

(19) 日本国特許庁(JP)

## (12) 特許公報(B2)

(11) 特許番号

特許第6808381号  
(P6808381)

(45) 発行日 令和3年1月6日(2021.1.6)

(24) 登録日 令和2年12月11日(2020.12.11)

(51) Int.Cl.

F 1

G03F 7/20 (2006.01)

G03F 7/20

521

G02B 5/10 (2006.01)

G02B 5/10

B

G02B 7/185 (2021.01)

G02B 7/185

請求項の数 10 (全 9 頁)

(21) 出願番号 特願2016-135253 (P2016-135253)

(73) 特許権者 000001007

(22) 出願日 平成28年7月7日(2016.7.7)

キヤノン株式会社

(65) 公開番号 特開2018-5117(P2018-5117A)

東京都大田区下丸子3丁目30番2号

(43) 公開日 平成30年1月11日(2018.1.11)

(74) 代理人 100114775

審査請求日 令和1年6月24日(2019.6.24)

弁理士 高岡 亮一

(74) 代理人 100121511

弁理士 小田 直

(72) 発明者 春見 和之

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 植木 隆和

最終頁に続く

(54) 【発明の名称】保持装置、投影光学系、露光装置、および物品製造方法

## (57) 【特許請求の範囲】

## 【請求項 1】

曲面を有し、自重で変形する光学素子を保持する保持装置であって、  
前記光学素子の所定の位置を固定支持する支持部材であり、前記支持部材により前記光学素子を固定支持する際に、前記光学素子の光軸を水平方向に対して傾けた状態で前記光学素子を支持することによって、前記光学素子を固定支持した状態において、前記光学素子が自重で変形して前記光学素子の光軸が水平方向を向くように固定支持する支持部材  
 、

前記支持部材によって前記光学素子を固定支持した状態で、前記光学素子に力を加えて前記曲面を変形させるアクチュエータと、  
を有することを特徴とする保持装置。

## 【請求項 2】

前記アクチュエータは、前記光学素子の裏面の複数箇所にそれぞれ力を加えて前記曲面を変形させる複数のアクチュエータを含むことを特徴とする請求項 1 に記載の保持装置。

## 【請求項 3】

前記曲面は、凹面であり、前記支持部材は、前記光学素子を固定支持する際に、前記光学素子の光軸を水平方向に対して上向きに傾けた状態で前記光学素子を支持することを特徴とする請求項 1 または 2 に記載の保持装置。

## 【請求項 4】

前記曲面は、凸面であり、前記支持部材は、前記光学素子を固定支持する際に、前記光

学素子の光軸を水平方向に対して下向きに傾けた状態で前記光学素子を支持することを特徴とする請求項 1 または 2 に記載の保持装置。

【請求項 5】

曲面を有する光学素子を保持する保持装置であって、  
前記光学素子を支持する支持部材を有し、  
前記光学素子の光軸の方向と重力の方向とを含む平面内において、前記支持部材は、前記光軸の方向に対して傾けて前記光学素子を支持しており、  
前記支持部材は、前記光学素子に形成された孔に固定されていることを特徴とする保持装置。

【請求項 6】

10

前記曲面は、反射面を含み、前記支持部材は、前記曲面とは反対側の前記光学素子の裏面側から前記光学素子を支持することを特徴とする請求項 1 乃至 5 のうちいずれか 1 項に記載の保持装置。

【請求項 7】

前記支持部材が前記光学素子を支持する前記裏面の部分は、前記曲面のうち有効領域外の部分の反対側の部分であることを特徴とする請求項 6 に記載の保持装置。

【請求項 8】

原版のパターンを基板に投影する投影光学系であって、  
 曲面を有する光学素子と、  
 前記光学素子を保持する請求項 1 乃至 7 のうちいずれか 1 項に記載の保持装置と、  
 を含むことを特徴とする投影光学系。

20

【請求項 9】

基板を露光する露光装置であって、  
 請求項 8 に記載の投影光学系を含み、  
 前記投影光学系を介して前記基板を露光する、  
 ことを特徴とする露光装置。

