



HN, HR, HU, ID, IL, IN, IR, IS, JO, JP, KE, KG, KH, KN, KP, KR, KW, KZ, LA, LC, LK, LR, LS, LU, LY, MA, MD, ME, MG, MK, MN, MW, MX, MY, 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, SM, ST, SV, SY, TH, TJ, TM, TN, TR, TT, TZ, UA, UG, US, UZ, VC, VN, ZA, ZM, ZW.

**(84) Bestimmungsstaaten** (soweit nicht anders angegeben, für jede verfügbare regionale Schutzrechtsart): ARIPO (BW, GH, GM, KE, LR, LS, MW, MZ, NA, RW, 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, 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).

**Erklärungen gemäß Regel 4.17:**

— *Erfindererklärung (Regel 4.17 Ziffer iv)*

**Veröffentlicht:**

— *mit internationalem Recherchenbericht (Artikel 21 Absatz 3)*

---

**(57) Zusammenfassung:** Die Erfindung betrifft ein optisches Element zur Verwendung in einem optischen System, insbesondere in einem optischen System einer mikrolithographischen Projektionsbelichtungsanlage oder einer Maskeninspektionsanlage, sowie ein Verfahren zur Korrektur der Wellenfrontwirkung eines optischen Elements. Ein erfindungsgemäßes optisches Element weist wenigstens eine Korrekturschicht (12, 22) und einen Manipulator zur Manipulation der Schichtspannung in dieser Korrekturschicht derart auf, dass eine in dem optischen System vorhandene Wellenfrontaberration durch diese Manipulation wenigstens teilweise korrigierbar ist, wobei der Manipulator eine Strahlungsquelle zur orts aufgelösten Bestrahlung der Korrekturschicht (12, 22) mit elektromagnetischer Strahlung (5) aufweist, und wobei durch diese orts aufgelöste Bestrahlung eine Mehrzahl von zueinander beabstandeten, in ihrer Struktur jeweils in gleicher Weise modifizierten Bereichen (12a, 12b, 12c,...; 22a, 22b, 22c,...) in der Korrekturschicht (12, 22) erzeugbar ist.

Optisches Element, sowie Verfahren zur Korrektur  
der Wellenfrontwirkung eines optischen Elements

5

Die vorliegende Anmeldung beansprucht die Priorität der Deutschen Patent-  
anmeldung DE 10 2018 203 241.6, angemeldet am 5. März 2018. Der Inhalt  
10 dieser DE-Anmeldung wird durch Bezugnahme („incorporation by reference“)  
mit in den vorliegenden Anmeldungstext aufgenommen.

## HINTERGRUND DER ERFINDUNG

15

### Gebiet der Erfindung

20

Die Erfindung betrifft ein optisches Element zur Verwendung in einem opti-  
schen System, insbesondere in einem optischen System einer mikrolitho-  
graphischen Projektionsbelichtungsanlage oder einer Maskeninspektionsanla-  
ge, sowie ein Verfahren zur Korrektur der Wellenfrontwirkung eines optischen  
Elements.

25

### Stand der Technik

30

Mikrolithographie wird zur Herstellung mikrostrukturierter Bauelemente, wie  
beispielsweise integrierter Schaltkreise oder LCDs, angewendet. Der Mikro-  
lithographieprozess wird in einer sogenannten Projektionsbelichtungsanlage  
durchgeführt, welche eine Beleuchtungseinrichtung und ein Projektionsobjektiv  
aufweist. Das Bild einer mittels der Beleuchtungseinrichtung beleuchteten  
Maske (= Retikel) wird hierbei mittels des Projektionsobjektivs auf ein mit einer  
lichtempfindlichen Schicht (Photoresist) beschichtetes und in der Bildebene  
des Projektionsobjektivs angeordnetes Substrat (z.B. ein Siliziumwafer) proj-

ziert, um die Maskenstruktur auf die lichtempfindliche Beschichtung des Substrats zu übertragen.

Maskeninspektionsanlagen werden zur Inspektion von Retikeln für mikrolithographische Projektionsbelichtungsanlagen verwendet.

In für den EUV-Bereich ausgelegten Projektionsobjektiven oder Inspektionsobjektiven, d.h. bei Wellenlängen von z.B. etwa 13 nm oder etwa 7 nm, werden mangels Verfügbarkeit geeigneter lichtdurchlässiger refraktiver Materialien reflektive optische Elemente als optische Komponenten für den Abbildungsprozess verwendet.

Dabei ist es u.a. bekannt, auf einem reflektiven optischen Element eine Wellenfrontkorrekturschicht vorzusehen, deren Dickenprofil nachträglich eingestellt wird, um eine im Betrieb des optischen Systems auftretende Wellenfrontaberration zu korrigieren. Des Weiteren ist es z.B. bekannt, als zusätzliches optisches Wellenfrontkorrekturelement ein in Transmission betriebenes Folienelement einzusetzen, welches über ein variierendes Schichtdickenprofil eine gewünschte Wellenfrontkorrektur bewirkt.

Zum Stand der Technik wird lediglich beispielhaft auf US 6,844,272 B2, DE 10 2011 090 192 A1, US 9,063,277 B2, DE 10 2005 044 716 A1, DE 10 2015 200 328 A1, DE 10 2014 224 569 A1, US 8,508,854 B2, DE 38 32 126 A1, US 4,876,667 und EP 0 217 293 B1 verwiesen.

## ZUSAMMENFASSUNG DER ERFINDUNG

Es ist eine Aufgabe der vorliegenden Erfindung, ein optisches Element zur Verwendung in einem optischen System, insbesondere in einem optischen System einer mikrolithographischen Projektionsbelichtungsanlage oder einer Maskeninspektionsanlage, sowie ein Verfahren zur Korrektur der Wellenfrontwirkung eines optischen Elements bereitzustellen, welche die Erzielung einer

möglichst präzise einstellbaren Wellenfrontkorrekturwirkung mit vergleichsweise geringem konstruktiven Aufwand ermöglichen.

5 Diese Aufgabe wird durch das optische Element gemäß den Merkmalen des unabhängigen Patentanspruchs 1 bzw. das Verfahren gemäß den Merkmalen des nebengeordneten Patentanspruchs 9 gelöst.

10 Ein erfindungsgemäßes optisches Element zur Verwendung in einem optischen System, insbesondere in einem optischen System einer mikrolithographischen Projektionsbelichtungsanlage oder einer Maskeninspektionsanlage, weist auf:

- wenigstens eine Korrekturschicht; und
- einen Manipulator zur Manipulation der Schichtspannung in dieser Korrekturschicht derart, dass eine in dem optischen System vorhandene Wellenfrontaberration durch diese Manipulation wenigstens teilweise korrigierbar ist;
- wobei der Manipulator eine Strahlungsquelle zur orts aufgelösten Bestrahlung der Korrekturschicht mit elektromagnetischer Strahlung aufweist; und
- wobei durch diese orts aufgelöste Bestrahlung eine Mehrzahl von zueinander beabstandeten, in ihrer Struktur jeweils in gleicher Weise modifizierten Bereichen in der Korrekturschicht erzeugbar ist.

