

(19) 日本国特許庁(JP)

(12) 特許公報(B2)

(11) 特許番号

特許第6450367号
(P6450367)

(45) 発行日 平成31年1月9日(2019.1.9)

(24) 登録日 平成30年12月14日(2018.12.14)

| | | | | | |
|---------------|-------------|------------------|------|------|-----|
| (51) Int. Cl. | | F I | | | |
| GO2B | 7/02 | (2006.01) | GO2B | 7/02 | C |
| GO2B | 7/00 | (2006.01) | GO2B | 7/00 | B |
| GO3F | 7/20 | (2006.01) | GO2B | 7/00 | A |
| | | | GO2B | 7/02 | A |
| | | | GO3F | 7/20 | 501 |

請求項の数 10 (全 14 頁)

| | | | |
|---------------|-------------------------------|-----------|---------------------|
| (21) 出願番号 | 特願2016-509012 (P2016-509012) | (73) 特許権者 | 397068274 |
| (86) (22) 出願日 | 平成26年4月14日 (2014.4.14) | | コーニング インコーポレイテッド |
| (65) 公表番号 | 特表2016-520862 (P2016-520862A) | | アメリカ合衆国 ニューヨーク州 148 |
| (43) 公表日 | 平成28年7月14日 (2016.7.14) | | 31 コーニング リヴァーフロント プ |
| (86) 国際出願番号 | PCT/US2014/033964 | | ラザ 1 |
| (87) 国際公開番号 | W02014/172260 | (74) 代理人 | 100073184 |
| (87) 国際公開日 | 平成26年10月23日 (2014.10.23) | | 弁理士 柳田 征史 |
| 審査請求日 | 平成29年4月12日 (2017.4.12) | (74) 代理人 | 100090468 |
| (31) 優先権主張番号 | 61/812,364 | | 弁理士 佐久間 剛 |
| (32) 優先日 | 平成25年4月16日 (2013.4.16) | (72) 発明者 | グレイダ, ロバート デニス |
| (33) 優先権主張国 | 米国 (US) | | アメリカ合衆国 ニューヨーク州 144 |
| (31) 優先権主張番号 | 13/959,804 | | 50-8949 フェアポート ベント |
| (32) 優先日 | 平成25年8月6日 (2013.8.6) | | オーク トレイル 84 |
| (33) 優先権主張国 | 米国 (US) | | |

最終頁に続く

(54) 【発明の名称】 光学アセンブリにおける積層素子の歪みを最小限にする方法

(57) 【特許請求の範囲】

【請求項1】

光学素子を、一定の間隔に置く、位置合わせする、および保持するための、複数の積層素子を含む複合光学部品をアセンブルする方法であって、

光学部品ホルダを含む前記複数の積層素子の、積層面を測定するステップ、

前記積層面の前記測定から主要角振動数を有する数学的近似によって表され得る、低次表面誤差を前記測定から抽出するステップ、

前記積層面どうしを嵌合させた嵌合積層面における、当該積層面の前記低次表面誤差間の相補性を高める相対的配向で、前記光学部品ホルダを含む前記積層素子を相対的に位置付けるステップ、および、

前記相対的配向の前記積層素子の組合せを一緒に固定して、他の相対的配向で前記光学部品ホルダを歪ませることになる応力または歪みを制御するステップ、を含むことを特徴とする方法。

【請求項2】

前記積層素子が開口を含み、かつ前記主要角振動数が、前記開口を一周するトレースに沿って前記低次表面誤差が示す、前記積層面から突出しているローブの数に対応し、さらに前記嵌合積層面が、前記開口の周りで をローブの数で除した分だけ同相で相対的に変位される、一致する数のローブを有していることを特徴とする請求項1記載の方法。

【請求項3】

前記低次表面誤差が、主要半径方向次数を有し、かつ前記嵌合積層面において相補的な

関係にある前記低次表面誤差どうしが、互いに反対符号の共通の主要半径方向次数を有することを特徴とする請求項 1 記載の方法。

【請求項 4】

任意の残存している相補性のずれに関連する、前記嵌合積層面間の残留している低次表面誤差を判定するステップ、および、

前記嵌合積層面のペアリングを、あるペアリングの前記相補性のずれが別のペアリングの前記相補性のずれに相補的になるように、前記嵌合積層面の他のペアリングに対して配置して、他の場合に前記積層素子の組合せ内で前記光学部品ホルダを歪ませることになる、前記ペアリング間の応力または歪みの蓄積を回避するステップ、
を含むことを特徴とする請求項 1 記載の方法。

10

【請求項 5】

他の積層素子に固定された中間積層素子の露出積層面を測定して、主要角振動数を有する数学的近似によって表され得る累積低次誤差を測定するステップ、および、

追加の積層素子と前記中間積層素子との嵌合積層面が、共通の主要角振動数を含む相補的な低次表面誤差を有するように、前記他の積層素子に固定された前記中間積層素子に対して前記追加の積層素子を相対的に配向するステップ、
を含むことを特徴とする請求項 1 記載の方法。

【請求項 6】

前記測定するステップが前記積層面を測定するステップを含み、かつ前記抽出するステップが、前記測定をフィルタリングして、前記主要角振動数を有する数学的近似によって表され得る前記低次表面誤差の測定を得るステップを含み、さらに、前記嵌合積層面間の前記低次表面誤差の二乗平均平方根が、前記嵌合積層面のいずれかの前記低次表面誤差の二乗平均平方根よりも小さいことを特徴とする請求項 1 記載の方法。

20

【請求項 7】

光学素子を、一定の間隔に置く、位置合わせする、および保持するための、複数の積層素子を含む複合光学部品をアSEMBルする方法であって、

サブアSEMBリの積層素子に固定された中間積層素子の露出積層面を、該露出積層面の累積低次誤差を測定するように測定するステップ、

前記中間積層素子および前記サブアSEMBリの積層素子とは別の積層素子であって、前記中間積層素子と隣接して配置される隣接積層素子の側面を、該側面の低次誤差を測定するように測定するステップ、

