(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
02. Juni 2022 (02.06.2022)

WIPO | PCT

(10) Internationale Veröffentlichungsnummer
WO 2022/112071 A1

(51) Internationale Patentklassifikation:
G03F 7/20 (2006.01) *G02B 17/00* (2006.01)
G02B 5/09 (2006.01) *G02B 26/08* (2006.01)

(21) Internationales Aktenzeichen: PCT/EP2021/082009

(22) Internationales Anmeldedatum:
17. November 2021 (17.11.2021)

(25) Einreichungssprache: Deutsch

(26) Veröffentlichungssprache: Deutsch

(30) Angaben zur Priorität:
10 2020 214 800.7
25. November 2020 (25.11.2020) DE

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

(72) Erfinder: **SCHMITTNER, Arno**; Hermelinstr. 16/2, 73434 Aalen (DE). **ANDERL, Willi**; Posener Str. 7, 73460 Huettlingen (DE). **AMELING, Ralf**; Biberweg 15, 73434 Aalen (DE). **LIPPOLDT, Stefan**; Silcherstr. 9, 73430 Aalen (DE). **ROSSEELS, Joram**; Tinstraat 35, 2580 Putte (BE). **JANSSEN, Rob Wilhelmus Maria**; Parallelweg 34, 6231 CJ Meerssen (NL).

(74) Anwalt: **HORN KLEIMANN WAITZHOFER PATENTANWÄLTE PARTG MBB**; Ganghoferstr. 29a, 80339 München (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, DJ, DK, DM, DO, DZ, EC, EE, EG, ES, FI, GB, GD, GE, GH, GM, GT, HN, HR, HU, ID, IL, IN, IR, IS, IT, 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, ST, SV, SY, TH, TJ, TM,

WO 2022/112071 A1

(54) **Title:** FIELD FACET SYSTEM AND LITHOGRAPHY APPARATUS

(54) **Bezeichnung:** FELDFACETTENSYSTEM UND LITHOGRAPHIEANLAGE

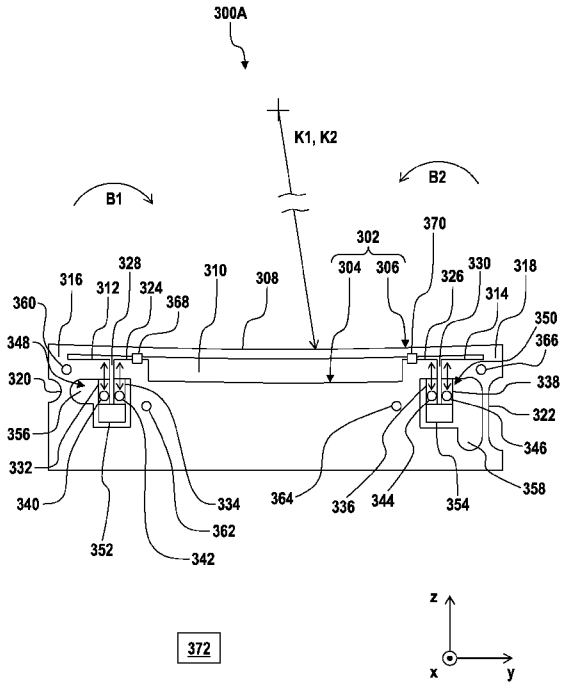


Fig. 10

(57) **Abstract:** The invention relates to a field facet system (300A, 300B, 300C, 300D, 300E, 300F, 300G, 300H) for a lithography apparatus (100A, 100B), said system comprising: an optical element (302), the optical element (302) comprising a base body (204) and an elastically deformable facet portion (306) which is connected to the base body (204) and has a light-reflecting optically active surface (308); and a plurality of actuating elements (332, 334, 336, 338) for deforming the facet portion (306) in order to change a radius of curvature (K1, K2) of the optically active surface (308), the actuating elements (332, 334, 336, 338) being operatively connected to the facet portion (306) so as to isolate a heat-induced deflection of the actuating elements (332, 334, 336, 338) from the facet portion (306) such that the radius of curvature (K1, K2) is not affected by said heat-induced deflection of the actuating elements (332, 334, 336, 338).

(57) **Zusammenfassung:** Ein Feldfacettensystem (300A, 300B, 300C, 300D, 300E, 300F, 300G, 300H) für eine Lithographieanlage (100A, 100B), aufweisend ein optisches Element (302), wobei das optische Element (302) einen Basiskörper (204) und einen mit dem Basiskörper (204) verbundenen und elastisch deformierbaren Facettenabschnitt (306) mit einer lichtreflektieren den optisch wirksamen Fläche (308) umfasst, und mehrere Stellelemente (332, 334, 336, 338) zum Deformieren des Facettenabschnitts (306), um einen Krümmungsradius (K1, K2) der optisch wirksamen Fläche (308) zu verändern, wobei die Stellelemente (332, 334, 336, 338) derart mit dem Facettenabschnitt (306) wirkverbunden sind, dass eine wärmebedingte Auslenkung der Stellelemente (332, 334, 336, 338) von dem Facettenabschnitt (306) derart entkoppelt ist, dass der Krümmungsradius (K1, K2) von der wärmebedingten Auslenkung der Stellelemente (332, 334, 336, 338) unbeeinflusst ist.

[Fortsetzung auf der nächsten Seite]

TN, TR, TT, TZ, UA, UG, US, UZ, VC, VN, WS, ZA, ZM, ZW.

(84) **Bestimmungsstaaten** *(soweit nicht anders angegeben, für jede verfügbare regionale Schutzrechtsart)*: ARIPO (BW, 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)*

FELDFACETTENSYSTEM UND LITHOGRAPHIEANLAGE

Die vorliegende Erfindung betrifft ein Feldfacettensystem für eine Lithographieanlage und eine Lithographieanlage mit einem derartigen Feldfacettensystem.

Der Inhalt der Prioritätsanmeldung DE 10 2020 214 800.7 wird durch Bezugnahme vollumfänglich mit einbezogen.

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

Getrieben durch das Streben nach immer kleineren Strukturen bei der Herstellung integrierter Schaltungen werden derzeit EUV-Lithographieanlagen (Engl.: Extreme Ultraviolet, EUV) entwickelt, welche Licht mit einer Wellenlänge im Bereich von 0,1 nm bis 30 nm, insbesondere 13,5 nm, verwenden. Bei solchen EUV-Lithographieanlagen müssen wegen der hohen Absorption der meisten Materialien von Licht dieser Wellenlänge reflektierende Optiken, das heißt Spiegel, anstelle von - wie bisher - brechenden Optiken, das heißt, Linsen, eingesetzt werden. Diese Spiegel arbeiten entweder im nahezu senkrechten Einfall oder im streifenden Einfall (Engl.: Grazing Incidence).

Das Beleuchtungssystem umfasst insbesondere einen Feldfacettenspiegel und einen Pupillenfacettenspiegel. Der Feldfacettenspiegel und der Pupillenfacetten-

spiegel können als sogenannte Facettenspiegel ausgebildet sein, wobei derartige Facettenspiegel oftmals jeweils mehrere hundert Facetten aufweisen. Die Facetten des Feldfacettenspiegels werden auch als "Feldfacetten" und die Facetten des Pupillenfacettenspiegels als "Pupillenfacetten" bezeichnet. Mehrere Pupillenfacetten können einer Feldfacette zugeordnet sein. Um eine gute Beleuchtung bei einer hohen numerischen Apertur zu erhalten ist es wünschenswert, dass die eine Feldfacette zwischen den ihr zugeordneten Pupillenfacetten schaltbar ist.

Dadurch, dass die eine Feldfacette schaltbar ist, ist der Abstand zwischen der einen Feldfacette und der ihr zugeordneten Pupillenfacette für jede Schaltstellung verschieden. Bei fester Brechkraft der einen Feldfacette kann das Bild auf der entsprechenden Pupillenfacette je nach Schaltstellung defokussiert sein. Diese Defokussierung führt zu einer Limitierung bei der Verringerung des Pupillenfüllgrads. Unter dem "Pupillenfüllgrad" ist dabei vorliegend das Verhältnis einer bestrahlten Fläche relativ zu einer gesamten optisch wirksamen Fläche der jeweiligen Pupillenfacette zu verstehen. Um höhere Auflösungen des Projektionssystems zu erzielen, ist es jedoch erforderlich, den Pupillenfüllgrad weiter zu reduzieren. Daher ist es wünschenswert, dass die Feldfacetten abhängig von ihrer Schaltstellung deformierbar sind, um die Defokussierung zumindest zu verringern oder ganz zu eliminieren.

Die DE 10 2017 221 420 A1 beschreibt ein EUV-Beleuchtungssystem für eine EUV-Lithographieanlage, eine Lithographieanlage sowie ein Verfahren zum Erzeugen einer Beleuchtungsstrahlung mit einem EUV-Beleuchtungssystem.

Die DE 10 2013 206 981 A1 zeigt einen Facettenspiegel für eine Projektionsbelichtungsanlage sowie eine entsprechende Projektionsbelichtungsanlage und ein Verfahren zum Betrieb des Facettenspiegels beziehungsweise der Projektionsbelichtungsanlage.

Die DE 101 51 919 A beschreibt ein optisches Element mit einer optischen Achse sowie eine Vorrichtung zur Einleitung einer zwei- oder mehrwelligen Deformation in dieses optische Element.

Vor diesem Hintergrund besteht eine Aufgabe der vorliegenden Erfindung darin, ein verbessertes Feldfacettensystem vorzuschlagen.

Demgemäß wird ein Feldfacettensystem für eine Lithographieanlage vorgeschlagen. Das Feldfacettensystem umfasst ein optisches Element, wobei das optische Element einen Basiskörper und einen mit dem Basiskörper verbundenen und elastisch deformierbaren Facettenabschnitt mit einer lichtreflektierenden optisch wirksamen Fläche aufweist, und mehrere Stellelemente zum Deformieren des Facettenabschnitts, um einen Krümmungsradius der optisch wirksamen Fläche zu verändern, wobei die Stellelemente derart mit dem Facettenabschnitt wirkverbunden sind, dass eine wärmebedingte Auslenkung der Stellelemente von dem Facettenabschnitt derart entkoppelt ist, dass der Krümmungsradius von der wärmebedingten Auslenkung der Stellelemente unbeeinflusst ist.

Durch die Entkopplung der wärmebedingten Auslenkung der Stellelemente von dem Facettenabschnitt kann eine unerwünschte Deformation der optisch wirksamen Fläche aufgrund der wärmebedingten Auslenkung der Stellelemente zuverlässig verhindert werden. Dies erhöht die Performance des Feldfacettensystems.

Das Feldfacettensystem ist insbesondere Teil eines Strahlformungs- und Beleuchtungssystems der Lithographieanlage. Insbesondere ist das Feldfacettensystem Teil eines Facettenspiegels, insbesondere eines Feldfacettenspiegels. Ein derartiger Facettenspiegel umfasst bevorzugt eine Vielzahl derartiger Feldfacettensysteme, die zeilenförmig oder musterförmig angeordnet sind. Dabei kann jedes Feldfacettensystem für sich in mehrere unterschiedliche Kippositionen

verkippt werden. Hierzu kann jedes Feldfacettensystem ein weiteres Stellelement aufweisen, das geeignet ist, das gesamte Feldfacettensystem als eine Einheit zu verkippen. Dieses letztgenannte Stellelement kann ein sogenannter Lorentz-Aktuator sein.

Das optische Element ist bevorzugt eine Facette, Spiegelfacette oder Feldfacette beziehungsweise kann als solche bezeichnet werden. Der Facettenabschnitt ist insbesondere stabförmig oder balkenförmig und kann im Querschnitt eine rechteckförmige, trapezförmige oder beliebig andere Geometrie aufweisen. Der Facettenabschnitt weist beispielsweise eine Breite, eine Länge und eine Stärke auf. Das Verhältnis der Länge zur Breite beträgt bevorzugt etwa 10:1. Die Stärke ist vorzugsweise geringer als die Breite. Dem Feldfacettensystem ist ein Koordinatensystem mit einer ersten Raumrichtung oder x-Richtung, einer zweiten Raumrichtung oder y-Richtung und einer dritten Raumrichtung oder z-Richtung zugeordnet. Die Raumrichtungen sind senkrecht zueinander positioniert.

Die Breite ist entlang der x-Richtung orientiert. Daher kann die x-Richtung auch als Breitenrichtung bezeichnet werden. Die Länge ist entlang der y-Richtung orientiert. Daher kann die y-Richtung auch als Längsrichtung oder Längenrichtung bezeichnet werden. Die Stärke ist entlang der z-Richtung orientiert. Daher kann die z-Richtung auch als Stärkenrichtung oder Hochrichtung bezeichnet werden. Unter der "Längenrichtung" ist insbesondere jene Raumrichtung zu verstehen, in welcher das optische Element seine größte geometrische Ausdehnung aufweist.

Das optische Element ist aus einem Spiegelsubstrat oder Substrat gefertigt. Das Substrat kann insbesondere Kupfer, insbesondere eine Kupferlegierung, eine Eisen-Nickel-Legierung, wie beispielsweise in Invar, oder einen anderen geeigneten Werkstoff umfassen. Vorderseitig an dem Facettenabschnitt, das heißt dem Grundkörper abgewandt, ist die optisch wirksame Fläche vorgesehen. Die

optisch wirksame Fläche kann eine Spiegelfläche sein. Die optisch wirksame Fläche kann mit Hilfe einer auf das Substrat aufgebrachten Beschichtung hergestellt sein.

Die optisch wirksame Fläche ist geeignet, Licht, insbesondere EUV-Strahlung, zu reflektieren. Dies schließt jedoch nicht aus, dass zumindest ein Teil des Lichts von dem Facettenabschnitt absorbiert wird, wodurch in diesen Wärme eingebracht wird. Der Facettenabschnitt beziehungsweise die optisch wirksame Fläche weist in der Aufsicht, das heißt in einer Blickrichtung senkrecht auf die optisch wirksame Fläche, eine rechteckförmige Geometrie auf. Der Facettenabschnitt beziehungsweise die optisch wirksame Fläche kann in der Aufsicht jedoch auch bogenförmig oder sichelförmig gekrümmt sein.

Die optisch wirksame Fläche ist bevorzugt gekrümmt. Im einfachsten Fall ist die optisch wirksame Fläche zylinderförmig gekrümmt. Die Form der optisch wirksamen Fläche kann jedoch auch ein Torus oder ein Ellipsoid sein. Für den Fall, dass eine torusförmige Geometrie vorgesehen ist, weist diese einen Scheitelpunkt auf. Vorzugsweise umfasst die optisch wirksame Fläche einen ersten Krümmungsradius, welcher eine Krümmung der optisch wirksamen Fläche in einer von der y-Richtung und der z-Richtung aufgespannten Ebene angibt.

Ferner umfasst die optisch wirksame Fläche einen sich von dem ersten Krümmungsradius unterscheidenden zweiten Krümmungsradius, welcher eine Krümmung der optisch wirksamen Fläche in einer von der x-Richtung und der z-Richtung aufgespannten Ebene angibt. Der erste Krümmungsradius und der zweite Krümmungsradius sind senkrecht zueinander positioniert. Die Krümmungsradien schneiden sich insbesondere in dem zuvor erwähnten Scheitelpunkt. Der erste Krümmungsradius ist vorzugsweise größer als der zweite Krümmungsradius. Mit Hilfe des Deformierens des Facettenabschnitts wird ins-

besondere der erste Krümmungsradius verändert. Je nach Anordnung der Stellelemente kann jedoch auch der zweite Krümmungsradius beeinflusst werden.

Die Stellelemente können als Aktoren oder Aktuatoren bezeichnet werden. Vorzugsweise sind zumindest zwei Stellelemente vorgesehen. Es können jedoch auch drei, vier, fünf, sechs, sieben, acht, neu, zehn oder elf Stellelemente vorgesehen sein. Auch mehr als elf Stellelemente sind möglich. Das heißt, dass die Anzahl der Stellelemente grundsätzlich beliebig ist. Die Stellelemente sind bevorzugt sogenannten Wegaktuatoren. Unter einem "Wegaktuator" ist ein Stellelement zu verstehen, welches im Gegensatz zu einem Kraftaktuator keine feste Kraft, sondern einen Weg vorgibt. Unter einem "Kraftaktuator" hingegen ist ein Stellelement zu verstehen, welches im Gegensatz zu einem Wegaktuator keinen festen Weg, sondern eine Kraft vorgibt. Ein Beispiel für einen Wegaktuator ist ein Piezoelement. Ein Beispiel für einen Kraftaktuator ist ein wie zuvor schon erwähnter Lorentz-Aktuator. Das heißt, die Stellelemente können Piezoelemente oder Piezostapel sein oder aufweisen. Die Stellelemente können jedoch beispielsweise auch pneumatische oder hydraulische Stellelemente sein.

Den Stellelementen ist bevorzugt eine Steuereinheit zugeordnet, die ein Ansteuern, insbesondere ein Bestromen, der Stellelemente ermöglicht, so dass diese den Facettenabschnitt deformieren. Beispielsweise werden die Stellelemente mit Hilfe eines Bestromens von einem unausgelenkten Zustand in einen ausgelenkten Zustand verbracht. Zwischen dem unausgelenkten Zustand und dem ausgelenkten Zustand ist eine beliebige Anzahl an Zwischenzuständen vorgesehen. Sobald die Stellelemente nicht mehr bestromt werden, verbringen sich diese bevorzugt selbsttätig von dem ausgelenkten Zustand zurück in den unausgelenkten Zustand. Bevorzugt kann der Krümmungsradius, insbesondere der erste Krümmungsradius, beziehungsweise die Krümmungsradien mit Hilfe der Stellelemente stufenlos verändert werden.

Stellelemente, welche auf Piezokeramiken, wie Blei-Zirkonat-Titanat (PZT), basieren, nämlich wie zuvor erwähnte Piezoelemente, besitzen einen negativen Wärmeausdehnungskoeffizienten. Dieser kann bei einer homogenen Erwärmung des optischen Elements zu einer wärmebedingten Auslenkung, beispielsweise zu einer Längenänderung, des jeweiligen Stellelements gegenüber dem Grundkörper und somit zu einer parasitären Veränderung des Stellwegs des Stellelements führen. Diese wärmebedingte Veränderung des Stellwegs oder allgemeiner die wärmebedingte Auslenkung des Stellelements kann mit Hilfe einer geeigneten Anordnung, insbesondere einer Orientierung ihrer Wirkrichtung gegenüber der Wirkrichtung der beabsichtigten Deformation, sowie der Gestaltung der Wirkverbindung zwischen den Stellelementen und dem Facettenabschnitt kompensiert werden. Das heißt, die wärmebedingte Auslenkung des jeweiligen Stellelements führt nicht zu einer unerwünschten Deformation des Facettenabschnitts. Unter der "Auslenkung" des Stellelements kann beispielsweise eine Längenänderung oder eine Verkrümmung des Stellelements zu verstehen sein.

Dass der Facettenabschnitt "elastisch deformierbar" ist, bedeutet vorliegend, dass der Facettenabschnitt von einem unausgelenkten oder undeformierten Zustand in einen ausgelenkten oder deformierten Zustand und zurück verbracht werden kann. In dem undeformierten Zustand kann der, insbesondere erste, Krümmungsradius größer als in dem deformierten Zustand sein. Zum Verbringen des Facettenabschnitts von dem undeformierten in den deformierten Zustand wird in den Facettenabschnitt mit Hilfe der Stellelemente ein Biegemoment eingeleitet. Beispielsweise werden in zwei Endbereiche des Facettenabschnitts zwei entgegengesetzt orientierte Biegemomente eingebracht. Nachfolgend wird jedoch nur auf ein Biegemoment Bezug genommen.

Sobald das Biegemoment nicht mehr auf den Facettenabschnitt aufgebracht wird, verformt sich dieser selbstständig von dem verformten Zustand zurück in den unverformten Zustand. Das heißt, dass die Verformung oder Deformation

des Facettenabschnitts reversibel ist. Insbesondere ist der Facettenabschnitt in Richtung des unverformten Zustands vorgespannt, insbesondere federvorgespannt. In dem unverformten Zustand kann die optisch wirksame Fläche eben sein oder eine zylinderförmige Krümmung aufweisen.

Die Wirkverbindung zwischen den Stellelementen und dem Facettenabschnitt kann beliebig ausgebildet sein. Die Wirkverbindung ist jedoch immer derart ausgebildet, dass die wärmebedingte Auslenkung der Stellelemente, beispielsweise bei einer homogenen Erwärmung des Feldfacettensystems keine oder annähernd keine Deformation des Facettenabschnitts bewirkt. Dass der Krümmungsradius von der wärmebedingten Auslenkung der Stellelemente "unbeeinflusst" ist, bedeutet vorliegend, dass selbst bei einer wärmebedingten Auslenkung, beispielsweise bei einer Verkürzung oder Verlängerung der Stellelemente, keine Veränderung des Krümmungsradius erfolgt. Das heißt, dass der Krümmungsradius nur durch eine gewollte Ansteuerung der Stellelemente verändert werden kann. Eine ungewollte Veränderung des Krümmungsradius aufgrund wärmebedingter Auslenkung der Stellelemente erfolgt nicht.

Gemäß einer Ausführungsform ist zumindest ein Teil der Stellelemente mit Hilfe von Hebelarmen mit dem Facettenabschnitt gekoppelt.

Vorzugsweise umfasst das Feldfacettensystem erste Stellelemente und zweite Stellelemente. Insbesondere sind die ersten Stellelemente mit Hilfe der Hebelarme mit dem Facettenabschnitt gekoppelt. Die zweiten Stellelemente sind insbesondere mit dem Basiskörper gekoppelt. Mit Hilfe der Hebelarme kann das zuvor erwähnte Biegemoment auf den Facettenabschnitt aufgebracht werden. Hierzu werden mit Hilfe der Stellelemente Kräfte auf die Hebelarme aufgebracht. Insbesondere werden randseitig oder endseitig auf den Facettenabschnitt zwei entgegengesetzt orientierte Biegemomente aufgebracht. Die Hebelarme sind insbesondere mit Hilfe von Verbindungsbereichen mit dem Facettenab-

schnitt verbunden. Zwischen den Hebelarmen und dem Facettenabschnitt ist ein Spalt vorgesehen, welcher mit Hilfe der Verbindungsbereiche überbrückt wird. Der Spalt verhindert eine ungewollte Versteifung des Facettenabschnitts im Bereich der Hebelarme.