25 Der Erfindung liegt insbesondere das Konzept zugrunde, eine gewünschte Wellenfrontkorrektur dadurch zu erzeugen, dass die in einem optischen Element in einer Korrekturschicht auftretende Schichtspannung gezielt ausgenutzt bzw. in geeigneter Weise manipuliert wird, um über die mit einer Änderung der Schichtspannung einhergehende Deformation der optischen Wirkfläche die Wellenfrontwirkung des optischen Elements in der gewünschten Weise einzustellen.

30 Die Erfindung unterscheidet sich somit von herkömmlichen Ansätzen insbesondere dadurch, dass die in einem optischen Element (wie z.B. einem Spiegel

oder einer Linse) auftretende Schichtspannung nicht etwa als parasitärer Effekt bzw. als zu minimierender Störparameter angesehen, sondern bewusst zur Einstellung einer gewünschten Wellenfrontwirkung ausgenutzt und in gezielter Weise manipuliert wird. Dabei kann insbesondere, wie im Weiteren noch näher  
5 erläutern, ein entsprechendes Modell zugrundegelegt werden, welches die Abhängigkeit der Wellenfrontwirkung von der örtlichen Verteilung der besagten Schichtspannung beschreibt, wobei auf Basis dieses Modells dann eine entsprechende örtliche Verteilung der Schichtspannung zur Erzielung einer gewünschten Wellenfrontwirkung bzw. einer Änderung der Passe des betreffenden optischen Elements (d.h. die Abweichung von einer vorgegebenen Sollform der Oberfläche) berechnet werden kann.  
10

In Ausführungsformen der Erfindung wird die Manipulation der Schichtspannung durch eine Änderung der Schichtstruktur in dieser Korrekturschicht erzielt. Diese Änderung der Schichtstruktur kann insbesondere zumindest teilweise irreversibel sein.  
15

Demnach unterscheidet sich die Erfindung von herkömmlichen Ansätzen insbesondere dadurch, dass bewusst eine strukturelle Veränderung der betreffenden Korrekturschicht (im Sinne einer permanenten Änderung im Gefüge bzw. der Kristallstruktur) und nicht etwa nur eine temporäre Änderung z.B. in Form einer thermischen Ausdehnung herbeigeführt wird. Der erfindungsgemäße Effekt unterscheidet sich damit insbesondere von (Bimetall-)Effekten, die durch Unterschiede im thermischen Ausdehnungskoeffizienten zwischen einem Substratmaterial und einer darauf befindlichen Schicht oder einem Schichtsystem bewirkt werden.  
20  
25

Im Unterschied von derartigen herkömmlichen Ansätzen erfolgt gemäß der Erfindung vorzugsweise zu wenigstens 50% eine Änderung der Passe des betreffenden optischen Elements durch die Änderung der Schichtspannung im Wege der strukturellen Veränderung der betreffenden Korrekturschicht.  
30

Gemäß einer Ausführungsform wird bei der Manipulation der Schichtspannung über eine laterale Distanz von 10mm, insbesondere über eine laterale Distanz von 1mm, in der Korrekturschicht eine Schichtspannungsänderung von wenigstens 10%, insbesondere um wenigstens 20%, erzeugt. Erfindungsgemäß können dabei in der Schichtspannungsänderung vergleichsweise hohe Gradienten erzeugt werden.

Zur Manipulation der Schichtspannung geeignete physikalische Effekte umfassen beispielsweise die Manipulation der Korngröße über Rekristallisation bzw. Kornwachstum, die laterale Variation der Dichte z.B. durch Entspannung an Korngrenzen bzw. Schrumpfen von Hohlräumen, die Variation des Anteils einer Phase z.B. durch Phasentransformationen oder Präzipitation, Effekte von Fremdatomen bzw. absorbierten Atomen (z.B. Edelgasen, Wasserstoff, Wasserdampf etc.) und von Leerstellen bzw. Versetzungen sowie die Manipulation von Energie und Fluss geladener Teilchen in zur Schichterzeugung durchgeführten Sputterprozessen.

Gemäß einer Ausführungsform ist die erfindungsgemäß hinsichtlich der Schichtspannung manipulierte Korrekturschicht eine zusätzlich zu einem jeweiligen optisch wirksamen Schichtsystem des optischen Elements vorgesehene Hilfsschicht. Eine derartige Ausgestaltung hat den Vorteil, dass die erfindungsgemäße Modifikation der Schichtspannung nicht unmittelbar mit einer unerwünschten Änderung bestimmter Eigenschaften des optisch wirksamen Schichtsystems (z.B. eines Reflexionsschichtsystems eines Spiegels) wie z.B. dessen Lebensdauer, der Stabilität der in besagtem Schichtsystem vorhandenen Grenzflächen oder weiterer optischer Eigenschaften einhergeht.

Erfindungsgemäß wird somit insbesondere wenigstens eine z.B. von der der optisch wirksamen Fläche des optischen Elements abgewandten Seite (z.B. einer Spiegelrückseite) her zugängliche Korrekturschicht zur Manipulation bzw. Nachkorrektur der Schichtspannung in einem optischen Element genutzt. Dabei kann es sich insbesondere bei der Manipulation der Schichtspannung um eine irreversible Änderung der Korrekturschicht bzw. deren Schichtstruktur

handeln, so dass nach kompletter Fertigung des erfindungsgemäßen optischen Elements eine einmalige (Nach-) Behandlung zwecks entsprechender Änderung der Passe über Manipulation der Schichtspannung durchgeführt werden kann. In weiteren Ausführungsformen können in dem optischen Element auch  
5 mehrere, ihrerseits entsprechend einmalig in der Schichtspannung irreversibel manipulierbare Schichten oder Schichtbereiche vorgesehen sein.

Die Erfindung ist jedoch nicht auf das Vorhandensein einer solchen zusätzlichen Hilfsschicht beschränkt. So kann in weiteren Ausführungsformen auch  
10 eine im optischen System ohnehin zur Erzielung einer bestimmten Wirkung vorhandene (Funktions-) Schicht als Korrekturschicht genutzt und hinsichtlich der Schichtspannung in gezielter Weise manipuliert werden.

