

(19)日本国特許庁(JP)

(12)特許公報(B2)

(11)特許番号
特許第7600192号
(P7600192)

(45)発行日 令和6年12月16日(2024.12.16)

(24)登録日 令和6年12月6日(2024.12.6)

(51)国際特許分類 F I
G 0 1 B 9/02015(2022.01) G 0 1 B 9/02015
G 0 1 B 11/02 (2006.01) G 0 1 B 11/02 G

請求項の数 10 (全21頁)

(21)出願番号	特願2022-145622(P2022-145622)	(73)特許権者	000001007 キヤノン株式会社 東京都大田区下丸子3丁目30番2号
(22)出願日	令和4年9月13日(2022.9.13)	(74)代理人	100110412 弁理士 藤元 亮輔
(65)公開番号	特開2024-40947(P2024-40947A)	(74)代理人	100104628 弁理士 水本 敦也
(43)公開日	令和6年3月26日(2024.3.26)	(74)代理人	100121614 弁理士 平山 倫也
審査請求日	令和5年10月6日(2023.10.6)	(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
		審査官	櫻井 仁

最終頁に続く

(54)【発明の名称】 取得装置、取得方法および光学系の製造方法

(57)【特許請求の範囲】

【請求項1】

指標が設けられた指標面を含むチャートを照明する第1光源と、
前記チャートから出射した指標光を被検光学系に入射させる測定光学系と、
前記被検光学系の複数の被検面で反射した前記指標光を、前記測定光学系を介して受光する撮像素子と、

前記撮像素子の受光面において前記指標光による前記チャートの像が基準位置に形成されるように、前記測定光学系と前記被検光学系との相対位置を調整する調整手段と、

第2光源を含み、該第2光源からの光を被検光と参照光に分割し、前記参照光と、第1の点から出射して前記複数の被検面で反射した後に前記測定光学系を介して第2の点に入射した前記被検光とを干渉させることで干渉信号を取得する干渉計と、

前記干渉信号に基づいて前記複数の被検面のうち隣り合う被検面の間隔を算出する演算手段と、を有し、

前記指標面、前記第1の点を含む面、前記第2の点を含む面のそれぞれと、前記受光面とは、前記測定光学系に対して互いに共役関係であることを特徴とする取得装置。

【請求項2】

前記演算手段は、前記干渉信号に基づいて前記複数の被検面までの各光路長を算出し、該光路長に基づいて前記複数の被検面のうち隣り合う被検面の間隔を算出することを特徴とする請求項1に記載の取得装置。

【請求項3】

10

20

前記測定光学系の光軸を測定軸とするとき、

前記調整手段は、前記測定軸に対して平行方向および垂直方向に、前記測定光学系と前記被検光学系との前記相対位置を調整することを特徴とする請求項 1 に記載の取得装置。

【請求項 4】

前記測定光学系の光軸を測定軸とし、前記指標光のうち前記測定軸上を伝搬する光線を射出する点を前記チャートの原点とするとき、

前記チャートに形成されたパターンは、前記原点に関して非対称であることを特徴とする請求項 1 に記載の取得装置。

【請求項 5】

前記干渉計は、

前記参照光の光路長である参照光路長を変更する光路長変更手段を含み、

前記調整手段によって前記チャートの像が前記基準位置に形成されたのちに、前記光路長変更手段によって前記参照光路長を走査して得られる前記干渉信号を取得することを特徴とする請求項 1 に記載の取得装置。

【請求項 6】

光路長基準面を備える基準板を前記測定光学系と前記被検光学系との間に更に有し、

前記干渉計は、前記参照光と前記光路長基準面で反射した前記被検光とを干渉させることで基準干渉信号を取得し、

前記演算手段は、前記基準干渉信号に基づいて前記光路長基準面の基準光路長を算出し、前記基準光路長を用いて前記複数の被検面までの前記各光路長を補正することを特徴とする請求項 2 に記載の取得装置。

【請求項 7】

前記第 1 光源は、前記第 2 光源の光の一部をファイバで導光することで得られる光源であることを特徴とする請求項 1 に記載の取得装置。

【請求項 8】

前記基準位置において、前記チャートの原点の像の位置は、前記複数の被検面それぞれの曲率中心の位置と一致していることを特徴とする請求項 1 に記載の取得装置。

【請求項 9】

指標が設けられた指標面を含むチャートを照明する照明ステップと、

前記チャートから射出した指標光を測定光学系を介して被検光学系に入射させ、前記被検光学系の複数の被検面で反射した前記指標光を、前記測定光学系を介して撮像素子で受光する撮像ステップと、

前記撮像素子の受光面において前記指標光による前記チャートの像が基準位置に形成されるように、前記測定光学系と前記被検光学系との相対位置を調整する調整ステップと、

第 2 光源からの光を被検光と参照光に分割し、前記参照光と、第 1 の点から出射して前記複数の被検面で反射した後に前記測定光学系を介して第 2 の点に入射した前記被検光とを干渉させることで干渉信号を取得する取得ステップと、

前記干渉信号に基づいて前記複数の被検面のうち隣り合う被検面の間隔を算出する演算ステップと、を有し、

前記調整ステップにおける調整は、

前記指標面、前記第 1 の点を含む面、前記第 2 の点を含む面のそれぞれと、前記撮像素子の前記受光面とが、前記測定光学系に対して互いに共役であるという関係のもとで行われることを特徴とする取得方法。

【請求項 10】

請求項 9 に記載の取得方法を用いて前記被検光学系としての光学系の面間隔を取得するステップと、

前記面間隔の取得結果を用いて前記光学系を調整するステップと、を有することを特徴とする光学系の製造方法。

【発明の詳細な説明】

【技術分野】

10

20

30

40

50

【 0 0 0 1 】

本発明は、光学系の被検面の間隔を取得する取得装置に関する。

【 背景技術 】

【 0 0 0 2 】

複数の光学素子によって構成された光学系は、各光学素子の配置精度が光学性能に影響する。各光学素子が所望の位置に配置されているか調べるために、光学素子の面間隔を計測する技術が開発されている。

【 0 0 0 3 】

特許文献 1 には、各被検面の反射スポットの位置ズレから算出した被検光学系の最適基準軸と所定の測定基準軸とが一致するように調整手段で調整し、面間隔を計測する装置が開示されている。特許文献 2 には、光角測定デバイスで測定された各被検面の曲率中心の位置または被検光学系を透過した光の位置から、被検光学系の光軸を一時的に決定し、その光軸と参照軸とが揃うように被検光学系を配置し、各被検面の位置を測定する装置が開示されている。

10

【 先行技術文献 】

【 特許文献 】

【 0 0 0 4 】

【 文献 】特開 2 0 0 5 - 1 4 7 7 0 3 号公報

【 文献 】特開 2 0 1 2 - 1 1 8 0 6 6 号公報

【 発明の概要 】

20

【 発明が解決しようとする課題 】

【 0 0 0 5 】

しかしながら、特許文献 1 および特許文献 2 に開示された計測装置では、大きい偏心量の被検面が存在すると、面間隔測定および曲率中心位置測定において、その被検面から信号が得られない。

【 0 0 0 6 】

本発明は、大きい偏心量の被検面が存在しても、被検面の間隔を高精度に取得することができる取得装置を提供する。

【 課題を解決するための手段 】

【 0 0 0 7 】

30

本発明の一側面としての取得装置は、指標が設けられた指標面を含むチャートを照明する第 1 光源と、前記チャートから出射した指標光を被検光学系に入射させる測定光学系と、前記被検光学系の複数の被検面で反射した前記指標光を、前記測定光学系を介して受光する撮像素子と、前記撮像素子の受光面において前記指標光による前記チャートの像が基準位置に形成されるように、前記測定光学系と前記被検光学系との相対位置を調整する調整手段と、第 2 光源を含み、該第 2 光源からの光を被検光と参照光に分割し、前記参照光と、第 1 の点から出射して前記複数の被検面で反射した後に前記測定光学系を介して第 2 の点に入射した前記被検光とを干渉させることで干渉信号を取得する干渉計と、前記干渉信号に基づいて前記複数の被検面のうち隣り合う被検面の間隔を算出する演算手段と、を有し、前記指標面、前記第 1 の点を含む面、前記第 2 の点を含む面のそれぞれと、前記受光面とは、前記測定光学系に対して互いに共役関係であることを特徴とする。