【請求項 10】

請求項 9 に記載の露光装置を用いて基板を露光する工程と、  
 前記工程で露光された前記基板を現像する工程と、  
 を有することを特徴とする物品の製造方法。

30

【発明の詳細な説明】

【技術分野】

【0001】

本発明は、保持装置、投影光学系、露光装置、および物品製造方法に関する。

【背景技術】

【0002】

光路の途中に形状可変ミラーを配置して収差補正を行う光学系が知られている。天文分野においては、星を観察する際に、大気のゆらぎによる像の分解能の低下を抑えるため、高速で波面を計測し、形状可変ミラーで補正する技術がある。また、半導体の製造に用いられる投影露光装置においては、露光時の温度変化による収差の劣化に対応するために、光学系に使用されているミラーを形状可変ミラーとし、収差を補正する技術がある。

40

【0003】

形状可変ミラーは、変形しやすいように薄いミラー（例えば、5 mm程度）が用いられるが、その薄さにより自重で変形しうる。自重変形を解消しようとする光学素子の製造方法として、光学素子を実際の使用状態とほぼ同じ状態に保持し、面形状を計測して加工量を決定し、決定された加工量を基に被加工面を修正加工する方法がある（特許文献 1）。

【先行技術文献】

【特許文献】

【0004】

【特許文献 1】特開 2000 - 84795 号公報

50

**【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、自重変形の解消のため上記特許文献1の方法により形状可変ミラーを加工する場合、加工量が大きくなりうるため、加工時間、コストの点で不利となりうる。また、形状可変ミラーは、通常複数の支持部材（アクチュエータ等）により多点で支持される。そして、加工時は、形状可変ミラーが支持部材から取り外され、面形状の計測時は、形状可変ミラーが支持部材に取り付けられる。加工と計測とを繰り返す場合、作業時間、コストの点で不利となりうる。

**【0006】**

10

本発明は、例えば、曲面を有する光学素子の自重変形の影響を軽減するのに有利な保持装置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】****【0007】**

上記課題を解決するために、本発明は、曲面を有し、自重で変形する光学素子を保持する保持装置であって、光学素子の所定の位置を固定支持する支持部材であり、支持部材により光学素子を固定支持する際に、光学素子の光軸を水平方向に対して傾けた状態で光学素子を支持することによって、光学素子を固定支持した状態において、光学素子が自重で変形して光学素子の光軸が水平方向を向くように固定支持する支持部材と、支持部材によって光学素子を固定支持した状態で、光学素子に力を加えて曲面を変形させるアクチュエータと、を有することを特徴とする。

20

**【発明の効果】****【0008】**

本発明によれば、例えば、曲面を有する光学素子の自重変形の影響を軽減するのに有利な保持装置を提供することができる。

**【図面の簡単な説明】****【0009】**

【図1】第1実施形態に係る保持装置を含む露光装置の構成を示す概略図である。

【図2】支持部材による凹面ミラーの保持状態を示す図である。

【図3】アクチュエータの位置と、凹面ミラーの所望の反射面形状からのずれ量を等高線で示す図である。

30

【図4】通常露光を行う場合の投影領域を示す図である。

**【発明を実施するための形態】****【0010】**

以下、本発明を実施するための形態について図面などを参照して説明する。

**【0011】****(第1実施形態)**

図1は、本発明の第1実施形態に係る保持装置を含む露光装置の構成を示す概略図である。露光装置100は、例えば、液晶表示デバイスや有機ELデバイスなどのフラットパネルの製造工程におけるリソグラフィー工程にて使用されうる。特に本実施形態では、露光装置100は、ステップ・アンド・スキャン方式にて、不図示のレチクル（マスク）に形成されているパターン像を不図示の基板上に転写（露光）する走査型投影露光装置とする。