Gemäß der Erfindung weist der erfindungsgemäß zur Manipulation der Schichtspannung vorhandene Manipulator eine Strahlungsquelle zur ortsaufgelösten Bestrahlung der Korrekturschicht mit elektromagnetischer Strahlung auf. Dabei ist durch diese ortsaufgelöste Bestrahlung eine Mehrzahl von zueinander beabstandeten, in ihrer Struktur jeweils in gleicher Weise modifizierten Bereichen erzeugbar.  
15

Gemäß diesem Ansatz beinhaltet die Erfindung das weitere Konzept, die mit dem Ziel der Wellenfrontkorrektur erfolgende Manipulation der Schichtspannung dadurch zu realisieren, dass ortsaufgelöst lokal begrenzte Strukturveränderungen innerhalb der betreffenden Korrekturschicht erzeugt werden, indem  
20 durch elektromagnetische Strahlung das betreffende Schichtmaterial jeweils z.B. in seiner kristallinen Struktur, Dichte etc. verändert wird. Dadurch, dass die betreffenden, strukturell veränderten Bereiche in ihrer Strukturveränderung untereinander übereinstimmen, wird im Ergebnis eine „digitale“ Konfiguration über die betreffende Korrekturschicht hinweg realisiert, wobei wiederum die  
25 letztlich durch besagte Strukturveränderung bzw. Bestrahlung erzielte Manipulation der Schichtspannung als Funktion des Abstandes zwischen den betreffenden strukturell veränderten Bereichen beschrieben werden kann.  
30

Dies hat wiederum den Vorteil, dass nach entsprechender, vorheriger Kalibrierung wie im Weiteren noch näher beschrieben vorhergesagt werden kann, welcher Abstand bzw. welche digitale Konfiguration gerade geeignet ist bzw. erzeugt werden sollte, um eine gewünschte Schichtspannungsverteilung bzw. eine damit einhergehende Wellenfrontkorrektur zu erzielen.

Eine Beeinflussung der Schichtspannung in einem optischen Element zur gezielten Wellenfrontkorrektur kann grundsätzlich auch in anderer Weise (z.B. durch elektrische, magnetische oder thermische Effekte bzw. Energieeinträge) realisiert werden.

Die vorstehend beschriebene Erzeugung von jeweils lokal begrenzten, strukturell veränderten Bereichen innerhalb der Schicht hat den weiteren Vorteil, dass bei hinreichend geringer Größe der einzelnen lokal begrenzten Bereiche (welche z.B. in der Größenordnung von  $1\mu\text{m}$  liegen kann) die Korrekturschicht in den übrigen Bereichen in ihren jeweiligen Schichteigenschaften nicht in unerwünschter Weise beeinflusst wird.

Gemäß einer Ausführungsform ist das optische Element ein Spiegel.

Gemäß einer Ausführungsform ist das optische Element für eine Arbeitswellenlänge von weniger als 30 nm, insbesondere weniger als 15 nm, ausgelegt.

Die Erfindung betrifft weiter ein Verfahren zur Korrektur der Wellenfrontwirkung eines optischen Elements mit den vorstehend beschriebenen Merkmalen, wobei das Verfahren folgende Schritte aufweist:

- Ermitteln einer gegebenen Wellenfrontwirkung des optischen Elements;
- Manipulieren, in Abhängigkeit vom Ergebnis dieser Ermittlung, der Wellenfrontwirkung auf Basis eines Modells, welches die Abhängigkeit der Wellenfrontwirkung von der örtlichen Verteilung der Schichtspannung der Korrekturschicht beschreibt.

Gemäß einer Ausführungsform werden die Schritte des Ermitteln einer gegebenen Wellenfrontwirkung und des Manipulierens in einen iterativen Prozess wiederholt durchgeführt.

5

Gemäß einer Ausführungsform wird das Modell unter Anwendung der Finite-Elemente-Methode ermittelt. Somit kann die Berechnung der aus einer bestimmten Schichtspannungsänderung resultierenden Pässeänderung z.B. über im Stand der Technik bekannte FE-Methoden erfolgen. Hierzu wird beispielhaft auf die Publikationen D. Yin et al.: „*Numerical Modelling of Multi-layered Coatings – Latest Developments and Applications*” Manufacturing Rev. 2014, 1, 8 Published by EDP Sciences, 2014 DOI: 10.1051/mfreview/2014008 und Xianchao Cheng: „*Thermal stress issues in thin film coatings of X-ray optics under high heat load*“ Physics, Université de Grenoble, 2014, [NNT: 2014GRENY028] verwiesen.

10

15

In weiteren Ausführungsformen kann zur Aufstellung des Modells vorab eine Kalibrierung durchgeführt werden, bei welcher die aus einer bestimmten Schichtspannungsänderung resultierende Pässeänderung bzw. die entsprechende Änderung der Wellenfrontwirkung experimentell für bestimmte Werte ermittelt wird. Eine solche experimentelle Bestimmung kann ggf. auch für einige Stützstellen durchgeführt und durch eine geeignete Interpolation ergänzt werden.

20

25

Zu weiteren bevorzugten Ausgestaltungen und Vorteilen des Verfahrens wird auf die vorstehenden Ausführungen im Zusammenhang mit dem erfindungsgemäßen optischen Element Bezug genommen.

30

Die Erfindung betrifft weiter ein optisches System einer mikrolithographischen Projektionsbelichtungsanlage, insbesondere eine Beleuchtungseinrichtung oder ein Projektionsobjektiv, sowie auch eine mikrolithographische Projektionsbelichtungsanlage mit wenigstens einem optischen Element mit den vorstehend beschriebenen Merkmalen.

Weitere Ausgestaltungen der Erfindung sind der Beschreibung sowie den Unteransprüchen zu entnehmen.

- 5 Die Erfindung wird nachstehend anhand von in den beigefügten Abbildungen dargestellten Ausführungsbeispielen näher erläutert.

### KURZE BESCHREIBUNG DER ZEICHNUNGEN

10

Es zeigen:

- Figuren 1 und 2a-c schematische Darstellungen zur Erläuterung von Aufbau und Wirkungsweise eines optischen Elements gemäß einer Ausführungsform der Erfindung;
- 15
- Figur 3 ein Flussdiagramm zur Erläuterung des möglichen Ablaufs eines erfindungsgemäßen Verfahrens; und
- 20
- Figur 4 eine schematische Darstellung des möglichen Aufbaus einer für den Betrieb im EUV ausgelegten mikrolithographischen Projektionsbelichtungsanlage.

25

### DETAILLIERTE BESCHREIBUNG BEVORZUGTER AUSFÜHRUNGSFORMEN

Im Weiteren wird zunächst der mögliche Aufbau eines erfindungsgemäßen optischen Elements unter Bezugnahme auf die in Fig. 1 gezeigte schematische Darstellung beschrieben.

30

Den im Weiterem beschriebenen Ausführungsformen ist gemeinsam, dass eine Schicht in einem optischen Element wie z.B. einem Spiegel insofern als

Korrekturschicht zur Erzielung einer gewünschten Passekorrektur bzw. Wellenfrontwirkung genutzt wird, als in dieser Schicht eine gezielte Schichtspannungsänderung durch Manipulation der betreffenden Schichtstruktur herbeigeführt wird. Grundsätzlich kann es sich bei dieser Korrekturschicht um eine eigens zu dem beschriebenen Zweck in das betreffende optische Element eingebrachte zusätzliche Hilfsschicht handeln. In weiteren Ausführungsformen kann jedoch auch eine ohnehin im Schichtaufbau vorhandene (Funktions-) Schicht zusätzlich im Sinne der Erfindung als Korrekturschicht genutzt werden.