30

嵌合する前記中間積層素子の前記露出積層面と前記隣接積層素子の前記側面とが相補的な低次表面誤差を有するように、前記サブアSEMBリの前記中間積層素子に対して前記隣接積層素子を相対的に配向するステップ、および、

前記相対的に配向された前記隣接積層素子を、前記サブアSEMBリの前記中間積層素子に固定するステップ、
を含むことを特徴とする方法。

【請求項 8】

前記隣接積層素子を前記サブアSEMBリに、所与の数の異なる角度位置で固定することができ、前記隣接積層素子が光学部品ホルダであり、さらに、前記隣接積層素子を相対的に配向する前記ステップが、嵌合する前記露出積層面と前記側面との前記低次表面誤差が最も相補的になる前記異なる角度位置を選択するステップを含むことを特徴とする請求項 7 記載の方法。

40

【請求項 9】

光学素子を、一定の間隔に置く、位置合わせする、および保持するための、複数の積層素子を含む複合光学部品をアSEMBルする方法であって、

光学部品ホルダを含む前記複数の積層素子の、対向する側の積層面を測定するステップ、

前記積層面夫々の前記測定から主要角振動数を有する数学的近似によって表され得る、低次表面誤差を前記測定から抽出するステップ、

50

前記光学部品ホルダを含む前記積層素子をグループ化するステップであって、当該積層素子の積層面どうしが、組合せとして、かつ互いに相補的な前記低次表面誤差を有して嵌合するよう並置する相対的位置で、グループ化するステップ、および、

前記グループ化による相対的に配向された前記積層素子の前記組合せと一緒に固定して光学アセンブリとし、他の組合せで前記光学部品ホルダを歪ませることになる応力または歪みを最小限にするステップ、を含むことを特徴とする方法。

【請求項 10】

前記測定するステップが、前記光学アセンブリをアセンブルするのに必要な数より多くの前記積層素子を測定するステップを含み、かつ前記グループ化するステップが、前記積層素子の前記積層面どうしを嵌合したときに、より相補的になる組合せを実現するように、前記積層素子の中から前記光学アセンブリ内に含むものを選択するステップを含むことを特徴とする請求項 9 記載の方法。

10

【発明の詳細な説明】

【関連出願の説明】

【0001】

本出願は、その内容が引用されその全体が参照することにより本書に組み込まれる、2013年4月16日に出願された米国仮特許出願第61/812364号の優先権の利益を米国特許法第119条の下で主張する、2013年8月6日に出願された米国特許出願第13/959804号の優先権の利益を米国特許法第120条の下で主張するものである。

20

【技術分野】

【0002】

本発明は光学アセンブリに関し、特に、光学素子を一定の間隔に置く、位置合わせする、および保持するために、一緒に固定される、積層素子のアセンブリに関する。

【背景技術】

【0003】

多くの光学アセンブリ、特にリソグラフィ投影または半導体検査などの目的で使用されるものは、例えば高透過率、瞳の低不均一性、低いRMS波面誤差、および透過波面の低い非対称性など、光学性能に対して厳しい要件を有する。設計および公差の考察は、波面性能の要件を満たすのに重要な役割を果たす。例えば設計形状は、光学部品の製造に付随する予想される種類の誤差に対する感受性を低減するように選択され、また光学部品の公差は、製造上の変動がシステムレベルの性能に深刻に影響しないように設計感度に対して選択される。それにも拘わらず、適切に設計および製造された部品でさえ、そのアセンブリすなわち「組立て」が、全体の性能を低下させるさらなる波面誤差を生じさせることがある。例えば、ボルト締め、ねじ切り、または光学部品と一緒に留める他のものが、光学アセンブリの波面性能を低下させ得る機械的応力または歪みを光学部品に生じさせる可能性がある。

30

【0004】

光学部品を、その取付けを通じて伝達される応力から隔離するために、様々な方法が用いられてきた。例えば、フレクチャー (flexure) またはセミキネマティック式のマウント法が、レンズホルダ (例えば「セル」) に採用された。これらの方法は、隣接するレンズホルダまたはスペーサと一緒に留めて一体のレンズアセンブリを形成することにより生成される応力または歪みから、レンズを隔離する。他の方法は、レンズ素子とホルダとの間に非常に柔軟な接着剤層を使用して、レンズアセンブリ内の光学素子の変形を低減する。

40

【0005】

性能の測定に基づいて光学素子を調節する方法も用いられてきた。例えば、複数のレンズまたは複数のレンズ群を互いに対して回転させ、あるいは他のやり方で調節し、測定される性能を最適化した。さらに別の方法では「補正素子」が使用され、この「補正素子」

50

は、これを用いずに完成させたレンズアセンブリで測定される波面誤差を相殺するように確定的に製造される。

【発明の概要】

【課題を解決するための手段】

【0006】

本発明は、1以上の好適な実施形態において、適切に設計、公差設定、および製造された本書ではより一般に積層素子と称される光学部品ホルダまたはスペーサ間に生じ得る、応力または歪みを低減または制御することによって、光学アセンブリにおける誤差の発生源の低減を可能にするものである。他の積層素子の面と嵌合するよう意図されている種々の積層素子の面を、アセンブリの前に測定してもよく、さらにこの測定から低次表面誤差を抽出して、主要（すなわち最も高い振幅の）振動数を有する数学的近似として表現することができる。アセンブリの際に積層素子を配置するために、あるいはアセンブリの前に積層素子を事前配置するために、誤差測定を用いることができる。形成中の（growing）積層体における累積誤差を減少させ、かつ積層体内の光学部品ホルダの応力または歪みを回避するなどの目的で、アセンブリの前に行われる積層素子の個々の面の誤差測定と、アセンブリの際の露出した素子の面のその場測定とを組み合わせ使用してもよい。