Gemäß einer weiteren Ausführungsform ist ein erster Hebelarm der Hebelarme mit Hilfe eines ersten Gelenkabschnitts, welcher nur eine rotatorische Bewegung des ersten Hebelarms um eine erste Raumrichtung erlaubt, gelenkig mit dem Grundkörper verbunden, wobei ein zweiter Hebelarm der Hebelarme mit Hilfe eines zweiten Gelenkabschnitts, welcher eine rotatorische Bewegung des zweiten Hebelarms um die erste Raumrichtung erlaubt, gelenkig mit dem Grundkörper verbunden ist.

Der erste Hebelarm und der zweite Hebelarm sind vorzugsweise als sogenannte Festkörpergelenke ausgebildet. Unter einem "Festkörpergelenk" ist vorliegend ein Bereich eines Bauteils, welcher eine Relativbewegung zwischen zwei Starrkörperbereichen durch Biegung erlaubt, zu verstehen. Die beiden Starrkörperbereiche werden durch den Basiskörper und den jeweiligen Hebelarm gebildet. Die Gelenkabschnitte sind elastisch verformbar. Der zweite Gelenkabschnitt kann derart ausgebildet sein, dass dieser ausschließlich eine rotatorische Bewegung des zweiten Hebelarms um die erste Raumrichtung erlaubt. Alternativ kann der zweite Gelenkabschnitt auch derart ausgebildet sein, dass dieser zusätzlich zu der rotatorischen Bewegung des zweiten Hebelarms um die erste Raumrichtung noch eine weitere Bewegung erlaubt.

Gemäß einer weiteren Ausführungsform erlaubt der zweite Gelenkabschnitt zusätzlich eine translatorische Bewegung des zweiten Gelenkabschnitts entlang einer sich von der ersten Raumrichtung unterscheidenden zweiten Raumrichtung, um eine wärmebedingte Ausdehnung des Facettenabschnitts entlang der zweiten Raumrichtung zu kompensieren.

Auf die optisch wirksame Fläche fällt das zu reflektierende Arbeitslicht, insbesondere EUV-Strahlung, ein und erwärmt den Facettenabschnitt. Das heißt, dass der Facettenabschnitt im Vergleich zu dem Grundkörper einen höheren Wärmeeintrag aufweist. Hierdurch dehnt sich der Facettenabschnitt wärmebedingt stärker als der Grundkörper aus. Mit Hilfe des zweiten Gelenkabschnitts kann diese wärmebedingte Ausdehnung des Facettenabschnitts kompensiert werden. Der zweite Gelenkabschnitt kann sich dabei S-förmig deformieren. Unter einer "translatorischen" Bewegung ist vorliegend eine lineare Bewegung entlang einer Geraden, nämlich der zweiten Raumrichtung, zu verstehen. Die erste Raumrichtung und die zweite Raumrichtung sind insbesondere senkrecht zueinander orientiert.

Gemäß einer weiteren Ausführungsform sind die Stellelemente Linearstellelemente, welche sich in Abhängigkeit von einer Ansteuerung derselben entlang einer sich von der ersten Raumrichtung und der zweiten Raumrichtung unterscheidenden dritten Raumrichtung ausdehnen und verkürzen.

Unter einem "Linearstellelement" ist demgemäß folgend ein Stellelement zu verstehen, welches sich entlang seiner Haupterstreckungsrichtung, vorliegend der dritten Raumrichtung, ausdehnen und verkürzen kann. Die Stellelemente sind dabei derart angeordnet, dass das Ausdehnen und Verkürzen derselben senkrecht zu der optisch wirksamen Fläche erfolgt. Die dritte Raumrichtung ist somit senkrecht zu dem Facettenabschnitt beziehungsweise zu der optisch wirksamen Fläche orientiert. Das Ansteuern kann ein Bestromen umfassen. Beispielsweise vergrößert sich die Auslenkung des Stellelement mit einer steigenden Spannung, die an das jeweilige Stellelement angelegt wird.

Gemäß einer weiteren Ausführungsform sind die Stellelemente Linearstellelemente, welche sich in Abhängigkeit von einer Ansteuerung derselben entlang

einer sich von der ersten Raumrichtung unterscheidenden zweiten Raumrichtung ausdehnen und verkürzen.

Das heißt, die Stellelemente sind derart angeordnet, dass das Ausdehnen und Verkürzen parallel zu der optisch wirksamen Fläche beziehungsweise parallel zu der zweiten Raumrichtung erfolgt. Hierdurch kann eine Bauraumverkleinerung erzielt werden. Das heißt, das Feldfacettensystem kann entlang der dritten Raumrichtung betrachtet kompakter gestaltet werden.

Gemäß einer weiteren Ausführungsform sind die Stellelemente Scherstellelemente, welche sich in Abhängigkeit von einer Ansteuerung derselben in einer von der zweiten Raumrichtung und der dritten Raumrichtung aufgespannten Ebene verkrümmen.

Das heißt, dass sich die als Scherstellelemente ausgebildeten Stellelemente im Vergleich zu den als Linearstellelementen ausgebildeten Stellelemente nicht ausdehnen und verkürzen, sondern verkrümmen. Dabei ist diese Krümmung in Abhängigkeit von dem Ansteuern des Stellelements, beispielsweise in Abhängigkeit von einer angelegten Spannung, variabel.

Gemäß einer weiteren Ausführungsform sind die Stellelemente mit Hilfe von entlang der zweiten Raumrichtung biegeweichen Entkopplungsgelenken mit den Hebelarmen gekoppelt.

"Biegeweich" bedeutet vorliegend, dass die Entkopplungsgelenke entlang der zweiten Raumrichtung keine oder annähernd keine Kräfte übertragen können. Hierdurch kann eine thermische Entkopplung der Stellelemente erreicht werden. Wärmebedingte Auslenkungen der Stellelemente werden somit mit Hilfe der Entkopplungsgelenke kompensiert. Jedes Entkopplungsgelenk kann zwei endseitig miteinander verbundene Blattfedern umfassen, wobei eine der Blattfe-

dern mit dem jeweiligen Stellelement und die andere Blattfeder mit dem jeweiligen Hebelarm gekoppelt ist.

Gemäß einer weiteren Ausführungsform sind die Stellelemente paarweise in Stellelementpaaren parallel zueinander angeordnet, wobei jeweils ein erstes Stellelement der Stellelementpaare mit dem Facettenabschnitt gekoppelt ist, wobei jeweils ein zweites Stellelement der Stellelementpaare mit dem Grundkörper gekoppelt ist, und wobei das erste Stellelement und das zweite Stellelement jedes Stellelementpaares miteinander gekoppelt sind.

Vorzugsweise sind die Stellelemente in diesem Fall als Linearstellelemente ausgebildet. Dass die Stellelemente "parallel" zueinander angeordnet sind, bedeutet vorliegend, dass die Stellelemente eines Stellelementpaares nebeneinander platziert sind und Wirkrichtungen der beiden Stellelemente parallel zueinander verlaufen. Die Stellelemente eines Stellelementpaares sind beispielsweise mit Hilfe eines Verbindungselements miteinander gekoppelt. Das Verbindungselement kann stabförmig sein. Vorzugsweise ist das Verbindungselement aus demselben Werkstoff gefertigt wie der Grundkörper.

Gemäß einer weiteren Ausführungsform sind die ersten Stellelemente mit Hilfe der Hebelarme mit dem Facettenabschnitt gekoppelt, wobei die zweiten Stellelemente mit Hilfe von Armabschnitten mit dem Grundkörper gekoppelt sind.

Zwischen den Hebelarmen und den Armabschnitten sind Spalte vorgesehen. Die ersten Stellelemente sind mit den Hebelarmen verbunden. Die zweiten Stellelemente sind mit den Armabschnitten verbunden, wobei die ersten Stellelemente und die zweiten Stellelemente jeweils paarweise zusammengefasst und mit Hilfe des zuvor erwähnten Verbindungselements jeweils miteinander verbunden sind.

Gemäß einer weiteren Ausführungsform sind die Stellelemente innerhalb des Grundkörpers angeordnet.

Hierdurch kann ein besonders kompakter Bauraum erzielt werden. Gleichzeitig kann eine homogene Erwärmung der Stellelemente gewährleistet werden.

Gemäß einer weiteren Ausführungsform umfasst das Feldfacettensystem ferner Temperatursensoren, welche zum Erfassen einer Temperatur des Grundkörpers, des Facettenabschnitts und/oder der Stellelemente dienen, und/oder das Feldfacettensystem umfasst ferner Wegmesssensoren, welche zum Erfassen einer Deformation des Facettenabschnitts dienen.

Die Temperatursensoren können beispielsweise in oder an dem Grundkörper, in oder an dem Facettenabschnitt sowie in oder an den Stellelementen vorgesehen sein. Mit Hilfe der Temperatursensoren kann eine ungleichmäßige Erwärmung des Feldfacettensystems detektiert werden. Entsprechend dieser Temperaturverteilung können die Stellelemente mit Hilfe eines Korrektursignals angesteuert werden und diese ungleichmäßige Erwärmung des Feldfacettensystems korrigieren.

Gemäß einer weiteren Ausführungsform sind die Stellelemente Piezoaktoren.

Beispielsweise können die Stellelemente Linearpiezoaktoren oder Scherpiezoaktoren sein. Es kann auch jede beliebige andere Art an Stellelementen verwendet werden. Beispielsweise können als Stellelemente Formgedächtnislegierungen, pneumatische oder hydraulische Stellelemente, Servomotoren oder dergleichen eingesetzt werden.

Gemäß einer weiteren Ausführungsform sind der Grundkörper und der Facettenabschnitt einstückig, insbesondere materialeinstückig, ausgebildet.

"Einstückig" oder "einteilig" bedeutet vorliegend, dass der Grundkörper und der Facettenabschnitt ein gemeinsames Bauteil bilden und nicht aus unterschiedlichen Bauteilen zusammengesetzt sind. "Materialeinstückig" bedeutet vorliegend, dass der Grundkörper und der Facettenabschnitt durchgehend aus demselben Material gefertigt sind. Alternativ können der Grundkörper und der Facettenabschnitt auch zwei voneinander getrennte Bauteile sein, die miteinander verbunden sind.

Gemäß einer weiteren Ausführungsform ist der Facettenabschnitt in einer Aufsicht auf die optisch wirksame Fläche bogenförmig gekrümmt, wobei die Steifigkeit des Facettenabschnitts entlang einer Längsrichtung des Facettenabschnitts betrachtet derart variabel ist, dass ein senkrecht zu der optisch wirksamen Fläche orientierter Normalenvektor bei einem Einleiten eines Biegemoments in den Facettenabschnitt ausschließlich um eine Raumrichtung verkippt.

Wie zuvor erwähnt, wird unter der Aufsicht eine Blickrichtung senkrecht auf die optisch wirksame Fläche verstanden. Unter der "Steifigkeit" ist vorliegend insbesondere der Widerstand des Facettenabschnitts beziehungsweise allgemein eines Körpers gegen eine elastische Verformung durch eine Kraft oder ein Moment zu verstehen. Insbesondere ist unter der "Steifigkeit" die Torsionssteifigkeit des Facettenabschnitts, also die Steifigkeit gegen ein den Facettenabschnitt tordierendes oder verwindendes Torsionsmoment, zu verstehen. Die Steifigkeit eines Bauteils hängt zum einen von den elastischen Eigenschaften des Werkstoffs, wie beispielsweise dem Elastizitätsmodul, und zum anderen von der Geometrie des verformten Bauteils ab. Dadurch dass die Steifigkeit variabel ist, kann diese derart angepasst werden, dass bei dem Einleiten des Biegemoments in den Facettenabschnitt dieser nicht um die zweite Raumrichtung tordiert, das heißt in sich verdreht, wird. Hierdurch wird verhindert, dass der Normalenvektor um die zweite Raumrichtung verkippt. Unter dem "Normalenvektor" ist vor-

liegend ein Vektor zu verstehen, der senkrecht zu der optisch wirksamen Fläche orientiert ist. Das Biegemoment wirkt um die erste Raumrichtung. Das Biegemoment führt zu einer Biegung des Facettenabschnitts, jedoch nicht zu einer Torsion oder Verdrehung desselben. Die Längsrichtung erstreckt sich im Wesentlichen entlang der zweiten Raumrichtung. Dabei kann die Längsrichtung, wie der Facettenabschnitt selbst, gekrümmt sein. Der Facettenabschnitt weist bevorzugt einen ersten Endbereich und einen zweiten Endbereich auf, in die entgegengesetzt orientierte Biegemomente eingeleitet werden können. Mittig zwischen den Endbereichen ist eine Symmetrieebene des Facettenabschnitts vorgesehen. Die Längsrichtung ist von dem jeweiligen Endbereich hin zu der Symmetrieebene orientiert.

Gemäß einer weiteren Ausführungsform ist der Elastizitätsmodul des Facettenabschnitts entlang der Längsrichtung betrachtet variabel.

Beispielsweise kann der Elastizitätsmodul ausgehend von den Endbereichen in Richtung der Symmetrieebene abnehmen. Es ist somit ein Verlauf oder Gradient des Elastizitätsmoduls vorgesehen. Als Gradient wird vorliegend der Verlauf der Änderung einer zahlenwertigen physikalischen Größe in Abhängigkeit vom Ort bezeichnet. Der Gradient einer Größe gibt für jeden Ort an, wie sehr sich die Größe ändert und in welcher Richtung die Änderung am größten ist. Eine wie zuvor erwähnte Variation des Elastizitätsmoduls kann durch die Verwendung eines monolithisch gefertigten Basiskörpers, insbesondere des Facettenabschnitts, aus zwei oder mehreren verschiedenen Werkstoffen erzielt werden. Dieser Basiskörper bildet dabei den Facettenabschnitt beziehungsweise der Facettenabschnitt ist aus dem Basiskörper gefertigt. Der Basiskörper kann auch den Grundkörper umfassen. Ein solcher Basiskörper kann durch Verschweißen, Plattieren oder vorzugsweise durch additive oder generative Fertigung, insbesondere 3D-Druck, aus unterschiedlichen Materialien, insbesondere Metallpulvern, hergestellt werden. Insbesondere mit additiven Fertigungsverfahren kön-

nen hybride Bauteile, insbesondere der Facettenabschnitt, mit einem kontinuierlichen Übergang zwischen zwei verschiedenen Werkstoffen, beispielsweise Kupfer und Stahl, erzeugt werden. Zumindest der Facettenabschnitt kann also einen hybriden Aufbau, insbesondere aus Stahl und Kupfer, aufweisen. Auch der Grundkörper kann einen derartigen hybriden Aufbau aufweisen.

Gemäß einer weiteren Ausführungsform ist das Torsionswiderstandsmoment eines Querschnitts des Facettenabschnitts entlang der Längsrichtung betrachtet variabel.

Es kann auch eine Kombination aus dem variablen Elastizitätsmodul und dem variablen Torsionswiderstandsmoment vorgesehen sein. Das Torsionswiderstandsmoment ist ein Maß dafür, welchen Widerstand ein Balken bei Belastung der Entstehung innerer Spannungen entgegensetzt. Das Torsionswiderstandsmoment kann durch eine Geometrie des Querschnitts beeinflusst werden. Beispielsweise kann das Torsionswiderstandsmoment ausgehend von den Endbereichen des Facettenabschnitts in Richtung der Symmetrieebene abnehmen.

Gemäß einer weiteren Ausführungsform ist der Querschnitt trapezförmig.

Der Querschnitt des Facettenabschnitts ist insbesondere nicht nur auf trapezförmige Querschnitte begrenzt, sondern kann eine beliebige Geometrie mit mindestens zwei variablen Querschnittsparametern, wie beispielsweise Breite und Höhe, aufweisen. Denkbar sind beispielsweise Querschnitte in Form von Rechtecken, Dreiecken, Halbellipsen, Rechtecken mit abgeschnittenen Ecken oder andere komplexere Querschnitte.

Gemäß einer weiteren Ausführungsform umfasst der Querschnitt der optisch wirksamen Fläche zugewandt eine erste Breite und der optisch wirksamen Flä-

che abgewandt eine zweite Breite, wobei die erste Breite größer als die zweite Breite ist.

Das heißt, der Querschnitt verjüngt sich ausgehend von der optisch wirksamen Fläche. Der Facettenabschnitt weist insbesondere eine Oberseite, an der die optisch wirksame Fläche vorgesehen ist, und eine Unterseite auf. Die Oberseite weist die erste Breite auf. Die Unterseite weist die zweite Breite auf.

Gemäß einer weiteren Ausführungsform ist die erste Breite entlang der Längsrichtung betrachtet konstant, wobei die die zweite Breite entlang der Längsrichtung betrachtet variabel ist.

Das heißt, dass sich die erste Breite insbesondere nicht verändert und somit auch nicht variabel ist. Beispielsweise verkleinert sich die zweite Breite ausgehend von den Endbereichen hin zu der Symmetrieebene.

Gemäß einer weiteren Ausführungsform umfasst der Querschnitt eine Höhe, welche entlang der Längsrichtung betrachtet variabel ist.

Die Höhe ist insbesondere entlang der dritten Raumrichtung orientiert. Beispielsweise verkleinert sich die Höhe ausgehend von den Endbereichen des Facettenabschnitts hin zu der Symmetrieebene.

Gemäß einer weiteren Ausführungsform umfasst der Facettenabschnitt einen ersten Endbereich und einen zweiten Endbereich, wobei der Facettenabschnitt spiegelsymmetrisch zu einer mittig zwischen dem ersten Endbereich und dem zweiten Endbereich angeordneten Symmetrieebene aufgebaut ist.

Die Spiegelsymmetrie bezieht sich auf den geometrischen Aufbau, das heißt die Abmessungen, des Facettenabschnitts. Die Spiegelsymmetrie bezieht sich jedoch

auch auf die Steifigkeit des Facettenabschnitts. Beispielsweise weist der Facettenabschnitt in einem vorbestimmten Abstand von seiner Symmetrieebene beidseits der Symmetrieebene identische Steifigkeiten auf.

Gemäß einer weiteren Ausführungsform ist der Querschnitt in der Symmetrieebene am kleinsten.

Insbesondere ist eine Querschnittsfläche des Querschnitts in der Symmetrieebene am kleinsten.

Gemäß einer weiteren Ausführungsform vergrößert sich der Querschnitt ausgehend von der Symmetrieebene in Richtung des ersten Endbereichs und in Richtung des zweiten Endbereichs.

Das heißt, dass an den Endbereichen die Querschnittsfläche des Querschnitts größer ist als in der Symmetrieebene.

Ferner wird eine Lithographieanlage mit einem derartigen Feldfacettensystem vorgeschlagen.

Die Lithographieanlage kann eine Vielzahl derartiger Feldfacettensysteme aufweisen. Die Lithographieanlage kann eine EUV-Lithographieanlage oder eine DUV-Lithographieanlage sein. EUV steht für "Extreme Ultraviolet" und bezeichnet eine Wellenlänge des Arbeitslichts zwischen 0,1 nm und 30 nm. DUV steht für "Deep Ultraviolet" und bezeichnet eine Wellenlänge des Arbeitslichts zwischen 30 nm und 250 nm.

"Ein" ist vorliegend nicht zwingend als beschränkend auf genau ein Element zu verstehen. Vielmehr können auch mehrere Elemente, wie beispielsweise zwei, drei oder mehr, vorgesehen sein. Auch jedes andere hier verwendete Zählwort ist

nicht dahingehend zu verstehen, dass eine Beschränkung auf genau die genannte Anzahl von Elementen gegeben ist. Vielmehr sind zahlenmäßige Abweichungen nach oben und nach unten möglich, soweit nichts Gegenteiliges angegeben ist.

Die für das Feldfacettensystem beschriebenen Ausführungsformen und Merkmale gelten für die vorgeschlagene Lithographieanlage entsprechend und umgekehrt.

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

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

Fig. 1A zeigt eine schematische Ansicht einer Ausführungsform einer EUV-Lithographieanlage;

Fig. 1B zeigt eine schematische Ansicht einer Ausführungsform einer DUV-Lithographieanlage;

Fig. 2 zeigt eine schematische Ansicht einer Ausführungsform einer optischen Anordnung für die Lithographieanlage gemäß Fig. 1A oder Fig. 1B;

Fig. 3 zeigt eine schematische Aufsicht einer Ausführungsform eines Feldfacettenspiegels für die optische Anordnung gemäß Fig. 2;

Fig. 4 zeigt eine weitere schematische Ansicht der optischen Anordnung gemäß Fig. 2;

Fig. 5 zeigt eine weitere schematische Ansicht der optischen Anordnung gemäß Fig. 2;

Fig. 6 zeigt eine weitere schematische Ansicht der optischen Anordnung gemäß Fig. 2;

Fig. 7 zeigt eine schematische Ansicht einer Ausführungsform einer Pupillenfacette eines Pupillenfacettenspiegels für die optische Anordnung gemäß Fig. 2;

Fig. 8 zeigt eine weitere schematische Ansicht der Pupillenfacette gemäß Fig. 7;

Fig. 9 zeigt eine schematische Ansicht einer weiteren Ausführungsform einer Pupillenfacette eines Pupillenfacettenspiegels für die optische Anordnung gemäß Fig. 2;

Fig. 10 zeigt eine schematische Ansicht einer Ausführungsform eines optischen Systems für die optische Anordnung gemäß Fig. 2;

Fig. 11 zeigt eine schematische Ansicht einer weiteren Ausführungsform eines optischen Systems für die optische Anordnung gemäß Fig. 2;

Fig. 12 zeigt eine schematische Ansicht einer weiteren Ausführungsform eines optischen Systems für die optische Anordnung gemäß Fig. 2;

Fig. 13 zeigt eine schematische Ansicht einer weiteren Ausführungsform eines optischen Systems für die optische Anordnung gemäß Fig. 2;

Fig. 14 zeigt eine schematische Ansicht einer weiteren Ausführungsform eines optischen Systems für die optische Anordnung gemäß Fig. 2;

Fig. 15 zeigt eine schematische Ansicht einer weiteren Ausführungsform eines optischen Systems für die optische Anordnung gemäß Fig. 2;

Fig. 16 zeigt eine schematische Ansicht einer weiteren Ausführungsform eines optischen Systems für die optische Anordnung gemäß Fig. 2;

Fig. 17 zeigt eine schematische Ansicht einer weiteren Ausführungsform eines optischen Systems für die optische Anordnung gemäß Fig. 2;

Fig. 18 zeigt eine schematische Seitenansicht einer Ausführungsform eines Facettenabschnitts für ein optisches System der optischen Anordnung gemäß Fig. 2;

Fig. 19 zeigt eine schematische Aufsicht des Facettenabschnitts gemäß Fig. 18;

Fig. 20 zeigt eine schematische Vorderansicht des Facettenabschnitts gemäß Fig. 18;

Fig. 21 zeigt eine schematische Seitenansicht einer weiteren Ausführungsform eines Facettenabschnitts für ein optisches System der optischen Anordnung gemäß Fig. 2;

Fig. 22 zeigt eine schematische Aufsicht des Facettenabschnitts gemäß Fig. 21;

Fig. 23 zeigt eine schematische Schnittansicht des Facettenabschnitts gemäß der Schnittlinie A-A der Fig. 21;

Fig. 24 zeigt eine weitere schematische Schnittansicht des Facettenabschnitts gemäß der Schnittlinie B-B der Fig. 21;

Fig. 25 zeigt eine schematische Aufsicht einer weiteren Ausführungsform eines Facettenabschnitts für ein optisches System der optischen Anordnung gemäß Fig. 2;

Fig. 26 zeigt eine schematische Schnittansicht des Facettenabschnitts gemäß der Schnittlinie C-C der Fig. 25;

Fig. 27 zeigt eine weitere schematische Schnittansicht des Facettenabschnitts gemäß der Schnittlinie D-D der Fig. 25;

Fig. 28 zeigt eine weitere schematische Schnittansicht des Facettenabschnitts gemäß der Schnittlinie E-E der Fig. 25;

Fig. 29 zeigt ein schematisches Diagramm, welches einen Fehlerverlauf eines Normalenvektors über der Länge des Facettenabschnitts gemäß Fig. 21 zeigt; und

Fig. 30 zeigt ein schematisches Diagramm, welches einen Fehlerverlauf eines Normalenvektors über der Länge des Facettenabschnitts gemäß Fig. 25 zeigt.

