

(12) NACH DEM VERTRAG ÜBER DIE INTERNATIONALE ZUSAMMENARBEIT AUF DEM GEBIET DES
PATENTWESENS (PCT) VERÖFFENTLICHTE INTERNATIONALE ANMELDUNG

(19) Weltorganisation für geistiges Eigentum
Internationales Büro

(43) Internationales Veröffentlichungsdatum
19. Dezember 2024 (19.12.2024)



(10) Internationale Veröffentlichungsnummer
WO 2024/256039 A1

(51) Internationale Patentklassifikation:
G03F 7/20 (2006.01) *G02B 5/08* (2006.01)

(21) Internationales Aktenzeichen: PCT/EP2024/051629

(22) Internationales Anmeldedatum:
24. Januar 2024 (24.01.2024)

(25) Einreichungssprache: Deutsch

(26) Veröffentlichungssprache: Deutsch

(30) Angaben zur Priorität:
10 2023 205 439.6
12. Juni 2023 (12.06.2023) DE

(71) Anmelder: **CARL ZEISS SMT GMBH** [DE/DE]; Ru-
dolf-Eber-Strasse 2, 73447 Oberkochen (DE).

(72) Erfinder: **BOGNER, Sabine**; Rudolf-Eber-Strasse 2,
73447 Oberkochen (DE). **WEISS, Werner**; Rudolf-Eber-
Strasse 2, 73447 Oberkochen (DE). **SCHURER, Johan-**
nes; Rudolf-Eber-Strasse 2, 73447 Oberkochen (DE).

(74) Anwalt: **HORN KLEIMANN WAITZHOFFER**
SCHMID-DREYER PATENT- UND RECHTSAN-
WÄLTE PARTG MBB; Theresienhöhe 12, 80339 Mün-
chen (DE).

(81) Bestimmungsstaaten (soweit nicht anders angegeben, für
jede verfügbare nationale Schutzrechtsart): AE, AG, AL,
AM, AO, AT, AU, AZ, BA, BB, BG, BH, BN, BR, BW,
BY, BZ, CA, CH, CL, CN, CO, CR, CU, CV, CZ, DE, DJ,
DK, DM, DO, DZ, EC, EE, EG, ES, FI, GB, GD, GE, GH,
GM, GT, HN, HR, HU, ID, IL, IN, IQ, IR, IS, IT, JM, JO,
JP, KE, KG, KH, KN, KP, KR, KW, KZ, LA, LC, LK, LR,
LS, LU, LY, MA, MD, MG, MK, MN, MU, MW, MX, MY,

(54) Title: METHOD AND CONTROL DEVICE FOR PRODUCING AN OPTICAL SYSTEM FOR A LITHOGRAPHY APPA-
RATUS

(54) Bezeichnung: VERFAHREN UND STEUERVORRICHTUNG ZUM HERSTELLEN EINES OPTISCHEN SYSTEMS FÜR
EINE LITHOGRAPHIEANLAGE

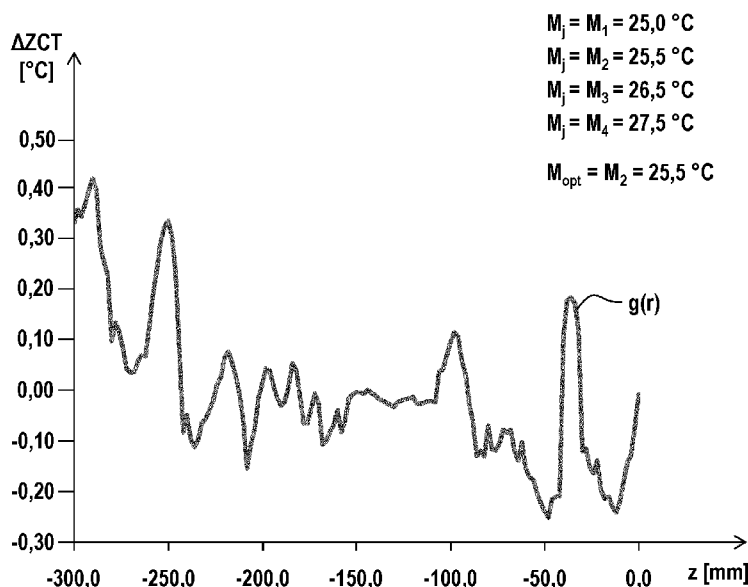


Fig. 5

(57) Abstract: The invention relates to a method for producing an optical system (100) for a lithography apparatus (1), wherein the optical system (100) comprises an optical component (102) having an optically active surface (106) and a substrate (104), said method comprising: a) providing (S2), for a substrate (104', 204a, 204b, 204c) of one or more optical components (102, 202a, 202b, 202c), a respective normalised distribution function (g , h_a , h_b , h_c) of a zero crossing temperature (ZCT' , ZCT_a , ZCT_b , ZCT_c) of a coefficient of thermal expansion (p') of the respective substrate (104', 204a, 204b, 204c) as a function of a location (r) of the substrate (104', 204a, 204b, 204c), b) determining (S3) in a computer-implemented manner, for each provided distribution function (g ,



MZ, NA, NG, NI, NO, NZ, OM, PA, PE, PG, PH, PL, PT, QA, RO, RS, RU, RW, SA, SC, SD, SE, SG, SK, SL, ST, SV, SY, TH, TJ, TM, TN, TR, TT, TZ, UA, UG, US, UZ, VC, VN, WS, ZA, ZM, ZW.

- (84) **Bestimmungsstaaten** (soweit nicht anders angegeben, für jede verfügbare regionale Schutzrechtsart): ARIPO (BW, CV, GH, GM, KE, LR, LS, MW, MZ, NA, RW, SC, SD, SL, ST, SZ, TZ, UG, ZM, ZW), eurasisches (AM, AZ, BY, KG, KZ, RU, TJ, TM), europäisches (AL, AT, BE, BG, CH, CY, CZ, DE, DK, EE, ES, FI, FR, GB, GR, HR, HU, IE, IS, IT, LT, LU, LV, MC, ME, MK, MT, NL, NO, PL, PT, RO, RS, SE, SI, SK, SM, TR), OAPI (BF, BJ, CF, CG, CI, CM, GA, GN, GQ, GW, KM, ML, MR, NE, SN, TD, TG).

Veröffentlicht:

- mit internationalem Recherchenbericht (Artikel 21 Absatz 3)

h_a , h_b , h_c) and for a plurality of predetermined mean zero crossing temperatures (M_j) different from each other, an imaging error (F_i) of the optical system (102), and c) determining (S4) at least one selected mean zero-crossing temperature (M_{aw}) for the substrate (104) of the optical component (102) to be produced as that one of the plurality of mean zero-crossing temperatures (M_j) for which the determined imaging error (F_i) is smaller than a predetermined threshold value (SW).

(57) **Zusammenfassung:** Verfahren zum Herstellen eines optischen Systems (100) für eine Lithographieanlage (1), wobei das optische System (100) eine optische Komponente (102) mit einer optisch aktiven Fläche (106) und einem Substrat (104) umfasst, aufweisend: a) Bereitstellen (S2), für ein Substrat (104', 204a, 204b, 204c) einer oder mehrerer optischer Komponenten (102, 202a, 202b, 202c), einer jeweiligen normalisierten Verteilungsfunktion (g , h_a , h_b , h_c) einer Nulldurchgangstemperatur (ZCT' , ZCT_a , ZCT_b , ZCT_c) eines Wärmeausdehnungskoeffizienten (p') des jeweiligen Substrats (104', 204a, 204b, 204c) als Funktion eines Ortes (r) des Substrats (104', 204a, 204b, 204c), b) computerimplementiertes Ermitteln (S3), für jede bereitgestellte Verteilungsfunktion (g , h_a , h_b , h_c) und für mehrere voneinander verschiedene vorbestimmte mittlere Nulldurchgangstemperaturen (M_j), eines Abbildungsfehlers (F_i) des optischen Systems (102), und c) Ermitteln (S4) zumindest einer ausgewählten mittleren Nulldurchgangstemperatur (M_{aw}) für das Substrat (104) der herzustellenden optischen Komponente (102) als diejenige der mehreren mittleren Nulldurchgangstemperaturen (M_j), für welche der ermittelte Abbildungsfehler (F_i) kleiner als ein vorbestimmter Schwellenwert (SW) ist.

VERFAHREN UND STEUERVORRICHTUNG ZUM HERSTELLEN EINES OPTISCHEN SYSTEMS FÜR EINE LITHOGRAPHIEANLAGE

Die vorliegende Erfindung betrifft ein Verfahren und eine Steuervorrichtung
5 zum Herstellen eines optischen Systems für eine Lithographieanlage.

Der Inhalt der Prioritätsanmeldung DE 10 2023 205 439.6 wird durch Bezug-
nahme vollumfänglich mit einbezogen (incorporation by reference).

10 Die Mikrolithographie wird zur Herstellung mikrostrukturierter Bauelemente,
wie beispielsweise integrierter Schaltkreise, angewendet. Der Mikrolithogra-
phieprozess wird mit einer Lithographieanlage durchgeführt, welche ein Be-
leuchtungssystem und ein Projektionssystem aufweist. Das Bild einer mittels des
Beleuchtungssystems beleuchteten Maske (Retikel) wird hierbei mittels des Pro-
15 jektionssystems auf ein mit einer lichtempfindlichen Schicht (Photoresist) be-
schichtetes und in der Bildebene des Projektionssystems angeordnetes Substrat,
beispielsweise einen Siliziumwafer, projiziert, um die Maskenstruktur auf die
lichtempfindliche Beschichtung des Substrats zu übertragen.

20 Getrieben durch das Streben nach immer kleineren Strukturen bei der Herstel-
lung integrierter Schaltungen werden derzeit EUV-Lithographieanlagen entwi-
ckelt, welche Licht mit einer Wellenlänge im Bereich von 0,1 nm bis 30 nm, ins-
besondere 13,5 nm, verwenden. Da die meisten Materialien Licht dieser Wellen-
länge absorbieren, müssen bei solchen EUV-Lithographieanlagen reflektierende
25 Optiken, das heißt Spiegel, anstelle von - wie bisher - brechenden Optiken, das
heißt Linsen, eingesetzt werden.

Ein dabei auftretendes Problem ist, dass sich die Spiegel infolge einer Absorption
der von der EUV-Lichtquelle emittierten Strahlung erwärmen. Dies kann zu
30 thermischer Verformung der Spiegel führen. Weiterhin kann durch eine

Temperaturerhöhung auch eine optische Beschichtung der Spiegel degradieren. Sowohl thermische Verformungen der Spiegel als auch Beschädigungen ihrer optischen Beschichtungen können die Abbildungseigenschaften der Spiegel beeinträchtigen.

5

Die Abbildungsqualität von Projektionssystemen einer EUV-Lithographieanlage hängt in hohem Maße von der Qualität des Spiegelmaterials ab. Um Abbildungsfehler durch Erwärmung der Spiegel zu verringern, wird für Spiegelsubstrate ein Material mit sehr kleinem Wärmeausdehnungskoeffizienten verwendet. Insbesondere ist bei der sog. Nulldurchgangstemperatur des Wärmeausdehnungskoeffizienten des Spiegelmaterials eine Verformung des Spiegelmaterials in Abhängigkeit einer Temperaturerhöhung minimal und/oder Null. Die mittlere Nulldurchgangstemperatur des Spiegelmaterials sowie Variationen der Nulldurchgangstemperatur innerhalb des Spiegelsubstratvolumens haben unmittelbaren Einfluss auf durch Spiegelerwärmung verursachte Abbildungsfehler.

10

15

Vor diesem Hintergrund besteht eine Aufgabe der vorliegenden Erfindung darin, ein verbessertes Verfahren und eine verbesserte Vorrichtung zum Herstellen eines optischen Systems für eine Lithographieanlage bereitzustellen.

20

Demgemäß wird ein Verfahren zum Herstellen eines optischen Systems für eine Lithographieanlage vorgeschlagen. Das optische System umfasst eine optische Komponente mit einer optisch aktiven Fläche und einem Substrat. Weiterhin weist das Verfahren auf:

25

a) Bereitstellen, für ein Substrat einer oder mehrerer optischer Komponenten, einer jeweiligen normalisierten Verteilungsfunktion einer Nulldurchgangstemperatur eines Wärmeausdehnungskoeffizienten des jeweiligen Substrats als Funktion eines Ortes des Substrats,

b) computerimplementiertes Ermitteln, für jede bereitgestellte Verteilungsfunktion und für mehrere voneinander verschiedene vorbestimmte mittlere Nulldurchgangstemperaturen, eines Abbildungsfehlers des optischen Systems, und

5 c) Ermitteln zumindest einer ausgewählten mittleren Nulldurchgangstemperatur für das Substrat der herzustellenden optischen Komponente als diejenige der mehreren mittleren Nulldurchgangstemperaturen, für welche der ermittelte Abbildungsfehler kleiner als ein vorbestimmter Schwellenwert ist.

10 Die mittlere Nulldurchgangstemperatur des Wärmeausdehnungskoeffizienten des Substratmaterials der optischen Komponente kann bei der Herstellung des Substrats eingestellt werden. Üblicherweise wird die mittlere Nulldurchgangstemperatur des Substratmaterials in Abhängigkeit einer zu erwartenden Betriebstemperatur des Substrats eingestellt.

15 Ein Substratmaterial einer optischen Komponente weist üblicherweise Inhomogenitäten auf, die zu einer inhomogenen Verteilung der Nulldurchgangstemperatur über das Substratvolumen führen. Dies trifft selbst auf ein Hochleistungssubstratmaterial zu. Die inhomogene Verteilung der Nulldurchgangstemperatur hat Einfluss auf die Abbildungseigenschaften der optischen Komponente und damit des
20 optischen Systems mit der optischen Komponente.

Die Anmelderin fand heraus, dass Abbildungsfehler des optischen Systems für eine vorgegebene (z. B. normalisierte) Verteilung der Nulldurchgangstemperatur über das Substratvolumen der optischen Komponente von der mittleren Nulldurchgangstemperatur des Substrats abhängen. Weiterhin kann die mittlere Nulldurchgangstemperatur des Substrats auch nach Herstellung des Substrats (und damit für einen durch die Herstellung festgelegten Verlauf der Nulldurchgangstemperatur) noch z. B. durch Wärmebehandeln angepasst werden.

Das vorgeschlagene Verfahren ermöglicht nun, für eine oder mehrere vorgegebene normalisierte Verteilung/en der Nulldurchgangstemperatur über das Substratvolumen eine in Bezug auf die Abbildungsgüte günstige und/oder optimale mittlere Nulldurchgangstemperatur des Substrats der optischen Komponente zu ermitteln.

5

Die Verteilungsfunktion der Nulldurchgangstemperatur des Wärmeausdehnungskoeffizienten des jeweiligen Substrats als Funktion des Ortes des Substrats ist zum Beispiel eine dreidimensionale Verteilungsfunktion der Nulldurchgangstemperatur über einen dreidimensionalen Substratkörper.

10

Die normalisierte Verteilungsfunktion der Nulldurchgangstemperatur des jeweiligen Substrats ist beispielsweise eine Verteilungsfunktion der Nulldurchgangstemperatur, welche basierend auf einem Wert (z. B. Mittelwert) der Verteilungsfunktion normalisiert wurde.

15

In einem nachgelagerten Schritt kann das Substrat der herzustellenden optischen Komponente dann so bearbeitet werden, dass seine mittlere Nulldurchgangstemperatur der bei dem Verfahren ermittelten günstigen und/oder optimalen mittleren Nulldurchgangstemperatur entspricht (d. h. gleich ist wie diese). Dadurch, dass das Substrat somit die ermittelte günstige und/oder optimale mittlere Nulldurchgangstemperatur aufweist, können durch Wärmeeinträge in den Spiegel (z. B. durch Bestrahlung mit EUV-Licht) verursachte thermischen Deformationen und damit einhergehende Verschlechterungen der Abbildungseigenschaften reduziert oder vermieden werden.

20

25

Der Wärmeausdehnungskoeffizient (thermischer Ausdehnungskoeffizient) gibt eine Änderung der geometrischen Form und der Abmessungen eines Materials bei einer Temperaturveränderung an. Der Wärmeausdehnungskoeffizient ist beispielsweise ein linearer Wärmeausdehnungskoeffizient, der eine Längenänderung eines Materials in Abhängigkeit einer Temperaturveränderung angibt. Der

30

Wärmeausdehnungskoeffizient ist selbst temperaturabhängig, d.h. eine temperaturabhängige Funktion.

Bei seiner Nulldurchgangstemperatur (Engl.: "Zero Crossing Temperature", ZCT) weist der Wärmeausdehnungskoeffizient in seiner Temperaturabhängigkeit einen Nulldurchgang auf, in dessen Umgebung bei Temperaturänderung keine oder nur eine vernachlässigbare thermische Ausdehnung des Spiegelsubstratmaterials erfolgt.

Das Material des Substrats der herzustellenden optischen Komponente ist insbesondere ein Material mit niedrigem Wärmeausdehnungskoeffizienten. Beispielsweise liegt der Wärmeausdehnungskoeffizient bei einer gewünschten Betriebstemperatur innerhalb eines Bereichs von ± 20 ppb/K (parts per billion pro Kelvin), ± 15 ppb/K, ± 10 ppb/K und/oder ± 5 ppb/K. Der Wärmeausdehnungskoeffizient kann aber auch innerhalb eines anderen Bereichs liegen. Bei einem solchen Material mit ultraniedriger Wärmeausdehnung (z. B. einem unter der Bezeichnung "ULE" für "Ultra-Low Expansion" von der Firma Corning Inc. vertriebenen Substratmaterial) treten Veränderungen der geometrischen Form und der Abmessungen durch Temperaturänderungen nur in sehr geringem Maß auf.