Fig. 1 zeigt in lediglich schematischer Darstellung den prinzipiellen möglichen Aufbau eines EUV-Spiegels mit einem Spiegelsubstrat 11 sowie einem Reflexionsschichtsystem 13, wobei erfindungsgemäß zwischen Spiegelsubstrat 11 und Reflexionsschichtsystem 13 eine Korrekturschicht 12 ausgebildet ist. Das Spiegelsubstrat 11 weist ein beliebiges geeignetes Spiegelsubstratmaterial wie z.B. ULE<sup>®</sup> auf und wird erfindungsgemäß, wie in Fig. 1 schematisch angedeutet, von der der optischen Wirkfläche 10a abgewandten (Rück-) Seite des Spiegels 10 her mit elektromagnetischer Strahlung 5 bestrahlt. Die Wellenlänge dieser elektromagnetischen Strahlung 5 ist in geeigneter Weise derart gewählt, dass das Spiegelsubstratmaterial für diese Strahlung hinreichend transparent ist und kann im Ausführungsbeispiel (bei Verwendung von ULE<sup>®</sup> als Spiegelsubstratmaterial) z.B. 300nm betragen.

Die Korrekturschicht 12 ist aus einem Schichtmaterial hergestellt, welches derart gewählt ist, dass die besagte elektromagnetische Strahlung 5 über eine strukturelle Änderung innerhalb des Gefüges bzw. der Kristallstruktur der Korrekturschicht 12 eine Manipulation der Schichtspannung zur Folge hat. Grundsätzlich findet eine Rekristallisation bei unterschiedlichen Temperaturen in nahezu allen metallischen Werkstoffen (z.B. Silber (Ag), Kupfer (Cu), Aluminium (Al), Nickel (Ni), Kobalt (Co)) statt. Dabei kann ein Kurzpulslasertemporn hilfreich sein, um auch bei hochschmelzenden Metallen wie z.B. Molybdän (Mo) den gewünschten Effekt zu erzielen. Als geeignete Phasentransformationsmaterialien sind weiter beispielweise binäre und ternäre Legierungen wie z.B. Germanium-Tellur-Antimon (Ge-Te-Sb), Indium-Antimon-Tellur (In-Sb-Te),

Palladium-Silizium (Pd-Si) oder Silber-Tellur (Ag-Te) zu nennen. In diesem Zusammenhang wird zu geeigneten Materialien beispielhaft auf EP 0 217 293 A1, EP 0 307 750 A1 und US 4,876,667 verwiesen.

5 Wie in Fig. 1 angedeutet ist, kann die vorstehend beschriebene Beaufschlagung der Korrekturschicht 12 mit elektromagnetischer Strahlung 5 ortsaufgelöst derart erfolgen, dass zueinander beabstandete, in ihrer Struktur jeweils in gleicher Weise modifizierte Bereiche 12a, 12b, 12c,... erzeugt werden, wobei die hierbei erzeugte Schichtspannungsänderung über den Abstand  
10 zwischen diesen Bereichen 12a, 12b, 12c,... (welcher größenordnungsmäßig z.B. ein oder mehrere  $\mu\text{m}$  betragen kann) gezielt in gewünschter Weise eingestellt werden kann.

Die beschriebene Schichtspannungsänderung führt wiederum zu einer Deformation der optischen Wirkfläche des Spiegels 10 (wie in Bereichen 14 und 15  
15 angedeutet) und damit zu einer gezielt einstellbaren Modifikation der Passe bzw. der Wellenfrontwirkung.

Wie in Fig. 2a und Fig. 2b angedeutet können die in ihrer Struktur modifizierten  
20 Bereiche eine beliebige geeignete Geometrie aufweisen (und z.B. als Bereiche 12a, 12b, 12c,... im Wesentlichen zylindrische Geometrie gemäß Fig. 2a oder als Bereiche 22a, 22b, 22c,... mit im Wesentlichen konischer Geometrie gemäß Fig. 2b ausgestaltet sein). Fig. 2c zeigt in lediglich schematischer Darstellung eine Ansicht auf die betreffende Verteilung von in ihrer Struktur modifizierten  
25 Bereichen in Draufsicht aus Richtung des Substrats.

Fig. 3 zeigt ein Flussdiagramm zur Erläuterung des möglichen Ablaufs eines erfindungsgemäßen Verfahrens zur Korrektur der Wellenfrontwirkung eines optischen Elements wie z.B. des Spiegels 10 aus Fig. 1 und 2.

30

Mit „S31“ ist zunächst der während der Herstellung des optischen Elements durchgeführte Schritt des Einbringens einer erfindungsgemäßen Korrekturschicht in das betreffende optische Element bezeichnet. Im Schritt S32 erfolgt

sodann eine Messung der vorhandenen Ist-Passe des betreffenden optischen Elements bzw. des Spiegels 10. Im Schritt S33 erfolgt eine Überprüfung, ob die Abweichung dieser Ist-Passe von einer vorgegebenen Soll-Passe einen vorbestimmten Schwellenwert unterschreitet (sich also noch „in Toleranz“ befindet).  
5 Sofern dies gemäß Abfrage im Schritt S33 nicht der Fall ist, wird im Schritt S34 eine geeignete Schichtspannungsänderung ermittelt, anhand der die zuvor bestimmte Passeabweichung korrigiert bzw. die entsprechende Wellenfrontwirkung erzielt werden kann. Hierzu kann ein geeignetes Modell, welches die Abhängigkeit der Wellenfrontwirkung von der örtlichen Verteilung der  
10 Schichtspannung der Korrekturschicht beschreibt, herangezogen werden. Das betreffende Modell kann wiederum unter Anwendung der Finite-Elemente-Methode ermittelt oder auch experimentell bestimmt werden, wobei im letzteren Falle eine entsprechende Kalibrierung experimentell durchgeführt wird. Bei einer solchen Kalibrierung kann die aus einer bestimmten Schichtspannungs-  
15 änderung resultierende Passeänderung bzw. die entsprechende Änderung der Wellenfrontwirkung experimentell für bestimmte Werte ermittelt werden, wobei auch eine experimentelle Ermittlung lediglich für wenige Stützstellen in Verbindung mit einer geeigneten Interpolation erfolgen kann.

20 Im anschließenden Schritt S35 erfolgt z.B. in der anhand von Fig. 1 beschriebenen Weise die entsprechende gezielte (lokale oder globale) Änderung der Schichtspannung, woraufhin unter Rückkehr zu Schritt S33 erneut überprüft wird, ob die Ist-Passe nunmehr in Toleranz ist, und wobei dann gegebenenfalls eine erneute Durchführung der Schritte S34 und S35 erfolgt. Die vorstehend  
25 beschriebene Iteration wird solange durchgeführt, bis sich das optische Element bzw. der Spiegel 10 mit seiner Ist-Passe im Toleranzband um die Soll-Passe befindet (S36).