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

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

Die EUV-Lithographieanlage 100A weist eine EUV-Lichtquelle 106A auf. Als EUV-Lichtquelle 106A kann beispielsweise eine Plasmaquelle (oder ein Synchrotron) vorgesehen sein, welche Strahlung 108A im EUV-Bereich (extrem ultravioletter Bereich), also beispielsweise im Wellenlängenbereich von 5 nm bis 20 nm, aussendet. Im Strahlformungs- und Beleuchtungssystem 102 wird die EUV-Strahlung 108A gebündelt und die gewünschte Betriebswellenlänge aus der EUV-Strahlung 108A herausgefiltert. Die von der EUV-Lichtquelle 106A erzeugte EUV-Strahlung 108A weist eine relativ niedrige Transmissivität durch Luft auf, weshalb die Strahlführungsräume im Strahlformungs- und Beleuchtungssystem 102 und im Projektionssystem 104 evakuiert sind.

Das in Fig. 1A dargestellte Strahlformungs- und Beleuchtungssystem 102 weist fünf Spiegel 110, 112, 114, 116, 118 auf. Nach dem Durchgang durch das Strahlformungs- und Beleuchtungssystem 102 wird die EUV-Strahlung 108A auf eine Photomaske (Engl.: Reticle) 120 geleitet. Die Photomaske 120 ist ebenfalls als reflektives optisches Element ausgebildet und kann außerhalb der Systeme 102,

104 angeordnet sein. Weiter kann die EUV-Strahlung 108A mittels eines Spiegels 122 auf die Photomaske 120 gelenkt werden. Die Photomaske 120 weist eine Struktur auf, welche mittels des Projektionssystems 104 verkleinert auf einen Wafer 124 oder dergleichen abgebildet wird.

Das Projektionssystem 104 (auch als Projektionsobjektiv bezeichnet) weist sechs Spiegel M1 bis M6 zur Abbildung der Photomaske 120 auf den Wafer 124 auf. Dabei können einzelne Spiegel M1 bis M6 des Projektionssystems 104 symmetrisch zu einer optischen Achse 126 des Projektionssystems 104 angeordnet sein. Es sollte beachtet werden, dass die Anzahl der Spiegel M1 bis M6 der EUV-Lithographieanlage 100A nicht auf die dargestellte Anzahl beschränkt ist. Es können auch mehr oder weniger Spiegel M1 bis M6 vorgesehen sein. Des Weiteren sind die Spiegel M1 bis M6 in der Regel an ihrer Vorderseite zur Strahlformung gekrümmt.

Fig. 1B zeigt eine schematische Ansicht einer DUV-Lithographieanlage 100B, welche ein Strahlformungs- und Beleuchtungssystem 102 und ein Projektionssystem 104 umfasst. Dabei steht DUV für "tiefes Ultraviolett" (Engl.: Deep Ultraviolet, DUV) und bezeichnet eine Wellenlänge des Arbeitslichts zwischen 30 nm und 250 nm. Das Strahlformungs- und Beleuchtungssystem 102 und das Projektionssystem 104 können - wie bereits mit Bezug zu Fig. 1A beschrieben - von einem Maschinenraum mit entsprechenden Antriebsvorrichtungen umgeben sein.

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

Das in Fig. 1B dargestellte Strahlformungs- und Beleuchtungssystem 102 leitet die DUV-Strahlung 108B auf eine Photomaske 120. Die Photomaske 120 ist als transmissives optisches Element ausgebildet und kann außerhalb der Systeme 102, 104 angeordnet sein. Die Photomaske 120 weist eine Struktur auf, welche mittels des Projektionssystems 104 verkleinert auf einen Wafer 124 oder dergleichen abgebildet wird.

Das Projektionssystem 104 weist mehrere Linsen 128 und/oder Spiegel 130 zur Abbildung der Photomaske 120 auf den Wafer 124 auf. Dabei können einzelne Linsen 128 und/oder Spiegel 130 des Projektionssystems 104 symmetrisch zu einer optischen Achse 126 des Projektionssystems 104 angeordnet sein. Es sollte beachtet werden, dass die Anzahl der Linsen 128 und Spiegel 130 der DUV-Lithographieanlage 100B nicht auf die dargestellte Anzahl beschränkt ist. Es können auch mehr oder weniger Linsen 128 und/oder Spiegel 130 vorgesehen sein. Des Weiteren sind die Spiegel 130 in der Regel an ihrer Vorderseite zur Strahlformung gekrümmt.

Ein Luftspalt zwischen der letzten Linse 128 und dem Wafer 124 kann durch ein flüssiges Medium 132 ersetzt sein, welches einen Brechungsindex > 1 aufweist. Das flüssige Medium 132 kann beispielsweise hochreines Wasser sein. Ein solcher Aufbau wird auch als Immersionslithographie bezeichnet und weist eine erhöhte photolithographische Auflösung auf. Das Medium 132 kann auch als Immersionsflüssigkeit bezeichnet werden.

Fig. 2 zeigt eine schematische Ansicht einer optischen Anordnung 200. Die optische Anordnung 200 ist ein Strahlformungs- und Beleuchtungssystem 102, insbesondere ein Strahlformungs- und Beleuchtungssystem 102 einer EUV-Lithographieanlage 100A. Die optische Anordnung 200 kann daher auch als Strahlformungs- und Beleuchtungssystem und das Strahlformungs- und Beleuchtungssystem 102 kann als optische Anordnung bezeichnet werden. Die op-

tische Anordnung 200 kann einem wie zuvor erläuterten Projektionssystem 104 vorgeschaltet sein.

Die optische Anordnung 200 kann jedoch auch Teil einer DUV-Lithographieanlage 100B sein. Nachfolgend wird jedoch davon ausgegangen, dass die optische Anordnung 200 Teil einer EUV-Lithographieanlage 100A ist. Neben der optischen Anordnung 200 sind in der Fig. 2 noch eine wie zuvor erläuterte EUV-Lichtquelle 106A, die EUV-Strahlung 108A emittiert, und eine Photomaske 120 gezeigt. Die EUV-Lichtquelle 106A kann Teil der optischen Anordnung 200 sein.

Die optische Anordnung 200 umfasst mehrere Spiegel 202, 204, 206, 208. Ferner kann ein optionaler Umlenkspiegel 210 vorgesehen sein. Der Umlenkspiegel 210 wird mit streifendem Einfall (Engl.: Grazing Incidence) betrieben und kann daher auch als Grazing Incidence Spiegel bezeichnet werden. Der Umlenkspiegel 210 kann dem in der Fig. 1A gezeigten Spiegel 122 entsprechen. Die Spiegel 202, 204, 206, 208 können den in der Fig. 1A gezeigten Spiegeln 110, 112, 114, 116, 118 entsprechen. Insbesondere entspricht der Spiegel 202 dem Spiegel 110, und der Spiegel 204 entspricht dem Spiegel 112.

Der Spiegel 202 ist ein sogenannter Facettenspiegel, insbesondere ein Feldfacettenspiegel, der optischen Anordnung 200. Auch der Spiegel 204 ist ein Facettenspiegel, insbesondere ein Pupillenfacettenspiegel, der optischen Anordnung 200. Der Spiegel 202 reflektiert die EUV-Strahlung 108A zu dem Spiegel 204. Zumindest einer der Spiegel 206, 208 kann ein Kondensorspiegel der optischen Anordnung 200 sein. Die Anzahl der Spiegel 202, 204, 206, 208 ist beliebig. Beispielsweise können, wie in der Fig. 1A gezeigt, fünf Spiegel 202, 204, 206, 208, nämlich die Spiegel 110, 112, 114, 116, 118, oder, wie in der Fig. 2 gezeigt, vier Spiegel 202, 204, 206, 208 vorgesehen sein. Bevorzugt sind jedoch zumindest drei

Spiegel 202, 204, 206, 208, nämlich ein Feldfacettenspiegel, ein Pupillenfacettenspiegel, und ein Kondensorspiegel vorgesehen.

Ein Facettenspiegel umfasst eine Vielzahl an Lamellen oder Facetten, die zeilenförmig angeordnet sein können. Die Facetten können bogen- oder sichelförmig gekrümmt sein. Die Facetten können auch vieleckig, insbesondere viereckig, sein. Beispielsweise kann ein Facettenspiegel mehrere hundert bis mehrere tausend Facetten aufweisen. Jede Facette kann für sich verkippbar sein.

Die Spiegel 202, 204, 206, 208 sind innerhalb eines Gehäuses 212 angeordnet. Das Gehäuse 212 kann im Betrieb, insbesondere im Belichtungsbetrieb, der optischen Anordnung 200 mit einem Vakuum beaufschlagt sein. Das heißt, die Spiegel 202, 204, 206, 208 sind in einem Vakuum angeordnet.

Im Betrieb der optischen Anordnung 200 emittiert die EUV-Lichtquelle 106A EUV-Strahlung 108A. Hierzu kann beispielsweise ein Zinnplasma erzeugt werden. Zum Erzeugen des Zinnplasmas kann ein Zinnkörper, beispielsweise ein Zinnkügelchen oder ein Zinntröpfchen, mit einem Laserpuls beschossen werden. Das Zinnplasma emittiert EUV-Strahlung 108A, die mit Hilfe eines Kollektors, beispielsweise eines Ellipsoidspiegels, der EUV-Lichtquelle 106A gesammelt und in Richtung der optischen Anordnung 200 gesandt wird. Der Kollektor bündelt die EUV-Strahlung 108A in einem Zwischenfokus 214. Der Zwischenfokus 214 kann auch als Zwischenfokusebene bezeichnet werden oder liegt in einer Zwischenfokusebene.

Die EUV-Strahlung 108A wird beim Durchgang durch die optische Anordnung 200 von jedem der Spiegel 202, 204, 206, 208 sowie dem Umlenkspiegel 210 reflektiert. Ein Strahlengang der EUV-Strahlung 108A ist mit dem Bezugszeichen 216 bezeichnet. Die Photomaske 120 ist in einer Objektebene 218 der optischen

Anordnung 200 angeordnet. In der Objektebene 218 ist ein Objektfeld 220 positioniert.

Fig. 3 zeigt eine schematische Aufsicht einer Ausführungsform eines wie zuvor erläuterten Spiegels 202, der als Facettenspiegel, insbesondere als Feldfacettenspiegel, ausgebildet ist. Der Facettenspiegel oder Feldfacettenspiegel wird daher im Folgenden mit dem Bezugszeichen 202 bezeichnet. Der Feldfacettenspiegel 202 umfasst eine Vielzahl an Lamellen oder Facetten 222, die zeilenförmig angeordnet sind. Die Facetten 222 sind insbesondere Feldfacetten und werden im Folgenden auch als solche bezeichnet.

Die Feldfacetten 222 können bogen- oder sichelförmig gekrümmt sein. Die Feldfacetten 222 können auch vieleckig, beispielsweise viereckig, sein. Insbesondere können die Feldfacetten 222 auch jeweils eine langgestreckte rechteckige Geometrie aufweisen. In der Fig. 3 ist nur eine kleine Anzahl an Feldfacetten 222 gezeigt. Beispielsweise kann der Feldfacettenspiegel 202 mehrere hundert bis mehrere tausend Feldfacetten 222 aufweisen. Jede Feldfacette 222 ist für sich verkippbar. Hierzu kann jeder Feldfacette 222 ein Stellelement oder ein Aktuator zugeordnet sein. Der Aktuator kann ein sogenannter Lorentz-Aktuator sein.

Fig. 4 zeigt einen vergrößerten Ausschnitt der in der Fig. 2 gezeigten optischen Anordnung 200. Die optische Anordnung 200 umfasst die nicht gezeigte EUV-Lichtquelle 106A, die EUV-Strahlung 108A emittiert, den Zwischenfokus 214, den Feldfacettenspiegel 202 sowie den als Pupillenfacettenspiegel ausgebildeten Spiegel 204. Der Spiegel 204 wird nachfolgend als Pupillenfacettenspiegel bezeichnet. Die Spiegel 206, 208, der Umlenkspiegel 210 und das Gehäuse 212 sind in der Fig. 4 nicht gezeigt. Der Pupillenfacettenspiegel 204 ist zumindest näherungsweise in einer Eintrittspupillenebene des Projektionssystems 104 oder einer dazu konjugierten Ebene angeordnet.

Der Zwischenfokus 214 ist eine Aperturblende der EUV-Lichtquelle 106A. Der Einfachheit halber wird in der folgenden Beschreibung nicht zwischen der Aperturblende zur Erzeugung des Zwischenfokus 214 und dem eigentlichen Zwischenfokus, also der Öffnung in dieser Aperturblende, unterschieden.

Der Feldfacettenspiegel 202 umfasst einen Tragkörper oder Grundkörper 224, der - wie zuvor erwähnt - eine Vielzahl an Feldfacetten 222A, 222B, 222C, 222D, 222E, 222F trägt. Die Feldfacetten 222A, 222B, 222C, 222D, 222E, 222F können identisch ausgebildet sein, sich aber auch voneinander unterscheiden, insbesondere in der Form ihrer Berandung und/oder einer Krümmung einer jeweiligen optisch wirksamen Fläche 226. Die optisch wirksame Fläche 226 ist eine Spiegelfläche. Die optisch wirksame Fläche 226 dient dazu, die EUV-Strahlung 108A in Richtung zu dem Pupillenfacettenspiegel 204 zu reflektieren. In der Fig. 4 ist nur die optisch wirksame Fläche 226 der Feldfacette 222A mit einem Bezugszeichen versehen. Die Feldfacetten 222B, 222C, 222D, 222E, 222F weisen jedoch ebenfalls derartige optisch wirksame Flächen 226 auf. Die optisch wirksame Fläche 226 kann als Feldfacettenfläche bezeichnet werden.

Nachfolgend wird nur auf die Feldfacette 222C eingegangen. Alle Ausführungen betreffend die Feldfacette 222C treffen jedoch auch auf die Feldfacetten 222A, 222B, 222D, 222E, 222F zu. Von der EUV-Strahlung 108A ist dementsprechend nur der Teil dargestellt, der die Feldfacette 222C trifft. Mit Hilfe der EUV-Lichtquelle 106A wird jedoch der gesamte Feldfacettenspiegel 202 ausgeleuchtet.

Der Pupillenfacettenspiegel 204 umfasst einen Tragkörper oder Grundkörper 228, der eine Vielzahl an Pupillenfacetten 230A, 230B, 230C, 230D, 230E, 230F trägt. Jede der Pupillenfacetten 230A, 230B, 230C, 230D, 230E, 230F weist eine optisch wirksame Fläche 232, insbesondere eine Spiegelfläche, auf. In der Fig. 4 ist nur die optisch wirksame Fläche 232 der Pupillenfacette 230A mit einem Bezugszeichen versehen. Die optisch wirksame Fläche 232 ist geeignet, EUV-

Strahlung 108A zu reflektieren. Die optisch wirksame Fläche 232 kann als Pupillenfacettenfläche bezeichnet werden.

Zur Umschaltung zwischen verschiedenen Pupillen kann die Feldfacette 222C zwischen verschiedenen Pupillenfacetten 230A, 230B, 230C, 230D, 230E, 230F umgeschaltet werden. Insbesondere sind der Feldfacette 222C hierzu die Pupillenfacetten 230C, 230D, 230E zugeordnet. Hierfür ist es notwendig, die Feldfacette 222C zu verkippen. Diese Verkippung erfolgt mechanisch um 25 bis 40 mrad, so dass die EUV-Strahlung 108 gemäß der Bedingung Einfallswinkel ist gleich Ausfallswinkel um 50 bis 80 mrad abgelenkt wird. Diese Winkelangabe betrifft einen Halbwinkel, also von der Mitte bis zum Rand und nicht von einem (linken) Rand bis zum anderen (rechten) Rand gemessen.

Die Feldfacette 222C ist - wie zuvor erwähnt - mit Hilfe eines nicht dargestellten Aktuators, beispielsweise mit Hilfe eines Lorentz-Aktuators, zwischen mehreren Positionen oder Kippposition P1, P2, P3 kippbar. In einer ersten Kippposition P1 bildet die Feldfacette 222C den Zwischenfokus 214 mit einem Abbildungslichtbündel 234A (mit gestrichelten Linien dargestellt) auf die Pupillenfacette 230C ab. In einer zweiten Kippposition P2 bildet die Feldfacette 222C den Zwischenfokus 214 mit einem Abbildungslichtbündel 234B (mit durchgezogenen Linien dargestellt) auf die Pupillenfacette 230D ab. In einer dritten Kippposition P3 bildet die Feldfacette 222C den Zwischenfokus 214 mit einem Abbildungslichtbündel 234C (mit gepunkteten Linien dargestellt) auf die Pupillenfacette 230E ab. Die jeweilige Pupillenfacette 230C, 230D, 230E bildet die Feldfacette 222C auf die hier nicht dargestellte Photomaske 120 oder in deren Nähe ab.

In jeder der Kippositionen P1, P2, P3 bestrahlt das Abbildungslichtbündel 234A, 234B, 234C einen Teil der der jeweiligen Kippposition P1, P2, P3 zugeordneten optisch wirksamen Flächen 232 der Pupillenfacetten 230C, 230D, 230E. Die Auswirkung des Umschaltens zwischen den Kippositionen P1, P2, P3 und

das Bestrahlen der optisch wirksamen Flächen 232 der Pupillenfacetten 230C, 230D, 230E wird im Folgenden mit Bezug auf die Fig. 5 und 6 näher beschrieben.

Fig. 5 und 6 zeigen weitere Darstellungen der optischen Anordnung 200 gemäß der Fig. 4. In den Fig. 5 und 6 sind die EUV-Lichtquelle 106A, der Zwischenfokus 214, die Feldfacette 222C und die Pupillenfacette 230D der Darstellung wegen in einer Linie dargestellt. Tatsächlich sind sie aber wie in der Fig. 2 gezeigt, also in bestimmten Winkeln zueinander, angeordnet. Die Fig. 5 zeigt die Feldfacette 222C in ihrer Kippposition P2, wobei eine Krümmung der optisch wirksamen Fläche 226 nicht verändert wurde und insbesondere nicht an die Kippposition P2 angepasst wurde. Wie in den Fig. 5 und 6 dargestellt, umfasst die EUV-Lichtquelle 106A eine Plasmaquelle 236 zum Erzeugen der EUV-Strahlung 108A und einen Kollektor 238 zum Bündeln der EUV-Strahlung 108A. Typischerweise sind der Zwischenfokus 214 und die Pupillenfacette 230D rund. Die Pupillenfacette 230D kann auch sechseckig sein.

Die Feldfacette 222C projiziert ein Bild des Zwischenfokus 214 mit dem Abbildungslichtbündel 234B auf die Pupillenfacette 230D. Die optisch wirksame Fläche 232 der Pupillenfacette 230D entspricht jedoch nicht genau einer Abbildungsfläche 240, in der das Bild des Zwischenfokus 214 perfekt fokussiert wird. Stattdessen ist die optisch wirksame Fläche 232 der Pupillenfacette 230D in der Fig. 5 näher an der Feldfacette 222C als die Abbildungsfläche 240, so dass die Abbildung des Zwischenfokus 214 mit dem Abbildungslichtbündel 234B auf die Pupillenfacette 230D nicht fokussiert ist. Zwischen der optisch wirksamen Fläche 232 der Pupillenfacette 230D und der Abbildungsfläche 240 liegt ein Abstand a.

Aufgrund dieser Defokussierung entsteht eine Limitierung bei der Verringerung des Pupillenfüllgrades. Um jedoch immer höhere Auflösungen von EUV-

Lithographieoptiken zu erreichen, ist es erforderlich, den Pupillenfüllgrad weiter zu reduzieren. Bei einem defokussierten Bild des Zwischenfokus 214 auf einer der Pupillenfacetten 230A, 230B, 230C, 230D, 230E, 230F muss diese größer als eigentlich notwendig ausgebildet werden, wodurch eine größere Fläche des Pupillenfacettenspiegels 204, also eine größere beleuchtete Fläche, ausgeleuchtet wird. Das Verhältnis der bestrahlten Fläche relativ zu der gesamten optisch wirksamen Fläche 232 der Pupillenfacetten 230A, 230B, 230C, 230D, 230E, 230F des Pupillenfacettenspiegels 204 (also zur Fläche, die von der EUV-Lithographieanlage 100A maximal aufgenommen werden kann), wird als "Pupillenfüllgrad" bezeichnet. Üblicherweise werden kleine ungefüllte Bereiche, insbesondere Bereiche, die kleiner als die Fläche einer Pupillenfacette sind, innerhalb eines ansonsten gefüllten Bereichs bei der Berechnung des Pupillenfüllgrades mitgerechnet.