Beispiele für das Material des Substrats der herzustellenden optischen Komponente umfassen ein Glasmaterial aus $\text{TiO}_2\text{-SiO}_2$, bei dem der ultraniedrige Wärmeausdehnungskoeffizient durch Variieren der Konzentration von TiO_2 realisiert wird. Ein weiteres Beispiel ist eine $\text{Li}_2\text{O-Al}_2\text{O}_3\text{-SiO}_2$ -Glaskeramik (unter dem Namen "Zerodur" von der Firma Schott vertrieben) mit kristalliner Phase, bei dem der ultraniedrige Wärmeausdehnungskoeffizient durch gleichmäßig verteilte Nanokristalle in einer Restglasphase realisiert wird.

Schritt a) und/oder Schritt c) wird/werden beispielsweise auch computerimplementiert durchgeführt. Zum Beispiel werden Schritte a), b) und/oder c) von einer

Steuervorrichtung, z. B. einer Steuervorrichtung eines oder mehrerer Computer, durchgeführt.

In Schritt a) werden die eine oder die mehreren normalisierten Verteilungsfunktion/en der Nulldurchgangstemperatur beispielsweise von einer Bereitstellungseinrichtung der Steuervorrichtung bereitgestellt, z. B. auch an eine erste Ermittlungseinrichtung der Steuervorrichtung übermittelt.

Insbesondere wird in Schritt a) für jede der einen oder der mehreren optischen Komponente/n eine normalisierte Verteilungsfunktion der Nulldurchgangstemperatur als Funktion des Ortes bereitgestellt.

Im Falle von mehreren normalisierten Verteilungsfunktionen unterscheiden sich die mehreren normalisierten Verteilungsfunktionen voneinander durch eine Form und Größe von Schwankungen der Nulldurchgangstemperatur als Funktion des Ortes. Insbesondere ist jede der mehreren Verteilungsfunktionen verschieden von allen übrigen der mehreren Verteilungsfunktionen. Durch das Normalisieren weisen die mehreren Verteilungsfunktionen die gleiche mittlere Nulldurchgangstemperatur (z. B. eine mittlere Nulldurchgangstemperatur von Null) auf.

In Schritt b) wird der Abbildungsfehler des optischen Systems insbesondere für jede Kombination aus der einen oder den mehreren bereitgestellten normalisierten Verteilungsfunktion/en und den mehreren vorbestimmten mittleren Nulldurchgangstemperaturen ermittelt. Werden zum Beispiel zwei voneinander verschiedene normalisierte Verteilungsfunktionen und drei voneinander verschiedene Werte für die mittlere Nulldurchgangstemperatur bereitgestellt, dann ergeben sich sechs mögliche Kombinationen. Somit werden sechs verschiedene Fehlerwerte für den Abbildungsfehler des optischen Systems basierend auf den sechs verschiedenen Kombinationen ermittelt.

In Schritt b) werden also mehrere – der normalisierten Verteilungsfunktion bzw. den normalisierten Verteilungsfunktionen und den mehreren Werten für die mittlere Nulldurchgangstemperatur zugeordnete – Fehlerwerte F_i der Abbildung des optischen Systems ermittelt.

In Schritt c) werden dann die ermittelten Fehlerwerte F_i mit dem vorbestimmten Schwellenwert verglichen. Insbesondere werden die zu Fehlerwerten F_i , die kleiner als der Schwellenwert sind, gehörenden mittleren Nulldurchgangstemperaturen als eine oder mehrere ausgewählte mittlere Nulldurchgangstemperatur ermittelt.

Wenn in Schritt c) mehr als eine ausgewählte mittlere Nulldurchgangstemperatur ermittelt wird, für welche der ermittelte Abbildungsfehler kleiner als der vorbestimmte Schwellenwert ist, dann kann das Substrat der herzustellenden optischen Komponente wahlweise auf jede der mehreren ermittelten ausgewählten mittleren Nulldurchgangstemperatur eingestellt werden. Beispielsweise kann das Substrat zur Einstellung seiner mittleren Nulldurchgangstemperatur basierend auf wahlweise jeder der mehreren ermittelten ausgewählten mittleren Nulldurchgangstemperaturen wärmebehandelt werden.

Wenn in Schritt c) keine ausgewählte mittlere Nulldurchgangstemperatur ermittelt wird, für welche der ermittelte Abbildungsfehler kleiner als der vorbestimmte Schwellenwert ist, dann kann beispielsweise ermittelt werden, dass das Substrat (z. B. das Substrat mehrerer nachfolgend beschriebener Repräsentanten für optische Komponenten) nicht zum Herstellen einer optischen Komponente geeignet ist.

Wenn der jeweilige ermittelte Abbildungsfehler zum Beispiel einen Fokusfehler der Abbildung (d. h. eine Abweichung eines Ist-Fokus des optischen Systems von

einem Soll-Fokus) aufweist, dann beträgt der Schwellenwert beispielsweise 15 nm oder weniger, 10 nm oder weniger und/oder 5 nm oder weniger.

Wenn der jeweilige ermittelte Abbildungsfehler zum Beispiel einen Overlay-Fehler der Abbildung (d. h. eine Abweichung einer Ist-Position eines mithilfe des optischen Systems in einem Bild in einer Bildebene des optischen Systems abgebildeten Objektes von einer Soll-Position) aufweist, dann beträgt der Schwellenwert beispielsweise 3 nm oder weniger, 1 nm oder weniger und/oder 0,5 nm oder weniger.

Wenn der jeweilige ermittelte Abbildungsfehler zum Beispiel einen sphärischen Wellenfront-Fehler der Abbildung (d. h. eine Abweichung einer Ist-Wellenfront eines durch das optische System geführten Strahlenbündels von einer idealen Kugelwelle) aufweist, dann beträgt der Schwellenwert beispielsweise 200 pm oder weniger, 100 pm oder weniger und/oder 50 pm oder weniger (RMS-Abweichung).

Gemäß einer Ausführungsform wird in Schritt c) eine optimale mittlere Nulldurchgangstemperatur für das Substrat der herzustellenden optischen Komponente als diejenige der mehreren mittleren Nulldurchgangstemperaturen ermittelt, für welche der ermittelte Abbildungsfehler minimal ist.

Damit kann die mittlere Nulldurchgangstemperatur für das Substrat der herzustellenden optischen Komponente noch besser ermittelt werden.

Beispielsweise können zunächst mehrere ausgewählte mittlere Nulldurchgangstemperaturen ermittelt werden. Sodann kann diejenige der mehreren ausgewählten mittleren Nulldurchgangstemperaturen, für welche der ermittelte Abbildungsfehler minimal ist, als die optimale mittlere Nulldurchgangstemperatur ermittelt werden.

In Schritt c) wird in diesem Fall zum Beispiel ein Minimum der mehreren in Schritt b) ermittelten Fehlerwerte F_i der Abbildung des optischen Systems als End-Fehler F_E ermittelt:

$$F_E = \min (F_i), \text{ für } i = 1 \text{ bis } n$$

In obiger Gleichung bezeichnet n die Anzahl der möglichen Kombinationen aus der/den bereitgestellten normalisierten Verteilungsfunktion/en der Nulldurchgangstemperatur und den vorbestimmten mittleren Nulldurchgangstemperaturen. Somit ist n eine natürliche Zahl größer 1. Weiterhin kennzeichnet i einen Index, der von 1 bis n läuft. Außerdem ist F_i ein durch Simulation ermittelter Abbildungsfehler für die i -te der n möglichen Kombinationen der bereitgestellten Verteilungsfunktion/en und mittleren Nulldurchgangstemperaturen. F_E gibt dann das Minimum der n durch Simulation ermittelten Abbildungsfehler F_i an.

Anschließend wird die zu diesem Minimum F_E gehörende mittlere Nulldurchgangstemperatur als die optimale mittlere Nulldurchgangstemperatur für das Substrat der herzustellenden optischen Komponente ermittelt.

In dem obigen Beispiel, in dem zwei voneinander verschiedene normalisierte Verteilungsfunktionen und drei voneinander verschiedene Werte für die mittlere Nulldurchgangstemperatur bereitgestellt werden und sich somit sechs mögliche Kombinationen ergeben, ist somit $n = 6$. Folglich werden sechs verschiedene Werte F_i für den Abbildungsfehler F_i des optischen Systems basierend auf den sechs verschiedenen Kombinationen ermittelt und davon das Minimum als End-Fehler bestimmt:

$$F_E = \min (F_1, F_2, F_3, F_4, F_5, F_6), \text{ für } n = 6$$

Gemäß einer weiteren Ausführungsform werden in Schritt a) mehrere normalisierte Verteilungsfunktionen der Nulldurchgangstemperatur für ein entsprechendes Substrat mehrerer Repräsentanten für optische Komponenten bereitgestellt.

5

Damit kann in einem Fall, in dem die Verteilungsfunktion der Nulldurchgangstemperatur des Substrats der herzustellenden optischen Komponente unbekannt ist, die günstige und/oder optimale mittlere Nulldurchgangstemperatur des Substrats der herzustellenden optischen Komponente basierend auf mehreren repräsentativen Verteilungsfunktionen der Nulldurchgangstemperatur ermittelt werden.

10

Die mehreren Repräsentanten für optische Komponenten sind beispielsweise mehrere physisch realisierte optische Komponenten mit jeweils einem Substrat mit der entsprechenden Verteilungsfunktion der Nulldurchgangstemperatur.

15

Gemäß einer weiteren Ausführungsform wird in Schritt a) eine normalisierte Verteilungsfunktion der Nulldurchgangstemperatur für das Substrat der herzustellenden optischen Komponente bereitgestellt.

20

Durch Bereitstellen der Verteilungsfunktion der Nulldurchgangstemperatur für genau das Substrat der herzustellenden optischen Komponente kann die günstige und/oder optimale mittlere Nulldurchgangstemperatur für dieses Substrat noch genauer ermittelt werden.

25

Wird dieses Substrat dann in einem nachgelagerten Schritt nachbearbeitet, so dass seine mittlere Nulldurchgangstemperatur der bei dem Verfahren ermittelten zumindest einen ausgewählten und/oder optimalen mittleren Nulldurchgangstemperatur entspricht, können Abbildungsfehler des optischen Systems

durch Wärmeeinträge in die herzustellende optische Komponente noch weiter reduziert werden.

5 Gemäß einer weiteren Ausführungsform sind die mehreren Repräsentanten physisch realisierte optische Komponenten, und werden die mehreren Verteilungsfunktionen der Nulldurchgangstemperatur der entsprechenden Substrate der mehreren Repräsentanten gemessen.

10 Dadurch können Messergebnisse einer Messung der Verteilungsfunktionen der Nulldurchgangstemperatur der mehreren Repräsentanten angewendet werden, um die unbekannte Verteilungsfunktion der Nulldurchgangstemperatur der herzustellenden Komponente zu ersetzen.

15 Gemäß einer weiteren Ausführungsform wird das Substrat der herzustellenden optischen Komponente physisch bereitgestellt, und wird die Verteilungsfunktion der Nulldurchgangstemperatur des Substrats der herzustellenden optischen Komponente gemessen.

20 Beispielsweise wird das Substrat der herzustellenden optischen Komponente vor Schritt a) hergestellt. Beispielsweise wird das Substrat der herzustellenden optischen Komponente mit der Verteilungsfunktion der Nulldurchgangstemperatur und einer anfänglichen mittleren Nulldurchgangstemperatur hergestellt. Weiterhin wird in Schritt c) die zumindest eine ausgewählte (d. h. günstige) und/oder die optimale mittlere Nulldurchgangstemperatur des Substrats ermittelt. Es
25 kann auch zusätzlich beispielsweise ein Offset als Differenz der anfänglichen mittleren Nulldurchgangstemperatur und der zumindest einen ausgewählten und/oder optimalen mittleren Nulldurchgangstemperatur ermittelt werden.

Gemäß einer weiteren Ausführungsform weist das Verfahren auf:

Wärmebehandeln des Substrats der herzustellenden optischen Komponente zur Einstellung einer mittleren Nulldurchgangstemperatur des Substrats basierend auf der zumindest einen ermittelten ausgewählten mittleren Nulldurchgangstemperatur und/oder der ermittelten optimalen mittleren Nulldurchgangstemperatur.

Damit kann das Substrat der herzustellenden optischen Komponente nachbearbeitet werden, sodass seine mittlere Nulldurchgangstemperatur der bei dem Verfahren ermittelten zumindest einen ausgewählten und/oder optimalen mittleren Nulldurchgangstemperatur entspricht (gleich ist wie diese). Insbesondere kann das Substrat derart nachbearbeitet werden, dass seine bei der Herstellung des Substrats eingestellte anfängliche mittlere Nulldurchgangstemperatur um den ermittelten Offset korrigiert wird.

Beispielsweise weist das Wärmebehandeln ein sog. Tempern des Substrats auf.

Gemäß einer weiteren Ausführungsform weist ein jeweiliges Ermitteln des Abbildungsfehlers des optischen Systems für jede bereitgestellte Verteilungsfunktion und für die mehreren voneinander verschiedenen vorbestimmten mittleren Nulldurchgangstemperaturen auf:

Ermitteln mehrerer voneinander verschiedener Einzelfehler in Bezug auf voneinander verschiedene Fehlerarten des optischen Systems, und

Ermitteln des Abbildungsfehlers des optischen Systems basierend auf den mehreren ermittelten Einzelfehlern.

Beispielsweise werden mehrere voneinander verschiedene relative Einzelfehler in Bezug auf die voneinander verschiedenen Fehlerarten des optischen Systems ermittelt. Weiterhin wird beispielsweise der jeweilige Abbildungsfehler des optischen Systems als ein Maximum, ein Mittelwert, ein Median und/oder ein Quantil der mehreren ermittelten relativen Einzelfehler ermittelt.

Beispielsweise kann die zumindest eine ausgewählte mittlere Nulldurchgangstemperatur in Schritt c) auch als diejenige der mehreren mittleren Nulldurchgangstemperaturen ermittelt werden, für welche jeder der mehreren ermittelten
5 Einzelfehler kleiner als ein entsprechender vorbestimmter Einzel-Schwellenwert für die entsprechende Fehlerart ist.

Die mehreren voneinander verschiedenen Einzelfehler weisen insbesondere Fehlerwerte für verschiedene Arten von Einzelfehlern auf.

10

Durch Berücksichtigen von verschiedenen Arten von Einzelfehlern der Abbildung des optischen Systems kann der End-Fehler der Abbildung des optischen Systems für jede Verteilungsfunktion und jeden Offset noch besser ermittelt werden.

15 Außerdem wird optional – für jede bereitgestellte Verteilungsfunktion und jede berücksichtigte mittlere Nulldurchgangstemperatur – zum Beispiel das Maximum, der Mittelwert, der Median und/oder das Quantil der mehreren ermittelten Einzelfehler berechnet und sodann der End-Fehler der Abbildung des optischen Systems als dieses Maximum, dieser Mittelwert, dieser Median und/oder dieses
20 Quantil genommen. Dadurch können große Fehlerbeiträge besser berücksichtigt werden. Das Maximum der mehreren ermittelten Einzelfehler wird beispielsweise basierend auf folgender Gleichung berechnet:

$$F_i = \max (f_k), \text{ für } i = 1 \text{ bis } n \text{ und } k = 1 \text{ bis } m$$

25

In obiger Gleichung bezeichnet F_i für $i = 1$ bis n die in Schritt b) durch Simulation ermittelten n Fehler F_i für die n möglichen Kombinationen der bereitgestellten Verteilungsfunktion/en und mittleren Nulldurchgangstemperaturen. Weiterhin bezeichnet f_k für $k = 1$ bis m die m Einzelfehler für eine bestimmte Verteilungsfunktion und eine bestimmte mittlere Nulldurchgangstemperatur. Dabei ist
30

k ein Index, der von 1 bis m läuft, wobei m eine natürliche Zahl größer 1 ist und die Anzahl der voneinander verschiedenen Einzelfehler f_k bezeichnet.

5 Gemäß einer weiteren Ausführungsform werden die mehreren ermittelten Einzelfehler gemäß vorbestimmten Gewichten gewichtet.

Dadurch können die Einzelfehler abhängig von einem geplanten Einsatz der herzustellenden optischen Komponente und des optischen Systems mit dieser Komponente gewichtet werden. Damit können Fehlerbeiträge von für eine spezielle
10 Anwendung der optischen Komponente/des optischen Systems besonders wichtigen Leistungsparametern gezielt klein gehalten werden.

Das Maximum der mehreren gewichteten Einzelfehler wird beispielsweise basierend auf folgender Gleichung berechnet:

15

$$F_i = \max (f_k / W_k), \text{ für } i = 1 \text{ bis } n \text{ und } k = 1 \text{ bis } m$$

In obiger Gleichung bezeichnet W_k die m Gewichte, welche zur Wichtung der m Einzelfehler f_k angewendet werden. Die Gewichte W_k sind insbesondere positive,
20 reelle Zahlen größer 0.

Gemäß einer weiteren Ausführungsform werden die mehreren voneinander verschiedenen Einzelfehler in Bezug auf die voneinander verschiedenen Fehlerarten und in Bezug auf voneinander verschiedener Einstellungsparameter einer Beleuchtung der herzustellenden optischen Komponente des optischen Systems er-
25 mittelt.

Damit werden verschiedene Einstellungsparameter der geplanten Beleuchtung der herzustellenden optischen Komponente bei der computerimplementierten Ermittlung der Einzelfehler berücksichtigt. Folglich können die verschiedenen
30

Arten von Einzelfehler für verschiedene simulierte Beleuchtungsszenarien der herzustellenden optischen Komponente ermittelt werden.

Die verschiedenen Einstellungsparameter der geplanten Beleuchtung der herzu-
stellenden optischen Komponente weisen beispielsweise eine Strahlungsintensität eines Arbeitslichtes (z. B. EUV-Licht) auf, das auf die optische Komponente eingestrahlt wird.

