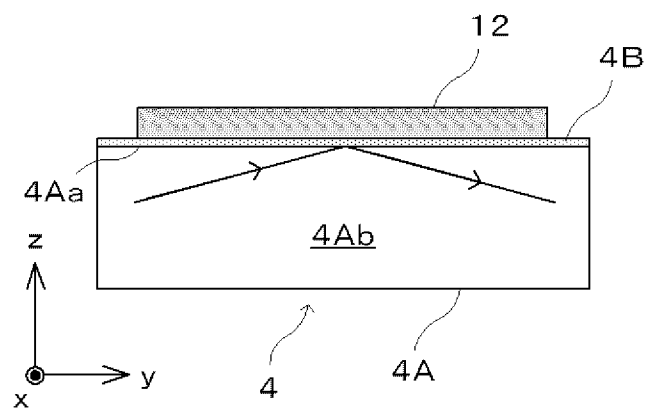
[図3]



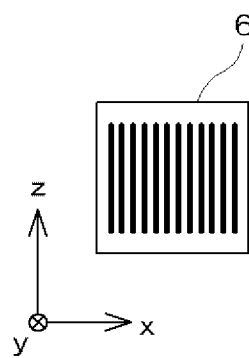
[図4A]



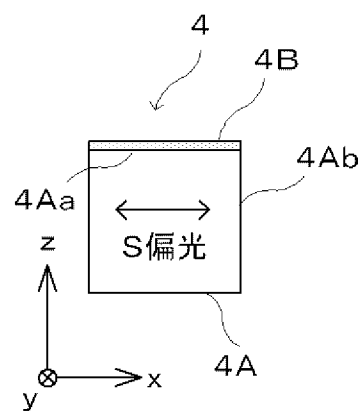
[図4B]



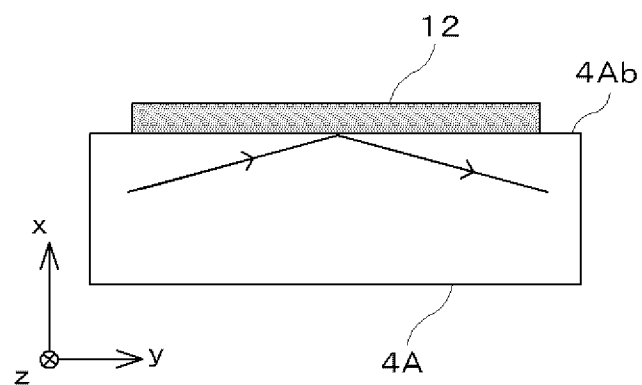
[図4C]



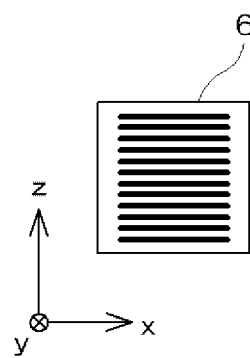
[図5A]



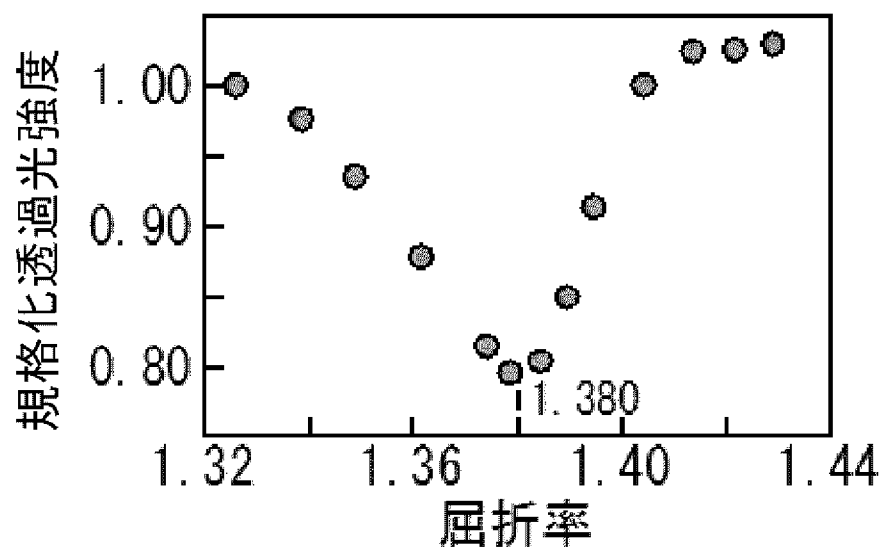
[図5B]