40

【 0 0 0 8 】

本発明の他の側面としての取得方法は、指標が設けられた指標面を含むチャートを照明する照明ステップと、前記チャートから射出した指標光を測定光学系を介して被検光学系に入射させ、前記被検光学系の複数の被検面で反射した前記指標光を、前記測定光学系を介して撮像素子で受光する撮像ステップと、前記撮像素子の受光面において前記指標光による前記チャートの像が基準位置に形成されるように、前記測定光学系と前記被検光学系との相対位置を調整する調整ステップと、第 2 光源からの光を被検光と参照光に分割し、前記参照光と、第 1 の点から出射して前記複数の被検面で反射した後に前記測定光学系を介して第 2 の点に入射した前記被検光とを干渉させることで干渉信号を取得する取得ステ

50

ップと、前記干渉信号に基づいて前記複数の被検面のうち隣り合う被検面の間隔を算出する演算ステップと、を有し、前記調整ステップにおける調整は、前記指標面、前記第1の点を含む面、前記第2の点を含む面のそれぞれと、前記撮像素子の前記受光面とが、前記測定光学系に対して互いに共役であるという関係のもとで行われることを特徴とする。

【0009】

本発明の他の目的及び特徴は、以下の実施例において説明される。

【発明の効果】

【0010】

本発明によれば、大きい偏心量の被検面が存在しても、被検面の間隔を高精度に取得することができる。

10

【図面の簡単な説明】

【0011】

【図1】実施例1の面間隔計測装置の構成を示す図である。

【図2】実施例1における指標チャート、結像面チャートおよび撮像素子で撮像される像を示す図である。

【図3】実施例1における被検光学系の面間隔の計測手順を示すフローチャートである。

【図4】実施例2の面間隔計測装置の構成を示す図である。

【図5】実施例2における指標チャート、射出点・入射点・測定軸の位置関係および撮像素子で撮像される像を示す図である。

【図6】実施例3の面間隔計測装置の構成を示す図である。

20

【図7】実施例4の面間隔計測装置の構成を示す図である。

【図8】実施例5の面間隔計測装置の構成を示す図である。

【図9】各実施例の面間隔計測装置を用いた光学系の製造方法を示すフローチャートである。

【発明を実施するための形態】

【0012】

以下、本発明の実施形態について、図面を参照しながら詳細に説明する。各図において、同一の部材については同一の参照符号を付し、重複する説明は省略する。

【実施例1】

【0013】

図1は、実施例1に係る面間隔計測装置（取得装置）1の構成を示している。面間隔計測装置1は、照明光源（第1光源）11、指標チャート（チャート）40、測定光学系300、撮像素子90、ステージ（調整手段）150、干渉計400、コンピュータ（演算手段）100を有する。被検光学系60は、複数のレンズを組み合わせる構成された光学系である。面間隔計測装置1は、被検光学系60の複数の被検面（面数：N）の間隔を計測（取得）する。測定光学系300と被検光学系60の間には基準板120が配置されている。

30

【0014】

測定光学系300は、ビームスプリッタ35、コリメータレンズ50、対物レンズ55、結像面チャート80、結像レンズ52で構成されている。ビームスプリッタ35は、例えばペリクルビームスプリッタである。測定光学系300の光軸である測定軸1000は、図1のZ軸と平行であり、コリメータレンズ50の光軸とほぼ一致している。対物レンズ55は、最も被検光学系60に近いレンズである。

40

【0015】

照明光源11（例えば、ハロゲンランプやLED）から射出された照明光290は、拡散板41で拡散して透過型の指標チャート40を照明する。図2（A）は、本実施例における指標チャート40の模式図である。指標チャート40は、指標が設けられた指標面を含む。図2（A）の白色部は、光が透過する領域を示している。指標チャート40は、図1の指標チャート40の面40sが測定軸1000に垂直（つまり図1のXY面に平行）で、かつ、図2（A）の中心の白丸部が測定軸1000上にくるように配置されている。

50

面 4 0 s は、指標が設けられた指標面である。測定軸 1 0 0 0 上を伝搬する光線を射出する白丸部の位置を指標チャート 4 0 の原点とすると、指標チャート 4 0 に形成されたパターン（白三角部）は、原点に関して非対称となっている。

【 0 0 1 6 】

指標チャート 4 0 は、指標チャート 4 0 の面 4 0 s から発散光（指標光）2 5 0 を射出し、指標光 2 5 0 は測定光学系 3 0 0 に入射する。指標チャート 4 0 に形成されたパターン（図 2（A）の白三角部との白丸部）は互いに近傍（例えば 1 m m 以下の距離）にあるため、図 1 では、1 点から発散した光のように描画している。

【 0 0 1 7 】

測定光学系 3 0 0 に入射した指標光 2 5 0 は、ビームスプリッタ 3 5 を透過し、コリメータレンズ 5 0 を通って平行光となり、対物レンズ 5 5 で集光され、基準板 1 2 0 を透過して被検光学系 6 0 に入射する。対物レンズ 5 5 は、X、Y、Z のそれぞれの方向に動くステージ 1 5 0 上に設置されており、指標光 2 5 0 によって形成される指標チャート 4 0 の像（実像または虚像）の位置を調整することができる。ステージ 1 5 0 の位置は、コンピュータ 1 0 0 によって管理される。

【 0 0 1 8 】

指標光 2 5 0 によって形成される指標チャート 4 0 の原点の像の位置（X、Y、Z）が、被検光学系 6 0 における第 k（k = 1、2、・・・、N）の被検面 6 0 k（測定対象面）の見かけの曲率中心の位置（X_c、Y_c、Z_c）と一致している場合を考える。この場合、指標光 2 5 0 は測定対象面 6 0 k で反射して入射光路とほぼ同じ光路を逆進する。つまり、測定対象面 6 0 k で反射した指標光 2 5 0 は、基準板 1 2 0、対物レンズ 5 5、コリメータレンズ 5 0 を透過し、ビームスプリッタ 3 5 に至る。ビームスプリッタ 3 5 において、指標光 2 5 0 の一部が反射し、結像面チャート 8 0 の面 8 0 s 上に指標チャート 4 0 の像が結像される。結像面チャート 8 0 の面 8 0 s 上の像は、結像レンズ 5 2 を介して撮像素子 9 0 の受光面 9 0 s に結像する。撮像素子 9 0 で撮像された画像はコンピュータ 1 0 0 に送られる。

【 0 0 1 9 】

尚、測定対象面 6 0 k 以外の被検面で反射した指標光 2 5 0 も撮像素子 9 0 に到達している。しかし、それら指標光 2 5 0 のほとんどは、測定光学系 3 0 0 においてケラれ、かつ、撮像素子 9 0 の面 9 0 s 上で結像しないため無視できる。

【 0 0 2 0 】

結像面チャート 8 0 には、図 2（B）のような基準線（破線）が描かれている。そのため、撮像素子 9 0 は、指標チャート 4 0 の像と基準線の像を同時に撮像する。図 2（C）は、指標チャート 4 0 の原点の像の位置（X、Y、Z）と測定対象面 6 0 k の見かけの曲率中心の位置（X_c、Y_c、Z_c）とが、X = X_c、Y = Y_c、Z = Z_c のとき、撮像素子 9 0 が撮像する像の例である。図 2（D）は、X = X_c、Y = Y_c、Z = Z_c のとき、撮像素子 9 0 が撮像する像である。図 2（D）は、平面ミラーをコリメータレンズ 5 0 と対物レンズ 5 5 の間に、XY 面と平行になるように配置し、指標光 2 5 0 を平面ミラーで反射した際に観察される像と同じであり、このときの像の位置を基準位置とする。尚、図 2（C）および図 2（D）は、分かりやすいように、図 2（A）のパターンの配置と上下左右の向きを一致させた画像を表示している。実際は、撮像素子 9 0 の受光面 9 0 s の上下左右の向きとコンピュータ 1 0 0 における信号処理に依存して、上下左右の反転された画像が得られる。

【 0 0 2 1 】

干渉計 4 0 0 は、低コヒーレンス光源（第 2 光源）1 0、ファイバ 2 0、2 1、2 2、2 3、ファイバカプラ 3 0、コリメータレンズ 5 1、ミラー 7 0（例えばリトロリフレクタ）、検出器 9 1、ステージ（光路長変更手段、参照ステージ）1 5 1 で構成される。本実施例の干渉計 4 0 0 は、マイケルソン干渉計である。低コヒーレンス光源 1 0 は、SLD（Super Luminescent Diode）光源や ASE（Amplified Spontaneous Emission）光源などの広帯域光源である。低コヒー

