



(10) **DE 10 2015 209 173 A1** 2016.11.24

(12)

Offenlegungsschrift

(21) Aktenzeichen: **10 2015 209 173.2**

(22) Anmeldetag: **20.05.2015**

(43) Offenlegungstag: **24.11.2016**

(51) Int Cl.: **G02B 13/14** (2006.01)

G02B 27/62 (2006.01)

G02B 7/00 (2006.01)

G03F 7/20 (2006.01)

(71) Anmelder:

Carl Zeiss SMT GmbH, 73447 Oberkochen, DE

(72) Erfinder:

**Fritzsche, Steffen, 73432 Aalen, DE; Baier,
Jürgen, 73447 Oberkochen, DE; Freimann, Rolf,
73431 Aalen, DE**

(56) Ermittelter Stand der Technik:

US 2011 / 0 001 945 A1

WO 2006/ 125 609 A1

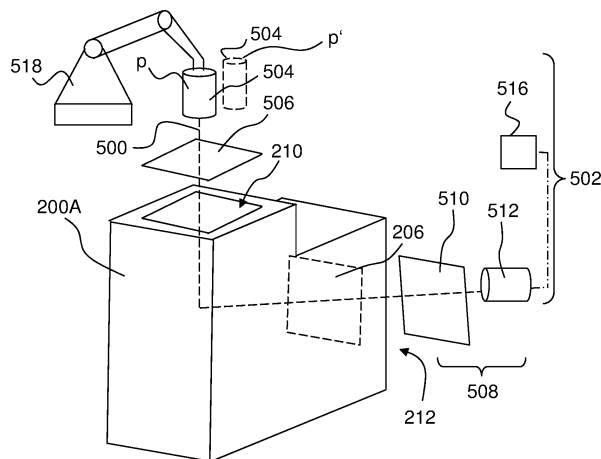
JP 2004- 128 307 A

Prüfungsantrag gemäß § 44 PatG ist gestellt.

Die folgenden Angaben sind den vom Anmelder eingereichten Unterlagen entnommen

(54) Bezeichnung: **VERFAHREN ZUM HERSTELLEN EINES OBJEKTIVS FÜR EINE LITHOGRAPHIEANLAGE
SOWIE MESSVORRICHTUNG**

(57) Zusammenfassung: Es wird ein Verfahren zum Herstellen eines Objektivs (104) für eine Lithographieanlage (100) bereitgestellt, welches folgende Schritte aufweist: a) Bereitstellen zumindest eines ersten und eines zweiten Teilobjektivs (200A, 200B), wobei das zumindest eine erste Teilobjektiv (200A) mehrere optische Elemente (202A) und das zumindest eine zweite Teilobjektiv (200B) zumindest ein optisches Element (202B) umfasst, wobei das zumindest eine erste und zweite Teilobjektiv (200A, 200B) jeweils einen Strahlengang (204A, 204B) aufweisen, welcher an der Eingangs- und/oder Ausgangsseite (206, 210, 212) eines jeweiligen Teilobjektivs (200A, 200B) nicht-homozentrisch ausgebildet ist, b) Senden zumindest eines ersten Lichtstrahls (500, 602) entlang eines jeweiligen Strahlengangs (204A, 204B) des zumindest einen ersten und zweiten Teilobjektivs (200A, 200B) und Erfassen des zumindest einen ersten Lichtstrahls (500, 602) hinter einem jeweiligen Teilobjektiv (200A, 200B), c) Ermitteln zumindest einer optischen Charakteristik eines jeweiligen Teilobjektivs (200A, 200B) anhand des erfassten, zumindest einen ersten Lichtstrahls (500, 602), d) Justieren der mehreren optischen Elemente (202A) des ersten Teilobjektivs (200A) und des zumindest einen optischen Elements (202B) des zweiten Teilobjektivs (200B) in Abhängigkeit von der ermittelten optischen Charakteristik, und e) Zusammenfügen des zumindest einen ersten und zweiten Teilobjektivs (200A, 200B) zur Herstellung des Objektivs (104).



Beschreibung

[0001] Die vorliegende Erfindung betrifft ein Verfahren zum Herstellen eines Objektivs für eine Lithographieanlage. Des Weiteren betrifft die Erfindung eine Messvorrichtung zur Ermittlung einer optischen Charakteristik eines Teilobjektivs für eine Lithographieanlage.

[0002] Die Mikrolithographie wird zur Herstellung mikrostrukturierter Bauelemente, wie beispielsweise integrierter Schaltkreise, angewendet. Der Mikrolithographieprozess wird mit einer Lithographieanlage durchgeführt, welche ein Beleuchtungssystem und ein Projektionssystem aufweist. Das Bild einer mittels des Beleuchtungssystems beleuchteten Maske (Retikel) wird hierbei mittels des Projektionssystems auf ein mit einer lichtempfindlichen Schicht (Photoresist) beschichtetes und in der Bildebene des Projektionssystems angeordnetes Substrat (z. B. ein Siliziumwafer) projiziert, um die Maskenstruktur auf die lichtempfindliche Beschichtung des Substrats zu übertragen.

[0003] Getrieben durch das Streben nach immer kleineren Strukturen bei der Herstellung integrierter Schaltungen werden derzeit EUV-Lithographieanlagen entwickelt, welche Licht mit einer Wellenlänge im Bereich von 0,1 nm bis 30 nm, insbesondere 13,5 nm verwenden. Bei solchen EUV-Lithographieanlagen müssen wegen der hohen Absorption der meisten Materialien von Licht dieser Wellenlänge reflektierende Optiken, das heißt Spiegel, anstelle von – wie bisher – brechenden Optiken, das heißt Linsen, eingesetzt werden.

[0004] Die Spiegel können z. B. an einem Tragrahmen (Engl.: force frame) befestigt und wenigstens teilweise manipulierbar ausgestaltet sein, um eine Bewegung eines jeweiligen Spiegels in bis zu sechs Freiheitsgraden und damit eine hochgenaue Positionierung der Spiegel zueinander, insbesondere im pm-Bereich, zu ermöglichen. Somit können etwa im Betrieb der Lithographieanlage auftretende Änderungen der optischen Eigenschaften, z. B. infolge von thermischen Einflüssen, kompensiert werden.

[0005] Herkömmlicherweise werden Lithographieanlagen beim Hersteller aufgebaut. Dies umfasst insbesondere ein Positionieren und Ausrichten der Spiegel zueinander. „Positionieren“ meint eine Bewegung eines entsprechenden Spiegels in bis zu drei translatorischen Freiheitsgraden. „Ausrichten“ meint ein Bewegen eines entsprechenden Spiegels in bis zu drei rotatorischen Freiheitsgraden. Das Positionieren und Ausrichten der Spiegel wird so lange wiederholt, bis ein Bild, welches an der Eingangsseite des Projektionsobjektivs der Lithographieanlage erzeugt wird, korrekt an der Ausgangsseite des Objektivs abgebildet wird. Anschließend werden die Spiegel in ihrer je-

weiligen Lage fixiert. Damit ist die Qualifizierung der Lithographieanlage abgeschlossen.

[0006] Um nun eine solche Lithographieanlage zum Kunden zu bringen, muss diese – schon aufgrund ihrer großen Abmessungen – in ihre Einzelteile zerlegt werden. Beim Kunden muss dann der vorstehend beschriebene Prozess des Positionierens und Ausrichtens der Spiegel wiederholt werden. Dieser Prozess ist sehr aufwendig – dies nicht nur wegen der Vielzahl von Positionier- und Ausrichteinzelritten, sondern auch wegen der zunehmenden Größe der einzelnen Spiegel (teilweise größer 2 m im Durchmesser) sowie einem entsprechend großem Gewicht der Spiegel.

[0007] Daher sind aus dem Stand der Technik Lösungsansätze bekannt geworden, um den vorstehend beschriebenen Prozess zu vereinfachen.

[0008] So beschreibt beispielsweise die JP 2004-128307 A ein Projektionsobjektiv, welches zwei Teilobjektive umfasst. Die Teilobjektive enthalten jeweils drei Spiegel. Zwischen den beiden Teilobjektiven ist eine Zwischenbildebene gebildet. Somit können die Spiegel innerhalb eines jeden Teilobjektivs zueinander positioniert und ausgerichtet werden. Anhand der Zwischenbildebene wird die korrekte Position und Ausrichtung der Spiegel überprüft. Nach Qualifizierung eines jeweiligen Teilobjektivs werden die Teilobjektive zur Bildung des Objektivs zusammengebaut.

[0009] Die US 2011/0001945 A1 beschreibt einen Ansatz, bei welchem ein Projektionsobjektiv ebenfalls in mehrere Teilobjektive unterteilt ist. Die Teilobjektive werden beim Hersteller zueinander positioniert und ausgerichtet. Die Position und Ausrichtung wird mittels entsprechender Sensoren überprüft und abgespeichert. Für den Transport zum Kunden wird das Objektiv wiederum in seine Teilobjektive zerlegt. Beim Kunden kann das Objektiv unter Zuhilfenahme der Sensoren und gespeicherten Daten wieder einfach aus den Teilobjektiven zusammengebaut werden, wobei die ursprüngliche Positionierung und Ausrichtung der Teilobjektive zueinander wiederhergestellt wird.

[0010] Vor diesem Hintergrund besteht eine Aufgabe der vorliegenden Erfindung darin, ein verbessertes Verfahren zum Herstellen eines Objektivs für eine Lithographieanlage anzugeben. Weiterhin besteht eine Aufgabe der vorliegenden Erfindung darin, eine verbesserte Messvorrichtung zur Ermittlung einer optischen Charakteristik eines Teilobjektivs für eine Lithographieanlage bereitzustellen.

[0011] Demgemäß wird ein Verfahren zum Herstellen eines Objektivs für eine Lithographieanlage bereitgestellt, welches folgende Schritte aufweist: a) Bereitstellen zumindest eines ersten und zweiten Teil-

objektiv, wobei das zumindest eine erste Teilobjektiv mehrerer optische Elemente und das zumindest eine zweite Teilobjektiv zumindest ein optisches Element umfasst, wobei das zumindest eine erste und zweite Teilobjektiv jeweils einen Strahlengang aufweisen, welcher an der Eingangs- und/oder Ausgangsseite eines jeweiligen Teilobjektivs nicht homozentrisch ausgebildet ist, b) Senden zumindest eines ersten Lichtstrahls entlang eines jeweiligen Strahlengangs des zumindest einen ersten und zweiten Teilobjektivs und Erfassen des zumindest einen ersten Lichtstrahls hinter einem jeweiligen Teilobjektiv, c) Ermitteln zumindest einer optischen Charakteristik eines jeweiligen Teilobjektivs anhand des erfassten, zumindest einen ersten Lichtstrahls, d) Justieren der mehreren optischen Elemente eines jeweiligen Teilobjektivs in Abhängigkeit von der ermittelten optischen Charakteristik, und e) Zusammenfügen des zumindest einen ersten und zweiten Teilobjektivs zur Herstellung des Objektivs.

[0012] Die der vorliegenden Erfindung zugrundeliegenden Erkenntnis beruht darin, dass es nicht immer möglich ist, ein Objektiv in Teilobjektive derart zu unterteilen, dass sich zwischen den Teilobjektiven Zwischenbildebene befinden. Vielmehr kann es beispielsweise aus Gründen der Schaffung von Teilobjektiven mit günstiger Geometrie bzw. günstigen Packmaßen vorteilhaft sein, ein entsprechendes Objektiv in Teilobjektive zu unterteilen, wobei sich an den Schnittstellen zwischen jeweils zwei Objektiven gerade keine Zwischenbildebene befindet. In solchen Fällen ist der Strahlengang zwischen zwei entsprechenden Teilobjektiven in der Regel nichthomozentrisch. Dies bedeutet, dass sich die Lichtstrahlen nicht auf einen Punkt zurückführen lassen und auch nicht parallel sind.

[0013] Bislang bestand ein Problem darin, im Falle eines solchen nicht-homozentrischen Strahlengangs ein jeweiliges Teilobjektiv optisch zu qualifizieren, d. h. insbesondere die Positionierung und Ausrichtung der jeweiligen Spiegel so vorzunehmen, dass nach dem Zusammenfügen der Teilobjektive zur Bildung des Objektivs eine korrekte Abbildung mittels des Objektivs erzeugt wird.

[0014] Die vorliegend beschriebene Lösung ermöglicht gerade eine solche Qualifizierung eines Teilobjektivs mit nicht-homozentrischem Strahlengang. Dazu wird durch das erste und zweite Teilobjektiv jeweils ein erster Lichtstrahl gesendet und nach einem jeweiligen Teilobjektiv erfasst. Aus dem erfassten ersten Lichtstrahl wird eine optische Charakteristik eines jeweiligen Teilobjektivs ermittelt. Die Justage der optischen Elemente des ersten und zweiten Teilobjektivs erfolgt in Abhängigkeit von der ermittelten optischen Charakteristik. Die optische Charakteristik des zumindest einen ersten Lichtstrahls kann beispielsweise eine Position, einen Winkel und/oder

eine Wellenlänge desselben an der Ausgangsseite des entsprechenden Teilobjektivs betreffen. Ferner kann die optische Charakteristik einen Vergleich der Position, des Winkels und/oder der Wellenlänge mit einem entsprechenden Referenzwert beinhalten.

