

(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2015-105850  
(P2015-105850A)

(43) 公開日 平成27年6月8日(2015.6.8)

(51) Int.Cl.		F I		テーマコード (参考)
<b>GO 1 N 21/41</b>	<b>(2006.01)</b>	GO 1 N	21/41	A 2G059
GO 1 M 11/02	(2006.01)	GO 1 M	11/02	B 2G086

審査請求 未請求 請求項の数 15 O L (全 17 頁)

(21) 出願番号	特願2013-247130 (P2013-247130)	(71) 出願人	000001007
(22) 出願日	平成25年11月29日 (2013.11.29)		キヤノン株式会社
			東京都大田区下丸子3丁目30番2号
		(74) 代理人	100126240
			弁理士 阿部 琢磨
		(74) 代理人	100124442
			弁理士 黒岩 創吾
		(72) 発明者	杉本 智洋
			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
		Fターム(参考)	2G059 AA02 BB08 DD15 EE01 EE09 EE12 GG01 GG02 JJ13 JJ22 MM01 NN02 2G086 HH07

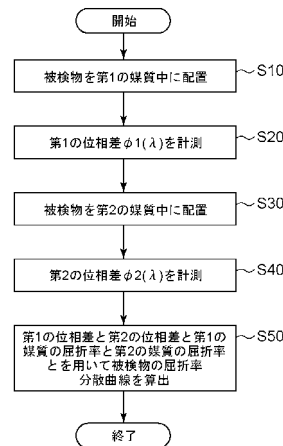
(54) 【発明の名称】 屈折率計測方法、屈折率計測装置および光学素子の製造方法

(57) 【要約】

【課題】 被検物の屈折率を高精度に計測すること。

【解決手段】 光源10からの光を被検光と参照光に分割し、被検物80を透過した被検光と参照光を干渉させて、被検光と参照光の位相差を計測することによって被検物80の屈折率を計測する。第1の媒質中に被検物80を配置して第1の位相差を計測し、第1の媒質の屈折率とは異なる屈折率を有する第2の媒質中に被検物80を配置して第2の位相差を計測する。第1の位相差と第2の位相差と第1の媒質の屈折率と第2の媒質の屈折率とを用いて、被検物80の屈折率を算出する。

【選択図】 図2



**【特許請求の範囲】****【請求項 1】**

光源からの光を被検光と参照光に分割し、被検光を被検物に入射させ、前記被検物を透過した被検光と参照光を干渉させて、前記被検光と前記参照光の位相差を計測することによって前記被検物の屈折率を計測する屈折率計測方法であって、

第 1 の媒質中に配置された前記被検物を透過した被検光と参照光の位相差である第 1 の位相差を計測する第 1 計測ステップと、

前記第 1 の媒質の屈折率とは異なる屈折率を有する第 2 の媒質中に配置された前記被検物を透過した被検光と参照光の位相差である第 2 の位相差を計測する第 2 計測ステップと、

前記第 1 の位相差と前記第 2 の位相差と前記第 1 の媒質の屈折率と前記第 2 の媒質の屈折率とを用いて、前記被検物の屈折率を算出する算出ステップとを含むことを特徴とする屈折率計測方法。

**【請求項 2】**

前記算出ステップにおいて、前記第 1 の位相差から得られる前記被検物の屈折率と前記第 2 の位相差から得られる前記被検物の屈折率が等しくなるような前記被検物の厚みを算出し、該被検物の厚みを用いて、前記被検物の屈折率を算出することを特徴とする請求項 1 に記載の屈折率計測方法。

**【請求項 3】**

前記第 1 計測ステップと前記第 2 計測ステップにおいて、媒質の温度を計測し、計測された媒質の温度を媒質の屈折率に換算することによって、前記第 1 の媒質の屈折率と前記第 2 の媒質の屈折率をそれぞれ計測することを特徴とする請求項 1 または 2 に記載の屈折率計測方法。

**【請求項 4】**

前記第 1 計測ステップと前記第 2 計測ステップにおいて、媒質中に屈折率及び形状が既知の基準被検物を配置し、前記基準被検物に光を入射させて前記基準被検物の透過波面を計測し、前記基準被検物の屈折率および形状と前記基準被検物の透過波面に基づいて、媒質の屈折率を算出することによって、前記第 1 の媒質の屈折率と前記第 2 の媒質の屈折率をそれぞれ計測することを特徴とする請求項 1 または 2 に記載の屈折率計測方法。

**【請求項 5】**

前記第 1 計測ステップと前記第 2 計測ステップにおいて、前記光源からの光を媒質被検光と媒質参照光に分割し、媒質被検光を媒質に入射させ、媒質を透過した媒質被検光と媒質参照光を干渉させた干渉光を計測し、媒質参照光と媒質被検光の位相差に基づいて媒質の屈折率を算出することによって、前記第 1 の媒質の屈折率と前記第 2 の媒質の屈折率をそれぞれ計測することを特徴とする請求項 1 または 2 に記載の屈折率計測方法。

**【請求項 6】**

前記第 1 の媒質の屈折率分布と前記第 2 の媒質の屈折率分布を計測することを特徴とする請求項 1 乃至 5 のいずれか 1 項に記載の屈折率計測方法。

**【請求項 7】**

前記第 1 の媒質の温度分布と前記第 2 の媒質の温度分布を制御することを特徴とする請求項 1 乃至 6 のいずれか 1 項に記載の屈折率計測方法。

**【請求項 8】**

光源と、前記光源からの光を被検光と参照光に分割し、被検光を被検物に入射させ、前記被検物を透過した被検光と参照光を干渉させる干渉光学系と、被検光と参照光の干渉光を検出する検出手段と、前記検出手段から出力される干渉信号を用いて被検光と参照光の位相差を算出し、該位相差に基づいて前記被検物の屈折率を算出する算出手段とを有する屈折率計測装置であって、

前記算出手段は、第 1 の媒質中に配置された前記被検物を透過した被検光と参照光の位相差である第 1 の位相差と、前記第 1 の媒質の屈折率とは異なる屈折率を有する第 2 の媒質中に配置された前記被検物を透過した被検光と参照光の位相差である第 2 の位相差と、

10

20

30

40

50

前記第 1 の媒質の屈折率と、前記第 2 の媒質の屈折率とを用いて、前記被検物の屈折率を算出することを特徴とする屈折率計測装置。

【請求項 9】

前記算出手段は、前記第 1 の位相差から得られる前記被検物の屈折率と前記第 2 の位相差から得られる前記被検物の屈折率が等しくなるような前記被検物の厚みを算出し、該被検物の厚みを用いて、前記被検物の屈折率を算出することを特徴とする請求項 8 に記載の屈折率計測装置。

【請求項 10】

媒質の温度を計測する温度計測手段を有し、

前記算出手段は、前記温度計測手段により計測された媒質の温度を媒質の屈折率に換算することによって、前記第 1 の媒質の屈折率と前記第 2 の媒質の屈折率をそれぞれ算出することを特徴とする請求項 8 または 9 に記載の屈折率計測装置。

10

【請求項 11】

屈折率および形状が既知の基準被検物と、

媒質中に配置された前記基準被検物に入射させた光の透過波面を計測する波面計測手段を有し、

前記算出手段は、前記基準被検物の屈折率および形状と前記基準被検物の透過波面に基づいて、前記第 1 の媒質の屈折率と前記第 2 の媒質の屈折率をそれぞれ算出することを特徴とする請求項 8 または 9 に記載の屈折率計測装置。