10

20

30

40

50

レンズ光源 10 の光は、ファイバ 20 を通り、ファイバカブラ 30 において被検光 200 と参照光 201 に分割される。参照光はファイバ 22 を通って射出する。被検光は、ファイバ 21 を通って指標チャート 40 の面 40s と同一平面上の点（本実施例では図 2（A）の白丸部）から発散して射出される。拡散板 41 と指標チャート 40 にはファイバ 21 を通すための穴があいており、ファイバ 21 のファイバ端 21p は指標チャート 40 の面 40s 上に配置されている。

【0022】

ファイバ 21 のファイバ端（射出点（第 1 の点））21p から射出された被検光 200 は、測定光学系 300 に入射する。被検光 200 は、ビームスプリッタ 35 を透過し、コリメータレンズ 50 で平行光となり、対物レンズ 55 で集光され、基準板 120 を透過して被検光学系 60 に入射する。

10

【0023】

指標光 250 と同様に、被検光 200 の集光点（ファイバ端 21p の実像または虚像）の位置が、測定対象面 60k の見かけの曲率中心の位置と一致している場合、被検光 200 は測定対象面 60k で反射して入射光路と同じ光路を逆進する。つまり、測定対象面 60k で反射した被検光 200 は、基準板 120、対物レンズ 55、コリメータレンズ 50、ビームスプリッタ 35 を透過してファイバ端（入射点（第 2 の点））21p に戻る。本実施例では被検光 200 の射出点と入射点は同一である。

【0024】

本実施例において、指標光 250 によって形成される指標チャート 40 の原点の像の位置と被検光 200 によって形成されるファイバ端 21p の像の位置は一致している。つまり、測定光学系 300 に対して、指標チャートの面 40s、ファイバ端（射出点と入射点）21p を含む面（本実施例では指標チャートの面 40s と同一）のそれぞれと、撮像素子の受光面 90s とが互いに共役関係となっている。本実施例では、結像面チャートの面 80s と共役関係である。

20

【0025】

尚、測定対象面 60k 以外の被検面で反射した被検光 200 の一部は、入射点 21p に戻ってくる。しかし、それら被検光 200 のほとんどは、測定光学系 300 においてケラレ、かつ、入射点 21p に集光しないため、入射点 21p に戻る光量はわずかである。被検面以外に、基準板 120 の面（光路長基準面）120s で反射して入射点 21p に戻る被検光 200 も存在する。光路長基準面 120s は反射防止膜が塗布されておらず、かつ、平面なので、光路長基準面 120s で反射した被検光 200 は、ある程度の光量が入射点 21p に戻る。

30

【0026】

ファイバ端 21p に戻った被検光 200 は、ファイバ 21 を再度通ってファイバカブラ 30 に至る。また、ファイバ 22 から射出された参照光 201 は、コリメータレンズ 51 で平行光となり、ミラー 70 で反射し、再度コリメータレンズ 51、ファイバ 22 を通ってファイバカブラ 30 に至る。被検光 200 と参照光 201 は、ファイバカブラ 30 で干渉し、干渉光はファイバ 23 を通って検出器（例えばフォトダイオード）91 で受光され、その信号がコンピュータ 100 に送られる。

40

【0027】

ミラー 70 は、図 1 の矢印方向（Z 方向）に動く参照ステージ 151 上に設置されており、参照ステージ 151 を動かすことで参照光 201 の光路長（参照光路長）を変化させることができる。干渉信号の包絡線は、被検光 200 の光路長と参照光 201 の光路長が等しいとき極大値をとる。参照ステージ 151 の位置の情報（例えば、不図示のエンコーダや測長器の出力値）は、コンピュータ 100 に送られる。

【0028】

コンピュータ 100 は干渉信号に基づいて測定対象面 60k の光路長を算出する。測定対象面 60k（ $k = 1, 2, \dots, N$ ）を順次変えながら各被検面の光路長を算出し、被検光学系 60 の面間隔を算出する。

50

【 0 0 2 9 】

図 3 は、実施例 1 における被検光学系 6 0 の面間隔の計測手順（取得手順）を示すフローチャートである。

【 0 0 3 0 】

まず、ステップ S 1 0 において、複数の被検面（面数：N）の中から測定対象面 6 0 k（第 k の被検面）を選択する。測定対象面 6 0 k は、被検光学系 6 0 の第 1 面から第 N 面まで順番（光路長の順）に選択してもよいし、曲率中心位置の遠近の順に選択してもよい。また、各被検面に対して対物レンズ 5 5 を設置する位置の順に選択してもよいし、ランダムな順で選んでもよい。

【 0 0 3 1 】

次に、ステップ S 2 0 において、測定対象面 6 0 k における対物レンズ 5 5 の設計位置と参照ステージ 1 5 1 の設計位置を算出する。対物レンズ 5 5 の設計位置は、指標チャート 4 0 の原点の像の位置と測定対象面 6 0 k の見かけの曲率中心位置とが一致する状態における対物レンズ 5 5 の X、Y、Z 位置（計算値）のことである。この値は、被検光学系 6 0 の設計値を用いて、近軸計算または光線追跡によって算出される。参照ステージ 1 5 1 の設計位置は、測定対象面 6 0 k で反射する被検光 2 0 0 の光路長と参照光 2 0 1 の光路長とが等しくなるときの参照ステージ 1 5 1 の位置であり、被検光学系 6 0 の設計値から算出される。

【 0 0 3 2 】

そして、ステップ S 3 0 において、撮像素子 9 0 の受光面 9 0 s において指標チャート 4 0 の像が基準位置に形成されるように、対物レンズ 5 5 の位置をステージ 1 5 0 で調整する。このステップでは、まず、対物レンズ 5 5 を設計位置の近傍に配置し、撮像素子 9 0 の受光面 9 0 s 上に指標チャート 4 0 の像が結像するように対物レンズ 5 5 の Z 方向の位置を調整する。像が撮像素子 9 0 の視野から外れている場合は対物レンズ 5 5 の X、Y 方向の調整も行う。このとき、測定対象面 6 0 k が偏心していると、図 2（C）のように、指標チャートの像が基準位置からずれた像が観察される。そこで、撮像素子 9 0 で観察される像が基準位置に形成されるように（図 2（D）のようになるように）、対物レンズ 5 5 の X、Y 位置を調整する。

【 0 0 3 3 】

続いて、ステップ S 4 0 において、参照ステージ 1 5 1 によって参照光路長を走査して干渉信号を取得する。干渉信号は、参照ステージ 1 5 1 を駆動可能範囲すべて移動させて取得してもよいが、参照ステージ 1 5 1 の設計位置近傍の範囲だけ移動させて取得するほうが測定時間短縮につながる。

【 0 0 3 4 】

そして、ステップ S 5 0 において、干渉信号の包絡線が極大値をとるときの参照ステージ 1 5 1 の位置に基づいて、測定対象面 6 0 k の光路長を算出する。測定対象面 6 0 k 以外の被検面で反射した被検光 2 0 0 もファイバ端 2 1 p に戻ってきているため、干渉信号の包絡線が極大値をとる箇所は複数存在する。どれが測定対象面 6 0 k の極大値か特定するには、ステップ S 2 0 で算出した参照ステージ 1 5 1 の設計位置の情報を利用する。設計位置近傍の極大値が測定対象面 6 0 k の極大値である。または、測定対象面 6 0 k で反射した被検光 2 0 0 は入射点 2 1 p に集光しているため、他の被検面で反射した被検光 2 0 0 よりも強度が大きい。そこで、大きい極大値が測定対象面 6 0 k の極大値に相当すると判断してもよい。

【 0 0 3 5 】

それから、ステップ S 6 0 において、すべての被検面の光路長を測定（取得）したかどうか（面総数 = N）チェックする。完了した場合は、フローはステップ S 7 0 に移行し、未完了の場合はステップ S 1 0 に戻る。

【 0 0 3 6 】

最後に、ステップ S 7 0 において、各被検面の光路長に基づいて被検面の間隔を算出する。このステップでは、まず、隣り合う被検面それぞれの光路長の値と、その被検面間の