[0015] Das Aufteilen des Objektivs in mehrere Teilobjektive führt vorteilhaft zu einer Reduzierung der Komplexität des Justageablaufs, wie nachfolgend näher erläutert. „Justieren“ umfasst dabei ein Positionieren und/oder Ausrichten des entsprechenden optischen Elements. „Positionieren“ meint ein Bewegen des entsprechenden optischen Elements in bis zu drei translatorischen Freiheitsgraden. „Ausrichten“ meint ein Bewegen des entsprechenden optischen Elements in bis zu drei rotatorischen Freiheitsgraden.

[0016] Als Maßzahl für die Komplexität wird beispielsweise die Anzahl möglicher Urzustände verstanden. Am Beispiel der Zerlegung eines achtkomponentigen Objektivs in drei Teilobjektive wird nachfolgend die Reduktion möglicher Urzustände berechnet:

Seien $N_1, N_2, N_3, \dots, N_k$ die Anzahl möglicher Positionier- und Ausrichtungszustände der optischen Elemente 1, 2, 3, ..., k, wobei hier gilt $k = 8$. Seien M_{12} und M_{23} die Anzahl möglicher Urzustände bei der Justage der Teilobjektive zueinander, also Teilobjektiv 1 zu Teilobjektiv 2 und Teilobjektiv 2 zu Teilobjektiv 3. Bei einer Gesamtobjektivjustage sind $N_1 \cdot N_2 \cdot N_3 \cdot \dots \cdot N_8$ Urzustände möglich. Bei der modularisierten Justage beträgt die Anzahl möglicher Urzustände: $N_1 \cdot N_2 \cdot N_3 + N_4 \cdot N_5 \cdot N_6 + N_7 \cdot N_8 + M_{12} \cdot M_{23}$. Nimmt man der Einfachheit halber an, dass bei allen optischen Elementen und Teilobjektiven die Anzahl möglicher Urzustände gleich sind, diese Anzahl sei hier N genannt, dann folgt eine Verringerung der Urzustandsanzahl von N^8 auf nur noch $2 \cdot N^3 + 2 \cdot N^2$.

[0017] Grundsätzlich kann das erste Teilobjektiv zwei oder mehr optische Elemente enthalten. Das zweite Teilobjektiv kann eins oder mehr optische Elemente enthalten. Typischerweise enthält ein Objektiv sechs, sieben, acht oder neun Spiegel. Diese können vorteilhaft auf beispielsweise drei Teilobjektive aufgeteilt werden. Dadurch ergibt sich die entsprechende Vereinfachung der Montage wie vorstehend beispielhaft erläutert.

[0018] Gemäß einer Ausführungsform wird der zumindest eine erste Lichtstrahl von einer Erfassungseinrichtung erfasst, auf welcher er einen Lichtpunkt erzeugt, wobei das Ermitteln der zumindest einen optischen Charakteristik ein Vergleichen des Lichtpunkts mit einem Referenzlichtpunkt umfasst. Der Schritt des Vergleichens kann beispielsweise automatisch mittels einer geeigneten Rechneinrichtung erfolgen.

[0019] Gemäß einer weiteren Ausführungsform wird eine Position des Lichtpunkts mit einer Position des Referenzlichtpunkts verglichen. Dadurch ergibt sich ein einfaches Verfahren.

[0020] Gemäß einer weiteren Ausführungsform werden zumindest ein erster und ein von diesem beabstandeter zweiter Lichtstrahl entlang eines jeweiligen Strahlengangs des zumindest einen ersten und zweiten Teilobjektivs gesendet und hinter einem jeweiligen Teilobjektiv erfasst, wobei die zumindest eine optische Charakteristik anhand des erfassten, ersten und zweiten Lichtstrahls ermittelt wird. Dadurch, dass zwei voneinander beabstandete Lichtstrahlen verwendet werden, nehmen diese einen jeweils unterschiedlichen Verlauf entlang des Strahlengangs entlang eines jeweiligen Teilobjektivs, so dass ein Mehr an Informationen über ein jeweiliges Teilobjektiv gewonnen werden kann.

[0021] Gemäß einer weiteren Ausführungsform wird der zumindest eine erste und zweite Lichtstrahl von einer Erfassungseinrichtung erfasst, auf welcher der zumindest eine erste und zweite Lichtstrahl ein Lichtpunktmuster erzeugen, wobei das Ermitteln der zumindest einen optischen Charakteristik das Vergleichen des Lichtpunktmusters mit einem Referenzlichtpunktmuster umfasst. Auch dieser Schritt des Vergleichens des Lichtpunktmusters mit einem Referenzlichtpunktmuster kann automatisch erfolgen. Beispielsweise kann eine Justage der optischen Elemente des entsprechenden Teilobjektivs so lange wiederholt werden, bis ein durchschnittlicher Abstand der Lichtpunkte des Lichtpunktmusters zu Referenzlichtpunkten des Referenzlichtpunktmusters minimal ist.

[0022] Gemäß einer weiteren Ausführungsform wird der zumindest eine erste und der von diesem beabstandete zweite Lichtstrahl dadurch erzeugt, dass eine Lichtquelle zwischen zwei Positionen bewegt wird. Das Bewegen der Lichtquelle zwischen den beiden Positionen kann automatisch erfolgen.

[0023] Gemäß einer Ausführungsform wird die Lichtquelle zwischen den zwei Positionen mittels eines Roboters bewegt. Dadurch ergibt sich ein einfaches, wiederholbares Verfahren.

[0024] Gemäß einer weiteren Ausführungsform werden der zumindest eine erste und der von diesem beabstandete zweite Lichtstrahl dadurch erzeugt, dass zwei voneinander beabstandete Lichtquellen vorgesehen werden. Beispielsweise lassen sich die zwei voneinander beabstandeten Lichtquellen dadurch erzeugen, dass eine Maske mit zumindest zwei Lichtdurchtritten mit einer Lichtquelle bestrahlt wird.

[0025] Gemäß einer weiteren Ausführungsform wird die zumindest eine optische Charakteristik zumindest

eines Teilobjektivs unter Verwendung eines deflektometrischen Messverfahrens ermittelt. Deflektometrie bezeichnet hier die berührungsfreie Erfassung bzw. Vermessung spiegelnder Oberflächen. Hierbei kommen Techniken aus der Photometrie, Radiometrie, Photogrammetrie, des Laserscannings oder der Laserentfernungsmessung zum Einsatz.

[0026] Gemäß einer weiteren Ausführungsform werden für das deflektometrische Messverfahren zumindest eine Lichtquelle zum Erzeugen des zumindest einen ersten Lichtstrahls und eine von dieser beleuchtete Maske vor dem zumindest einen Teilobjektiv sowie eine Erfassungseinrichtung zur Erfassung des zumindest einen ersten Lichtstrahls hinter dem entsprechenden Teilobjektiv angeordnet. Dadurch ergibt sich ein einfacher Messaufbau.

[0027] Gemäß einer weiteren Ausführungsform wird die zumindest eine optische Charakteristik zumindest eines Teilobjektivs unter Verwendung eines Verfahrens zur Wellenfrontmessung ermittelt. „Wellenfrontmessung“ meint hier insbesondere ein Erfassen der lokalen Neigung der Wellenfront gegenüber einer Referenz. Die Neigung bzw. eine entsprechende Verschiebung von Lichtpunkten kann mit ortsempfindlichen Detektoren, welche beispielsweise die Erfassungseinrichtung enthält, gemessen werden. Insbesondere kann zur Wellenfrontmessung ein Shack-Hartmann-Sensor eingesetzt werden.

[0028] Gemäß einer weiteren Ausführungsform werden für das Verfahren zur Wellenfrontmessung zumindest eine Lichtquelle zur Erzeugung des zumindest einen ersten Lichtstrahls und eine von dieser beleuchtete Maske vor dem zumindest einen Teilobjektiv angeordnet. Weiter ist eine Korrekturoptik zur Korrektur des zumindest einen ersten Lichtstrahls vorgesehen. Außerdem wird eine Erfassungseinrichtung zur Erfassung des zumindest einen ersten, korrigierten Lichtstrahls hinter dem entsprechenden Teilobjektiv angeordnet. Die Korrekturoptik kann vor oder hinter dem Teilobjektiv angeordnet werden und ist dazu eingerichtet, für die Erfassungseinrichtung geeignete Informationen aus dem zumindest einen ersten Lichtstrahl herauszufiltern.

[0029] Gemäß einer weiteren Ausführungsform erfasst die Korrekturoptik ein Mikrolinsenarray oder ein Lochblendenraster. Mittels des Mikrolinsenarrays oder des Lochblendenrasters kann aus der einfallenden Wellenfront ein charakteristisches Lichtpunktmuster erzeugt werden, welches wiederum einfach mit einem entsprechenden Referenzlichtpunktmuster verglichen werden kann.

[0030] Gemäß einer weiteren Ausführungsform weist die Korrekturoptik ein computergeneriertes Hologramm auf. „Computergeneriertes Hologramm“ meint, dass ein entsprechendes holographisches In-

terferenzmuster digital erzeugt wird. Dieses Erzeugen kann beispielsweise umfassen, dass das holographische Interferenzmuster digital berechnet und anschließend auf eine Maske oder einen Film gedruckt wird. Die Beleuchtung der Maske oder des Films erfolgt durch den zumindest einen ersten und/oder zweiten Lichtstrahl. Alternativ kann das computergenerierte Hologramm auch unter teilweiser oder vollständiger Verwendung eines holographischen 3D-Bildschirms erzeugt werden. Mittels des computergenerierten Hologramms lassen sich der zumindest eine erste und/oder zweite Lichtstrahl derart modifizieren, dass eine für die Erfassungseinrichtung günstige Information generiert wird. Beispielsweise kann die Modifikation derart sein, dass „künstlich“ eine Zwischenbildebene an der Ausgangsseite des entsprechenden Teilobjektivs erzeugt wird. Ein Vergleich des eingangsseitigen Bilds mit dessen entsprechender Abbildung in der Zwischenbildebene erlaubt dann ein einfaches Justieren der optischen Elemente des entsprechenden Teilobjektivs so lange, bis Bild und Abbild sich entsprechen.

[0031] Gemäß einer weiteren Ausführungsform weist die Korrekturoptik für jeden Lichtstrahl jeweils ein computergeneriertes Hologramm auf. Bei der Verwendung einer Korrekturoptik, die ein computergeneriertes Hologramm aufweist, kann für jeden verwendeten Feldpunkt ein eigenes computergeneriertes Hologramm verwendet werden. Dadurch kann die für die Nachjustage zur Verfügung stehende Informationsmenge deutlich vergrößert werden. Dabei können die computergenerierten Hologramme hinter den Feldpunkten angeordnet werden.

[0032] Gemäß einer weiteren Ausführungsform ist das computergenerierte Hologramm vor dem Mikrolinsenarray oder dem Lochblendenraster angeordnet. D. h., dass der zumindest eine erste und/oder zweite Lichtstrahl zunächst durch das computergenerierte Hologramm hindurchtritt und anschließend durch das Mikrolinsenarray oder das Lochblendenraster zu der Erfassungseinrichtung gelangt.

[0033] Gemäß einer weiteren Ausführungsform ist das computergenerierte Hologramm dazu eingerichtet, den zumindest einen ersten und zweiten Lichtstrahl zu parallelisieren. Die Erfassung und Auswertung parallelen Lichts bzw. die Ermittlung einer entsprechenden optischen Charakteristik ist einfach. Insbesondere ist dadurch die Möglichkeit gegeben, eine Zwischenbildebene ausgangsseitig an einem entsprechenden Teilobjektiv vorzusehen.

[0034] Gemäß einer weiteren Ausführungsform wird die zumindest eine optische Charakteristik zumindest eines Teilobjektivs in einem ersten Schritt unter Verwendung des Verfahrens zur Wellenfrontmessung ohne computergeneriertes Hologramm und im zweiten Schritt mit computergeneriertem Hologramm

ermittelt. Nach dem ersten Schritt wie auch nach dem zweiten Schritt findet bevorzugt eine Justage der optischen Elemente des entsprechenden Teilobjektivs statt. Somit kann eine Grobjustage (ohne computergeneriertes Hologramm) und anschließend eine Feinjustage (mit computergeneriertem Hologramm) stattfinden.