40

**【0012】**

露光装置100は、保持装置110と、照明光学系120と、投影光学系130と、マスクを保持して移動可能なマスクステージ140と、基板を保持して移動可能な基板ステージ150と、を含む。基板の露光処理は不図示の制御部が各部を制御することで実行される。なお、図1以下の各図では、鉛直方向sであるZ軸に垂直な平面内で露光時のレチクルおよび基板の走査方向にY軸を取り、Y軸に直交する非走査方向にX軸を取っている。また、基板は、例えば硝材製で、表面に感光剤（レジスト）が塗布されている被処理基

50

板である。さらに、レチクルは、例えば硝材製で、基板に転写されるべきパターン（微細な凹凸パターン）が形成されている原版である。

#### 【0013】

照明光学系120に含まれる光源（不図示）から射出された光は、照明光学系120に含まれるスリット（不図示）によって、例えば、X方向に長い円弧状の照明領域をマスク上に形成することができる。マスクおよび基板は、マスクステージ140および基板ステージ150によってそれぞれ保持されており、投影光学系130を介して光学的にほぼ共役な位置（投影光学系130の物体面および像面の位置）に配置される。投影光学系130は、所定の投影倍率を有し、マスクに形成されたパターンを基板に投影する。そして、マスクステージ140および基板ステージ150を、投影光学系130の物体面と平行な方向（例えばY方向）に、投影光学系130の投影倍率に応じた速度比で相対的に移動させる。これにより、スリット光を基板上で走査する走査露光を行い、マスクに形成されたパターンを基板に転写することができる。10

#### 【0014】

投影光学系130は、平面ミラー131および133と、凸面ミラー132と、凹面ミラー（形状可変ミラー）Mと、を保持する鏡筒により構成される。照明光学系120から射出し、マスクを透過した露光光は、平面ミラー131により光路を折り曲げられ、凹面ミラーMの反射面の上部に入射する。凹面ミラーMの上部で反射した露光光は、凸面ミラー132で反射し、凹面ミラーMの反射面の下部に入射する。凹面ミラーMの下部で反射した露光光は、平面ミラー133により光路を折り曲げられ、基板上に結像する。このように構成された投影光学系30では、凸面ミラー132の表面が光学的な瞳となる。20

#### 【0015】

また、露光装置100は、アライメント計測部171と、基板高さ計測部172と、像面計測部161とを含みうる。アライメント計測部171は、例えば、基板ステージ150に搭載された基板上のマーク（アライメントマーク）を撮像し、画像処理を行うことにより、基板の位置（XY方向）を計測する。基板高さ計測部172は、基板ステージ150が移動している状態において、基板の表面のZ方向における位置（基板の表面の高さ）を計測する。

#### 【0016】

像面計測部161は、例えば、基板ステージ150に設けられており、マスクステージ131に設けられた基準マーク162の投影像をとらえることにより、像面の位置と高さ（図中のX、Y、Z方向）を計測する。マスクの像が装置上のどの位置にあるかを知るためのものであり、基板ステージ150を移動させることで、マスクパターンが装置座標上のどの位置に投影されるかを正確に知ることが出来る。像面計測部161は、形状可変ミラーの駆動量と像との関係を校正するために用いられる。30

#### 【0017】

ここで、露光装置100では、解像度を向上させるため、投影光学系130の光学収差を補正することが求められている。そのため、本実施形態の露光装置100は、投影光学系130に含まれる光学素子である凹面ミラーMを保持し、その反射面を変形させる保持装置110を含む。保持装置110は、凹面ミラーMの反射面を基準形状から投影光学系130の光学収差や、投影像の倍率、歪み、フォーカスを補正する目標形状に変形させる。基準形状とは、凹面ミラーMの反射面についての任意の形状のことであり、例えば、ある時刻における凹面ミラーMの反射面の形状や設計形状が用いられる。ここで、本実施形態では、保持装置110が凹面ミラーMの反射面を変形させる例について説明するが、保持装置110が反射面を変形させるミラーは凹面ミラーに限られるものではない。例えば凹面や凸面の曲面を有する球面ミラーや非球面ミラーなどであってもよい。また、本実施形態では、保持装置110は、露光装置100の投影光学系130に含まれるミラーの反射面を変形させるために用いられているが、それに限られるものではなく、例えば望遠鏡に含まれるミラーの反射面を変形させるために用いられてもよい。さらに、保持装置110の保持対象は、反射性光学素子のみならず透過性又は屈折性光学素子でもよい。4050