10

20

30

40

50

屈折率の情報を抽出する。屈折率の情報は被検光学系 60 の設計値でよい。そして、隣り合う被検面それぞれの光路長から光路長差を算出し、別途、屈折率の情報と低コヒーレンス光源 10 の中心波長 λ_0 から群屈折率 $N_g(\lambda_0)$ も算出する。群屈折率は以下の式 (1) を用いて算出できる。

【0037】

$$N_g(\lambda_0) = N_p(\lambda_0) - \lambda_0 (dN_p(\lambda_0)/d\lambda) \dots (1)$$

ただし、 $N_p(\lambda_0)$ は波長 λ_0 における位相屈折率、 λ_0 は波長である。そして、算出した光路長差を群屈折率で除算することで面間隔が算出できる。被検面間隔が空気の場合は、群屈折率の除算を省略し、光路長差そのものを面間隔としてもよい。この計算をすべての被検面間において行う。以上で計測フローが完了する。

10

【0038】

通常、被検面が大きく偏心 (例えば 0.1 mm ~ 1 mm) していると、その被検面による反射光が入射点 21p に戻らないため光路長を測定できない。本実施例では、指標チャート 40 の面 40s、射出点 21p を含む面、入射点 21p を含む面のそれぞれと、撮像素子 90 の受光面 90s とが互いに共役関係になっている。この関係のもと、指標チャート 40 の像が基準位置に形成されるように、対物レンズ 55 と被検光学系 60 を相対的に移動 (本実施例では被検光学系 60 は固定し対物レンズ 55 だけ移動) させる。この状態では、測定対象面 60k で反射した被検光 200 は、必然的に入射点 21p に戻る。このため、各被検面の光路長を確実に測定することができ、大きな偏心量の被検面を有する被検光学系 60 の面間隔も計測が可能となる。

20

【0039】

本実施例では、図 2 (A) のような原点に対して非対称なパターンの指標チャート 40 を使用した。これは、指標光 250 によって形成される指標チャート 40 の原点の像の位置が、被検面 60k の曲率中心にあるのか、被検面 60k の表面にあるのか判別するためである。もし指標チャート 40 のパターンが原点に対して対称の場合、指標チャート 40 の像が被検面 60k の曲率中心位置に形成されている状態と、被検面 60k の表面位置に形成されている状態とで同じ像が観察されるため、どちらの状態なのか見分けがつかない。一方、本実施例のような非対称パターンの指標チャート 40 を用いれば、指標チャート 40 の像が被検面 60k の表面位置に形成されている場合、図 2 (E) のような像 (図 2 (D) と比べて指標チャート 40 の像が原点に関して反転した像) が観察される。ステップ S30 において、対物レンズ 55 を設計位置近傍に配置した際に、他の被検面の表面に指標光 200 が集光し、撮像素子 90 上で指標チャート 40 の複数の像が観察されるときがある。そのとき、本実施例のような原点に対して非対称なパターンが効果を発揮する。

30

【0040】

本実施例では、指標チャート 40 に図 2 (A) のような形状のチャートを用いたが、原点に対して非対称なパターンであれば任意の形状でよい。例えば、三角形の代わりに十字、丸、四角などを配置してもよい。

【0041】

本実施例では、被検面 60k ごとに光路長の測定を繰り返すため、全光路長を測定するのに時間がかかる。そのため、測定の最中に生じる、ファイバ 20、21、22、23 や測定光学系 300 内の熱膨張、光学素子のドリフトなどが無視できなくなることがある。その場合は、各被検面の干渉信号を取得する際に、光路長基準面 120s の干渉信号 (基準干渉信号) を同時に測定すればいい。基準干渉信号から算出した光路長基準面 120s の光路長 (基準光路長) も、熱膨張やドリフトの影響を受けた値となる。この基準光路長を用いて、測定対象面 60k の光路長から熱膨張や光学素子のドリフトの影響を補正できる。本実施例では、基準板 120 の面 120s を光路長基準面としたが、被検光学系 60 の第 1 面が平面に近い場合、第 1 面を光路長基準面として使用することもできる。

40

【0042】

本実施例では、指標光 250 と被検光 200 が同一平面上 40s から射出される構成をとっている。しかし、指標光 250 と被検光 200 が射出される点は、厳密に同一平面上

50

(同じZ座標)である必要は無く、例えば、結像する光の焦点深度程度乖離しても問題ない。指標光250と被検光200で波長が大きく異なる場合は、色収差も考慮して指標チャート40とファイバ端21pの位置を調整するのが望ましい。

【0043】

本実施例では、対物レンズ55をステージ150上に配置し、対物レンズ55と被検光学系60の相対位置を調整した。その代わりに、対物レンズ55を固定し、被検光学系60をステージ上に配置して被検光学系60の位置を調整してもよい。または、対物レンズ55と被検光学系60の両方ともが調整手段を有してもいい。もしくは、指標チャート40、測定光学系300、撮像素子90をすべてステージ上に配置し、それらの位置をまとめて動かすことで、対物レンズ55と被検光学系60の相対位置を調整してもよい。

10

【0044】

本実施例では、照明光源11と低コヒーレンス光源10の2つの光源を用いているが、照明光源11を低コヒーレンス光源10で代用してもよい。例えば、低コヒーレンス光源10の光の一部をファイバ等で照明光源11の箇所に導光すれば、照明光源11を取り除くことができる。

【0045】

本実施例では、指標チャート40から射出される指標光250がいろいろな方向に発散するように拡散板41を設置したが、指標チャート40の光透過部(本実施例では図2(A)の白三角形部)のエッジで光が回折するので拡散板41は取り外してもよい。

【0046】

本実施例では、結像面チャート80に図2(B)のような基準線を有するチャートを用いたが、任意の形状のチャートでもよい。または、結像面チャート80を取り除いてもよい。基準線は、撮像素子90で得られる画像を表示するディスプレイに直接描画してもよいし、画像データにオーバーレイして表示してもよい。

20

【0047】

本実施例では、ビームスプリッタ35としてペリクルビームスプリッタを用いたが、キューブ型ビームスプリッタ、ハーフミラーでもよい。

【0048】

本実施例では、結像面チャート80の面上80sに結像した指標チャート40の像を、結像レンズ52を介して撮像素子90で撮像した。その代わりに、結像面チャート80、結像レンズ52を取り除き、結像面チャート80の位置に撮像素子90を配置してもよい。

30

【0049】

本実施例では、光路長を計測する際に、ステージ151を駆動するTD-OCT(Time Domain-Optical Coherence Tomography)の原理を用いた。その代わりに、検出器91を分光器に交換したSD(Spectral Domain)-OCTや、光源10を波長掃引光源に交換したSS(Swept Source)-OCTを搭載することもできる。ただし、SD-OCTやSS-OCTでは、通常、測定可能な奥行き方向の範囲がTD-OCTより小さい(波長分解能に依存するため)。そのため、本実施例にSD-OCTやSS-OCTの原理を使用する際は、ミラー70の位置の移動または被検光学系60の位置の移動と組合せて使用する必要がある。

40

【実施例2】

【0050】

図4は、実施例2に係る面間隔計測装置2の構成を示している。面間隔計測装置2は、照明光源12、指標チャート40、測定光学系300、撮像素子90、ステージ(調整手段)150、干渉計400、コンピュータ(演算手段)100を有する。測定光学系300は、ビームスプリッタ36、39、コリメータレンズ50、対物レンズ55、結像レンズ52で構成されている。ビームスプリッタ39は、例えばダイクロイックミラーである。干渉計400は、低コヒーレンス光源10、ファイバ20~26、ファイバカップラ30、31、ビームスプリッタ37、コリメータレンズ51、ミラー75、差分検出器92、ステージ(光路長変更手段、参照ステージ)151で構成される。本実施例の干渉計40

50

0 は、マッハツェンダ干渉計である。ミラー 75 は例えば平面ミラーである。

【0051】

照明光源 12 (例えば、半導体レーザ) から射出された光 290 は指標チャート 40 を照明する。図 5 (A) は本実施例における指標チャート 40 の模式図である。指標チャート 40 は、指標チャート 40 の面 40s から発散光 (指標光) 250 を射出し、指標光 250 は測定光学系 300 に入射する。指標チャート 40 に形成されたにパターン (図 5 (A) の白十字部) は互いに近傍にあるため、図 4 では、1 点から発散した光のように描画している。