[0035] Gemäß einer weiteren Ausführungsform ist die Erfassungseinrichtung eine Mattscheibe und/oder ein Elektronikchip. Beispielsweise kann als Elektronikchip ein CMOS- oder CCD-Chip verwendet werden.

[0036] Gemäß einer weiteren Ausführungsform werden die mehreren optischen Elemente des ersten Teilobjektivs und das zumindest eine optische Element des zweiten Teilobjektivs nach Schritt d) fixiert. Die Fixierung stellt sicher, dass auch bei einem Transport der einzelnen Teilobjektive insbesondere zum Kunden keine Veränderung der Position und/oder Ausrichtung der optischen Elemente stattfindet.

[0037] Gemäß einer weiteren Ausführungsform sind die mehreren optischen Elemente des ersten Teilobjektivs jeweils und/oder das zumindest eine optische Element des zweiten Teilobjektivs im Betrieb der Lithographieanlage zwischen einer ersten und einer zweiten Position und/oder Ausrichtung aktulierbar, wobei Schritt c) in der ersten und zweiten Position und/oder Ausrichtung durchgeführt wird. Somit kann auch eine dynamische Qualifizierung eines jeweiligen Teilobjektivs durchgeführt werden. Entsprechend können Korrekturen wie auch Reparaturen bezüglich der entsprechenden Aktoren oder Stellwege der aktuerbaren optischen Elemente bereits bei der Qualifizierung eines jeweiligen Teilobjektivs durchgeführt werden. Dadurch ergibt sich eine weitere Reduzierung des Montageaufwands.

[0038] Gemäß einer weiteren Ausführungsform wird nach Schritt e) eine abbildende optische Charakteristik des hergestellten Objektivs bei der Betriebswellenlänge ermittelt. Grundsätzlich kann der zumindest eine erste und/oder zweite Lichtstrahl die Betriebswellenlänge oder auch andere Wellenlängen aufweisen. Die Betriebswellenlänge richtet sich nach dem Typ der Lithographieanlage. Bei der Lithographieanlage kann es sich bevorzugt um eine EUV- oder DUV-Lithographieanlage handeln. EUV steht für „extreme ultra violet“ und bezeichnet eine Wellenlänge des Arbeitslichts bzw. der Betriebswellenlänge zwischen 0,1 und 30 nm. DUV steht für „deep ultra violet“ und bezeichnet eine Wellenlänge des Arbeitslichts zwischen 30 und 250 nm. Indem in einem Schritt nach Zusammenfügen der Teilobjektive zum Bilden des Objektivs ein ausgangsseitiges Abbild mit einem eingangsseitigen Bild verglichen wird, kann die korrekte Funktionsweise des Objektivs insgesamt sichergestellt werden.

Bevorzugt handelt es sich bei dem Objektiv um ein Projektionsobjektiv einer Lithographieanlage.

[0039] Gemäß einer weiteren Ausführungsform erfolgt in Abhängigkeit von der ermittelten abbildenden optischen Charakteristik eine Nachbearbeitung von Oberflächen oder eine Aktuierung eines oder mehrerer der optischen Elemente des zumindest einen ersten oder zweiten Teilobjektivs. Somit kann auch nach Herstellung des Objektivs eine weitere Korrektur des Strahlengangs vorgenommen werden.

[0040] Gemäß einer weiteren Ausführungsform unterteilt eine Schnittstelle im Strahlengang zwischen dem zumindest einen ersten und zweiten Teilobjektiv einen Abstand zwischen einem optischen Element des ersten Teilobjektivs und einem optischen Element des zweiten Teilobjektivs, welcher länger als der längste Abstand zwischen jeden zwei benachbarten optischen Elementen des zumindest einen ersten und zweiten Teilobjektivs ist. „Schnittstelle“ meint den Bereich, in welchem das zumindest erste und zweite Teilobjektiv zum Bilden des Objektivs zusammengefügt werden. Eine so gewählte Schnittstelle kann aus konstruktiven bzw. platztechnischen Gründen günstig sein.

[0041] Gemäß einer weiteren Ausführungsform werden zumindest drei Teilobjektive bereitgestellt. Das dritte Teilobjektiv kann zumindest ein oder mehrere optische Elemente aufweisen. Das zu dem ersten und zweiten Teilobjektiv vorstehend ausgeführte gilt entsprechend für das dritte Teilobjektiv. Selbstverständlich könnten auch mehr als drei Teilobjektive, beispielsweise fünf Teilobjektive vorgesehen sein.

[0042] Gemäß einer weiteren Ausführungsform sind die mehreren optischen Elemente des ersten Teilobjektivs und/oder das zumindest eine optische Element des zweiten Teilobjektivs Spiegel und/oder Linsen. Die Linsen sind bevorzugt im einfachen Durchtritt angeordnet, d. h. das Licht tritt durch diese nur in einer Richtung durch.

[0043] Gemäß einer weiteren Ausführungsform werden zwei oder mehrere Teilobjektive zu einem Teilobjektiv zusammengefasst. Dadurch werden neue Teilobjektive aufgebaut, die ihrerseits mit den zuvor beschriebenen Verfahren vermessen werden können. Dabei kann das Zusammenfassen zu neuen Teilobjektiven bedeuten, dass die einzelnen Teilobjektive zueinander angeordnet und fixiert werden.

[0044] Gemäß einer weiteren Ausführungsform werden die Schritte a) bis e) mit dem zusammengefassten Teilobjektiv wiederholt. Vorteilhafterweise kann auch ein zusammengefasstes Teilobjektiv mit den zuvor beschriebenen Verfahren vermessen werden.

[0045] Weiterhin wird eine Messvorrichtung zur Ermittlung einer optischen Charakteristik eines Teilobjektivs für eine Lithographieanlage bereitgestellt. Die Messvorrichtung weist Folgendes auf: eine Sendevorrichtung zum Senden zumindest eines ersten Lichtstrahls entlang eines Strahlengangs des Teilobjektivs, eine Korrekturoptik, welche ein computergeneriertes Hologramm aufweist, eine Erfassungseinrichtung zum Erfassen des zumindest einen ersten Lichtstrahls, und eine Ermittlungseinrichtung zum Ermitteln zumindest einer optischen Charakteristik des Teilobjektivs anhand des erfassten, zumindest einen ersten Lichtstrahls. Wie zuvor beschrieben, erlaubt der Einsatz eines computergenerierten Hologramms, dass für die Erfassungseinrichtung eine günstige Information generiert wird.

[0046] Die in Bezug auf das Verfahren beschriebenen Merkmale, Ausführungsformen und Vorteile gelten entsprechend für die Messvorrichtung.

[0047] Weitere mögliche Implementierungen der Erfindung umfassen auch nicht explizit genannte Kombinationen von zuvor oder im Folgenden bezüglich der Ausführungsbeispiele beschriebenen Merkmale oder Ausführungsformen. Dabei wird der Fachmann auch Einzelaspekte als Verbesserungen oder Ergänzungen zu der jeweiligen Grundform der Erfindung hinzufügen.

[0048] Weitere vorteilhafte Ausgestaltungen und Aspekte der Erfindung sind Gegenstand der Unteransprüche sowie der im Folgenden beschriebenen Ausführungsbeispiele der Erfindung. Im Weiteren wird die Erfindung anhand von bevorzugten Ausführungsformen unter Bezugnahme auf die beigelegten Figuren näher erläutert.

[0049] Fig. 1A zeigt eine schematische Ansicht einer EUV-Lithographieanlage;

[0050] Fig. 1B zeigt eine schematische Ansicht einer DUV-Lithographieanlage;

[0051] Fig. 2 zeigt schematisch ein Projektionsobjektiv einer Lithographieanlage umfassend ein erstes und ein zweites Teilobjektiv;

[0052] Fig. 3A zeigt das erste Teilobjektiv aus Fig. 2;

[0053] Fig. 3B zeigt das zweite Teilobjektiv aus Fig. 2;

[0054] Fig. 4 zeigt eine Ausführungsform, die ebenfalls ein Teilobjektiv im vorliegenden Sinne darstellt;

[0055] Fig. 5A und Fig. 5B zeigen perspektivisch bzw. schematisch ein deflektometrisches Messverfahren gemäß einer Ausführungsform;

[0056] Fig. 6A und Fig. 6B zeigen perspektivisch bzw. schematisch ein Verfahren zur Wellenfrontmessung gemäß einer Ausführungsform;

[0057] Fig. 7A und Fig. 7B zeigen perspektivisch bzw. schematisch das Verfahren gemäß den Fig. 6A und Fig. 6B mit einem zusätzlich vorgesehenen computergenerierten Hologramm; und

[0058] Fig. 8 zeigt ein Flussdiagramm eines Verfahrens gemäß einer Ausführungsform.

[0059] Falls nichts anderes angegeben ist, bezeichnen gleiche Bezugszeichen in den Figuren gleiche oder funktionsgleiche Elemente. Ferner sollte beachtet werden, dass die Darstellungen in den Figuren nicht notwendigerweise maßstabsgerecht sind.

[0060] Fig. 1A zeigt eine schematische Ansicht einer EUV-Lithographieanlage **100A**, welche ein Strahlformungs- und Beleuchtungssystem **102** und ein Projektionssystem **104** umfasst. Dabei steht EUV für „extremes Ultraviolett“ (Engl.: extreme ultraviolet, EUV) und bezeichnet eine Wellenlänge des Arbeitslichts zwischen 0,1 und 30 nm. Das Strahlformungs- und Beleuchtungssystem **102** und das Projektionssystem **104** sind jeweils in einem Vakuum-Gehäuse vorgesehen, wobei jedes Vakuum-Gehäuse mit Hilfe einer nicht näher dargestellten Evakuierungsvorrichtung evakuiert wird. Die Vakuum-Gehäuse sind von einem nicht näher dargestellten Maschinenraum umgeben, in welchem die Antriebsvorrichtungen zum mechanischen Verfahren bzw. Einstellen der optischen Elemente vorgesehen sind. Ferner können auch elektrische Steuerungen und dergleichen in diesem Maschinenraum vorgesehen sein.

[0061] Die EUV-Lithographieanlage **100A** weist eine EUV-Lichtquelle **106A** auf. Als EUV-Lichtquelle **106A** kann beispielsweise eine Plasmaquelle oder ein Synchrotron vorgesehen sein, welche Strahlung **108A** im EUV-Bereich (extrem ultravioletten Bereich), also z.B. im Wellenlängenbereich von 0,1 nm bis 30 nm aussenden. Im Strahlformungs- und Beleuchtungssystem **102** wird die EUV-Strahlung **108A** gebündelt und die gewünschte Betriebswellenlänge aus der EUV-Strahlung **108A** herausgefiltert. Die von der EUV-Lichtquelle **106A** erzeugte EUV-Strahlung **108A** weist eine relativ niedrige Transmissivität durch Luft auf, weshalb die Strahlführungsräume im Strahlformungs- und Beleuchtungssystem **102** und im Projektionssystem **104** evakuiert sind.

[0062] Das in Fig. 1A dargestellte Strahlformungs- und Beleuchtungssystem **102** weist fünf Spiegel **110**, **112**, **114**, **116**, **118** auf. Nach dem Durchgang durch das Strahlformungs- und Beleuchtungssystem **102** wird die EUV-Strahlung **108A** auf die Photomaske (Engl.: reticle) **120** geleitet. Die Photomaske **120** ist ebenfalls als reflektives optisches Element ausgebil-

det und kann außerhalb der Systeme **102**, **104** angeordnet sein. Weiter kann die EUV-Strahlung **108A** mittels eines Spiegels **136** auf die Photomaske gelenkt werden. Die Photomaske **120** weist eine Struktur auf, welche mittels des Projektionssystems **104** verkleinert auf einen Wafer **122** oder dergleichen abgebildet wird.

[0063] Das Projektionssystem **104** weist sechs Spiegel M1–M6 zur Abbildung der Photomaske **120** auf den Wafer **122** auf. Dabei können einzelne Spiegel M1–M6 des Projektionssystems **104** symmetrisch zur optischen Achse **124** des Projektionssystems **104** angeordnet sein. Es sollte beachtet werden, dass die Anzahl der Spiegel der EUV-Lithographieanlage **100A** nicht auf die dargestellte Anzahl beschränkt ist. Es können auch mehr oder weniger Spiegel vorgesehen sein. Des Weiteren sind die Spiegel i.d.R. an ihrer Vorderseite zur Strahlformung gekrümmt.

