

(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
30. März 2017 (30.03.2017)



(10) Internationale Veröffentlichungsnummer
WO 2017/050565 A1

(51) Internationale Patentklassifikation:

G02B 26/06 (2006.01) G02B 27/00 (2006.01)
G03F 7/20 (2006.01)

(21) Internationales Aktenzeichen: PCT/EP2016/070981

(22) Internationales Anmeldedatum:
6. September 2016 (06.09.2016)

(25) Einreichungssprache: Deutsch

(26) Veröffentlichungssprache: Deutsch

(30) Angaben zur Priorität:
10 2015 218 329.7
24. September 2015 (24.09.2015) DE

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

(72) Erfinder: WALTER, Holger; Kolonie 22, 73453
Abtsgmuend (DE).

(74) Anwalt: WITTE, WELLER & PARTNER
PATENTANWÄLTE MBB; Postfach 10 54 62, 70047
Stuttgart (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, CZ, DE, DK, DM, DO, DZ, EC, EE, EG, ES, FI, GB, GD, GE, GH, GM, GT, HN, HR, HU, ID, IL, IN, IR, IS, JP, KE, KG, KN, KP, KR, 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).

[Fortsetzung auf der nächsten Seite]

(54) Title: OPTICAL CORRECTION ASSEMBLY, PROJECTION OBJECTIVE COMPRISING SUCH AN OPTICAL CORRECTION ASSEMBLY, AND MICROLITHOGRAPHIC DEVICE COMPRISING SUCH A PROJECTION OBJECTIVE

(54) Bezeichnung : OPTISCHE KORREKTURANORDNUNG, PROJEKTIONSOBJEKTIV MIT EINER SOLCHEN OPTISCHEN KORREKTURANORDNUNG SOWIE MIKROLITHOGRAFISCHE APPARATUR MIT EINEM SOLCHEN PROJEKTIONSOBJEKTIV

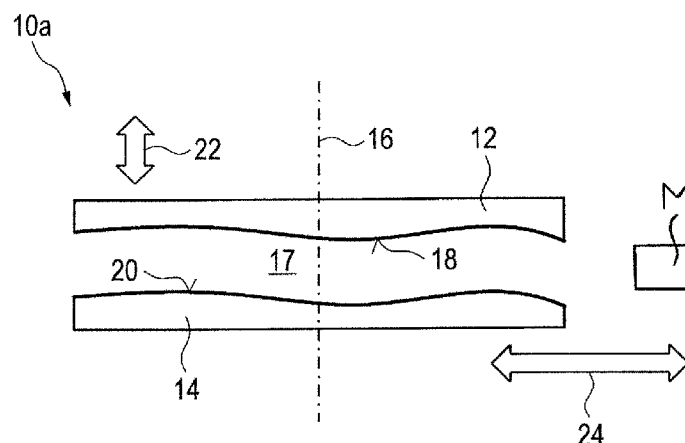


Fig. 1

(57) Abstract: The invention relates to an optical correction assembly comprising a first and a second correction component (12, 13, 14) which are arranged one behind the other along an optical axis (16). The first and the second correction component (12, 13, 14) are provided with aspherical surface contours (18, 20) which at least approximately add up to zero in a zero position of the optical correction assembly (10a, 10b, 10c). The optical correction assembly also comprises a manipulator for moving the first correction component (12) in a first direction (22) at a first speed and for moving the second correction component (14) in a second direction (24) at a second speed, the first speed being greater than the second speed.

(57) Zusammenfassung:

[Fortsetzung auf der nächsten Seite]

WO 2017/050565 A1

**Veröffentlicht:**

— mit internationalem Recherchenbericht (Artikel 21 Absatz 3)

Optische Korrekturanordnung, mit einer ersten und einer zweiten Korrekturkomponente (12, 13, 14), die entlang einer optischen Achse (16) hintereinander angeordnet sind, wobei die erste und die zweite Korrekturkomponente (12, 13, 14) mit asphärischen Oberflächenkonturen (18, 20) versehen sind, die sich in einer Nulllage der optischen Korrekturanordnung (10a, 10b, 10c) zumindest näherungsweise insgesamt zu null addieren, einem Manipulator zum Verfahren der ersten Korrekturkomponente (12) in einer ersten Richtung (22) mit einer ersten Geschwindigkeit und zum Verfahren der zweiten Korrekturkomponente (14) in einer zweiten Richtung (24) mit einer zweiten Geschwindigkeit, wobei die erste Geschwindigkeit höher als die zweite Geschwindigkeit ist.

Optische Korrekturanordnung, Projektionsobjektiv mit einer solchen optischen Korrekturanordnung sowie mikrolithografische Apparatur mit einem solchen Projektionsobjektiv

[0001] Die vorliegende Anmeldung nimmt die Priorität der deutschen Patentanmeldung 10 2015 218 329.7, eingereicht am 24. September 2015, in Anspruch, deren gesamter Inhalt durch unmittelbare Bezugnahme in die Beschreibung der vorliegenden Anmeldung einbezogen ist.

[0002] Die Erfindung betrifft eine optische Korrekturanordnung mit einer ersten und einer zweiten Korrekturkomponente, die entlang einer optischen Achse hintereinander angeordnet sind, wobei die erste und die zweite Korrekturkomponente mit asphärischen Oberflächenkonturen versehen sind, die sich in einer Nulllage der optischen Korrekturanordnung zumindest näherungsweise insgesamt zu null addieren, einem Manipulator zum Verfahren der ersten Korrekturkomponente in einer ersten Richtung mit einer ersten Geschwindigkeit und zum Verfahren der zweiten Korrekturkomponente in einer zweiten Richtung mit einer zweiten Geschwindigkeit.

[0003] Die Erfindung betrifft ferner ein Projektionsobjektiv mit einer solchen optischen Korrekturanordnung und eine mikrolithografische Apparatur für die Mikrolithografie, insbesondere eine Projektionsbelichtungsanlage, mit einem solchen Projektionsobjektiv.

[0004] Eine optische Korrekturanordnung der eingangs genannten Art ist aus DE 10 2007 046 419 A1 bekannt.

[0005] Eine derartige optische Korrekturanordnung wird in der Mikrolithografie verwendet, um optische Wellenfronten eines Projektionsobjektivs zu ändern, insbesondere um diese zu korrigieren.

[0006] Die Mikrolithografie, die auch als Fotolithografie oder Lithografie bekannt ist, gehört zu den zentralen Technologien der Halbleiter- und Mikrosystemtechnik zur Herstellung von integrierten Schaltungen, Halbleiterbauteilen und weiteren Elektronikprodukten. Die Grundidee der Mikrolithografie besteht darin, vordefinierte Strukturen mittels Belichtungsvorgängen auf ein Substrat zu übertragen. Die vordefinierten Strukturen sind auf einem Retikel (auch als "Fotomaske" bekannt) angebracht und enthalten typischerweise Mikro- und/oder Nanostrukturen. Das Substrat, beispielsweise ein Siliziumwafer, ist mit einem lichtempfindlichen Material beschichtet. Bei der Belichtung wirkt das Belichtungslicht nach Durchlaufen des Projektionsobjektivs auf das lichtempfindliche Material ein, so dass sich die vom Belichtungslicht beaufschlagten Bereiche der lichtempfindlichen Beschichtung hinsichtlich ihrer chemischen Eigenschaften verändern. In den so behandelten Bereichen der Beschichtung wird das lichtempfindliche Material anschließend mit einem Lösungsmittel entfernt. Schließlich wird das Substratmaterial in den nun freiliegenden Bereichen der Substratoberfläche mithilfe eines Ätzmittels abgetragen, um die vordefinierten Strukturen des Retikels auf die Substratoberfläche zu übertragen.

[0007] In der heutigen Halbleitertechnik gilt es als essentiell, die Leistungsfähigkeit bzw. die Leistungsdichte der Halbleiterbauteile zu steigern. Dazu dient die Miniaturisierung der Strukturgröße, um die Anzahl der auf einer Flächeneinheit integrierbaren Schaltungen zu erhöhen. Unter diesem Aspekt werden an die Abbildungseigenschaften des Projektionsobjektivs immer höhere Anforderungen gestellt. Insbesondere ist es von hoher Bedeutung, Abbildungsfehler von Projektionsobjektiven für die Mikrolithografie auf ein sehr geringes Niveau zu reduzieren.

[0008] Bei den Abbildungsfehlern kann es sich sowohl um produktionsbedingte Abbildungsfehler, die bereits nach Herstellung des Projektionsobjektivs immanent vorhanden sind, als auch um erst während des Betriebs des Projektionsobjektivs auftretende Abbildungsfehler handeln. Beispielsweise können optische Elemente des Projektionsobjektivs aufgrund von Beaufschlagen mit hochenergetischem kurzwelligem Belichtungslicht, insbesondere ultraviolettem (UV), vakuumultraviolettem (VUV) und extremultraviolettem (EUV) Licht und der damit einhergehenden Überhitzung beeinträchtigt werden.

[0009] Weitere Abbildungsfehler sind beispielsweise auf fehlerhafte Oberflächen wie Oberflächenrauheiten des Retikels und/oder des Substrates zurückzuführen. Dabei kommt es zu einer Verschiebung der Objekt- bzw. Bildebene und der Fokusslage des Projektionsobjektivs.

[0010] Um optische Abbildungsfehler des Projektionsobjektivs zu reduzieren, sind Korrekturanordnungen aus dem Stand der Technik bekannt. Beispielsweise offenbart der eingangs genannte Stand der Technik ein Projektionsobjektiv, das eine optische Korrekturanordnung aus einer Mehrzahl optischer Korrektur-elemente aufweist. Die Korrektur-elemente sind mit asphärischen Oberflächenkonturen versehen, die sich in einer Nulllage insgesamt zumindest näherungsweise zu null addieren. Außerdem ist zumindest eines der Korrektur-elemente relativ zu zumindest einem der übrigen Korrektur-elemente in Richtung der optischen Achse verfahrbar, um eine gewünschte Korrekturwirkung einzustellen.

[0011] EP 0 851 304 A2 offenbart eine weitere Korrekturanordnung mit mehreren verfahrbaren Platten, wobei die unterschiedlichen Platten in zwei entgegengesetzten horizontalen Richtungen senkrecht zur optischen Achse verfahrbar sind.