【0052】

測定光学系 300 に入射した指標光 250 は、ビームスプリッタ 36、39 で反射し、
10
コリメータレンズ 50 を通って平行光となり、対物レンズ 55 で集光されて被検光学系 60 に入射する。対物レンズ 55 は、X、Y、Z のそれぞれの方向に動くステージ 150 上に設置されており、指標チャート 40 の像の位置を調整することができる。ステージ 150 の位置は、コンピュータ 100 によって管理される。

【0053】

指標光 250 のうち測定軸 1000 上を伝搬する光線を射出する点を指標チャート 40 の原点とする。このとき、指標チャート 40 の原点の像の位置が、被検光学系 60 の測定対象面 60k の曲率中心位置と一致している場合、指標光 250 は測定対象面 60k で反射して入射光路とほぼ同じ光路を逆進する。測定対象面 60k で反射した指標光 250 は、
20
対物レンズ 55、コリメータレンズ 50、ビームスプリッタ 39、36、結像レンズ 52 を介して撮像素子 90 の受光面 90s 上に結像する。撮像素子 90 で撮像された画像はコンピュータ 100 に送られる。

【0054】

低コヒーレンス光源 10 の光は、ファイバ 20 を通り、ファイバカプラ 30 において被検光 200 と参照光 201 に分割される。参照光 201 はファイバ 22 を通って射出される。被検光 200 は、ファイバ 21 を通ってファイバ端 (射出点) 21p から発散して射出される。射出点 21p から射出された被検光 200 は、測定光学系 300 に入射する。被検光 200 は、ビームスプリッタ 39 を透過し、コリメータレンズ 50 で平行光となり、
30
対物レンズ 55 で集光されて被検光学系 60 に入射する。

【0055】

指標光 250 と同様に、被検光 200 によって形成されるファイバ端 21p の実像または虚像の位置が、測定対象面 60k の曲率中心位置とほぼ一致している場合、被検光 200 は測定対象面 60k で反射して入射光路とほぼ同じ光路を逆進する。測定対象面 60k で反射した被検光 200 は、対物レンズ 55、コリメータレンズ 50、ビームスプリッタ 39 を透過してファイバ 23 のファイバ端 (入射点) 23p に入射する。
40

【0056】

図 5 (B) は、面 21s における射出点 21p、入射点 23p、測定軸 1000 の位置関係である。実施例 1 では、射出点と入射点は、同じ位置にあり、かつ、測定軸 1000 上にあったが、本実施例では測定軸 1000 に関して対称の位置に存在する。図 5 (C) は、指標チャート 40 の像が撮像素子 90 の受光面 90s 上の基準位置に形成されたときに、撮像素子 90 で撮像される像である。白丸は射出点 21p の像および入射点 23p の像を示している。

【0057】

ファイバ端 23p に戻った被検光 200 は、ファイバ 23 を通ってファイバカプラ 31 に至る。また、ファイバ 22 から射出された参照光 201 は、ビームスプリッタ 37 を透過し、コリメータレンズ 51 で平行光となり、ミラー 75 で反射し、再度コリメータレンズ 51 を通り、ビームスプリッタ 37 で反射し、ファイバ 24 に入射する。ファイバ 24 に入射した参照光 201 は、ファイバ 24 を通ってファイバカプラ 31 に至る。被検光 200 と参照光 201 は、ファイバカプラ 31 で干渉し、干渉光はファイバ 25、26 を通って差分検出器 (バランスディテクタ) 92 で受光され、その信号がコンピュータ 100
50

に送られる。

【 0 0 5 8 】

ミラー 7 5 は、図 4 の矢印方向 (Y 方向) に動く参照ステージ 1 5 1 上に設置されており、参照ステージ 1 5 1 を動かすことで参照光 2 0 1 の光路長を変化させることができる。参照ステージ 1 5 1 の位置の情報は、コンピュータ 1 0 0 に送られる。

【 0 0 5 9 】

コンピュータ 1 0 0 は、干渉信号に基づき測定対象面 6 0 k の光路長を算出する。測定対象面 6 0 k を順次変えながら各被検面の光路長を算出し、被検面の間隔を算出する。

【 0 0 6 0 】

本実施例において、指標チャート 4 0 の面 4 0 s、射出点 2 1 p を含む面 2 1 s、入射点 2 3 p を含む面 2 1 s のそれぞれと、撮像素子 9 0 の受光面 9 0 s とが、測定光学系 3 0 0 に対して互いに共役関係となっている。この関係のもと、図 5 (C) のような基準位置に指標チャート 4 0 の像が形成されるように対物レンズ 5 5 の位置を調整すると、必然的に射出点 2 1 p から射出された被検光 2 0 0 は入射点 2 3 p に入射する。つまり、被検面 6 0 k に大きな偏心があったとしても被検面 6 0 k の光路長を測定することができる。

【 実施例 3 】

【 0 0 6 1 】

図 6 は、実施例 3 に係る面間隔計測装置 3 の構成を示している。面間隔計測装置 3 は、照明光源 1 1、指標チャート 4 0、測定光学系 3 0 0、撮像素子 9 0、ステージ (調整手段) 1 5 0、干渉計 4 0 0、コンピュータ (演算手段) 1 0 0 を有する。測定光学系 3 0 0 は、ビームスプリッタ 3 5、コリメータレンズ 5 0、5 3、対物レンズ 5 5、ミラー 7 6 で構成されている。干渉計 4 0 0 は、低コヒーレンス光源 1 0、サーキュレータ 1 1 0、ファイバ 2 0、2 1、2 2、2 3、2 4、2 5、ファイバカプラ 3 0、コリメータレンズ 5 1、ミラー 7 5、差分検出器 9 2、ステージ (光路長変更手段、参照ステージ) 1 5 1 で構成される。本実施例の干渉計 4 0 0 は、マイケルソン干渉計である。

【 0 0 6 2 】

照明光源 1 1 から射出された光 2 9 0 は指標チャート 4 0 を照明し、指標チャート 4 0 の面 4 0 s から発散光 (指標光) 2 5 0 を射出し、指標光 2 5 0 は測定光学系 3 0 0 に入射する。測定光学系 3 0 0 に入射した指標光 2 5 0 は、ビームスプリッタ 3 5 を透過し、コリメータレンズ 5 0 を通って平行光となる。指標光 2 5 0 のうち、光束中心付近の一部の光はミラー 7 6 によって遮られ、光束の周辺付近の一部の光は対物レンズ 5 5 で集光されて被検光学系 6 0 に入射する。対物レンズ 5 5 は、X、Y、Z のそれぞれの方向に動くステージ 1 5 0 上に設置されており、指標光 2 5 0 の集光点によって形成される指標チャート 4 0 の原点の像の位置 (X , Y , Z) を調整することができる。ステージ 1 5 0 の位置は、コンピュータ 1 0 0 によって管理される。

【 0 0 6 3 】

指標チャート 4 0 の原点の実像または虚像の位置が、被検光学系 6 0 の測定対象面 6 0 k の曲率中心位置と一致している場合、指標光 2 5 0 は測定対象面 6 0 k で反射して入射光路とほぼ同じ光路を逆進する。測定対象面 6 0 k で反射した指標光 2 5 0 は、対物レンズ 5 5、コリメータレンズ 5 0、ビームスプリッタ 3 5 を介して撮像素子 9 0 の受光面 9 0 s 上に結像する。本実施例では、指標光 2 5 0 の光束中心光線がなく、周辺光線のみで形成される像 (高周波成分のみの像) となるが、指標チャート 4 0 の像を形成するには十分である。撮像素子 9 0 で撮像された画像はコンピュータ 1 0 0 に送られる。

【 0 0 6 4 】

低コヒーレンス光源 1 0 の光は、ファイバ 2 0、サーキュレータ 1 1 0、ファイバ 2 3 を通り、ファイバカプラ 3 0 において被検光 2 0 0 と参照光 2 0 1 に分割される。参照光 2 0 1 はファイバ 2 2 を通って射出される。被検光 2 0 0 はファイバ 2 1 を通ってファイバ端 (射出点) 2 1 p から発散して射出される。射出点 2 1 p から射出された被検光 2 0 0 は、測定光学系 3 0 0 に入射する。被検光 2 0 0 は、コリメータレンズ 5 3 で平行光となり、ミラー 7 6 で反射し、対物レンズ 5 5 で集光されて被検光学系 6 0 に入射する。