Dieses nicht fokussierte Bild ist dadurch charakterisiert, dass eine von dem Abbildungslichtbündel 234B bestrahlte Fläche 242, die in den Fig. 7 bis 9 schraffiert dargestellt ist, relativ groß ist. Dieses liegt daran, dass die Krümmung der optisch wirksamen Fläche 226 der Feldfacette 222C nicht optimiert wurde. Die Fig. 7 zeigt eine Aufsicht auf die optisch wirksame Fläche 232 der Pupillenfacette 230D. Die optisch wirksame Fläche 232 ist im Wesentlichen rund oder sechseckig. Somit ist auch die Pupillenfacette 230D bevorzugt rund oder sechseckig. Die durch das Abbildungslichtbündel 234B bestrahlte Fläche 242 der optisch wirksamen Fläche 232 der Pupillenfacette 230D entspricht von ihren Ausdehnungen her annähernd der optisch wirksamen Fläche 232 selbst. Die bestrahlte Fläche 242 deckt somit fast die gesamte optisch wirksame Fläche 232 der Pupillenfacette 230D ab.

Fig. 6 zeigt die Feldfacette 222C in der Kippposition P2 nach einer Veränderung der Krümmung der optisch wirksamen Fläche 226. In der Fig. 6 wurde die Krümmung der optisch wirksamen Fläche 226 derart geändert, dass der Ab-

stand a zwischen der optisch wirksamen Fläche 232 und der Abbildungsfläche 240 reduziert ist. In der Fig. 6 ist der Abstand a Null, so dass die optisch wirksame Fläche 232 und die Abbildungsfläche 240 übereinander liegen. Die Abbildung des Zwischenfokus 214 mit dem Abbildungslichtbündel 234B auf die Pupillenfacette 230D ist in der Fig. 6 perfekt fokussiert und die bestrahlte Fläche 242 ist ihren Ausdehnungen - wie in der Fig. 8 gezeigt - gegenüber der bestrahlten Fläche 242 in der Fig. 7 deutlich reduziert.

Fig. 8 zeigt eine weitere Aufsicht auf die optisch wirksame Fläche 232 der Pupillenfacette 230D. Wie in der Fig. 8 dargestellt, ist die bestrahlte Fläche 242 gegenüber der in der Fig. 7 dargestellten bestrahlten Fläche 242 vor der Veränderung der Krümmung der optisch wirksamen Fläche 226 der Feldfacette 222C deutlich verkleinert.

Wie in der Fig. 9 in einer weiteren Aufsicht gezeigt, ergibt sich die Möglichkeit, die Pupillenfacetten 230A, 230B, 230C, 230D, 230E, 230F zu verkleinern und dichter zu packen. Dadurch kann die Auflösung der EUV-Lithographieanlage 100A erhöht werden. Die verkleinerte optisch wirksame Fläche 232 der Pupillenfacetten 230A, 230B, 230C, 230D, 230E, 230F ist rund oder sechseckig. Die schraffiert dargestellte bestrahlte Fläche 242 ist von ihren Ausdehnungen her identisch wie in der Fig. 8, füllt jedoch einen Großteil der in der Fig. 9 dargestellten optisch wirksamen Fläche 232 der Pupillenfacette 230D aus. Die Optimierung der Krümmung der optisch wirksamen Fläche 226 der Feldfacette 222C ermöglicht somit eine Verkleinerung der Pupillenfacette 230D.

Im Folgenden wird beschrieben, wie die Krümmung der gekrümmten optisch wirksamen Fläche 226 der Feldfacette 222C verändert wird, um stets eine Fokussierung auf die jeweilige Pupillenfacette 230C, 230D, 230E zu erzielen und/oder um die bestrahlte Fläche 242, wie zuvor erläutert, zu reduzieren.

Gleichzeitig kann – wie nachfolgend noch erläutert wird – eine ausreichende Robustheit gegen thermale Störungen erreicht werden.

Fig. 10 zeigt eine schematische Ansicht einer Ausführungsform eines optischen Systems 300A. Das optische System 300A ist Teil einer wie zuvor erläuterten optischen Anordnung 200. Insbesondere kann die optische Anordnung 200 eine Vielzahl derartiger optischer Systeme 300A umfassen. Das optische System 300A ist insbesondere auch Teil eines wie zuvor erläuterten Feldfacettenspiegels 202. Das optische System 300A ist eine wie zuvor erläuterte Feldfacette 222A, 222B, 222C, 222D, 222E, 222F. Das optische System 300A kann daher auch als Feldfacette, Feldfacettensystem oder Feldfacettenvorrichtung bezeichnet werden. Bevorzugt ist das optische System 300A ein Feldfacettensystem. Nachfolgend wird das Feldfacettensystem jedoch als optisches System 300A bezeichnet.

Dem optischen System 300A ist ein Koordinatensystem mit einer ersten Raumrichtung oder x-Richtung x, einer zweiten Raumrichtung oder y-Richtung y und einer dritten Raumrichtung oder z-Richtung z zugeordnet. Die Raumrichtungen x, y, z sind senkrecht zueinander positioniert. Die x-Richtung x kann auch als Breitenrichtung bezeichnet werden. Die y-Richtung y kann auch als Längenrichtung oder Längsrichtung bezeichnet werden. Die z-Richtung z kann auch als Hochrichtung oder Dickenrichtung bezeichnet werden.

Das optische System 300A umfasst ein optisches Element 302. Das optische Element 302 ist aus einem Spiegelsubstrat oder Substrat gefertigt. Das Substrat kann insbesondere Kupfer, insbesondere eine Kupferlegierung, eine Eisen-Nickel-Legierung, wie beispielsweise Invar, Silizium oder einen anderen geeigneten Werkstoff umfassen. Das Substrat ist für die mechanischen Eigenschaften des optischen Elements 302 verantwortlich.

Das optische Element 302 umfasst einen Grundkörper 304 und einen Facettenabschnitt 306. Der Facettenabschnitt 306 kann auch als Facette oder optische Facette bezeichnet werden. Der Facettenabschnitt 306 weist in der Aufsicht vorzugsweise eine bogenförmig gekrümmte oder sichelförmige Geometrie auf. Der Facettenabschnitt 306 kann in der Aufsicht jedoch auch eine langgestreckte rechteckförmige Geometrie aufweisen. Der Grundkörper 304 und der Facettenabschnitt 306 sind einteilig, insbesondere materialeinstückig, ausgebildet. "Einteilig" oder "einstückig" bedeutet dabei, dass der Grundkörper 304 und der Facettenabschnitt 306 ein gemeinsames Bauteil bilden und nicht aus unterschiedlichen Bauteilen zusammengesetzt sind. "Materialeinstückig" bedeutet, dass der Grundkörper 304 und der Facettenabschnitt 306 durchgehend aus demselben Material gefertigt sind.

Vorderseitig an dem optischen Element 302, das heißt an dem Facettenabschnitt 306, ist eine optisch wirksame Fläche 308 vorgesehen. Die optisch wirksame Fläche 308 entspricht der optisch wirksamen Fläche 226 gemäß der Fig. 4. Die optisch wirksame Fläche 308 ist eine Spiegelfläche. Die optisch wirksame Fläche 308 kann mit Hilfe einer Beschichtung hergestellt sein. Die optisch wirksame Fläche 308 kann als Beschichtung auf das Substrat aufgebracht sein. Zwischen dem Substrat und der optisch wirksamen Fläche 308 kann eine Polierschicht vorgesehen sein. Das optische Element 302 ist eine Spiegelfacette oder kann als solche bezeichnet werden.

Die optisch wirksame Fläche 308 beziehungsweise der Facettenabschnitt 306 umfasst einen ersten Krümmungsradius K1. Der erste Krümmungsradius K1 gibt eine Krümmung der optisch wirksamen Fläche 308 in einer von der y-Richtung y und der z-Richtung z aufgespannten Ebene an. Die optisch wirksame Fläche 308 beziehungsweise der Facettenabschnitt 306 kann ferner einen zweiten Krümmungsradius K2 aufweisen. Der zweite Krümmungsradius K2 ist senkrecht zu dem ersten Krümmungsradius K1 orientiert. Hierdurch ergibt sich

für die optisch wirksame Fläche 308 eine Torusform. Der zweite Krümmungsradius K2 gibt eine Krümmung der optisch wirksamen Fläche 308 in einer von der x-Richtung x und der z-Richtung z aufgespannten Ebene an.

Das optische Element 302 ist im Betrieb der EUV-Strahlung 108A ausgesetzt, welche einen signifikanten Energieeintrag, insbesondere in den Facettenabschnitt 306, verursacht. Trotz Maßnahmen zur Erzielung einer möglichst guten Wärmeableitung, wie zum Beispiel die Verwendung von Kupfer als Substrat für das optische Element 302, können Facettentemperaturen von bis zu 80 °C bei einer Systemtemperatur von 22 °C auftreten. Das heißt, das optische Element 302, insbesondere der Facettenabschnitt 306, erwärmt sich im Betrieb um bis zu 60 K gegenüber dem inaktiven System. Die Temperaturerhöhung des optischen Elements 302 führt zu einer Ausdehnung des Grundkörpers 304 und des Facettenabschnitts 306 inklusive einer optisch aktiven Schicht, welche die optisch wirksame Fläche 308 bildet. Stellelemente oder Aktoren zum Verformen des Facettenabschnitts 306 werden daher ebenfalls einer Temperaturänderung ausgesetzt sein.

Stellelemente, welche auf Piezokeramiken wie Blei-Zirkonat-Titanat (PZT) basieren, nämlich sogenannte Piezoelemente, besitzen einen negativen Wärmeausdehnungskoeffizienten. Dieser kann bei einer homogenen Erwärmung des optischen Elements 302 zu einer Längenänderung des Piezoelements gegenüber dem Grundkörper 304 und somit zu einer parasitären Veränderung eines Stellwegs des Piezoelements führen. Zum Erreichen eines gewünschten Stellwegs der optisch wirksamen Fläche 308 ist mit einer entsprechenden mechanischen Übersetzung ein entsprechender Stellweg des Piezoelements notwendig. Dabei ist der gewünschte Stellweg der optisch wirksamen Fläche 308 aufgrund der Übersetzung größer als der entsprechende Stellweg des Piezoelements. Bei dem beispielhaft als Substrat verwendeten Werkstoff Kupfer und einer homogenen Temperaturänderung von 10 K kann der resultierende Stellweg-Fehler 30 % bis

40 %, insbesondere 32 % bis 38 %, insbesondere 33 % bis 37 %, insbesondere 35 %, des nominellen Stellwegs betragen. Aus diesem vorgenannten Beispiel ist ersichtlich, dass eine weitestmögliche passive Temperaturkompensation sehr wünschenswert ist.

Zwischen dem Facettenabschnitt 306 und dem Grundkörper 304 ist ein Spalt 310 vorgesehen. Der Facettenabschnitt 306 weist zwei Hebelarme 312, 314 auf, welche über Verbindungsbereiche 316, 318 mit dem Facettenabschnitt 306 einstückig, insbesondere materialeinstückig, verbunden sind. Zwischen dem Facettenabschnitt 306 und den Hebelarmen 312, 314 erstreckt sich der Spalt 310. Die Verbindungsbereiche 316, 318 stellen jeweils eine zwischen dem Facettenabschnitt 306 und den Hebelarmen 312, 314 vorgesehene Querschnittsverengung dar.

Die Hebelarme 312, 314 wiederum sind über Gelenkabschnitte 320, 322 mit dem Grundkörper 304 einstückig, insbesondere materialeinstückig, verbunden. Die Gelenkabschnitte 320, 322 sind als sogenannte Festkörpergelenke ausgebildet. Unter einem "Festkörpergelenk" ist vorliegend ein Bereich eines Bauteils, welcher eine Relativbewegung zwischen zwei Starrkörperbereichen durch Biegung erlaubt, zu verstehen. Die Gelenkabschnitte 320, 322 sind elastisch verformbar. Dabei sind ein erster Gelenkabschnitt 320 und ein zweiter Gelenkabschnitt 322 vorgesehen.

Der erste Gelenkabschnitt 320 ermöglicht eine Bewegung des Facettenabschnitts 306 nur um eine zu der x-Richtung x parallel angeordneten Achse. Der zweite Gelenkabschnitt 322 ermöglicht ebenfalls eine Bewegung des Facettenabschnitts 306 um eine zu der x-Richtung x parallele Achse. Darüber hinaus ermöglicht der zweite Gelenkabschnitt 322 – anders als der erste Gelenkabschnitt 320 – auch eine Bewegung parallel zu der y-Richtung y beziehungsweise entlang der y-Richtung y. Der zweite Gelenkabschnitt 322 ist hierzu biegeweich ausge-

bildet. Der zweite Gelenkabschnitt 322 kann von einem in der Fig. 10 gezeigten unausgelenkten Zustand in einen nicht gezeigten ausgelenkten Zustand verbracht werden, in dem der zweite Gelenkabschnitt 322 S-förmig ausgelenkt ist. Mit Hilfe der Verformung des zweiten Gelenkabschnitts 322 können Zwangskräfte, welche durch eine wärmebedingte Ausdehnung des Facettenabschnitts 306 entlang der y-Richtung y auf den Facettenabschnitt 306 wirken, kompensiert werden. Diese Zwangskräfte entlang der y-Richtung y könnten ohne Kompensation zu einer Krümmung des Facettenabschnitts 306 in der z-Richtung z und damit in Richtung der beabsichtigten Krümmungsänderung wirken.

Der Grundkörper 304 umfasst Armabschnitte 324, 326. Der Armabschnitt 324 ist dem Hebelarm 312 zugeordnet. Zwischen dem Armabschnitt 324 und dem Hebelarm 312 ist ein Spalt 328 vorgesehen. Der Armabschnitt 326 ist dem Hebelarm 314 zugeordnet. Zwischen dem Armabschnitt 326 und dem Hebelarm 314 ist ein Spalt 330 vorgesehen.

Das optische System 300A umfasst Stellelemente 332, 334, 336, 338. Die Stellelemente 332, 334, 336, 338 können auch als Aktoren oder Aktuatoren bezeichnet werden. Die Stellelemente 332, 334, 336, 338 sind Piezostellelemente oder Piezoaktoren. Es können jedoch auch beliebige andere Aktoren für die Stellelemente 332, 334, 336, 338 eingesetzt werden. Jedem Stellelement 332, 334, 336, 338 ist ein Temperatursensor 340, 342, 344, 346 zugeordnet. Mit Hilfe der Temperatursensoren 340, 342, 344, 346 ist eine Temperatur des jeweiligen Stellelements 332, 334, 336, 338 erfassbar.

Die Stellelemente 332, 334, 336, 338 sind paarweise angeordnet. Dabei bilden die Stellelemente 332, 334 ein erstes Stellelementepaar 348, das dem ersten Gelenkabschnitt 320 zugeordnet ist, und die Stellelemente 336, 338 bilden ein zweites Stellelementepaar 350, das dem zweiten Gelenkabschnitt 322 zugeordnet ist. Jedem Stellelementepaar 348, 350 ist ein Verbindungselement 352, 354 zuge-

ordnet. Ein erstes Verbindungselement 352 verbindet die Stellelemente 332, 334 des ersten Stellelementepaars 348 miteinander. Ein zweites Verbindungselement 354 verbindet die Stellelemente 336, 338 des zweiten Stellelementepaars 350 miteinander. Das erste Stellelementepaar 348 und das erste Verbindungselement 352 sind in einer ersten Ausnehmung 356 des Grundkörpers 304 aufgenommen. Das zweite Stellelementepaar 350 und das zweite Verbindungselement 354 sind in einer zweiten Ausnehmung 358 des Grundkörpers 304 aufgenommen. Die Ausnehmungen 356, 358 sind über die Spalte 328, 330 mit dem Spalt 310 in Verbindung.

Weiterhin weist das optische System 300A Temperatursensoren 360, 362, 364, 366 auf, die in entsprechenden Ausnehmungen in dem Grundkörper 304 platziert sein können. Ferner kann das optische System 300A Wegmesssensoren 368, 370 aufweisen, mit deren Hilfe eine Deformation des Facettenabschnitts 306 erfassbar ist.

Die Funktionalität des optischen Systems 300A wird nachfolgend erläutert. Der Facettenabschnitt 306 ist mit dem Grundkörper 304 über die an beiden Enden des Facettenabschnitts 306 angeordneten Hebelarme 312, 314, die Stellelementepaare 348, 350 sowie das jeweilige Verbindungselement 352, 354 verbunden. Darüber hinaus ist der Facettenabschnitt 306 auch über die Gelenkabschnitte 320, 322 mit dem Grundkörper 304 verbunden. Zur Aktuierung des Facettenabschnitts 306 wird beispielsweise das Stellelement 334 auf der in der Orientierung der Fig. 10 linken Seite des Facettenabschnitts 306 derart angesteuert, dass dieses eine Längung, nämlich entlang der z-Richtung z, erfährt.

Über das erste Verbindungselement 352 wird das Stellelement 332 in der Orientierung der Fig. 10 nach unten, das heißt entgegen der z-Richtung z, gezogen. Das Stellelement 332 wird gleichzeitig so angesteuert, dass dieses eine Verkürzung entlang der z-Richtung z erfährt. Dadurch wird der Hebelarm 312 ebenfalls

in der Orientierung der Fig. 10 nach unten gezogen. Hierdurch wirkt ein im Uhrzeigersinn orientiertes Biegemoment B1 auf den Facettenabschnitt 306 aus. Das Biegemoment B1 wirkt um eine parallel zu der z-Richtung z angeordneten Achse. Bei analoger, jedoch gegengerichteter Ansteuerung der Stellelemente 336, 338 auf der in der Orientierung der Fig. 10 rechten Seite des Facettenabschnitts 306 führt dies zu einer zylinderförmigen Deformation der optisch wirksamen Fläche 308 über die gesamte Länge des Facettenabschnitts 306. Die Stellelemente 336, 338 bringen ein entgegengesetzt zu dem Biegemoment B1 orientiertes Biegemoment B2 auf den Facettenabschnitt 306 auf.

Bei einer homogenen Erwärmung aller Komponenten des optischen Systems 300A erfahren die beiden Stellelemente 332, 334, 336, 338 jedes Stellelementepaars 348, 350 aufgrund ihres negativen Wärmeausdehnungskoeffizienten eine Verkürzung. Da die Stellelemente 332, 334, 336, 338 paarweise angeordnet sind, bewirkt diese Verkürzung jedoch nur eine Verschiebung des jeweiligen Verbindungselements 352, 354 in der Orientierung der Fig. 10 nach oben, das heißt entlang der z-Richtung z. Da die Verbindungselemente 352, 354 keine Verbindung zum Grundkörper 304 aufweisen, entsteht auch keine Kraft auf den jeweiligen Hebelarm 312, 314. Es findet somit trotz der wärmebedingten Schrumpfung der Stellelemente 332, 334, 336, 338 keine Deformation des Facettenabschnitts 306 statt.

Im Fall einer inhomogenen Erwärmung des Grundkörpers 304 und des Facettenabschnitts 306 führt eine höhere Temperatur des Facettenabschnitts 306 gegenüber dem Grundkörper 304 zu einer horizontal, das heißt entlang der y-Richtung y, wirkenden Zwangskraft auf den Facettenabschnitt 306. Der Facettenabschnitt 306 ist nicht eben, sondern weist typischerweise an seiner Oberseite und seiner Unterseite einen eingearbeiteten Krümmungsradius auf. Die Folge der horizontal wirkenden Zwangskraft ist ein Ausbeulen des Facettenabschnitts 306 in der Orientierung der Fig. 10 nach unten was zu einer Änderung des für

die optische Abbildung relevanten Krümmungsradius K1, K2 führen kann. Dieses Ausbeulen kann insbesondere mit Hilfe des biegeweichen zweiten Gelenkabschnitts 322 verhindert werden, da dieser die Kompensation einer Längenausdehnung des Facettenabschnitts 306 ermöglicht.

Beide Gelenkabschnitte 320, 322 sind so ausgeführt, dass sie eine möglichst geringe Steifigkeit für eine Rotation um eine Achse parallel zu der x-Richtung x zulassen. Der erste Gelenkabschnitt 320 ist so ausgeführt, dass dieser eine möglichst hohe Steifigkeit für Kräfte in horizontaler Richtung, das heißt entlang der y-Richtung y aufweist. Der zweite Gelenkabschnitt 322 ist dagegen in vertikaler Richtung, das heißt entlang der z-Richtung z, deutlich länger ausgeführt als der erste Gelenkabschnitt 320 so dass der zweite Gelenkabschnitt 322 in horizontaler Richtung eine geringe Steifigkeit als der erste Gelenkabschnitt 320 aufweist. Bei unterschiedlicher Ausdehnung des Facettenabschnitts 306 und des Grundkörpers 304 wird die Längendifferenz zwischen dem Facettenabschnitt 306 und dem Grundkörper 304 durch eine S-förmige Deformation des zweiten Gelenkabschnitts 322 ausgeglichen. Die horizontale Zwangskraft und damit das Ausbeulen des Facettenabschnitts 306 wird signifikant reduziert.

Der Wärmeeintrag in das optische System 300A findet primär über den Facettenabschnitt 306 statt, die Wärmeausleitung über einen Fuß des Grundkörpers 304. Daher wird sich eine inhomogene Temperaturverteilung in dem optischen System 300A einstellen. Je nach der Temperaturverteilung in dem optischen System 300A kann es dazu kommen, dass die oben beschriebene Temperaturkompensation nur teilweise wirksam ist. Aus diesem Grund ist es vorteilhaft, die Temperaturverteilung in dem optischen System 300A über die Temperatursensoren 340, 342, 344, 346, 360, 362, 364, 366 zu erfassen, daraus über eine externe Steuereinheit 372 einen Deformationszustand des optischen Systems 300A zu erfassen, ein entsprechendes Korrektursignal zu errechnen und dieses auf die Stellelemente 332, 334, 336, 338 zu beaufschlagen.

Die Temperatursensoren 340, 342, 344, 346, 360, 362, 364, 366 erfassen vorzugsweise die Temperatur jedes einzelnen Stellelements 332, 334, 336, 338 sowie die Temperatur der für den Störeffekt relevanten Bereiche des Grundkörpers 304 und der Hebelarme 312, 314. Ausführungsformen der Temperatursensoren 340, 342, 344, 346, 360, 362, 364, 366 können NTC-Sensoren (Engl.: Negative Temperature Coefficient, NTC), Thermoelemente, Platin-Sensoren oder Thermosäulen sein. Thermosäulen ermöglichen eine Platzierung des Messelements in dem Grundkörper 304 mit einer kontaktlosen Temperaturmessung des Facettenabschnitts 306.