[0012] Die oben genannten bekannten Korrekturanordnungen weisen jedoch einen wesentlichen Nachteil auf, nämlich dass sie nicht dazu in der Lage sind, Abbildungsfehler zufriedenstellend zu korrigieren, die während des Scanvorgangs auftreten. Beim Scannen wird das Retikel mit dem Belichtungslicht beaufschlagt, wobei sich der

auf das Retikel eintretende Lichtstrahl entlang einer horizontalen Richtung senkrecht zur optischen Achse des Projektionsobjektivs das Retikel verschiebt. Dabei können sogenannte "Overlay"-Fehler auftreten, die beispielsweise als Folgefehler von Telezentriefehlern in Verbindung mit der Änderung der Fokusslage während des Scannens zustande kommen. Derartige Abbildungsfehler können komplizierte Feldverläufe annehmen, die mathematisch nur mit Zernike-Koeffizienten höherer Ordnungen zu beschreiben sind. Solche Abbildungsfehler können durch die aus dem Stand der Technik bekannten Korrekturanordnungen nicht bzw. nur bedingt korrigiert werden.

[0013] Es ist daher eine Aufgabe der vorliegenden Erfindung, eine optische Korrekturanordnung der eingangs genannten Art dahingehend weiterzubilden, dass optische Abbildungsfehler, die während des Scanvorgangs auftreten, wirksamer korrigiert werden können.

[0014] Erfindungsgemäß wird diese Aufgabe hinsichtlich der eingangs genannten optischen Korrekturanordnung dadurch gelöst, dass die erste Geschwindigkeit höher als die zweite Geschwindigkeit ist.

[0015] Die erste und die zweite Korrekturkomponente sind mit asphärischen Oberflächenkonturen versehen. Dabei kann die jeweilige Asphärisierung auf der Innenseite der ersten bzw. zweiten Korrekturkomponente, die dem Zwischenraum zwischen den beiden Korrekturkomponenten zugewandt ist, versehen sein. Alternativ oder zusätzlich kann eine vom Zwischenraum abgewandte Außenseite der ersten und/oder der zweiten Korrekturkomponente mit einer asphärischen Oberflächenkontur versehen sein.

[0016] Die asphärischen Oberflächenkonturen addieren sich in der Nulllage der optischen Korrekturanordnung zumindest näherungsweise zu null. Mit anderen Worten kompensieren sich die optischen Wirkungen der asphärischen Oberflächenkonturen in der Nulllage der Korrekturanordnung gegenseitig, so dass in der Nulllage das Belichtungslicht durch die optische Korrekturanordnung zumindest näherungsweise unverändert durchgelassen wird. Die erste und die zweite Korrekturkomponente sind mittels des Manipulators verfahrbar, so dass sie relativ zueinander verlagert werden

können. Der Manipulator ist dazu ausgebildet, die erste Korrekturkomponente mit einer ersten Geschwindigkeit zu verfahren und die zweite Korrekturkomponente mit einer zweiten Geschwindigkeit zu verfahren, wobei die erste Geschwindigkeit höher ist als die zweite Geschwindigkeit. Somit kann eine gewünschte Korrekturwirkung erzielt werden, um optische Abbildungsfehler, insbesondere feldabhängige Abbildungsfehler, zu korrigieren.

[0017] Da die erste Geschwindigkeit und die zweite Geschwindigkeit verschieden sind, lassen sich optische Abbildungsfehler, die während des Scanvorgangs auftreten, im Gegensatz zu den aus dem Stand der Technik bekannten Korrekturanordnungen besonders wirksam korrigieren.

[0018] Beispielsweise können Abbildungsfehler wie Overlay-Fehler, die mit fehlerhaften Oberflächen bzw. Oberflächenrauheiten der Retikeloberfläche in der Objektebene und/oder der Substratoberfläche in der Bildebene zusammenhängen, mit erhöhter Genauigkeit und Zuverlässigkeit korrigiert werden. Mit den fehlerhaften Oberflächen geht eine Verschiebung der Objektebene bzw. der Bildebene und somit auch der Fokusslage des Projektionsobjektivs einher. Während eines Scanvorgangs für einen Halbleiter-Wafer kommt es hierdurch zu einer sich zeitlich schnell verändernden Verschiebung der Fokusslage des Projektionsobjektivs.

[0019] Um diese unerwünschte Verschiebung der Fokusslage zu kompensieren, können vor dem Scanvorgang die Oberflächen des Retikels und/oder des Substrats vermessen werden. Die Messdaten können dem Manipulator zur Steuerung der Korrekturkomponenten zugeführt werden. Während des Scanvorgangs verfährt der Manipulator die erste und/oder die zweite Korrekturkomponente, um eine Relativbewegung zwischen den beiden Korrekturkomponenten zu bewirken. Dadurch, dass die Verfahrgeschwindigkeiten der ersten und der zweiten Korrekturkomponente verschieden voneinander gewählt werden können, kann die erzeugte Relativbewegung vorteilhafterweise an den vermessenen Oberflächenverlauf der Retikel- bzw. der Substratoberfläche angepasst werden.

[0020] In einer bevorzugten Ausgestaltung ist die erste Geschwindigkeit um mindestens eine Größenordnung höher als die zweite Geschwindigkeit.

[0021] Somit können die erste und die zweite Korrekturkomponente mit voneinander deutlich verschiedenen Geschwindigkeiten verfahren werden. Insbesondere ist die erste Korrekturkomponente deutlich schneller als die zweite Korrekturkomponente verfahrbar, beispielsweise um zumindest den Faktor 10 schneller verfahrbar. Eine schnelle Relativbewegung zwischen den Korrekturkomponenten, die an die sich zeitlich schnell ändernde Fokusverschiebung des Projektionsobjektivs angepasst ist, wird hierdurch erzielt. Somit ist eine dynamische Korrektur von Abbildungsfehlern wie Overlay-Fehlern während des Scanvorgangs, beispielsweise während der Belichtung eines Wafers oder Halbleiter-Chips (Englisch: Die), vorteilhafterweise bewerkstelligt. Gleichzeitig sind Abbildungsfehler, die sich zeitlich vergleichsweise langsam ändern, durch das Verfahren der zweiten Korrekturkomponente wirksam korrigierbar.

[0022] In einer weiteren bevorzugten Ausgestaltung ist der Manipulator dazu ausgebildet, um die erste Korrekturkomponente gemäß einer Schwingungsbewegung entlang der ersten Richtung zu verfahren.

[0023] Mit dieser Maßnahme lassen sich Abbildungsfehler, die während der Belichtung eines mehrere Dies umfassenden Wafers zeitlich regelmäßig wiederkehren, besonders wirksam korrigieren. Bei fehlerhafter Retikeloberfläche muss die Verschiebung der Fokuslage während des Scanvorgangs jedes einzelnen Dies kompensiert werden. Bei einer Mehrzahl an Dies muss daher eine an die Fokusverschiebung angepasste Relativbewegung zwischen den Korrekturkomponenten entsprechend oft wiederholt werden. Vorteilhafterweise kann dies durch die Schwingungsbewegung der ersten Korrekturkomponente entlang der ersten Richtung, die vorzugsweise parallel zur optischen Achse zeigt, optimal erzielt werden.

[0024] In einer weiteren bevorzugten Ausgestaltung ist die Schwingungsbewegung eine periodische Schwingungsbewegung, deren Periode an eine Belichtungs-dauer für einen Halbleiter-Chip angepasst ist.

[0025] Die Belichtung eines einzelnen Dies erfolgt typischerweise in zwei Schritten: einem ersten Vorbereitungsschritt ("Step") zur Einstellung des Projektionsobjektivs und einem zweiten Scanschritt ("Scan") zum Durchscannen/Belichten des Dies. Die Belichtungsdauer für ein Dies ergibt sich daher aus Addieren der Dauer beider Schritte ("Step and Scan"). Somit erzeugt die Bewegung der ersten Korrekturkomponente entlang der ersten Richtung eine periodische Kompensation der Fokusverschiebung des Projektionsobjektivs. Folglich können zeitlich regelmäßig wiederkehrende Overlay-Fehler mit besonders hoher Genauigkeit korrigiert werden.

[0026] In einer weiteren bevorzugten Ausgestaltung liegt die Periode der Schwingungsbewegung unterhalb von 100 ms, vorzugsweise unterhalb von 80 ms, weiter vorzugsweise unterhalb von 40 ms.

[0027] Somit ergibt sich eine Frequenz der Schwingungsbewegung, die mindestens 10 Hz, vorzugsweise mindestens 12,5 Hz, weiter vorzugsweise mindestens 25 Hz beträgt. Vorteilhafterweise kann somit die Schwingungsbewegung der ersten Korrekturkomponente besonders wirksam an einen in der Mikrolithografie typischen Scanrhythmus des Projektionsobjektivs angepasst werden.

[0028] In einer weiteren bevorzugten Ausgestaltung ist die erste Geschwindigkeit der ersten Korrekturkomponente innerhalb der Periode der Schwingungsbewegung veränderlich.

[0029] Die fehlerhafte Oberfläche des Retikels und/oder des Substrats kann einen ungleichmäßigen Verlauf, beispielsweise einen nicht gleichmäßig welligen Verlauf, aufweisen. In diesem Fall ist es besonders wichtig, die ebenfalls unregelmäßige Fokusverschiebung während der Belichtung jedes einzelnen Dies wirksam zu kompensieren. Dies kann durch eine innerhalb einer Periode der Schwingungsbewegung zeitlich veränderliche Geschwindigkeit der ersten Korrekturkomponente erzielt werden.

[0030] In einer weiteren bevorzugten Ausgestaltung ist die erste Richtung parallel zur optischen Achse.

[0031] Mit dieser Maßnahme kann die Verschiebung der Fokuslage entlang der optischen Achse besonders wirksam durch das Verfahren der ersten Korrekturkomponente korrigiert werden. Besonders vorteilhaft ist dabei eine wirksame Korrektur von zeitlich schnell veränderlichen Overlay-Fehlern.

[0032] In einer weiteren bevorzugten Ausgestaltung ist die zweite Richtung senkrecht zur optischen Achse.

[0033] Auf diese Weise können zusätzliche Abbildungsfehler, die beispielsweise durch Deformierung eines optischen Elementes des Projektionsobjektivs, etwa Spiegel, Linse oder Prisma, verursacht und zeitlich vergleichsweise langsam veränderlich sind, wirksam korrigiert werden.

[0034] In einer weiteren bevorzugten Ausgestaltung ist der Manipulator dazu ausgebildet, um die erste und die zweite Korrekturkomponente gleichzeitig zu verfahren.