[0064] Fig. 1B zeigt eine schematische Ansicht einer DUV-Lithographieanlage **100B**, welche ein Strahlformungs- und Beleuchtungssystem **102** und ein Projektionssystem **104** umfasst. Dabei steht DUV für „tiefes Ultraviolett“ (Engl.: deep ultraviolet, DUV) und bezeichnet eine Wellenlänge des Arbeitslichts zwischen 30 und 250 nm. Das Strahlformungs- und Beleuchtungssystem **102** und das Projektionssystem **104** sind von einem nicht näher dargestellten Maschinenraum umgeben, in welchem die Antriebsvorrichtungen zum mechanischen Verfahren bzw. Einstellen der optischen Elemente vorgesehen sind. Die DUV-Lithographieanlage **100B** weist ferner eine Steuereinrichtung **126** zum Steuern verschiedener Komponenten der DUV-Lithographieanlage **100B** auf. Dabei ist die Steuereinrichtung **126** mit dem Strahlformungs- und Beleuchtungssystem **102**, einer DUV-Lichtquelle **106B**, einer Halterung **128** der Photomaske **120** (Engl.: reticle stage) und einer Halterung **130** des Wafers **122** (Engl.: wafer stage) verbunden.

[0065] Die DUV-Lithographieanlage **100B** weist eine DUV-Lichtquelle **106B** auf. Als DUV-Lichtquelle **106B** kann beispielsweise ein ArF-Excimerlaser vorgesehen sein, welcher Strahlung **108B** im DUV-Bereich bei 193 nm emittiert.

[0066] Das in Fig. 1B dargestellte Strahlformungs- und Beleuchtungssystem **102** leitet die DUV-Strahlung **108B** auf eine Photomaske **120**. Die Photomaske **120** ist als transmissives optisches Element ausgebildet und kann außerhalb der Systeme **102**, **104** angeordnet sein. Die Photomaske **120** weist eine Struktur auf, welche mittels des Projektionssystems **104** verkleinert auf einen Wafer **122** oder dergleichen abgebildet wird.

[0067] Das Projektionssystem **104** weist mehrere Linsen **132** und/oder Spiegel **134** zur Abbildung der Photomaske **120** auf den Wafer **122** auf. Dabei kön-

nen einzelne Linsen **132** und/oder Spiegel **134** des Projektionssystems **104** symmetrisch zur optischen Achse **124** des Projektionssystems **104** angeordnet sein. Es sollte beachtet werden, dass die Anzahl der Linsen und Spiegel der DUV-Lithographieanlage **100B** nicht auf die dargestellte Anzahl beschränkt ist. Es können auch mehr oder weniger Linsen und/oder Spiegel vorgesehen sein. Insbesondere weist das Strahlformungs- und Beleuchtungssystem **102** der DUV-Lithographieanlage **100B** mehrere Linsen und/oder Spiegel auf. Des Weiteren sind die Spiegel i.d.R. an ihrer Vorderseite zur Strahlformung gekrümmt.

[0068] Nachfolgend wird zunächst bezugnehmend auf die **Fig. 2** und **Fig. 8** ein Verfahren zum Herstellen insbesondere des Projektionsobjektivs **104** bei einer Lithographieanlage **100** gemäß den **Fig. 1A** oder **Fig. 1B** näher erläutert. Das Projektionsobjektiv **104** wird vorliegend gleichbedeutend auch als Projektionssystem **104** bezeichnet.

[0069] Das Projektionsobjektiv **104** setzt sich beispielsweise aus zwei Teilobjektiven **200A**, **200B** zusammen. Genauso gut könnte sich das Projektionsobjektiv **104** aber auch aus drei, vier, fünf oder mehr Teilobjektiven zusammensetzen. Die Darstellung der optischen Elemente **200A**, **200B** in dem Projektionsobjektiv **104** der **Fig. 2** ff. ist gegenüber der Darstellung der **Fig. 1A** und **Fig. 1B** stark schematisiert worden.

[0070] Ein jeweiliges Teilobjektiv **200A**, **200B** umfasst mehrere optische Elemente **202A**, **202B**, welche beispielsweise als Spiegel und/oder Linsen ausgebildet sein können. Ein Strahlengang innerhalb eines jeweiligen Teilobjektivs **200A**, **200B** ist mit **204A**, **204B** bezeichnet.

[0071] Die beiden Teilobjektive **200A**, **200B** sind über eine Schnittstelle **206** miteinander lösbar verbindbar. **Fig. 2** zeigt den zusammengefügte Zustand der beiden Teilobjektive **200A**, **200B**, in welchem sie das zusammengebaute Projektionsobjektiv **104** bilden. Dabei ergibt sich ein durchgängiger Strahlengang **208**, welcher die Teilstrahlengänge **204A**, **204B** umfasst. Der Strahlengang **208** führt von einer Eingangsseite **210** des Projektionsobjektivs **104** über die optischen Elemente **202A**, über die Schnittstelle **206**, über die optischen Elemente **202B** zur Ausgangsseite **212** des Projektionsobjektivs **104**. Die Eingangsseite **210** des Projektionsobjektivs **104** bildet auch gleichzeitig die Eingangsseite des Teilobjektivs **200A**. Die Schnittstelle **206** bildet sowohl die Ausgangsseite des Teilobjektivs **200A** wie auch die Eingangsseite des Teilobjektivs **200B**. Die Ausgangsseite **212** des Projektionsobjektivs **104** bildet auch gleichzeitig die Ausgangsseite des Teilobjektivs **200B**.

[0072] Die Eingangs- und Ausgangsseite **210**, **212** weisen einen homozentrischen Strahlengang auf, so dass ein Bild, insbesondere die strukturierte Maske **120** (siehe **Fig. 1A**) auf den Wafer **122** abgebildet wird.

[0073] Vorliegend sollen jedoch die optischen Elemente **202A** bzw. **202B** eines jeweiligen Teilobjektivs **200A**, **200B** separat justiert werden, beispielsweise beim Hersteller der Lithographieanlage **100**. Die so qualifizierten Teilobjektive **200A**, **200B** werden anschließend zum Kunden transportiert und dort zu dem Projektionsobjektiv **104** zusammengebaut.

[0074] Daher werden in einem ersten Verfahrensschritt **801** (siehe **Fig. 8**) das erste und zweite Teilobjektiv **200A**, **200B** bereitgestellt, wie in den **Fig. 3A** und **Fig. 3B** dargestellt. Die Strahlengänge dieser Teilobjektive **200A**, **200B** sind aufgrund des gewählten Verlaufs der Schnittstelle **206** an der Ausgangsseite des Teilobjektivs **200A** bzw. an der Eingangsseite des Teilobjektivs **200B** nicht homozentrisch.

[0075] Die Schnittstelle **206** kann bevorzugt in einem Teil des Strahlengangs **208** gewählt werden, in welchem der Abstand zwischen zwei benachbarten optischen Elementen **202A**, **202B** größer ist als der direkte Abstand zwischen beliebigen anderen optischen Elementen **202A**, **202B** in dem Projektionsobjektiv **104**. Dieser längste Abstand ist in **Fig. 2** mit **a** bezeichnet (entspricht nicht der Darstellung der **Fig. 2**, da diese insbesondere insoweit nicht maßstabsgetreu ist).

[0076] Lediglich ergänzend ist in **Fig. 4** ein Teilobjektiv **400** illustriert, welches auch ein Teilobjektiv im vorliegenden Sinne darstellt, obwohl es unter Veränderung der Nachbarschaftsverhältnisse der optischen Elemente hervorgegangen ist. Im Fall der **Fig. 4** wurden nämlich im Vergleich zu den Teilobjektiven gemäß den **Fig. 3A** und **Fig. 3B** die Linsen **202A** weggelassen. Definitionsgemäß werden beim Auseinanderbauen und Zusammenbauen der Teilobjektive **200A**, **200B** die Nachbarschaftsverhältnisse der optischen Elemente **202A**, **202B** nicht verändert.

[0077] **Fig. 8** zeigt nun einen Verfahrensschritt **802**. Im Verfahrensschritt **802** wird zumindest ein erster Lichtstrahl, in **Fig. 5B** beispielhaft mit **500** bezeichnet, entlang des Strahlengangs **204A** des ersten Teilobjektivs **200A** gesendet und hinter dem Teilobjektiv **200A** erfasst.

[0078] In einem Schritt **803** wird anschließend eine optische Charakteristik des Teilobjektivs **200A** anhand des erfassten, zumindest einen ersten Lichtstrahls **500** ermittelt.

[0079] In einem Schritt **804** werden die mehreren optischen Elemente **202A** des ersten Teilobjektivs **200A**

justiert, d. h. positioniert und/oder ausgerichtet. Das Justieren kann selbstverständlich auch nur ein oder mehrere der optischen Elemente **202A** des ersten Teilobjektivs **200A** betreffen. Das Justieren erfolgt in Abhängigkeit von der ermittelten optischen Charakteristik. Hiernach kann eine Fixierung der optischen Elemente **202A** in ihren jeweiligen Positionen erfolgen.

[0080] Die vorstehenden Schritte werden nun in Bezug auf das zweite Teilobjektiv **200B** wiederholt. D. h. in dem Schritt **802** wird der zumindest eine Lichtstrahl **500** entlang des Strahlengangs **204B** des zweiten Teilobjektivs **200B** gesendet und hinter dem zweiten Teilobjektiv **200B** erfasst. Anschließend wird in dem Schritt **803** eine optische Charakteristik des zweiten Teilobjektivs **200B** anhand des erfassten, zumindest einen ersten Lichtstrahls **500** ermittelt. In dem Schritt **804** werden die optischen Elemente **202B** des zweiten Teilobjektivs **200B** in Abhängigkeit der ermittelten optischen Charakteristik justiert und schließlich fixiert.

[0081] In dem Schritt **805** werden das erste und zweite Teilobjektiv **200A**, **200B** zur Herstellung des Projektionsobjektivs **104** zusammengefügt.

[0082] Selbstverständlich könnten die vorstehenden Schritte **801** bis **804** auch parallel durchgeführt werden. D. h., die optische Qualifizierung der beiden Teilobjektive **200A**, **200B** geschieht zeitgleich. Anstelle des Projektionsobjektivs **104** kann selbstverständlich auch ein anderes Objektiv hergestellt werden.

[0083] Die Schritte **802** und **803** werden nachfolgend anhand drei verschiedener Verfahren im Detail illustriert, wobei die **Fig. 5A** und **Fig. 5B** ein deflektometrisches Messverfahren, die **Fig. 6A** und **Fig. 6B** ein Verfahren zur Wellenfrontmessung und die **Fig. 7A** und **Fig. 7B** ein Verfahren zur Wellenfrontmessung unter Zuhilfenahme eines computergenerierten Hologramms illustrieren.

[0084] **Fig. 5A** zeigt in einer perspektivischen Ansicht das erste Teilobjektiv **200A** in perspektivischer Ansicht. Das erste Teilobjektiv **200A** ist in einer Messvorrichtung **502** angeordnet, welche die Schritte **802** und **803** durchführt.

[0085] Die Messvorrichtung **502** umfasst eine Lichtquelle **504**, beispielsweise einen Laser, und eine Maske **506** vor der Eingangsseite **210** des Teilobjektivs **200A**. Die Lichtquelle **504** erzeugt einen Lichtstrahl **500** (beispielsweise ein schmales Lichtstrahlenbündel, insbesondere einen Laserstrahl). Der Lichtstrahl **500** fällt auf die Maske **506**, d. h. beleuchtet sie. Die Maske **506** kann derart strukturiert sein, dass sie aus dem Lichtstrahl einen definierten Anteil herausfiltert, also insbesondere kollimierte bzw. vorbereitete Prüfstrahlen erzeugt. Insbesondere kann

die Maske **506** auch dazu eingerichtet sein, einen Sternenhimmel zu erzeugen.

[0086] Nach Passieren der Maske **506** tritt der Lichtstrahl **500** durch das Teilobjektiv **200A** hindurch, passiert dabei die mehreren optischen Elemente **202A** (siehe auch **Fig. 5B**) und verlässt das Teilobjektiv **200A** wieder an dessen Ausgang. Hiernach trifft der Lichtstrahl **500** auf eine Erfassungseinrichtung **508**. Die Erfassungseinrichtung **508** umfasst beispielsweise eine Mattscheibe **510** sowie dahinter eine Kamera **512**, welche selbst ein nicht dargestelltes Objektiv aufweisen kann.

[0087] Der erste Lichtstrahl **500** bildet auf der Mattscheibe **510** einen Lichtpunkt **514**. Die Kamera **512**, welche beispielsweise einen CCD-Chip aufweist, nimmt den Lichtpunkt **514** auf.

[0088] Die Messvorrichtung **502** weist weiterhin eine Ermittlungseinrichtung **516** auf, welche den Lichtpunkt **514** mit einem Referenzlichtpunkt **514'** vergleicht. Bei dem Referenzlichtpunkt **514'** kann es sich schlicht um einen Parameter wie bspw. eine Sollposition handeln, welche auf einem Datenspeicher der Ermittlungseinrichtung **516** abgespeichert ist. Die Istposition des Lichtpunkts **514** wird dann mit der Sollposition des Referenzlichtpunkts **514'** verglichen. Das Vergleichsergebnis stellt beispielsweise eine optische Charakteristik im vorliegenden Sinne dar. In Abhängigkeit von dem Vergleichsergebnis bzw. der optischen Charakteristik kann die Ermittlungseinrichtung **516** eine Ausgabeinformation erzeugen, welche angibt, welche optischen Elemente **202A** wie justiert werden müssen. Das nachfolgende Justieren kann automatisiert erfolgen.