Die verschiedenen Einstellungsparameter der Beleuchtung können zum Beispiel
auch ein Muster aufweisen, in dem das Arbeitslicht auf die optische Komponente eingestrahlt wird (z. B. X-Dipol, Y-Dipol, Ringform, DRAM-Profil, Streifenmuster etc.). Mit anderen Worten können die Beleuchtungs-Einstellparameter eine Wärmestromverteilung mit Wärmestrompolen aufweisen, die durch auf die herzustellende optische Komponente in einem speziellen Muster eingestrahktes Arbeitslicht verursacht wird.

Die verschiedenen Einstellungsparameter der Beleuchtung können zum Beispiel
auch eine Struktur einer Maske (z. B. Lithographiemaske) aufweisen, die mit-
hilfe der herzustellenden optischen Komponente auf einen Wafer in der Bildebene des optischen Systems abgebildet wird.

Beispielsweise kann F_i dann wie folgt berechnet werden:

$$F_i = \max (f_k / W_l), \text{ für } i = 1 \text{ bis } n, k = 1 \text{ bis } m \text{ und } l = 1 \text{ bis } q$$

In obiger Gleichung bezeichnet W_l die Gewichte, welche zur Wichtung der Einzelfehler f_k angewendet werden. Die Gewichte W_l sind insbesondere positive, reelle Zahlen größer Null. Weiterhin ist l ein Index, der von 1 bis q läuft, wobei q die Anzahl der mehreren Gewichte W_l bezeichnet.

Gemäß einer weiteren Ausführungsform weisen die mehreren ermittelten Einzelfehler in Bezug auf die voneinander verschiedenen Fehlerarten auf:

eine Abweichung eines Ist-Fokus des optischen Systems von einem Soll-Fokus,

5 eine Abweichung einer Ist-Position eines mithilfe des optischen Systems in einer Bildebene des optischen Systems abgebildeten Objektes von einer Soll-Position des abgebildeten Objektes,

eine Bildverschiebung eines mithilfe des optischen Systems in einer Bildebene des optischen Systems abgebildeten Bildes, und/oder

10 eine Abweichung einer Ist-Wellenfront, welche ein Bild in einer Bildebene des optischen Systems abbildet, von einer Soll-Wellenfront.

Die Einzelfehler werden insbesondere computerimplementiert ermittelt, z. B. basierend auf einer Simulation einer Abbildung mit dem herzustellenden optischen System.

15

Die Bildverschiebung ist beispielsweise eine Verschiebung des Bildes relativ zu einer Soll-Position des Bildes. Die Bildverschiebung ist beispielsweise eine Verschiebung des Bildes in einer Richtung parallel zur Bildebene des optischen Systems.

20

Das in einer Bildebene des optischen Systems abgebildete Bild ist beispielsweise ein auf einem Wafer der Lithographieanlage abgebildetes Bild.

25 Die Ist-Wellenfront ist insbesondere die Wellenfront eines durch das optische System geführten Strahlenbündels. Die Ist-Wellenfront ist beispielsweise die Wellenfront des Strahlenbündels am Ort der Bildebene.

Die Soll-Wellenfront ist beispielsweise eine Kugelwelle. Die Abweichung der Ist-Wellenfront von der Soll-Wellenfront ist beispielsweise eine Abweichung von einer idealen Kugelwelle.

- 5 Gemäß einer weiteren Ausführungsform weist die Abweichung der Ist-Wellenfront von der Soll-Wellenfront eine Verkipfung der Wellenfront, eine Verschiebung der Wellenfront, ein Astigmatismus der Wellenfront, ein Koma der Wellenfront, eine Mehrfachwelligkeit der Wellenfront und/oder eine sphärische Aberration der Wellenfront auf.

10

Die Verkipfung der Wellenfront ist beispielsweise eine Verkipfung um eine Achse (z. B. x- und/oder y-Achse), welche parallel zur Bildebene des optischen Systems angeordnet ist.

- 15 Die Verschiebung der Wellenfront ist beispielsweise eine Verschiebung parallel zur Bildebene des optischen Systems (z. B. in x- und/oder y-Richtung).

Die Mehrfachwelligkeit ist z. B. eine Dreiwelligkeit, Vierwelligkeit, Fünfwelligkeit, Sechswelligkeit etc. der Wellenfront.

20

Gemäß einer weiteren Ausführungsform wird die Abweichung der Ist-Wellenfront von der Soll-Wellenfront in Form von Zernike-Polynomen quantifiziert.

- Mithilfe von Zernike-Polynomen kann eine Abweichung einer realen Wellenfront von einer idealen Wellenfront durch eine Summe von Polynomen mathematisch dargestellt werden. Zernike-Polynome werden mithilfe von Polarkoordinaten in einem normierten Einheitskreis dargestellt. Mathematisch sind die einzelnen Zernike-Polynome einer Kreisfläche charakterisiert durch Polarkoordinaten mit einer Potenzreihe in radiärer Richtung ρ und einer fourier-ähnlichen Reihe in Richtung des Winkels Θ . In der allgemeinen Form $Z_{n,\pm m}$ gibt n die
- 25
- 30

Ordnungszahl des Polynoms in radiärer Richtung an, und m entspricht der Frequenz des Winkels Θ pro Kreisumfang. Polynome mit geradzahligem n und $m=0$ sind rotationssymmetrisch, alle übrigen winkelabhängig.

- 5 Zum Beispiel beschreibt das Zernike-Polynom $Z_{1,\pm 1}$ eine Verkipfung (+1 in x-Richtung, -1 in y-Richtung), beschreibt das Zernike-Polynom $Z_{2,0}$ einen Fokusfehler (sphärischer Fehler), beschreibt das Zernike-Polynom $Z_{2,\pm 2}$ einen Astigmatismus, beschreibt das Zernike-Polynom $Z_{3,\pm 1}$ ein Koma, beschreibt das Zernike-Polynom $Z_{3,\pm 3}$ eine Dreiwelligkeit, beschreibt das Zernike-Polynom
- 10 $Z_{4,0}$ eine sphärische Aberration und beschreibt das Zernike-Polynom $Z_{4,\pm 2}$ einen Astigmatismus 4. Ordnung.

Gemäß einer weiteren Ausführungsform ist die optische Komponente ein Spiegel und das Substrat ein Spiegelsubstrat.

15

Insbesondere ist in diesem Fall die optisch aktive Fläche eine reflektierende Fläche.

- Gemäß einer weiteren Ausführungsform ist das optische System ein Projektions-
- 20 system der Lithographieanlage.

- Das optische System kann jedoch auch ein Beleuchtungssystem der Lithographieanlage (Projektionsbelichtungsanlage) sein. Die Lithographieanlage kann eine EUV-Lithographieanlage sein. EUV steht für "Extreme Ultraviolet" und bezeichnet eine Wellenlänge des Arbeitslichts zwischen 0,1 nm und 30 nm. Die Projektionsbelichtungsanlage kann auch eine DUV-Lithographieanlage sein. DUV steht für "Deep Ultraviolet" und bezeichnet eine Wellenlänge des Arbeitslichts zwischen 30 nm und 250 nm.
- 25

Gemäß einem weiteren Aspekt wird ein Computerprogrammprodukt vorgeschlagen, welches Befehle umfasst, die bei der Ausführung des Programms durch mindestens einen Computer diesen veranlassen, das vorstehend beschriebene Verfahren (z. B. ein oder mehrere Ausführungsformen des vorstehend beschriebenen Verfahrens) auszuführen.

Ein Computerprogrammprodukt, wie z.B. ein Computerprogramm-Mittel, kann beispielsweise als Speichermedium, wie z.B. Speicherkarte, USB-Stick, CD-ROM, DVD, oder auch in Form einer herunterladbaren Datei von einem Server in einem Netzwerk bereitgestellt oder geliefert werden. Dies kann zum Beispiel in einem drahtlosen Kommunikationsnetzwerk durch die Übertragung einer entsprechenden Datei mit dem Computerprogrammprodukt oder dem Computerprogramm-Mittel erfolgen.

Gemäß einem weiteren Aspekt wird eine Steuervorrichtung zum Herstellen eines optischen Systems für eine Lithographieanlage vorgeschlagen. Das optische System umfasst eine optische Komponente mit einer optisch aktiven Fläche und einem Substrat. Außerdem weist die Steuervorrichtung auf:

eine Bereitstellungseinrichtung zum Bereitstellen, für ein Substrat einer oder mehrerer optischer Komponenten, einer jeweiligen normalisierten Verteilungsfunktion einer Nulldurchgangstemperatur eines Wärmeausdehnungskoeffizienten des jeweiligen Substrats als Funktion eines Ortes des Substrats,

eine erste Ermittlungseinrichtung zum computerimplementierten Ermitteln, für jede bereitgestellte Verteilungsfunktion und für mehrere voneinander verschiedene vorbestimmte mittlere Nulldurchgangstemperaturen, eines Abbildungsfehlers des optischen Systems, und

eine zweite Ermittlungseinrichtung zum Ermitteln einer ausgewählten mittleren Nulldurchgangstemperatur für das Substrat der herzustellenden optischen Komponente als diejenige der mehreren mittleren

Nulldurchgangstemperaturen, für welche der ermittelte Abbildungsfehler kleiner als ein vorbestimmter Schwellenwert ist.

"Ein" ist vorliegend nicht zwingend als beschränkend auf genau ein Element zu verstehen. Vielmehr können auch mehrere Elemente, wie beispielsweise zwei, drei oder mehr, vorgesehen sein. Auch jedes andere hier verwendete Zählwort ist nicht dahingehend zu verstehen, dass eine Beschränkung auf genau die genannte Anzahl von Elementen gegeben ist. Vielmehr sind zahlenmäßige Abweichungen nach oben und nach unten möglich, soweit nichts Gegenteiliges angegeben ist.

Die für das Verfahren beschriebenen Ausführungsformen und Merkmale gelten, z. B. soweit sie computerimplementiert durchgeführt werden können, für die vorgeschlagene Steuervorrichtung entsprechend und umgekehrt.

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

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.

Fig. 1 zeigt einen schematischen Meridionalschnitt einer Projektionsbelichtungsanlage für die EUV-Projektionslithographie gemäß einer Ausführungsform;

Fig. 2 zeigt ein optisches System der Projektionsbelichtungsanlage aus Fig. 1 gemäß einer Ausführungsform, wobei das optische System eine optische Komponente umfasst;

- 5 Fig. 3 zeigt ein Flussablaufdiagramm eines Verfahrens zum Herstellen eines optischen Systems gemäß einer Ausführungsform;

Fig. 4 zeigt ein Substrat der optischen Komponente aus Fig. 2 gemäß einer Ausführungsform;

10

Fig. 5 zeigt eine Verteilungsfunktion einer Nulldurchgangstemperatur des Substrats aus Fig. 4 gemäß einer Ausführungsform;

- 15 Fig. 6 zeigt drei Repräsentanten für optische Komponente gemäß einer Ausführungsform;

Fig. 7 zeigt Verteilungsfunktionen einer Nulldurchgangstemperatur von Substraten der optischen Komponenten aus Fig. 6 gemäß einer Ausführungsform;

- 20 Fig. 8 veranschaulicht einen computerimplementiert ermittelten Einzelfehler der Abbildung des optischen Systems aus Fig. 2 gemäß einer Ausführungsform;

- 25 Fig. 9 veranschaulicht einen weiteren computerimplementiert ermittelten Einzelfehler der Abbildung des optischen Systems aus Fig. 2 gemäß einer Ausführungsform;

Fig. 10 veranschaulicht eine Einstellung einer Beleuchtung der optischen Komponente aus Fig. 2 gemäß einer Ausführungsform;

Fig. 11 veranschaulicht eine Gewichtung bei der computerimplementierten Ermittlung eines Abbildungsfehlers des optischen Systems aus Fig. 2 gemäß einer Ausführungsform;

- 5 Fig. 11A illustriert einen Abbildungsfehler des optischen Systems aus Fig. 2 im Vergleich mit einem Schwellenwert; und

Fig 12 zeigt eine Steuervorrichtung zur Ausführung des Verfahrens aus Fig. 3 gemäß einer Ausführungsform.

10

In den Figuren sind gleiche oder funktionsgleiche Elemente mit denselben Bezugszeichen versehen worden, soweit nichts Gegenteiliges angegeben ist. Ferner sollte beachtet werden, dass die Darstellungen in den Figuren nicht notwendigerweise maßstabsgerecht sind.

15

Fig. 1 zeigt eine Ausführungsform einer Projektionsbelichtungsanlage 1 (Lithographieanlage), insbesondere einer EUV-Lithographieanlage. Eine Ausführung eines Beleuchtungssystems 2 der Projektionsbelichtungsanlage 1 hat neben einer Licht- beziehungsweise Strahlungsquelle 3 eine Beleuchtungsoptik 4 zur Beleuchtung eines Objektfeldes 5 in einer Objektebene 6. Bei einer alternativen Ausführung kann die Lichtquelle 3 auch als ein zum sonstigen Beleuchtungssystem 2 separates Modul bereitgestellt sein. In diesem Fall umfasst das Beleuchtungssystem 2 die Lichtquelle 3 nicht.

20

- 25 Belichtet wird ein im Objektfeld 5 angeordnetes Retikel 7. Das Retikel 7 ist von einem Retikelhalter 8 gehalten. Der Retikelhalter 8 ist über einen Retikelverlagerungsantrieb 9, insbesondere in einer Scanrichtung, verlagerbar.

In der Fig. 1 ist zur Erläuterung ein kartesisches Koordinatensystem mit einer x-Richtung x, einer y-Richtung y und einer z-Richtung z eingezeichnet. Die x-

30

Richtung x verläuft senkrecht in die Zeichenebene hinein. Die y-Richtung y verläuft horizontal und die z-Richtung z verläuft vertikal. Die Scanrichtung verläuft in der Fig. 1 längs der y-Richtung y. Die z-Richtung z verläuft senkrecht zur Objektebene 6.

5

Die Projektionsbelichtungsanlage 1 umfasst eine Projektionsoptik 10. Die Projektionsoptik 10 dient zur Abbildung des Objektfeldes 5 in ein Bildfeld 11 in einer Bildebene 12. Die Bildebene 12 verläuft parallel zur Objektebene 6. Alternativ ist auch ein von 0° verschiedener Winkel zwischen der Objektebene 6 und der Bildebene 12 möglich.

10

Abgebildet wird eine Struktur auf dem Retikel 7 auf eine lichtempfindliche Schicht eines im Bereich des Bildfeldes 11 in der Bildebene 12 angeordneten Wafers 13. Der Wafer 13 wird von einem Waferhalter 14 gehalten. Der Waferhalter 14 ist über einen Waferverlagerungsantrieb 15 insbesondere längs der y-Richtung y verlagerbar. Die Verlagerung einerseits des Retikels 7 über den Retikelverlagerungsantrieb 9 und andererseits des Wafers 13 über den Waferverlagerungsantrieb 15 kann synchronisiert zueinander erfolgen.

15

Bei der Lichtquelle 3 handelt es sich um eine EUV-Strahlungsquelle. Die Lichtquelle 3 emittiert insbesondere EUV-Strahlung 16, welche im Folgenden auch als Nutzstrahlung, Beleuchtungsstrahlung oder Beleuchtungslicht bezeichnet wird. Die Nutzstrahlung 16 hat insbesondere eine Wellenlänge im Bereich zwischen 5 nm und 30 nm. Bei der Lichtquelle 3 kann es sich um eine Plasmaquelle handeln, zum Beispiel um eine LPP-Quelle (Engl.: Laser Produced Plasma, mit Hilfe eines Lasers erzeugtes Plasma) oder um eine DPP-Quelle (Engl.: Gas Discharged Produced Plasma, mittels Gasentladung erzeugtes Plasma). Es kann sich auch um eine synchrotronbasierte Strahlungsquelle handeln. Bei der Lichtquelle 3 kann es sich um einen Freie-Elektronen-Laser (Engl.: Free-Electron-Laser, FEL) handeln.

20

25

30

Die Beleuchtungsstrahlung 16, die von der Lichtquelle 3 ausgeht, wird von einem Kollektor 17 gebündelt. Bei dem Kollektor 17 kann es sich um einen Kollektor mit einer oder mit mehreren ellipsoidalen und/oder hyperboloiden Reflexionsflächen handeln. Die mindestens eine Reflexionsfläche des Kollektors 17 kann im streifenden Einfall (Engl.: Grazing Incidence, GI), also mit Einfallswinkeln größer als 45° , oder im normalen Einfall (Engl.: Normal Incidence, NI), also mit Einfallswinkeln kleiner als 45° , mit der Beleuchtungsstrahlung 16 beaufschlagt werden. Der Kollektor 17 kann einerseits zur Optimierung seiner Reflektivität für die Nutzstrahlung und andererseits zur Unterdrückung von Falschlicht strukturiert und/oder beschichtet sein.

Nach dem Kollektor 17 propagiert die Beleuchtungsstrahlung 16 durch einen Zwischenfokus in einer Zwischenfokusebene 18. Die Zwischenfokusebene 18 kann eine Trennung zwischen einem Strahlungsquellenmodul, aufweisend die Lichtquelle 3 und den Kollektor 17, und der Beleuchtungsoptik 4 darstellen.

Die Beleuchtungsoptik 4 umfasst einen Umlenkspiegel 19 und diesem im Strahlengang nachgeordnet einen ersten Facettenspiegel 20. Bei dem Umlenkspiegel 19 kann es sich um einen planen Umlenkspiegel oder alternativ um einen Spiegel mit einer über die reine Umlenkungswirkung hinaus bündelbeeinflussenden Wirkung handeln. Alternativ oder zusätzlich kann der Umlenkspiegel 19 als Spektralfilter ausgeführt sein, der eine Nutzlichtwellenlänge der Beleuchtungsstrahlung 16 von Falschlicht einer hiervon abweichenden Wellenlänge trennt. Sofern der erste Facettenspiegel 20 in einer Ebene der Beleuchtungsoptik 4 angeordnet ist, die zur Objektebene 6 als Feldebene optisch konjugiert ist, wird dieser auch als Feldfacettenspiegel bezeichnet. Der erste Facettenspiegel 20 umfasst eine Vielzahl von einzelnen ersten Facetten 21, welche auch als Feldfacetten bezeichnet werden können. Von diesen ersten Facetten 21 sind in der Fig. 1 nur beispielhaft einige dargestellt.