[0035] Mithilfe dieser Maßnahme kann eine Relativbewegung zwischen der ersten und der zweiten Korrekturkomponente bewerkstelligt werden, bei der die beiden Korrekturkomponenten gleichzeitig mit verschiedenen Geschwindigkeiten verfahren werden. Vorteilhafterweise sind die mit der erfindungsgemäßen Korrekturanordnung erzielbaren Korrekturwirkungen hierdurch erweitert.

[0036] In einer weiteren bevorzugten Ausgestaltung ist der Manipulator zumindest teilweise in einem Randbereich der ersten und/oder der zweiten Korrekturkomponente angeordnet, wobei der Randbereich außerhalb der asphärischen Oberflächenkonturen gebildet ist.

[0037] Der Manipulator ist somit von den durch die asphärischen Oberflächenkonturen der Korrekturkomponenten festgelegten optischen Wirkungsflächen der Korrekturanordnung beabstandet angeordnet. Vorteilhafterweise ist eine Beeinträchtigung

des Belichtungsvorgangs beim Verfahren der ersten und/oder der zweiten Korrekturkomponente ausgeschlossen oder zumindest auf ein sehr geringes Niveau reduziert.

[0038] In einer weiteren bevorzugten Ausgestaltung weist der Manipulator eine magnetische Anordnung auf.

[0039] Mithilfe der magnetischen Anordnung ist ein Manipulator zum Verfahren der Korrekturkomponenten auf einfache Weise bewerkstelligt, der zusätzlich eine einfache Betätigung ermöglicht. Die magnetische Anordnung kann einen Magneten, beispielsweise einen Permanentmagneten und/oder einen Elektromagneten aufweisen. Permanentmagneten sind vorteilhaft, da sie ohne Energiezufuhr wie Stromeinspeisung einsetzbar sind. Mittels Elektromagneten lässt sich eine elektromagnetische Kraftwirkung mit besonders hoher Genauigkeit einstellen, da die Stärke der Kraftwirkung durch Regeln der in die Spulen des Elektromagneten eingespeisten Stromstärke variierbar ist. Die Stromstärke kann mit hoher Genauigkeit und schnellem Schalttakt variiert werden. Daher ist die Auslenkung der ersten Korrekturkomponente entlang der ersten Richtung auf schneller Zeitskala und gleichzeitig mit erhöhter Genauigkeit veränderbar, was mit herkömmlichen mechanischen Verfahrensantrieben nur schwierig möglich ist.

[0040] Vorzugsweise weist die magnetische Anordnung zumindest einen ersten Magneten und zumindest einen zweiten Magneten auf, wobei der zumindest eine erste Magnet an der ersten Korrekturkomponente und der zumindest eine zweite Magnet an der zweiten Korrekturkomponente angeordnet sind.

[0041] Hierdurch ist sowohl an der ersten als auch an der zweiten Korrekturkomponente jeweils zumindest ein Magnet angeordnet. Vorteilhafterweise ist das Verfahren der beiden Korrekturkomponenten hierdurch besonders wirksam, so dass eine gewünschte optische Korrekturwirkung besonders zuverlässig einzustellen ist. Der zumindest eine erste Magnet und der zumindest eine zweite Magnet können außerdem mit zumindest teilweiser vertikaler Überlappung angeordnet sein, so dass die magnetischen Felder des ersten und des zweiten Magneten räumlich miteinander überlappen können. Vorteilhafterweise ist eine Kraftwirkung zwischen dem zumindest einen ersten

Magneten und dem zumindest einen zweiten Magneten besonders wirksam, so dass die Korrekturwirkung der erfindungsgemäßen optischen Korrekturanordnung weiter verbessert ist.

[0042] In einer weiteren bevorzugten Ausgestaltung ist der zumindest eine erste Magnet ein Permanentmagnet, und/oder der zumindest eine zweite Magnet ist ein Elektromagnet.

[0043] Eine solche Ausgestaltung hat den Vorteil, dass nur der zumindest eine zweite Magnet angesteuert zu werden braucht, um eine Relativbewegung bzw. eine Verlagerung zwischen den Korrekturkomponenten zu bewerkstelligen. Dies erfolgt typischerweise durch Anlegen einer elektrischen Spannung an der Spule des Elektromagneten, was den zusätzlichen Vorteil hat, dass die Kraftwirkung zwischen dem Elektromagneten und dem Permanentmagneten besonders genau einstellbar ist. Vorteilhafterweise ist die gewünschte Korrekturwirkung dank der genau einstellbaren relativen Lage zwischen den Korrekturkomponenten besonders präzise.

[0044] In einer weiteren bevorzugten Ausgestaltung weist die magnetische Anordnung eine ringförmige Verteilung auf.

[0045] Diese Maßnahme ermöglicht eine magnetische Kraftverteilung im Bereich der ringförmig verteilten Magneten, wobei die Kraftverteilung besonders gleichmäßig ist. Dies begünstigt eine hohe Kraftstabilität der optischen Korrekturanordnung sowohl in ihrer Nulllage als auch in einem Zustand, in dem die Korrekturkomponenten relativ zueinander verlagert sind, sorgt.

[0046] In einer weiteren bevorzugten Ausgestaltung wirkt der Manipulator mit einem Führungsmittel zur Führung der ersten und/oder der zweiten Korrekturkomponente parallel und/oder senkrecht zur optischen Achse zusammen.

[0047] Hierdurch wird das Verfahren der ersten und/oder der zweiten Korrekturkomponente jeweils in einer vorgegebenen Richtung erleichtert. Das Führungsmittel kann eine Gleitführungseinrichtung aufweisen.

[0048] In einer weiteren bevorzugten Ausgestaltung umfasst die optische Korrekturanordnung eine dritte Korrekturkomponente.

[0049] Diese Maßnahme ermöglicht eine optische Korrekturanordnung mit drei Korrekturkomponenten. Hierdurch sind weitere Relativpositionen zwischen den Korrekturkomponenten zusätzlich einstellbar, so dass die mit der Korrekturanordnung erzielbare Korrekturwirkung vorteilhafterweise erweitert ist. Dabei kann die in Richtung der optischen Achse mittlere Korrekturkomponente relativ zur optischen Achse ortsfest ausgebildet sein. Alternativ oder zusätzlich kann zumindest ein Elektromagnet an der mittleren Korrekturkomponente angebracht sein.

[0050] In einer weiteren bevorzugten Ausgestaltung ist die erste, die zweite und/oder die dritte Korrekturkomponente mittels einer Federeinrichtung gehalten.

[0051] Die Federeinrichtung weist zumindest eine Rückstellfeder auf, deren Federkraft der elektromagnetischen Anziehungs- oder Abstoßungskraft der magnetischen Anordnung überlagert ist. Hierdurch kann die magnetische Anordnung in ihrer Nulllage oder in einem Zustand, in dem die verschiedenen Korrekturkomponenten relativ zueinander verlagert sind, mit erhöhter Kraftstabilität gehalten werden. Ferner kann die Rückstellkraft der Federeinrichtung die Gewichtskraft der ersten und/oder zweiten Korrekturkomponente vorteilhafterweise zumindest teilweise kompensieren.

[0052] In einer weiteren bevorzugten Ausgestaltung weist der Manipulator zumindest einen Aktor auf.

[0053] Der zumindest eine Aktor dient zum Verfahren der ersten und/oder der zweiten Korrekturkomponente in zumindest einer Richtung. Beispielsweise kann der zumindest eine Aktor einen Ultraschallmotor, einen Linearmotor aufweisen. Alternativ

oder zusätzlich kann der zumindest eine Aktor auf elektroaktiven Polymeren, Tauchspulen und/oder Druckbälgen basieren.

[0054] Ein erfindungsgemäßes Projektionsobjektiv für mikrolithografische Anwendungen weist zumindest eine optische Korrekturanordnung nach einer oder mehreren der vorstehend beschriebenen Ausgestaltungen auf. Das Projektionsobjektiv kann beispielsweise in eine erfindungsgemäße mikrolithografische Apparatur, insbesondere eine Projektionsbelichtungsanlage, eingesetzt, vorzugsweise integriert werden.

[0055] Weitere Vorteile und Merkmale ergeben sich aus der nachfolgenden Beschreibung und der beigefügten Zeichnung.

[0056] Es versteht sich, dass die vorstehend genannten und die nachstehend noch zu erläuternden Merkmale nicht nur in der jeweils angegebenen Kombination, sondern auch in anderen Kombinationen oder in Alleinstellung verwendbar sind, ohne den Rahmen der vorliegenden Erfindung zu verlassen.

[0057] Ausführungsbeispiele der Erfindung sind in der Zeichnung dargestellt und werden mit Bezug auf diese hiernach beschrieben. Es zeigen:

Figur 1 eine optische Korrekturanordnung in einer schematischen Seitenansicht;

Figur 2 eine weitere optische Korrekturanordnung in einer schematischen Seitenansicht, wobei die optische Korrekturanordnung eine magnetische Anordnung aufweist;

Figur 3 die optische Korrekturanordnung aus Fig. 2, wobei die erste Korrekturkomponente relativ zur zweiten Korrekturkomponente in Richtung parallel und senkrecht zur optischen Achse verschoben ist;

Figur 4 eine Korrekturkomponente in einer schematischen Draufsicht, wobei die Korrekturkomponente eine ringförmige magnetische Anordnung aufweist;

Figur 5 eine weitere optische Korrekturanordnung in einer schematischen Seitenansicht, die einen Aktor aufweist, wobei die erste Korrekturkomponente relativ zur zweiten Korrekturkomponente in Richtung parallel und senkrecht zur optischen Achse verschoben ist; und

Figur 6 eine schematische Darstellung einer mikrolithografischen Apparatur am Beispiel einer Projektionsbelichtungsanlage, die ein Projektionsobjektiv mit einer optischen Korrekturanordnung aufweist.

[0058] In Fig. 1 ist eine im Allgemeinen mit dem Bezugszeichen 10a versehene optische Korrekturanordnung in einer stark schematisierten, nicht maßstäblichen Seitenansicht gezeigt. Die optische Korrekturanordnung 10a weist eine erste Korrekturkomponente 12 und eine zweite Korrekturkomponente 14 auf, wobei die erste und die zweite Korrekturkomponente 12, 14 entlang einer optischen Achse 16 hintereinander angeordnet sind. Die erste Korrekturkomponente 12 ist in Richtung der optischen Achse 16, d. h. in vertikaler Richtung, von der zweiten Korrekturkomponente 14 beabstandet angeordnet, so dass eine Lücke bzw. ein Zwischenraum 17 zwischen den beiden Korrekturkomponenten 12, 14 ausgebildet ist. Die erste und die zweite Korrekturkomponente 12, 14 sind jeweils an ihrer dem Zwischenraum 17 zugewandten Innenseite mit einer asphärischen Oberflächenkontur 18, 20 versehen.