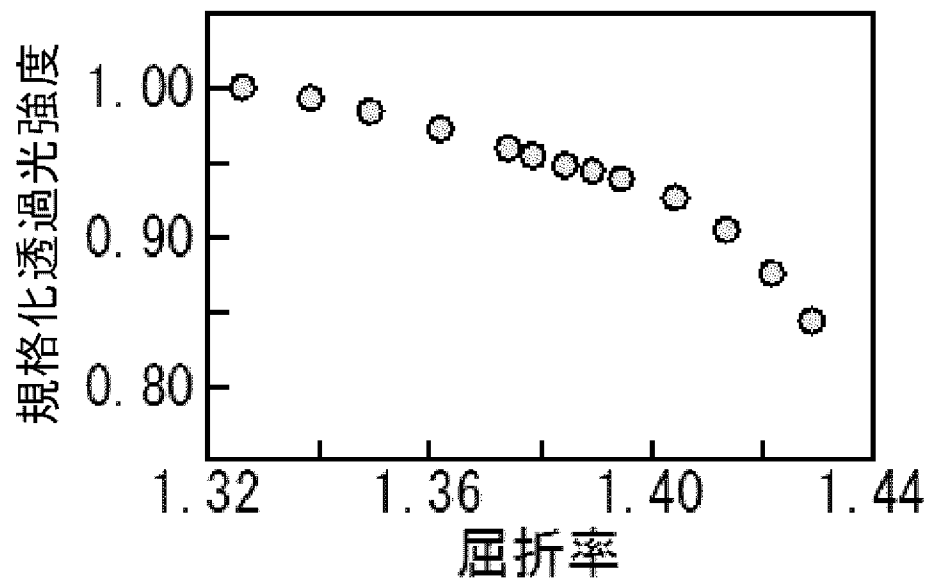
[図5C]



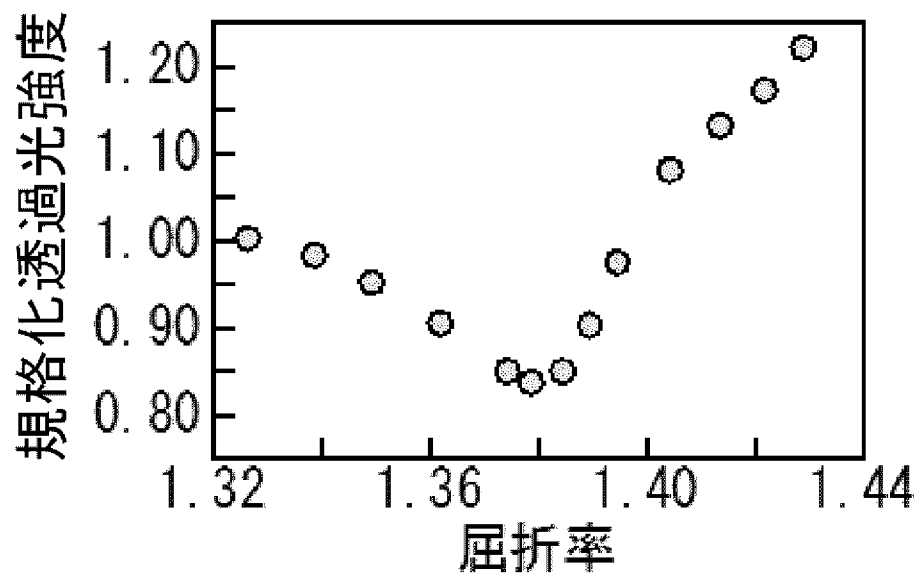
[図6A]



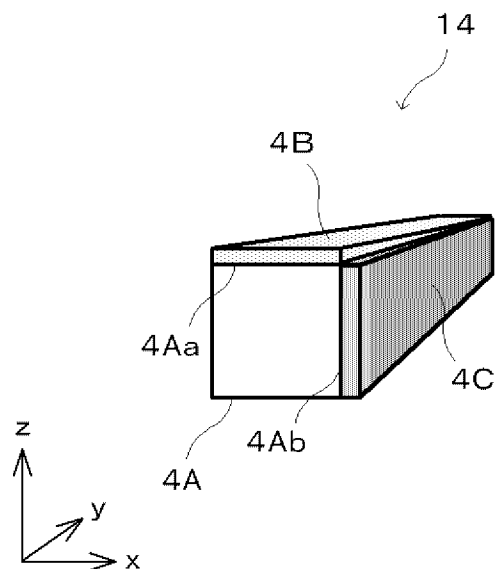
[図6B]