Die ersten Facetten 21 können als makroskopische Facetten ausgeführt sein, insbesondere als rechteckige Facetten oder als Facetten mit bogenförmiger oder teilkreisförmiger Randkontur. Die ersten Facetten 21 können als plane Facetten
5 oder alternativ als konvex oder konkav gekrümmte Facetten ausgeführt sein.

Wie beispielsweise aus der DE 10 2008 009 600 A1 bekannt ist, können die ersten Facetten 21 selbst jeweils auch aus einer Vielzahl von Einzelspiegeln, insbesondere einer Vielzahl von Mikrosiegeln, zusammengesetzt sein. Der erste Facettenspiegel 20 kann insbesondere als mikroelektromechanisches System
10 (MEMS-System) ausgebildet sein. Für Details wird auf die DE 10 2008 009 600 A1 verwiesen.

Zwischen dem Kollektor 17 und dem Umlenkspiegel 19 verläuft die Beleuchtungsstrahlung 16 horizontal, also längs der y-Richtung y.
15

Im Strahlengang der Beleuchtungsoptik 4 ist dem ersten Facettenspiegel 20 nachgeordnet ein zweiter Facettenspiegel 22. Sofern der zweite Facettenspiegel 22 in einer Pupillenebene der Beleuchtungsoptik 4 angeordnet ist, wird dieser
20 auch als Pupillenfacettenspiegel bezeichnet. Der zweite Facettenspiegel 22 kann auch beabstandet zu einer Pupillenebene der Beleuchtungsoptik 4 angeordnet sein. In diesem Fall wird die Kombination aus dem ersten Facettenspiegel 20 und dem zweiten Facettenspiegel 22 auch als spekulärer Reflektor bezeichnet. Spekulare Reflektoren sind bekannt aus der US 2006/0132747 A1, der EP 1 614
25 008 B1 und der US 6,573,978.

Der zweite Facettenspiegel 22 umfasst eine Mehrzahl von zweiten Facetten 23. Die zweiten Facetten 23 werden im Falle eines Pupillenfacettenspiegels auch als Pupillenfacetten bezeichnet.

Bei den zweiten Facetten 23 kann es sich ebenfalls um makroskopische Facetten, die beispielsweise rund, rechteckig oder auch hexagonal berandet sein können, oder alternativ um aus Mikrosiegeln zusammengesetzte Facetten handeln. Diesbezüglich wird ebenfalls auf die DE 10 2008 009 600 A1 verwiesen.

5

Die zweiten Facetten 23 können plane oder alternativ konvex oder konkav gekrümmte Reflexionsflächen aufweisen.

Die Beleuchtungsoptik 4 bildet somit ein doppelt facettiertes System. Dieses grundlegende Prinzip wird auch als Wabenkondensor (Engl.: Fly's Eye Integrator) bezeichnet.

Es kann vorteilhaft sein, den zweiten Facettenspiegel 22 nicht exakt in einer Ebene, welche zu einer Pupillenebene der Projektionsoptik 10 optisch konjugiert ist, anzuordnen. Insbesondere kann der zweite Facettenspiegel 22 gegenüber einer Pupillenebene der Projektionsoptik 10 verkippt angeordnet sein, wie es zum Beispiel in der DE 10 2017 220 586 A1 beschrieben ist.

Mit Hilfe des zweiten Facettenspiegels 22 werden die einzelnen ersten Facetten 21 in das Objektfeld 5 abgebildet. Der zweite Facettenspiegel 22 ist der letzte bündelformende oder auch tatsächlich der letzte Spiegel für die Beleuchtungsstrahlung 16 im Strahlengang vor dem Objektfeld 5.

Bei einer weiteren, nicht dargestellten Ausführung der Beleuchtungsoptik 4 kann im Strahlengang zwischen dem zweiten Facettenspiegel 22 und dem Objektfeld 5 eine Übertragungsoptik angeordnet sein, die insbesondere zur Abbildung der ersten Facetten 21 in das Objektfeld 5 beiträgt. Die Übertragungsoptik kann genau einen Spiegel, alternativ aber auch zwei oder mehr Spiegel aufweisen, welche hintereinander im Strahlengang der Beleuchtungsoptik 4 angeordnet sind. Die Übertragungsoptik kann insbesondere einen oder zwei Spiegel für

senkrechten Einfall (NI-Spiegel, Normal Incidence Spiegel) und/oder einen oder zwei Spiegel für streifenden Einfall (GI-Spiegel, Grazing Incidence Spiegel) umfassen.

- 5 Die Beleuchtungsoptik 4 hat bei der Ausführung, die in der Fig. 1 gezeigt ist, nach dem Kollektor 17 genau drei Spiegel, nämlich den Umlenkspiegel 19, den ersten Facettenspiegel 20 und den zweiten Facettenspiegel 22.

Bei einer weiteren Ausführung der Beleuchtungsoptik 4 kann der Umlenkspiegel
10 19 auch entfallen, so dass die Beleuchtungsoptik 4 nach dem Kollektor 17 dann genau zwei Spiegel aufweisen kann, nämlich den ersten Facettenspiegel 20 und den zweiten Facettenspiegel 22.

Die Abbildung der ersten Facetten 21 mittels der zweiten Facetten 23 bezie-
15 hungsweise mit den zweiten Facetten 23 und einer Übertragungsoptik in die Objektebene 6 ist regelmäßig nur eine näherungsweise Abbildung.

Die Projektionsoptik 10 umfasst eine Mehrzahl von Spiegeln M_i , welche gemäß
20 ihrer Anordnung im Strahlengang der Projektionsbelichtungsanlage 1 durch-

Bei dem in der Fig. 1 dargestellten Beispiel umfasst die Projektionsoptik 10 sechs Spiegel M_1 bis M_6 . Alternativen mit vier, acht, zehn, zwölf oder einer anderen Anzahl an Spiegeln M_i sind ebenso möglich. Bei der Projektionsoptik 10 handelt
25 es sich um eine doppelt obskurierte Optik. Der vorletzte Spiegel M_5 und der letzte Spiegel M_6 haben jeweils eine Durchtrittsöffnung für die Beleuchtungsstrahlung 16. Die Projektionsoptik 10 hat eine bildseitige numerische Apertur, die größer ist als 0,5 und die auch größer sein kann als 0,6 und die beispielsweise 0,7 oder 0,75 betragen kann.

Reflexionsflächen der Spiegel Mi können als Freiformflächen ohne Rotationssymmetrieachse ausgeführt sein. Alternativ können die Reflexionsflächen der Spiegel Mi als asphärische Flächen mit genau einer Rotationssymmetrieachse der Reflexionsflächenform gestaltet sein. Die Spiegel Mi können, genauso wie die Spiegel der Beleuchtungsoptik 4, hochreflektierende Beschichtungen für die Beleuchtungsstrahlung 16 aufweisen. Diese Beschichtungen können als Multilayer-Beschichtungen, insbesondere mit alternierenden Lagen aus Molybdän und Silizium, gestaltet sein.

Die Projektionsoptik 10 hat einen großen Objekt-Bildversatz in der y-Richtung y zwischen einer y-Koordinate eines Zentrums des Objektfeldes 5 und einer y-Koordinate des Zentrums des Bildfeldes 11. Dieser Objekt-Bild-Versatz in der y-Richtung y kann in etwa so groß sein wie ein z-Abstand zwischen der Objektebene 6 und der Bildebene 12.

15

Die Projektionsoptik 10 kann insbesondere anamorphotisch ausgebildet sein. Sie weist insbesondere unterschiedliche Abbildungsmaßstäbe β_x , β_y in x- und y-Richtung x, y auf. Die beiden Abbildungsmaßstäbe β_x , β_y der Projektionsoptik 10 liegen bevorzugt bei $(\beta_x, \beta_y) = (+/- 0,25, +/- 0,125)$. Ein positiver Abbildungsmaßstab β bedeutet eine Abbildung ohne Bildumkehr. Ein negatives Vorzeichen für den Abbildungsmaßstab β bedeutet eine Abbildung mit Bildumkehr.

20

Die Projektionsoptik 10 führt somit in x-Richtung x, das heißt in Richtung senkrecht zur Scanrichtung, zu einer Verkleinerung im Verhältnis 4:1.

25

Die Projektionsoptik 10 führt in y-Richtung y, das heißt in Scanrichtung, zu einer Verkleinerung von 8:1.

Andere Abbildungsmaßstäbe sind ebenso möglich. Auch vorzeichengleiche und absolut gleiche Abbildungsmaßstäbe in x- und y-Richtung x, y, zum Beispiel mit Absolutwerten von 0,125 oder von 0,25, sind möglich.

- 5 Die Anzahl von Zwischenbildebene in der x- und in der y-Richtung x, y im Strahlengang zwischen dem Objektfeld 5 und dem Bildfeld 11 kann gleich sein oder kann, je nach Ausführung der Projektionsoptik 10, unterschiedlich sein. Beispiele für Projektionsoptiken mit unterschiedlichen Anzahlen derartiger Zwischenbilder in x- und y-Richtung x, y sind bekannt aus der US 2018/0074303 A1.

10

Jeweils eine der zweiten Facetten 23 ist genau einer der ersten Facetten 21 zur Ausbildung jeweils eines Beleuchtungskanals zur Ausleuchtung des Objektfeldes 5 zugeordnet. Es kann sich hierdurch insbesondere eine Beleuchtung nach dem Köhlerschen Prinzip ergeben. Das Fernfeld wird mit Hilfe der ersten Facetten 21 in eine Vielzahl an Objektfeldern 5 zerlegt. Die ersten Facetten 21 erzeugen eine Mehrzahl von Bildern des Zwischenfokus auf den diesen jeweils zugeordneten zweiten Facetten 23.

15

Die ersten Facetten 21 werden jeweils von einer zugeordneten zweiten Facette 23 einander überlagernd zur Ausleuchtung des Objektfeldes 5 auf das Retikel 7 abgebildet. Die Ausleuchtung des Objektfeldes 5 ist insbesondere möglichst homogen. Sie weist vorzugsweise einen Uniformitätsfehler von weniger als 2 % auf. Die Felduniformität kann über die Überlagerung unterschiedlicher Beleuchtungskanäle erreicht werden.

20

25

Durch eine Anordnung der zweiten Facetten 23 kann geometrisch die Ausleuchtung der Eintrittspupille der Projektionsoptik 10 definiert werden. Durch Auswahl der Beleuchtungskanäle, insbesondere der Teilmenge der zweiten Facetten 23, die Licht führen, kann die Intensitätsverteilung in der Eintrittspupille der

Projektionsoptik 10 eingestellt werden. Diese Intensitätsverteilung wird auch als Beleuchtungssetting oder Beleuchtungspupillenfüllung bezeichnet.

5 Eine ebenfalls bevorzugte Pupillenuniformität im Bereich definiert ausgeleuchteter Abschnitte einer Beleuchtungspupille der Beleuchtungsoptik 4 kann durch eine Umverteilung der Beleuchtungskanäle erreicht werden.

10 Im Folgenden werden weitere Aspekte und Details der Ausleuchtung des Objektfeldes 5 sowie insbesondere der Eintrittspupille der Projektionsoptik 10 beschrieben.

Die Projektionsoptik 10 kann insbesondere eine homozentrische Eintrittspupille aufweisen. Diese kann zugänglich sein. Sie kann auch unzugänglich sein.

15 Die Eintrittspupille der Projektionsoptik 10 lässt sich regelmäßig mit dem zweiten Facettenspiegel 22 nicht exakt ausleuchten. Bei einer Abbildung der Projektionsoptik 10, welche das Zentrum des zweiten Facettenspiegels 22 telezentrisch auf den Wafer 13 abbildet, schneiden sich die Aperturstrahlen oftmals nicht in einem einzigen Punkt. Es lässt sich jedoch eine Fläche finden, in welcher der
20 paarweise bestimmte Abstand der Aperturstrahlen minimal wird. Diese Fläche stellt die Eintrittspupille oder eine zu ihr konjugierte Fläche im Ortsraum dar. Insbesondere zeigt diese Fläche eine endliche Krümmung.

25 Es kann sein, dass die Projektionsoptik 10 unterschiedliche Lagen der Eintrittspupille für den tangentialen und für den sagittalen Strahlengang aufweist. In diesem Fall sollte ein abbildendes Element, insbesondere ein optisches Bauelement der Übertragungsoptik, zwischen dem zweiten Facettenspiegel 22 und dem Retikel 7 bereitgestellt werden. Mit Hilfe dieses optischen Elements kann die unterschiedliche Lage der tangentialen Eintrittspupille und der sagittalen Ein-
30 trittspupille berücksichtigt werden.

Bei der in der Fig. 1 dargestellten Anordnung der Komponenten der Beleuchtungsoptik 4 ist der zweite Facettenspiegel 22 in einer zur Eintrittspupille der Projektionsoptik 10 konjugierten Fläche angeordnet. Der erste Facettenspiegel 20 ist verkippt zur Objektebene 6 angeordnet. Der erste Facettenspiegel 20 ist verkippt zu einer Anordnungsebene angeordnet, die vom Umlenkspiegel 19 definiert ist. Der erste Facettenspiegel 20 ist verkippt zu einer Anordnungsebene angeordnet, die vom zweiten Facettenspiegel 22 definiert ist.

Fig. 2 zeigt ein optisches System 100 (z. B. ein Teil eines optischen Systems 100) mit einer optischen Komponente 102 gemäß einer Ausführungsform. Die optische Komponente 102 weist ein Substrat 104 und eine optisch aktive Fläche 106 auf. Die optische Komponente 102 ist zum Beispiel ein Spiegel mit einem Spiegelsubstrat 104 und einer reflektierenden Oberfläche 106.

Das optische System 100 ist zum Beispiel eine Projektionsoptik 10 der EUV-Lithographieanlage 1 (Fig. 1). Das optische System 100 kann jedoch zum Beispiel auch eine Beleuchtungsoptik 4 der Lithographieanlage 1 sein.

Die optische Komponente 102 ist zum Beispiel einer der Spiegel M1 bis M6 der Projektionsoptik 10 (Fig. 1). Die optische Komponente 102 kann zum Beispiel auch einer der Spiegel 19, 20, 22 der Beleuchtungsoptik 4 (Fig. 1) sein.

Obwohl in den Figuren nicht gezeigt, kann die optische Komponente 102 auch ein Spiegel oder eine Linse einer DUV-Lithographieanlage sein.

Die optische Komponente 102 kann sich durch Bestrahlung mit Arbeitslicht 16 (z. B. EUV-Licht 16 der Lithographieanlage 1, Fig. 1) und Absorption des Arbeitslichts 16 erwärmen. Dadurch kann sich die optische Komponente 102 thermisch verformen. Durch diese thermische Verformung können Abbildungsfehler

der optischen Komponente 102 bzw. des optischen Systems 100, das die optische Komponente 102 umfasst, auftreten.

Zur Reduzierung thermischer Verformung und damit zusammenhängender Abbildungsfehler wird hochwertiges Substratmaterial 108 für das Substrat 104 verwendet. Insbesondere weist das Material 108 des Substrats 104 einen sehr kleinen Wärmeausdehnungskoeffizienten α auf. Das Material 108 weist insbesondere eine Nulldurchgangstemperatur ZCT des Wärmeausdehnungskoeffizienten α auf, bei der eine thermische Verformung des Spiegelmaterials in Abhängigkeit einer Temperaturerhöhung minimal und/oder Null ist.

Aufgrund von Inhomogenitäten des Materials 108 des Substrats 104 ist die Nulldurchgangstemperatur ZCT des Substrats 104 nicht homogen über einen Substratkörper 110 des Substrats 104 verteilt, sondern weist vielmehr Schwankungen ΔZCT als Funktion des Ortes r des Substratkörpers 110 auf. Der Ort r des Substratkörpers 110 ist beispielsweise ein Ort im von den Richtungen x' , y' und z' aufgespannten dreidimensionalen Raum. Ein Wert der mittleren Nulldurchgangstemperatur M des Spiegelmaterials 108 sowie die Variationen ΔZCT der Nulldurchgangstemperatur ZCT als Funktion des Ortes r haben unmittelbaren Einfluss auf Abbildungsfehler der optischen Komponente 102.

Es wird angemerkt, dass die x' -, y' - und z' -Richtungen bzw. das x' -, y' - und z' -Koordinatensystem in den Fig. 2, 4 und 6 entsprechend mit den x -, y - und z -Richtungen bzw. dem x -, y - und z -Koordinatensystem von Fig. 1, 8 und 9 übereinstimmen kann oder davon abweichen kann. Insbesondere stimmen die x' -, y' - und z' -Richtungen bzw. das x' -, y' - und z' -Koordinatensystem in den Fig. 2, 4 und 6 nur dann mit den x -, y - und z -Richtungen bzw. dem x -, y - und z -Koordinatensystem von Fig. 1, 8 und 9 über, wenn eine optische Achse der optischen Komponente 102 senkrecht zu einer Bildebene des optischen Systems 100 (z. B. zur Bildebene 12 in Fig. 1 bzw. Bildebene 302 in Fig. 8) angeordnet ist. Beispielsweise stimmen

die x' -, y' - und z' -Richtungen bzw. das x' -, y' - und z' -Koordinatensystem in den Fig. 2, 4 und 6 dann mit den x -, y - und z -Richtungen bzw. dem x -, y - und z -Koordinatensystem von Fig. 1, 8 und 9 überein, wenn die optische Komponente 102 einer der Spiegel M3, M5 oder M6 in Fig. 1 ist.

5

Im Folgenden wird mit Bezug zu den Figuren 2 bis 11 ein Verfahren zum Herstellen eines optischen Systems 100 für eine Lithographieanlage 1 beschrieben. Das optische System 100 weist die optische Komponente 102 mit der optisch aktiven Fläche 106 und dem Substrat 104 auf (Fig. 2).