Alternativ oder zusätzlich kann die tatsächliche Deformation des Facettenabschnitts 306 mit Hilfe der Wegmesssensoren 368, 370 erfasst und daraus über die externe Steuereinheit 372 ein Korrektursignal für die Stellelemente 332, 334, 336, 338 errechnet werden. Dieses Vorgehen hat den Vorteil, dass weitere Fehler wie beispielsweise eine Hysterese der Stellelemente 332, 334, 336, 338, mechanische Drifteffekte und Kriecheffekte der Stellelemente 332, 334, 336, 338, der Verbindungselemente 352, 354 oder eine elektrische Drift der Steuereinheit 372 erfasst und kompensiert werden können.

Bei dem Vorsehen der Wegmesssensoren 368, 370 ist die Anordnung von mindestens zwei Wegmesssensoren 368, 370 in gleichem Abstand zu einer Außenkante des Facettenabschnitts 306 vorteilhaft. Weiterhin ist die Wahl eines auf Temperaturänderung möglichst insensitiven Wegmesssystems vorteilhaft. Die Wegmessung kann entweder direkt über eine Abstandsänderung zwischen dem Facettenabschnitt 306 und dem Grundkörper 304 oder über die Dehnung des Facettenabschnitts 306 oder der Hebelarme 312, 314 erfolgen.

Vorteilhafte Ausführungsformen direkter Wegmesssensoren 368, 370 können aufgrund des stark limitierten Bauraums kapazitive oder induktive Sensoren

sein. Hinsichtlich einer möglichst geringen Temperatursensitivität ist die Verwendung konfokaler optischer Sensoren vorteilhaft. Hinsichtlich einer möglichst vollständigen Fehlerkompensation ist der Betrieb der Stellelemente 332, 334, 336, 338 in einer geschlossenen Regelschleife unter Berücksichtigung der Korrektursignale aus Weg- und Temperaturmessung vorteilhaft.

Fig. 11 zeigt eine schematische Ansicht einer weiteren Ausführungsform eines optischen Systems 300B. Der Aufbau und die Funktionalität des optischen Systems 300B entspricht im Wesentlichen dem des optischen Systems 300A. Nachfolgend wird nur auf Unterschiede zwischen den optischen Systemen 300A, 300B eingegangen.

Bei dem optischen System 300B sind die Stellelemente 332, 334, 336, 338 nicht vertikal platziert, sondern horizontal, um in vertikaler Richtung einen geringeren Bauraum in Anspruch nehmen zu müssen. Ferner sind die Hebelarme 312, 314 seitlich an dem Facettenabschnitt 306 vorgesehen. Die Hebelarme 312, 314 sind mit Hilfe von Gelenkabschnitten 320, 322, 374, 376 an den Grundkörper 304, insbesondere an den Armabschnitten 324, 326, sowie an Kopplungsabschnitte 378, 380 angebunden. An den Kopplungsabschnitten 378, 380 sind die Stellelemente 332, 336 angebracht. Die Gelenkabschnitte 320, 322, 374, 376 sind bevorzugt als Festkörpergelenke ausgebildet.

Die Funktion des zuvor erläuterten Längenausgleichs des Facettenabschnitts 306 in horizontaler Richtung ist bei diesem Ausführungsbeispiel des optischen Systems 300B nicht gegeben und kinematisch nicht möglich. Die Anordnung der Temperatursensoren 340, 342, 344, 346, 360, 362, 364, 366 und der Wegmesssensoren 368, 370 erfolgt analog dem optischen System 300A gemäß Fig. 10.

Fig. 12 zeigt eine schematische Ansicht einer weiteren Ausführungsform eines optischen Systems 300C. Der Aufbau und die Funktionalität des optischen Sys-

tems 300C entspricht im Wesentlichen dem des optischen Systems 300A. Nachfolgend wird nur auf Unterschiede zwischen den optischen Systemen 300A, 300C eingegangen.

Im Unterschied zu dem optischen System 300A umfasst das optische System 300C keine vertikal angeordneten Stellelementepaare 348, 350, sondern einzelne Stellelemente 332, 336, die nicht vertikal, sondern horizontal angeordnet sind. Ferner sind die Stellelemente 332, 336 als Scherstellelemente, insbesondere als Scherpiezoaktoren, ausgebildet. Das heißt, die Stellelemente 332, 336 ändern bei einer Bestromung nicht ihre Länge, sondern sind geeignet, sich zu krümmen, wie in der Fig. 12 mit Hilfe von Pfeilen angedeutet.

Der Facettenabschnitt 306 ist über wie zuvor erwähnte Hebelarme 312, 314 und Gelenkabschnitte 320, 322 mit dem Grundkörper 304 gekoppelt. Dabei ermöglicht der zweite Gelenkabschnitt 322 die mit Bezug auf das optische System 300A erläuterte Kompensation einer wärmebedingten Längenänderung des Facettenabschnitts 306. Das heißt, bei einer unterschiedlichen Ausdehnung des Facettenabschnitts 306 und des Grundkörpers 304 wird die Längendifferenz auch hier durch eine S-förmige Deformation des zweiten Gelenkabschnitts 322 ausgeglichen.

Die Stellelemente 332, 336 sind über Entkopplungsgelenke 382, 384 mit den Hebelarmen 312, 314 wirkverbunden. Jedes Entkopplungsgelenk 382, 384 umfasst zwei miteinander verbundene Blattfedern, die in horizontaler Richtung, also entlang der y-Richtung y, biegeweich sind und somit entlang der y-Richtung y auch keine oder annähernd keine Kräfte übertragen können. Eine Kraftübertragung ist jedoch in vertikaler Richtung, das heißt entlang der z-Richtung z, möglich, um den Facettenabschnitt 306 zu deformieren. Die Entkopplungsgelenke 382, 384 bewirken auch eine Thermalentkopplung. Daher können die Entkopplungsgelenke 382, 384 auch als Thermalentkopplungen bezeichnet werden.

Zur Kompensation von Stellweg-Fehlern bei einer homogenen Temperaturänderung aller Komponenten des optischen Systems 300C ist die Verwendung von Scherpiezoaktoren vorteilhaft. Bei dieser Art Antrieb erfolgt die thermische Ausdehnung senkrecht zu ihrer Wirkebene. Wirkbewegung und Parasitärbewegung können daher voneinander entkoppelt werden.

Zur Aktuierung des Facettenabschnitts 306 wird beispielsweise das Stellelement 332, das in der Orientierung der Fig. 12 auf der linken Seite angeordnet ist, derart angesteuert, dass sein zu dem Entkopplungsgelenk 382 orientiertes Ende in der Orientierung der Fig. 12 eine Bewegung nach unten, das heißt entgegen der z-Richtung z, erfährt. Über das Entkopplungsgelenk 382 wird diese Bewegung als nach unten gerichtete Kraft auf den Hebelarm 312 übertragen. Dadurch wird der Hebelarm 312 ebenfalls nach unten gezogen und bewirkt das wie zuvor erläuterte Biegemoment B1, das im Uhrzeigersinn orientiert ist, auf den Facettenabschnitt 306 aus. Dies bewirkt bei synchroner Ansteuerung des Stellelements 336 auf der in der Orientierung der Fig. 12 rechten Seite eine zylinderförmige Deformation des Facettenabschnitts 306 über die gesamte Länge des Facettenabschnitts 306.

Bei einer homogenen oder inhomogenen Erwärmung aller Komponenten erfahren die beiden Stellelemente 332, 336 aufgrund ihres negativen Wärmeausdehnungskoeffizienten eine Verkürzung. Diese erfolgt jedoch senkrecht zur Wirkrichtung des entsprechenden Stellelements 332, 336, also entlang der y-Richtung y. Dadurch, dass die Entkopplungsgelenke 382, 384 vorgesehen sind, entsteht jedoch keine Kraft, die auf die Hebelarme 312, 314 wirkt. Es findet somit auch keine Deformation des Facettenabschnitts 306 statt. Daher ist auch das optische System 300C insensitiv gegenüber Temperaturänderungen.

Auch für bei dem optischen System 300C ist es vorteilhaft, die Temperaturverteilung im optischen System 300C mit Hilfe mehrerer Temperatursensoren 340, 344, 360, 362 zu erfassen, daraus über eine wie zuvor erläuterte externe Steuereinheit 372 den Deformationszustand des Facettenabschnitts 306 zu erfassen, ein entsprechendes Korrektursignal zu errechnen und dieses auf die Stellelemente 332, 336 zu beaufschlagen. Die Anordnung der Wegmesssensoren 368, 370 erfolgt analog dem optischen System 300A.

Fig. 13 zeigt eine schematische Ansicht einer weiteren Ausführungsform eines optischen Systems 300D. Der Aufbau und die Funktionalität des optischen Systems 300D entspricht im Wesentlichen dem des optischen Systems 300C. Nachfolgend wird nur auf Unterschiede zwischen den optischen Systemen 300C, 300D eingegangen.

Im Unterschied zu dem optischen System 300C sind bei dem optischen System 300D die Stellelemente 332, 336 nicht horizontal, sondern vertikal angeordnet. Die Stellelemente 332, 336 sind als Scherstellelemente, insbesondere als Scherpiezoaktoren, ausgebildet. Die Stellelemente 332, 336 sind mit Hilfe von Kopplungsabschnitten 378, 380 mit den Hebelarmen 312, 314 wirkverbunden. Bevorzugt erlauben die Kopplungsabschnitte 378, 380 eine Kraftübertragung nur in horizontaler Richtung, das heißt entlang der y-Richtung y. Die Funktion des zuvor erläuterten Längenausgleichs des Facettenabschnitts 306 in horizontaler Richtung ist bei diesem Ausführungsbeispiel des optischen Systems 300D nicht gegeben und kinematisch nicht möglich. Die Anordnung der Temperatursensoren 340, 344, 360, 362 und der Wegmesssensoren 368, 370 erfolgt analog dem optischen System 300C.

Fig. 10 bis 13 zeigen Ausführungsformen des optischen Systems 300A, 300B, 300C, 300D, bei denen die Krümmung des Facettenabschnitts 306 und damit der optisch wirksamen Fläche 308 vorteilhaft mit einem über die Länge des Facet-

tenabschnitts 306 konstanten Krümmungsradius eingestellt werden kann. Die kinematische Anordnung ist bei diesen Ausführungsformen des optischen Systems 300A, 300B, 300C, 300D dahingehend optimiert, dass eine Abweichung von einem Sollwert des Krümmungsradius K1, K2 über die Länge des Facettenabschnitts 306 möglichst gering ausfällt. Dafür wird an beiden Enden des Facettenabschnitts 306 ein gleich großes, jedoch in seiner Drehrichtung entgegengesetztes Biegemoment B1, B2 eingeleitet.

Für bestimmte Anwendungen des optischen Systems 300A, 300B, 300C, 300D kann es jedoch vorteilhaft sein für unterschiedliche Längenabschnitte des Facettenabschnitts 306 voneinander unabhängige, unterschiedliche Krümmungsradien einzustellen. Dieses kann beispielsweise erforderlich sein, um Ungenauigkeiten oder Fehler bei der Herstellung der optisch wirksamen Fläche 308 ausgleichen zu können. Der Facettenabschnitt 306 ist vergleichsweise dünn ausgeführt. Dadurch kann es beim Polieren der optisch wirksamen Fläche 308, durch die beim Polierprozess auf den Facettenabschnitt 306 wirkenden Kräfte zu einer Deformation des Facettenabschnitts 306 kommen, welche die Genauigkeit des Polierprozesses beeinflusst. Es kann dadurch zu einer wellenförmigen Abweichung zwischen einer zylinderförmigen oder torischen Soll-Kontur und einer tatsächlich erzeugten Ist-Kontur kommen.

Fig. 14 zeigt eine schematische Ansicht einer weiteren Ausführungsform eines optischen Systems 300E. Nachfolgend wird nur auf Unterschiede zwischen den optischen Systemen 300A, 300E eingegangen.

Das optische System 300E umfasst Stellelemente 332, 334, 336, 338, welche im Unterschied zu dem optischen System 300A als Scherstellelemente, insbesondere als Scherpiezoaktoren, ausgebildet sind. In der Orientierung der Fig. 14 können sich diese Stellelemente 332, 334, 336, 338 nach oben und unten krümmen, wie jeweils mit Hilfe eines Pfeils angedeutet ist. Die Stellelemente 332, 334, 336,

338 sind entlang der y-Richtung y betrachtet nebeneinander oder hintereinander angeordnet.

Jedem Stellelement 332, 334, 336, 338 ist ein Hebelarm 386, 388, 390, 392 zugeordnet. Jeder Hebelarm 386, 388, 390, 392 ist, wie anhand des Hebelarms 386 gezeigt, mit Hilfe zweier Gelenkabschnitte 394, 396 zum einen mit dem Grundkörper 304 und zum anderen mit dem Facettenabschnitt 306 verbunden. Die Gelenkabschnitte 394, 396 sind jeweils endseitig an dem jeweiligen Hebelarm 386, 388, 390, 392 vorgesehen. Die Gelenkabschnitte 394, 396 sind Festkörpergelenke.

Über Entkopplungsgelenke 398, 400, 402, 404 sind die Stellelemente 332, 334, 336, 338 mit den Hebelarmen 386, 388, 390, 392 wirkverbunden. Die Funktion der Entkopplungsgelenke 398, 400, 402, 404 entspricht dabei der der zuvor erläuterten Entkopplungsgelenke 382, 384. Jedem Hebelarm 386, 388, 390, 392 ist ein Wegmesssensor 406, 408, 410, 412 zugeordnet.

Die Funktionalität des optischen Systems 300E wird nachfolgend erläutert. Durch die Auslenkung eines Stellelements 332, 334, 336, 338 in der Orientierung der Fig. 14 beispielsweise nach unten wird über den jeweiligen Hebelarm 386, 388, 390, 392 eine verstärkte Zugkraft nach unten auf den Facettenabschnitt 306 ausgeübt. Dieser ist über die Gelenkabschnitte 320, 322 zum Grundkörper 304 abgestützt. Die über das jeweilige Stellelement 332, 334, 336, 338 einstellbare Kraft bewirkt eine Krümmungsänderung des Facettenabschnitts 306.

Über unterschiedliche Ansteuerung der Stellelemente 332, 334, 336, 338 kann eine mehrwellige Krümmung des Facettenabschnitts 306 eingestellt werden. Die Kompensation thermaler Effekte erfolgt wie bei dem optischen System 300A über den zweiten Gelenkabschnitt 322 sowie über die Entkopplungsgelenke 398,

400, 402, 404. Die Temperatursensoren 340, 342, 344, 346, 360, 362 und sind analog angeordnet. Vorteilhafterweise ist hier jedem Stellelement 332, 334, 336, 338 ein Wegmesssensor 406, 408, 410, 412 zur Bestimmung der lokalen Deformation zugeordnet.

Fig. 15 zeigt eine schematische Ansicht einer weiteren Ausführungsform eines optischen Systems 300F. Nachfolgend wird nur auf Unterschiede zwischen den optischen Systemen 300E, 300F eingegangen.

Das optische System 300F umfasst Stellelemente 332, 334, 336, 338, welche nicht als Scherstellelemente, sondern als Linearstellelemente ausgebildet sind. Das heißt, dass sich die Stellelemente 332, 334, 336, 338 entlang ihrer Längsrichtung, das heißt entlang der y-Richtung y, verkürzen und längen können. Wie bei dem optischen System 300E ist jedem Stellelement 332, 334, 336, 338 ein Hebelarm 386, 388, 390, 392 zugeordnet, der jeweils mit Hilfe eines Gelenkabschnitts 394 mit dem Grundkörper 304 und mit Hilfe eines Gelenkabschnitts 396 mit dem Facettenabschnitt 306 wirkverbunden ist. Die Stellelemente 332, 334, 336, 338 können eine Zugkraft oder Druckkraft auf die Hebelarme 386, 388, 390, 392 ausüben.

Die Längenänderung des jeweiligen Stellelements 332, 334, 336, 338 wird über den entsprechenden Hebelarm 386, 388, 390, 392 in eine Zugkraft oder Druckkraft in vertikaler Richtung, das heißt entlang und entgegen der z-Richtung z auf den Facettenabschnitt 306 umgesetzt. Auch hier kann über eine unterschiedliche Ansteuerung der Stellelemente 332, 334, 336, 338 eine mehrwellige Krümmung des Facettenabschnitts 306 eingestellt werden. Eine Kompensation thermaler Störeffekte wie bei dem optischen System 300E ist hier nicht möglich. Die Anordnung der Temperatursensoren 360, 362 und Wegmesssensoren 406, 408, 410 erfolgt entsprechend der Ausführungsform des optischen Systems 300E gemäß Fig. 14. Auch den Stellelementen 332, 334, 336, 338 können, wie mit Be-

zug auf das optische System 300E schon erläutert, Temperatursensoren (nicht gezeigt) zugeordnet sein.

Fig. 16 zeigt eine schematische Ansicht einer weiteren Ausführungsform eines optischen Systems 300G. Nachfolgend wird nur auf Unterschiede zwischen den optischen Systemen 300F, 300G eingegangen.

Das optische System 300G entspricht dem optischen System 300F mit dem Unterschied, dass bei dem optischen System 300G die Gelenkabschnitte 320, 322 nicht randseitig an dem Facettenabschnitt 306 vorgesehen sind, sondern, dass die Gelenkabschnitte 320, 322 entlang der y-Richtung y betrachtet nach innen gerückt sind. Das optische System 300G weist ebenfalls Temperatursensoren und Wegmesssensoren (nicht gezeigt) auf.

Fig. 17 zeigt eine schematische Ansicht einer weiteren Ausführungsform eines optischen Systems 300H. Nachfolgend wird nur auf Unterschiede zwischen den optischen Systemen 300G, 300H eingegangen.

Das optische System 300H weist im Gegensatz zu dem optischen System 300G nicht vier, sondern nur zwei Stellelemente 332, 334 auf. Ferner sind die Gelenkabschnitte 320, 322 randseitig an dem Facettenabschnitt 306 vorgesehen. Das optische System 300H weist ebenfalls Temperatursensoren und Wegmesssensoren (nicht gezeigt) auf.

Für alle zuvor genannten Ausführungsformen des optischen Systems 300A, 300B, 300C, 300D, 300E, 300F, 300G, 300H können der Grundkörper 304 und der Facettenabschnitt 306 materialeinstückig oder monolithisch, das heißt aus einem Rohmaterial ohne weitere Fügestellen hergestellt werden. Für diese Ausführungsformen des optischen Systems 300A, 300B, 300C, 300D, 300E, 300F, 300G, 300H ist somit der gleiche Werkstoff für Kinematik, wie beispielsweise die

Gelenkabschnitte 320, 322, und den Facettenabschnitt 306 zu verwenden. Als Werkstoffe sind vorteilhaft Kupfer, Silizium, Siliciumcarbid (SiSiC) oder Cordierit geeignet.

Alternativ ist es möglich, den Grundkörper 304 und den Facettenabschnitt 306 in getrennten Verfahren herzustellen und durch ein geeignetes Fügeverfahren an den Gelenkabschnitten 320, 322 oder dergleichen miteinander zu verbinden. Dies ist insbesondere vorteilhaft da aufgrund der unterschiedlichen funktionellen Anforderungen an beide Komponenten unterschiedliche Fertigungsprozesse vorteilhaft sind. Beispielsweise ist eine Anforderung an den Facettenabschnitt 306 eine möglichst geringe Eigenspannung. Dies kann insbesondere durch Fräsen oder Erodieren mit einer anschließenden Wärmebehandlung erzielt werden. Beispielsweise ist eine Anforderung an den Grundkörper 304 eine möglichst exakte Herstellung der feinen Strukturen wie sie beispielsweise für die Hebelarme 312, 314 oder die Gelenkabschnitte 320, 322 erforderlich sind. Diese Strukturen können vorteilhaft mittels Erodierens, Ätzens oder additiver Fertigung und einer abweichenden Wärmebehandlung erreicht werden.

Im letztgenannten Fall ist folglich ein Verfahren zur Verbindung des Grundkörpers 304 und des Facettenabschnitts 306, beispielsweise an den Gelenkabschnitten 320, 322, notwendig. Die Verbindung des Facettenabschnitts 306 mit dem Grundkörper 304 kann beispielsweise durch Schweißen, Ansprengen, Löten, Kleben, Diffusionsschweißen, Elektronenstrahlschweißen, Laserschweißen oder Reactive Bonding erfolgen. Für diese Ausführungsformen der Verbindung an den Gelenkabschnitten 320, 322 ist es möglich, dass sich Eigenspannungen oder Deformationen der Fügestelle auf die optisch wirksame Fläche 308 durchprägen und deren optische Eigenschaften verschlechtern. Hierfür ist eine der Herstellung der Verbindung nachgelagerte Korrektur des Oberflächenfehlers der optisch wirksamen Fläche 308 vorteilhaft. Dies kann durch mechanische, elektrochemische oder elektronenstrahloptische Verfahren erfolgen.

Für alle oben genannten Ausführungsformen des optischen Systems 300A, 300B, 300C, 300D, 300E, 300F, 300G, 300H werden als Stellelemente 332, 334, 336, 338 Piezostellelemente oder Piezoaktoren vorgeschlagen. Alternativ kann die Aktuierung des Facettenabschnitts 306 jedoch auch durch magnetische, magnetostriktive, pneumatische oder hydraulische Antriebe erfolgen. Die Verwendung von Piezoaktoren ist jedoch insbesondere vorteilhaft da diese ein sehr gutes Kraft/Bauraum-Verhältnis aufweisen. Das heißt, es können unter dem zur Verfügung stehenden, stark limitierten Bauraum große Deformationen der optisch wirksamen Fläche 308 erzielt werden. Ein weiterer Vorteil ist, dass aufgrund der geringen Baugröße von Piezoaktoren eine Breite des Facettenabschnitts 306 sehr schmal gewählt werden kann. Damit kann in dem Strahlformungs- und Beleuchtungssystem 102 eine große Anzahl von optischen Systemen 300A, 300B, 300C, 300D, 300E, 300F, 300G, 300H mit aktuierbaren Facettenabschnitten 306 und somit optischer Kanäle angeordnet werden. Dies ist für die optische Leistungsfähigkeit des Strahlformungs- und Beleuchtungssystems 102 vorteilhaft.

Ein weiterer Vorteil ist, dass Stellelemente 332, 334, 336, 338 in Form von Piezoaktoren aufgrund ihrer geringen Baugröße wie zuvor beschrieben zur Kompensation thermaler Störeffekte angeordnet werden können. Ferner benötigen Piezoaktoren im Gegensatz zu anderen Aktoren im stationären beziehungsweise quasistationären Betrieb kaum Strom. Durch den hohen Innenwiderstand ist der Strombedarf durch den Piezoaktor zum Halten einer Position vernachlässigbar klein und wird hauptsächlich durch die äußere Beschaltung bestimmt. Nach der Trennung von der Stromzufuhr kann der Piezoaktor seine Position beibehalten. Dies reduziert die Leistungsaufnahme, damit die Eigenerwärmung und ist zur Reduzierung der oben genannten thermisch verursachten Fehler geeignet.