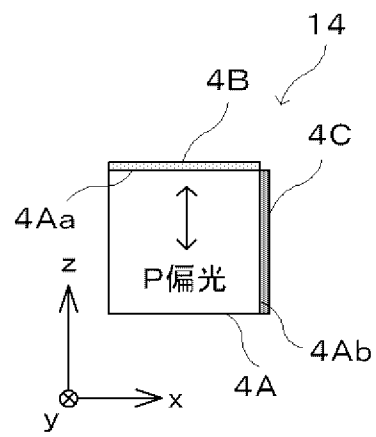
[図7]



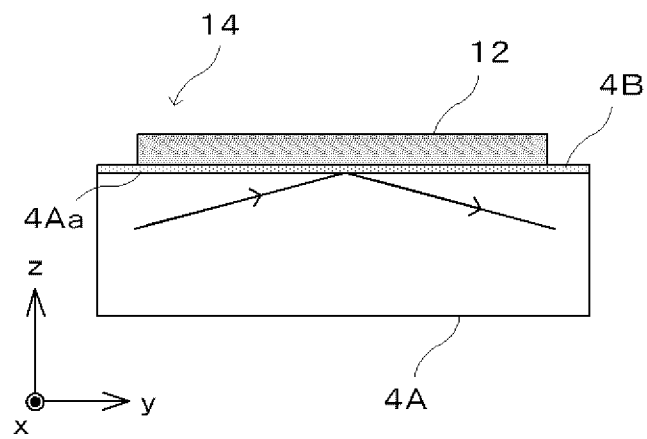
[図8]



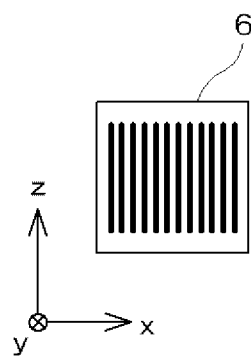
[図9A]



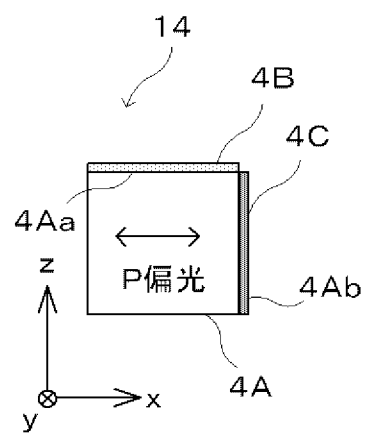
[図9B]



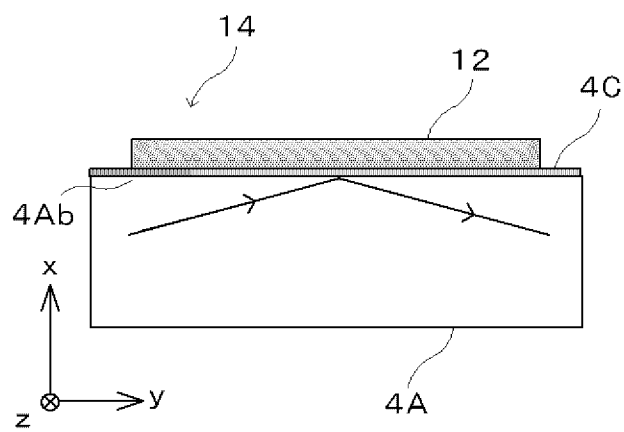
[図9C]



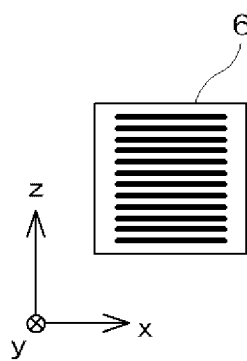
[図10A]