10

20

30

40

50

【 0 0 6 5 】

指標光 2 5 0 と同様に、被検光 2 0 0 によって形成される射出点 2 1 p の実像または虚像の位置が、測定対象面 6 0 k の曲率中心位置と一致している場合、被検光 2 0 0 は測定対象面 6 0 k で反射して入射光路と同じ光路を逆進する。測定対象面 6 0 k で反射した被検光 2 0 0 は、対物レンズ 5 5、ミラー 7 6、コリメータレンズ 5 3 を介してファイバ 2 1 のファイバ端（入射点）2 1 p に戻る。

【 0 0 6 6 】

ファイバ端 2 1 p に戻った被検光 2 0 0 は、ファイバ 2 1 を通ってファイバカブラ 3 0 に至る。また、ファイバ 2 2 から射出された参照光 2 0 1 は、コリメータレンズ 5 1 で平行光となり、ミラー 7 5 で反射し、再度コリメータレンズ 5 1 を通り、ファイバ 2 2 に入射し、ファイバ 2 2 を通ってファイバカブラ 3 0 に至る。被検光 2 0 0 と参照光 2 0 1 は、ファイバカブラ 3 0 で干渉し、干渉光の一方はファイバ 2 4 を通って差分検出器（パランスディテクタ）9 2 に至る。干渉光の他方はファイバ 2 3、サーキュレータ 1 1 0、ファイバ 2 5 を通って差分検出器 9 2 に至る。差分検出器 9 2 で受光された干渉信号がコンピュータ 1 0 0 に送られる。

10

【 0 0 6 7 】

ミラー 7 5 は、図 6 の矢印方向（Z 方向）に動く参照ステージ 1 5 1 上に設置されており、参照ステージ 1 5 1 を動かすことで参照光 2 0 1 の光路長を変化させることができる。参照ステージ 1 5 1 の位置の情報は、コンピュータ 1 0 0 に送られる。

【 0 0 6 8 】

コンピュータ 1 0 0 は、干渉信号に基づき測定対象面 6 0 k の光路長を算出する。測定対象面 6 0 k を順次変えながら各被検面の光路長を算出し、被検面の間隔を算出する。

20

【 0 0 6 9 】

本実施例において、指標チャート 4 0 の面 4 0 s、ファイバ端 2 1 p（射出点および入射点）を含む面 2 1 s のそれぞれと、撮像素子 9 0 の受光面 9 0 s とが、測定光学系 3 0 0 に対して互いに共役関係となっている。この関係のもと、指標チャート 4 0 の像が基準位置にくるように対物レンズ 5 5 を調整すると、必然的に射出点 2 1 p から射出された被検光 2 0 0 は入射点 2 1 p に入射する。つまり、被検面 6 0 k に大きな偏心があったとしても被検面 6 0 k の光路長を測定することができる。

【 実施例 4 】

30

【 0 0 7 0 】

図 7 は、実施例 4 に係る面間隔計測装置 4 の構成を示している。面間隔計測装置 4 は、照明光源 1 3、指標チャート 4 5、測定光学系 3 0 0、撮像素子 9 0、ステージ（調整手段）1 5 0、干渉計 4 0 0、コンピュータ（演算手段）1 0 0 を有する。測定光学系 3 0 0 は、ビームスプリッタ 3 5、3 6、3 7、コリメータレンズ 5 0、5 3、対物レンズ 5 5、結像レンズ 5 2 で構成されている。干渉計 4 0 0 は、低コヒーレンス光源 1 0、ファイバ 2 0、2 1、2 2、2 3、2 4、2 5、ファイバカブラ 3 0、3 1、ビームスプリッタ 3 8、コリメータレンズ 5 1、ミラー 7 5、検出器 9 1、ステージ（光路長変更手段、参照ステージ）1 5 1 で構成される。本実施例の干渉計 4 0 0 は、マッハツェンダ干渉計である。

40

【 0 0 7 1 】

照明光源 1 3（例えば中空のリング照明 LED）から射出された光 2 9 0 は反射型の指標チャート 4 5 を照明し、指標チャート 4 5 の面 4 5 s から発散光（指標光）2 5 0 を射出し、指標光 2 5 0 は測定光学系 3 0 0 に入射する。測定光学系 3 0 0 に入射した指標光 2 5 0 は、ビームスプリッタ 3 5 で反射し、コリメータレンズ 5 0 を通って平行光となる。指標光 2 5 0 は対物レンズ 5 5 で集光され、ビームスプリッタ 3 6 と基準板 1 2 0 を透過し、被検光学系 6 0 に入射する。被検光学系 6 0 および基準板 1 2 0 は、X、Y、Z のそれぞれの方向に動くステージ 1 5 0 上に設置されており、対物レンズ 5 5 に対する被検光学系 6 0 の相対位置を調整することができる。ステージ 1 5 0 の位置は、コンピュータ 1 0 0 によって管理される。

50

【 0 0 7 2 】

指標チャート45の原点の虚像が、測定対象面60kで反射した指標光250によって測定軸1000の負の無限の位置に形成される場合、指標光250は、平行光となって被検光学系60から射出される。被検光学系60から射出された指標光250は、基準板120を透過し、ビームスプリッタ36、37で反射し、結像レンズ52を介して撮像素子90の受光面90s上に結像する。撮像素子90で撮像された画像はコンピュータ100に送られる。

【 0 0 7 3 】

低コヒーレンス光源10の光は、ファイバ20を通りファイバカプラ30において被検光200と参照光201に分割される。参照光201はファイバ22を通って射出される。被検光200はファイバ21を通ってファイバ端(射出点)21pから発散して射出される。射出点21pから射出された被検光200は、測定光学系300に入射する。被検光200は、コリメータレンズ50で平行光となり、対物レンズ55で集光され、ビームスプリッタ36、基準板120を透過して被検光学系60に入射する。

10

【 0 0 7 4 】

指標光250と同様に、ファイバ端(射出点)21pの虚像が、測定対象面60kで反射した被検光200によって測定軸1000の負の無限の位置に形成される場合、被検光200は平行光となって被検光学系60から射出される。被検光学系60から射出された被検光200は、基準板120を透過し、ビームスプリッタ36で反射し、ビームスプリッタ37を透過し、コリメータレンズ53で集光され、ファイバ23のファイバ端(入射点)23pに入射する。

20

【 0 0 7 5 】

ファイバ端23pに戻った被検光200は、ファイバ23を通ってファイバカプラ31に至る。また、ファイバ22から射出された参照光201は、ビームスプリッタ38を透過し、コリメータレンズ51で平行光となり、ミラー75で反射し、再度コリメータレンズ51を通り、ビームスプリッタ38で反射し、ファイバ24に入射する。ファイバ24に入射した参照光201は、ファイバ24を通ってファイバカプラ31に至る。被検光200と参照光201は、ファイバカプラ31で干渉し、干渉光はファイバ25を通って検出器91で受光され、その信号がコンピュータ100に送られる。

【 0 0 7 6 】

ミラー75は、図7の矢印方向(Z方向)に動く参照ステージ151上に設置されており、参照ステージ151を動かすことで参照光201の光路長を変化させることができる。参照ステージ151の位置の情報は、コンピュータ100に送られる。

30

【 0 0 7 7 】

コンピュータ100は、干渉信号に基づき測定対象面60kの光路長を算出する。測定対象面60kを順次変えながら各被検面の光路長を算出し、被検面の間隔を算出する。

【 0 0 7 8 】

本実施例において、指標チャート45の面45s、射出点21pを含む面21s、入射点23pを含む面23sのそれぞれと、撮像素子90の受光面90sとが、測定光学系300に対して互いに共役関係となっている。この関係のもと、指標チャート45の像が基準位置にくるように被検光学系60を調整すると、必然的に射出点21pから射出された被検光200は入射点23pに入射する。つまり、被検面60kに大きな偏心があったとしても被検面60kの光路長を測定することができる。

40

【 0 0 7 9 】

本実施例では、対物レンズ55の代わりに被検光学系60の位置を調整することで、対物レンズ55と被検光学系60の相対位置を調整している。被検光学系60の位置を調整すると、測定対象面60kの光路長も被検光学系60の位置に応じて変化してしまう。そこで、被検光学系60と同じステージ150上に配置された基準板120の光路長基準面120sで反射した被検光200の基準光路長を利用して測定対象面60kの光路長を補正すればよい。各被検面において、基準光路長に対する測定対象面60kの光路長を算出