30 Eine Manipulation der Schichtspannung in der Korrekturschicht kann grundsätzlich auch in anderer geeigneter Weise erfolgen, indem lokal oder global energetische Einträge z.B. durch thermische, elektrische, magnetische oder andere Effekte in der Korrekturschicht bewirkt werden.

Fig. 4 zeigt eine schematische Darstellung einer beispielhaften für den Betrieb im EUV ausgelegten Projektionsbelichtungsanlage, welche ein erfindungsgemäßes optisches Element bzw. Wellenfrontkorrekturlement aufweisen kann.

Gemäß Fig. 4 weist eine Beleuchtungseinrichtung in einer für EUV ausgelegten Projektionsbelichtungsanlage 40 einen Feldfacettenspiegel 43 und einen Pupillenfacettenspiegel 44 auf. Auf den Feldfacettenspiegel 43 wird das Licht einer Lichtquelleneinheit, welche lediglich beispielhaft eine Plasmalichtquelle 41 und einen Kollektorspiegel 42 umfasst, gelenkt. In weiteren Ausführungsformen kann auch z.B. ein Freie-Elektronen-Laser (FEL) als Lichtquelle verwendet werden. Im Lichtweg nach dem Pupillenfacettenspiegel 44 sind ein erster Teleskopspiegel 45 und ein zweiter Teleskopspiegel 46 angeordnet. Im Lichtweg nachfolgend ist ein Umlenkspiegel 47 angeordnet, der die auf ihn treffende Strahlung auf ein Objektfeld in der Objektebene eines sechs Spiegel 61-66 umfassenden Projektionsobjektivs lenkt. Am Ort des Objektfeldes ist eine reflektive strukturtragende Maske 51 auf einem Maskentisch 50 angeordnet, die mit Hilfe des Projektionsobjektivs in eine Bildebene abgebildet wird, in welcher sich ein mit einer lichtempfindlichen Schicht (Photoresist) beschichtetes Substrat 71 auf einem Wafertisch 70 befindet.

Wenn die Erfindung auch anhand spezieller Ausführungsformen beschrieben wurde, erschließen sich für den Fachmann zahlreiche Variationen und alternative Ausführungsformen, z.B. durch Kombination und/oder Austausch von Merkmalen einzelner Ausführungsformen. Dementsprechend versteht es sich für den Fachmann, dass derartige Variationen und alternative Ausführungsformen von der vorliegenden Erfindung mit umfasst sind, und die Reichweite der Erfindung nur im Sinne der beigefügten Patentansprüche und deren Äquivalente beschränkt ist.