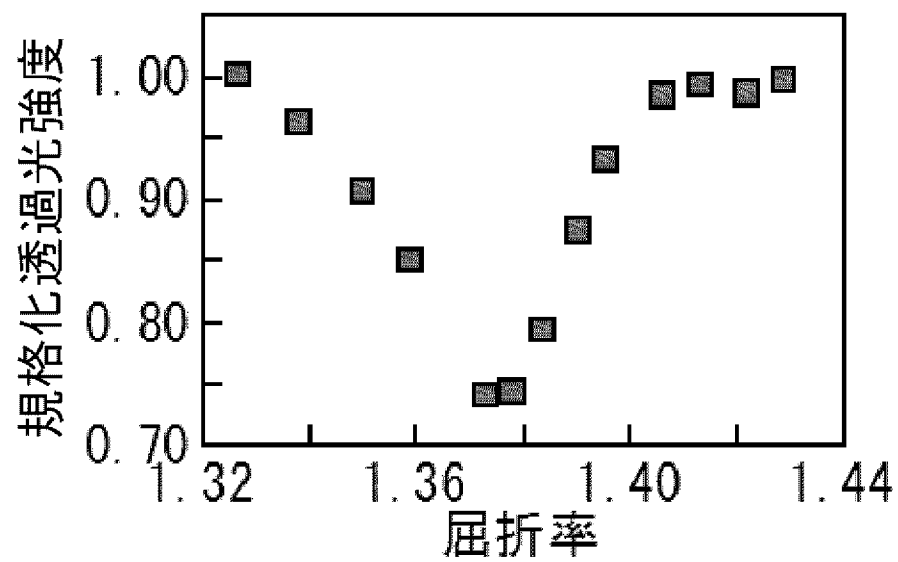
[図10B]



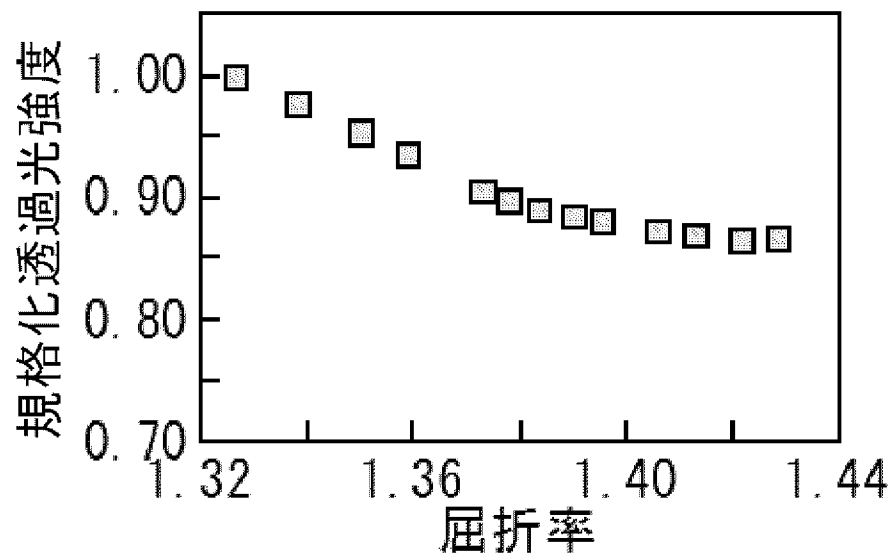
[図10C]



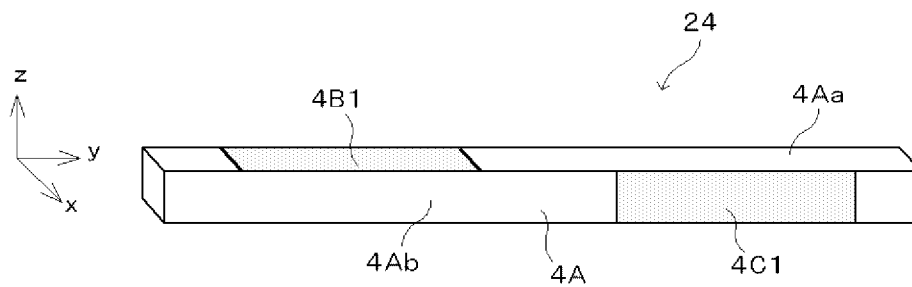
[図11A]



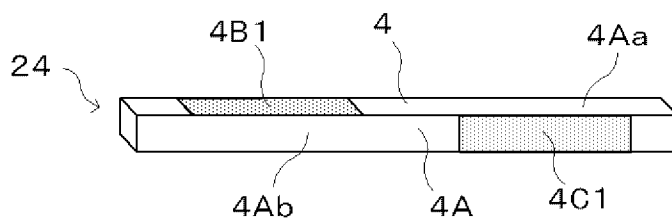
[図11B]



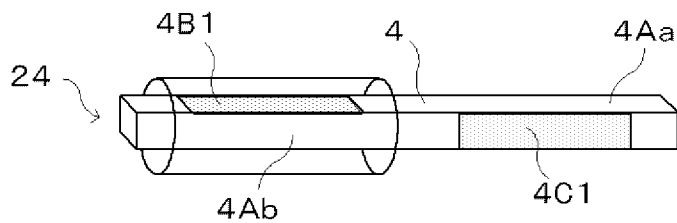
[図12]