## 【0018】

本実施形態の保持装置110は、ベース111と、凹面ミラーMを支持する支持部材112と、複数のアクチュエータ113と、検出部114と、を含む。複数のアクチュエータ113は、不図示の制御部により制御される。凹面ミラーMは、光を反射する反射面と、反射面の反対側の面である裏面と、を有し、凹面ミラーMの中心を含む一部（以下、中心部）が支持部材112を介してベース111に固定されている。凹面ミラーMの中心部をベース111に固定するのは、投影光学系130に用いられる凹面ミラーMの中心部は、光の入射量が他の領域と比べて少ない有効領域外である場合が多く、当該中心部を変形させる必要性が小さいからである。

## 【0019】

凹面ミラーMの反射面は初期状態では曲率半径2000mm程度の凹の球面であるが、本実施形態の保持装置110は、反射面の法線方向に数100nm程度の駆動量だけ形状をえることが可能である。反射面の形状をえることで基板上に投影されるマスクパターンの像の焦点面とディストーションを基板上のパターンに合わせて変化させることが可能となっている。基板の厚さムラによる焦点位置の変動や、プロセスを経てパターンがひずんでいても、その歪んだパターンに合わせて、投影像をえることによって、重ね合わせ精度、CD(Critical Dimension)精度を向上させるものである。

## 【0020】

凹面ミラーMは、直径1m、厚さ5mm程度の薄ミラーであり、反射面（凹面）の形状を変化させるために、薄いガラスで作られている。薄くすることで比較的小な力で変形することができる。ベース111は、保持装置110の全体を支える。支持部材112は、凹面ミラーMを固定している支持支柱であり、一端が凹面ミラーMの中心部分を固定、保持している。凹面ミラーMを支持する端部とは異なる他端はベース111に固定されている。

## 【0021】

凹面ミラーMは、例えば、厚さ5mmの平板を曲げることで、およそ球面形状に加工し、その後反射面を研磨加工することで精密な球面形状に仕上げる。バルクの硝材から研削、研磨して球面形状に仕上げる加工に比べ、硝材コスト、加工コストの点で有利となる。

## 【0022】

複数のアクチュエータ113は、凹面ミラーMとベース111との間に配置され、凹面ミラーMの裏面の複数箇所にそれぞれ力を加える。複数のアクチュエータ113は、例えば、凹面ミラーMの周縁領域にそれぞれ力を加える複数の第1アクチュエータ113aと、周縁領域よりも中心に近い凹面ミラーMの領域にそれぞれ力を加える複数の第2アクチュエータ113bとを含む。

## 【0023】

複数の第1アクチュエータ113aの各々は、凹面ミラーMの裏面に接続された第1端とベース111に接続された第2端との距離を変化させるように変形する。これにより、複数の第1アクチュエータ113aの各々は、第1端が接続された凹面ミラーMの裏面の各箇所に力を加えることができる。第1アクチュエータ113aとしては、例えば、ピエゾアクチュエータや磁歪アクチュエータなど、剛性が比較的高いアクチュエータが用いられる。

## 【0024】

複数の第2アクチュエータ113bの各々は、例えば、互いに接触しない可動子113b<sub>1</sub>と固定子113b<sub>2</sub>とを含み、凹面ミラーMの裏面の各箇所に力を加えることができる。第2アクチュエータ113bとしては、例えば、ボイスコイルモータやリニアモータなどが用いられる。第2アクチュエータ113bとしてボイスコイルモータを用いる場合には、固定子113b<sub>2</sub>としてのコイルがベース111に固定され、可動子113b<sub>1</sub>としての磁石が凹面ミラーMの裏面に固定されうる。そして、各第2アクチュエータ113bは、コイルに電流が供給されることによってコイルと磁石との間にローレンツ力を発