【請求項 12】

前記光源からの光を媒質被検光と媒質参照光に分割し、媒質被検光を媒質に入射させ、媒質を透過した媒質被検光と媒質参照光を干渉させる干渉光学系と、

媒質被検光と媒質参照光の干渉光を検出する検出手段を有し、

前記算出手段は、媒質参照光と媒質被検光の位相差に基づいて、前記第 1 の媒質の屈折率と前記第 2 の媒質の屈折率をそれぞれ算出することを特徴とする請求項 8 または 9 に記載の屈折率計測装置。

20

【請求項 13】

前記第 1 の媒質の屈折率分布と前記第 2 の媒質の屈折率分布を計測する波面計測手段を有することを特徴とする請求項 8 乃至 12 のいずれか 1 項に記載の屈折率計測装置。

【請求項 14】

前記第 1 の媒質の温度分布と前記第 2 の媒質の温度分布を制御する温度制御手段を有することを特徴とする請求項 8 乃至 13 のいずれか 1 項に記載の屈折率計測装置。

30

【請求項 15】

光学素子をモールド成型するステップと、

請求項 1 乃至 7 のいずれか 1 項に記載の屈折率計測方法を用いて前記光学素子の屈折率を計測することによって、成型された光学素子を評価するステップと、を有することを特徴とする光学素子の製造方法。

【発明の詳細な説明】

【技術分野】

【0001】

本発明は、屈折率計測方法および屈折率計測装置に関し、特に、モールド成型により製造される光学素子の屈折率計測に有用である。

40

【背景技術】

【0002】

モールドレンズの屈折率は成型条件によって変化する。成型後のレンズの屈折率は、一般的に、プリズム形状に加工した後、最小偏角法やVブロック法で計測される。この加工作業は、手間とコストがかかる。さらに、成型後のレンズの屈折率は、加工時の応力解放によって変化する。したがって、成型後のレンズの屈折率を非破壊で計測する技術が必要である。

【0003】

50

非特許文献1は、スペクトル領域の干渉信号を波長の関数を用いてフィッティングすることで屈折率分散曲線を算出する方法を提案している。特許文献1は、2種類の媒質それぞれにおいて被検物と媒質の光路長の和と媒質の光路長を計測し、被検物の厚みを除去して屈折率を算出している。

【先行技術文献】

【特許文献】

【0004】

【特許文献1】特開2012-083331号公報

【非特許文献】

【0005】

【非特許文献1】H. Delbarre, C. Przygodzki, M. Tassou, D. Boucher. "High-precision index measurement in anisotropic crystals using white-light spectral interferometry." Applied Physics B, 2000, vol. 70, p. 45-51.

【発明の概要】

【発明が解決しようとする課題】

【0006】

非特許文献1に開示された方法では、被検物の厚みが既知である必要がある。さらに、複雑な関数である干渉信号を直接フィッティングすることは難しいため、屈折率の計測精度が低くなりやすい。また、特許文献1に開示された低コヒーレンス干渉計を用いた計測方法は、光路長を高精度に計測することが難しいため、屈折率の計測精度が低くなりやすい。

【0007】

本発明は、被検物の屈折率（屈折率分散曲線）を高精度に計測することができる屈折率計測方法および屈折率計測装置を提供することを目的としている。

【課題を解決するための手段】

【0008】

本発明の屈折率計測方法は、光源からの光を被検光と参照光に分割し、被検光を被検物に入射させ、前記被検物を透過した被検光と参照光を干渉させて、前記被検光と前記参照光の位相差を計測することによって前記被検物の屈折率を計測する屈折率計測方法であって、第1の媒質中に配置された前記被検物を透過した被検光と参照光の位相差である第1の位相差を計測する第1計測ステップと、前記第1の媒質の屈折率とは異なる屈折率を有する第2の媒質中に配置された前記被検物を透過した被検光と参照光の位相差である第2の位相差を計測する第2計測ステップと、前記第1の位相差と前記第2の位相差と前記第1の媒質の屈折率と前記第2の媒質の屈折率とを用いて、前記被検物の屈折率を算出する算出ステップとを含むことを特徴している。

【0009】

本発明の屈折率計測装置は、光源と、前記光源からの光を被検光と参照光に分割し、被検光を被検物に入射させ、前記被検物を透過した被検光と参照光を干渉させる干渉光学系と、被検光と参照光の干渉光を検出する検出手段と、前記検出手段から出力される干渉信号を用いて被検光と参照光の位相差を算出し、該位相差に基づいて前記被検物の屈折率を算出する算出手段とを有する屈折率計測装置であって、前記算出手段は、第1の媒質中に配置された前記被検物を透過した被検光と参照光の位相差である第1の位相差と、前記第1の媒質の屈折率とは異なる屈折率を有する第2の媒質中に配置された前記被検物を透過した被検光と参照光の位相差である第2の位相差と、前記第1の媒質の屈折率と、前記第2の媒質の屈折率とを用いて、前記被検物の屈折率を算出することを特徴としている。

【発明の効果】

【0010】

本発明によれば、被検物の屈折率を高精度に計測することができる屈折率計測方法およ

10

20

30

40

50

び屈折率計測装置を提供することができる。

【図面の簡単な説明】

【0011】

【図1】本発明の実施例1の屈折率計測装置のブロック図である。

【図2】本発明の実施例1の屈折率計測装置によって被検物の屈折率を算出する手順を示すフローチャートである。

【図3】本発明の実施例1の屈折率計測装置の検出器で得られる干渉信号を示す図である。

【図4】本発明の実施例2の屈折率計測装置のブロック図である。

【図5】本発明の実施例3の屈折率計測装置のブロック図である。

【図6】本発明の実施例4の光学素子の製造方法の製造工程を示す図である。

【発明を実施するための形態】

【0012】

以下、添付図面を参照して、本発明の実施例について説明する。

【実施例1】

【0013】

図1は、実施例1の屈折率計測装置のブロック図である。本実施例の屈折率計測装置は、マッハ・ツェンダー干渉計で構成されており、干渉計測を行うことによって被検物の屈折率を計測する。被検物はレンズや平板等の屈折型光学素子であり、屈折率と厚みが未知である。

【0014】

屈折率計測装置は、光源10、干渉光学系、媒質と被検物を収容可能な容器60、検出器90、コンピュータ100を有し、被検物80の屈折率を計測する。

【0015】

光源10は、波長帯域の広い光源（例えば、スーパーコンティニウム光源）である。干渉光学系は、光源10からの光を、被検物を透過する光（被検光）と被検物を透過しない光（参照光）とに分割し、被検光と参照光を重ね合わせて干渉させ、その干渉光を検出器90に導光する。実施例1の干渉光学系は、複数のビームスプリッタ20、21と複数のミラー30、31、40、41、50、51を有する。

【0016】

ビームスプリッタ20、21は、例えば、キューブビームスプリッタで構成される。ビームスプリッタ20は、2つのプリズムの接合面20aにおいて、光源10からの光の一部を透過すると同時に残りを反射する。接合面20aを透過した光が参照光であり、接合面20aで反射した光が被検光である。ビームスプリッタ21は、接合面21aにおいて、参照光の一部を反射し、被検光の一部を透過する。この結果、参照光と被検光が干渉して干渉光を形成し、干渉光は検出器90に入射する。

【0017】

容器60は、媒質（例えば、空気や水やオイル）と被検物80を収容している。容器内における参照光の光路長と被検光の光路長は、被検物80が容器内に配置されていない状態で、一致するのが好ましい。したがって、容器60の側面（例えば、ガラス）は厚みおよび屈折率が均一で、かつ、容器60の両側面が平行であるのが望ましい。容器60内の媒質は、他媒質との交換や他媒質の添加によって、異なる屈折率を有する媒質に変更される。