Fig. 18 bis 20 zeigen stark vereinfachte schematische Ansichten einer Ausführungsform eines Facettenabschnitts 306. Die Fig. 18 zeigt eine Seitenansicht des

Facettenabschnitts 306. Die Fig. 19 zeigt eine Aufsicht des Facettenabschnitts 306. Die Fig. 20 zeigt eine Vorderansicht des Facettenabschnitts 306. Die optischen Systeme 300A, 300B, 300C, 300D, 300E, 300F, 300G, 300H beruhen vereinfacht betrachtet auf dem kinematischen Prinzip eines beidseitig gelagerten Biegebalkens, den der Facettenabschnitt 306 bildet, mit beidseitiger Einleitung von Biegemomenten B1, B2. Die Fig. 18 zeigt den Biegebalken in Form des Facettenabschnitts 306 in einem nicht deformierten Zustand, der mit durchgezogenen Linien dargestellt ist, und in einem deformierten Zustand, der mit gestrichelten Linien dargestellt ist. In dem deformierten Zustand ist der Facettenabschnitt mit dem Bezugszeichen 306′ gekennzeichnet.

Gemäß einer möglichen Ausführungsform entspricht ein in der y-Richtung y (lange Achse des Facettenabschnitts 306) gerader Facettenabschnitt 306 einem geraden Biegebalken. Der Facettenabschnitt 306 weist eine Breite b und eine Höhe h auf, welche beide entlang der y-Richtung y betrachtet konstant sind. Ein solcher Facettenabschnitt 306 mit homogenem Querschnitt Q wird sich bei beidseitiger Einleitung gegengerichteter Biegemomente B1, B2 ausschließlich in einer von der y-Richtung y und der z-Richtung z aufgespannten Ebene deformieren. Eine Oberflächennormale oder ein Normalenvektor N der optisch wirksamen Fläche 308 erfährt dadurch ausschließlich eine Rotation um die x-Richtung x (kurze Achse des Facettenabschnitts 306), abhängig von seiner Position in der y-Richtung y auf dem Facettenabschnitt 306.

Fig. 21 bis 24 zeigen stark vereinfachte schematische Ansichten einer weiteren Ausführungsform eines Facettenabschnitts 306. Die Fig. 21 zeigt eine Seitenansicht des Facettenabschnitts 306. Die Fig. 22 zeigt eine Aufsicht des Facettenabschnitts 306. Die Fig. 23 zeigt eine Schnittansicht des Facettenabschnitts 306 gemäß der Schnittlinie A-A der Fig. 21. Die Fig. 24 zeigt eine Schnittansicht des Facettenabschnitts 306 gemäß der Schnittlinie B-B der Fig. 21. Für bestimmte Anwendungen kann es vorteilhaft sein, dem Facettenabschnitt 306 eine in der

Aufsicht sichelförmige oder bogenförmige Ausprägung zu verleihen. In diesem Fall entspricht der Facettenabschnitt 306 einem gekrümmten Biegebalken. Auch hier hat der Facettenabschnitt 306 einen homogenen Querschnitt Q.

Werden in einen derartigen sichelförmigen Facettenabschnitt 306 wie oben beschrieben beidseitig gegengerichtete Biegemomente B1, B2 eingeleitet, so wird sich dieser Facettenabschnitt 306 ebenfalls primär in einer von der y-Richtung y und der z-Richtung z aufgespannten Ebene deformieren. Zusätzlich wird der Facettenabschnitt 306 jedoch auch eine Torsion um die y-Richtung y erfahren. Diese Torsion ist Null an beiden Enden des Facettenabschnitts 306 und maximal in der Mitte des Facettenabschnitts 306.

Der Normalenvektor N der optisch wirksamen Fläche 308 erfährt dadurch sowohl eine Rotation um die x-Richtung x als auch um die y-Richtung y. In der Mitte des Facettenabschnitts 306 ist die Rotation um die y-Richtung y, wie in der Fig. 24 gezeigt, maximal. Die Rotation um die x-Richtung x ist dagegen in der Mitte des Facettenabschnitts 306 Null und maximal an beiden Enden des Facettenabschnitts 306. Beide Rotationen stehen in einem geometrisch bedingten, festen Verhältnis zueinander.

Fig. 25 bis 28 zeigen stark vereinfachte schematische Ansichten einer weiteren Ausführungsform eines Facettenabschnitts 306. In der Aufsicht gemäß der Fig. 25 ist der Facettenabschnitt 306 beziehungsweise die optisch wirksame Fläche 308 bogenförmig oder sichelförmig gekrümmt. Die Fig. 26 zeigt eine Schnittansicht des Facettenabschnitts 306 gemäß der Schnittlinie C-C der Fig. 25. Die Fig. 27 zeigt eine Schnittansicht des Facettenabschnitts 306 gemäß der Schnittlinie D-D der Fig. 25. Die Fig. 28 zeigt eine Schnittansicht des Facettenabschnitts 306 gemäß der Schnittlinie E-E der Fig. 25. Für bestimmte Anwendungen ist es vorteilhaft, die Rotation des Normalenvektors N um die y-Richtung y so gering wie möglich zu halten.

Dies kann durch eine zielgerichtete Variation der Steifigkeit des Facettenabschnitts 306 erzielt werden. Unter der "Steifigkeit" ist vorliegend der Widerstand des Facettenabschnitts 306 beziehungsweise allgemein eines Körpers gegen eine elastische Verformung durch eine Kraft oder ein Moment zu verstehen. Insbesondere ist unter der "Steifigkeit" die Torsionssteifigkeit des Facettenabschnitts 306, also die Steifigkeit gegen ein den Facettenabschnitt 306 tordierendes oder verwindendes Torsionsmoment, zu verstehen. Die Steifigkeit eines Bauteils hängt zum einen von den elastischen Eigenschaften des Werkstoffs, wie beispielsweise dem Elastizitätsmodul, und zum anderen von der Geometrie des verformten Bauteils ab.

Die Steifigkeit des Facettenabschnitts 306 kann also durch eine Variation des Elastizitätsmoduls des für den Facettenabschnitt 306 verwendeten Werkstoffs variiert werden. Eine wie zuvor erwähnte Variation des Elastizitätsmoduls kann durch die Verwendung eines monolithisch gefertigten Basiskörpers aus zwei oder mehreren verschiedenen Werkstoffen erzielt werden. Dieser Basiskörper bildet den Facettenabschnitt 306 beziehungsweise der Facettenabschnitt 306 ist aus dem Basiskörper gefertigt. Der Basiskörper kann auch den Grundkörper 304 umfassen. Ein solcher Basiskörper kann durch Verschweißen, Plattieren oder vorzugsweise durch additive oder generative Fertigung, insbesondere 3D-Druck, aus unterschiedlichen Metallpulvern hergestellt werden. Insbesondere mit additiven Fertigungsverfahren können hybride Bauteile mit einem kontinuierlichen Übergang zwischen zwei verschiedenen Werkstoffen, beispielsweise Kupfer und Stahl, erzeugt werden. Der Facettenabschnitt 306 kann also einen hybriden Aufbau, insbesondere aus Stahl und Kupfer, aufweisen.

Besonders bevorzugt wird jedoch die Geometrie, insbesondere ein Querschnitts Q des Facettenabschnitts 306, variiert. Es besteht jedoch auch die Möglichkeit, sowohl den Elastizitätsmodul als auch den Querschnitt Q zu variieren. Gemäß

einer vorteilhaften Ausführungsform umfasst der Facettenabschnitt 306 einen trapezförmigen Querschnitt Q mit konstanter oder variabler Breite b1 an dessen Oberseite, das heißt der optisch wirksamen Fläche 308. Eine Breite b2 an dessen Unterseite ist ebenfalls variabel, jedoch vorteilhaft an jeder Stelle des Facettenabschnitts 306 schmaler als die Oberseite. Eine Höhe h des Querschnitts Q kann ebenfalls variabel gewählt werden.

Bei einem konstanten Querschnitt Q ist das Torsionswiderstandsmoment um die x-Richtung x und die y-Richtung y des Facettenabschnitts 306 über die gesamte Länge des Facettenabschnitts 306 konstant. Das "Torsionswiderstandsmoment" ist ein Maß dafür, welchen Widerstand der Facettenabschnitt 306 oder allgemeiner ausgedrückt ein Balken bei Belastung der Entstehung innerer Spannungen entgegensetzt. Mit einem wie zuvor erläuterten variablen Querschnitt Q kann das Torsionswiderstandsmoment gezielt beeinflusst werden. Dieses Verfahren ist nicht nur auf trapezförmige Querschnitte Q begrenzt, sondern für beliebige Querschnitte mit mindestens zwei variablen Querschnittsparametern, wie beispielsweise Breite und Höhe, anwendbar. Denkbar sind beispielsweise Querschnitte Q in Form von Rechtecken, Dreiecken, Halbellipsen, Rechtecken mit abgeschnittenen Ecken oder andere komplexere Querschnitte.

Der Facettenabschnitt 306 umfasst einen ersten Endbereich 414 sowie einen zweiten Endbereich 416. In die Endbereiche 414, 416 werden die Biegemomente B1, B2 eingeleitet. Mittig zwischen den Endbereichen 414, 416 ist eine Symmetrieebene E1 vorgesehen, zu welcher der Facettenabschnitt 306 spiegelsymmetrisch aufgebaut ist. Der Schnitt gemäß der Fig. 27 ist in der Symmetrieebene E1 angeordnet. Die Symmetrieebene E1 wird von der x-Richtung x und der z-Richtung z aufgespannt beziehungsweise ist parallel zu einer von der x-Richtung x und der z-Richtung z aufgespannten Ebene angeordnet.

Der Facettenabschnitt 306 weist eine Längsrichtung L1, L2 auf. Die Längsrichtung L1, L2 ist jeweils von dem entsprechenden Endbereich 414, 416 in Richtung der Symmetrieebene E1 hin orientiert. Die Längsrichtung L1, L2 weist dabei jeweils einen bogenförmig gekrümmten Verlauf auf. Beispielsweise wird die Steifigkeit des Facettenabschnitts 306 ausgehend von den Endbereichen 414, 416 entlang der Längsrichtung L1, L2 betrachtet in Richtung der Symmetrieebene E1 kleiner.

Dies kann beispielsweise dadurch erreicht werden, dass der Querschnitt Q beziehungsweise eine Querschnittsfläche des Querschnitts Q in der Symmetrieebene E1 am kleinsten ist und sich hin zu den Endbereichen 414, 416 vergrößert. Dabei ist jedoch ein Verlauf oder ein Gradient der Steifigkeit, das heißt der Verlauf der Steifigkeit entlang der jeweiligen Längsrichtung L1, L2 symmetrisch zu der Symmetrieebene E1. Das heißt, dass der Querschnitt Q gemäß der Schnittlinie D-D gemäß der Fig. 25 kleiner ist als der Querschnitt Q gemäß den Schnittlinien C-C und E-E. Entsprechendes gilt für das Torsionswiderstandsmoment.

Fig. 29 zeigt den Fehlerverlauf des Normalenvektors N über der Länge des Facettenabschnitts 306 für eine bestimmte Änderung des Querschnitts Q. Dabei ist auf der Abszissenachse die y-Richtung y in mm aufgetragen. Auf der Ordinatenachse ist eine Fehlerwinkel θ in µrad aufgetragen. Betrachtet wird beispielhaft ein 90 mm langer Facettenabschnitt 306 mit einem rechteckigen Querschnitt Q von konstant 4 mm Höhe h und Breite b (Fig. 24).

Eine Kurve 418 stellt die Verkippung des Normalenvektors N in der von der y-Richtung y und der z-Richtung z aufgespannten Ebene E2 dar. Eine Kurve 420 stellt die Verkippung des Normalenvektors N in einer von der x-Richtung x und der z-Richtung z aufgespannten Ebene dar. Eine Kurve 422 zeigt die aus den Kurven 418, 420 resultierende Verkippung des Normalenvektors N. Wie der

Kurve 422 zu entnehmen ist, variiert der Fehlerwinkel θ des resultierenden Normalenvektors N zwischen 5 und 19 µrad.

Fig. 30 zeigt im Gegensatz zu der Fig. 29 den Fehlerverlauf des Normalenvektors M für einen 80 mm langen Facettenabschnitt 306 mit einer variablen Höhe h (Fig. 26) sowie konstanter Breite b1 (Fig. 26) des Querschnitts Q an der Oberseite sowie variabler Breite b2 (Fig. 26) an der Unterseite. Für einen bestimmten, nach oben beschriebenem Verfahren gewählten, variablen Querschnitt Q kann der resultierende Fehler des resultierenden Normalenvektors N vollständig eliminiert werden, wie anhand der Kurve 424 gezeigt ist. Das heißt, eine Deformation des Facettenabschnitts 306 findet nur in einer von der y-Richtung y und der z-Richtung z aufgespannten Ebene E2 statt. Die Ebene E2 ist senkrecht zu der Symmetrieebene E1 orientiert.

Nun zurückkehrend zu der Fig. 4 umfasst die optische Anordnung 200 ferner eine Messeinheit 244, die in der Fig. 4 einmal in einer Seitenansicht (links) und in einer Aufsicht (rechts) gezeigt ist. Die Funktion der Messeinheit 244 wird nachfolgend erläutert. Piezoaktoren können verschiedene lang andauernde Kriecheffekte und Drifteffekte aufweisen, die mit den oben genannten Messsystemen in Form aufgrund deren eigenem Kriechverhaltens nicht erfasst werden können.

Solche Effekte können beispielsweise Kriechen aufgrund Spannungsrelaxation in einer Klebeverbindung zwischen dem jeweiligen Stellelement 332, 334, 336, 338 und dem Grundkörper 304, einer Drift des Stellelements 332, 334, 336, 338 aufgrund Ladungsverlust, Drift des Ladungsverstärkers und/oder Werkstoffkriechen in dem Facettenabschnitt 306 oder dem Grundkörper 304 sein. Diese Kriecheffekte können zu einer Abweichung der Ist-Krümmung von der durch die Ansteuerung vorgegeben Soll-Krümmung führen und können in einem Zeitraum von Stunden, Tagen oder Wochen je nach Kriecheffekt und Kriechrate auftreten.

Zur Messung dieser Effekte und zur Ableitung eines Korrektursignals ist die Messeinheit 244 vorteilhaft. Die EUV-Strahlung 108A des Strahlengangs 216 trifft auf die schwenkbaren und in ihrer Krümmung veränderbaren Feldfacetten 222A, 222B, 222C, 222D, 222E, 222F. Diese reflektieren die EUV-Strahlung je nach Schaltstellung auf verschiedene Pupillenfacetten 230A, 230B, 230C, 230D, 230E, 230F. Die Anordnung gemäß der Fig. 4 sieht die von dem Pupillenfacettenspiegel 204 unabhängige Messeinheit 244 vor.

Zur Messung der Krümmung einer Feldfacette 222A, 222B, 222C, 222D, 222E, 222F wird eine der Feldfacetten 222A, 222B, 222C, 222D, 222E, 222F, beispielsweise die Feldfacette 222C, so gekippt, dass die von ihr reflektierte EUV-Strahlung 108A auf das Messeinheit 244 auftrifft. Die Messeinheit 244 erfasst dann die Größe des Lichtflecks, vorzugsweise in mehreren Raumrichtungen, insbesondere in Länge und Breite. Aus der Größe des Lichtflecks wird über eine nicht dargestellte Steuereinheit ein Korrektursignal für die Stellelemente 332, 334, 336, 338 zur Facettenkrümmung errechnet. Über eine geschlossene Regelschleife kann nun durch iterative Optimierung der Lichtfleck auf eine minimale Größe und so bestmögliche Fokussierung eingestellt werden. Diese Kalibrierung erfolgt nacheinander für alle Feldfacetten 222A, 222B, 222C, 222D, 222E, 222F und kann für jede Feldfacette 222A, 222B, 222C, 222D, 222E, 222F in einem Zeitraum von Stunden, Tagen oder Wochen, je nach Kriecheffekt und Kriechrate durchgeführt werden.

Die Messeinheit 244 kann beispielsweise als CCD-Sensor (Engl.: Charge-Coupled Device, CCD) ausgeführt sein. In einer Ausführungsform sind die Pupillenfacetten 230A, 230B, 230C, 230D, 230E, 230F des Pupillenfacettenspiegels 204 in einer kreisförmigen Fläche angeordnet. Hierbei ist es vorteilhaft die Messeinheit 244 im Mittelpunkt der Fläche anzuordnen, da so die Variation der Schaltwinkel der Feldfacetten 222A, 222B, 222C, 222D, 222E, 222F zur Beleuchtung der Messeinheit 244 weitestmöglich reduziert und ein möglichst steiler Ein-

fallswinkel des Lichts aller Feldfacetten auf die Messeinheit realisiert wird. Alternativ kann die Messeinheit 244, wie in der Fig. 4 gezeigt, unabhängig und neben dem Pupillenfacettenspiegel 204 oder (nicht dargestellt) am Rand des Pupillenfacettenspiegels 204 angeordnet werden.

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

BEZUGSZEICHENLISTE

100A	EUV-Lithographieanlage
100B	DUV-Lithographieanlage
102	Strahlformungs- und Beleuchtungssystem
104	Projektionssystem
106A	EUV-Lichtquelle
106B	DUV-Lichtquelle
108A	EUV-Strahlung
108B	DUV-Strahlung
110	Spiegel
112	Spiegel
114	Spiegel
116	Spiegel
118	Spiegel
120	Photomaske
122	Spiegel
124	Wafer
126	optische Achse
128	Linse
130	Spiegel
132	Medium
200	optische Anordnung
202	Spiegel/Feldfacettenspiegel
204	Spiegel/Pupillenfacettenspiegel
206	Spiegel
208	Spiegel
210	Umlenkspiegel
212	Gehäuse
214	Zwischenfokus

216 Strahlengang
218 Objektebene
220 Objektfeld
222 Facette/Feldfacette
222A Feldfacette
222B Feldfacette
222C Feldfacette
222D Feldfacette
222E Feldfacette
222F Feldfacette
224 Grundkörper
226 optisch wirksame Fläche
228 Grundkörper
230A Pupillenfacette
230B Pupillenfacette
230C Pupillenfacette
230D Pupillenfacette
230E Pupillenfacette
230F Pupillenfacette
232 optisch wirksame Fläche
234A Abbildungslichtbündel
234B Abbildungslichtbündel
234C Abbildungslichtbündel
236 Plasmaquelle
238 Kollektor
240 Abbildungsfläche
242 Fläche
244 Messeinheit
300A optisches System/Feldfacettensystem
300B optisches System/Feldfacettensystem

300C optisches System/Feldfacettensystem
300D optisches System/Feldfacettensystem
300E optisches System/Feldfacettensystem
300F optisches System/Feldfacettensystem
300G optisches System/Feldfacettensystem
300H optisches System/Feldfacettensystem
302 optisches Element
304 Grundkörper
306 Facettenabschnitt
306′ Facettenabschnitt
308 optisch wirksame Fläche
310 Spalt
312 Hebelarm
314 Hebelarm
316 Verbindungsbereich
318 Verbindungsbereich
320 Gelenkabschnitt
322 Gelenkabschnitt
324 Armabschnitt
326 Armabschnitt
328 Spalt
330 Spalt
332 Stellelement
334 Stellelement
336 Stellelement
338 Stellelement
340 Temperatursensor
342 Temperatursensor
344 Temperatursensor
346 Temperatursensor

348 Stellelementepaar
350 Stellelementepaar
352 Verbindungselement
354 Verbindungselement
356 Ausnehmung
358 Ausnehmung
360 Temperatursensor
362 Temperatursensor
364 Temperatursensor
366 Temperatursensor
368 Wegmesssensor
370 Wegmesssensor
372 Steuereinheit
374 Gelenkabschnitt
376 Gelenkabschnitt
378 Kopplungsabschnitt
380 Kopplungsabschnitt
382 Entkopplungsgelenk
384 Entkopplungsgelenk
386 Hebelarm
388 Hebelarm
390 Hebelarm
392 Hebelarm
394 Gelenkabschnitt
396 Gelenkabschnitt
398 Entkopplungsgelenk
400 Entkopplungsgelenk
402 Entkopplungsgelenk
404 Entkopplungsgelenk
406 Wegmesssensor

408 Wegmesssensor
410 Wegmesssensor
412 Wegmesssensor
414 Endbereich
416 Endbereich
418 Kurve
420 Kurve
422 Kurve
424 Kurve

b Breite
b1 Breite
b2 Breite
B1 Biegemoment
B2 Biegemoment
E1 Symmetrieebene
E2 Ebene
h Höhe
K1 Krümmungsradius
K2 Krümmungsradius
L1 Längsrichtung
L2 Längsrichtung
M1 Spiegel
M2 Spiegel
M3 Spiegel
M4 Spiegel
M5 Spiegel
M6 Spiegel
N Normalenvektor
P1 Kippposition

P2	Kippposition
P3	Kippposition
Q	Querschnitt
x	x-Richtung
y	y-Richtung
z	z-Richtung
θ	Fehlerwinkel

PATENTANSPRÜCHE

1. Feldfacettensystem (300A, 300B, 300C, 300D, 300E, 300F, 300G, 300H) für eine Lithographieanlage (100A, 100B), aufweisend

ein optisches Element (302), wobei das optische Element (302) einen Basiskörper (204) und einen mit dem Basiskörper (204) verbundenen und elastisch deformierbaren Facettenabschnitt (306) mit einer lichtreflektierenden optisch wirksamen Fläche (308) umfasst, und

mehrere Stellelemente (332, 334, 336, 338) zum Deformieren des Facettenabschnitts (306), um einen Krümmungsradius (K1, K2) der optisch wirksamen Fläche (308) zu verändern,

wobei die Stellelemente (332, 334, 336, 338) derart mit dem Facettenabschnitt (306) wirkverbunden sind, dass eine wärmebedingte Auslenkung der Stellelemente (332, 334, 336, 338) von dem Facettenabschnitt (306) derart entkoppelt ist, dass der Krümmungsradius (K1, K2) von der wärmebedingten Auslenkung der Stellelemente (332, 334, 336, 338) unbeeinflusst ist.

2. Feldfacettensystem nach Anspruch 1, wobei zumindest ein Teil der Stellelemente (332, 338) mit Hilfe von Hebelarmen (312, 314) mit dem Facettenabschnitt (306) gekoppelt sind.