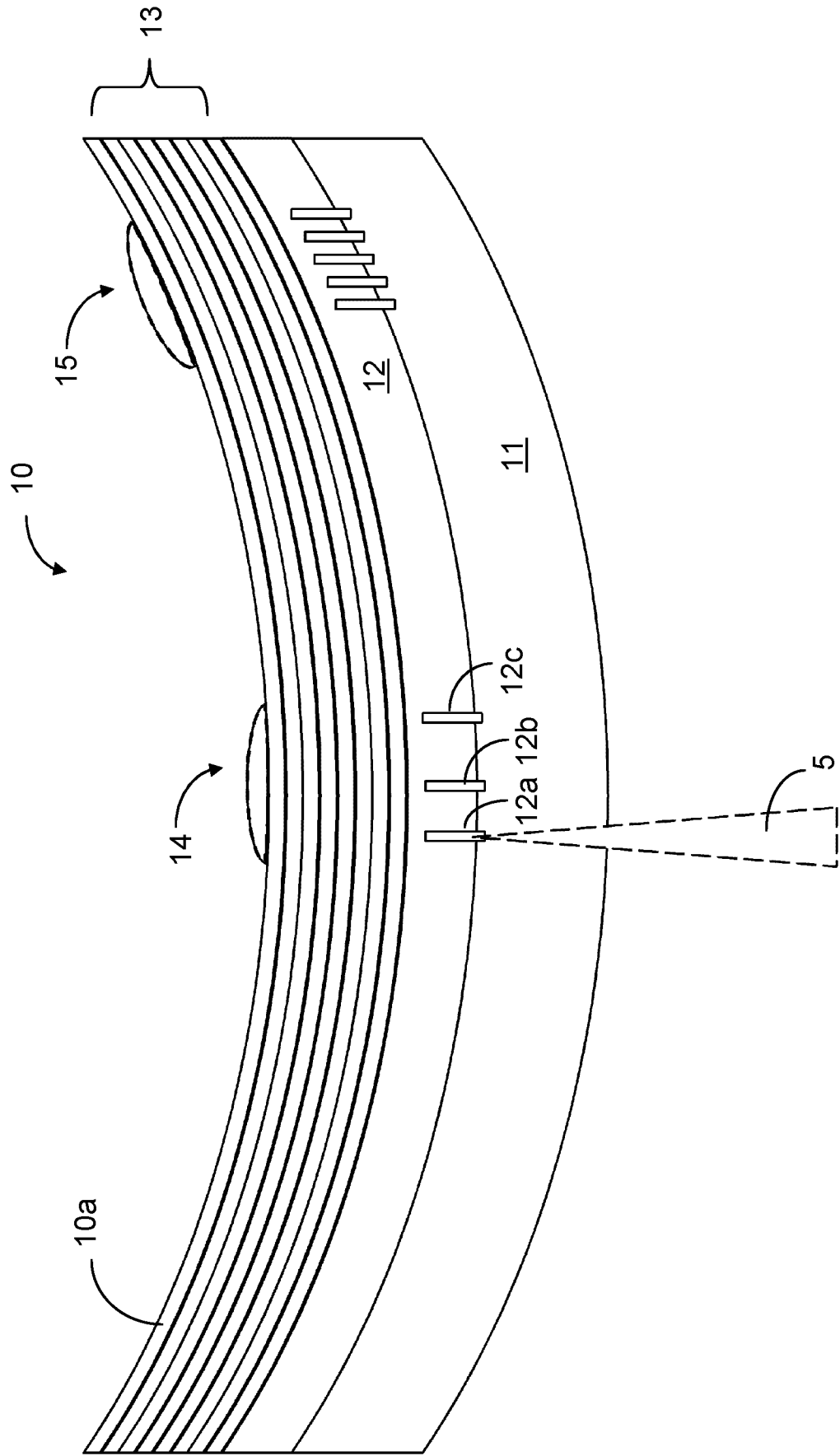
Patentansprüche

1. Optisches Element zur Verwendung in einem optischen System, insbesondere in einem optischen System einer mikrolithographischen Projektionsbelichtungsanlage oder einer Maskeninspektionsanlage, mit:
- wenigstens einer Korrekturschicht (12, 22); und
  - einem Manipulator zur Manipulation der Schichtspannung in dieser Korrekturschicht derart, dass eine in dem optischen System vorhandene Wellenfrontaberration durch diese Manipulation wenigstens teilweise korrigierbar ist;
  - wobei der Manipulator eine Strahlungsquelle zur orts aufgelösten Bestrahlung der Korrekturschicht (12, 22) mit elektromagnetischer Strahlung (5) aufweist; und
  - wobei durch diese orts aufgelöste Bestrahlung eine Mehrzahl von zueinander beabstandeten, in ihrer Struktur jeweils in gleicher Weise modifizierten Bereichen (12a, 12b, 12c,...; 22a, 22b, 22c,...) in der Korrekturschicht (12, 22) erzeugbar ist.
2. Optisches Element nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, dass die Manipulation der Schichtspannung durch eine Änderung der Schichtstruktur in dieser Korrekturschicht (12, 22) erzielt wird.
3. Optisches Element nach Anspruch 2, dadurch gekennzeichnet, dass diese Änderung der Schichtstruktur zumindest teilweise irreversibel ist.
4. Optisches Element nach einem der Ansprüche 1 bis 3, dadurch gekennzeichnet, dass bei der Manipulation der Schichtspannung über eine laterale Distanz von 10mm, insbesondere über eine laterale Distanz von 1mm, in der Korrekturschicht (12, 22) eine Schichtspannungsänderung von wenigstens 10%, insbesondere um wenigstens 20%, erzeugt wird.
5. Optisches Element nach einem der vorhergehenden Ansprüche, dadurch

gekennzeichnet, dass dieses ein optisch wirksames Schichtsystem aufweist, wobei die Korrekturschicht eine zusätzlich zu diesem Schichtsystem vorgesehene Hilfsschicht ist.

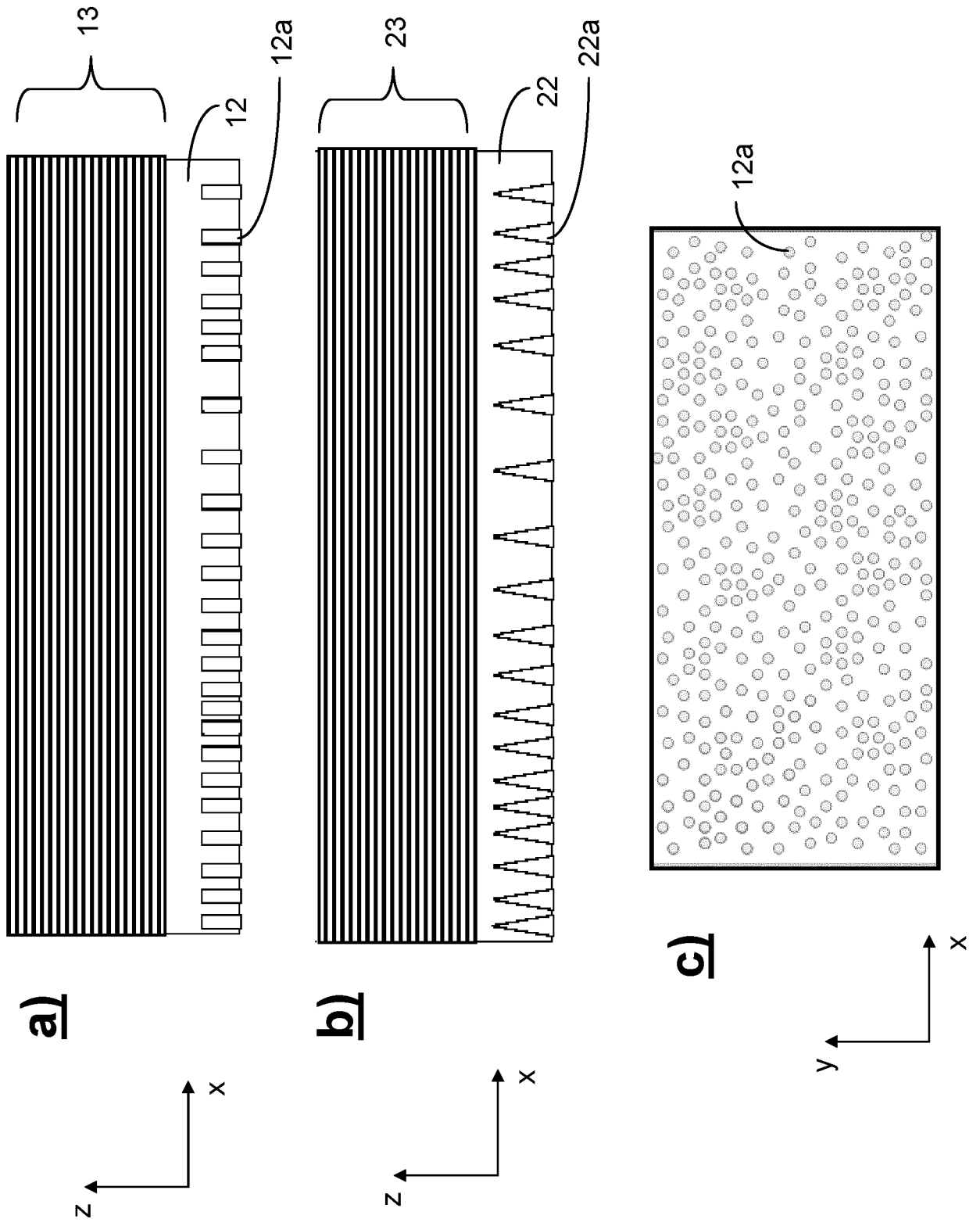
- 5        6.    Optisches Element nach einem der vorhergehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, dass ein zwischen den Bereichen (12a, 12b, 12c,...; 22a, 22b, 22c,...) vorhandener Abstand über die Strahlungsquelle einstellbar ist.
- 10       7.    Optisches Element nach einem der vorhergehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, dass dieses ein Spiegel ist.
- 15       8.    Optisches Element nach einem der vorhergehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, dass dieses für eine Arbeitswellenlänge von weniger als 30 nm, insbesondere weniger als 15 nm, ausgelegt ist.
- 20       9.    Verfahren zur Korrektur der Wellenfrontwirkung eines optischen Elements nach einem der vorhergehenden Ansprüche, wobei das Verfahren folgende Schritte aufweist:
- 25            a) Ermitteln einer gegebenen Wellenfrontwirkung des optischen Elements;
- b) Manipulieren, in Abhängigkeit vom Ergebnis dieser Ermittlung, der Wellenfrontwirkung auf Basis eines Modells, welches die Abhängigkeit der Wellenfrontwirkung von der örtlichen Verteilung der Schichtspannung der Korrekturschicht beschreibt.
- 30       10.    Verfahren nach Anspruch 9, dadurch gekennzeichnet, dass die Schritte des Ermitteln einer gegebenen Wellenfrontwirkung und des Manipulierens in einem iterativen Prozess wiederholt durchgeführt werden.
- 30       11.    Verfahren nach Anspruch 9 oder 10, dadurch gekennzeichnet, dass dieses Modell unter Anwendung der Finite-Elemente-Methode ermittelt wird.