【0018】

媒質の屈折率は、不図示の媒質屈折率計測手段によって計測される。媒質屈折率計測手段は、例えば、媒質の温度を計測する温度計測手段と、計測した温度を媒質の屈折率に換算するコンピュータから構成される。容器60は、不図示の温度調整機構（温度制御手段）を備えており、媒質の温度の昇降、媒質の温度分布の制御等を行うことができる。媒質の温度もコンピュータ100で制御される。

【0019】

10

20

30

40

50

ミラー 40、41 は、例えば、プリズム型ミラーである。ミラー 50、51 は、例えば、コーナーキュープリフレクターである。ミラー 51 は、図 1 の矢印の方向の駆動機構を有する。ミラー 51 の駆動機構は、例えば、駆動レンジの大きいステージと駆動分解能の高い piezo 素子から構成されている。ミラー 51 の駆動量は、不図示の測長器（例えば、レーザ測長器やエンコーダ）によって計測される。ミラー 51 の駆動は、コンピュータ 100 によって制御されている。参照光と被検光の光路長差は、ミラー 51 の駆動機構によって調整することができる。

【0020】

検出器 90 は、ビームスプリッタ 21 からの干渉光を分光し、干渉光強度を波長（周波数）の関数として検出する分光器などから構成されている。

10

【0021】

コンピュータ 100 は、検出器 90 が出力する干渉信号に基づいて被検物の屈折率を算出する算出手段として機能すると共に、ミラー 51 の駆動量を制御する制御手段としても機能し、CPU などから構成されている。ただし、検出器 90 が出力する干渉信号から被検物の屈折率を算出する算出手段と、ミラー 51 の駆動量や媒質の温度を制御する制御手段を、互いに異なるコンピュータによって構成することもできる。

【0022】

干渉光学系は、被検物 80 が容器内に配置されていない状態で、参照光と被検光の光路長が等しくなるように調整されている。調整方法は次のとおりである。

【0023】

20

図 1 の屈折率計測装置において、被検物 80 が被検光路上に配置されない状態で参照光と被検光の干渉信号が取得される。このとき、参照光と被検光の位相差  $\phi_0$ （ $\lambda$ ）および干渉強度  $I_0$ （ $\lambda$ ）は数式 1 で表される。

【0024】

【数 1】

$$\phi_0(\lambda) = \frac{2\pi}{\lambda}(-\Delta_0)$$

$$I_0(\lambda) = I_0(1 + \gamma \cos \phi_0(\lambda)) \quad \text{数式 1}$$

30

【0025】

ただし、 $\lambda$  は空気中の波長、 $\Delta_0$  は参照光と被検光の光路長の差、 $I_0$  は参照光の強度と被検光の強度の和、 $\gamma$  は可視度（ビジビリティ）である。数式 1 より、 $\phi_0$  がゼロではないときは、干渉強度  $I_0$ （ $\lambda$ ）は振動関数となる。したがって、参照光と被検光の光路長を等しくするためには、干渉信号が振動関数とならない位置にミラー 51 を駆動すればよい。このとき、 $\phi_0$  がゼロになる。

【0026】

ここでは、被検光と参照光の光路長が等しくなるように調整される場合（ $\Delta_0 = 0$ ）について説明したが、現在のミラー 51 の位置が  $\Delta_0 = 0$  からどれだけシフトしているかが分かれば、被検光と参照光の光路長を等しくする必要はない。被検光と参照光の光路長が等しくなる位置（ $\Delta_0 = 0$ ）からのミラー 51 の駆動量は不図示の測長器（例えば、レーザ測長器やエンコーダ）によって測定することができる。

40

【0027】

図 2 は、被検物 80 の屈折率（屈折率分散曲線）を算出する手順を示すフローチャートであり、「S」は Step（ステップ）の略である。

【0028】

まず、被検物 80 が第 1 の媒質（例えば、空気）中に配置される（S10）。次に、第 1 の媒質における参照光と被検光の第 1 の位相差  $\phi_1$ （ $\lambda$ ）が計測される（S20）。ステップ S10 とステップ S20 が第 1 計測ステップである。

50

【0029】

被検物 80 が被検光路上に配置されているとき、図 1 の検出器 90 で計測されるスペクトル領域の干渉信号は図 3 のようになる。図 3 の ( a )、( b ) は、媒質の屈折率が異なる条件で計測された干渉信号である。図 3 ( a ) は、第 1 の媒質における干渉信号を示しており、図 3 ( b ) は、第 2 の媒質 (例えば、水) における干渉信号を示している。第 1 の媒質における参照光と被検光の第 1 の位相差  $\phi_1(\lambda)$  は数式 2 で表される。

【0030】

【数 2】

$$\phi_1(\lambda) = \frac{2\pi}{\lambda} \left[ \left( n^{\text{sample}}(\lambda) - n_1^{\text{medium}}(\lambda) \right) L - \Delta_0 \right]$$

10

## 数式 2

【0031】

ただし、 $n^{\text{sample}}(\lambda)$  は被検物の位相屈折率であり、 $n_1^{\text{medium}}(\lambda)$  は第 1 の媒質の位相屈折率であり、 $L$  は被検物の幾何学厚みである。図 3 の  $\Delta_0$  は、位相差  $\phi_1(\lambda)$  が極値をとる波長を示している。 $\Delta_0$  付近の波長では干渉信号の周期が長くなるため、干渉信号が計測しやすい。一方、 $\Delta_0$  から離れた波長では干渉信号の周期が短くなるため、干渉信号が密になりすぎて分解できない可能性がある。もし、 $\Delta_0$  が計測範囲から外れている場合は、ミラー 51 を駆動して  $\Delta_0$  を調整すればよい。

20

【0032】

第 1 の位相差  $\phi_1(\lambda)$  は、例えば、次のような位相シフト法を用いて計測することができる。ミラー 51 を微小量ずつ駆動させながら干渉信号が取得される。ミラー 51 の位相シフト量 (= 駆動量  $\times 2 / \lambda$ ) が  $\delta_k$  ( $k = 0, 1, \dots, M - 1$ ) のときの干渉強度  $I_k(\lambda)$  は数式 3 で表される。

【0033】

【数 3】

$$I_k(\lambda) = I_0 [1 + \gamma \cos(\phi_1(\lambda) - \delta_k)] = a_0 + a_1 \cos \delta_k + a_2 \sin \delta_k$$

$$(a_0 = I_0, a_1 = I_0 \gamma \cos \phi_1(\lambda), a_2 = I_0 \gamma \sin \phi_1(\lambda))$$

30

## 数式 3

【0034】

第 1 の位相差  $\phi_1(\lambda)$  は、位相シフト量  $\delta_k$ 、干渉強度  $I_k(\lambda)$  を用いて数式 4 で算出される。位相差の算出精度を高める指針は、位相シフト量  $\delta_k$  をできるだけ小さくし、駆動ステップ数  $M$  をできるだけ大きくすることである。算出された位相差は  $2\pi$  で畳み込まれている。したがって、 $2\pi$  の位相とびをつなぎ合わせる作業 (アンラッピング) が必要である。尚、位相シフト法で得られた位相差は、 $2\pi$  の整数倍の任意性 (未知のオフセット項) を含む。第 1 の位相差が計測されるときに、第 1 の媒質の温度も計測されて第 1 の媒質の位相屈折率  $n_1^{\text{medium}}(\lambda)$  が算出される。