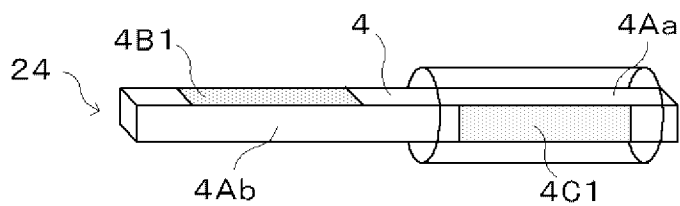
[図13A]



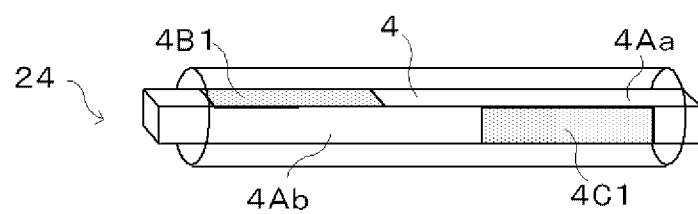
[図13B]



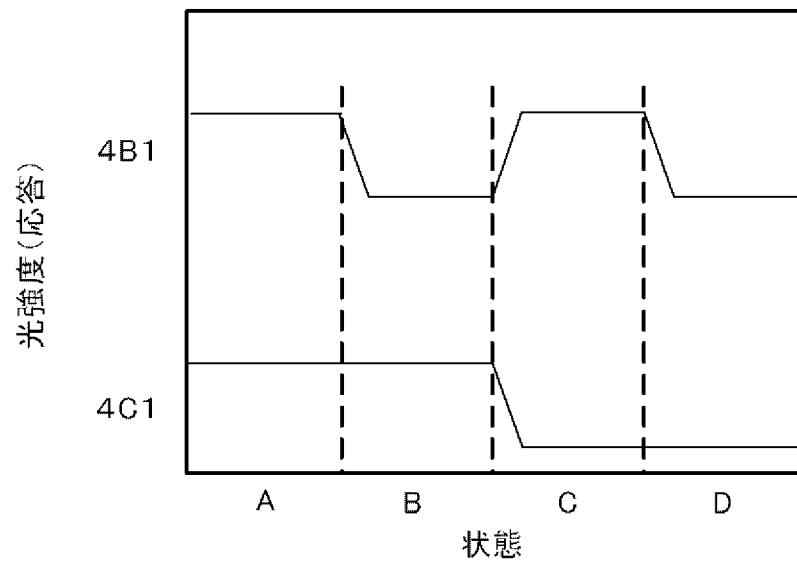
[図13C]



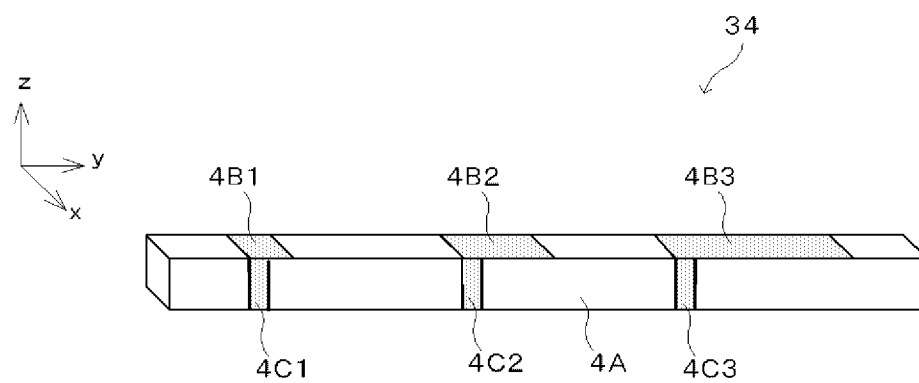
[図13D]



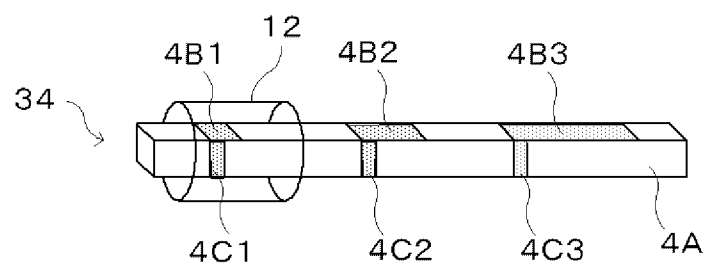
[図14]