[0089] Ferner kann die Messvorrichtung **502** einen Roboter **518** aufweisen, welcher dazu eingerichtet ist, die Lichtquelle **504** an zumindest zwei unterschiedlichen Positionen **P**, **P'** zu positionieren. Dadurch werden zwei voneinander beabstandete Lichtstrahlen erzeugt (der zweite Lichtstrahl ist in **Fig. 5B** der Übersichtlichkeit halber nicht dargestellt). Die beiden Lichtstrahlen werden sequenziell, d. h. zeitlich nacheinander, erzeugt. Mittels des zweiten Lichtstrahls oder noch weiterer Lichtstrahlen kann eine Genauigkeit der in Zusammenhang mit den **Fig. 5A** und **Fig. 5B** beschriebenen deflektometrischen Messung verbessert werden, d. h. die Positionen und Ausrichtungen der optischen Elemente **202A** können noch besser erfasst werden.

[0090] Das eine Wellenfrontmessung illustrierende Ausführungsbeispiel gemäß den **Fig. 6A** und **Fig. 6B** unterscheidet sich von dem Ausführungsbeispiel gemäß den **Fig. 6A** und **Fig. 6B** insbesondere dadurch, dass hinter dem Ausgang **206** eine Korrekturoptik **600** gefolgt von der Erfassungseinrichtung **508**, **512**, letztere beispielsweise in Form einer Kamera, ange-

ordnet ist. Gemäß dem Ausführungsbeispiel ist, wie in **Fig. 6B** zu sehen, die Korrekturoptik **600** in Form eines Mikrolinsenarrays **611** ausgebildet. Weiter ist in **Fig. 6B** ein Elektronikchip, beispielsweise ein CMOS- oder CCD-Chip, der Kamera **512** gezeigt.

[0091] Das Mikrolinsenarray **611** bildet Lichtstrahlen **500**, **602**, welche jeweils unterschiedlichen Wellenfronten zugeordnet sind, in Form eines Lichtpunktmusters **604** umfassend mehrere Lichtpunkte **514**, **608** auf der Kamera **512** ab. Die Korrekturoptik **600** kann zusammen mit der Kamera **512** einen Shack-Hartmann-Sensor ausbilden.

[0092] Gemäß einer Ausführungsform ist die Korrekturoptik **600** so ausgestaltet, dass sie die Wirkung des zweiten Teilobjektivs **202B** nachbildet. Im Ergebnis führt dies dazu, dass ein Bild an der Eingangsseite **212** des ersten Teilobjektivs **200A** an der Ausgangsseite **206** korrekt abgebildet wird, hier auf der Kamera **512**. Besonders bevorzugt wird dies dadurch erreicht, dass, wie in den **Fig. 7A** und **Fig. 7B** dargestellt, die Korrekturoptik **600** weiterhin ein computergeneriertes Hologramm **700** umfasst. Beispielsweise kann das computergenerierte Hologramm **700** dazu eingerichtet sein, die Lichtstrahlen **500**, **602** zu parallelisieren. Die parallelen Lichtstrahlen treffen dann auf das Mikrolinsenarray **611** parallel auf. Bei der Verwendung von EUV-Licht wird anstelle des Mikrolinsenarrays **611** ein nicht dargestelltes Lochblendenraster bevorzugt verwendet (dies gilt genauso für **Fig. 6B**).

[0093] Auf der Kamera **512** wird bei dem Ausführungsbeispiel gemäß den **Fig. 7A** und **Fig. 7B** im Unterschied zu den Ausführungsbeispielen nach den **Fig. 6A** und **Fig. 6B** ein regelmäßiges – und nicht unregelmäßiges – Lichtpunktmuster **604** erzeugt. Ein Vergleich mit einem entsprechenden Referenzlichtpunktmuster **604'** führt dann zur Bestimmung der optischen Charakteristik. Beispielsweise – und dies gilt sowohl für das Ausführungsbeispiel nach den **Fig. 7A** und **Fig. 7B** wie auch für das Ausführungsbeispiel nach den **Fig. 6A** und **Fig. 6B** – kann ein Abstand zwischen Lichtpunkten **514**, **608** des Lichtpunktmusters **604** zu Referenzlichtpunkten **514'**, **608'** eines Referenzlichtpunktmusters **604'** in der Ermittlungseinrichtung **516** ermittelt und durch entsprechende Justage der optischen Elemente **202A** zunehmend minimiert werden.

[0094] Beispielsweise kann eines der in den **Fig. 5A** bis **Fig. 7B** beschriebenen Messverfahren auch jeweils in unterschiedlichen Stellungen eines oder mehrerer optischer Elemente **202A** durchgeführt werden. Ein entsprechendes optisches Element **202A** kann beispielsweise mittels eines Aktors zwischen zwei unterschiedlichen Positionen desselben aktuiert werden.

[0095] Auch können die vorstehend beschriebenen Messverfahren kombiniert werden. Bspw. kann zunächst das Teilobjektiv **200A** mittels des Verfahrens nach den **Fig. 6A** und **Fig. 6B** vermessen, anschließend eine Grobjustage der optischen Elemente **202A** vorgenommen, hiernach das Teilobjektiv **200A** mittels des Verfahrens nach den **Fig. 7A** und **Fig. 7B** vermessen und abschließend eine Feinjustage der optischen Elemente **202A** vorgenommen werden.

[0096] Nach dem Herstellen des Projektionsobjektivs **104** werden die abbildenden Eigenschaften desselben überprüft. Im Nachgang kann dann einer Oberflächenbearbeitung einzelner optischer Elemente **202A**, **202B** oder eine Nachjustierung derselben über entsprechende Aktoren bzw. Manipulatoren erfolgen.

[0097] Obwohl die Erfindung anhand verschiedener Ausführungsbeispiele beschrieben wurde, ist sie darauf keineswegs beschränkt, sondern vielfältig modifizierbar.

Bezugszeichenliste

100	Lithographieanlage
100A	EUV-Lithographieanlage
100B	DUV-Lithographieanlage
102	Strahlformungs- und Beleuchtungssystem
104	Projektionssystem
106A	EUV-Lichtquelle
106B	DUV-Lichtquelle
108A	EUV-Strahlung
108B	DUV-Strahlung
110	Spiegel
112	Spiegel
114	Spiegel
116	Spiegel
118	Spiegel
120	Photomaske
122	Wafer
124	optische Achse des Projektionssystems
126	Steuereinrichtung
128	Halterung der Photomaske
130	Halterung des Wafers
132	Linse
134	Spiegel
136	Spiegel
200A	Teilobjektiv
200B	Teilobjektiv
202A	optisches Element
202B	optisches Element
204A	Strahlengang
204B	Strahlengang
206	Schnittstelle
208	Strahlengang
210	Eingangsseite
212	Ausgangsseite

400	Teilobjektiv
500	Lichtstrahl
502	Messvorrichtung
504	Lichtquelle
506	Maske
508	Erfassungseinrichtung
510	Mattscheibe
512	Kamera
514	Lichtpunkt
514'	Referenzlichtpunkt
516	Ermittlungseinrichtung
518	Roboter
600	Korrekturoptik
602	Lichtstrahl
604	Lichtpunktmuster
604'	Referenzlichtpunktmuster
608	Lichtpunkt
608'	Referenzlichtpunkt
611	Mikrolinsenarray
700	computergeneriertes Hologramm
801–805	Verfahrensschritte
a	längster Abstand

ZITATE ENTHALTEN IN DER BESCHREIBUNG

Diese Liste der vom Anmelder aufgeführten Dokumente wurde automatisiert erzeugt und ist ausschließlich zur besseren Information des Lesers aufgenommen. Die Liste ist nicht Bestandteil der deutschen Patent- bzw. Gebrauchsmusteranmeldung. Das DPMA übernimmt keinerlei Haftung für etwaige Fehler oder Auslassungen.

Zitierte Patentliteratur

- JP 2004-128307 A [0008]
- US 2011/0001945 A1 [0009]

Patentansprüche

1. Verfahren zum Herstellen eines Objektivs (**104**) für eine Lithographieanlage (**100**), aufweisend folgende Schritte:

- a) Bereitstellen zumindest eines ersten und eines zweiten Teilobjektivs (**200A**, **200B**), wobei das zumindest eine erste Teilobjektiv (**200A**) mehrere optische Elemente (**202A**) und das zumindest eine zweite Teilobjektiv (**200B**) zumindest ein optisches Element (**202B**) umfasst, wobei das zumindest eine erste und zweite Teilobjektiv (**200A**, **200B**) jeweils einen Strahlengang (**204A**, **204B**) aufweisen, welcher an der Eingangs- und/oder Ausgangsseite (**206**, **210**, **212**) eines jeweiligen Teilobjektivs (**200A**, **200B**) nicht-homozentrisch ausgebildet ist,
- b) Senden zumindest eines ersten Lichtstrahls (**500**, **602**) entlang eines jeweiligen Strahlengangs (**204A**, **204B**) des zumindest einen ersten und zweiten Teilobjektivs (**200A**, **200B**) und Erfassen des zumindest einen ersten Lichtstrahls (**500**, **602**) hinter einem jeweiligen Teilobjektiv (**200A**, **200B**),
- c) Ermitteln zumindest einer optischen Charakteristik eines jeweiligen Teilobjektivs (**200A**, **200B**) anhand des erfassten, zumindest einen ersten Lichtstrahls (**500**, **602**),
- d) Justieren der mehreren optischen Elemente (**202A**) des ersten Teilobjektivs (**200A**) und des zumindest einen optischen Elements (**202B**) des zweiten Teilobjektivs (**200B**) in Abhängigkeit von der ermittelten optischen Charakteristik, und
- e) Zusammenfügen des zumindest einen ersten und zweiten Teilobjektivs (**200A**, **200B**) zur Herstellung des Objektivs (**104**).

2. Verfahren nach Anspruch 1, wobei der zumindest eine erste Lichtstrahl (**500**, **602**) von einer Erfassungseinrichtung (**508**) erfasst wird, auf welcher er einen Lichtpunkt (**514**, **608**) erzeugt, und wobei das Ermitteln der zumindest einen optischen Charakteristik ein Vergleichen des Lichtpunkts (**514**, **608**) mit einem Referenzlichtpunkt (**514'**, **608'**) umfasst.

3. Verfahren nach Anspruch 2, wobei eine Position des Lichtpunkts (**514**, **608**) mit einer Position des Referenzlichtpunktes (**514'**, **608'**) verglichen wird.

4. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 3, wobei zumindest ein erster und ein von diesem beabstandeter zweiter Lichtstrahl (**500**, **602**) entlang eines jeweiligen Strahlengangs (**204A**, **204B**) des zumindest einen ersten und zweiten Teilobjektivs (**200A**, **200B**) gesendet und hinter einem jeweiligen Teilobjektiv (**200A**, **200B**) erfasst werden, und wobei die zumindest eine optische Charakteristik anhand des erfassten, ersten und zweiten Lichtstrahls (**500**, **602**) ermittelt wird.

5. Verfahren nach Anspruch 4, wobei der zumindest eine erste und zweite Lichtstrahl (**500**, **602**) von

einer Erfassungseinrichtung (**508**) erfasst wird, auf welcher der zumindest eine erste und zweite Lichtstrahl (**500**, **602**) ein Lichtpunktmuster (**604**) erzeugen, wobei das Ermitteln der zumindest einen optischen Charakteristik das Vergleichen des Lichtpunktmusters (**604**) mit einem Referenzlichtpunktmuster (**604'**) umfasst.

6. Verfahren nach Anspruch 4 oder 5, wobei der zumindest eine erste und der von diesem beabstandete zweite Lichtstrahl (**500**, **602**) dadurch erzeugt werden, dass eine Lichtquelle (**504**) zwischen zwei Positionen (p , p') bewegt wird.

7. Verfahren nach Anspruch 6, wobei die Lichtquelle (**504**) zwischen den zwei Positionen (p , p') mittels eines Roboters (**518**) bewegt wird.

8. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 5, wobei der zumindest eine erste und der von diesem beabstandete zweite Lichtstrahl (**500**, **602**) dadurch erzeugt werden, dass zwei voneinander beabstandete Lichtquellen (**504**) gleichzeitig vorgesehen werden.

9. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 8, wobei die zumindest eine optische Charakteristik zumindest eines Teilobjektivs (**200A**, **200B**) unter Verwendung eines deflektometrischen Messverfahrens ermittelt wird.