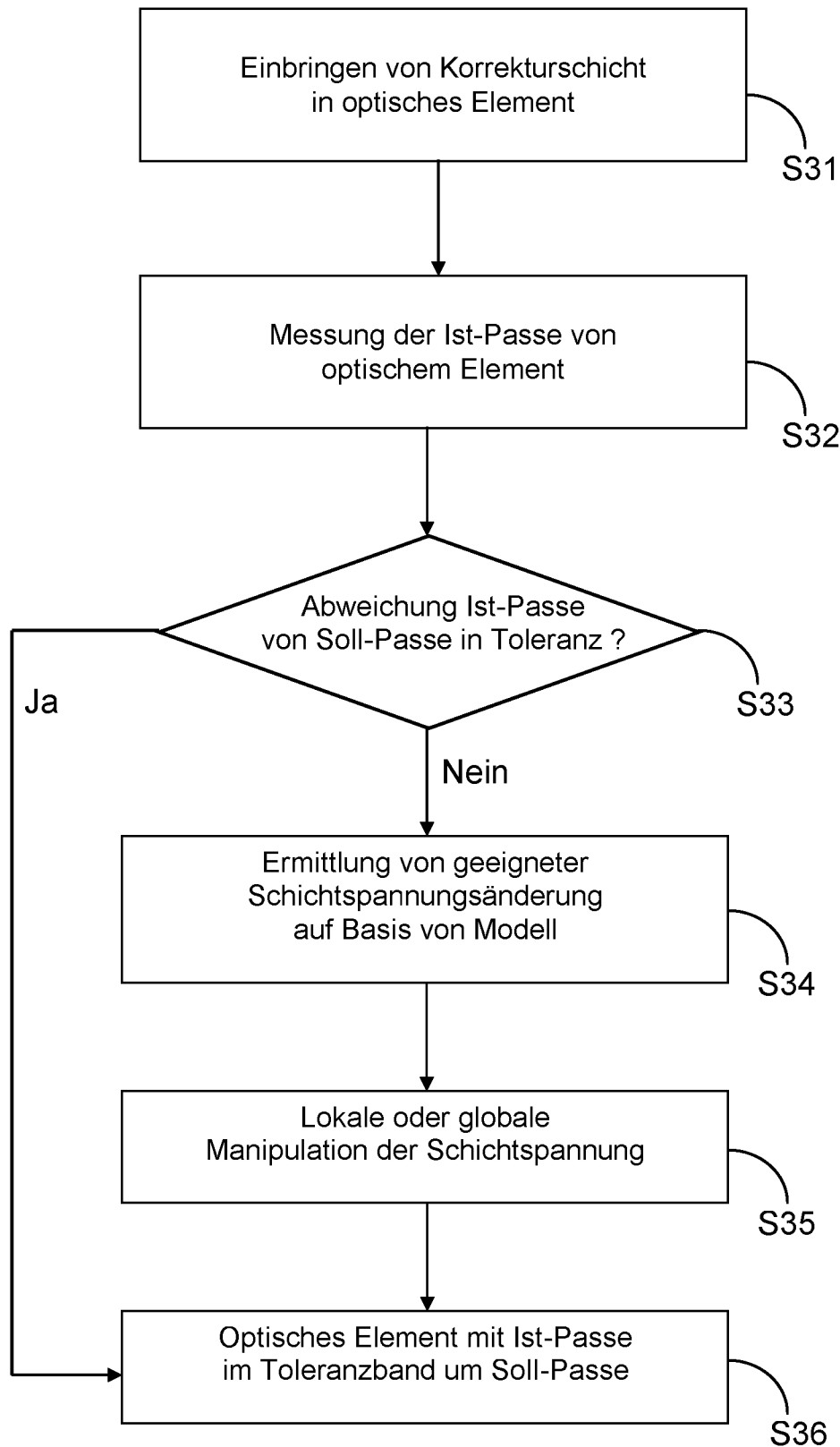
- 5 12. Verfahren nach Anspruch 9 oder 10, dadurch gekennzeichnet, dass zur Aufstellung dieses Modells vorab eine Kalibrierung durchgeführt wird, bei welcher die aus einer bestimmten Schichtspannungsänderung resultierende Phaseänderung bzw. die entsprechende Änderung der Wellenfrontwirkung experimentell für bestimmte Werte ermittelt wird.
- 10 13. Verfahren nach Anspruch 12, dadurch gekennzeichnet, dass diese experimentelle Bestimmung für eine Mehrzahl von Stützstellen erfolgt, wobei zwischen diesen Stützstellen eine Interpolation durchgeführt wird.
- 15 14. Optisches System einer mikrolithographischen Projektionsbelichtungsanlage (40), insbesondere Beleuchtungseinrichtung oder Projektionsobjektiv, mit wenigstens einem optischen Element, welches gemäß einem der Ansprüche 1 bis 8 ausgebildet ist.
- 20 15. Mikrolithographische Projektionsbelichtungsanlage (10) mit einer Beleuchtungseinrichtung und einem Projektionsobjektiv, dadurch gekennzeichnet, dass die Projektionsbelichtungsanlage (40) ein optisches Element aufweist, welches gemäß einem der Ansprüche 1 bis 8 ausgebildet ist.