10

【0007】

測定した積層素子を、組合せとして、かつ共通のまたは調和した主要振動数（例えば、半径方向または角度方向の主要振動数）を有する実質的に相補的な低次表面誤差を含む嵌合積層面を並置する相対的な角度配向で、グループ化してもよい。積層素子のアセンブリ前またはアセンブリの際に、光学素子を光学部品ホルダ内にマウントしてもよく、またこの積層素子の組合せを、他の組合せ内で光学部品ホルダを歪ませることになる付随する応力または歪みを最小限にしながら、圧縮力によって一緒に留めることができる。光学部品ホルダにおける応力または歪みを低減することによって、光学部品ホルダとホルダで支持される光学素子（レンズなど）との間で伝達される応力または歪みが小さくなり、望ましい光学性能が得られる。

20

【0008】

積層素子の表面誤差測定を、進行中の積層素子のアセンブリ（すなわち「組立て」）の際に行われるその場測定と組み合わせ使用してもよい。各積層素子または積層素子の群を一緒に固定するとき、中間積層素子（すなわち、ベースマウント素子または別の積層素子に、既に固定された積層素子）の露出積層面をその場測定してアセンブリ内の累積低次誤差を監視してもよく、これを、主要振動数を有する数学的近似で表すこともできる。その隣接する表面誤差が予め測定され得る次の（隣接する）積層素子を、累積誤差を低減するように中間積層素子に対して相対的に配向することができ、その結果、中間積層素子および次の積層素子の嵌合積層面は、他の場合に1以上の光学部品ホルダを歪ませることになる応力または歪みを最小限にしながら、圧縮力によって一緒に固定することができる。目標は、必ずしも積層素子自体の全ての応力および歪みを最小限にすることではなく、光学部品ホルダを歪ませて、それにより光学アセンブリの光学部品に伝達されることになる、応力または歪みを低減することである。

30

【0009】

隣接する積層素子の面を予め測定し、アセンブリ前またはアセンブリの際に互いにペアリングしてもよい。実際に、個々の積層素子の機械的公差は、嵌合面間の測定された低次誤差が十分に相補的でありかつ全体の間隔公差および傾き公差が満たされている限りにおいて、緩めることができる。

40

【0010】

従って、投影レンズなどの複合光学部品のアセンブリ前またはアセンブリの際に、積層素子の組合せ（選択肢がある場合）とその相対的配向を、複合光学部品のアセンブリに付随する応力または歪みを低減または制御するよう識別することができる。アセンブリの前に、積層素子の面を測定して、主要振動数などの低次表面誤差を識別することができる。隣接する積層素子および/またはその相対的配向を、嵌合積層面が共通のまたは調和した

50

主要角振動数を有する実質的に相補的な低次表面誤差を含むように、選択することができる。累積した残留効果としてより高次の誤差が考えられ得るが、主要振動数は面の全体形状と望ましくない応力または歪みを付与する可能性とを最も特徴付けるものである。

【0011】

積層素子は一般に、積層素子が支持する光学素子を通る光の透過のための開口を含み、主要角振動数は、この開口を一周するトレースに沿って積層面から突出するローブの数に対応し得る。

【0012】

一致する数のまたは整数の複数のローブを有する嵌合積層面の最適な相対的配向は、ローブの数で除したものに等しい角度増分での、開口の周りの同相での相対的変位として決定され得る。従って、相補的な表面形状を有する嵌合面を含む積層素子を、特にアセンブリ内の光学部品ホルダで生じる応力または歪みを小さくする相対的配向で、一緒に噛み合うようにすることができる。

【0013】

異なる主要角振動数を有する嵌合積層面間で、表面間の違いを、すなわち残留する不一致を最小限にする相対的な角度配向によって、相補性の程度が低いものを利用することも可能である。この利用可能な解決策は理想的とは言えないであろうが、光学部品ホルダでの応力および歪みは、積層素子の嵌合面間に残留する不一致を最小限にすることができる組合せと相対的配向とによって、依然として低減することができる。

【0014】

積層面を干渉法によって予め測定し、この干渉法による測定をフィルタリングして低次表面誤差の数学的近似を得ることが好ましい。数学的近似は、積層素子のデータ特性（例えば、基準マークまたは識別される特徴）を基準とした半径方向次数および角振動数を有する、正規直交多項式を含み得る。嵌合積層面の相補的な低次表面誤差は、共通のまたは調和した角振動数を有するのに加え、反対符号の共通のまたは調和した主要半径方向次数を有することが好ましい。

【0015】

任意の残存している相補性のずれに関連する、嵌合積層面間の累積残留低次表面誤差は、中間積層素子の露出面から、アセンブリの前に評価することができるし、あるいはアセンブリの過程で測定することができる。嵌合積層面のペアリングを、あるペアリングの相補性のずれが1以上の他のペアリングの相補性のずれに相補的になるように、嵌合積層面の他のペアリングに対して配置して、他の場合に積層素子の組合せ内で光学部品ホルダを歪ませることになるペアリング間の応力または歪みの蓄積を回避することができる。

【図面の簡単な説明】

【0016】

【図1】積層素子の面の表面高さ変動を測定するための斜入射干渉計を示した図

【図2】中心光線の、プリズムの参照面から反射される参照光線と積層素子の面から反射される物体光線への分割を示した拡大図

【図3】干渉計の拡散スクリーン上に形成された干渉縞の平面図

【図4】積層素子の面の画像と共に現れた、干渉縞のグレースケール画像

【図5A】積層素子の面を特徴付けるために使用され得る、誇張した低次表面誤差の画像

【図5B】積層素子の面を特徴付けるために使用され得る、誇張した低次表面誤差の画像

【図5C】積層素子の面を特徴付けるために使用され得る、誇張した低次表面誤差の画像

【図6A】光学部品ホルダの形を成す個々の積層素子の斜視図

【図6B】光学部品ホルダの形を成す個々の積層素子の断面を示した切欠き斜視図

【図7A】4つの積層素子から成る少なくとも一部のアセンブリの斜視図

【図7B】4つの積層素子から成る少なくとも一部のアセンブリの断面を示した切欠き斜視図

【図8A】ある相対的回転位置にある、嵌合する積層素子の面の低次表面誤差の斜視図

【図8B】別の異なる相対的回転位置にある、嵌合する積層素子の面の低次表面誤差の斜

10

20

30

40

50

視図であって、そのエラー表面間の相補性を促進する好適な相対的位置を示した図

【図9】積層素子の面の事前測定と形成中の積層体の露出面のその場測定との両方を用いて光学アセンブリを組み立てるためのステップを表したフローチャート

【発明を実施するための形態】

【0017】

図1に示されているように、斜入射干渉計10は、積層素子12の表面誤差、例えば平坦からのずれなどを測定するために使用され得る一例の計器である。レーザダイオードなどの光源14が時間的にコヒーレントな光であるビーム18を放射し、この光は集束レンズ16によって最初に集束経路に向けられる。