40

【0035】

【数 4】

$$\begin{bmatrix} a_0 \\ a_1 \\ a_2 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} M & \sum_{k=0}^{M-1} \cos \delta_k & \sum_{k=0}^{M-1} \sin \delta_k \\ \sum_{k=0}^{M-1} \cos \delta_k & \sum_{k=0}^{M-1} \cos^2 \delta_k & \sum_{k=0}^{M-1} \cos \delta_k \sin \delta_k \\ \sum_{k=0}^{M-1} \sin \delta_k & \sum_{k=0}^{M-1} \cos \delta_k \sin \delta_k & \sum_{k=0}^{M-1} \sin^2 \delta_k \end{bmatrix}^{-1} \begin{bmatrix} \sum_{k=0}^{M-1} I_k \\ \sum_{k=0}^{M-1} I_k \cos \delta_k \\ \sum_{k=0}^{M-1} I_k \sin \delta_k \end{bmatrix}$$

$$\phi_1(\lambda) = \tan^{-1} \frac{a_2}{a_1}$$

10

## 数式 4

【0036】

次に、第 1 の媒質の屈折率とは異なる屈折率を有する第 2 の媒質（例えば、水）中に、被検物 80 が配置される（S30）。そして、第 2 の媒質における参照光と被検光の第 2 の位相差  $\phi_2$ （ ）が計測される（S40）。第 2 の位相差  $\phi_2$ （ ）は、第 1 の位相差  $\phi_1$ （ ）と同様に、位相シフト法を用いて計測される。第 2 の位相差が計測されるときに、第 2 の媒質の温度も計測されて第 2 の媒質の位相屈折率  $n_2^{\text{medium}}$ （ ）が算出される。ステップ S30 とステップ S40 が第 2 計測ステップである。

20

【0037】

最後に、第 1 の位相差  $\phi_1$ （ ）と第 2 の位相差  $\phi_2$ （ ）と第 1 の媒質の屈折率と第 2 の媒質の屈折率を用いて被検物の屈折率（屈折率分散曲線）が算出される（算出ステップ S50）。被検物の屈折率の算出方法の詳細は、以下のとおりである。

【0038】

第 1 の位相差  $\phi_1$ （ ）を数式 5 でフィッティングすると、整数  $m_1$  および分散式の係数  $A_k$ （ $k = 1, 2, \dots, 6$ ）が得られる。第 2 の位相差  $\phi_2$ （ ）を数式 6 でフィッティングすると、整数  $m_2$  および分散式の係数  $B_k$ （ $k = 1, 2, \dots, 6$ ）が得られる。つまり、第 1 の位相差  $\phi_1$ （ ）から得られる被検物 80 の位相屈折率  $n_1^{\text{sample}}$ （ ）および第 2 の位相差  $\phi_2$ （ ）から得られる被検物 80 の位相屈折率  $n_2^{\text{sample}}$ （ ）が算出される。ここでは、位相屈折率の関数として、コーシーの分散式が用いられているが、他の屈折率分散式（例えば、セルマイヤーの分散式）でもよい。

30

【0039】

【数 5】

$$\phi_1(\lambda) = \frac{2\pi}{\lambda} \left[ \left( n_1^{\text{sample}}(\lambda) - n_1^{\text{medium}}(\lambda) \right) (L + \Delta L) - \Delta_0 \right] + 2\pi m_1$$

$$n_1^{\text{sample}}(\lambda) = \sqrt{A_1 + A_2 \lambda^2 + A_3 \lambda^{-2} + A_4 \lambda^{-4} + A_5 \lambda^{-6} + A_6 \lambda^{-8}}$$

## 数式 5

40

【0040】

【数 6】

$$\phi_2(\lambda) = \frac{2\pi}{\lambda} \left[ \left( n_2^{\text{sample}}(\lambda) - n_2^{\text{medium}}(\lambda) \right) (L + \Delta L) - \Delta_0 \right] + 2\pi m_2$$

$$n_2^{\text{sample}}(\lambda) = \sqrt{B_1 + B_2 \lambda^2 + B_3 \lambda^{-2} + B_4 \lambda^{-4} + B_5 \lambda^{-6} + B_6 \lambda^{-8}}$$

## 数式 6

【0041】

第 1 の位相差および第 2 の位相差の未知のオフセット項は、それぞれ  $2\pi m_1$ 、 $2\pi m_2$

50



で表現されている。被検物 80 の厚み  $L$  は未知の量であるため、数式 5、数式 6 では、厚みの仮定値  $L + \Delta L$  が使用されている。厚み仮定値  $L + \Delta L$  と真値  $L$  との差分  $\Delta L$  が、厚み誤差である。厚み仮定値として、例えば、被検物の設計厚みが使用されればよい。数式 5、数式 6 では、第 1 の媒質における光路長差  $\Delta_0$  と第 2 の媒質における光路長差  $\Delta_0$  が、等しいと仮定しているが、異なってもよい。

【0042】

厚み仮定値が真値と等しい場合 ( $\Delta L = 0$ ) を考える。このとき、第 1 の位相差  $\Delta_1$  ( ) から得られる被検物の位相屈折率  $n_1^{\text{sample}}(\lambda)$  ( ) および第 2 の位相差  $\Delta_2$  ( ) から得られる被検物の位相屈折率  $n_2^{\text{sample}}(\lambda)$  ( ) は、被検物の位相屈折率の真値  $n^{\text{sample}}(\lambda)$  ( ) と等しくなる。

10

【0043】

次に、厚み仮定値が真値  $L$  から誤差を持つ場合 ( $\Delta L \neq 0$ ) を考える。このとき、数式 5、数式 6 のフィッティングで得られる位相屈折率  $n_1^{\text{sample}}(\lambda)$  ( )、 $n_2^{\text{sample}}(\lambda)$  ( ) は、厚み誤差  $\Delta L$  による屈折率誤差  $\Delta n_1(\lambda)$  ( )、 $\Delta n_2(\lambda)$  ( ) を持つため、被検物の位相屈折率の真値  $n^{\text{sample}}(\lambda)$  ( ) と異なる。屈折率誤差  $\Delta n_1(\lambda)$  ( )、 $\Delta n_2(\lambda)$  ( ) は、数式 7 で表される。

【0044】

【数 7】

$$\Delta n_1(\lambda) = -\left(n_1^{\text{sample}}(\lambda) - n_1^{\text{medium}}(\lambda)\right) \frac{\Delta L}{L}$$

$$\Delta n_2(\lambda) = -\left(n_2^{\text{sample}}(\lambda) - n_2^{\text{medium}}(\lambda)\right) \frac{\Delta L}{L} \quad \text{数式 7}$$

20

【0045】

厚み仮定値が厚み誤差  $\Delta L$  を持つ場合、位相屈折率  $n_1^{\text{sample}}(\lambda)$  ( ) と  $n_2^{\text{sample}}(\lambda)$  ( ) の差分は、数式 8 で表される。

【0046】

【数 8】

$$n_1^{\text{sample}}(\lambda) - n_2^{\text{sample}}(\lambda) = \Delta n_1(\lambda) - \Delta n_2(\lambda)$$