50

すれば、被検光学系 60 の位置に依存しない面間隔計測が可能である。

【0080】

本実施例では、測定対象面 60 k で反射した指標光 250 や被検光 200 が、被検光学系 60 から平行光となって射出されるように被検光学系 60 の位置を調整している。しかし、射出光は平行光とは限らず、収束光、発散光でもよい。収束する像点、または、発散元の虚物点を固定し、それに応じて結像レンズ 52 と撮像素子 90 の位置、および、コリメータレンズ 53 とファイバ端 23 p の位置を配置する。そして、どの測定対象面 60 k に対しても同じ像点に収束、または同じ虚物点から発散するように、対物レンズ 55 と被検光学系 60 の相対位置を調整すれば、本実施例と同様の効果を有する面間隔計測装置が実現できる。

10

【実施例 5】

【0081】

図 8 は、実施例 5 に係る面間隔計測装置 5 の構成を示している。面間隔計測装置 5 は、照明光源 13、指標チャート 45、測定光学系 300、撮像素子 90、ステージ（調整手段）150、干渉計 400、コンピュータ（演算手段）100 を有する。測定光学系 300 は、ビームスプリッタ 36、37、コリメータレンズ 50、53、対物レンズ 55、結像レンズ 52 で構成されている。干渉計 400 は、低コヒーレンス光源 10、ファイバ 20、21、22、23、24、25、ファイバカブラ 30、31、ビームスプリッタ 38、コリメータレンズ 51、ミラー 75、検出器 91、ステージ（光路長変更手段、参照ステージ）151 で構成される。本実施例の干渉計 400 は、マッハツェンダ干渉計である。

20

【0082】

照明光源 13 から射出された光 290 は反射型の指標チャート 45 を照明し、指標チャート 45 の面 45 s から発散光（指標光）250 を射出し、指標光 250 は測定光学系 300 に入射する。測定光学系 300 に入射した指標光 250 は、コリメータレンズ 50 を通って平行光となり、ビームスプリッタ 36 を透過して被検光学系 60 に入射する。測定対象面 60 k で反射した指標光 250 は、収束または発散して被検光学系 60 から射出され、ビームスプリッタ 36 で反射し、対物レンズ 55 に入射する。対物レンズ 55 は、X、Y、Z のそれぞれの方向に動くステージ 150 上に設置されており、被検光学系 60 に対する対物レンズ 55 の相対位置を調整することができる。ステージ 150 の位置は、コンピュータ 100 によって管理される。

30

【0083】

対物レンズ 55 を透過した指標光 250 が平行光となるように対物レンズ 55 の位置を調整すると、指標光 250 はビームスプリッタ 37 で反射し、結像レンズ 52 で撮像素子 90 の受光面 90 s 上に結像する。撮像素子 90 で撮像された画像はコンピュータ 100 に送られる。

【0084】

低コヒーレンス光源 10 の光は、ファイバ 20 を通りファイバカブラ 30 において被検光 200 と参照光 201 に分割される。参照光 201 はファイバ 22 を通って射出される。被検光 200 はファイバ 21 を通ってファイバ端（射出点）21 p から発散して射出される。射出点 21 p から射出された被検光 200 は、測定光学系 300 に入射する。被検光 200 は、コリメータレンズ 50 で平行光となり、ビームスプリッタ 36 を透過して被検光学系 60 に入射する。

40

【0085】

指標光 250 と同様に、測定対象面 60 k で反射した被検光 200 は、収束または発散して被検光学系 60 から射出され、ビームスプリッタ 36 で反射し、対物レンズ 55 を透過して平行光となる。被検光 200 は、ビームスプリッタ 37 を透過し、コリメータレンズ 53 で集光され、ファイバ 23 のファイバ端（入射点）23 p に入射する。

【0086】

ファイバ端 23 p に戻った被検光 200 は、ファイバ 23 を通ってファイバカブラ 31 に至る。また、ファイバ 22 から射出された参照光 201 は、ビームスプリッタ 38 を透

50

過し、コリメータレンズ51で平行光となり、ミラー75で反射し、再度コリメータレンズ51を通り、ビームスプリッタ38で反射し、ファイバ24に入射する。ファイバ24に入射した参照光201は、ファイバ24を通過してファイバカプラ31に至る。被検光200と参照光201は、ファイバカプラ31で干渉し、干渉光はファイバ25を通過して検出器91で受光され、その信号がコンピュータ100に送られる。

【0087】

ミラー75は、図8の矢印方向（Z方向）に動く参照ステージ151上に設置されており、参照ステージ151を動かすことで参照光201の光路長を変化させることができる。参照ステージ151の位置の情報は、コンピュータ100に送られる。

【0088】

コンピュータ100は、干渉信号に基づき測定対象面60kの光路長を算出する。測定対象面を順次変えながら各被検面の光路長を算出し、被検面の間隔を算出する。

【0089】

本実施例において、指標チャート45の面45s、射出点21pを含む面21s、入射点23pを含む面23sのそれぞれと、撮像素子90の受光面90sとが、測定光学系300に対して互いに共役関係となっている。この関係のもと、指標チャート45の像が基準位置にくるように対物レンズ55を調整すると、必然的に射出点21pから射出された被検光200は入射点23pに入射する。つまり、被検面60kに大きな偏心があったとしても被検面60kの光路長を測定することができる。

【実施例6】

【0090】

図9は、実施例6に係る光学系の製造方法を示すフローチャートである。実施例1～5で説明した面間隔計測装置1～5のいずれかを用いて計測された光学系の面間隔の結果を、光学系（被検光学系60）の製造方法にフィードバックすることが可能である。

【0091】

まずステップS101において、製造者は、複数の光学素子（レンズ等）を用いて光学系を組み立てて、各光学素子の位置を調整する。

【0092】

次にステップS102において、製造者は、組立調整された光学系の精度や性能を評価する。満足する評価結果が得られなければステップS103に移行し、NGとなった要因分析を行う。分析対象の1つとして光学素子の面間隔がある。この面間隔の計測に、面間隔計測装置1～5のいずれかを使用することができる。一方、満足する評価結果が得られた場合は、本製造方法による光学系の製造を終了する。

【0093】

ステップS103のNG要因分析だけでなく、ステップS101の光学素子の位置調整において面間隔の計測結果（取得結果）を活用することもできる。つまり、面間隔計測装置1～5のいずれかを用いて光学系の複数の光学素子の面間隔を計測（取得）し、その結果を用いて光学素子の位置調整を行うことができる。

【0094】

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。

【0095】

各実施形態の開示は、以下の構成および方法を含む。

【0096】

（構成1）

指標が設けられた指標面を含むチャートを照明する第1光源と、前記チャートから出射した指標光を被検光学系に入射させる測定光学系と、前記被検光学系の複数の被検面で反射した前記指標光を、前記測定光学系を介して受光する撮像素子と、

前記撮像素子の受光面において前記指標光による前記チャートの像が基準位置に形成さ

10

20

30

40

50

れるように、前記測定光学系と前記被検光学系との相対位置を調整する調整手段と、

第2光源を含み、該第2光源からの光を被検光と参照光に分割し、前記参照光と、第1の点から出射して前記複数の被検面で反射した後に前記測定光学系を介して第2の点に入射した前記被検光とを干渉させることで干渉信号を取得する干渉計と、

前記干渉信号に基づいて前記複数の被検面までの各光路長を算出し、該光路長に基づいて前記複数の被検面のうち隣り合う被検面の間隔を算出する演算手段と、を有し、

前記指標面、前記第1の点を含む面、前記第2の点を含む面のそれぞれと、前記受光面とは、前記測定光学系に対して互いに共役関係であることを特徴とする取得装置。

(構成2)

前記測定光学系の光軸を測定軸とするとき、

前記調整手段は、前記測定軸に対して平行方向および垂直方向に、前記測定光学系と前記被検光学系との前記相対位置を調整することを特徴とする構成1に記載の取得装置。

(構成3)

前記測定光学系の光軸を測定軸とし、前記指標光のうち前記測定軸上を伝搬する光線を出射する点を前記チャートの原点とするとき、

前記チャートに形成されたパターンは、前記原点に関して非対称であることを特徴とする構成1または2に記載の取得装置。

(構成4)

前記干渉計は、

前記参照光の光路長である参照光路長を変更する光路長変更手段を含み、

前記調整手段によって前記チャートの像が前記基準位置に形成されたのちに、前記光路長変更手段によって前記参照光路長を走査して得られる前記干渉信号を取得することを特徴とする構成1から3のいずれかに記載の取得装置。