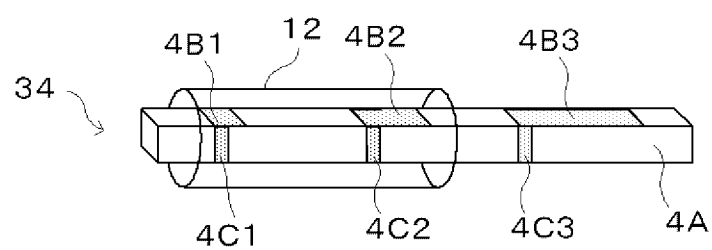
[図15]



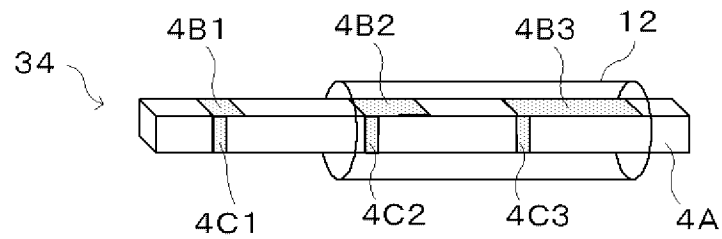
[図16A]



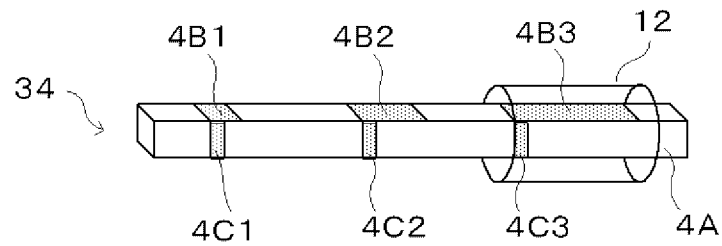
[図16B]



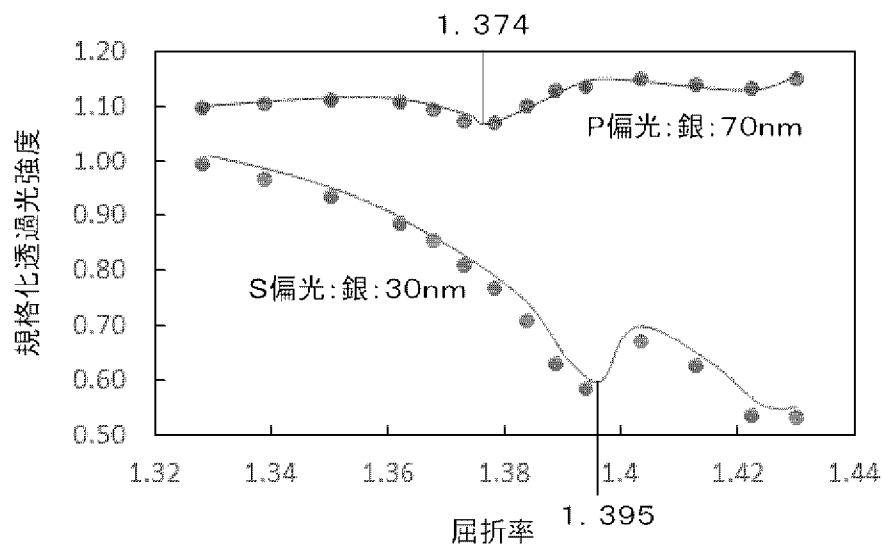
[図16C]