30

数式 8

【0047】

厚み仮定値が厚み誤差  $\Delta L$  を持たなければ、位相屈折率  $n_1^{\text{sample}}(\lambda)$  ( ) と  $n_2^{\text{sample}}(\lambda)$  ( ) の差分はゼロになる。したがって、位相屈折率  $n_1^{\text{sample}}(\lambda)$  ( ) と  $n_2^{\text{sample}}(\lambda)$  ( ) が等しくなるように、厚み仮定値が選択されればよい。そのとき選択された厚み仮定値が被検物 80 の厚みとなり、そのとき算出された位相屈折率  $n_1^{\text{sample}}(\lambda)$  ( )、 $n_2^{\text{sample}}(\lambda)$  ( ) が、被検物 80 の位相屈折率分散曲線  $n^{\text{sample}}(\lambda)$  ( ) となる。なお、被検物 80 の厚みは、位相屈折率  $n_1^{\text{sample}}(\lambda)$  ( ) と  $n_2^{\text{sample}}(\lambda)$  ( ) の差分をほぼゼロとするものであれば良く、位相屈折率  $n_1^{\text{sample}}(\lambda)$  ( ) と  $n_2^{\text{sample}}(\lambda)$  ( ) を完全に等しくするものでなくてもよい。

40

【0048】

以上のようにして、第 1 の位相差と第 2 の位相差と第 1 の媒質の屈折率と第 2 の媒質の屈折率とを用いて、被検物 80 の屈折率 ( 屈折率分散曲線 ) が算出される ( 算出ステップ S50 )。

【0049】

算出ステップ S50 における被検物 80 の屈折率 ( 屈折率分散曲線 ) の算出方法は、次の方法でもよい。

50

【 0 0 5 0 】

まず、数式 5、数式 6 のフィッティングによって、第 1 の位相差  $\phi_1(\lambda)$ 、第 2 の位相差  $\phi_2(\lambda)$  から、それぞれ、未知のオフセット項  $2m_1$ 、 $2m_2$  が分離される。

$\phi_1(\lambda)$  から  $2m_1$  を分離した項  $\phi_1(\lambda)$  と、 $\phi_2(\lambda)$  から  $2m_2$  を分離した項  $\phi_2(\lambda)$  を用いると、数式 9 のように、位相屈折率  $n_1^{\text{sample}}(\lambda)$ 、 $n_2^{\text{sample}}(\lambda)$  が算出される。

【 0 0 5 1 】

【数 9】

$$n_1^{\text{sample}}(\lambda) = n_1^{\text{medium}}(\lambda) + \frac{\frac{\lambda}{2\pi} \Phi_1(\lambda) + \Delta_0}{L + \Delta L} \quad 10$$

$$n_2^{\text{sample}}(\lambda) = n_2^{\text{medium}}(\lambda) + \frac{\frac{\lambda}{2\pi} \Phi_2(\lambda) + \Delta_0}{L + \Delta L} \quad \text{数式 9}$$

【 0 0 5 2 】

第 1 の位相差から得られる被検物の位相屈折率  $n_1^{\text{sample}}(\lambda)$  と第 2 の位相差から得られる被検物の位相屈折率  $n_2^{\text{sample}}(\lambda)$  が等しくなるとき、数式 9 の上式右辺と下式右辺も等しくなる。 $n_1^{\text{sample}}(\lambda) - n_2^{\text{sample}}(\lambda) = 0$  のとき、 $L = 0$  となり、数式 9 の上式右辺と下式右辺は等しくなる。数式 9 の上式右辺と下式右辺を等号で結ぶと、厚み仮定値  $L + \Delta L$  が数式 10 で算出される。

20

【 0 0 5 3 】

【数 10】

$$L + \Delta L = \frac{\left( \frac{\lambda}{2\pi} \Phi_2(\lambda) + \Delta_0 \right) - \left( \frac{\lambda}{2\pi} \Phi_1(\lambda) + \Delta_0 \right)}{n_1^{\text{medium}}(\lambda) - n_2^{\text{medium}}(\lambda)} \quad \text{数式 10} \quad 30$$

【 0 0 5 4 】

数式 10 で得られる厚み仮定値  $L + \Delta L$  は、真値  $L$  と等しい（つまり、 $L = 0$ ）。数式 10 で得られる厚み仮定値  $L + \Delta L$  を数式 9 に代入すると、数式 11 のように被検物 80 の位相屈折率分散曲線  $n^{\text{sample}}(\lambda)$  が得られる。

【 0 0 5 5 】

【数 11】

$$n^{\text{sample}}(\lambda) = \frac{\left( \frac{\lambda}{2\pi} \Phi_2(\lambda) + \Delta_0 \right) n_1^{\text{medium}}(\lambda) - \left( \frac{\lambda}{2\pi} \Phi_1(\lambda) + \Delta_0 \right) n_2^{\text{medium}}(\lambda)}{\left( \frac{\lambda}{2\pi} \Phi_2(\lambda) + \Delta_0 \right) - \left( \frac{\lambda}{2\pi} \Phi_1(\lambda) + \Delta_0 \right)} \quad 40$$

数式 11

【 0 0 5 6 】

以上のように、第 1 の位相差から得られる被検物の位相屈折率と第 2 の位相差から得られる被検物の位相屈折率が等しくなるように、数式 9、数式 10、数式 11 を用いて、被検物の位相屈折率分散曲線が算出される。

【 0 0 5 7 】

$\phi_1(\lambda)$ 、 $\phi_2(\lambda)$  は、第 1 の位相差  $\phi_1(\lambda)$ 、第 2 の位相差  $\phi_2(\lambda)$  から、未知のオフセット項  $2m_1$ 、 $2m_2$  を分離しさえすればいいため、数式 5、数式 6 が

50

用いられなくてもよい。 $\phi_1(\lambda)$ 、 $\phi_2(\lambda)$ は、定数項を含まない関数で表現できるため、例えば、数式5、数式6の代わりに数式12のような関数のフィッティングを用いて、 $\phi_1(\lambda)$ 、 $\phi_2(\lambda)$ は抽出できる。

【0058】

【数12】

$$\phi_1(\lambda) = 2\pi m_1 + \sum_{k=1}^m C_k \lambda^{-k} = 2\pi m_1 + \Phi_1(\lambda)$$

$$\phi_2(\lambda) = 2\pi m_2 + \sum_{k=1}^m D_k \lambda^{-k} = 2\pi m_2 + \Phi_2(\lambda) \quad \text{数式12}$$

10

【0059】

$2\pi m_1$ 、 $2\pi m_2$ は、フィッティングによる分離の代わりに、第1の位相差 $\phi_1(\lambda)$ 、第2の位相差 $\phi_2(\lambda)$ を波長に関して微分することによって除去できる。第1の位相差の微分 $d\phi_1(\lambda)/d\lambda$ 、第2の位相差の微分 $d\phi_2(\lambda)/d\lambda$ は、数式13で表される。

【0060】

【数13】

$$\frac{d\phi_1(\lambda)}{d\lambda} = -\frac{2\pi}{\lambda^2} \left[ \left( n_{g1}^{\text{sample}}(\lambda) - n_{g1}^{\text{medium}}(\lambda) \right) (L + \Delta L) - \Delta_0 \right]$$

20

$$\frac{d\phi_2(\lambda)}{d\lambda} = -\frac{2\pi}{\lambda^2} \left[ \left( n_{g2}^{\text{sample}}(\lambda) - n_{g2}^{\text{medium}}(\lambda) \right) (L + \Delta L) - \Delta_0 \right]$$

数式13

【0061】

ただし、 $n_{g1}^{\text{sample}}(\lambda)$ は第1の位相差から得られる被検物の群屈折率であり、 $n_{g2}^{\text{sample}}(\lambda)$ は第2の位相差から得られる被検物の群屈折率である。 $n_{g1}^{\text{medium}}(\lambda)$ は第1の媒質の群屈折率であり、 $n_{g2}^{\text{medium}}(\lambda)$ は第2の媒質の群屈折率である。数式13を変形すると、被検物の群屈折率 $n_{g1}^{\text{sample}}(\lambda)$ 、 $n_{g2}^{\text{sample}}(\lambda)$ が、数式14で表される。