10

In einem ersten Schritt S1 des Verfahrens wird das Substrat 104' hergestellt (Fig. 4). Das hergestellte Substrat 104' weist ein Material 108' auf, das aufgrund des Herstellungsprozesses eine Verteilungsfunktion $g(r)$ der Nulldurchgangstemperatur ZCT' als Funktion eines Ortes r des Substratkörpers 110' aufweist. Weiterhin hat die Verteilungsfunktion $g(r)$ eine mittlere Nulldurchgangstemperatur M' . Als Verteilungsfunktion $g(r)$ wird im Folgenden eine normalisierte Verteilungsfunktion $g(r)$ betrachtet, die basierend auf einem Wert (z. B. der mittleren Nulldurchgangstemperatur M') der tatsächlichen (d. h. nicht-normalisierten) Verteilungsfunktion normalisiert wurde.

20

Die Herstellung des Substrats 104' in Schritt S1 kann vor den Schritten S2 bis S4 ausgeführt werden. In anderen Beispielen kann Schritt S1 jedoch auch nach einem, mehreren oder allen der Schritte S2 bis S4 ausgeführt werden.

25

In einem zweiten Schritt S2 des Verfahrens wird für ein Substrat (z. B. 104' in Fig. 4 bzw. 204a, 204b, 204c in Fig. 6) einer oder mehrerer optischer Komponenten (z. B. 102 in Fig. 2 bzw. 202a, 202b, 202c in Fig. 6) eine jeweilige normalisierte Verteilungsfunktion (z. B. $g(r)$ in Fig. 4 bzw. $h_a(r)$, $h_b(r)$, $h_c(r)$ in Fig. 7) einer Nulldurchgangstemperatur (z. B. ZCT' in Fig. 4 bzw. ZCT_a , ZCT_b , ZCT_c in

Fig. 7) eines Wärmeausdehnungskoeffizienten des jeweiligen Substrats als Funktion eines Ortes r des Substrats bereitgestellt.

In einer ersten Variante von Schritt S2 wird in Schritt S21 für das Substrat 104' (Fig. 4) der herzustellenden optischen Komponente 102 (Fig. 2) eine normalisierte Verteilungsfunktion $g(r)$ der Nulldurchgangstemperatur ZCT' bereitgestellt. In Fig. 5 ist eine beispielhafte normalisierte Verteilungsfunktion $g(r)$ der normalisierten Nulldurchgangstemperatur ΔZCT des Substrats 104' als Funktion des z -Ortes des Substrats 104' veranschaulicht.

Beispielsweise wird Schritt S1 vor Schritt S21 ausgeführt. Dann kann in Schritt S21 die Verteilungsfunktion $g(r)$ der Nulldurchgangstemperatur ZCT' des hergestellten Substrats 104' gemessen und normalisiert und damit die Verteilungsfunktion $g(r)$ bereitgestellt werden.

Wenn die Verteilungsfunktion $g(r)$ der Nulldurchgangstemperatur ZCT' des Substrats 104' (Fig. 4) der herzustellenden optischen Komponente 102 (Fig. 2) nicht vorliegt und/oder nicht ermittelt werden kann, dann kann statt der ersten Variante S21 die zweite Variante S22 des Schritts S2 des Verfahrens ausgeführt werden.

In einer zweiten Variante von Schritt S2 werden in Schritt S22 des Verfahrens mehrerer Repräsentanten 202a, 202b, 202c für optische Komponenten bereitgestellt (Fig. 6). Die Repräsentanten 202a, 202b, 202c für optische Komponenten weisen jeweils ein Substrat 204a, 204b, 204c und eine optisch aktive Fläche 206a, 206b, 206c auf.

Weiterhin wird in Schritt S22 für jedes Substrat 204a, 204b, 204c der mehreren Repräsentanten 202a, 202b, 202c für optische Komponenten eine normalisierte Verteilungsfunktion $h_a(r)$, $h_b(r)$, $h_c(r)$ der entsprechenden

Nulldurchgangstemperatur ZCT_a , ZCT_b , ZCT_c bereitgestellt. Fig. 7 zeigt beispielhaft normalisierte Verteilungsfunktionen $h_a(r)$, $h_b(r)$, $h_c(r)$ der normalisierten Nulldurchgangstemperatur ΔZCT des entsprechenden Substrats 204a, 204b, 204c als Funktion des z-Ortes des entsprechenden Substrats 204a, 204b, 204c.

5

Die mehreren Repräsentanten 202a, 202b, 202c für optische Komponenten und deren Verteilungsfunktionen $h_a(r)$, $h_b(r)$, $h_c(r)$ der Nulldurchgangstemperatur ZCT_a , ZCT_b , ZCT_c können in Schritt S22 beispielsweise ausschließlich digital bereitgestellt werden.

10

Alternativ können die mehreren Repräsentanten 202a, 202b, 202c für optische Komponenten physisch realisierte optische Komponenten sein (die also physisch bereitgestellt werden). In diesem Fall können ihre Verteilungsfunktionen $h_a(r)$, $h_b(r)$, $h_c(r)$ der Nulldurchgangstemperatur ZCT_a , ZCT_b , ZCT_c für die entsprechenden Substrate 204a 204b, 204c in Schritt S22 gemessen und normalisiert werden.

15

In einem dritten Schritt S3 des Verfahrens wird für jede bereitgestellte normalisierte Verteilungsfunktion $g(r)$ in Fig. 5 bzw. $h_a(r)$, $h_b(r)$, $h_c(r)$ in Fig. 7 und für mehrere voneinander verschiedene vorbestimmte mittlere Nulldurchgangstemperaturen M_j ein Fehler F_i einer Abbildung des optischen Systems 100 computerimplementiert ermittelt. Dabei ist j ein Index der von 1 bis p läuft, wobei p eine Anzahl von zu testenden verschiedenen mittleren Nulldurchgangstemperaturen M_j bezeichnet und eine natürliche Zahl größer eins ist. Außerdem kennzeichnet i einen Index, der von 1 bis n läuft, wobei n eine natürliche Zahl größer 1 und die Anzahl der möglichen Kombinationen der bereitgestellten Verteilungsfunktion/en und mittleren Nulldurchgangstemperaturen angibt. Somit ist F_i ein durch Simulation ermittelter Fehler für die i -te der n möglichen Kombinationen der bereitgestellten Verteilungsfunktion/en (z. B. $g(r)$ in Fig. 5 bzw. $h_a(r)$, $h_b(r)$, $h_c(r)$ in Fig. 7) und mittleren Nulldurchgangstemperaturen M_j .

20

25

30

Wurde bei Schritt S2 die erste Variante S21 ausgeführt, dann wird in Schritt S3 für die eine bereitgestellte normalisierte Verteilungsfunktion $g(r)$ des Substrats 104' (Fig. 5) und für mehrere voneinander verschiedene mittlere Nulldurchgangstemperaturen M_j ein Fehler F_i der Abbildung des optischen Systems 100 computerimplementiert ermittelt. Lediglich beispielhaft werden, wie in Fig. 5 veranschaulicht, vier verschiedene mittlere Nulldurchgangstemperaturen M_j von 25,0° C, 25,5° C, 26,5° C und 27,5° C durchgetestet. Das heißt, dass in dem Beispiel von Fig. 5 die Anzahl der voneinander verschiedenen mittleren Nulldurchgangstemperaturen M_j vier ist. Außerdem ergeben sich aus der Kombination einer einzigen Verteilungsfunktion $g(r)$ und vier verschiedener mittleren Nulldurchgangstemperaturen M_j vier mögliche Kombinationen. Damit ist $i = 4$ und es werden vier verschiedene Abbildungsfehler F_i berechnet.

In anderen Beispielen können jedoch auch eine andere Anzahl von Werten und andere Werte für die mittlere Nulldurchgangstemperatur M_j angewendet werden.

Wurde bei Schritt S2 die zweite Variante S22 ausgeführt, dann wird in Schritt S3 für die mehreren bereitgestellten normalisierten Verteilungsfunktionen $h_a(r)$, $h_b(r)$, $h_c(r)$ der Substrate 204a, 204b, 204c (Fig. 6, 7) und für mehrere voneinander verschiedene mittlere Nulldurchgangstemperaturen M_j ein Fehler F_i der Abbildung des optischen Systems 100 computerimplementiert ermittelt. Lediglich beispielhaft werden, wie in Fig. 7 veranschaulicht, auch in dieser Variante vier verschiedene mittlere Nulldurchgangstemperaturen M_j von 25,0° C, 25,5° C, 26,5° C und 27,5° C durchgetestet. Das heißt, dass in dem Beispiel von Fig. 7 die Anzahl der voneinander verschiedenen mittleren Nulldurchgangstemperaturen M_j auch vier ist. Weiterhin ergeben sich aus der Kombination von beispielsweise drei Verteilungsfunktionen $h_a(r)$, $h_b(r)$, $h_c(r)$ und vier verschiedenen mittleren Nulldurchgangstemperaturen M_j zwölf mögliche Kombinationen. Damit ist $i = 12$ und es werden zwölf verschiedene Abbildungsfehler F_i berechnet.

Optional kann in einer ersten Variante von Schritt S3 jeder Fehler F_i basierend auf mehreren voneinander verschiedenen Einzelfehlern f_k ermittelt werden. Insbesondere können für die Ermittlung jedes Fehlers F_i mehrere Einzelfehler f_k angewendet werden, die zu voneinander verschiedenen Fehlerarten der Abbildung des optischen Systems 100 gehören. Beispielsweise werden die voneinander verschiedenen Einzelfehlern f_k als relative Fehlerwerte berücksichtigt. In dieser ersten Variante von Schritt S4 kann der Fehler F_i der Abbildung des optischen Systems 100 zum Beispiel als ein Maximum der mehreren ermittelten Einzelfehler f_k ermittelt werden, z. B. basierend auf folgender Gleichung:

$$F_i = \max(f_k), \text{ für } i = 1 \text{ bis } n \text{ und } k = 1 \text{ bis } m$$

Dabei bezeichnet f_k die (z. B. relativen) Einzelfehler für eine bestimmte Verteilungsfunktion $g(r)$ bzw. $h_a(r)$, $h_b(r)$, $h_c(r)$ und eine bestimmte mittlere Nulldurchgangstemperatur M_j . Dabei ist k ein Index, der von 1 bis m läuft, wobei m eine natürliche Zahl größer 1 ist und die Anzahl der voneinander verschiedenen Einzelfehler f_k bezeichnet.

In anderen Beispielen kann in Schritt S4 der Fehler F_i der Abbildung des optischen Systems 100 auch als ein Mittelwert, ein Median und/oder ein Quantil der mehreren ermittelten (z. B. relativen) Einzelfehler f_k ermittelt werden.

Bei den mehreren voneinander verschiedenen Einzelfehlern f_k kann es sich zum Beispiel um eine Abweichung eines tatsächlichen Fokus F_{Ist} des optischen Systems 100 von einem Soll-Fokus F_{Soll} handeln (Fokusfehler, sphärischer Abbildungsfehler, Zernike-Polynom ZP von Z 2), wie in Fig. 8 veranschaulicht. In Fig. 8 ist eine Strahlung 300 (z. B. das Arbeitslicht 16 in Fig. 1) gezeigt, die auf eine Bildebene 302 des optischen Systems 100 (Fig. 2) eintrifft. Der Soll-Fokus F_{Soll} liegt insbesondere in der Bildebene 302. Der tatsächliche Fokus F_{Ist}

weicht von dem Soll-Fokus F_{Soll} ab, sodass es zu einer Unschärfe bei der Abbildung kommt. Eine Abweichung des tatsächlichen Fokus F_{Ist} von dem Soll-Fokus F_{Soll} stellt ein Beispiel für einen Einzelfehler f_k dar, z. B. einen ersten ($k = 1$) Einzelfehler f_1 .

5

In Fig. 8 ist weiterhin ein Fehlerbereich ΔF_{fokus} als Beispiel eines Schwellenwerts SW (Fig. 11A) und/oder eines Einzel-Schwellenwerts eingezeichnet. Beispielsweise ist ein Ist-Fokus der im Bereich $F_{\text{Soll}} \pm \Delta F_{\text{fokus}}$ liegt, ein Abbildungsfehler F_i der kleiner als der Schwellenwert SW ist. Der in Fig. 8 gezeigte Ist-Fokus F_{Ist} liegt jedoch nicht mehr im erlaubten Bereich $F_{\text{Soll}} \pm \Delta F_{\text{fokus}}$ und die zugehörige mittlere Nulldurchgangstemperatur M_i erfüllt somit die Bedingung für eine ausgewählte mittlere Nulldurchgangstemperatur M_{aw} nicht. Beispielswerte für einen Fehlerbereich ΔF_{fokus} , der einem Schwellenwert SW und/oder einem Einzel-Schwellenwert für den Fokus entspricht, umfassen beispielsweise 15 nm oder weniger, 10 nm oder weniger und/oder 5 nm oder weniger.

15

Bei den mehreren voneinander verschiedenen Einzelfehlern f_k kann es sich zum Beispiel auch um eine Verschiebung einer Wellenfront (z. B. 304 in Fig. 8) handeln relativ zu einer Soll-Wellenfront 306, sodass eine Ist-Position P_{Ist} eines mithilfe des optischen Systems 100 in einem Bild 400 in einer Bildebene 302 (Fig. 8) des optischen Systems 100 abgebildeten Objektes 402 von einer Soll-Position P_{Soll} des abgebildeten Objektes 404 abweicht, wie in Fig. 9 veranschaulicht. Eine Abweichung der Ist-Position P_{Ist} von der Soll-Position P_{Soll} (Overlay-Fehler) stellt ein weiteres Beispiel für einen Einzelfehler f_k dar, z. B. einen zweiten ($k=2$) Einzelfehler f_2 .

20

25

Bei den mehreren voneinander verschiedenen Einzelfehlern f_k kann es sich zusätzlich oder anstatt um Einzelfehler f_k in Bezug auf die voneinander verschiedenen Fehlerarten auch um Einzelfehler f_k in Bezug auf voneinander verschiedene

Einstellungsparameter einer Beleuchtung der herzustellenden optischen Komponente 102 des optischen Systems 100 handeln.

Die verschiedenen Einstellungsparameter der geplanten Beleuchtung der herzustellenden optischen Komponente 102 weisen beispielsweise eine Strahlungsintensität eines Arbeitslichtes (z. B. EUV-Licht 16, Fig. 1) auf, das auf die optische Komponente 102 eingestrahlt wird.

Die verschiedenen Einstellungsparameter der Beleuchtung können zum Beispiel auch ein Muster 500 bzw. eine Wärmestromverteilung 500 aufweisen, in dem bzw. mit der das Arbeitslicht 16 auf die optische Komponente 102 eingestrahlt wird. In Fig. 10 sind beispielhaft zwei Wärmestrompole 502, 504 (Dipol-Muster) einer Wärmestromverteilung 500 einer optisch aktiven Oberfläche 506 einer optischen Komponente (z. B. der optischen Komponente 102 in Fig. 2) veranschaulicht.

Optional können in einer zweiten Variante von Schritt S3 die mehreren ermittelten Einzelfehler f_k gemäß vorbestimmten Gewichten W_l gewichtet werden.

Dadurch können die Einzelfehler abhängig von einem geplanten Einsatz der herzustellenden optischen Komponente 102 und des optischen Systems 100 mit dieser Komponente 102 gewichtet werden.

In dieser zweiten Variante von Schritt S3 wird F_i zum Beispiel als das Maximum der mehreren gewichteten Einzelfehler f_k beispielsweise basierend auf folgender Gleichung berechnet:

$$F_i = \max (f_k / W_l), \text{ für } i = 1 \text{ bis } n, k = 1 \text{ bis } m \text{ und } l = 1 \text{ bis } q$$

In obiger Gleichung bezeichnet W_l die Gewichte, welche zur Wichtung der Einzelfehler f_k angewendet werden. Die Gewichte W_l sind insbesondere positive, reelle Zahlen größer Null. Weiterhin ist l ein Index, der von 1 bis q läuft, wobei q die Anzahl der mehreren Gewichte W_l bezeichnet.

5

In anderen Beispielen kann der Fehler F_i der Abbildung des optischen Systems 100 auch als ein Mittelwert, ein Median und/oder ein Quantil der mehreren gewichteten Einzelfehler f_k ermittelt werden.

10 In Fig. 11 sind beispielhaft Gewichte W_l veranschaulicht. Als Beispiel ist ein Gewicht W_1 gleich 0,5 illustriert, was einer hohen Gewichtung entspricht, da der Term W_l in obiger Gleichung im Nenner steht. Als weiteres Beispiel ist ein Gewicht W_2 gleich 1,5 gezeigt, was einer niedrigen Gewichtung entspricht.

15 In einem Fall, in dem eine Anzahl p verschiedener Einstellungsparameter für die Beleuchtung der optischen Komponente 102 mit Arbeitslicht 16 berücksichtigt werden, gilt, dass q das mathematische Produkt aus p und m ist (d. h. $q = p \cdot m$. In einem Fall, in dem keine mehreren verschiedenen Einstellungsparameter für die Beleuchtung der optischen Komponente 102 mit Arbeitslicht 16 berücksichtigt
20 werden (d. h. nur eine einzige Einstellung angewendet wird und somit $p = 1$ ist), gilt, dass q gleich m ist.