10. Verfahren nach Anspruch 9, wobei für das deflektometrische Messverfahren zumindest eine Lichtquelle (**504**) zur Erzeugung des zumindest einen ersten Lichtstrahls (**500**, **602**) und eine von dieser beleuchtete Maske (**506**) vor dem zumindest einen Teilobjektiv (**200A**, **200B**) sowie eine Erfassungseinrichtung (**508**) zur Erfassung des zumindest einen ersten Lichtstrahls (**500**, **602**) hinter dem entsprechenden Teilobjektiv (**200A**, **200B**) angeordnet werden.

11. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 10, wobei die zumindest eine optische Charakteristik zumindest eines Teilobjektivs (**200A**, **200B**) unter Verwendung eines Verfahrens zur Wellenfrontmessung ermittelt wird.

12. Verfahren nach Anspruch 11, wobei für das Verfahren zur Wellenfrontmessung zumindest eine Lichtquelle (**504**) zur Erzeugung des zumindest einen ersten Lichtstrahls (**500**, **602**) und eine von dieser beleuchtete Maske (**506**) vor dem zumindest einen Teilobjektiv (**200A**, **200B**) angeordnet werden, weiter eine Korrekturoptik (**600**) zur Korrektur des zumindest einen ersten Lichtstrahls (**500**, **602**) vorgesehen ist, und eine Erfassungseinrichtung (**508**) zur Erfassung des zumindest einen ersten, korrigierten Lichtstrahls (**500**, **602**) hinter dem entsprechenden Teilobjektiv (**200A**, **200B**) angeordnet wird.

13. Verfahren nach Anspruch 12, wobei die Korrekturoptik (**600**) ein Mikrolinsenarray (**611**) oder ein Lochblendenraster umfasst.

14. Verfahren nach Anspruch 12 oder 13, wobei die Korrekturoptik (**600**) ein computergeneriertes Hologramm (**700**) aufweist.

15. Verfahren nach einem der Ansprüche 12 bis 14, wobei die Korrekturoptik (**600**) für jeden Lichtstrahl (**500**, **602**) jeweils ein computergeneriertes Hologramm (**700**) aufweist.

16. Verfahren nach Anspruch 14, wobei das computergenerierte Hologramm (**700**) vor dem Mikrolinsenarray (**611**) oder dem Lochblendenraster angeordnet ist.

17. Verfahren nach Anspruch 14 oder 16, wobei das computergenerierte Hologramm (**700**) dazu eingerichtet ist, den zumindest einen ersten und zweiten Lichtstrahl (**500**, **602**) zu parallelisieren.

18. Verfahren nach einem der Ansprüche 14 bis 17, wobei die zumindest eine optische Charakteristik zumindest eines Teilobjektivs (**200A**, **200B**) in einem ersten Schritt unter Verwendung des Verfahrens zur Wellenfrontmessung ohne computergeneriertes Hologramm (**700**) und in einem zweiten Schritt mit computergeneriertem Hologramm (**700**) ermittelt wird.

19. Verfahren nach einem der Ansprüche 2 bis 18, wobei die Erfassungseinrichtung (**508**) eine Mattscheibe (**510**) und/oder ein Elektronikchip (**512**) ist.

20. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 19, wobei die mehreren optischen Elemente (**202A**) des ersten Teilobjektivs (**200A**) und das zumindest eine optische Element (**202B**) des zweiten Teilobjektivs (**200B**) nach Schritt d) fixiert werden.

21. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 20, wobei die mehreren optischen Elemente (**202A**) des ersten Teilobjektivs (**200A**) jeweils und/oder das zumindest eine optische Element (**202B**) des zweiten Teilobjektivs (**200B**) im Betrieb der Lithographieanlage (**100**) zwischen einer ersten und einer zweiten Position und/oder Ausrichtung aktuierbar sind, wobei Schritt c) in der ersten und zweiten Position und/oder Ausrichtung durchgeführt wird.

22. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 21, wobei nach Schritt e) eine abbildende optische Charakteristik des hergestellten Objektivs (**104**) bei der Betriebswellenlänge ermittelt wird.

23. Verfahren nach Anspruch 22, wobei in Abhängigkeit von der ermittelten abbildenden optischen Charakteristik eine Nachbearbeitung von Oberflächen oder eine Aktuierung eines oder mehrerer der

optischen Elemente (**202A**, **202B**) des zumindest einen ersten oder zweiten Teilobjektivs (**200A**, **200B**) erfolgt.

24. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 23, wobei eine Schnittstelle (**206**) im Strahlengang (**208**) zwischen dem zumindest einen ersten und zweiten Teilobjektiv (**200A**, **200B**) einen Abstand (a) zwischen einem optischen Element (**202A**) des ersten Teilobjektivs (**200A**) und einem optischen Element (**202B**) des zweiten Teilobjektivs (**200B**) unterteilt, welcher länger als der längste Abstand zwischen jeden zwei benachbarten optischen Elementen (**202A**, **202B**) des zumindest einen ersten und zweiten Teilobjektivs (**200A**, **200B**) ist.

25. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 24, wobei zumindest drei Teilobjektive (**200A**, **200B**) bereitgestellt werden.

26. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 25, wobei die mehreren optischen Elemente (**202A**) des ersten Teilobjektivs (**200A**) und/oder das zumindest eine optische Element (**202B**) des zweiten Teilobjektivs (**200B**) Spiegel und/oder Linsen sind.

27. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 26, wobei zwei oder mehrere Teilobjektive (**200A**, **200B**) zu einem Teilobjektiv (**200A**, **200B**) zusammengefasst werden.

28. Verfahren nach Anspruch 27, wobei die Schritte a) bis e) mit dem zusammengefassten Teilobjektiv (**200A**, **200B**) wiederholt werden.

29. Messvorrichtung (**502**) zur Ermittlung einer optischen Charakteristik eines Teilobjektivs (**200A**, **200B**) für eine Lithographieanlage (**100**), aufweisend eine Sendevorrichtung (**504**) zum Senden zumindest eines ersten Lichtstrahls (**500**) entlang eines Strahlengangs (**204A**, **204B**) des Teilobjektivs (**200A**, **200B**), eine Korrekturoptik (**600**), welche ein computergeneriertes Hologramm (**700**) aufweist, eine Erfassungseinrichtung (**508**) zum Erfassen des zumindest einen ersten Lichtstrahls, und eine Ermittlungseinrichtung (**516**) zum Ermitteln zumindest einer optischen Charakteristik des Teilobjektivs (**200A**, **200B**) anhand des erfassten, zumindest einen ersten Lichtstrahls (**500**).