30

【0062】

【数14】

$$n_{g1}^{\text{sample}}(\lambda) = n_{g1}^{\text{medium}}(\lambda) + \frac{-\frac{\lambda^2}{2\pi} \frac{d\phi_1(\lambda)}{d\lambda} + \Delta_0}{L + \Delta L}$$

$$n_{g2}^{\text{sample}}(\lambda) = n_{g2}^{\text{medium}}(\lambda) + \frac{-\frac{\lambda^2}{2\pi} \frac{d\phi_2(\lambda)}{d\lambda} + \Delta_0}{L + \Delta L}$$

数式14

40

【0063】

数式14で算出される $n_{g1}^{\text{sample}}(\lambda)$ と $n_{g2}^{\text{sample}}(\lambda)$ が等しくなるような厚み仮定値 $L + \Delta L$ が被検物の厚みとなる。そのときの $n_{g1}^{\text{sample}}(\lambda)$ と $n_{g2}^{\text{sample}}(\lambda)$ が被検物の群屈折率分散曲線 $n_g^{\text{sample}}(\lambda)$ と等しくなる。もしくは、数式10、数式11の作業と同様に、数式14の上式右辺と下式右辺の等式から得られる厚み仮定値 $L + \Delta L$ を算出し、数式14に代入することで被検物の群屈折率分散曲線 $n_g^{\text{sample}}(\lambda)$ が算出される(数式15)。

【0064】

【数 1 5】

$$L + \Delta L = \frac{\left( -\frac{\lambda^2}{2\pi} \frac{d\phi_2(\lambda)}{d\lambda} + \Delta_0 \right) - \left( -\frac{\lambda^2}{2\pi} \frac{d\phi_1(\lambda)}{d\lambda} + \Delta_0 \right)}{n_{g1}^{\text{medium}}(\lambda) - n_{g2}^{\text{medium}}(\lambda)}$$

$$n_g^{\text{sample}}(\lambda) = \frac{\left( -\frac{\lambda^2}{2\pi} \frac{d\phi_2(\lambda)}{d\lambda} + \Delta_0 \right) n_{g1}^{\text{medium}}(\lambda) - \left( -\frac{\lambda^2}{2\pi} \frac{d\phi_1(\lambda)}{d\lambda} + \Delta_0 \right) n_{g2}^{\text{medium}}(\lambda)}{\left( -\frac{\lambda^2}{2\pi} \frac{d\phi_2(\lambda)}{d\lambda} + \Delta_0 \right) - \left( -\frac{\lambda^2}{2\pi} \frac{d\phi_1(\lambda)}{d\lambda} + \Delta_0 \right)}$$

数式 1 5

10

【0 0 6 5】

以上のように、第 1 の位相差から得られる被検物の群屈折率と第 2 の位相差から得られる被検物の群屈折率が等しくなるように、被検物の群屈折率分散曲線が算出される。群屈折率分散曲線から位相屈折率分散曲線を算出する方法は、次のとおりである。

【0 0 6 6】

位相屈折率  $N_p$  ( ) と群屈折率  $N_g$  ( ) は、数式 1 6 のような関係をもつ。ただし、 $C$  は積分定数である。

【0 0 6 7】

【数 1 6】

$$N_g(\lambda) = N_p(\lambda) - \lambda \frac{dN_p(\lambda)}{d\lambda}$$

20

$$N_p(\lambda) = C\lambda - \lambda \int \frac{N_g(\lambda)}{\lambda^2} d\lambda$$

数式 1 6

【0 0 6 8】

数式 1 6 からわかるとおり、位相屈折率  $N_p$  ( ) から群屈折率  $N_g$  ( ) への算出は一通りだが、群屈折率  $N_g$  ( ) から位相屈折率  $N_p$  ( ) への算出は、積分定数  $C$  の任意性がある。位相屈折率  $N_p$  ( ) は、群屈折率  $N_g$  ( ) のみの情報から算出することはできない。

30

【0 0 6 9】

そこで、被検物の群屈折率  $n_g^{\text{sample}}$  ( ) から位相屈折率  $n^{\text{sample}}$  ( ) への算出は、積分定数  $C$  の仮定が必要である。例えば、被検物の積分定数  $C^{\text{sample}}$  は、被検物の元となった母材の積分定数  $C^{\text{glass}}$  と等しいと仮定する。母材の積分定数  $C^{\text{glass}}$  は、硝材製造元が提供する母材の位相屈折率の値を用いて算出することができる。この積分定数  $C^{\text{glass}}$  と数式 1 6 を用いて、被検物の群屈折率  $n_g^{\text{sample}}$  ( ) から位相屈折率  $n^{\text{sample}}$  ( ) を算出することが可能である。

【0 0 7 0】

積分定数  $C$  の算出の代わりに、位相屈折率と群屈折率の差分や比を用いた方法が適用できる。差分を用いる位相屈折率算出方法や比を用いる位相屈折率算出方法は、それぞれ数式 1 7 で表される。ここでは、母材の位相屈折率が  $N_p$  ( )、母材の群屈折率が  $N_g$  ( ) で表されている。

40

【0 0 7 1】

【数 1 7】

$$n^{\text{sample}}(\lambda) = N_p(\lambda) - N_g(\lambda) + n_g^{\text{sample}}(\lambda)$$

$$n^{\text{sample}}(\lambda) = n_g^{\text{sample}}(\lambda) + \frac{N_p(\lambda) - N_g(\lambda)}{N_g(\lambda) - 1} \times (n_g^{\text{sample}}(\lambda) - 1)$$

数式 1 7

【0 0 7 2】

屈折率分散曲線の算出精度向上の指針は、第 1 の媒質と第 2 の媒質の屈折率差を大きく

50

とることである。本実施例では、第1の位相差から得られる被検物の屈折率と第2の位相差から得られる被検物の屈折率を等しくするように被検物の厚みを選択（算出）し、被検物の屈折率（屈折率分散曲線）を算出する。したがって、屈折率分散曲線の算出精度は、被検物の厚みの算出精度に依存する。被検物厚みを算出する式である数式10、数式15の分母は、第1の媒質と第2の媒質の屈折率の差分量である。したがって、第1の媒質と第2の媒質の屈折率差が大きいほど、被検物の厚みの算出精度が向上し、屈折率分散曲線の算出精度も向上する。

#### 【0073】

媒質の温度分布によって、媒質の屈折率分布が生じるため、算出される被検物の屈折率に誤差が生じる。したがって、媒質の温度分布が発生しないように温度調整機構（温度調整手段）で媒質の温度分布を制御するのが望ましい。また、媒質の屈折率分布による誤差は、屈折率分布の量がわかれば補正できるため、媒質の屈折率分布を計測するための波面計測装置（波面計測手段）を有することが望ましい。

10

#### 【0074】

本実施例では、容器60内の媒質の交換、または他媒質の添加によって、第1の媒質と第2の媒質の屈折率を変化させている。その代わりに、第1の媒質を収納する容器と第2の媒質を収納する容器を準備し、容器ごと交換してもよい。

#### 【0075】

本実施例では、ミラー51による機械的な位相シフトと検出器90による分光の組み合わせで位相差を計測した。その代わりに、ヘテロダイン干渉法を用いてもよい。ヘテロダイン干渉法を用いる場合、その干渉計は、例えば、光源直後に分光器を配置して疑似単色光を射出し、音響光学素子で参照光と被検光の間に周波数差を発生させ、干渉信号をフォトダイオード等の検出器で計測する。そして、分光器で波長を走査しながら各波長で位相差を算出する。