Werden beispielsweise zwei voneinander verschiedene Einzelfehler f_k betrachtet (d. h. $m = 2$) und nur ein einziger Einstellungsparameter für die Beleuchtung der
25 optischen Komponente 102 mit Arbeitslicht 16 (d. h. $p = 1$ und $q = m$), dann wird der Fehler F_i wie folgt berechnet:

$$F_i = \max (f_k / W_l), \text{ für } i = 1 \text{ bis } n, k = 1 \text{ bis } 2 \text{ und } l = 1 \text{ bis } 2$$

30

$$F_i = \max (f_1 / W_1, f_2 / W_2), \text{ für } i = 1 \text{ bis } n$$

In einer Ausführungsform, in der zusätzlich zu z. B. zwei voneinander verschiedenen Einzelfehlern f_k (d. h. $m = 2$) auch zwei voneinander verschiedene Einstellungsparameter für die Beleuchtung der optischen Komponente 102 mit Arbeitslicht 16 berücksichtigt werden (d. h. $p = 2$ und $q = 2$ m), wird der Fehler F_i wie folgt berechnet:

$$F_i = \max (f_{kd} / W_l), \text{ für } i = 1 \text{ bis } n, k = 1 \text{ bis } 2, d = 1 \text{ bis } 2 \text{ und } l = 1 \text{ bis } 4$$

$$F_i = \max (f_{11} / W_1, f_{12} / W_2, f_{21} / W_3, f_{22} / W_4), \text{ für } i = 1 \text{ bis } n$$

Hierbei bezeichnet f_{kd} den k -ten Einzelfehler bei der d -ten Beleuchtungseinstellung. Das heißt, f_{11} bezeichnet den ersten Einzelfehler f_1 bei der ersten Beleuchtungseinstellung, f_{12} bezeichnet den ersten Einzelfehler f_1 bei der zweiten Beleuchtungseinstellung, f_{21} bezeichnet den zweiten Einzelfehler f_2 bei der ersten Beleuchtungseinstellung, und f_{22} bezeichnet den zweiten Einzelfehler f_2 bei der zweiten Beleuchtungseinstellung.

In einem vierten Schritt S4 des Verfahrens wird zumindest eine ausgewählte mittlere Nulldurchgangstemperatur M_{aw} für das Substrat 104 der herzustellenden optischen Komponente 102 (Fig. 2) als diejenige mittlere Nulldurchgangstemperatur M_j ermittelt, für welche der ermittelte Fehler F_i kleiner als ein vorbestimmter Schwellenwert SW ist.

In Fig. 11A ist beispielhaft ein Abbildungsfehler F_i des optischen Systems 102 aus Fig. 2 illustriert, der kleiner als der vorbestimmte Schwellenwert SW ist. In diesem Beispiel wird somit in Schritt S4 die zu dem Abbildungsfehler F_i gehörende mittlere Nulldurchgangstemperatur M_j als die zumindest eine ausgewählte mittlere Nulldurchgangstemperatur M_{aw} ermittelt.

Wenn in Schritt S4 keine ausgewählte mittlere Nulldurchgangstemperatur M_{aw} ermittelt wird, weil keiner der ermittelten Abbildungsfehler F_i kleiner als der vorbestimmte Schwellenwert SW ist, dann kann beispielsweise ermittelt werden, dass das Substrat 104 nicht zum Herstellen einer optischen Komponente 102 geeignet ist. In diesem Fall wird Schritt S5 nicht ausgeführt.

Optional kann – anstatt oder zusätzlich zu basierend auf dem Schwellenwert SW – auch eine optimale mittlere Nulldurchgangstemperatur M_{opt} für das Substrat 104 der herzustellenden optischen Komponente 102 basierend auf einem minimalen Abbildungsfehler F_i ermittelt werden. Mit anderen Worten kann in Schritt S4 auch eine optimale mittlere Nulldurchgangstemperatur M_{opt} für das Substrat 104 der herzustellenden optischen Komponente 102 (Fig. 2) als diejenige mittlere Nulldurchgangstemperatur M_j ermittelt werden, für welche der ermittelte Fehler F_i minimal ist.

In Schritt S4 wird in diesem Fall beispielsweise ein Minimum F_E der mehreren in Schritt S3 computerimplementiert ermittelten Fehlerwerte F_i der Abbildung des optischen Systems 102 als End-Fehler F_E gemäß folgender Gleichung ermittelt:

20

$$F_E = \min (F_i), \text{ für } i = 1 \text{ bis } n$$

In obiger Gleichung bezeichnet n die Anzahl der möglichen Kombinationen aus der/den bereitgestellten normalisierten Verteilungsfunktion/en der Nulldurchgangstemperatur (z. B. $g(r)$ in Fig. 4 bzw. $h_a(r)$, $h_b(r)$, $h_c(r)$ in Fig. 7) und den in Schritt S3 getesteten vorbestimmten mittleren Nulldurchgangstemperaturen. Zudem gibt F_E das Minimum der n durch Simulation ermittelten Fehler F_i an.

Anschließend wird die zu diesem Minimum F_E gehörende mittlere Nulldurchgangstemperatur M_j (z. B. $M_j = M_2 = 25,5^\circ \text{C}$) als die optimale mittlere

30

Nulldurchgangstemperatur M_{opt} für das Substrat 104 der herzustellenden optischen Komponente 102 (Fig. 2) ermittelt.

In einem optionalen fünften Schritt S5 des Verfahrens wird das Substrat 104' (Fig. 4) der herzustellenden optischen Komponente 102 (Fig. 2) wärmebehandelt, um die mittlere Nulldurchgangstemperatur M' des Substrats 104' basierend auf der in Schritt S4 ermittelten zumindest einen ausgewählten und/oder optimalen mittleren Nulldurchgangstemperatur M_{aw} , M_{opt} einzustellen. Beispielsweise wird das Substrat 104' mit geeigneten Parametereinstellungen getempert. Insbesondere wird das Substrat 104' in Schritt S5 derart nachbearbeitet, dass eine bei der Herstellung des Substrats 104' anfänglich eingestellte mittlere Nulldurchgangstemperatur M' um einen Offset zwischen der anfänglich eingestellten mittleren Nulldurchgangstemperatur M' und der zumindest einen ausgewählten und/oder optimalen mittleren Nulldurchgangstemperatur M_{aw} , M_{opt} korrigiert wird.

15

Am Ende von Schritt S5, weist das in Schritt S1 hergestellte und in Schritt S5 nachbearbeitete Substrat 104 (Fig. 2) die zumindest eine ausgewählte und/oder die optimale mittlere Nulldurchgangstemperatur M_{aw} , M_{opt} auf (Fig. 2).

In Fig. 12 ist eine Steuervorrichtung 600 zum Herstellen eines optischen Systems 100 (Fig. 2) für eine Lithographieanlage 1 (Fig. 1) gezeigt. Das optische System 100 umfasst eine optische Komponente 102 mit einer optisch aktiven Fläche 106 und einem Substrat 104 (Fig. 2).

Außerdem weist die Steuervorrichtung 600 auf eine Bereitstellungseinrichtung 602 auf. Die Bereitstellungseinrichtung 602 dient zum Bereitstellen, für ein Substrat 104', 204a, 204b, 204c einer oder mehrerer optischer Komponenten 102, 204a, 204b, 204c, einer jeweiligen normalisierten Verteilungsfunktion $g(r)$, $h_a(r)$, $h_b(r)$, $h_c(r)$ einer Nulldurchgangstemperatur ZCT' , ZCT_a , ZCT_b , ZCT_c eines

25

Wärmeausdehnungskoeffizienten ρ des jeweiligen Substrats 104', 204a, 204b, 204c als Funktion eines Ortes r des Substrats 104', 204a, 204b, 204c.

Weiterhin weist die Steuervorrichtung 600 eine erste Ermittlungseinrich-

5 tung 604 auf. Die erste Ermittlungseinrichtung 604 ist dazu eingerichtet, für jede bereitgestellte Verteilungsfunktion $g(r)$, $h_a(r)$, $h_b(r)$, $h_c(r)$ und für jede von mehreren voneinander verschiedenen vorbestimmten mittleren Nulldurchgangstemperaturen M_j , einen Fehler F_i einer Abbildung des optischen Systems 102 computerimplementiert zu ermitteln.

10

Zudem ist eine zweite Ermittlungseinrichtung 606 vorgesehen zum Ermitteln zumindest einer ausgewählten mittlere Nulldurchgangstemperatur M_{aw} und/oder einer optimalen mittlere Nulldurchgangstemperatur M_{opt} für das Substrat 104', 204a, 204b, 204c der herzustellenden optischen Komponente 102 als diejenige
15 mittlere Nulldurchgangstemperatur M_j , für welche der ermittelte Fehler F_i kleiner als ein vorbestimmter Schwellenwert SW bzw. minimal ist.

Obwohl die vorliegende Erfindung anhand von Ausführungsbeispielen beschrieben wurde, ist sie vielfältig modifizierbar.

BEZUGSZEICHENLISTE

	1	Projektionsbelichtungsanlage
	2	Beleuchtungssystem
5	3	Lichtquelle
	4	Beleuchtungsoptik
	5	Objektfeld
	6	Objektebene
	7	Retikel
10	8	Retikelhalter
	9	Retikelverlagerungsantrieb
	10	Projektionsoptik
	11	Bildfeld
	12	Bildebene
15	13	Wafer
	14	Waferhalter
	15	Waferverlagerungsantrieb
	16	Beleuchtungsstrahlung
	17	Kollektor
20	18	Zwischenfokusebene
	19	Umlenkspiegel
	20	erster Facettenspiegel
	21	erste Facette
	22	zweiter Facettenspiegel
25	23	zweite Facette
	100	optisches System
	102	optische Komponente
	104, 104'	Substrat
	106	optisch aktive Fläche
30	108, 108'	Material

	110, 110'	Körper
	202a, 202b, 202c	optische Komponente
	204a, 204b, 204c	Substrat
	206a, 206b, 206c	optisch aktive Fläche
5	300	Strahlung
	302	Bildebene
	304	Ist-Wellenfront
	306	Soll-Wellenfront
	400	Bild
10	402	Objekt
	404	Objekt
	500	Wärmestromverteilung
	502	Wärmestrompol
	504	Wärmestrompol
15	506	optisch aktive Fläche
	600	Steuervorrichtung
	602	Bereitstellungseinrichtung
	604	Ermittlungseinrichtung
	606	Ermittlungseinrichtung
20		
	ΔF_i	Fehlerbereich
	ΔF_{Fokus}	Fehlerbereich
	Δx	Positionsabweichung
	ΔZCT	Temperaturunterschied
25	f_k	Fehler
	f_1, f_2	Fehler
	F	Fehler
	F_i	Fehler
	F_{Ist}	Ist-Fokus
30	F_{Soll}	Soll-Fokus

	g	Funktion
	h_a, h_b, h_c	Funktion
	M'	Temperatur
	M_{aw}	Temperatur
5	M_j	Temperatur
	M_{opt}	Temperatur
	$M_1 - M_4$	Temperatur
	$M1-M6$	Spiegel
	P_{Ist}	Ist-Position
10	P_{Soll}	Soll-Position
	ρ, ρ'	Wärmeausdehnungskoeffizient
	$S1-S5$	Verfahrensschritte
	$S21, S22$	Verfahrensschritte
	SW	Schwellenwert
15	W_1	Gewicht
	W_1, W_2	Gewicht
	x, y, z	Richtungen
	x', y', z'	Richtungen
	ZCT, ZCT'	Temperatur
20	ZCT_a, ZCT_b, ZCT_c	Temperatur
	ZP	Zernike-Polynom

PATENTANSPRÜCHE

1. Verfahren zum Herstellen eines optischen Systems (100) für eine Lithographieanlage (1), wobei das optische System (100) eine optische Komponente (102) mit einer optisch aktiven Fläche (106) und einem Substrat (104) umfasst, aufweisend:

a) Bereitstellen (S2), für ein Substrat (104', 204a, 204b, 204c) einer oder mehrerer optischer Komponenten (102, 202a, 202b, 202c), einer jeweiligen normalisierten Verteilungsfunktion (g , h_a , h_b , h_c) einer Nulldurchgangstemperatur (ZCT' , ZCT_a , ZCT_b , ZCT_c) eines Wärmeausdehnungskoeffizienten (ρ') des jeweiligen Substrats (104', 204a, 204b, 204c) als Funktion eines Ortes (r) des Substrats (104', 204a, 204b, 204c),

b) computerimplementiertes Ermitteln (S3), für jede bereitgestellte Verteilungsfunktion (g , h_a , h_b , h_c) und für mehrere voneinander verschiedene vorbestimmte mittlere Nulldurchgangstemperaturen (M_j), eines Abbildungsfehlers (F_i) des optischen Systems (102), und

c) Ermitteln (S4) zumindest einer ausgewählten mittleren Nulldurchgangstemperatur (M_{aw}) für das Substrat (104) der herzustellenden optischen Komponente (102) als diejenige der mehreren mittleren Nulldurchgangstemperaturen (M_j), für welche der ermittelte Abbildungsfehler (F_i) kleiner als ein vorbestimmter Schwellenwert (SW) ist.

2. Verfahren nach Anspruch 1, wobei in Schritt c) eine optimale mittlere Nulldurchgangstemperatur (M_{opt}) für das Substrat (104) der herzustellenden optischen Komponente (102) als diejenige der mehreren mittleren Nulldurchgangstemperaturen (M_j) ermittelt wird, für welche der ermittelte Abbildungsfehler (F_i) minimal ist.

3. Verfahren nach Anspruch 1 oder 2, wobei in Schritt a) mehrere normalisierte Verteilungsfunktionen (h_a , h_b , h_c) der Nulldurchgangstemperatur (ZCT_a ,

ZCT_b, ZCT_c) für ein entsprechendes Substrat (204a, 204b, 204c) mehrerer Repräsentanten (202a, 202b, 202c) für optische Komponenten bereitgestellt werden.

4. Verfahren nach Anspruch 1 oder 2, wobei in Schritt a) eine normalisierte Verteilungsfunktion (g) der Nulldurchgangstemperatur (ZCT') für das Substrat (104') der herzustellenden optischen Komponente (102) bereitgestellt wird.
5. Verfahren nach Anspruch 3, wobei die mehreren Repräsentanten (202a, 202b, 202c) physisch realisierte optische Komponenten sind, und die mehreren Verteilungsfunktionen (h_a , h_b , h_c) der Nulldurchgangstemperatur (ZCT_a, ZCT_b, ZCT_c) der entsprechenden Substrate (204a, 204b, 204c) der mehreren Repräsentanten (202a, 202b, 202c) gemessen werden.
6. Verfahren nach Anspruch 4, wobei das Substrat (104') der herzustellenden optischen Komponente (102) physisch bereitgestellt wird, und die Verteilungsfunktion (g) der Nulldurchgangstemperatur (ZCT') des Substrats (104') der herzustellenden optischen Komponente (102) gemessen wird.
7. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 6, aufweisend:
20 Wärmebehandeln (S5) des Substrats (104') der herzustellenden optischen Komponente (102) zur Einstellung einer mittleren Nulldurchgangstemperatur (M') des Substrats (104') basierend auf der zumindest einen ermittelten ausgewählten mittleren Nulldurchgangstemperatur (M_{aw}) und/oder der ermittelten optimalen mittleren Nulldurchgangstemperatur (M_{opt}).
- 25 8. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 7, wobei ein jeweiliges Ermitteln des Abbildungsfehlers (F_i) des optischen Systems (100) für jede bereitgestellte Verteilungsfunktion (g , h_a , h_b , h_c) und für die mehreren voneinander verschiedenen vorbestimmten mittleren Nulldurchgangstemperaturen (M_j) aufweist:

Ermitteln mehrerer voneinander verschiedener Einzelfehler (f_k) in Bezug auf voneinander verschiedene Fehlerarten des optischen Systems (100), und

Ermitteln des Abbildungsfehlers (F_1) des optischen Systems (100) basierend auf den mehreren ermittelten Einzelfehlern (f_k).

5

9. Verfahren nach Anspruch 8, wobei die mehreren ermittelten Einzelfehler (f_k) gemäß vorbestimmten Gewichten (W_1) gewichtet werden.

10. Verfahren nach Anspruch 8 oder 9, wobei die mehreren voneinander verschiedenen Einzelfehler (f_k) in Bezug auf die voneinander verschiedenen Fehlerarten und in Bezug auf voneinander verschiedene Einstellungsparameter (500) einer Beleuchtung der herzustellenden optischen Komponente (102) des optischen Systems (100) ermittelt werden.

15 11. Verfahren nach einem der Ansprüche 8 bis 10, wobei die mehreren ermittelten Einzelfehler (f_k) in Bezug auf die voneinander verschiedenen Fehlerarten aufweisen:

eine Abweichung (f_1) eines Ist-Fokus (F_{Ist}) des optischen Systems (100) von einem Soll-Fokus (F_{Soll}),

20 eine Abweichung einer Ist-Position (P_{Ist}) eines mithilfe des optischen Systems (100) in einer Bildebene (302) des optischen Systems (100) abgebildeten Objektes (402) von einer Soll-Position (P_{Soll}) des abgebildeten Objektes (404),

eine Bildverschiebung eines mithilfe des optischen Systems (100) in einer Bildebene (302) des optischen Systems (100) abgebildeten Bildes (400), und/oder

25 eine Abweichung einer Ist-Wellenfront (304), welche ein Bild (400) in einer Bildebene (302) des optischen Systems (100) abbildet, von einer Soll-Wellenfront (306).

12. Verfahren nach Anspruch 11, wobei die Abweichung der Ist-Wellenfront (304) von der Soll-Wellenfront (306) eine Verkipfung der Wellenfront (304), eine

30

Verschiebung der Wellenfront (304), ein Astigmatismus der Wellenfront (304), ein Koma der Wellenfront (304), eine Mehrfachwelligkeit der Wellenfront (304) und/oder eine sphärische Aberration der Wellenfront (304) aufweist.