10

20

30

40

50

生させ、凹面ミラーMの各箇所に力を加えることができる。本実施形態では、可動子113b<sub>1</sub>と固定子113b<sub>2</sub>との間は、0.1mm程度の間隙があり、両者は接触していない。

#### 【0025】

検出部114は、凹面ミラーMとベース111との間の距離を検出する。検出部114は、凹面ミラーMとベース111との間の距離をそれぞれ検出する複数のセンサ（例えば静電容量センサ）を含みうる。このように検出部114を設けることにより、検出部114による検出結果に基づいて複数のアクチュエータ113をフィードバック制御することができ、凹面ミラーMの反射面を目標形状に精度よく変形させることができる。

#### 【0026】

検出部114における複数のセンサは、第1アクチュエータ113aの近傍にそれぞれ設けられることが好ましい。これは、第1アクチュエータ113aとして用いられるピエゾアクチュエータではヒステリシスが生じ、指令値（電圧）に相当する変位を得ることができないからである。したがって、複数の第1アクチュエータ113aの各自について、検出部114による検出結果に基づいたフィードバック制御が行われるとよい。一方で、第2アクチュエータ113bとして用いられるボイスコイルモータでは、ヒステリシスが生じにくく、指令値（電圧または電流）に相当する変位を得ることができる。そのため、第2アクチュエータ113bについては、検出部114による検出結果に基づいたフィードバック制御が行われなくてもよい。

#### 【0027】

図2(A)および(B)は、保持装置110の支持部材112による凹面ミラーMの保持状態を示す図である。図2(A)は、支持部材112による凹面ミラーMの支持方向を水平方向(光軸方向)に沿う方向とした場合である。一方、図2(B)は、凹面ミラーMの光軸の方向と重力の方向とを含む平面内において、凹面ミラーMを支持する部分を光軸の方向に対して上向きに傾けて支持した場合である。凹面ミラーMの裏面中心(凹面ミラーMの曲率中心を通る方向、外径中心)に孔が設けてある。その孔に支持部材112の端面が嵌合で位置決めされ、接着剤などで接合されている。凹面ミラーMの反射面の光軸方向は水平方向(Y軸に沿う方向)であり、図中において1点鎖線で示されている。凹面ミラーMの支持方向は、実線で示されている。なお、図2(A)では、光軸方向と支持方向とが一致しており、便宜上、光軸方向のみ示している。

#### 【0028】

凹面ミラーMは、厚さ5mmと薄いため、自重で変形する(傾く)。変形後の凹面ミラーMの形状は、図中2点鎖線で示されている。図2(A)の場合、自重変形により、凹面ミラーMの反射面は、X軸周りに回転して下向きになってしまふ。一方、図2(B)のように支持方向を上向きにした場合、変形後の凹面ミラーMの光軸は、水平方向となる。図2(B)に示す支持方向は、治具上で実際に凹面ミラーを水平方向に保持し、自重による傾き量を、位置センサ等を用いて計測すること求め、求めた量に基づいて決定する。もしくは、計算により求めてよい。

#### 【0029】

支持方向を傾けて固定部112により凹面ミラーMを保持し、周縁領域に第1アクチュエータ113aを取り付ける。第1アクチュエータ113aに力がかからない状態では凹面ミラーMの反射面(凹面)は歪みの少ない形状となる。

#### 【0030】

図3は、第1アクチュエータ113aおよび第2アクチュエータ113bの位置と、凹面ミラーMの所望の反射面形状からのずれ量を等高線で示す図である。第1アクチュエータ113aの位置は丸印で第2アクチュエータ113bの位置は×印で示されている。凹面ミラーMの所望の反射面形状からのずれ量は、実線および破線の等高線で示されている。等高線の破線で示したものは所望の反射面形状よりもへこんでいることを示し、実線で示したものは出っ張っていることを表している。