【0018】

回転拡散プレート22を含むコヒーレンス調整器20が、ビーム18の狭くなった部分を遮って、ビーム18の空間コヒーレンスを減少させる。回転拡散プレート22はビーム18を遮り、拡散プレート22上のスポット23を照射している光をランダムに散乱させる。スポット23から散乱された光は、延在する光源を模したものとなり、そのサイズはビーム18の空間コヒーレンスの程度に逆相関する。集束レンズ16は、ビーム18の空間コヒーレンスを調節するために照射スポット23のサイズを変化させるよう、矢印24の方向に可動である。

【0019】

ビーム18の拡大部分は、反射面28と、矢印32の方向の限定された角度範囲に亘って反射面28を傾けるための旋回軸30とを有する、傾斜機構26を通して伝播する。同様の量のビームの傾きを、旋回する平行平面プレートでビーム18を遮ることによって得ることができる。伝播しているビーム18の法線から傾けられると、光は拡散プレート22上の延在光源からずれた見掛けの発生源から、プレートを通して伝達される。

【0020】

その焦点距離が拡散プレート22から測定されるコリメーティングレンズ34が、略垂直入射で三角プリズム40の側面36に近づく名目上コリメートビーム18へと拡大ビーム18を変形させる。この側面36は、ベース42に対しておよそ45°の角度で傾斜した、2つの等しい長さの側面36および38のうちの1つであることが好ましい。拡大された名目上コリメートビーム18の残留発散が、ビーム18の限定的空間コヒーレンスによって若干増加され、プリズム40に近づくコリメートビーム18の平均入射角度はビーム18の傾きによって垂直から若干ずれ得る。

【0021】

図2を参照すると、ビーム18の中心光線48はプリズム40を通して伝播し、非垂直なグレーティング角「 θ 」を経てプリズム40のベース面42から参照ビーム光線50として部分的に反射される。グレーティング角「 θ 」は、鏡面反射の範囲内の、反射面(プリズム40のベース面42)からの非垂直な傾きの角度として定義される。いわゆる「斜入射」の角度は、この「グレーティング角」の余角である。斜入射で測定を行うと、反射性が増加し、非鏡面反射面を含めより広範囲の表面を干渉測定することができる。

【0022】

光線48の別の部分は、ベース面42から屈折され、空気間隙60を通った後、積層素子12の2つの対向する両側面(すなわち、上面および下面)56および58のうちの第1の面56から物体ビーム光線52として反射される。参照ビーム光線50および物体ビーム光線52は、相対的にせん断変形されて、ただし名目上互いに平行に、プリズム面38を通過してプリズム40から出る。非垂直なグレーティング角「 θ 」は、全ての光線48、50、および52が略垂直入射でプリズム40に入る、あるいはプリズム40から出て行くように、プリズム40の底角の余角に少なくとも略等しいことが好ましい。

【0023】

参照ビーム光線50は、参照ビームを形成するようプリズム40のベース面42に沿った異なる点で同じグレーティング角「 θ 」を経て反射される、ビーム18からのいくつかの光線のうちの1つである。物体ビーム光線52は、物体ビームを形成するよう積層素子の面5

10

20

30

40

50

6 に沿った異なる点で反射される、ビーム 18 からのいくつかの光線のうちの 1 つである。参照ビームおよび物体ビームが合わさって、研磨されたガラスまたはプラスチックから形成され得る拡散観察スクリーン 70 上に干渉縞 64 (例えば図 3 参照) を形成する。干渉縞 64 は積層素子の面 56 の平坦度に関する情報を含有する。

【0024】

拡散をさらにランダム化するように回転またはディザリングすることができる拡散観察スクリーン 70 は、通常のズームレンズ 72 (図 1 参照) が電荷結合素子 (CCD) カメラなどの記録装置 74 に画像を映し出すことができるように干渉縞 64 の画像を固定する。他の画像形成光学部品および記録装置を使用して、スクリーン 70 に現れる干渉縞 64 から、またはプリズム 40 のベース面 42 などの他の位置で、同様の情報を取り込んでもよい。プロセッサ 76 は、強度変動の大きさを表面の高さ変動の大きさに変換するために、記録装置 74 によって取り込まれた情報を受け取る。

10

【0025】

位相シフトまたは他の既知の技術を使用して、干渉縞 64 から記録された強度データを、面 56 に亘る高さ変動の大きさに変換することができる。参照ビームおよび物体ビームが通過する相対的光路長を変化させて、干渉縞 64 の個々の点が、強め合う干渉および弱め合う干渉の各周期を繰り返すようにすることができ、その結果記録装置 74 に取り込まれる個々の画素の強度を、干渉の周期内の位相値にスケールリングすることができる。例えば傾斜機構 26 をプロセッサ 76 で制御してグレーディング角 を若干変化させ、参照ビームと物体ビームとの間の経路長差を変化させてもよい。

20

【0026】

干渉の複数の周期をカバーする面 56 に亘る位相の累積変動を測定することができるように、位相接続技術を使用して、異なる干渉周期に同様に現れる位相間の不明確さを解消することができる。測定用ビーム 18 の波長の一部としての位相の変動間の既知の関係性に基づいて、面 56 に亘る表面高さの変動を計算することができる。