Es folgen 9 Seiten Zeichnungen

Anhängende Zeichnungen

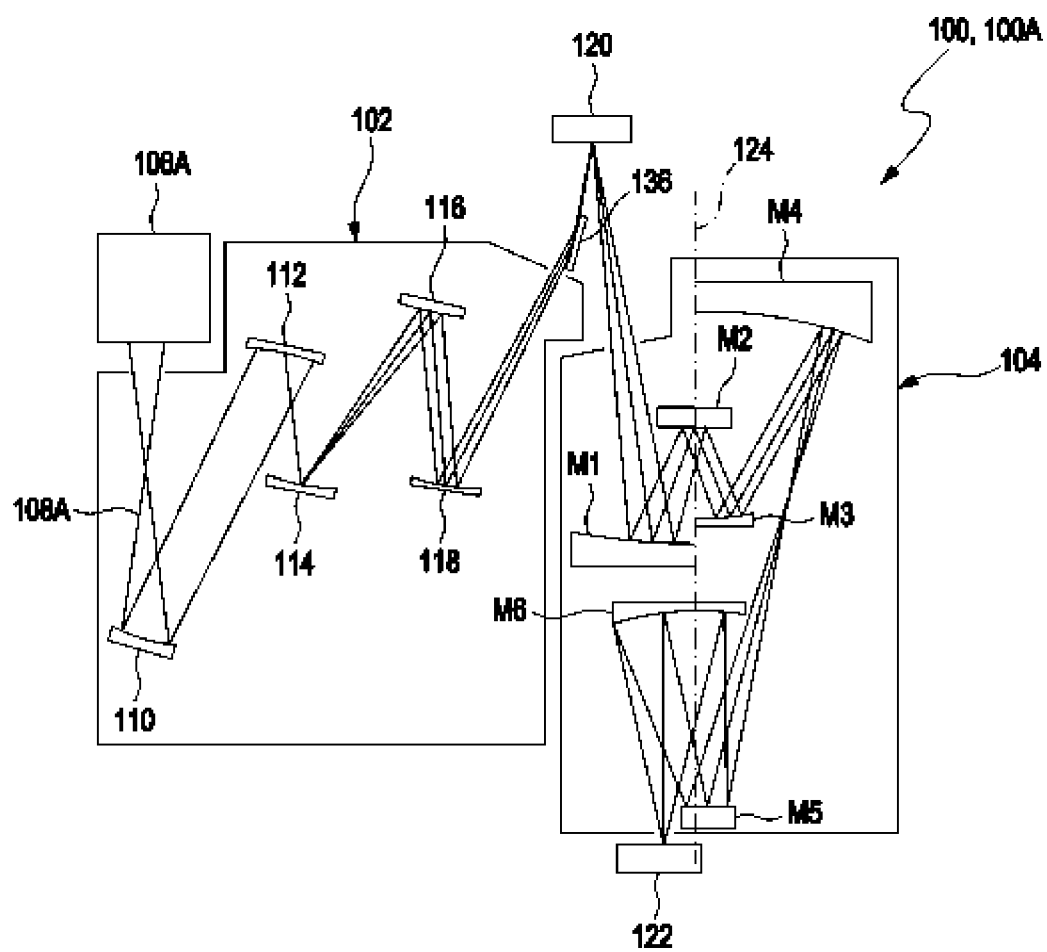


Fig. 1 A

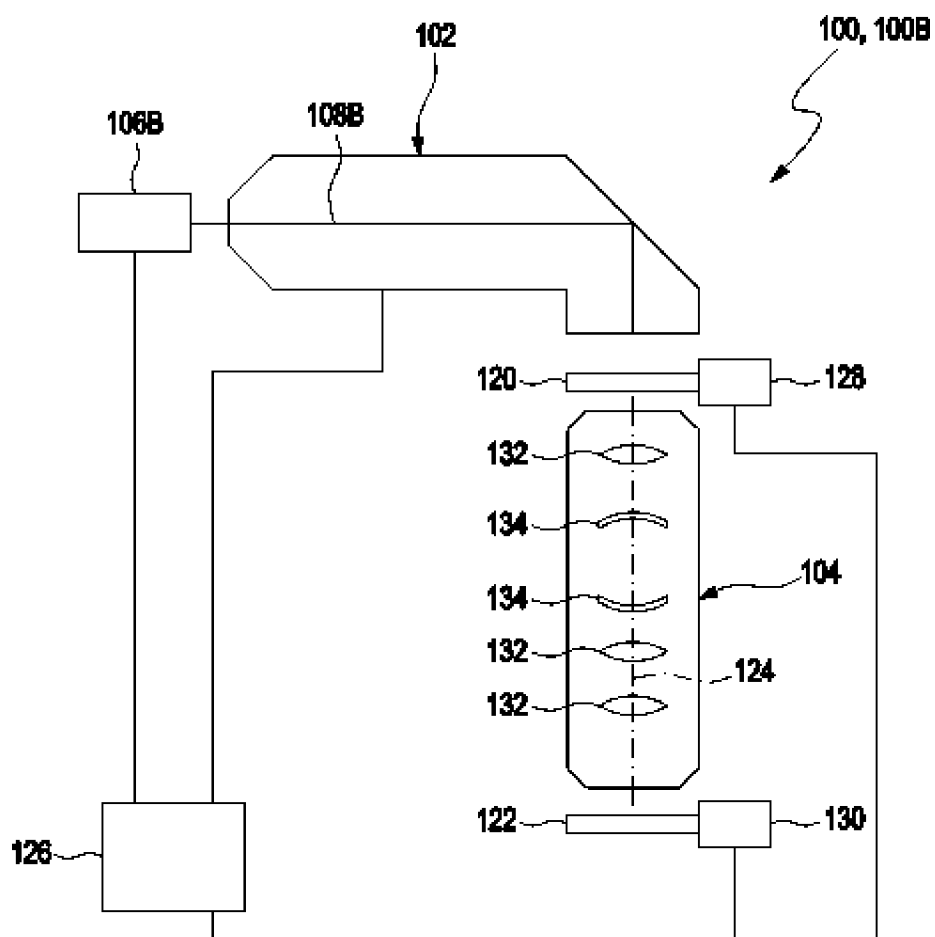


Fig. 1 B

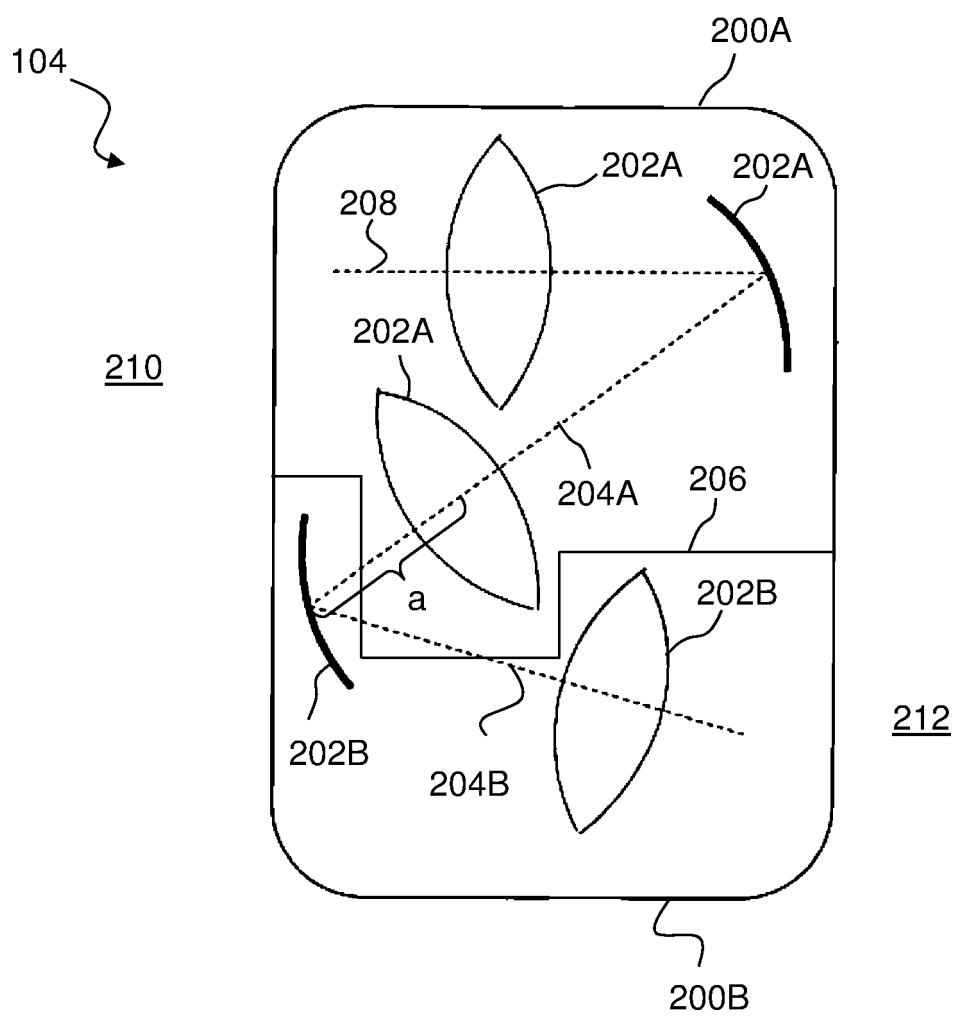


Fig. 2

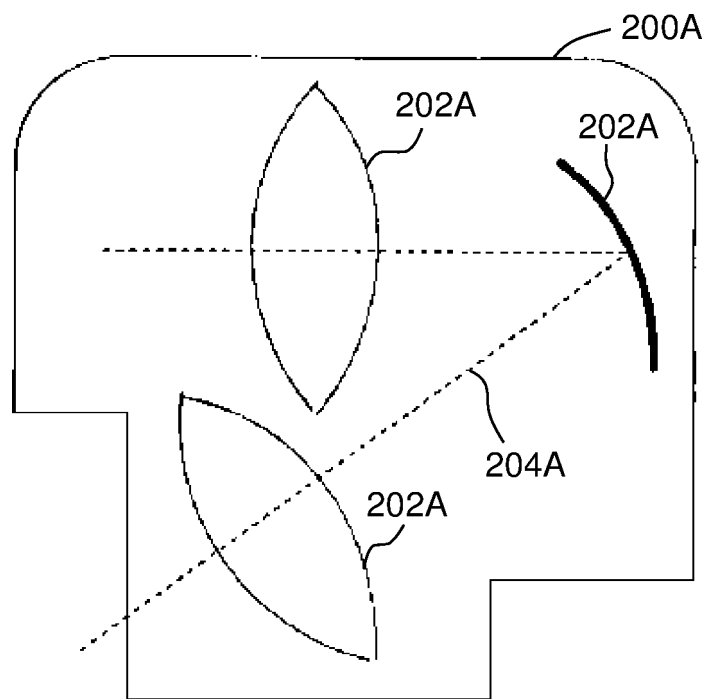


Fig. 3A

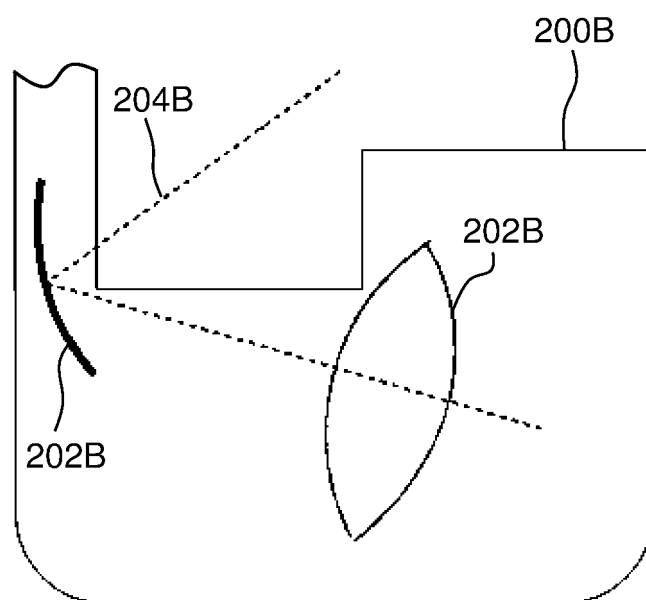


Fig. 3B

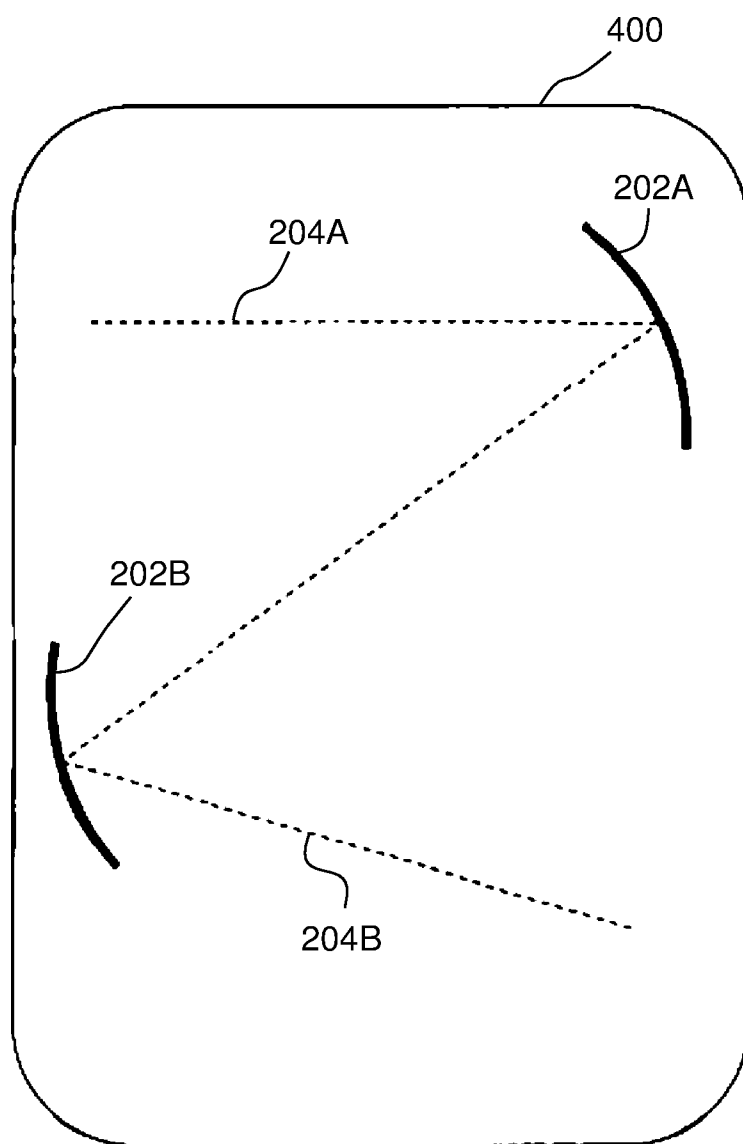


Fig. 4