[0059] Die asphärischen Oberflächenkonturen 18, 20 sind derart ausgebildet, dass sie in einer Nulllage der optischen Korrekturanordnung 10a zumindest näherungsweise zu null addieren. Mit anderen Worten kompensieren sich die optischen Wirkungen der asphärischen Oberflächenkonturen 18, 20 in der Nulllage der Korrekturanordnung 10a gegenseitig, so dass in der Nulllage der Korrekturanordnung das Belichtungslicht durch die optische Korrekturanordnung zumindest näherungsweise unverändert durchgelassen wird. In Fig. 1 sind die asphärischen Oberflächenkonturen 18, 20 jeweils

als wellige Kontur gezeichnet, wobei dies für die vorliegende Erfindung nicht einschränkend ist.

[0060] Die erste Korrekturkomponente 12 und die zweite Korrekturkomponente 14 sind mithilfe eines Manipulators M verfahrbar, der hier schematisch gezeigt ist. Vorzugsweise ist die erste Korrekturkomponente 12 parallel zur optischen Achse 16 in beiden Richtungen verfahrbar, wie durch den Doppelpfeil 22 verdeutlicht ist. Weiter vorzugsweise ist die zweite Korrekturkomponente 14 senkrecht zur optischen Achse 16 ebenfalls in beiden Richtungen verfahrbar, wie durch den Doppelpfeil 24 verdeutlicht ist.

[0061] Ferner ist es möglich, die erste Korrekturkomponente 12 und die zweite Korrekturkomponente 14 mit voneinander verschiedenen Geschwindigkeiten zu verfahren, wobei die erste Korrekturkomponente 12 schneller bewegbar ist als die zweite Korrekturkomponente 14. Ein gleichzeitiges Verfahren der beiden Korrekturkomponenten 12, 14 ist ebenfalls möglich.

[0062] Dank der verschiedenen Verfahrensgeschwindigkeiten der beiden Korrekturkomponenten 12, 14 lassen sich optische Abbildungsfehler, die während des Scanvorgangs auftreten, im Gegensatz zu den aus dem Stand der Technik bekannten Korrekturanordnungen besonders wirksam korrigieren.

[0063] Beispielsweise können Abbildungsfehler wie Overlay-Fehler, die mit fehlerhaften Oberflächen bzw. Oberflächenrauheiten der Retikeloberfläche in der Objektebene und/oder der Substratoberfläche in der Bildebene zusammenhängen, mit erhöhter Genauigkeit und Zuverlässigkeit korrigiert werden. Mit den fehlerhaften Oberflächen geht eine Verschiebung der Objektebene bzw. der Bildebene und somit auch der Fokusslage des Projektionsobjektivs einher. Während eines Scanvorgangs für einen Halbleiter-Wafer kommt es hierdurch zu einer sich zeitlich schnell verändernden Verschiebung der Fokusslage des Projektionsobjektivs.

[0064] Diese unerwünschte Verschiebung der Fokusslage kann kompensiert werden, indem vor dem Scanvorgang die Oberflächen der Retikeloberfläche und/oder der

Substratoberfläche vermessen werden. Die Messdaten können dem Manipulator M zur Steuerung der Korrekturkomponenten 12, 14 zugeführt werden. Während des Scanvorgangs verfährt der Manipulator M die erste und/oder die zweite Korrekturkomponente 12, 14, um eine Relativbewegung zwischen den beiden Korrekturkomponenten 12, 14 zu bewirken. Dadurch, dass die Verfahrgeschwindigkeiten der ersten und der zweiten Korrekturkomponente verschieden voneinander gewählt werden können, kann die erzeugte Relativbewegung vorteilhafterweise an den vermessenen Oberflächenverlauf der Retikel- bzw. der Substratoberfläche angepasst werden.

[0065] Mithilfe des Manipulators M kann ein beispielhafter Grundabstand von 100 µm zwischen den Oberflächenkonturen 18, 20 entlang der optischen Achse 16 mit einer beispielhaften Genauigkeit von 1 µm eingestellt werden. Ausgehend von dem eingestellten Grundabstand kann die erste und/oder die zweite Korrekturkomponente 12, 14 zusätzlich parallel bzw. senkrecht zur optischen Achse 16 verfahren werden.

[0066] Fig. 2 zeigt eine weitere optische Korrekturanordnung 10b in einer schematischen Seitenansicht. Die optische Korrekturanordnung 10b weist sämtliche Merkmale der in Fig. 1 gezeigten optischen Korrekturanordnung 10a auf. Im Unterschied zur in Fig. 1 gezeigten optischen Korrekturanordnung 10a erstrecken sich die asphärischen Oberflächenkonturen 18, 20 nicht vollständig über die jeweilige Innenseite der ersten bzw. der zweiten Korrekturkomponente 12, 14. Stattdessen sind die asphärischen Oberflächenkonturen 18, 20 in einem von der optischen Achse 16 ausgehenden mittleren Bereich der optischen Korrekturanordnung 10b begrenzt, so dass ein Randbereich 19, 21 der jeweiligen Korrekturkomponente 12, 14 ohne Asphärisierung freiliegt.

[0067] Im Randbereich 19 der ersten Korrekturkomponente 12 sind zwei Permanentmagneten 30a, 30b angebracht, wobei die beiden Permanentmagneten 30a, b voneinander durch die asphärische Oberflächenkontur 18 beabstandet sind. Im Randbereich 21 der zweiten Korrekturkomponente 14 sind zwei Elektromagneten 32a, b angebracht, die durch die asphärische Oberflächenkontur 20 voneinander beabstandet sind. Wie in Fig. 2 gezeigt sind die Permanentmagneten 30a, b und die Elektromagneten 32a, b auf der dem Zwischenraum 17 zugewandten Innenseite der jeweiligen Korrekturkomponente 12, 14 angebracht. Die Permanent- und Elektromagneten 30a, b, 32a, b bilden

somit eine magnetische Anordnung mit zwei Magnetpaaren: das erste Magnetpaar besteht aus dem Permanentmagneten 30a und dem Elektromagneten 32a; das zweite Magnetpaar besteht aus dem Permanentmagneten 30b und dem Elektromagneten 32b.

[0068] Die erste Korrekturkomponente 12 ist in vertikaler Richtung von der zweiten Korrekturkomponente 14 beabstandet, wobei die beiden Korrekturkomponenten in Richtung senkrecht zur optischen Achse, d. h. in horizontaler Richtung, zueinander ausgerichtet sind. In diesem Zustand sind die Permanentmagneten 30a, b und die Elektromagneten 32a, b derart angeordnet, dass die beiden Magneten jedes Magnetpaares in vertikaler Richtung überlappend angeordnet sind.

[0069] Die magnetische Anordnung bildet somit einen Manipulator zum Verfahren der ersten und der zweiten Korrekturkomponente 12, 14. Dabei wird eine abstoßende elektromagnetische Kraftwirkung zwischen dem Permanentmagneten 30a, b und dem Elektromagneten 32a, b des jeweiligen Magnetpaares genutzt, was nachfolgend näher erläutert wird.

[0070] In der Nulllage der optischen Korrekturanordnung 10b sind die erste und die zweite Korrekturkomponente 12, 14 vorzugsweise vertikal so nahe zueinander gebracht, dass eine kleine Lücke zwischen den asphärischen Oberflächenkonturen 18, 20 das Verfahren der zweiten Korrekturkomponente 14 in horizontaler Richtung 24 gerade noch erlaubt. Diese Lücke (entlang der optischen Achse 16 gemessen) entspricht beispielsweise der Höhe der maximalen Erhebung der asphärischen Oberflächenkontur 18, 20. Die Nulllage kann mittels durch Anlegen einer elektrischen Spannung an den Elektromagneten 32a, b erzeugter abstoßender elektromagnetischer Kräfte zwischen den beiden Magneten des jeweiligen Magnetpaares aufrechterhalten werden. Dabei wirken die elektromagnetischen Kräfte der Gewichtskraft zumindest der ersten Korrekturkomponente 12 und der Permanentmagneten 30a, b entgegen.

[0071] Um eine gewünschte Korrekturwirkung zu erzeugen, müssen die beiden Korrekturkomponenten 12, 14 relativ zueinander verfahren bzw. verlagert werden. Hierzu wird die an den Elektromagneten 32a, b angelegte elektrische Spannung zunächst

erhöht oder erniedrigt, um die erste Korrekturkomponente 12 vertikal weiter von der zweiten Korrekturkomponente 16 entfernt bzw. näher an diese heran zu verfahren. Zum Aufrechterhalten der eingestellten Relativposition zwischen den Korrekturkomponenten 12, 14 kann die elektrische Spannung im Anschluss an den Einstellvorgang konstant gehalten werden. Auf diese Weise kann die erste Korrekturkomponente 12 vertikal auch schrittweise (etwa durch Anlegen einer schrittweise zu- bzw. abnehmenden elektrischen Spannung) bzw. mit einem vergleichsweise kleinen und schnellen "Hub" verfahren werden. Außerdem kann die zweite Korrekturkomponente 14 horizontal schrittweise bzw. mit einem vergleichsweise großen und langsamen "Hub" ausgelenkt werden, wobei die Auslenkung pro Schritt/Hub vorzugsweise größer als bei der ersten Korrekturkomponente 12 ist.

[0072] Außerdem kann die angelegte elektrische Spannung um Rausch- und/oder herstellungsbedingte Fehlerbeiträge geeicht werden. Vorzugsweise wird an den beiden Magnetpaaren die gleiche elektrische Spannung angelegt, so dass sich die Kraftkomponenten in horizontaler Richtung ausgleichen, um eine versehentliche horizontale Verlagerung der zweiten Korrekturkomponente 14 zu vermeiden.

[0073] Die Elektromagneten 32a, b werden vorzugsweise mittels einer in Fig. 2 nicht eingezeichneten Steuereinheit angesteuert, die beispielsweise einen Regelkreis aufweist. Somit kann die elektrische Spannung und folglich die elektromagnetischen Kräfte vorteilhafterweise besonders präzise eingestellt werden. Das Verfahren der Korrekturkomponenten 12, 14 kann hierdurch besonders genau und sicher erfolgen.