20

#### 【0076】

本実施例では、波長帯域の広い光源10として、スーパーコンティニウム光源を用いた。その代わりに、スーパーluminescentダイオード（SLD）やハロゲンランプ、短パルスレーザー等が使われてもよい。波長を走査する場合には、広帯域光源と分光器の組み合わせの代わりに、波長掃引光源が使用されてもよい。

#### 【0077】

本実施例では、マッハ・ツェンダー干渉計の構成をとっているが、代わりにマイケルソン干渉計の構成でもよい。また、本実施例では、屈折率や位相差を波長の関数として算出しているが、代わりに周波数の関数として算出してもよい。

30

#### 【0078】

本実施例では、干渉信号から位相差を算出し、比較的単純な関数である位相差に対してフィッティングするため、フィッティング精度が高い。本実施例は、数式13～15を用いればフィッティング作業を省くことも可能である。さらに、本実施例は、被検物の厚みを算出することができる。以上のとおり、本実施例の屈折率計測装置によれば、被検物の厚みが未知でも被検物の屈折率（屈折率分散曲線）を高精度に計測することができる。

#### 【実施例2】

40

#### 【0079】

図4は、実施例2の屈折率計測装置のブロック図である。媒質の屈折率を計測する干渉計が実施例1の屈折率計測装置に追加されている。実施例1と同様の構成については、同一の符号を付して説明する。

#### 【0080】

光源10から射出された光は、ビームスプリッタ22で透過光と反射光に分割される。透過光は、被検物80の屈折率を計測するための干渉光学系へ進み、反射光は、媒質の屈折率を計測するための干渉光学系へと導かれる。反射光は、ビームスプリッタ23でさらに透過光（媒質参照光）と反射光（媒質被検光）に分割される。

#### 【0081】

50

ビームスプリッタ 23 で反射した媒質被検光は、ミラー 42、52 で反射した後に、容器 60 の側面および媒質を透過し、ミラー 33 で反射されてビームスプリッタ 24 に至る。ビームスプリッタ 23 を透過した媒質参照光は、ミラー 32、43、53 で反射した後に、補償板 61 を透過してビームスプリッタ 24 へ至る。ビームスプリッタ 24 へ至った媒質参照光と媒質被検光は、干渉して干渉光を形成し、分光器等で構成される検出部 91 で検出される。検出器 91 で検出された信号は、コンピュータ 100 に送られる。

【0082】

補償板 61 は、容器 60 の側面による屈折率分散の影響を補正する役割を担い、容器 60 の側面と同一材料かつ同一厚み (= 容器 60 の側面の厚み × 2) で構成される。補償板 61 は、容器 60 内が空のとき、媒質被検光と媒質参照光の各波長それぞれの光路長差を等しくする効果を有する。

10

【0083】

ミラー 53 は、ミラー 51 と同様の駆動機構を有しており、図 4 の矢印の方向に駆動する。ミラー 53 の駆動は、コンピュータ 100 で制御される。

【0084】

本実施例の被検物 80 の位相屈折率算出手順は、次のとおりである。

【0085】

まず、被検物 80 が第 1 の媒質 (例えば、位相屈折率が 1.5 程度のオイル) 中に配置される (S10)。第 1 の媒質において第 1 の位相差が計測される (S20)。ステップ S10 とステップ S20 が第 1 計測ステップである。第 1 の位相差が計測されるときに、媒質の屈折率を計測するための干渉計を用いて、第 1 の媒質における媒質参照光と媒質被検光の位相差  $\phi_1$  ( ) も計測される。第 1 の媒質における媒質参照光と媒質被検光の位相差  $\phi_1$  ( ) およびその微分  $d\phi_1$  ( ) /  $d\lambda$  は、数式 18 で表される。

20

【0086】

【数 18】

$$\eta_1(\lambda) = \frac{2\pi}{\lambda} \left[ (n_1^{\text{medium}}(\lambda) - 1)L^{\text{tank}} - \Delta \right]$$

$$\frac{d\eta_1(\lambda)}{d\lambda} = -\frac{2\pi}{\lambda^2} \left[ (n_{1g}^{\text{medium}}(\lambda) - 1)L^{\text{tank}} - \Delta \right] \quad \text{数式 18}$$

30

【0087】

ただし、 $L^{\text{tank}}$  は容器 60 の側面間の距離 (媒質被検光の媒質内の光路長)、 $\Delta$  は媒質参照光と媒質被検光の光路長差であり、既知の量である。第 1 の媒質の位相屈折率  $n_{1 \text{ medium}}(\lambda)$  は、被検物の位相屈折率  $n_{1 \text{ sample}}(\lambda)$  を算出する方法と同様に、数式 18 の  $\eta_1(\lambda)$  の関係式をフィッティングすることで得られる。第 1 の媒質の群屈折率  $n_{g1 \text{ medium}}(\lambda)$  は、数式 18 の  $d\eta_1(\lambda)/d\lambda$  の関係式を変形することで得られる。

【0088】

次に、被検物 80 が第 2 の媒質 (例えば、位相屈折率が 1.7 程度のオイル) 中に配置される (S30)。第 2 の媒質において第 2 の位相差が計測される (S40)。ステップ S30 とステップ S40 が第 2 計測ステップである。第 2 の位相差が計測されるときに、媒質の屈折率を計測するための干渉計を用いて、第 2 の媒質における媒質参照光と媒質被検光の位相差も計測される。第 2 の媒質における媒質参照光と媒質被検光の位相差から、第 2 の媒質の屈折率が算出される。最後に、第 1 の位相差と第 2 の位相差と第 1 の媒質の屈折率と第 2 の媒質の屈折率とを用いて被検物 80 の屈折率 (屈折率分散曲線) が算出される (算出ステップ S50)。算出ステップ S50 において、第 1 の位相差から得られる被検物の屈折率と第 2 の位相差から得られる被検物の屈折率が等しくなるように被検物の屈折率 (屈折率分散曲線) が算出される。

40

【実施例 3】

【0089】

50

図5は、実施例3の屈折率計測装置のブロック図である。波面が2次元センサ（波面計測手段）を用いて計測される。媒質の屈折率を計測するために、屈折率および形状が既知のガラスプリズム（基準被検物）が被検光の光路上に配置されている。実施例1、実施例2と同様の構成については、同一の符号を付して説明する。

【0090】

光源10から射出された光は、分光器95で分光され、疑似単色光となってピンホール110に入射する。ピンホール110へ入射させる疑似単色光の波長は、コンピュータ100で制御される。ピンホール110を透過して発散光となった光は、コリメータレンズ120で平行光にコリメートされる。コリメート光は、ビームスプリッタ25で透過光（参照光）と反射光（被検光）に分割される。

10

【0091】

ビームスプリッタ25を透過した参照光は、容器60内の媒質を透過した後、ミラー31で反射してビームスプリッタ26へ至る。ミラー31は、図5の矢印方向の駆動機構を有し、コンピュータ100で制御される。

【0092】

ビームスプリッタ25で反射された被検光は、ミラー30で反射して、媒質と被検物80とガラスプリズム130を収容している容器60に入射する。被検光の一部の光は媒質および被検物80を透過する。被検光の一部の光は媒質およびガラスプリズム130を透過する。被検光の残りの光は媒質のみを透過する。容器60を透過したそれぞれの光は、ビームスプリッタ26において参照光と干渉して干渉光を形成し、結像レンズ121を介して検出器92（例えば、CCDやCMOSセンサ）で検出される。検出器92で検出された干渉信号は、コンピュータ100に送られる。