(構成5)

光路長基準面を備える基準板を前記測定光学系と前記被検光学系との間に更に有し、

前記干渉計は、前記参照光と前記光路長基準面で反射した前記被検光とを干渉させることで基準干渉信号を取得し、

前記演算手段は、前記基準干渉信号に基づいて前記光路長基準面の基準光路長を算出し、前記基準光路長を用いて前記複数の被検面までの前記各光路長を補正することを特徴とする構成1から4のいずれかに記載の取得装置。

(構成6)

前記第1光源は、前記第2光源の光の一部をファイバで導光することで得られる光源であることを特徴とする構成1から5のいずれかに記載の取得装置。

(構成7)

前記基準位置において、前記チャートの原点の像の位置は、前記複数の被検面それぞれの曲率中心の位置と一致していることを特徴とする構成1から6のいずれかに記載の取得装置。

(方法1)

指標が設けられた指標面を含むチャートを照明する照明ステップと、

前記チャートから射出した指標光を測定光学系を介して被検光学系に入射させ、前記被検光学系の複数の被検面で反射した前記指標光を、前記測定光学系を介して撮像素子で受光する撮像ステップと、

前記撮像素子の受光面において前記指標光による前記チャートの像が基準位置に形成されるように、前記測定光学系と前記被検光学系との相対位置を調整する調整ステップと、

第2光源からの光を被検光と参照光に分割し、前記参照光と、第1の点から出射して前記複数の被検面で反射した後に前記測定光学系を介して第2の点に入射した前記被検光とを干渉させることで干渉信号を取得する取得ステップと、

前記干渉信号に基づいて前記複数の被検面までの各光路長を算出し、該光路長に基づいて前記複数の被検面のうち隣り合う被検面の間隔を算出する演算ステップと、を有し、

前記調整ステップにおける調整は、

10

20

30

40

50

前記指標面、前記第 1 の点を含む面、前記第 2 の点を含む面のそれぞれと、前記撮像素子の前記受光面とが、前記測定光学系に対して互いに共役であるという関係のもとで行われることを特徴とする取得方法。

(方法 2)

方法 1 に記載の取得方法を用いて前記被検光学系としての光学系の面間隔を取得するステップと、

前記面間隔の取得結果を用いて前記光学系を調整するステップと、を有することを特徴とする光学系の製造方法。

【符号の説明】

【 0 0 9 7 】

取得装置	1 , 2 , 3 , 4 , 5
照明光源 (第 1 光源)	1 1 , 1 2 , 1 3
指標チャート (チャート)	4 0 , 4 5
測定光学系	3 0 0
撮像素子	9 0
調整手段	1 5 0
干渉計	4 0 0
演算手段	1 0 0

10

20

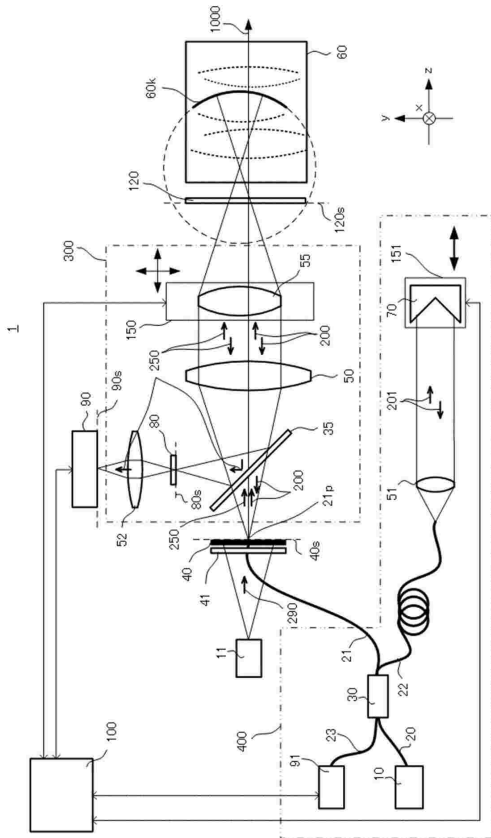
30

40

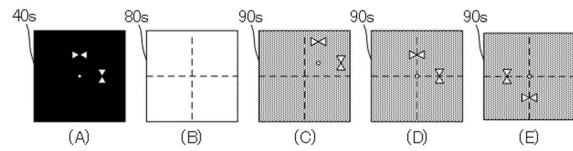
50

【図面】

【図 1】



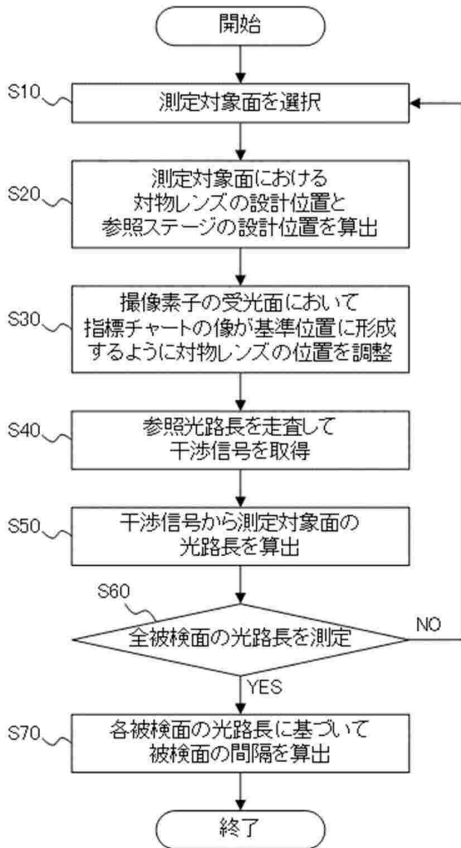
【図 2】



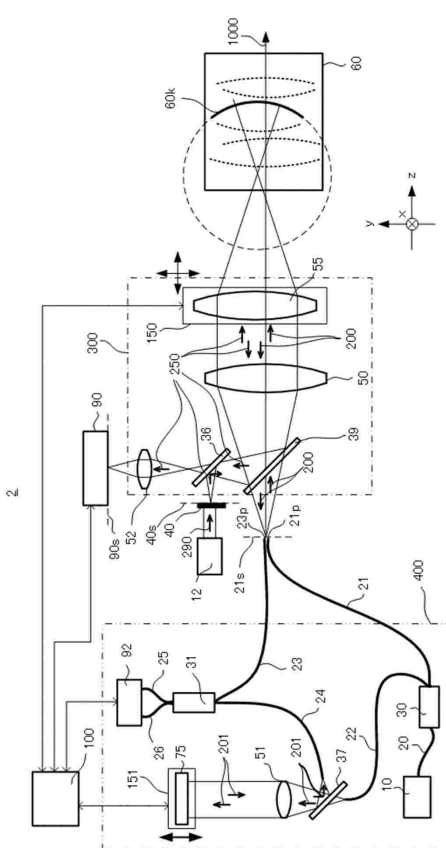
10

20

【図 3】



【図 4】

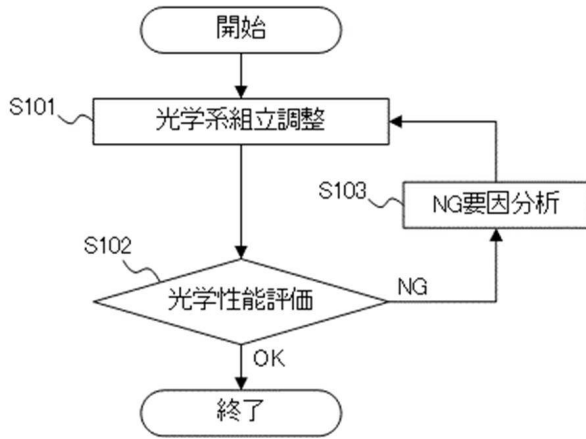


30

40

50

【 図 9 】



10

20

30

40

50

フロントページの続き

- (56)参考文献 特開2012-118066(JP,A)
特開2005-147703(JP,A)
特開2005-164267(JP,A)
特開2005-009977(JP,A)
特開2013-253915(JP,A)
特開2017-044565(JP,A)
特開2002-213926(JP,A)
- (58)調査した分野 (Int.Cl., DB名)
- G01B 9/02 - 9/02098
G01B 11/00 - 11/30
G01M 11/00 - 11/08