[0074] Wie in Fig. 2 zu sehen ist, ist ein erstes Führungsmittel 26 zur Führung der ersten Korrekturkomponente 12 in vertikaler Richtung bereitgestellt. Das erste Führungsmittel 26 ist vorzugsweise als vertikale Schiene zur vertikalen Gleitführung der ersten Korrekturkomponente 12 zwischen zwei einander zugewandten Gleitflächen 27a, 27b, ausgebildet. Die Gleitflächen 27a, b verlaufen in vertikaler Richtung, wobei der Abstand zwischen den Gleitflächen 27a, b im Wesentlichen der Breite der ersten Korrekturkomponente 12 entspricht. Hierdurch kann vorteilhafterweise sichergestellt werden, dass die erste Korrekturkomponente 12 nur in vertikaler Richtung bewegbar ist. Die zweite Korrekturkomponente 14 ist, wie ebenfalls in Fig. 2 gezeigt, entlang eines zweiten

Führungsmittels 28 in horizontaler Richtung verfahrbar. Das zweite Führungsmittel 28 ist vorzugsweise als eine in horizontaler Richtung verlaufende Gleitschiene, weiter vorzugsweise als mechanischer Stößel, ausgebildet.

[0075] In Fig. 3 ist die optische Korrekturanordnung 10b aus Fig. 2 gezeigt, wobei die erste Korrekturanordnung 12 in vertikaler Richtung im Vergleich zur in Fig. 2 gezeigten Lage weiter von der zweiten Korrekturanordnung 14 beabstandet ist, was durch den Pfeil 22' veranschaulicht ist.

[0076] Ferner ist die zweite Korrekturkomponente 14 gegenüber der ersten Korrekturkomponente 12 in horizontaler Richtung entlang des zweiten Führungsmittels 28 ausgelenkt, was durch den Pfeil 24' veranschaulicht ist. Dies kann dadurch bewerkstelligt werden, dass eine höhere elektrische Spannung an einem der beiden Elektromagneten 32a, b (hier beispielsweise dem Elektromagneten 32a) als an dem anderen Elektromagneten (hier beispielsweise dem Elektromagneten 32b) angelegt wird.

[0077] Nachfolgend wird das Korrigieren von Overlay-Fehlern am Beispiel der Korrekturanordnung 10b näher erläutert, wobei das gleiche Wirkungsprinzip auch für die die Korrekturanordnungen 10a, c aus Fig. 1 und 4 gilt.

[0078] Bei der Belichtung eines einzelnen Dies eines Halbleiter-Wafers mit Hilfe eines Projektionsobjektivs wird ein Retikel mit dem Belichtungslicht beaufschlagt. Beim Scannen verschiebt sich der Lichteintrittspunkt in einer ersten horizontalen Richtung, um beispielsweise die gesamte Breite/Länge des Retikels oder eines vordefinierten Feldes auf der Retikeloberfläche durchzufahren. Je nach Breite/Länge variiert die Dauer eines solchen Scanvorgangs, wobei diese typischerweise 34 Millisekunden (ms) betragen kann. Vor der Belichtung erfolgt eine Vorbereitungsphase zur Einstellung der optischen Korrekturanordnung mit Hilfe des Manipulators, wobei die Vorbereitungsphase typischerweise 54 ms dauert. Somit ergibt sich eine Gesamtbelichtungsdauer von etwa 88 ms pro Die.

[0079] Während des Scanvorgangs für jedes Die kann sich die Fokusslage des Projektionsobjektivs aufgrund fehlerhafter Oberflächen des Retikels und/oder des Substrats verschieben, wobei die Verschiebung zeitlich stark veränderlich sein kann. Um dieser Verschiebung der Fokusslage entgegenzuwirken, wird die erste Korrekturkomponente 12 mit Hilfe des Manipulators M entsprechend schnell in vertikaler Richtung 22, 22' ausgelenkt. Dies setzt voraus, dass der Oberflächenverlauf des Retikels/Substrats vorher vermessen und der Steuereinheit (hier aus Übersichtlichkeitsgründen nicht gezeigt) des Manipulators M zugeführt worden ist, damit dieser die erste Korrekturkomponente 12 gemäß des vermessenen Oberflächenverlaufs auslenkt. Dabei kann die Auslenkung während des Scanvorgangs gleichmäßig oder ungleichmäßig, d.h. mit konstanter oder veränderlicher Geschwindigkeit/Beschleunigung erfolgen. Denkbar ist auch eine zusätzliche Auslenkung der zweiten Korrekturkomponente 14 in horizontaler Richtung 24, 24' während des Scanvorgangs.

[0080] Um eine Mehrzahl von Dies auf einem Halbleiter-Wafer durchzuscannen, muss der obige Scanvorgang je nach Anzahl der Dies wiederholt werden, wobei vor dem Scanschritt ("Scan") jedes weiteren Dies das Projektionsobjektiv in einem Vorbereitungsschritt ("Step") erneut eingestellt wird. Auf diese Weise kann der gesamte Wafer mittels eines "Step and Scan"-Verfahrens belichtet werden.

[0081] Die aufeinanderfolgenden Scanvorgänge für die Mehrzahl an Dies ergeben eine Schwingungsbewegung der ersten Korrekturkomponente 12, die zumindest näherungsweise periodisch ist. Geht man von der oben genannten Gesamtbelichtungsdauer eines Dies von 88 ms aus, ergibt sich eine Frequenz von ca. 11,4 Hz, die beispielsweise durch Anlegen einer Wechselspannung mit derselben Frequenz oder einer periodisch veränderlichen Spannung gleichbleibenden Vorzeichens zu bewerkstelligen ist. Somit ist die vertikale Auslenkung der ersten Korrekturkomponente 12 relativ zur zweiten Korrekturkomponente 14 an den typischen Scanrhythmus vorteilhafterweise angepasst.

[0082] Um die Kraftwirkung zu verstärken oder eine schnellere Änderung der relativen Lage zwischen den Korrekturkomponenten 12, 14 zu bewerkstelligen, können weitere Permanent- und/oder Elektromagneten an der optischen Korrekturanordnung 10b angebracht sein. Beispielsweise können die weiteren Permanent- und/oder

Elektromagneten auf der der zweiten Korrekturkomponente 14 abgewandten Seite der ersten Korrekturkomponente 12 angebracht werden. Alternativ oder zusätzlich kann zumindest eine der Korrekturkomponenten 12, 14 mittels einer Federeinrichtung gehalten sein.

[0083] Die optische Korrekturanordnung 10b kann eine dritte Korrekturkomponente aufweisen, die beispielsweise in Richtung der optischen Achse 16 der zweiten Korrekturkomponente 14 nachgeschaltet ist. In diesem Fall kann die zweite Korrekturkomponente 14, die die mittlere Korrekturkomponente der Korrekturanordnung 10b ist, in vertikaler Richtung und/oder in horizontaler Richtung relativ zu den Führungsmitteln 26, 28 ortsfest angeordnet sein.

[0084] Fig. 4 zeigt eine Korrekturkomponente 13 in einer schematischen Draufsicht mit einer Blickrichtung entlang der optischen Achse. Die Korrekturkomponente 13 kann der ersten 12 oder der zweiten Korrekturkomponente 14 der in Fig. 2-3 gezeigten optischen Korrekturanordnung 10b entsprechen und weist eine magnetische Anordnung 33 auf.

[0085] Wie in Fig. 4 gezeigt ist die Korrekturkomponente 13 in horizontaler Richtung quadratisch ausgebildet. Die asphärischen Oberflächenkonturen 18, 20 ist in einem durch den gestrichelten Kreis 35, dessen Mittelpunkt 36 auf der optischen Achse liegt, angedeuteten optischen Wirkungsbereich 34 ausgebildet ist. Die magnetische Anordnung 33 ist in dem Randbereich 19, 21 der Korrekturkomponente 13 außerhalb des optischen Wirkungsbereichs 34 angeordnet.

[0086] Wie in Fig. 4 gezeigt ist die magnetische Anordnung 33 ferner kreisförmig um den Mittelpunkt 36 ausgebildet. Die magnetische Anordnung 33 weist acht kreisbogenförmige Segmente auf, wobei jeder Segment einen äußeren Magneten 33o und einen inneren Magneten 33i umfasst. Die äußeren Magneten 33o bilden einen äußeren Kreis, wobei die inneren Magneten 33i einen inneren Kreis bilden, der zum äußeren Kreis konzentrisch ist. Dabei sind die Segmente derart gleichmäßig verteilt, dass ihre jeweilige Kreisbogenform dem gleichen Bogenwinkel α einschließt.

[0087] Statt einer magnetischen Anordnung kann der Manipulator zum Verfahren der ersten und/oder der zweiten Korrekturkomponente einen Aktor aufweisen. In Fig. 5 ist ein solcher Aktor 38a, b zum vertikalen Verfahren der ersten Korrekturkomponente 12 einer weiteren optischen Korrekturanordnung 10c gezeigt. Der Aktor 38a, b ist im Randbereich 19 der ersten Komponente 12 angeordnet und erstreckt sich von einer Halterung 39a, b bis zur Innenseite des Randbereichs 19 der ersten Korrekturkomponente 12. Die Halterung 39a, b ist an eine vertikale Führungsschiene angebunden und bildet mit dieser das erste Führungsmittel 26.

[0088] Der Aktor 38a, b ist vorzugsweise an einem Ende an der Halterung 39a, b festgelegt, wobei die vertikale Erstreckung des Aktors 38a, b variierbar ist. Hierdurch kann die erste Korrekturkomponente 12 in vertikaler Richtung verfahren werden. Der Aktor 38a, b kann einen Ultraschallmotor, einen Linearmotor, einen Druckbalg, einen auf elektroaktiven Polymeren basierenden Aktor und/oder einen auf Tauchspulen agierenden Aktor aufweisen.

[0089] Fig. 6 zeigt eine schematische Darstellung einer mikrolithografischen Apparatur, die beispielsweise als Projektionsbelichtungsanlage 40 ausgebildet ist. Die Projektionsbelichtungsanlage 40 weist eine Lichtquelle 42 zur Erzeugung des Belichtungslichtes, eine Beleuchtungsoptik 44 zum Leiten des Belichtungslichtes in Richtung eines Retikels 54 und eines Projektionsobjektivs 46 auf. Das Retikel 54 enthält Mikro- bzw. Nanostrukturen, die mittels des Projektionsobjektivs 46 auf die Oberfläche eines Substrats 58 abzubilden sind. Die Mikro- bzw. Nanostrukturen legen die Objektebene 56 fest. Die Substratoberfläche legt die Bildebene 60 fest. Ferner ist das Substrat durch einen Wafertisch 62 getragen.