【0027】

他の積層素子の対向する両側面その他、積層素子 12 の反対の側面 58 を同様に測定することができる。フィゾー型の斜入射干渉計、シャックハルトマン型の波面アナライザ、および白色光干渉計を含む他のタイプの干渉計を、機械的非鏡面反射面を有する積層素子の面を測定するために配置することもできる。複合干渉計を使用すると、対向する両側面を同時に測定することができ、また積層素子 12 の厚さ変動に関する情報を入手することができる。

30

【0028】

積層素子 12 の面 56 および 58 に亘る高さ変動は、望ましい平坦度 (または他の意図されている形状) からのずれとして処理することができ、高次の変動を除去して低次の表面誤差量を残すよう、フィルタリングすることができる。例えばフーリエまたはゼルニケのフィルタリング/分解を使用して、表面形状の全体の変動を表現する 1 以上の多項式に、高さ変動を変換することができる。ゼルニケ多項式は、測定された表面を近似するための次数の範囲を用いて、半径方向および方位角の項の組合せとして定式化され得る。半径方向次数は、積層素子 12 の中心軸に関して対称である。方位角次数は、中心軸の周りでの角振動数に対応する。

40

【0029】

従来のゼルニケ多項式の組は、中実の円形エリアでは直交するが、図示の積層素子 12 の面 56 および 58 などの環形では必ずしもそうではない。しかしながら、どの積層素子も環形は概して同じサイズであるため、振幅は同じように歪み、かつ位相の関係性は維持されるので、非直交性の程度は問題にならないと考えられる。必要であれば、変更された直交するゼルニケのような組の多項式の組が、積層素子の面の形状に従って生成され得ることを、当業者は容易に認識するであろう。

【0030】

フィルタリング/分解の変換では、相対的に重み付けされた多項式の項の和が表面の高

50

さ変動を厳密に近似するよう、予め定義された多項式の項の範囲を、その夫々の相関を重み付けすることによってデータに合わせる。項の中でも、高さ測定と最も厳密に相関していると重み付けされる方位角次数は、測定された表面の主要角振動数として見なされ得る。

【 0 0 3 1 】

図 4 は、面 8 2 の高さ測定寸法を示すようグレースケールで色分けした、積層素子 8 0 を描いている。図 5 A ~ 5 C は、分解された表面形状を平坦からのずれとして強調するように大きく誇張した、面 8 2 などの測定表面の、分解されたフーリエまたはゼルニケの多項式の形状の変換の 3 つの例を描いたものである。特に図 5 A は、2 つの角振動数を有する、2 次の方位角項により数学的に定義されるような環状の 2 ロープ型エラー表面を描いている。図 5 B は、3 つの角振動数を有する、3 次の方位角項によって数学的に定義されるような環状の 3 ロープ型エラー表面を描いている。従って主要角振動数は、開口を一周するトレースに沿って積層面から突出する、ローブの数に対応する。図 5 C は、テーパの方向を表す符号を有する偶数次の半径方向の項によって定義されるような、半径方向にテーパを有する環状表面を描いている。積層素子のアセンブリに関連するグループ化の制限および相対的配向の可能性を活用するために、例えば積層素子 8 0 などの面 8 2 などを、測定時に、その主要な方位角次数の項および半径方向次数の項、すなわち分解された方位角次数の項および半径方向次数の項の中で最も高い重み付けを有する方位角次数および半径方向次数によって、特徴付けする。主要角振動数として参照される主要方位角次数の項を、誇張したエラー表面のローブの数で可視化することができる。主要角振動数は、その基礎となる方位角次数の項と同様に、積層素子 8 0 の基準マーク 8 4 を基準とし得る積層素子の測定された配向に関連して位相を含む。従って測定は、積層素子の軸の周りのローブの数だけではなく、基準マークに対する軸の周りのローブの位置も決定する。

【 0 0 3 2 】

図 6 A および 6 B は、積層素子 8 6 を光学アセンブリの他の積層素子と共にアセンブリするための対向する両側面 9 0 および 9 2 を含む、レンズ 8 7 を保持するレンズホルダの形をした積層素子 8 6 を描いている。積層素子 8 6 は、レンズ 8 7 の外縁を支持するための、中心開口を包囲する台座リング 9 4 を含む。レンズ 8 7 を台座リング 9 4 に固定するために、接着剤を使用してもよい。いくつかの貫通孔 9 6 は、積層素子 8 6 を他の積層素子と共にボルト留めすることを可能にし、また他の孔 9 8 は、積層素子をピンなどと一時的に位置合わせするのを可能にする。任意の 1 つの孔 9 6 または 9 8 あるいは積層素子 8 6 の他の特徴を、面 9 0 および 9 2 の測定された低次表面誤差を参照するための基準マークとして使用してもよい。

【 0 0 3 3 】

図 7 A および 7 B に、積層素子 8 6 と共に積層素子 1 0 2、1 0 4、および 1 0 6 を含む、光学アセンブリ 1 0 0 が図示されている。光学アセンブリ 1 0 0 は、光学アセンブリ全体を表し得るし、あるいは、追加の積層素子を含むと意図される、より大きい光学アセンブリのサブアセンブリを表し得る。積層素子 1 0 2 はスペーサであり、また積層素子 8 6、1 0 4、および 1 0 6 は、夫々レンズ 8 7、1 0 5、および 1 0 7 を保持するレンズホルダである。積層素子 8 6、1 0 2、1 0 4、および 1 0 6 は、レンズ 8 7、1 0 5、および 1 0 7 を一定の間隔に置いて、かつ共通の光軸に沿って位置合わせすることを可能にする。