- 5 13. Verfahren nach Anspruch 11 oder 12, wobei die Abweichung der Ist-Wellenfront (304) von der Soll-Wellenfront (306) in Form von Zernike-Polynomen (ZP) quantifiziert wird.
14. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 13, wobei die optische Komponente (102) ein Spiegel und das Substrat (104) ein Spiegelsubstrat ist.
15. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 14, wobei das optische System (100) ein Projektionssystem (10) der Lithographieanlage (1) ist.
- 15 16. Steuervorrichtung (600) zum Herstellen eines optischen Systems (100) für eine Lithographieanlage (1), wobei das optische System (100) eine optische Komponente (102) mit einer optisch aktiven Fläche (106) und einem Substrat (104) umfasst, und die Steuervorrichtung (600) aufweist:
 - eine Bereitstellungseinrichtung (602) zum Bereitstellen, für ein Substrat (104', 204a, 204b, 204c) einer oder mehrerer optischer Komponenten (102, 202a, 202b, 202c), einer jeweiligen normalisierten Verteilungsfunktion (g , h_a , h_b , h_c) einer Nulldurchgangstemperatur (ZCT' , ZCT_a , ZCT_b , ZCT_c) eines Wärmeausdehnungskoeffizienten (ρ') des jeweiligen Substrats (104', 204a, 204b, 204c) als Funktion eines Ortes (r) des Substrats (104', 204a, 204b, 204c),
 - 25 eine erste Ermittlungseinrichtung (604) zum computerimplementierten Ermitteln, für jede bereitgestellte Verteilungsfunktion (g , h_a , h_b , h_c) und für mehrere voneinander verschiedene vorbestimmte mittlere Nulldurchgangstemperaturen (M_j), eines Abbildungsfehlers (F_i) des optischen Systems (102), und
 - eine zweite Ermittlungseinrichtung (606) zum Ermitteln einer ausgewählten mittleren Nulldurchgangstemperatur (M_{aw}) für das Substrat (104) der
- 30

herzustellenden optischen Komponente (102) als diejenige der mehreren mittleren Nulldurchgangstemperaturen (M_j), für welche der ermittelte Abbildungsfehler (F_j) kleiner als ein vorbestimmter Schwellenwert (SW) ist.