[0090] Das Projektionsobjektiv 46 weist eine optische Korrekturanordnung, beispielsweise eine der vorstehend beschriebenen optischen Korrekturanordnungen 10a, b, c zum Manipulieren der optischen Wellenfront des Belichtungslichtes auf. Ferner weist das Projektionsobjektiv 46, wie in Fig. 6 gezeigt, weitere optische Elemente, insbesondere Linsen 48, 50, entlang der optischen Achse 16 auf.

[0091] Die Korrekturkomponenten der optischen Korrekturanordnung 10a, b, c können mittels eines Manipulators (hier aus Übersichtlichkeitsgründen nicht gezeigt) verfahren werden, wobei der Manipulator durch eine Steuereinheit 52 angesteuert wird. Durch Betätigung der Steuereinheit 52 können die verschiedenen Korrekturkomponenten der optischen Korrekturanordnung 10a, b, c relativ zueinander in vertikaler bzw. in horizontaler Richtung verlagert werden. Insbesondere können die Korrekturkomponenten mit verschiedenen Geschwindigkeiten verfahren werden.

[0092] Mit Hilfe der Korrekturanordnungen 10a,b,c können im einstelligen Nanometerbereich liegenden Abbildungsfehler bei Feld- und/oder Pupillenabbildung, insbesondere Feldverläufe höherer Ordnung einzelner Zernikes (bspw. Z2 dritter bis fünfter Ordnung, Z5 erster und zweiter Ordnung sowie Z10 erster und dritter Ordnung, ...) mit hoher Genauigkeit korrigiert werden. Derartige Korrekturen führen zu einer signifikanten Reduktion des Overlay-Fehlers.

Patentansprüche

1. Optische Korrekturanordnung, mit einer ersten und einer zweiten Korrekturkomponente (12, 13, 14), die entlang einer optischen Achse (16) hintereinander angeordnet sind, wobei die erste und die zweite Korrekturkomponente (12, 13, 14) mit asphärischen Oberflächenkonturen (18, 20) versehen sind, die sich in einer Nulllage der optischen Korrekturanordnung (10a, 10b, 10c) zumindest näherungsweise insgesamt zu null addieren, einem Manipulator zum Verfahren der ersten Korrekturkomponente (12) in einer ersten Richtung (22) mit einer ersten Geschwindigkeit und zum Verfahren der zweiten Korrekturkomponente (14) in einer zweiten Richtung (24) mit einer zweiten Geschwindigkeit, **dadurch gekennzeichnet**, dass die erste Geschwindigkeit höher als die zweite Geschwindigkeit ist.
2. Optische Korrekturanordnung nach Anspruch 1, **dadurch gekennzeichnet**, dass die erste Geschwindigkeit um mindestens eine Größenordnung höher als die zweite Geschwindigkeit ist.
3. Optische Korrekturanordnung nach einem der Anspruch 1 oder 2, **dadurch gekennzeichnet**, dass der Manipulator dazu ausgebildet ist, um die erste Korrekturkomponente (12) gemäß einer Schwingungsbewegung entlang der ersten Richtung zu verfahren.
4. Optische Korrekturanordnung nach Anspruch 3, **dadurch gekennzeichnet**, dass die Schwingungsbewegung eine periodische Schwingungsbewegung ist, deren Periode an eine Belichtungsdauer für einen Halbleiter-Chip angepasst ist.
5. Optische Korrekturanordnung nach Anspruch 4, **dadurch gekennzeichnet**, dass die Periode der Schwingungsbewegung unterhalb von 100 ms, vorzugsweise unterhalb von 80 ms, weiter vorzugsweise unterhalb von 40 ms liegt.

6. Optische Korrekturanordnung nach Anspruch 4 oder 5, **dadurch gekennzeichnet**, dass die erste Geschwindigkeit der ersten Korrekturkomponente (12) innerhalb der Periode der Schwingungsbewegung veränderlich ist.
7. Optische Korrekturanordnung nach einem der Ansprüche 1 bis 6, **dadurch gekennzeichnet**, dass die erste Richtung parallel zur optischen Achse (16) ist.
8. Optische Korrekturanordnung nach einem der Ansprüche 1 bis 7, **dadurch gekennzeichnet**, dass die zweite Richtung senkrecht zur optischen Achse (16) ist.
9. Optische Korrekturanordnung nach einem der Ansprüche 1 bis 8, **dadurch gekennzeichnet**, dass der Manipulator dazu ausgebildet ist, um die erste und die zweite Korrekturkomponente (12, 13, 14) gleichzeitig zu verfahren.
10. Optische Korrekturanordnung nach einem der Ansprüche 1 bis 9, **dadurch gekennzeichnet**, dass der Manipulator zumindest teilweise in einem Randbereich (19, 21) der ersten und/oder der zweiten Korrekturkomponente (12, 13, 14) angeordnet ist, wobei der Randbereich (19, 21) außerhalb der asphärischen Oberflächenkonturen (18, 20) gebildet ist.
11. Optische Korrekturanordnung nach einem der Ansprüche 1 bis 10, **dadurch gekennzeichnet**, dass der Manipulator eine magnetische Anordnung aufweist.
12. Optische Korrekturanordnung nach Anspruch 11, **dadurch gekennzeichnet**, dass die magnetische Anordnung zumindest einen ersten Magneten (30a, 30b) und zumindest einen zweiten Magneten (32a, 32b) aufweist, wobei der zumindest eine erste Magnet (30a, 30b) an der ersten Korrekturkomponente (12) und der zumindest eine zweite Magnet (32a, 32b) an der zweiten Korrekturkomponente (14) angeordnet sind.

13. Optische Korrekturanordnung nach Anspruch 12, **dadurch gekennzeichnet**, dass der zumindest eine erste Magnet (30a, 30b) ein Permanentmagnet und/oder der zumindest eine zweite Magnet (32a, 32b) ein Elektromagnet ist.
14. Optische Korrekturanordnung nach einem der Ansprüche 1 bis 13, **dadurch gekennzeichnet**, dass der Manipulator mit einem Führungsmittel (26, 28) zur Führung der ersten und/oder der zweiten Korrekturkomponente (12, 13, 14) parallel und/oder senkrecht zur optischen Achse (16) zusammenwirkt.
15. Optische Korrekturanordnung nach einem der Ansprüche 1 bis 14, **gekennzeichnet durch** eine dritte Korrekturkomponente.
16. Optische Korrekturanordnung nach Anspruch 15, **dadurch gekennzeichnet**, dass die in Richtung der optischen Achse (16) mittlere Korrekturkomponente der optischen Korrekturanordnung (10a, 10b, 10c) relativ zur optischen Achse (16) ortsfest ausgebildet ist.
17. Optische Korrekturanordnung nach einem der Ansprüche 1 bis 16, **dadurch gekennzeichnet**, dass die erste, die zweite und/oder die dritte Korrekturkomponente (12, 13, 14) mittels einer Federeinrichtung gehalten ist.
18. Optische Korrekturanordnung nach einem der Ansprüche 1 bis 17, **dadurch gekennzeichnet**, dass der Manipulator zumindest einen Aktor (38a, 38b) aufweist.
19. Projektionsobjektiv für mikrolithografische Anwendungen, **dadurch gekennzeichnet**, dass das Projektionsobjektiv (46) zumindest einen optischen Korrekturanordnung (10a, 10b, 10c) nach einem der Ansprüche 1 bis 18 aufweist.
20. Mikrolithografische Apparatur, beispielsweise eine Projektionsbelichtungsanlage (40), **dadurch gekennzeichnet**, dass die mikrolithografische Apparatur ein Projektionsobjektiv (46) nach Anspruch 19 aufweist.