【 0 0 3 4 】

積層素子 1 0 2、1 0 4、および 1 0 6 の対向する両側面と共に積層素子 8 6 の対向する両側面 9 0 および 9 2 を測定することによって得られた情報を、アセンブリ（すなわち「組立て」）の際に使用して、光学アセンブリ 1 0 0 における応力または歪みを低減することができる。光学アセンブリ 1 0 0 を完成させるための積層素子 8 6、1 0 2、1 0 4、および 1 0 6 の、例えば 9 0 および 9 2 などの一方または両方の面の他、アセンブリ 1 0 0 内に置き換えられ得る追加の積層素子の一方または両方の面の測定が行われ得る。積層素子 8 6、1 0 2、1 0 4、および 1 0 6 の例えば 9 0 および 9 2 などの両面測定を単

10

20

30

40

50

独で使用し、アセンブリの前に積層素子 86、102、104、および 106 の望ましい配置を決定することによって、アセンブリ 100 の組立てを最適化することができる。あるいは、アセンブリの際に行われるその場測定を、個々の積層素子 86、102、104、および 106 に関して行われる測定と組み合わせ、アセンブリの際に積層素子 86、102、104、および 106 の望ましい配置を決定してもよい。

【0035】

例えば、予め定義された光学アセンブリ 100 用の積層素子 86、102、104、および 106 の、例えば 90 および 92 などの対向する両側面を個々に測定して、90 および 92 などの各面の主要角振動数と符号付き半径方向次数を決定するための低次表面誤差が抽出され得る。予め定義された光学アセンブリ 100 に必要な 1 以上の積層素子 86、102、104、および 106 の代用品になり得る追加の積層素子を、同様に測定してもよい。

10

【0036】

積層素子 86、102、104、および 106 は、光学アセンブリ 100 で規定されたように順序付けられ、隣接する積層素子の嵌合面の低次誤差が比較される。積層素子 86、102、104、および 106 を互いに相対的に回転させて、特に光学部品ホルダとして機能する積層素子 86、104、および 106 に対し低次誤差の蓄積を最小限にする。例えば、嵌合積層面の主要角振動数が一致しているまたは調和した関係にある場合、隣接する積層素子を実質的に相補的な形で低次表面誤差を並置するように相対的に配向することが好ましい。すなわち、嵌合積層面間の低次表面誤差の二乗平均平方根は、嵌合積層面のいずれか単独の低次表面誤差の二乗平均平方根よりも小さくなる。

20

【0037】

図 8 A および 8 B は、共通軸 130 の周りで 2 つの主要角振動数を有している低次表面誤差の、2 つの考えられる相対的配向を示している。両方の図の上方表面 110 は、上方積層素子の嵌合底面の低次表面誤差を表し、また両方の図の下方表面 120 は、下方積層素子の嵌合上面の低次表面誤差を表している。上方表面 110 のローブ 112 および 114 は下向きに突出し、また上方表面 110 のトラフ 116 および 118 は上向きに突出し、この両方は上方積層素子の底面に関連して参照される。逆に、下方表面 120 のローブ 122 および 124 は上向きに突出し、また下方表面 120 のトラフ 126 および 128 は下向きに突出し、この両方は下方積層素子の上面に関連して参照される。図 8 A において、上方表面 110 のローブ 112 および 114 は、下方表面 120 のローブ 122 および 124 に回転位置合わせされており、この配置は上方および下方の積層素子の相対的な歪みに資する、ローブペアリング 112、122 および 114、124 の間の接触応力を生み出すことになる。対照的に、図 8 B の上方表面 110 のローブ 112 および 114 は、下方表面 120 のトラフ 126 および 128 に位置合わせされており、かつ図 8 B の上方表面 110 のトラフ 116 および 118 は下方表面 120 のローブ 122 および 124 に位置合わせされている。従って図 8 A に対し、各表面 110 および 120 のローブの数で除した、この事例では 90° に相当する角度だけ、上方表面 110 のローブ 112 および 114 を下方表面のローブ 122 および 124 に関して軸 130 の周りで相対的に回転させる。図 8 B における上方および下方の積層素子の望ましい相対的配向によって、上方および下方の積層素子を、与えられる応力を最小限にして一緒に固定することができる。

30

40

【0038】

嵌合積層面間の類似した相対的配向は、類似したまたは調和した主要振動数を有する嵌合積層表面で、局所的な接触応力を防ぐように、測定された嵌合表面のローブを相対的に回転してずらすことによって達成され得る。嵌合積層表面が類似したまたは調和した主要振動数を有していない場合でも、隣接する積層素子間の相対的回転によって接触応力を減少させることが見出され得る。可能な場合には、他の測定された積層素子をアセンブリ内で置き換えて、より相補的な形で配向され得る嵌合表面を提供することができる。例えば予め穿設されたボルト孔を通じて固定するために、各積層素子が限られた数の様々な相対

50

回転位置を有する場合には、接触応力を最小にするために様々な相対回転位置間で最高の選択が成される。

【 0 0 3 9 】

高い接触応力は概して回避されるが、光学部品ホルダとして機能する積層素子を変形させ得る接触応力の回避が優先される。これに関して、アセンブリにおける累積誤差も考慮され得る。例えば、嵌合積層表面間の相補性からのいずれのずれも差分面 (difference surface) として計算することができ、これらの差分面を合計して、意図されているアセンブリ全体を通じた累積誤差を追うことができる。全ての嵌合積層表面のエラー表面間の相補性を最適化する代わりに、相補性からのずれをいくつか意図的に与えて、このずれが与えられなければアセンブリ内の光学部品ホルダを歪ませ得る累積誤差を弱めることができる。

10

【 0 0 4 0 】

差分面自体を、低次誤差に関して同様に特徴付けることができる。例えば、嵌合表面間で対応する点の正規化された高さ測定を比較して、差分の測定を低次誤差にフィルタリング/分解してもよいし、または各嵌合表面の低次誤差を直接比較して差分面を定義してもよい。少なくとも累積差分面は、他の嵌合表面の不一致の累積を低減することを目的とする嵌合表面の主要角振動数と比較するために、その主要角振動数で特徴付けることが好ましい。