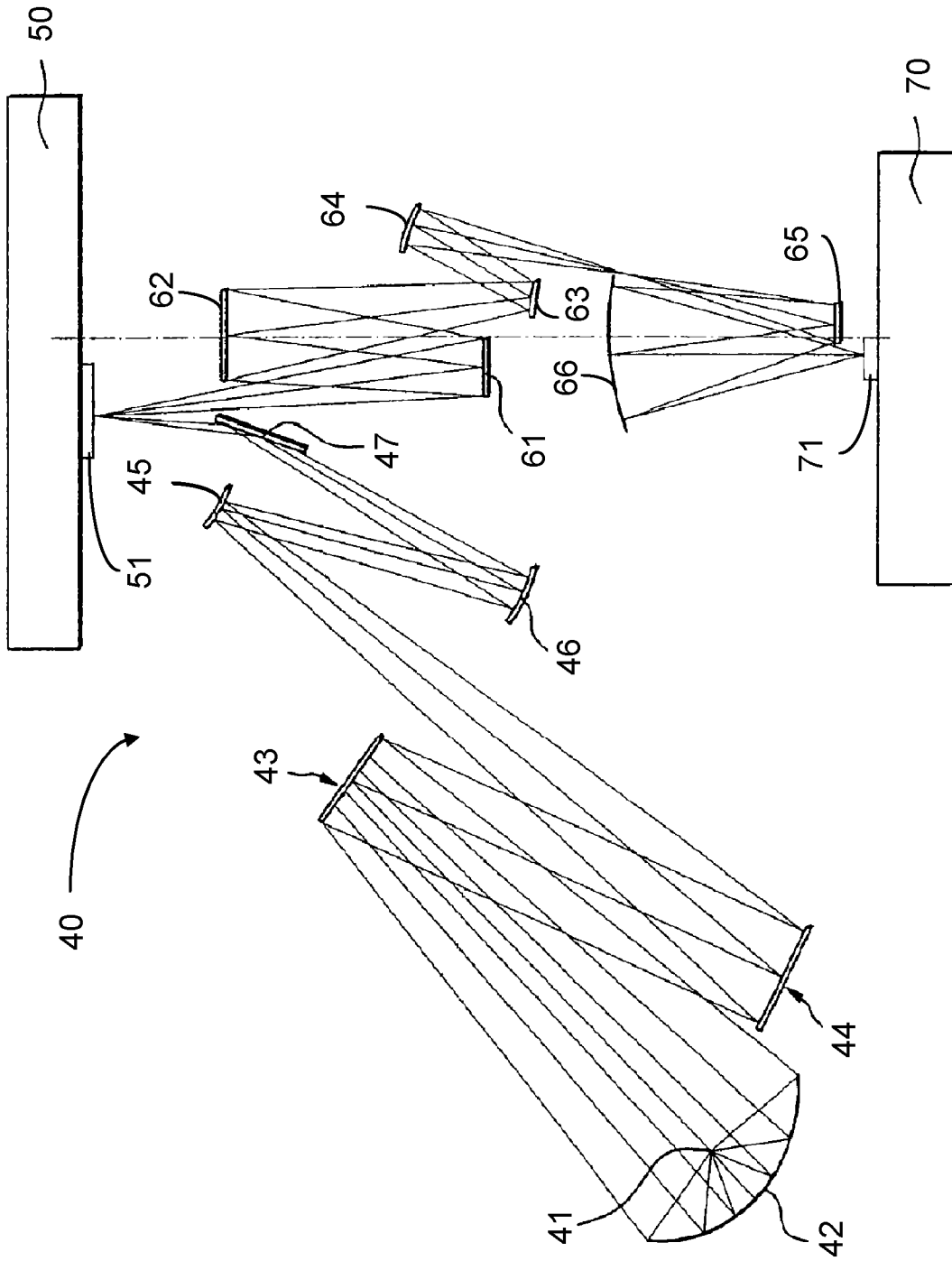
**Fig. 1**

**Fig. 2**



**Fig. 3**

**Fig. 4**



## INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.

**PCT/EP2019/054164**

<b>A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER</b> <i>G03F 7/20</i> (2006.01)i; <i>G02B 27/00</i> (2006.01)i; <i>G02B 26/06</i> (2006.01)i  According to International Patent Classification (IPC) or to both national classification and IPC		
<b>B. FIELDS SEARCHED</b>  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, WPI Data, INSPEC		
<b>C. DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT</b>		
Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
X	US 2008062397 A1 (NAM DONG-SEOK [KR] ET AL) 13 March 2008 (2008-03-13) paragraphs [0027], [0078] - [0080]; figure 7	1-4,6-8,14,15
X	DE 102015200328 A1 (ZEISS CARL SMT GMBH [DE]) 14 July 2016 (2016-07-14) cited in the application paragraphs [0042] - [0047], [0051]; figure 1	1-9,14,15
X	DE 102005044716 A1 (ZEISS CARL SMT AG [DE]) 05 April 2007 (2007-04-05) cited in the application paragraphs [0038], [0040], [0057], [0067], [0070] - [0075]; figures 2, 3,4	1-15
<input type="checkbox"/> Further documents are listed in the continuation of Box C. <input checked="" type="checkbox"/> See patent family annex.		
<p>* Special categories of cited documents:</p> <p>“A” document defining the general state of the art which is not considered to be of particular relevance</p> <p>“E” earlier application or patent but published on or after the international filing date</p> <p>“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)</p> <p>“O” document referring to an oral disclosure, use, exhibition or other means</p> <p>“P” document published prior to the international filing date but later than the priority date claimed</p> <p>“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</p> <p>“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</p> <p>“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</p> <p>“&amp;” document member of the same patent family</p>		
Date of the actual completion of the international search <b>06 June 2019</b>		Date of mailing of the international search report <b>21 June 2019</b>
Name and mailing address of the ISA/EP <b>European Patent Office p.b. 5818, Patentlaan 2, 2280 HV Rijswijk Netherlands</b> Telephone No. (+31-70)340-2040 Facsimile No. (+31-70)340-3016		Authorized officer <b>Eisner, Klaus</b>  Telephone No.

**INTERNATIONAL SEARCH REPORT**  
**Information on patent family members**

International application No. <b>PCT/EP2019/054164</b>
---

Patent document cited in search report			Publication date (day/month/year)	Patent family member(s)			Publication date (day/month/year)
US	2008062397	A1	13 March 2008	KR	100809329	B1	07 March 2008
				US	2008062397	A1	13 March 2008
DE	102015200328	A1	14 July 2016	DE	102015200328	A1	14 July 2016
				KR	20170105509	A	19 September 2017
				US	2017315452	A1	02 November 2017
				WO	2016113117	A1	21 July 2016
DE	102005044716	A1	05 April 2007	DE	102005044716	A1	05 April 2007
				WO	2007033964	A1	29 March 2007

A. KLASSIFIZIERUNG DES ANMELDUNGSGEGENSTANDES  
 INV. G03F7/20 G02B27/00 G02B26/06  
 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, WPI Data, INSPEC

C. ALS WESENTLICH ANGESEHENE UNTERLAGEN

Kategorie*	Bezeichnung der Veröffentlichung, soweit erforderlich unter Angabe der in Betracht kommenden Teile	Betr. Anspruch Nr.
X	US 2008/062397 A1 (NAM DONG-SEOK [KR] ET AL) 13. März 2008 (2008-03-13) Absätze [0027], [0078] - [0080]; Abbildung 7	1-4,6-8, 14,15
X	DE 10 2015 200328 A1 (ZEISS CARL SMT GMBH [DE]) 14. Juli 2016 (2016-07-14) in der Anmeldung erwähnt Absätze [0042] - [0047], [0051]; Abbildung 1	1-9,14, 15
X	DE 10 2005 044716 A1 (ZEISS CARL SMT AG [DE]) 5. April 2007 (2007-04-05) in der Anmeldung erwähnt Absätze [0038], [0040], [0057], [0067], [0070] - [0075]; Abbildungen 2, 3,4	1-15



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

6. Juni 2019

Absenddatum des internationalen Recherchenberichts

21/06/2019

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/EP2019/054164

Im Recherchenbericht angeführtes Patentdokument	Datum der Veröffentlichung	Mitglied(er) der Patentfamilie	Datum der Veröffentlichung
US 2008062397 A1	13-03-2008	KR 100809329 B1 US 2008062397 A1	07-03-2008 13-03-2008
-----			
DE 102015200328 A1	14-07-2016	DE 102015200328 A1 KR 20170105509 A US 2017315452 A1 WO 2016113117 A1	14-07-2016 19-09-2017 02-11-2017 21-07-2016
-----			
DE 102005044716 A1	05-04-2007	DE 102005044716 A1 WO 2007033964 A1	05-04-2007 29-03-2007
-----			