3. Feldfacettensystem nach Anspruch 2, wobei ein erster Hebelarm (312) der Hebelarme (312, 314) mit Hilfe eines ersten Gelenkabschnitts (320), welcher nur eine rotatorische Bewegung des ersten Hebelarms (312) um eine erste Raumrichtung (x) erlaubt, gelenkig mit dem Grundkörper (304) verbunden ist, und wobei ein zweiter Hebelarm (314) der Hebelarme (312, 314) mit Hilfe eines zweiten Gelenkabschnitts (322), welcher eine rotatorische Bewegung des zweiten Hebelarms (314) um die erste Raumrichtung (x) erlaubt, gelenkig mit dem Grundkörper (304) verbunden ist.

4. Feldfacettensystem nach Anspruch 3, wobei der zweite Gelenkabschnitt (322) zusätzlich eine translatorische Bewegung des zweiten Gelenkabschnitts (322) entlang einer sich von der ersten Raumrichtung (x) unterscheidenden zweiten Raumrichtung (y) erlaubt, um eine wärmebedingte Ausdehnung des Facettenabschnitts (306) entlang der zweiten Raumrichtung (y) zu kompensieren.

5. Feldfacettensystem nach Anspruch 4, wobei die Stellelemente (332, 334, 336, 338) Linearstellelemente sind, welche sich in Abhängigkeit von einer Ansteuerung derselben entlang einer sich von der ersten Raumrichtung (x) und der zweiten Raumrichtung (y) unterscheidenden dritten Raumrichtung (z) ausdehnen und verkürzen.

6. Feldfacettensystem nach Anspruch 3, wobei die Stellelemente (332, 334, 336, 338) Linearstellelemente sind, welche sich in Abhängigkeit von einer Ansteuerung derselben entlang einer sich von der ersten Raumrichtung (x) unterscheidenden zweiten Raumrichtung (y) ausdehnen und verkürzen.

7. Feldfacettensystem nach Anspruch 4, wobei die Stellelemente (332, 336) Scherstellelemente sind, welche sich in Abhängigkeit von einer Ansteuerung derselben in einer von der zweiten Raumrichtung (y) und der dritten Raumrichtung (z) aufgespannten Ebene verkrümmen.

8. Feldfacettensystem nach Anspruch 7, wobei die Stellelemente (332, 336) mit Hilfe von entlang der zweiten Raumrichtung (y) biegeweichen Entkopplungsgelenken (382, 384) mit den Hebelarmen (312, 314) gekoppelt sind.

9. Feldfacettensystem nach einem der Ansprüche 1 – 6, wobei die Stellelemente (332, 334, 336, 338) paarweise in Stellelementpaaren (348, 350) parallel zueinander angeordnet sind, wobei jeweils ein erstes Stellelement (332, 338) der Stellelementpaare (348, 350) mit dem Facettenabschnitt (306) gekoppelt ist, wo-

bei jeweils ein zweites Stellelement (334, 336) der Stellelementpaare (348, 350) mit dem Grundkörper (304) gekoppelt ist, und wobei das erste Stellelement (332, 338) und das zweite Stellelement (334, 336) jedes Stellelementpaares (348, 350) miteinander gekoppelt sind.

10. Feldfacettensystem nach Anspruch 9, wobei die ersten Stellelemente (332, 338) mit Hilfe der Hebelarme (312, 314) mit dem Facettenabschnitt (306) gekoppelt sind, und wobei die zweiten Stellelemente (334, 336) mit Hilfe von Armabschnitten (324, 326) mit dem Grundkörper (304) gekoppelt sind.

11. Feldfacettensystem nach einem der Ansprüche 1 – 10, wobei die Stellelemente (332, 334, 336, 338) innerhalb des Grundkörpers (304) angeordnet sind.

12. Feldfacettensystem nach einem der Ansprüche 1 – 11, ferner umfassend Temperatursensoren (340, 342, 344, 346, 360, 362, 364, 366), welche zum Erfassen einer Temperatur des Grundkörpers (204), des Facettenabschnitts (306) und/oder der Stellelemente (332, 334, 336, 338) dienen, und/oder Wegmesssensoren (368, 370), welche zum Erfassen einer Deformation des Facettenabschnitts (306) dienen.

13. Feldfacettensystem nach einem der Ansprüche 1 – 12, wobei die Stellelemente (332, 334, 336, 338) Piezoaktoren sind.

14. Feldfacettensystem nach einem der Ansprüche 1 – 13, wobei der Grundkörper (204) und der Facettenabschnitt (306) einstückig, insbesondere materialeinstückig, ausgebildet sind.

15. Lithographieanlage (100A, 100B) mit einem Feldfacettensystem (300A, 300B, 300C, 300D, 300E, 300F, 300G, 300H) nach einem der Ansprüche 1 – 14.

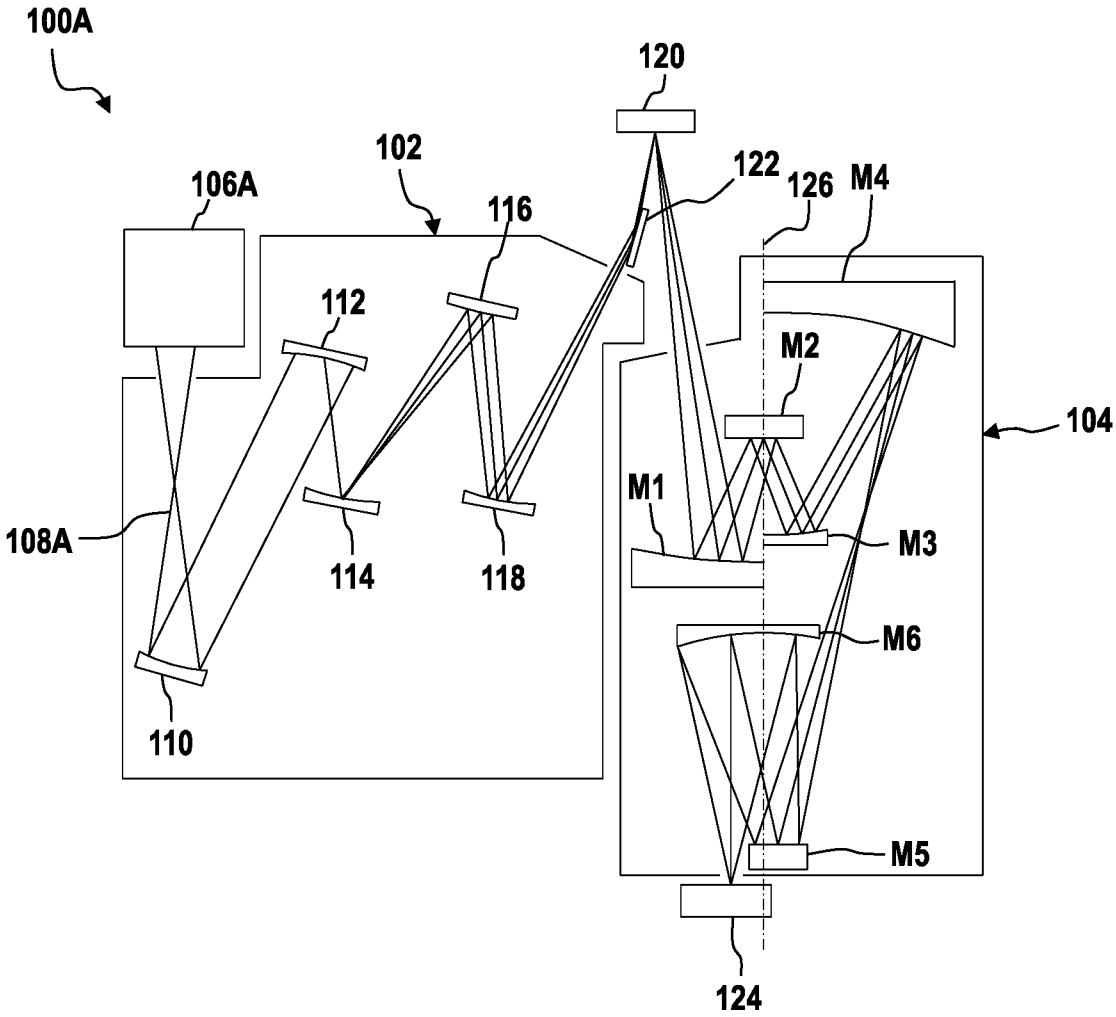

100A
120
102
122
106A
126
M4
116
112
M2
104
M1
108A
M3
114
118
M6
110
M5
124

Fig. 1A

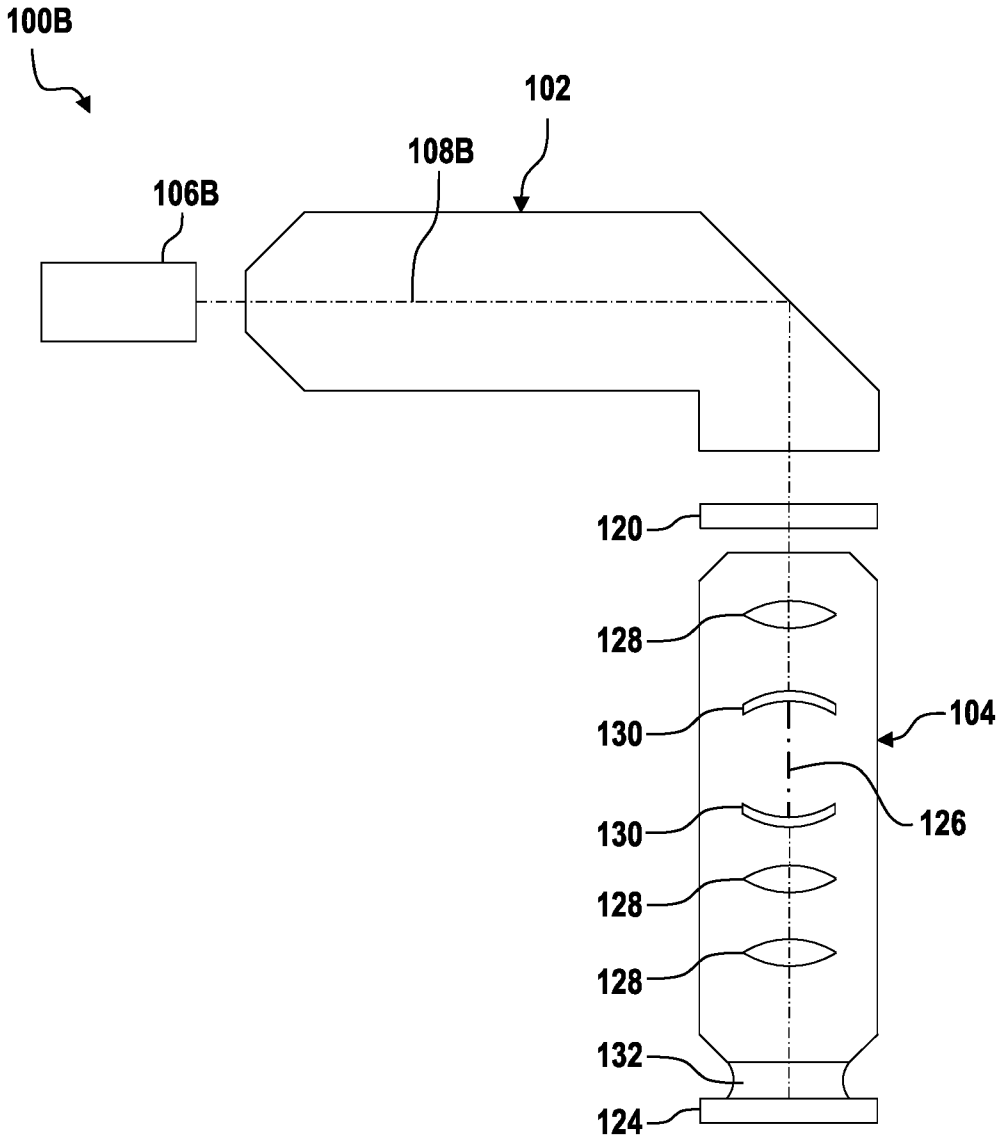


Fig. 1B

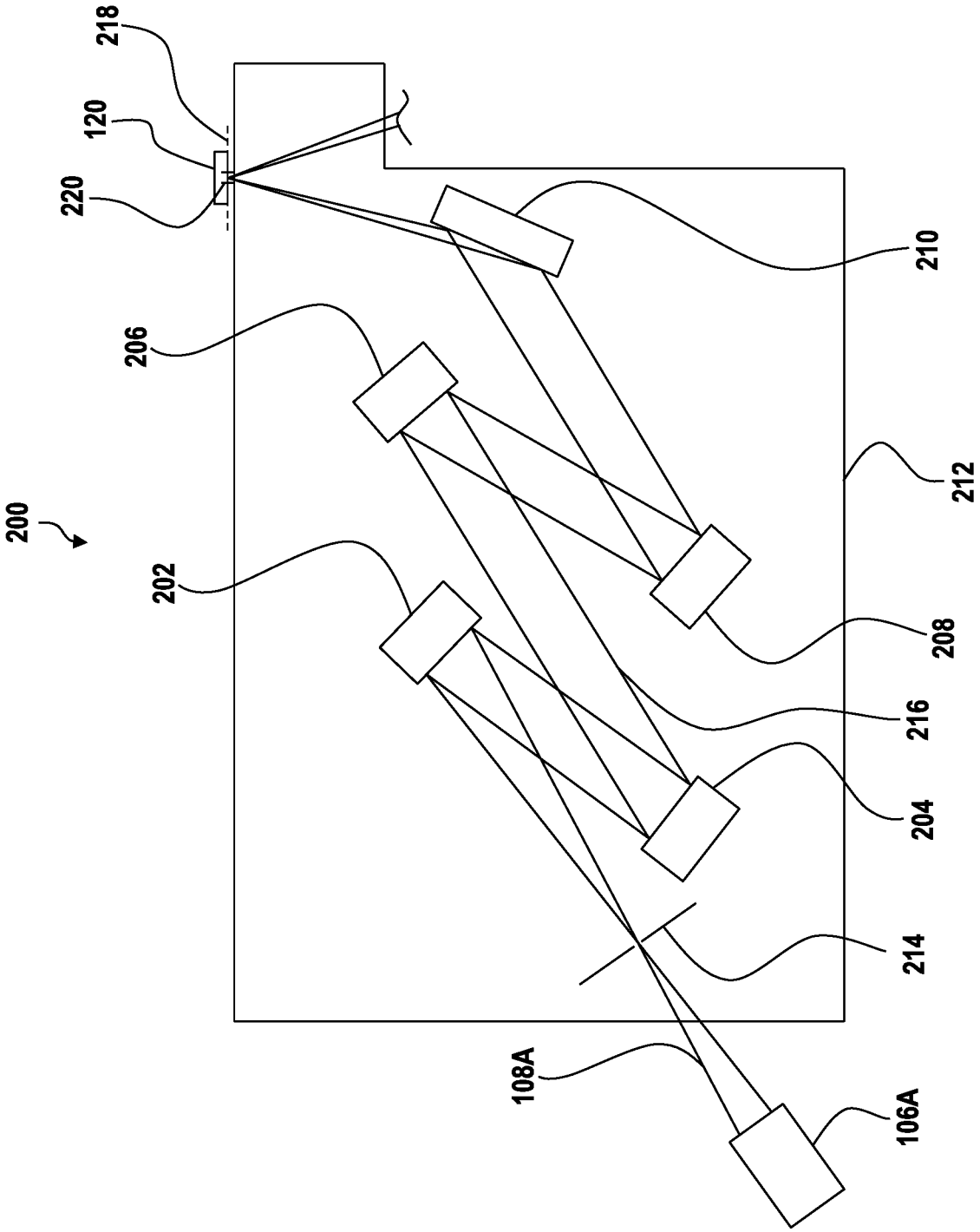


Fig. 2

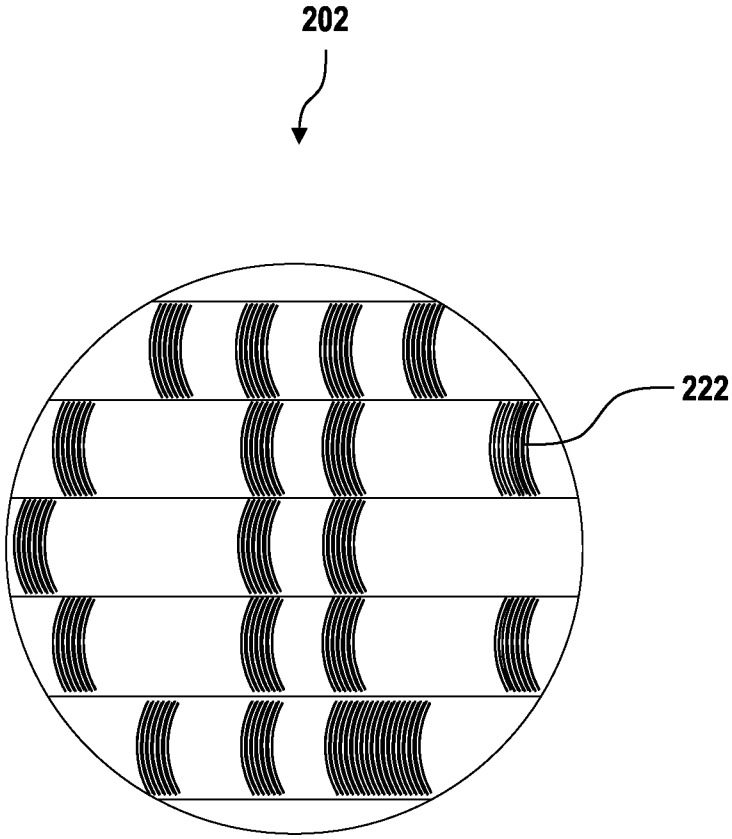


Fig. 3

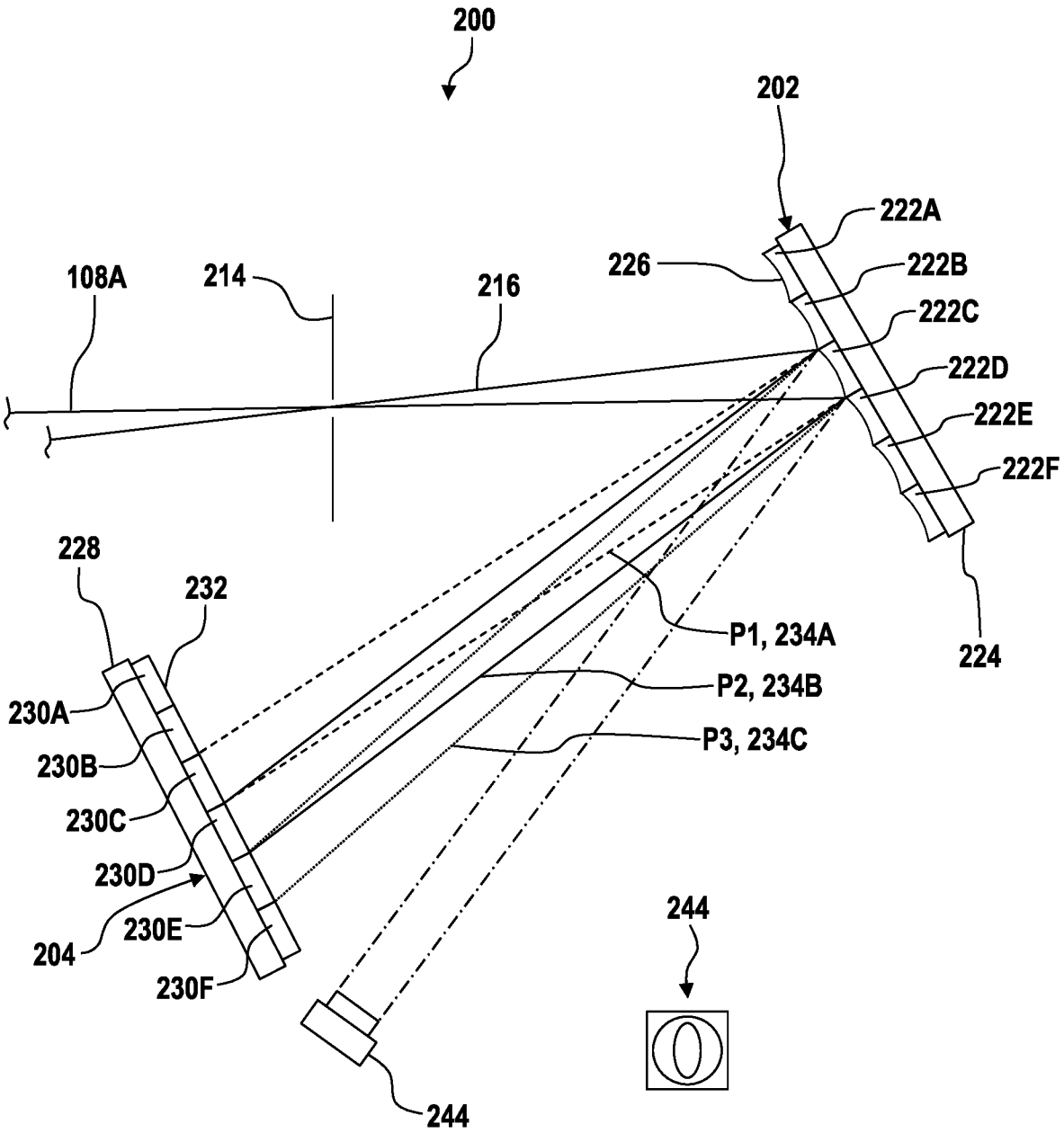

200
202
222A
226
222B
108A
214
216
222C
222D
222E
222F
228
232
P1, 234A
224
P2, 234B
230A
P3, 234C
230B
230C
230D
244
230E
204
230F
244