【 0 0 4 1 】

積層面を特徴付ける低次誤差の主要角振動数の計算に加え、低次誤差の符号付き半径方向次数も考慮され得る。異なる半径方向次数の誤差は応力線をいくつか生じさせ得るが、同じ符号の共通する半径方向次数は、方位角次数の誤差と組み合わせさせて、さらに高い応力線または応力の増強点を生じさせ得る。例えば同じ符号の2つの半径方向のテーパは、そのテーパの大きさの2倍の差分面の生成に資することになる。しかしながら反対符号の2つの半径方向のテーパは、任意の差分の相殺に資することになる。従って可能であれば、低次誤差表面の半径方向次数が反対符号を有するように、積層素子を選択または配置する。半径方向次数の誤差の累積効果も、積層素子を選択または配置するとき光学部品ホルダに過剰に応力を加えることを防ぐために考慮され得る。

20

【 0 0 4 2 】

従って、光学アセンブリを形成するために一緒に固定され得る積層素子の事前の配置用に、予め測定された積層面の低次表面誤差を使用することができる。選択された積層素子の、望ましい回転配向をマークすることができ、光学部品ホルダ内にマウントされた光学部品および積層素子を、積層素子のマークされた回転配向に従って光学アセンブリに組み立てることができる。

30

【 0 0 4 3 】

あるいは、互いの上にマウントするよう意図されている各積層素子の底面など、各積層素子の少なくとも1つの面を測定してもよく、かつ形成中のアセンブリの露出面として各積層素子の上面のその場測定を行ってもよい。アセンブリの際に、光プローブまたは機械的プローブを備えた座標計測機などの測定器や、あるいは干渉計でさえ単一の表面測定のために使用して、ベース積層素子の露出上面をその場測定することができる。露出積層面において明らかな低次表面誤差の少なくとも主要角振動数を、ベース積層素子の回転基準に対して判定することが好ましい。主要角振動数が基準を参照して同じく判定されている第1の隣接積層素子の、底面の事前測定に基づき、嵌合面の低次表面誤差が、誤差の性質と相対的配向の選択肢とによって認められ得るような、実質的相補的になるように、第1の隣接積層素子をベース積層素子に対して相対的に配向することができる。所定位置で固定されたベース積層素子および第1の隣接積層素子で、第1の隣接積層素子の露出上面を同様にその場測定してもよく、さらに第2の隣接積層素子の予め測定された底面を同じ基準に従って相対的に配置してもよい。追加の積層素子が代用品として利用可能である場合には、露出積層面の低次表面誤差に最も相補的な隣接積層素子を、利用可能な代用品の中から選択してもよい。一般に光学部品は、積層素子を一緒に固定する前に積層素子にマウ

40

50

ントされる。

【 0 0 4 4 】

レンズホルダに影響を与える累積誤差をさらに低減するために、形成中のアセンブリにおける積層素子の露出上面のその場測定された低次表面誤差と隣接積層素子の底面の予め測定された低次表面誤差との間の差分面を、相補性を促進するように（差分面の大きさ全体の減少として現れる）相対的に回転させるときに計算してもよい。差分面は、隣接する積層素子の回転配向によって最小となるが、これらの差分面を累積誤差の目安として合計してもよい。アセンブリ形成中の積層素子の上面および底面間の相補性の問題を考慮するのに加え、光学アセンブリ全体を通して応力または歪みを伝達し得る測定された累積誤差を低減するために、嵌合面間のより低い相補性を受け入れるための準備をすることができる。例えば、ある嵌合積層面のペアリングの相補性のずれが、別の嵌合積層面のペアリングの相補性のずれに対して少なくとも部分的に相補的になるようにして、ペアリング間の応力または歪みの蓄積を回避することができる。

10

【 0 0 4 5 】

図9のフローチャートは、積層素子の事前測定と形成中のアセンブリのその場測定結果との両方を利用して光学アセンブリを組み立てるための基本ステップを示している。ステップ140は、複数の積層素子の、面を予め測定する。その測定を、積層面の全体形状を特徴付ける低次表面誤差へとフィルタリングおよび分解する。ステップ142は、光学アセンブリの要件を満たすよう、利用可能な積層素子の中で選択を行う。ステップ142において、選択は該当する積層素子の中で無作為なものと考えられるが、積層素子の対向する両側面の低次表面誤差の事前測定に基づいて、利用可能な積層素子の中から最適な積層素子の組合せを選択することも可能である。ステップ144は、積層素子の光学部品ホルダ内に光学部品をマウントする。ステップ146は、積層素子のサブアセンブリ（すなわち、形成中のアセンブリ）内で、積層素子の露出面のその場測定を行うサイクルを開始する。このその場測定を、露出積層面の全体形状を特徴付ける低次表面誤差へと同様にフィルタリングおよび分解する。ステップ148は、次に隣接する積層素子の嵌合面の事前測定結果を検索する。ステップ150は、嵌合面の低次表面誤差が相補性に近づく隣接する積層素子の相対的配向を、利用可能な選択肢から決定する。ただし、形成中のアセンブリにおける累積誤差を回避するために、嵌合積層表面の他のアセンブルペアリング間の、残留している相補性のずれがさらに考慮され得る。ステップ152は、次に隣接する積層素子を決定されたようにマウントし、さらにステップ146の手順に戻ってさらなる隣接積層素子を配向およびマウントし、所望の光学アセンブリを完成させる。

20

30

【 0 0 4 6 】

本発明は、光学アセンブリの応力または歪みを低減するために積層素子の低次表面誤差の測定を利用する、本発明の全教示に従う様々な他の手法で実施することができる。

【符号の説明】

【 0 0 4 7 】

1 2、8 0、8 6、1 0 2、1 0 4、1 0 6 積層素子
 5 6、5 8、8 2、9 0、9 2 側面
 1 0 0 光学アセンブリ
 1 1 2、1 1 4、1 2 2、1 2 4 ロープ