#### 【0031】

10

20

30

40

50

本実施形態の固定方法によれば、自重変形の大きな成分である傾き（チルト）成分は補正される。しかし、中心一点のみで保持しているため、等高線で示した様な局所的に微小な変形を生じる。これは、凹面ミラーMの裏面側の保持点が厳密には点ではなく面で固定されているため、保持位置の周囲には微少な凸凹が残るからである。

#### 【0032】

凹面ミラーMが直径1m、厚さ10mmの寸法である場合、出っ張り量、へこみ量ともにずれ量は1μm以下であり、第2アクチュエータ113bにより補正可能である。第2アクチュエータ113bにより、上記の量を補正するためには、10N程度の推力があればよく、ボイスコイルモータにより十分に対応できる量である。

#### 【0033】

従来の技術では、自重変形全体を修正加工することになるため、ずれ量（加工量）は10μm以上になるが、本実施形態では局所的な変形のみを修正するため、上述のように過光量は1μm程度で良い。したがって、加工に要する時間が大幅に短縮でき、コストを抑えることが出来る。

#### 【0034】

補正後の反射面形状を基準形状（アクチュエータ113の初期位置）とする。制御部は、凹面ミラーMの反射面形状を基準形状から、光学収差や、投影像の倍率、歪み、フォーカスを補正する目標形状にするための反射面の変形量にもとづいて、アクチュエータ113の各々を駆動させる。

#### 【0035】

なお、ずれ量の補正は、上記とは別の手段として、予め局所的な変形（影響の大きい傾き成分を除いた変形成分）を計測し、それを補正するように凹面ミラーMの形状を加工する方法がある。局所的な変形を加工により補正する場合には、アクチュエータ113bを初期状態で駆動する必要が無いため、アクチュエータ113bを常時駆動する必要が無くなり、発熱を抑制することが出来る。熱歪の観点からは、発熱を抑制した加工による補正の方が、アクチュエータ113bの駆動による補正よりも反射面形状の補正精度を向上させることができる。

#### 【0036】

以上のように、本実施形態の保持装置110は、自重変形の補正のために凹面ミラーMを支持部材112から取り外して、形状加工する必要が無く、例えば、加工時間およびコストの点で有利となる。また、自重変形を加工により補正する場合であっても、加工量が従来よりも少なくすむため、加工時間の点で有利となりうる。本実施形態によれば、自重変形の影響を抑えた可変形状ミラーの保持装置を提供することができる。

#### 【0037】

##### （第2実施形態）

図4は、本発明の第2実施形態に係る露光装置200の構成を示す概略図である。第1実施形態と同じ機能を持つ部材に関しては、同じ符号を付し、詳細な説明は省略する。本実施形態では、凹面ミラーMが投影光学系を構成する鏡筒230に接合された固定部材210により保持される。第1実施形態と同様に凹面ミラーMは自重変形した状態で反射面の光軸（図中1点鎖線で示す）が水平になるように、固定部材210の支持方向（図中実線で示す）を傾けている。自重変形後の凹面ミラーM'の形状は、図中2点鎖線で示されている。実線は自重変形前の凹面ミラーMの形状を示す。第1実施形態と同様に凹面ミラーMの中心部には、局所的な凹凸が発生する。より高精度なパターン転写性能を実現するために、局所的な変形は事前に加工により補正してもよい。本実施形態の構成によれば、アクチュエータが不要となるため、より低コストでパターン転写性能が良好な走査型露光装置を実現できる。

#### 【0038】

なお、上記実施形態では、自重変形後の凹面ミラーMの光軸を水平方向となるように支持したが、自重変形後に目標とする光軸方向は、投影光学系に含まれるその他ミラーの配置等から決定される。また、上記実施形態で支持している凹面ミラーMを凸面ミラーとし

10

20

30

40

50

た場合は、例えば、ミラーを支持する部分を光軸の方向に対して下向きに傾けて支持する。

### 【0039】

(物品製造方法に係る実施形態)