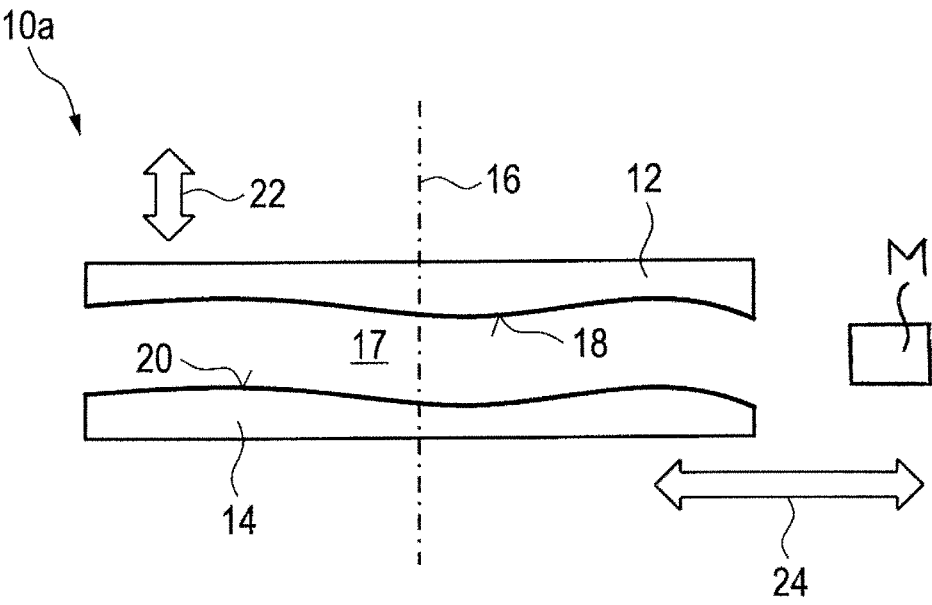


Fig. 1

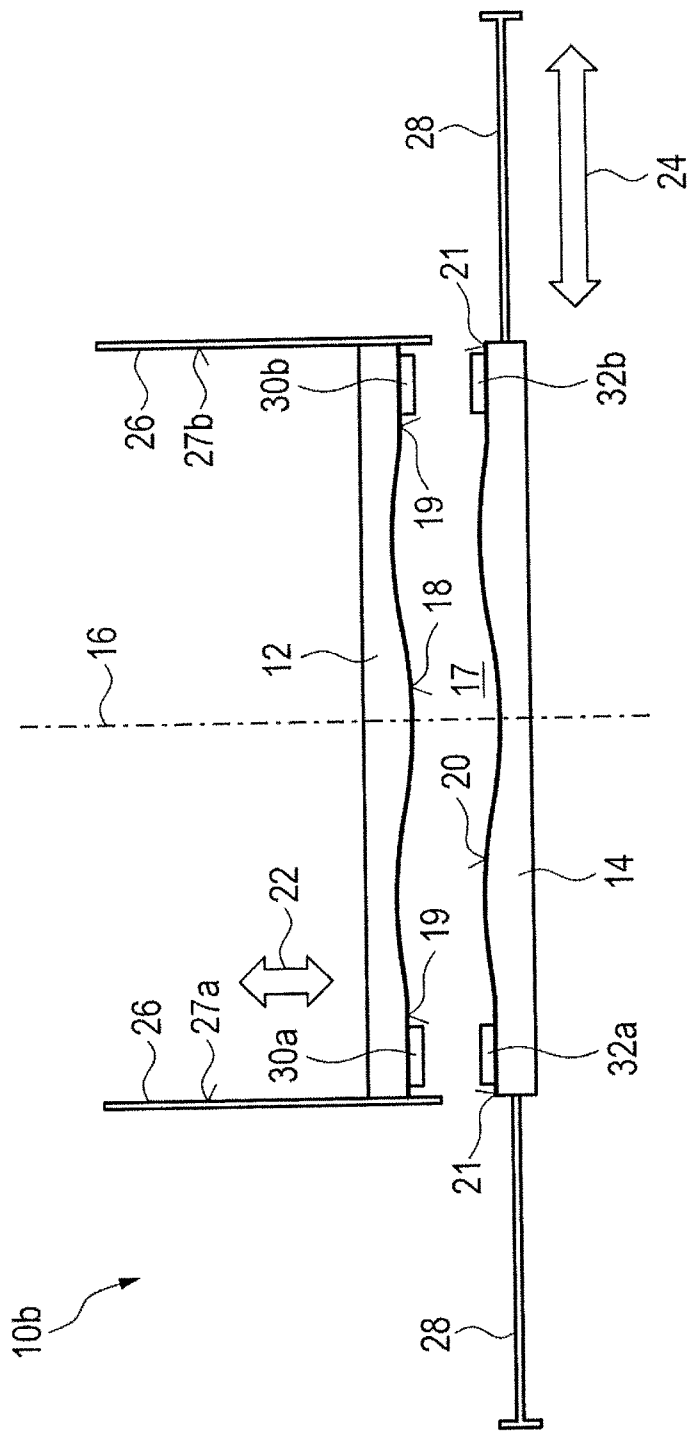


Fig. 2

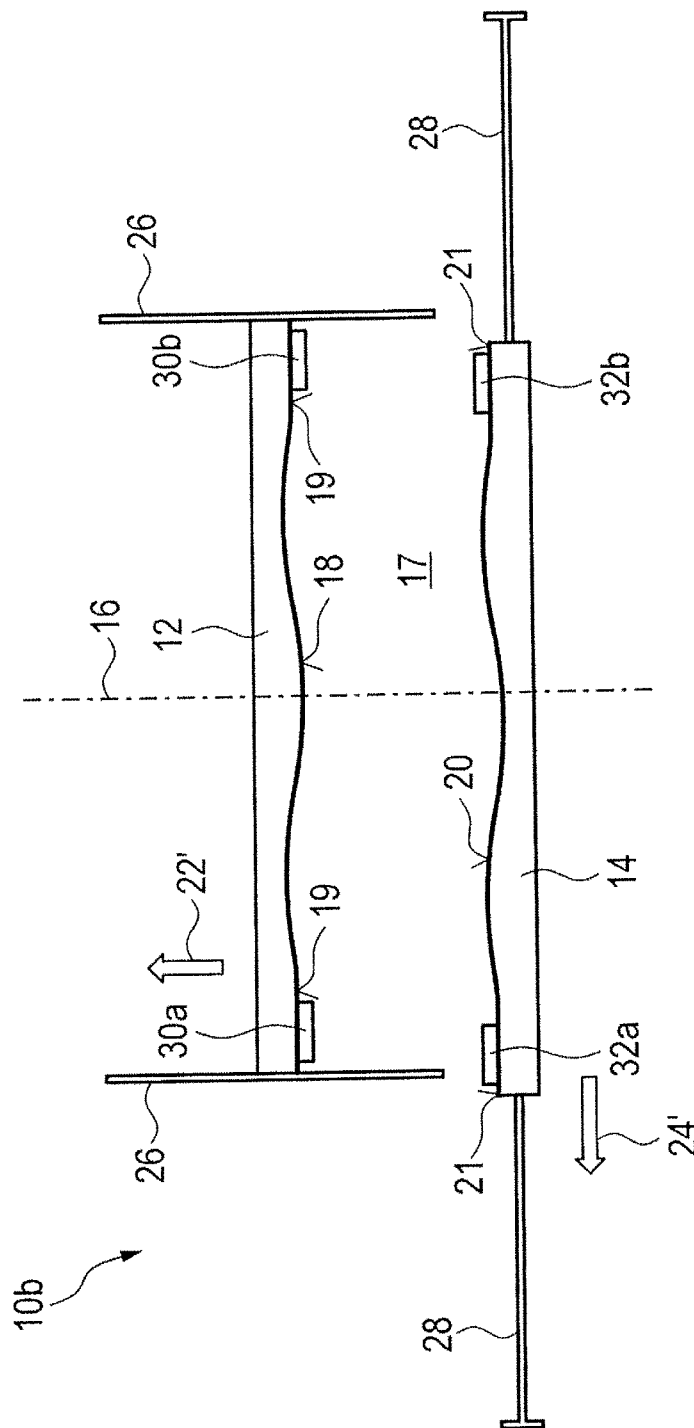
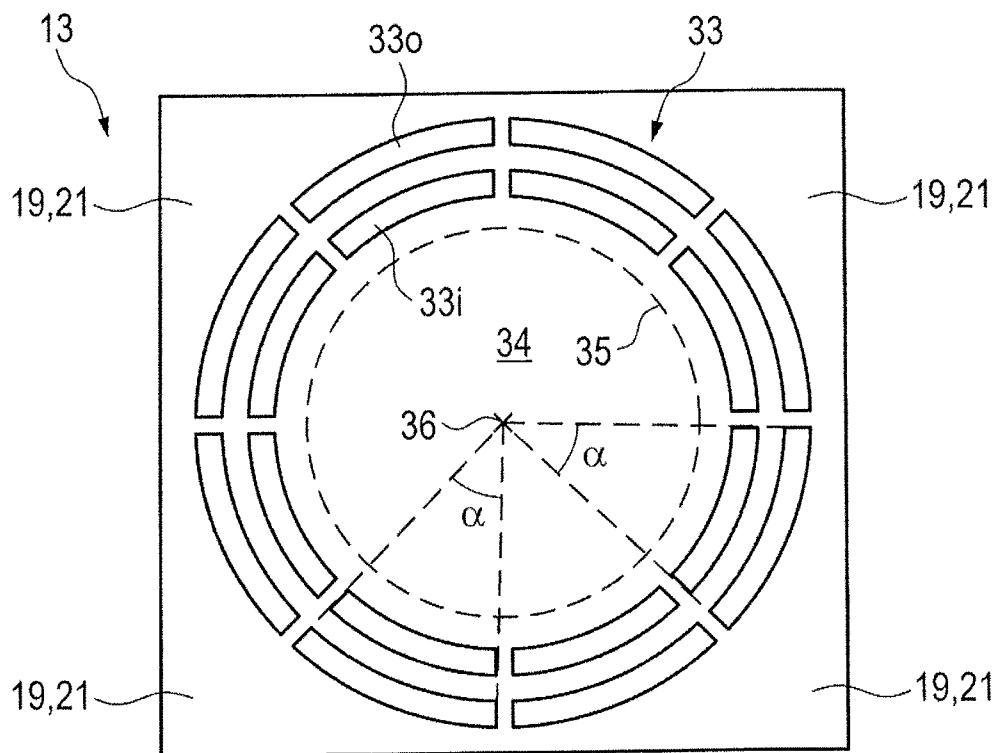