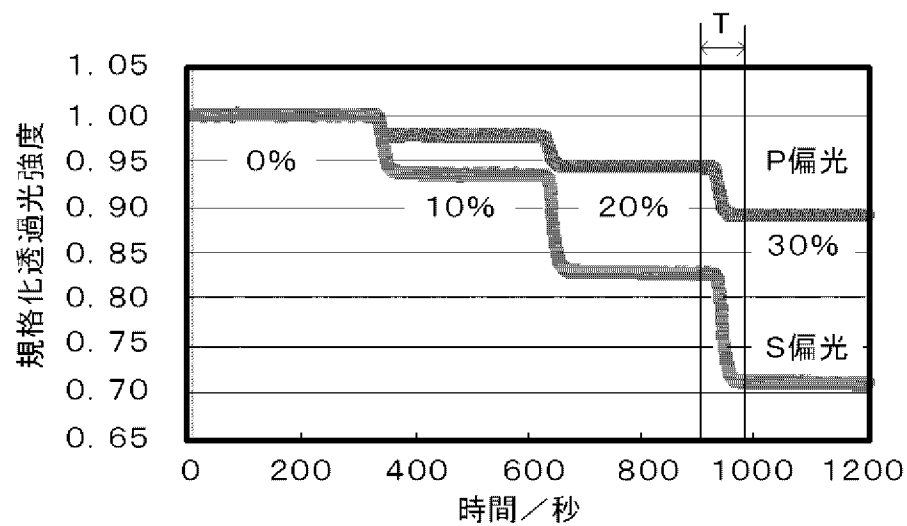
[図16D]



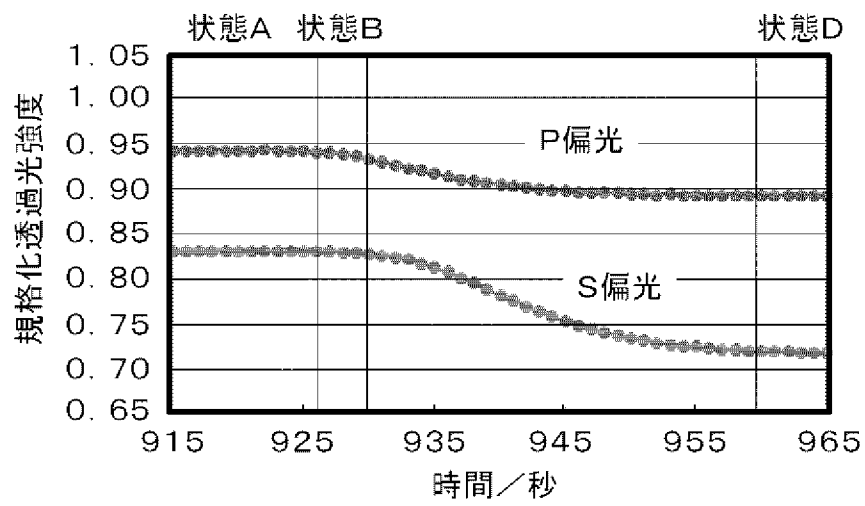
[図17]



[図18]



[図19]



INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.

PCT/JP2017/029871

A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER

G01N21/41(2006.01) i

According to International Patent Classification (IPC) or to both national classification and IPC

B. FIELDS SEARCHED

Minimum documentation searched (classification system followed by classification symbols)

G01N21/00-21/01, G01N21/17-21/61

Documentation searched other than minimum documentation to the extent that such documents are included in the fields searched

Jitsuyo Shinan Koho	1922-1996	Jitsuyo Shinan Toroku Koho	1996-2017
Kokai Jitsuyo Shinan Koho	1971-2017	Toroku Jitsuyo Shinan Koho	1994-2017

Electronic data base consulted during the international search (name of data base and, where practicable, search terms used)

JSTPlus/JMEDPlus/JST7580(JDreamIII), DWPI(Thomson Innovation), Scopus

C. DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
Y A	JP 2009-533696 A (Bioptix, LLC), 17 September 2009 (17.09.2009), paragraphs [0022] to [0038]; fig. 1 & US 7233396 B1 & CN 101449135 A & WO 2007/121406 A2 paragraphs [0027] to [0043]; fig. 1	1, 2, 6 3-5
Y A	JP 2003-57168 A (Omron Corp.), 26 February 2003 (26.02.2003), paragraphs [0055] to [0057]; fig. 12, 13 (Family: none)	1, 2, 6 3-5
Y A	JP 9-329542 A (Kao Corp.), 22 December 1997 (22.12.1997), paragraph [0037]; fig. 4 (Family: none)	1, 2, 6 3-5

☒ Further documents are listed in the continuation of Box C.

☐ See patent family annex.