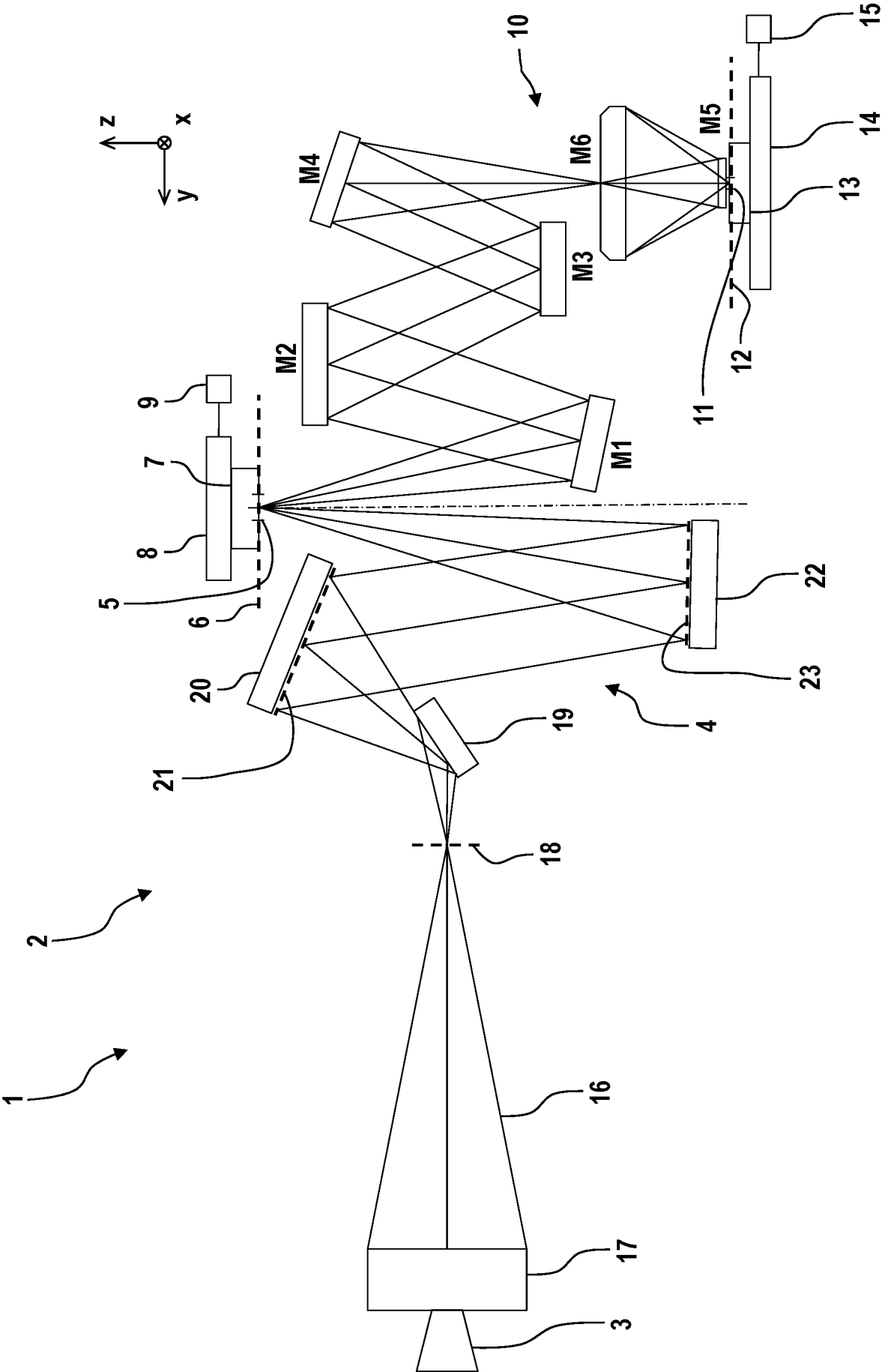


Fig. 1

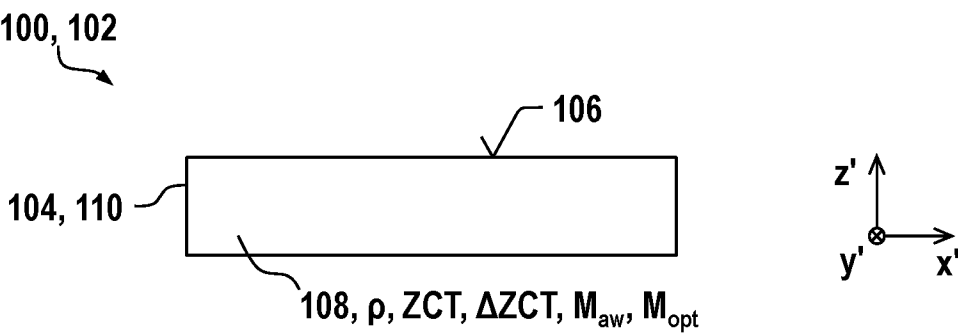


Fig. 2

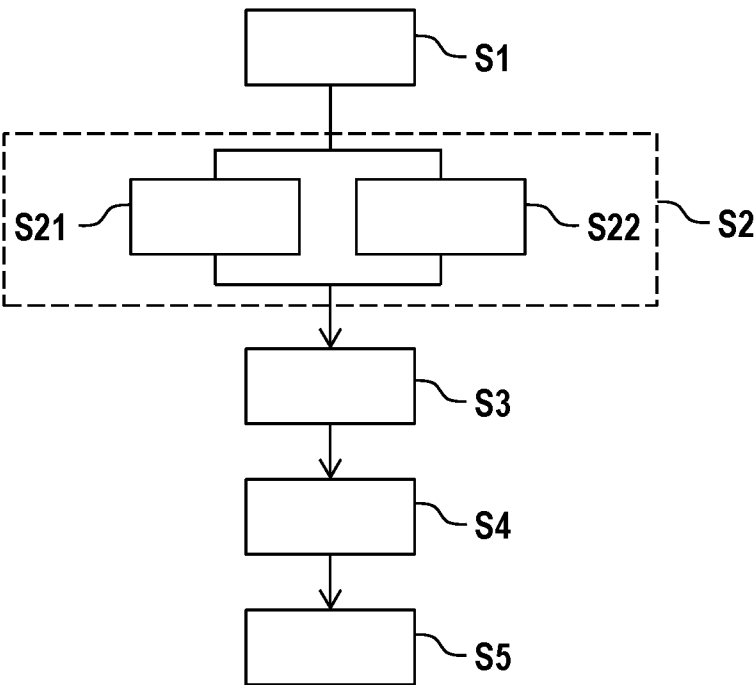


Fig. 3

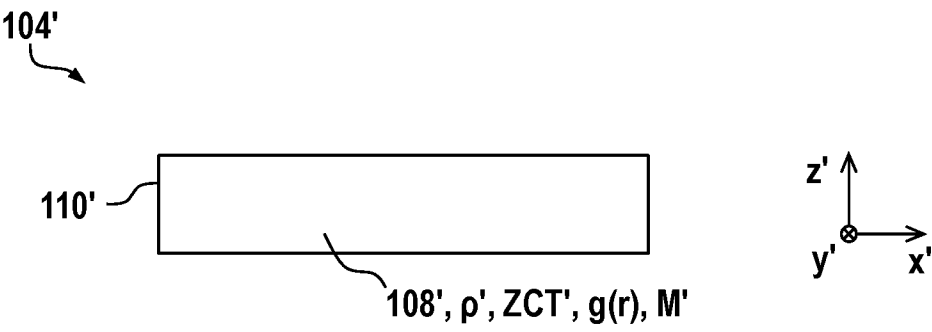


Fig. 4

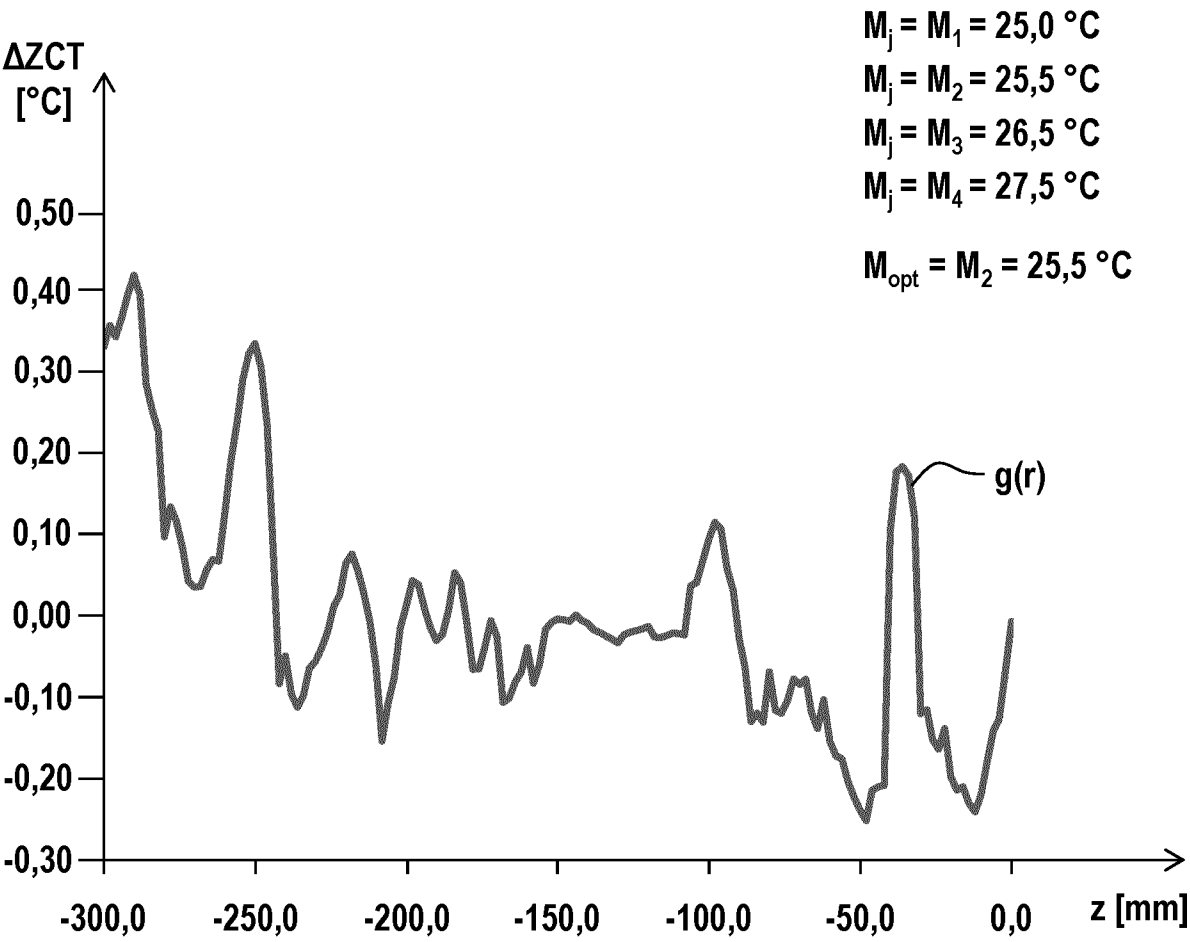


Fig. 5

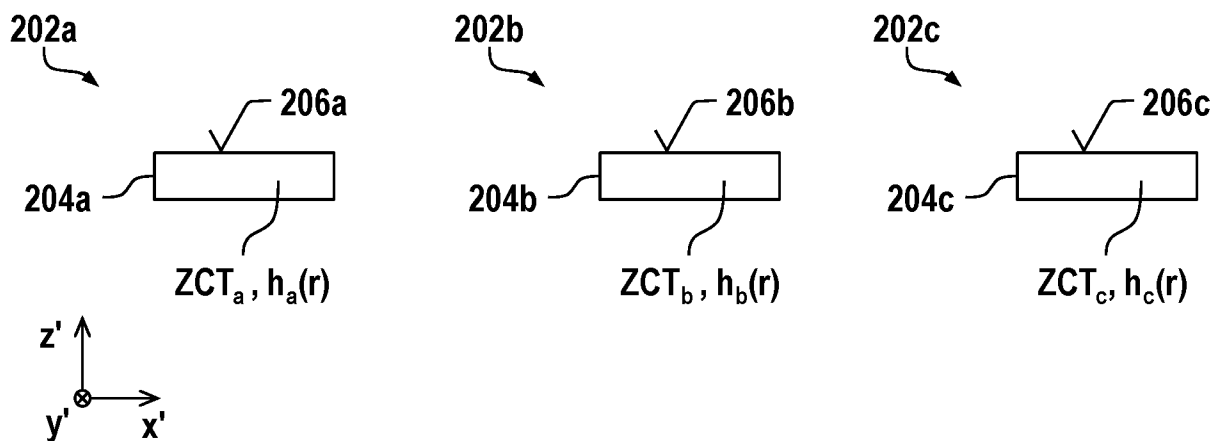


Fig. 6

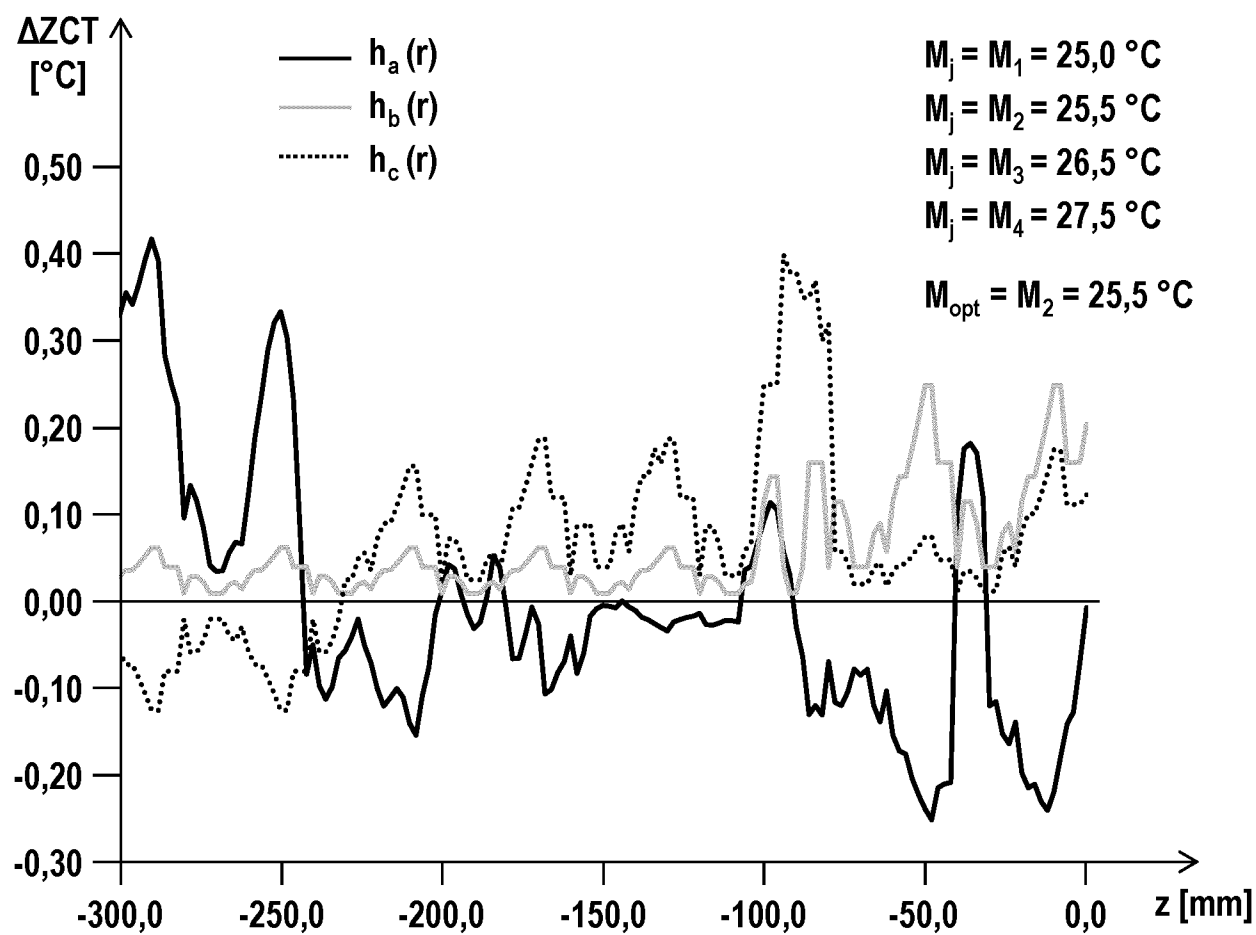


Fig. 7

5/7

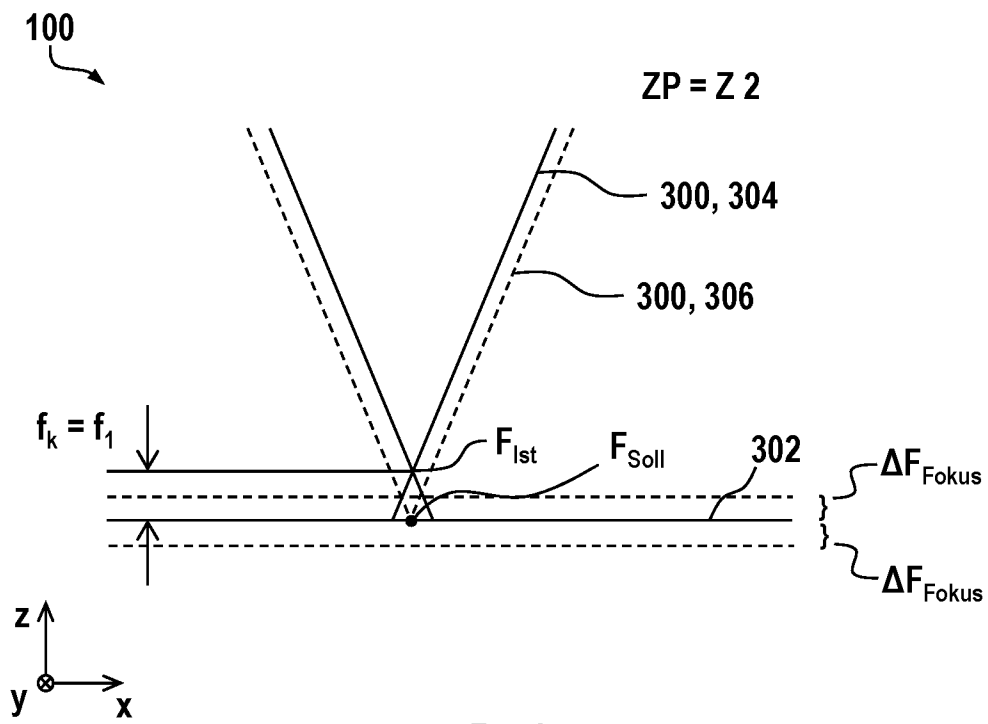


Fig. 8

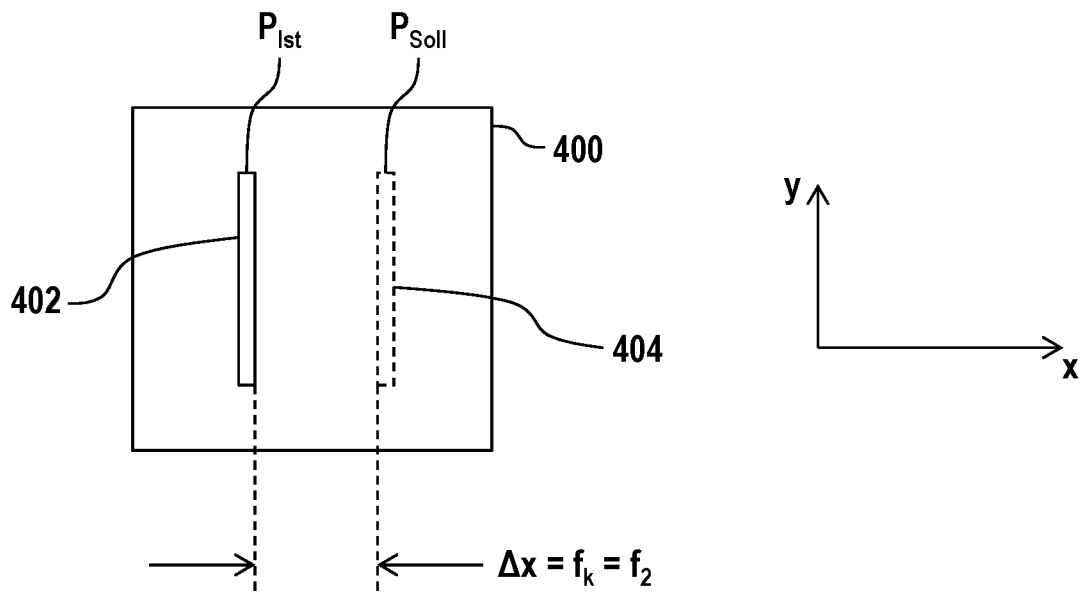


Fig. 9

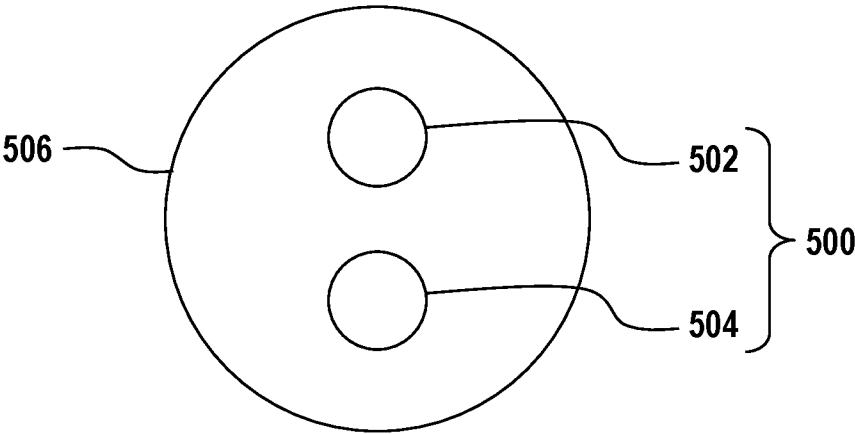


Fig. 10

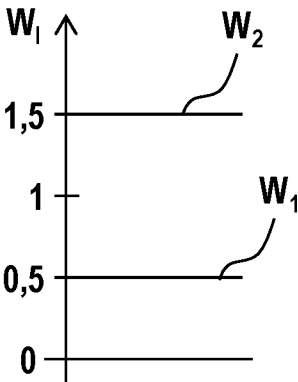


Fig. 11

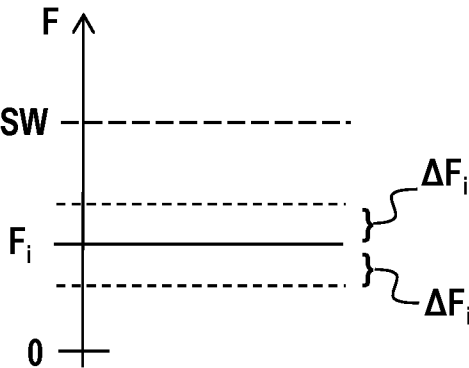


Fig. 11A

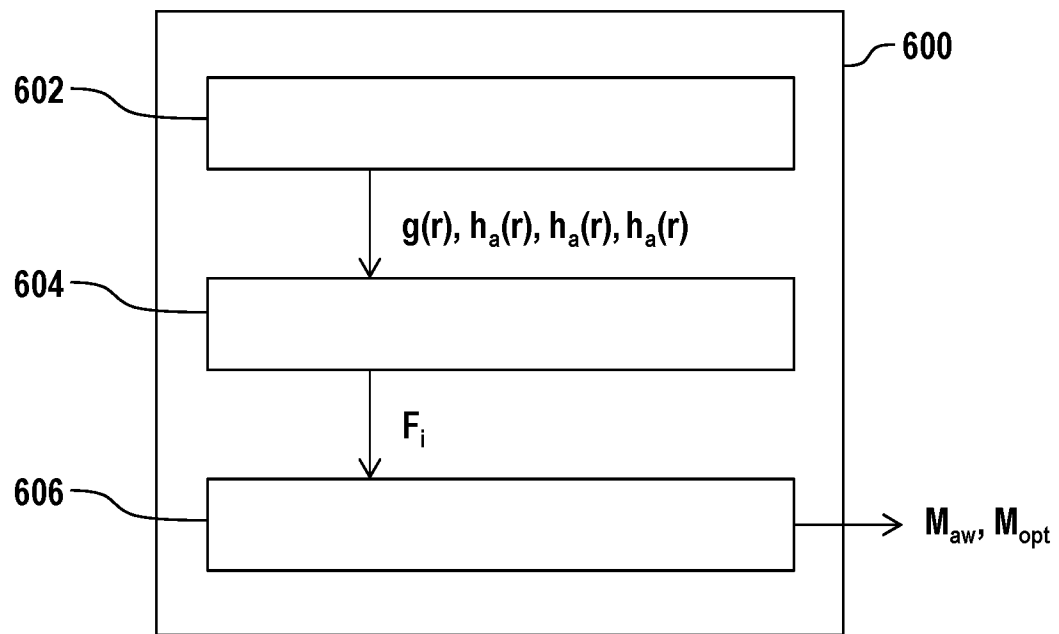


Fig. 12

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.

PCT/EP2024/051629

A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER**G03F 7/20**(2006.01)i; **G02B 5/08**(2006.01)i

According to International Patent Classification (IPC) or to both national classification and IPC

B. FIELDS SEARCHED

Minimum documentation searched (classification system followed by classification symbols)

G03F; G02B

Documentation searched other than minimum documentation to the extent that such documents are included in the fields searched

Electronic data base consulted during the international search (name of data base and, where practicable, search terms used)

EPO-Internal

C. DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
A	DE 102019204345 A1 (ZEISS CARL SMT GMBH [DE]) 23 May 2019 (2019-05-23) paragraphs [0006] - [0029]; figure 1	1-16
A	DE 102010030913 A1 (ZEISS CARL SMT GMBH [DE]) 13 October 2011 (2011-10-13) paragraphs [0013], [0014], [0031] - [0049]; figure 1	1-16
A	WO 2022012844 A1 (ASML NETHERLANDS BV [NL]) 20 January 2022 (2022-01-20) paragraphs [0100] - [0105]; claims 1,7; figure 3	1-16
A	US 2012264584 A1 (MIYASAKA JUNKO [JP] ET AL) 18 October 2012 (2012-10-18) paragraphs [0012] - [0015]	1-16

☐ Further documents are listed in the continuation of Box C.☒ See patent family annex.

* Special categories of cited documents:

“A” document defining the general state of the art which is not considered to be of particular relevance

“E” earlier application or patent but published on or after the international filing date

“L” document which may throw doubts on priority claim(s) or which is cited to establish the publication date of another citation or other special reason (as specified)

“O” document referring to an oral disclosure, use, exhibition or other means

“P” document published prior to the international filing date but later than the priority date claimed

“T” later document published after the international filing date or priority date and not in conflict with the application but cited to understand the principle or theory underlying the invention

“X” document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered novel or cannot be considered to involve an inventive step when the document is taken alone

“Y” document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered to involve an inventive step when the document is combined with one or more other such documents, such combination being obvious to a person skilled in the art

“&” document member of the same patent family

Date of the actual completion of the international search

29 April 2024

Date of mailing of the international search report

22 May 2024

Name and mailing address of the ISA/EP

European Patent Office
p.b. 5818, Patentlaan 2, 2280 HV Rijswijk
Netherlands (Kingdom of the)

Telephone No. (+31-70)340-2040

Facsimile No. (+31-70)340-3016

Authorized officer

Eisner, Klaus

Telephone No.

INTERNATIONAL SEARCH REPORT
Information on patent family members

International application No.
PCT/EP2024/051629

Patent document cited in search report			Publication date (day/month/year)	Patent family member(s)			Publication date (day/month/year)
DE	102019204345	A1	23 May 2019	NONE			
DE	102010030913	A1	13 October 2011	NONE			
WO	2022012844	A1	20 January 2022	CN	116097175	A	09 May 2023
				EP	4182757	A1	24 May 2023
				KR	20230038488	A	20 March 2023
				TW	202217468	A	01 May 2022
				US	2023273527	A1	31 August 2023
				WO	2022012844	A1	20 January 2022
US	2012264584	A1	18 October 2012	EP	2516340	A2	31 October 2012
				JP	5510308	B2	04 June 2014
				JP	2011151386	A	04 August 2011
				US	2012264584	A1	18 October 2012
				WO	2011078414	A2	30 June 2011

A. KLASSIFIZIERUNG DES ANMELDUNGSGEGENSTANDES
INV. G03F7/20 G02B5/08
ADD.

Nach der Internationalen Patentklassifikation (IPC) oder nach der nationalen Klassifikation und der IPC

B. RECHERCHIERTE GEBIETE

Recherchierter Mindestprüfstoff (Klassifikationssystem und Klassifikationssymbole)
G03F G02B

Recherchierte, aber nicht zum Mindestprüfstoff gehörende Veröffentlichungen, soweit diese unter die recherchierten Gebiete fallen

Während der internationalen Recherche konsultierte elektronische Datenbank (Name der Datenbank und evtl. verwendete Suchbegriffe)
EPO-Internal

C. ALS WESENTLICH ANGESEHENE UNTERLAGEN

Kategorie*	Bezeichnung der Veröffentlichung, soweit erforderlich unter Angabe der in Betracht kommenden Teile	Betr. Anspruch Nr.
A	DE 10 2019 204345 A1 (ZEISS CARL SMT GMBH [DE]) 23. Mai 2019 (2019-05-23) Absätze [0006] - [0029]; Abbildung 1 -----	1-16
A	DE 10 2010 030913 A1 (ZEISS CARL SMT GMBH [DE]) 13. Oktober 2011 (2011-10-13) Absätze [0013], [0014], [0031] - [0049]; Abbildung 1 -----	1-16
A	WO 2022/012844 A1 (ASML NETHERLANDS BV [NL]) 20. Januar 2022 (2022-01-20) Absätze [0100] - [0105]; Ansprüche 1, 7; Abbildung 3 -----	1-16
A	US 2012/264584 A1 (MIYASAKA JUNKO [JP] ET AL) 18. Oktober 2012 (2012-10-18) Absätze [0012] - [0015] -----	1-16

☐ Weitere Veröffentlichungen sind der Fortsetzung von Feld C zu entnehmen

☒ Siehe Anhang Patentfamilie

- * Besondere Kategorien von angegebenen Veröffentlichungen :

"A" Veröffentlichung, die den allgemeinen Stand der Technik definiert, aber nicht als besonders bedeutsam anzusehen ist

"E" frühere Anmeldung oder Patent, die bzw. das jedoch erst am oder nach dem internationalen Anmeldedatum veröffentlicht worden ist

"L" Veröffentlichung, die geeignet ist, einen Prioritätsanspruch zweifelhaft erscheinen zu lassen, oder durch die das Veröffentlichungsdatum einer anderen im Recherchenbericht genannten Veröffentlichung belegt werden soll oder die aus einem anderen besonderen Grund angegeben ist (wie ausgeführt)

"O" Veröffentlichung, die sich auf eine mündliche Offenbarung, eine Benutzung, eine Ausstellung oder andere Maßnahmen bezieht

"P" Veröffentlichung, die vor dem internationalen Anmeldedatum, aber nach dem beanspruchten Prioritätsdatum veröffentlicht worden ist
- "T" Spätere Veröffentlichung, die nach dem internationalen Anmeldedatum oder dem Prioritätsdatum veröffentlicht worden ist und mit der Anmeldung nicht kollidiert, sondern nur zum Verständnis des der Erfindung zugrundeliegenden Prinzips oder der ihr zugrundeliegenden Theorie angegeben ist

"X" Veröffentlichung von besonderer Bedeutung:: die beanspruchte Erfindung kann allein aufgrund dieser Veröffentlichung nicht als neu oder auf erfinderischer Tätigkeit beruhend betrachtet werden

"Y" Veröffentlichung von besonderer Bedeutung:: die beanspruchte Erfindung kann nicht als auf erfinderischer Tätigkeit beruhend betrachtet werden, wenn die Veröffentlichung mit einer oder mehreren Veröffentlichungen dieser Kategorie in Verbindung gebracht wird und diese Verbindung für einen Fachmann naheliegend ist

"&" Veröffentlichung, die Mitglied derselben Patentfamilie ist

Datum des Abschlusses der internationalen Recherche 29. April 2024	Absendedatum des internationalen Recherchenberichts 22/05/2024
Name und Postanschrift der Internationalen Recherchenbehörde Europäisches Patentamt, P.B. 5818 Patentlaan 2 NL - 2280 HV Rijswijk Tel. (+31-70) 340-2040, Fax: (+31-70) 340-3016	Bevollmächtigter Bediensteter Eisner, Klaus

INTERNATIONALER RECHERCHENBERICHT

Angaben zu Veröffentlichungen, die zur selben Patentfamilie gehören

Internationales Aktenzeichen

PCT/EP2024/051629

Im Recherchenbericht angeführtes Patentdokument	Datum der Veröffentlichung	Mitglied(er) der Patentfamilie	Datum der Veröffentlichung
DE 102019204345 A1	23-05-2019	KEINE	
DE 102010030913 A1	13-10-2011	KEINE	
WO 2022012844 A1	20-01-2022	CN 116097175 A	09-05-2023
		EP 4182757 A1	24-05-2023
		KR 20230038488 A	20-03-2023
		TW 202217468 A	01-05-2022
		US 2023273527 A1	31-08-2023
		WO 2022012844 A1	20-01-2022
US 2012264584 A1	18-10-2012	EP 2516340 A2	31-10-2012
		JP 5510308 B2	04-06-2014
		JP 2011151386 A	04-08-2011
		US 2012264584 A1	18-10-2012
		WO 2011078414 A2	30-06-2011