Fig. 3

**Fig. 4**

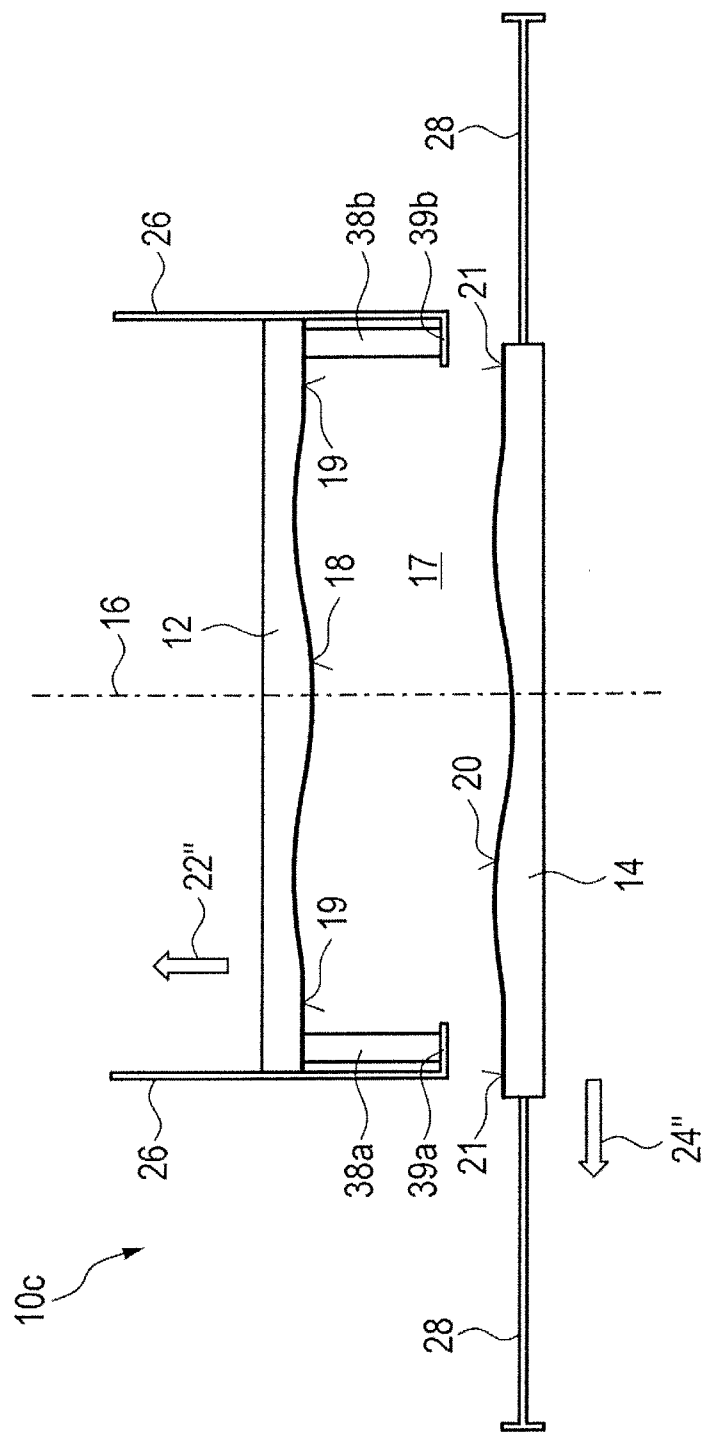


Fig. 5

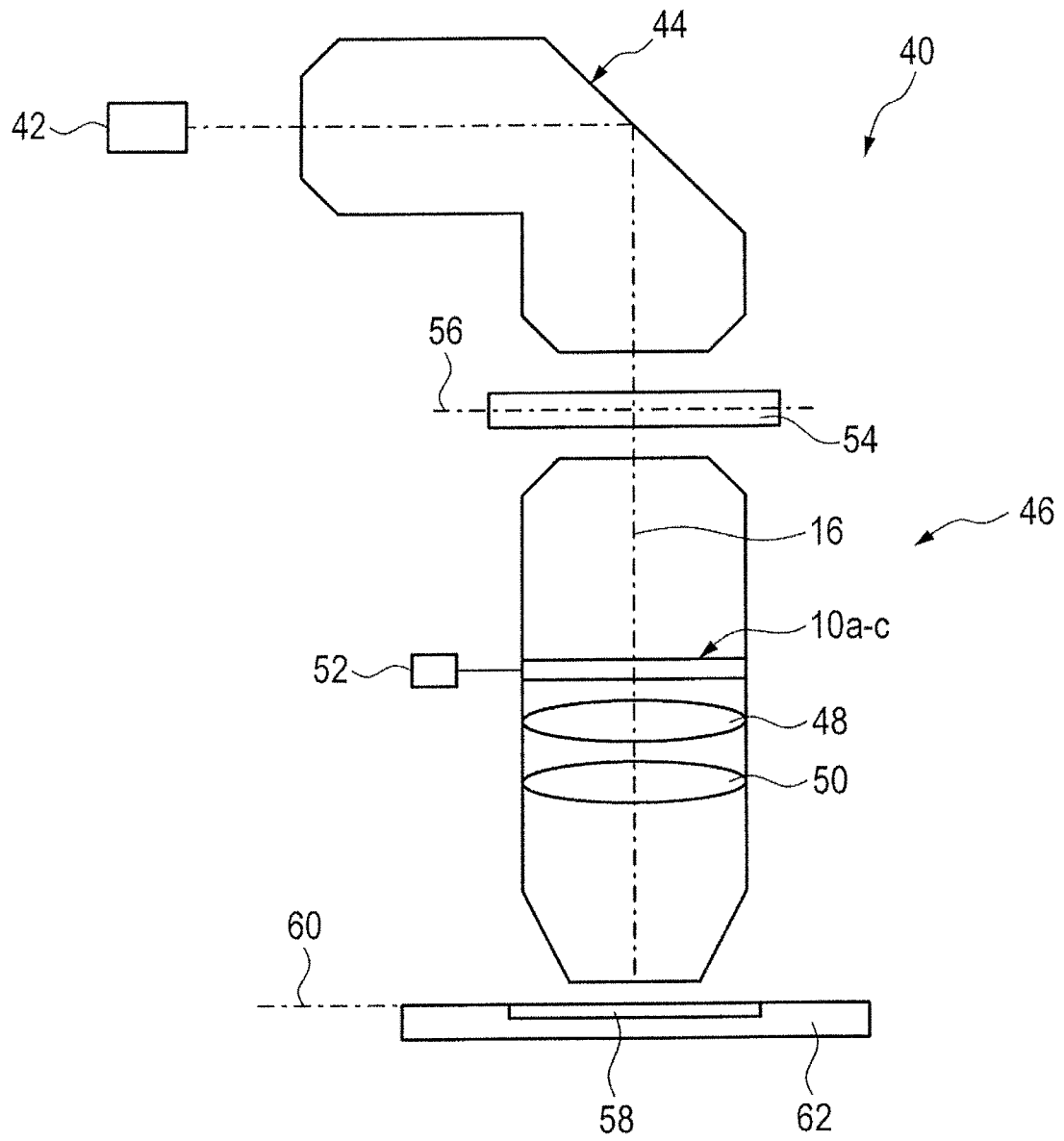


Fig. 6

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No
PCT/EP2016/070981

A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER
INV. G02B26/06 G03F7/20 G02B27/00
ADD.

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)
G02B G03F

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

C. DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
X	DE 10 2013 204572 A1 (ZEISS CARL SMT GMBH [DE]) 18 September 2014 (2014-09-18) the whole document	1,8-10, 14,15, 18-20
X	EP 0 851 304 A2 (CANON KK [JP]) 1 July 1998 (1998-07-01) paragraphs [0096] - [0098], [0102] - [0111], [0143], [0193]; figures 4-6,8,14,21	1,8,15
X	US 2009/213352 A1 (GOEHNERMEIER AKSEL [DE]) 27 August 2009 (2009-08-27) paragraph [0060] - paragraph [0081]; figure 3 ----- -/-	1,7



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

9 November 2016

Date of mailing of the international search report

21/11/2016

Name and mailing address of the ISA/

European Patent Office, P.B. 5818 Patentlaan 2
NL - 2280 HV Rijswijk
Tel. (+31-70) 340-2040,
Fax: (+31-70) 340-3016

Authorized officer

Andreassen, Jon

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No
PCT/EP2016/070981

C(Continuation). DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT		
Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
A	DE 10 2008 043243 A1 (ZEISS CARL SMT AG [DE]) 29 October 2009 (2009-10-29) the whole document -----	1-20
A	JP H10 142555 A (NIPPON KOGAKU KK) 29 May 1998 (1998-05-29) the whole document -----	1-20

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

Information on patent family members

International application No

PCT/EP2016/070981

Patent document cited in search report	Publication date	Patent family member(s)	Publication date
DE 102013204572 A1	18-09-2014	DE 102013204572 A1	18-09-2014
		JP 2016516213 A	02-06-2016
		KR 20150119190 A	23-10-2015
		TW 201504769 A	01-02-2015
		US 2016054662 A1	25-02-2016
		WO 2014139990 A1	18-09-2014

EP 0851304 A2	01-07-1998	DE 69728126 D1	22-04-2004
		DE 69728126 T2	20-01-2005
		EP 0851304 A2	01-07-1998
		TW 409304 B	21-10-2000
		US 6104472 A	15-08-2000

US 2009213352 A1	27-08-2009	DE 102007046419 A1	03-04-2008
		JP 2010506388 A	25-02-2010
		TW 200839455 A	01-10-2008
		US 2009213352 A1	27-08-2009
		WO 2008040494 A1	10-04-2008

DE 102008043243 A1	29-10-2009	NONE	

JP H10142555 A	29-05-1998	NONE	

A. KLASSIFIZIERUNG DES ANMELDUNGSGEGENSTANDES
 INV. G02B26/06 G03F7/20 G02B27/00
 ADD.

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

B. RECHERCHIERTE GEBIETE

Recherchierter Mindestprüfstoff (Klassifikationssystem und Klassifikationssymbole)
 G02B G03F

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

C. ALS WESENTLICH ANGESEHENE UNTERLAGEN

Kategorie*	Bezeichnung der Veröffentlichung, soweit erforderlich unter Angabe der in Betracht kommenden Teile	Betr. Anspruch Nr.
X	DE 10 2013 204572 A1 (ZEISS CARL SMT GMBH [DE]) 18. September 2014 (2014-09-18) das ganze Dokument -----	1,8-10, 14,15, 18-20
X	EP 0 851 304 A2 (CANON KK [JP]) 1. Juli 1998 (1998-07-01) Absätze [0096] - [0098], [0102] - [0111], [0143], [0193]; Abbildungen 4-6,8,14,21 -----	1,8,15
X	US 2009/213352 A1 (GOEHNERMEIER AKSEL [DE]) 27. August 2009 (2009-08-27) Absatz [0060] - Absatz [0081]; Abbildung 3 -----	1,7
A	DE 10 2008 043243 A1 (ZEISS CARL SMT AG [DE]) 29. Oktober 2009 (2009-10-29) das ganze Dokument ----- -/-	1-20



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

9. November 2016

Absendedatum des internationalen Recherchenberichts

21/11/2016

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

Andreassen, Jon

C. (Fortsetzung) ALS WESENTLICH ANGESEHENE UNTERLAGEN		
Kategorie*	Bezeichnung der Veröffentlichung, soweit erforderlich unter Angabe der in Betracht kommenden Teile	Betr. Anspruch Nr.
A	JP H10 142555 A (NIPPON KOGAKU KK) 29. Mai 1998 (1998-05-29) das ganze Dokument -----	1-20

INTERNATIONALER RECHERCHENBERICHT

Angaben zu Veröffentlichungen, die zur selben Patentfamilie gehören

Internationales Aktenzeichen

PCT/EP2016/070981

Im Recherchenbericht angeführtes Patentdokument	Datum der Veröffentlichung	Mitglied(er) der Patentfamilie	Datum der Veröffentlichung
DE 102013204572 A1	18-09-2014	DE 102013204572 A1	18-09-2014
		JP 2016516213 A	02-06-2016
		KR 20150119190 A	23-10-2015
		TW 201504769 A	01-02-2015
		US 2016054662 A1	25-02-2016
		WO 2014139990 A1	18-09-2014

EP 0851304 A2	01-07-1998	DE 69728126 D1	22-04-2004
		DE 69728126 T2	20-01-2005
		EP 0851304 A2	01-07-1998
		TW 409304 B	21-10-2000
		US 6104472 A	15-08-2000

US 2009213352 A1	27-08-2009	DE 102007046419 A1	03-04-2008
		JP 2010506388 A	25-02-2010
		TW 200839455 A	01-10-2008
		US 2009213352 A1	27-08-2009
		WO 2008040494 A1	10-04-2008

DE 102008043243 A1	29-10-2009	KEINE	

JP H10142555 A	29-05-1998	KEINE	