* Special categories of cited documents:

"A" document defining the general state of the art which is not considered to be of particular relevance

"E" earlier application or patent but published on or after the international filing date

"L" document which may throw doubts on priority claim(s) or which is cited to establish the publication date of another citation or other special reason (as specified)

"O" document referring to an oral disclosure, use, exhibition or other means

"P" document published prior to the international filing date but later than the priority date claimed

"T" later document published after the international filing date or priority date and not in conflict with the application but cited to understand the principle or theory underlying the invention

"X" document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered novel or cannot be considered to involve an inventive step when the document is taken alone

"Y" document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered to involve an inventive step when the document is combined with one or more other such documents, such combination being obvious to a person skilled in the art

"&" document member of the same patent family

Date of the actual completion of the international search
02 November 2017 (02.11.17)

Date of mailing of the international search report
21 November 2017 (21.11.17)

Name and mailing address of the ISA/
Japan Patent Office
3-4-3, Kasumigaseki, Chiyoda-ku,
Tokyo 100-8915, Japan

Authorized officer

Telephone No.

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.

PCT/JP2017/029871

C (Continuation). DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
A	JP 2002-357538 A (Suzuki Motor Corp.), 13 December 2002 (13.12.2002), (Family: none)	1-6
A	JP 2005-321244 A (Shimadzu Corp.), 17 November 2005 (17.11.2005), (Family: none)	1-6
A	US 5485277 A (FOSTER, Mark W.), 16 January 1996 (16.01.1996), (Family: none)	1-6

A. 発明の属する分野の分類 (国際特許分類 (IPC))

Int.Cl. G01N21/41 (2006.01) i

B. 調査を行った分野

調査を行った最小限資料 (国際特許分類 (IPC))

Int.Cl. G01N21/00-21/01, G01N21/17-21/61

最小限資料以外の資料で調査を行った分野に含まれるもの

日本国実用新案公報	1922-1996年
日本国公開実用新案公報	1971-2017年
日本国実用新案登録公報	1996-2017年
日本国登録実用新案公報	1994-2017年

国際調査で使用した電子データベース (データベースの名称、調査に使用した用語)

JSTPlus/JMEDPlus/JST7580 (JDreamIII), DWPI (Thomson Innovation), Scopus

C. 関連すると認められる文献

引用文献の カテゴリー*	引用文献名 及び一部の箇所が関連するときは、その関連する箇所の表示	関連する 請求項の番号
Y A	JP 2009-533696 A (バイオプティックス, エルエルシー) 2009.09.17, [0022] - [0038], 第1図 & US 7233396 B1 & CN 101449135 A & WO 2007/121406 A2, [0027]-[0043], Fig. 1	1, 2, 6 3-5
Y A	JP 2003-57168 A (オムロン株式会社) 2003.02.26, [0055] - [0057], 第12, 13図 (ファミリーなし)	1, 2, 6 3-5

C欄の続きにも文献が列挙されている。

パテントファミリーに関する別紙を参照。

* 引用文献のカテゴリー

「A」 特に関連のある文献ではなく、一般的技術水準を示すもの

「E」 国際出願日前の出願または特許であるが、国際出願日以後に公表されたもの

「L」 優先権主張に疑義を提起する文献又は他の文献の発行日若しくは他の特別な理由を確立するために引用する文献 (理由を付す)

「O」 口頭による開示、使用、展示等に言及する文献

「P」 国際出願日前で、かつ優先権の主張の基礎となる出願

の日の後に公表された文献

「T」 国際出願日又は優先日後に公表された文献であって出願と矛盾するものではなく、発明の原理又は理論の理解のために引用するもの

「X」 特に関連のある文献であって、当該文献のみで発明の新規性又は進歩性がないと考えられるもの

「Y」 特に関連のある文献であって、当該文献と他の1以上の文献との、当業者にとって自明である組合せによって進歩性がないと考えられるもの

「&」 同一パテントファミリー文献

国際調査を完了した日

02.11.2017

国際調査報告の発送日

21.11.2017

国際調査機関の名称及びあて先

日本国特許庁 (ISA/J P)

郵便番号 100-8915

東京都千代田区霞が関三丁目4番3号

特許庁審査官 (権限のある職員)

小野寺 麻美子

2W

9505

電話番号 03-3581-1101 内線 3258

C (続き) . 関連すると認められる文献		
引用文献の カテゴリー*	引用文献名 及び一部の箇所が関連するときは、その関連する箇所の表示	関連する 請求項の番号
Y A	JP 9-329542 A (花王株式会社) 1997. 12. 22, [0 0 3 7], 第 4 図 (ファミリーなし)	1, 2, 6 3-5
A	JP 2002-357538 A (スズキ株式会社) 2002. 12. 13, (ファミリーなし)	1-6
A	JP 2005-321244 A (株式会社島津製作所) 2005. 11. 17, (ファミリーなし)	1-6
A	US 5485277 A (FOSTER, Mark W.) 1996. 01. 16, (ファミリーなし)	1-6