本実施形態にかかる物品の製造方法は、例えば、半導体デバイス等のマイクロデバイスや微細構造を有する素子等の物品を製造するのに好適である。本実施形態の物品の製造方法は、基板に塗布された感光剤に上記の露光装置を用いて潜像パターンを形成する工程(基板を露光する工程)と、かかる工程で潜像パターンが形成された基板を現像(処理)する工程とを含む。さらに、かかる製造方法は、他の周知の工程(酸化、成膜、蒸着、ドーピング、平坦化、エッチング、レジスト剥離、ダイシング、ボンディング、パッケージング等)を含む。本実施形態の物品の製造方法は、従来の方法に比べて、物品の性能・品質・生産性・生産コストの少なくとも1つにおいて有利である。

### 【0040】

(その他の実施形態)

以上、本発明の好ましい実施形態について説明したが、本発明は、これらの実施形態に限定されず、その要旨の範囲内で種々の変形および変更が可能である。

### 【符号の説明】

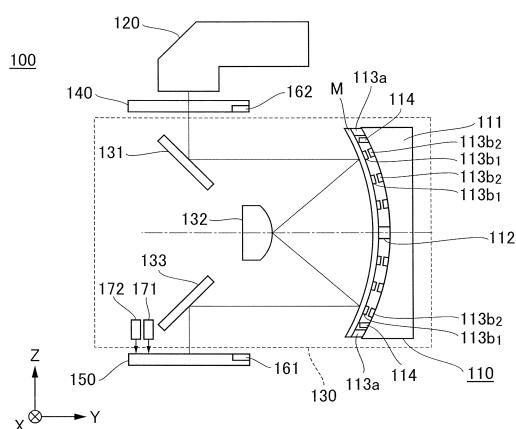
#### 【0041】

100	露光装置
110	保持装置
112	支持部材
113	アクチュエータ
M	ミラー(光学素子)

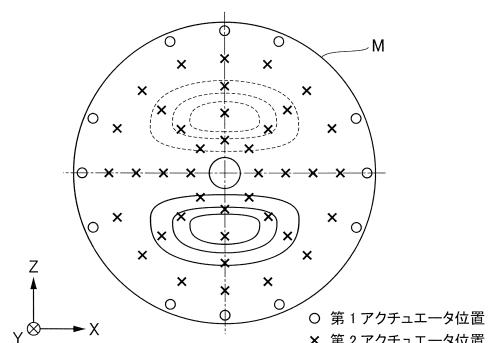
10

20

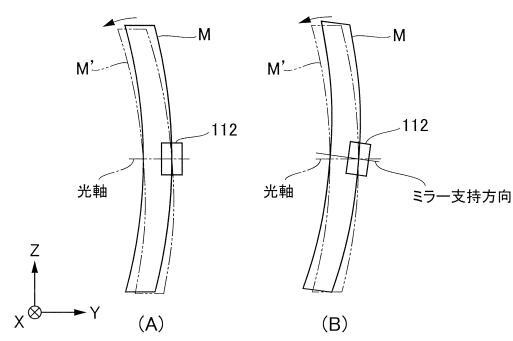
【図1】



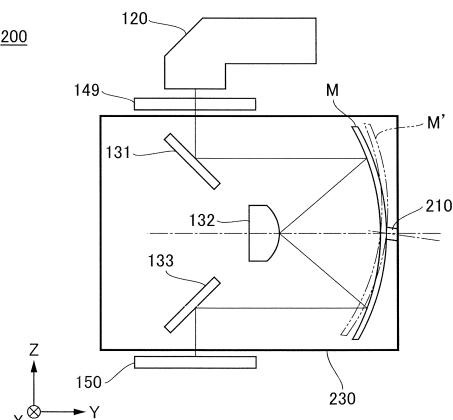
【図3】



【図2】



【図4】



---

フロントページの続き

(56)参考文献 特開2015-065246(JP,A)  
特開2006-196559(JP,A)  
特開2006-201404(JP,A)  
特開2009-288571(JP,A)

(58)調査した分野(Int.Cl., DB名)

H01L 21/027  
G03F 7/20