40

【 図 1 】

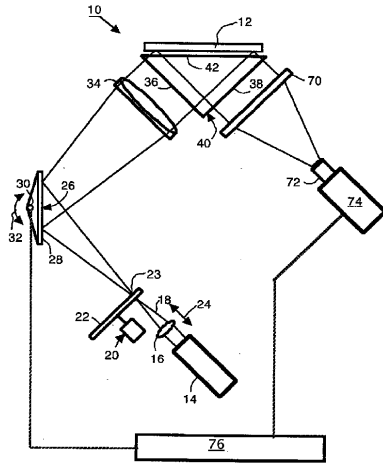


FIG. 1

【 図 2 】

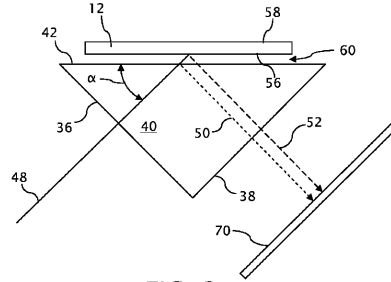


FIG. 2

【 図 3 】

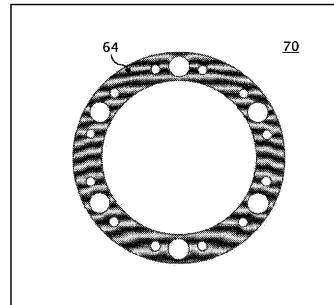


FIG. 3

【 図 4 】

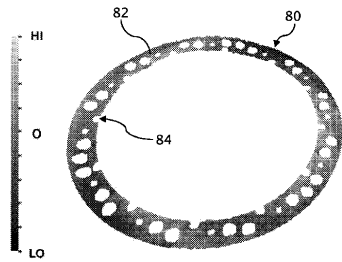


FIG. 4

【 図 5 B 】

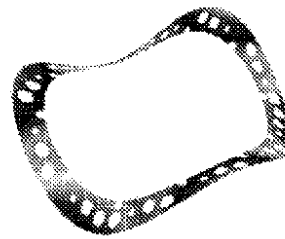


FIG. 5B

【 図 5 A 】

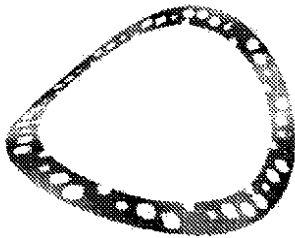


FIG. 5A

【 図 5 C 】

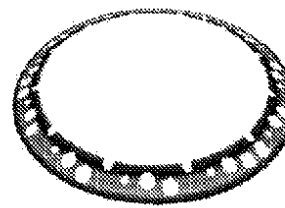


FIG. 5C

【 図 6 A 】

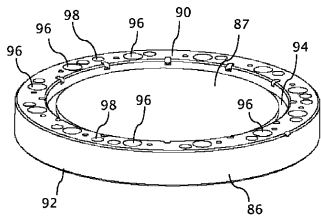


FIG. 6A

【 図 6 B 】

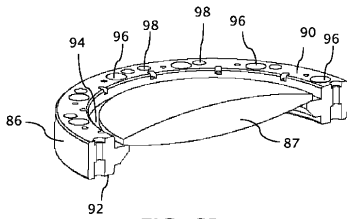


FIG. 6B

【 図 7 A 】

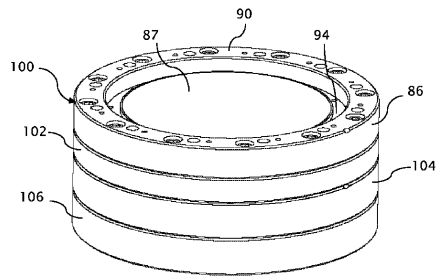


FIG. 7A

【 図 7 B 】

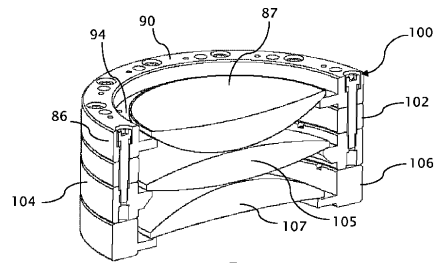


FIG. 7B

【 図 8 A 】

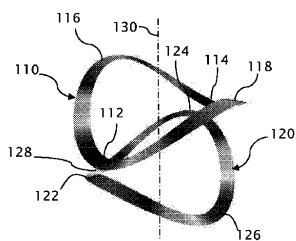


FIG. 8A

【 図 8 B 】

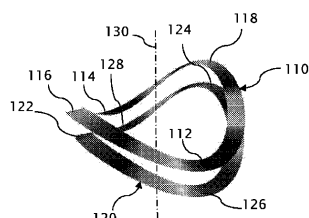


FIG. 8B

【 図 9 】

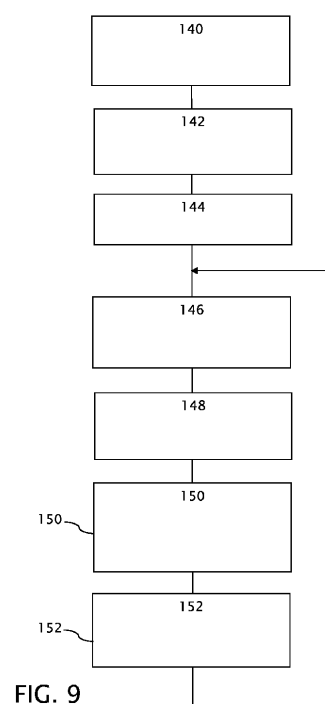


FIG. 9

フロントページの続き

(72)発明者 マクマイケル, トッド ロバート
アメリカ合衆国 ニューヨーク州 14615 ロチェスター レッジウッド サークル 74

審査官 渡邊 勇

(56)参考文献 特開2000-066075(JP, A)
独国特許出願公開第10259599(DE, A1)
特開2007-298533(JP, A)
国際公開第2010/074743(WO, A1)
特開2011-232751(JP, A)

(58)調査した分野(Int.Cl., DB名)

G02B 7/00 - 7/16
G03F 7/20 - 7/24