20

【0093】

検出器92は、被検物80およびガラスプリズム130の位置と共役位置に配置されている。被検物80と媒質の位相屈折率が異なると、被検物80を透過した光は発散光や収束光になる。その発散光（収束光）が被検物80以外を透過した光と交差する場合は、被検物80の後方（検出器92側）にアパーチャ等を配置して、迷光をカットすればよい。ガラスプリズム130を透過した光と参照光の干渉縞が密になりすぎないように、ガラスプリズムは、媒質の位相屈折率とほぼ等しい位相屈折率を有するものが好ましい。被検光と参照光の光路長は、被検物80およびガラスプリズム130が被検光路上に配置されていない状態で、等しくなるように調整されている。

30

【0094】

本実施例の被検物80の位相屈折率算出手順は、次のとおりである。

【0095】

まず、被検物80が第1の媒質中に配置される（S10）。分光器95による波長走査と、ミラー31の駆動機構を用いた位相シフト法により、第1の媒質において第1の位相差および第1の媒質の屈折率が計測される（S20）。ステップS10とステップS20が第1計測ステップである。次に、被検物80が第2の媒質中に配置される（S30）。第2の媒質において第2の位相差および第2の媒質の屈折率が計測される（S40）。ステップS30とステップS40が第2計測ステップである。最後に、第1の位相差と第2の位相差と第1の媒質の屈折率と第2の媒質の屈折率とを用いて被検物80の屈折率（屈折率分散曲線）が算出される（算出ステップS50）。算出ステップS50において、第1の位相差から得られる被検物の屈折率と第2の位相差から得られる被検物の屈折率が等しくなるように被検物の屈折率（屈折率分散曲線）が算出される。

40

【実施例4】

【0096】

実施例1～3にて説明した屈折率計測装置および屈折率計測方法を用いた屈折率の計測結果をレンズ等の光学素子の製造方法にフィードバックすることも可能である。

【0097】

図6には、モールド成型を利用した光学素子の製造工程の例を示している。

50

【0098】

光学素子は、光学素子の設計工程、金型の設計工程および該金型を用いた光学素子のモールド成型工程を経て製造される。成型された光学素子は、その形状精度が評価され、精度不足である場合は金型を補正して再度モールド成型を行う。形状精度が良好であれば、該光学素子の光学性能が評価される。この光学性能の評価工程に、本発明の屈折率計測方法を組み込むことで、モールド成型される光学素子を精度良く量産することができる。

なお、光学性能が低い場合は、光学面を補正した光学素子在设计し直す。

【0099】

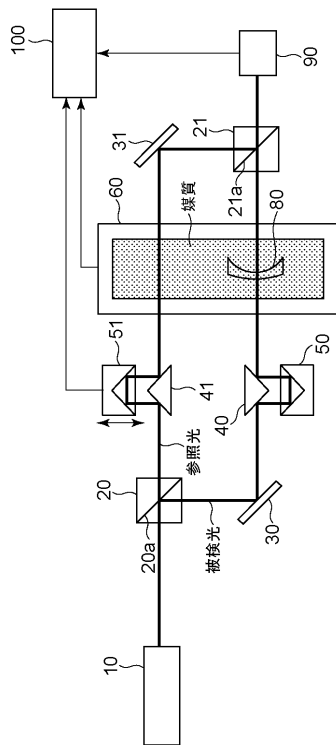
以上説明した各実施例は代表的な例にすぎず、本発明の実施に際しては、各実施例に対して種々の変形や変更が可能である。

【符号の説明】

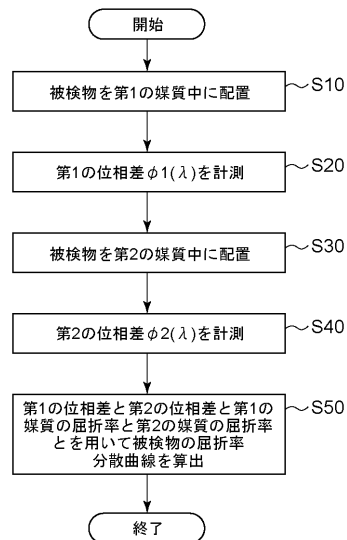
【0100】

- 10 光源
- 60 容器
- 80 被検物
- 90 検出器
- 100 コンピュータ

【図1】

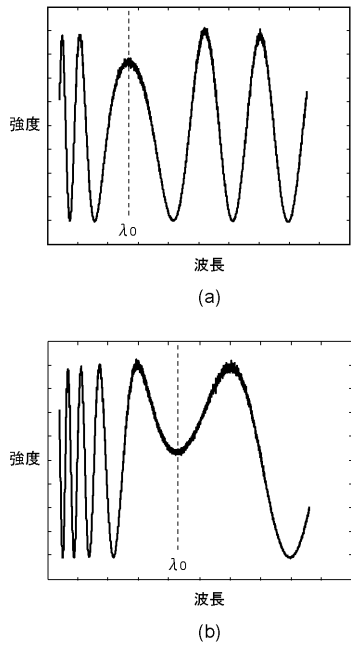


【図2】

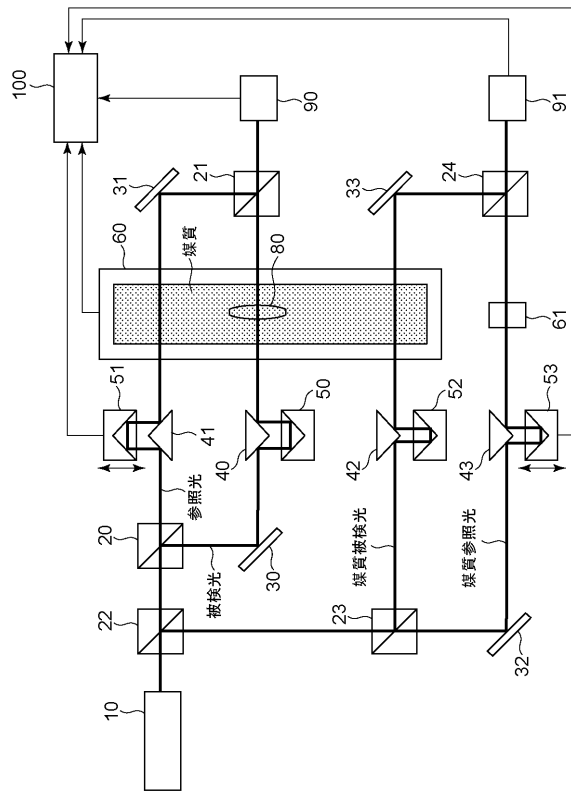




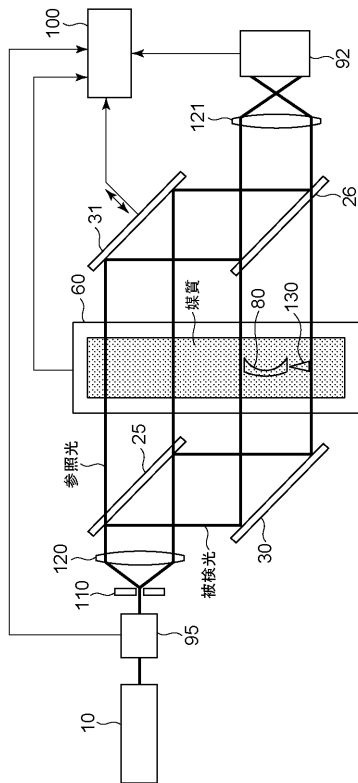
【 図 3 】



【 図 4 】



【 図 5 】



【 図 6 】