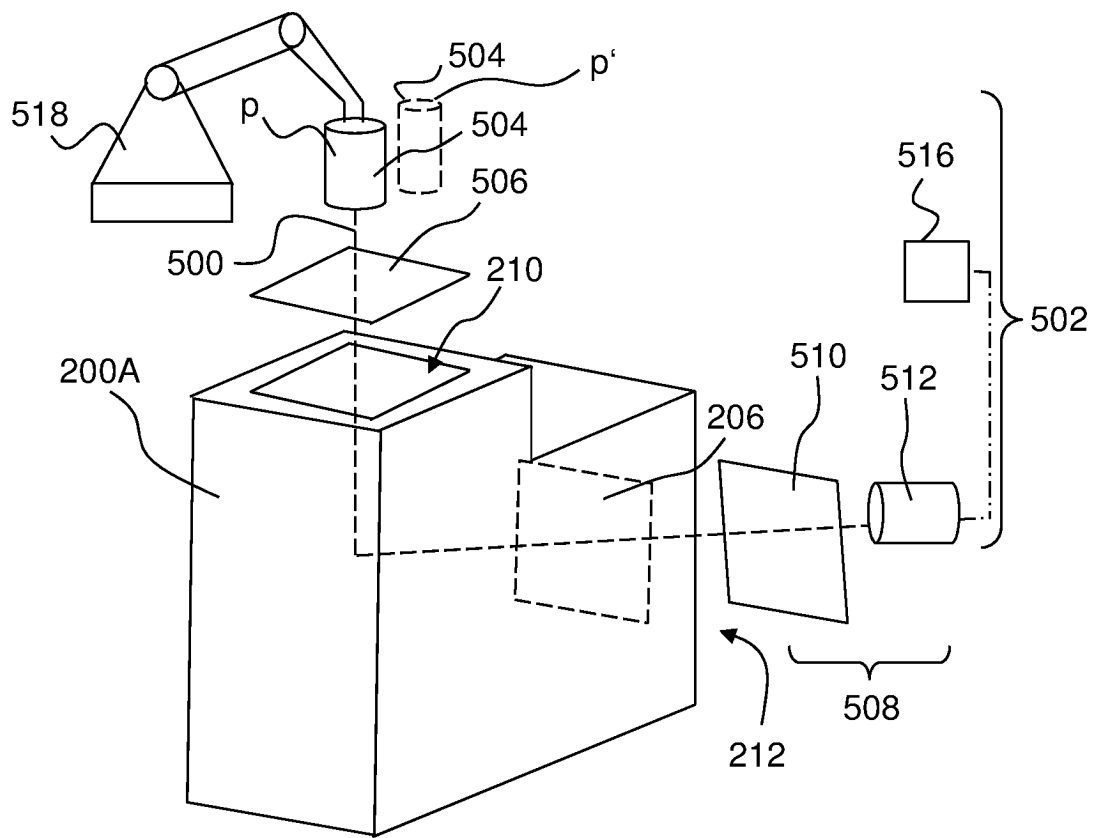


Fig. 5A

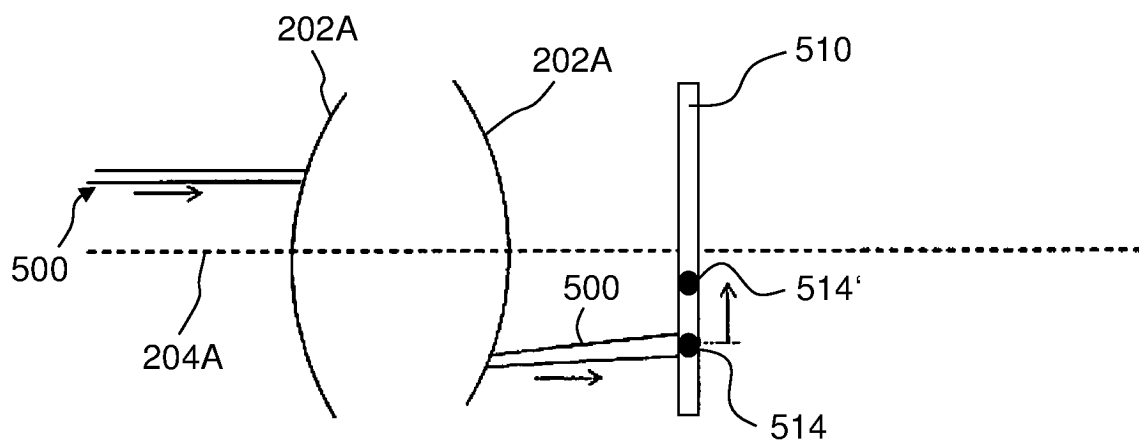


Fig. 5B

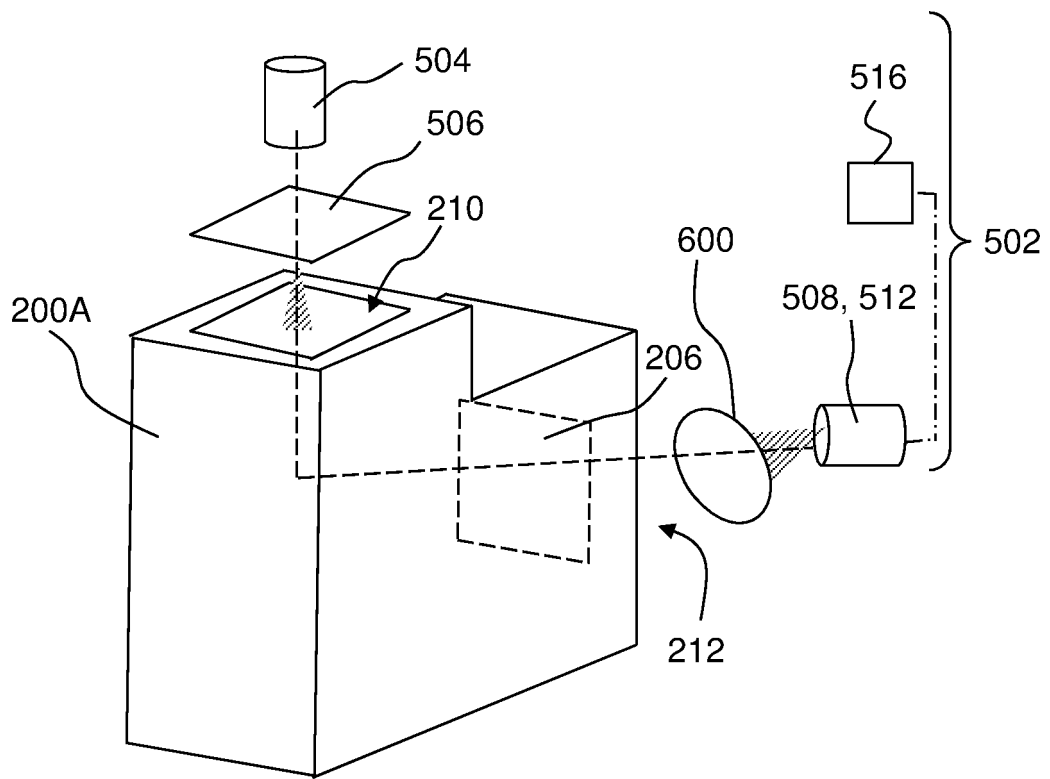


Fig. 6A

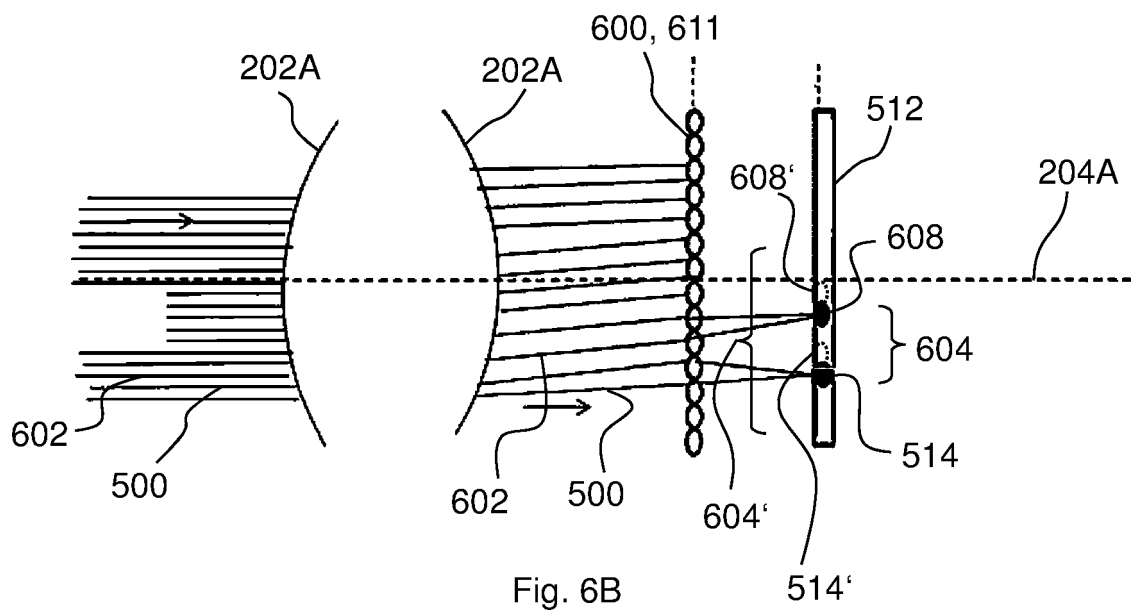


Fig. 6B

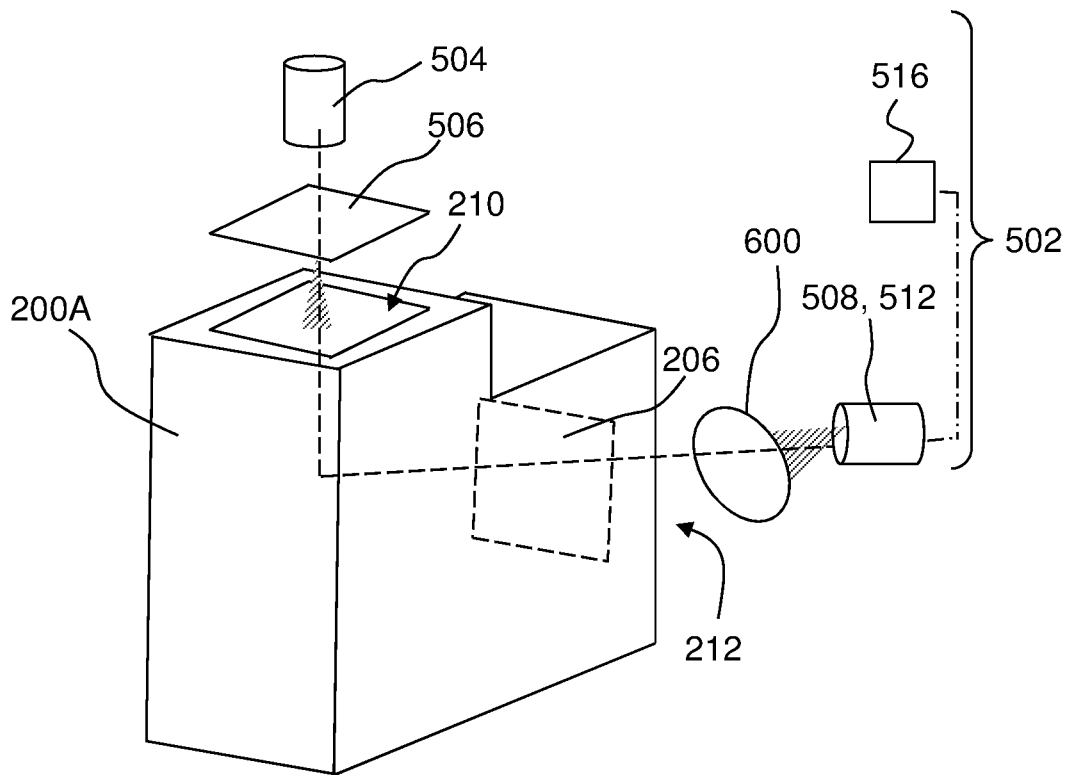


Fig. 7A

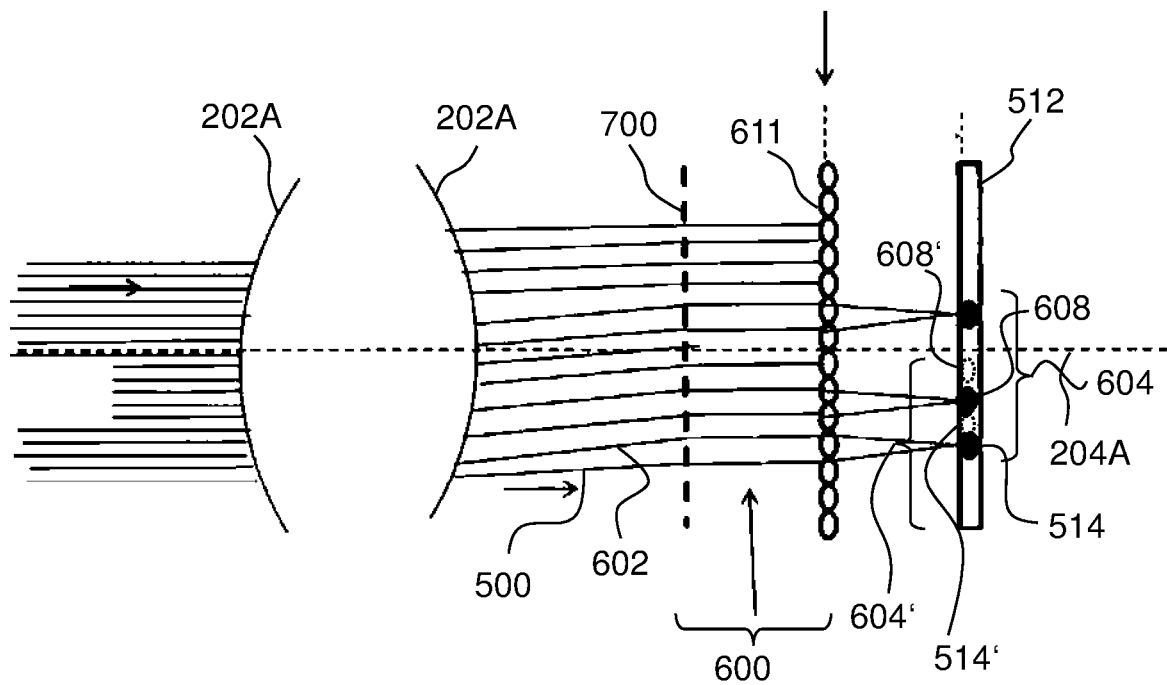


Fig. 7B

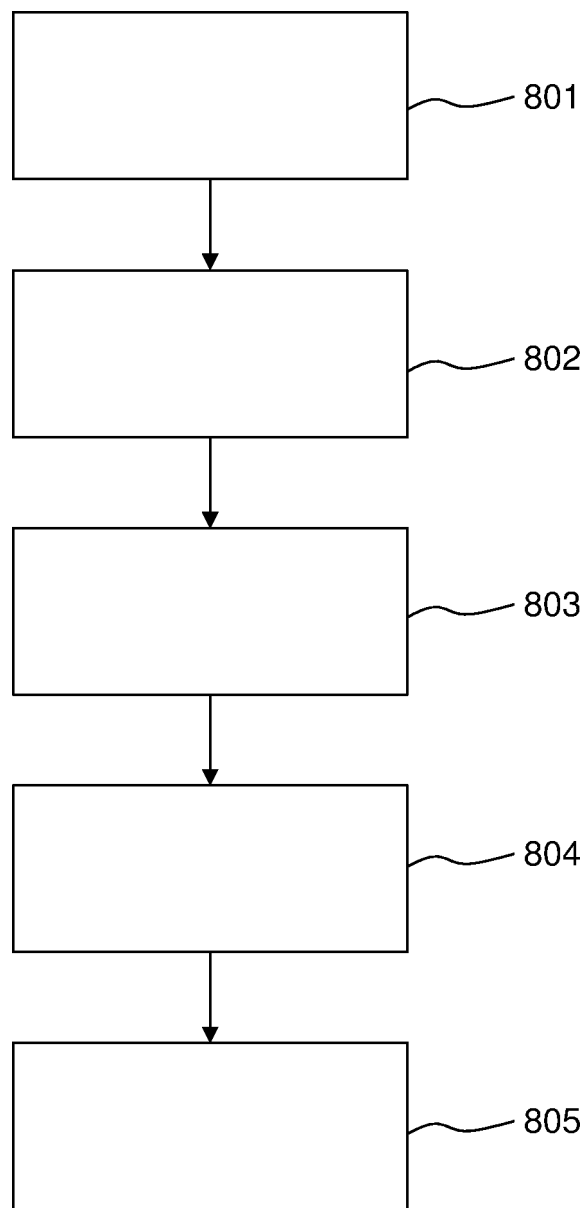


Fig. 8