Fig. 4

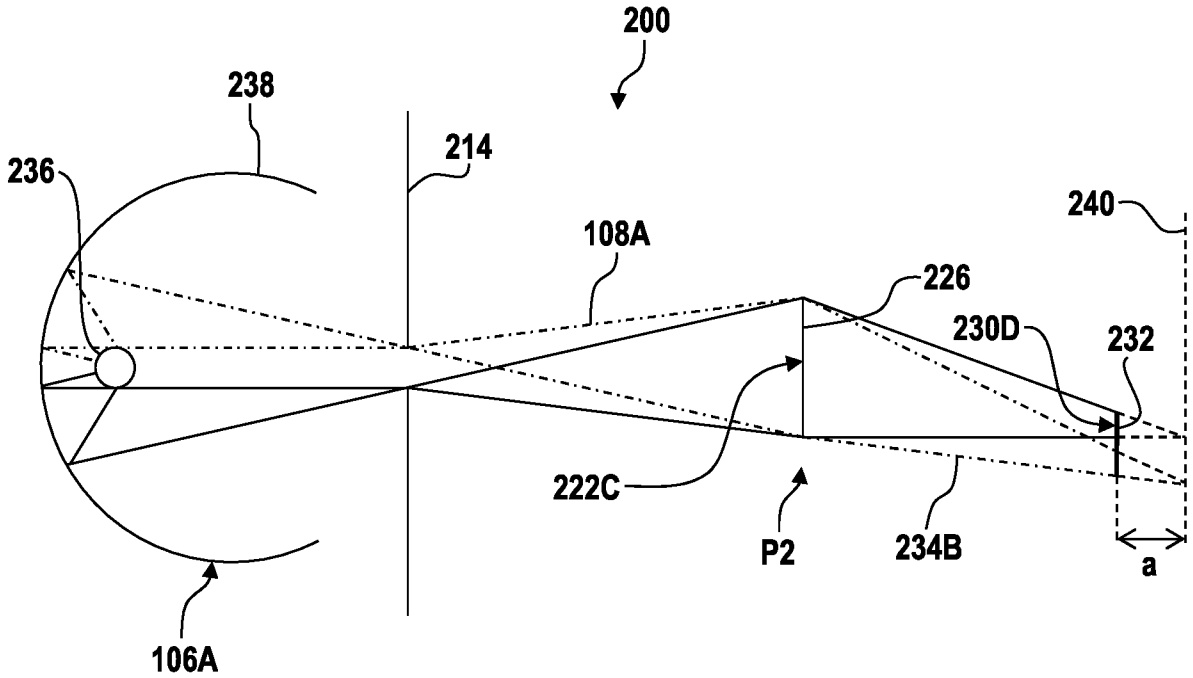

200
238
214
236
240
108A
226
230D
232
222C
P2
234B
a
106A

Fig. 5

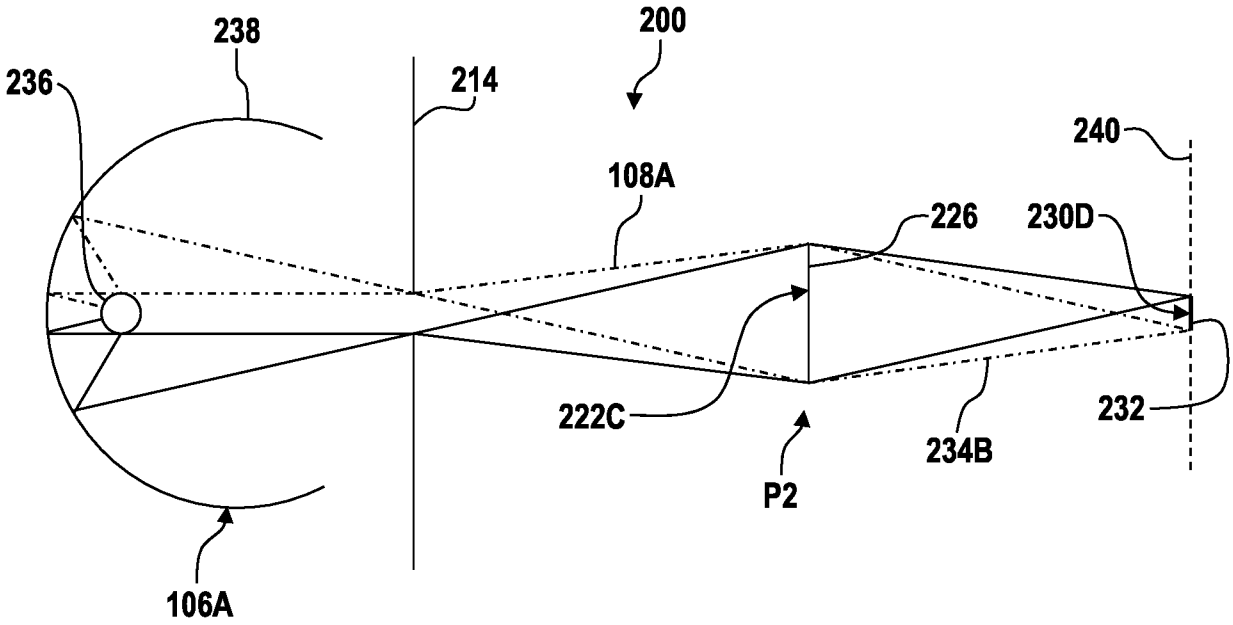

238
200
236
214
240
108A
226
230D
222C
232
234B
P2
106A

Fig. 6

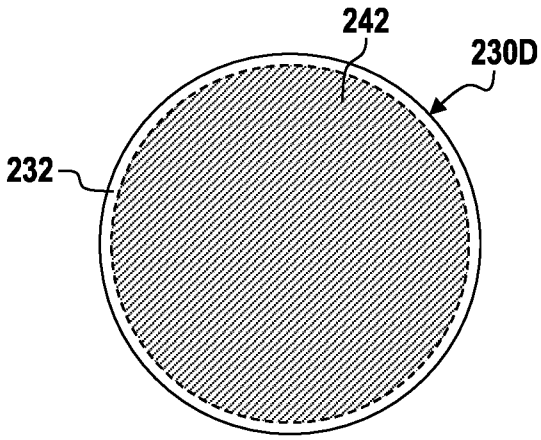


Fig. 7

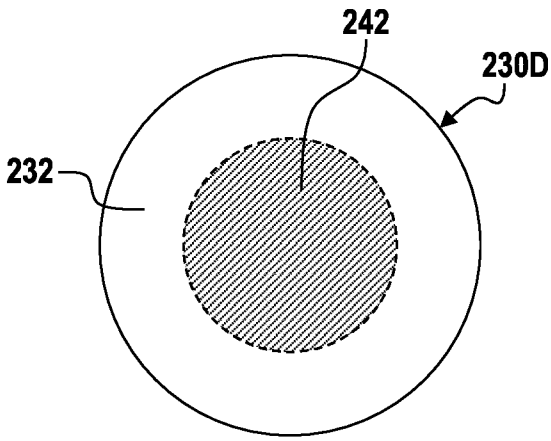


Fig. 8

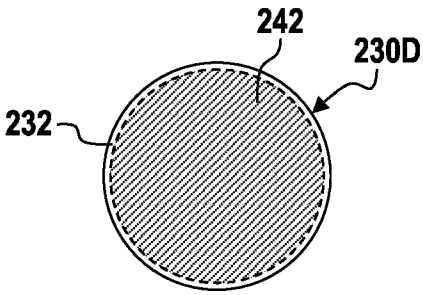


Fig. 9

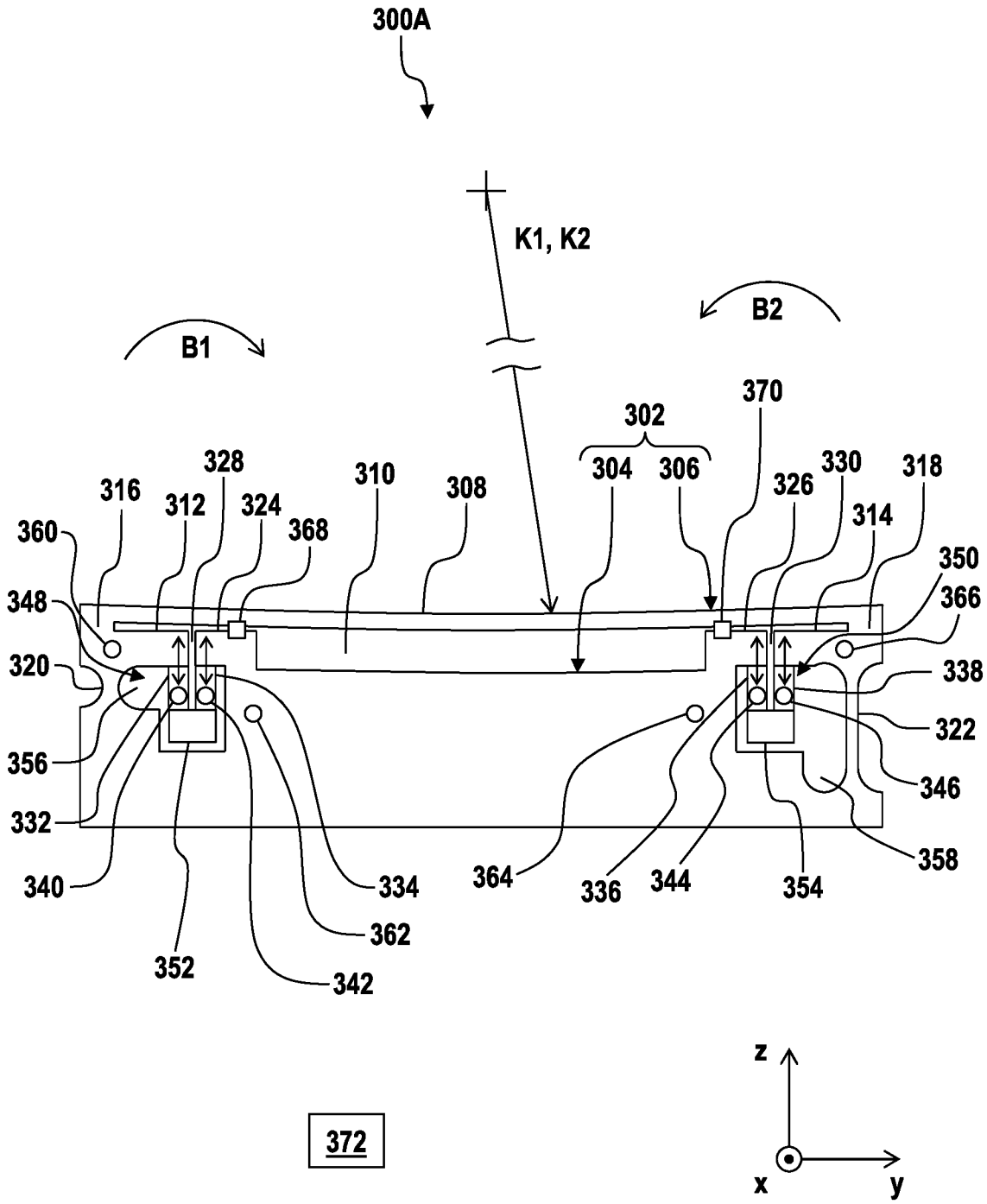

300A
K1, K2
B1
B2
370
302
304
306
328
316
312
324
310
308
326
330
318
314
360
368
350
348
366
320
338
322
356
346
332
358
340
334
364
336
344
354
362
352
342
372
z
x
y

Fig. 10

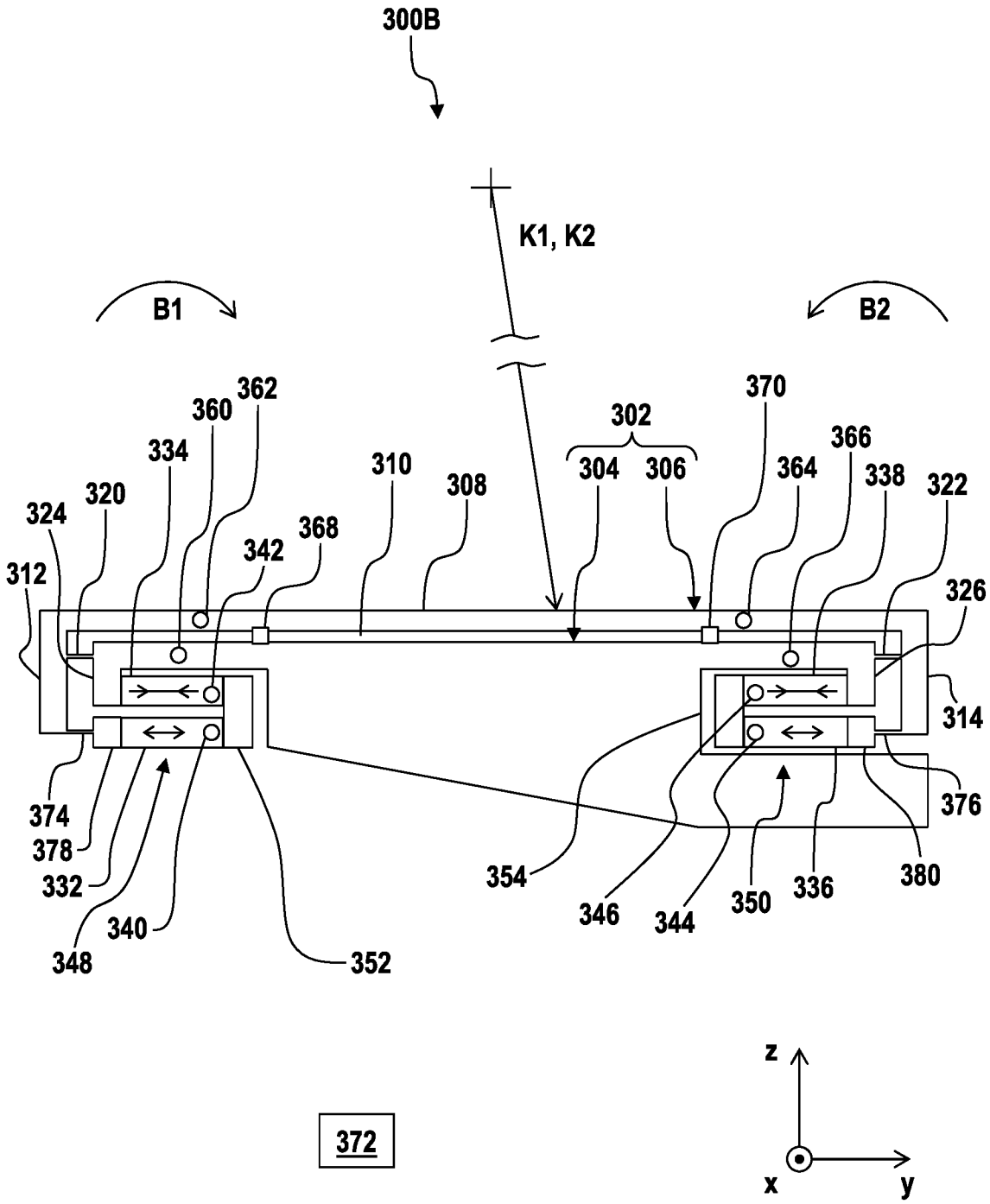

300B
K1, K2
B1
B2
362
360
334
320
324
312
342
368
310
308
302
304
306
370
366
364
338
322
326
314
376
374
378
332
348
340
352
354
346
344
350
336
380
372
z
x
y

Fig. 11

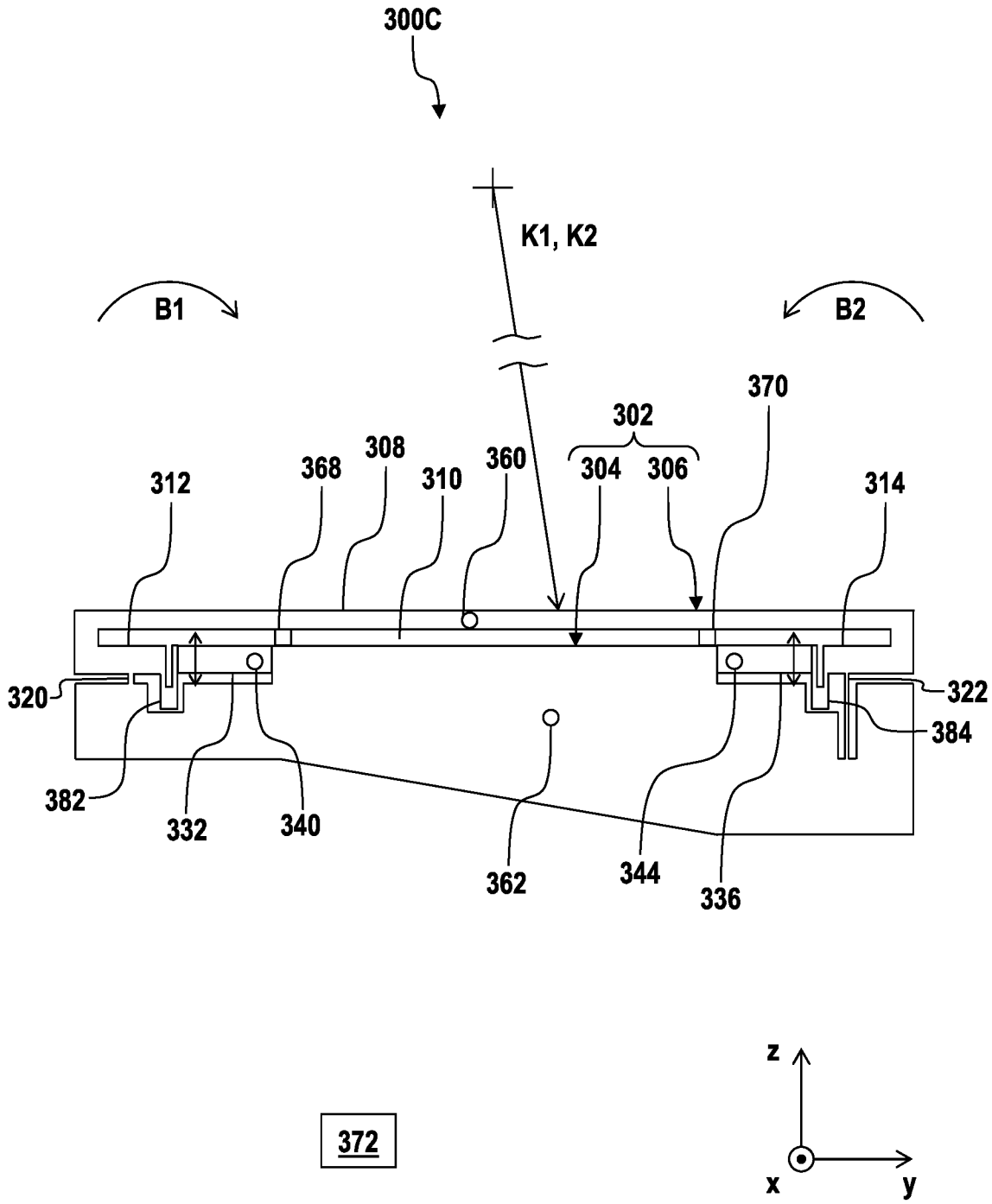

300C
K1, K2
B1
B2
370
302
308
368
310
360
304
306
312
314
320
322
384
382
332
340
362
344
336
372
z
x
y

Fig. 12

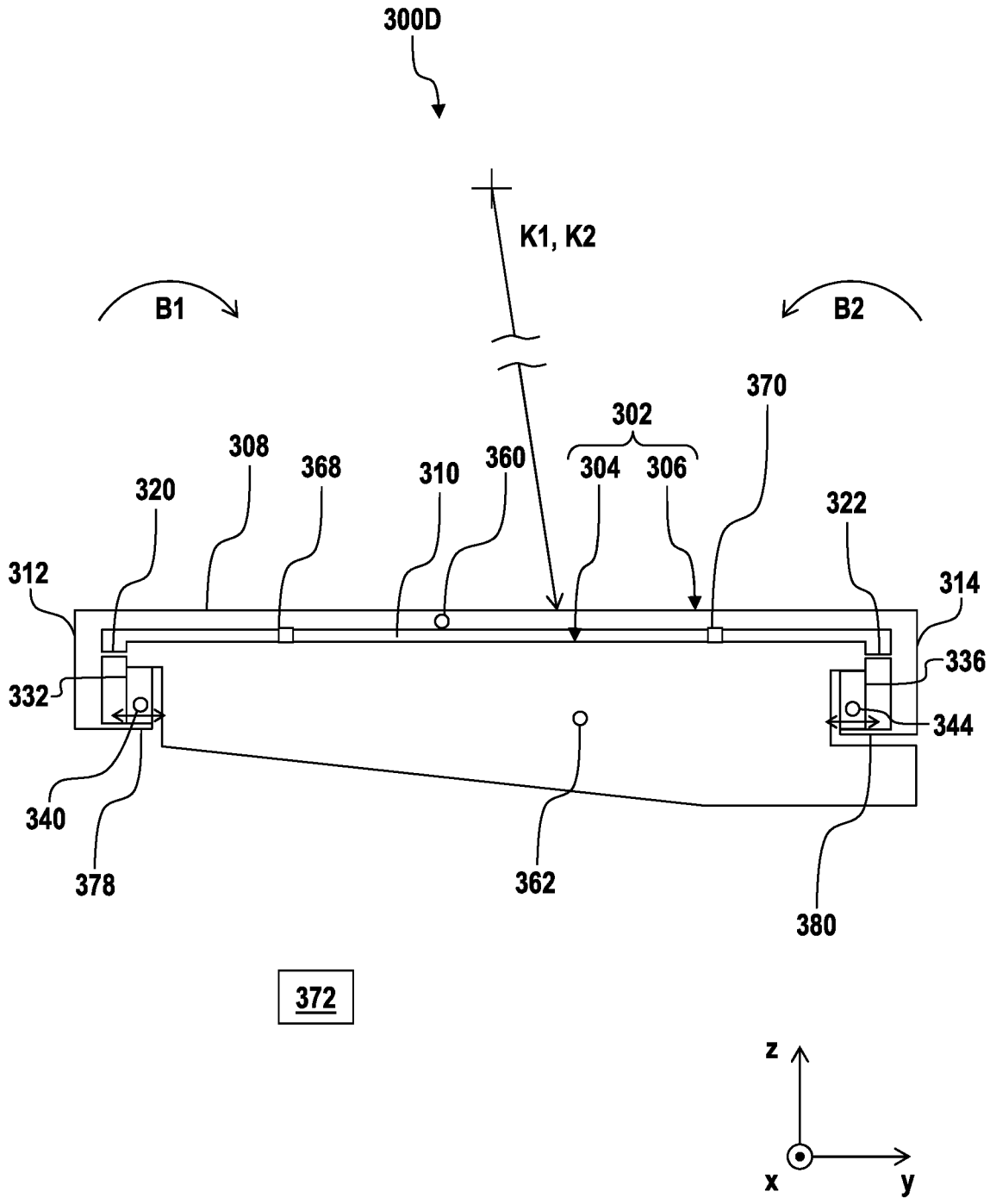

300D
K1, K2
B1
B2
370
302
308
368
310
360
304
306
320
322
312
314
336
332
344
340
378
362
380
372
z
x
y

Fig. 13

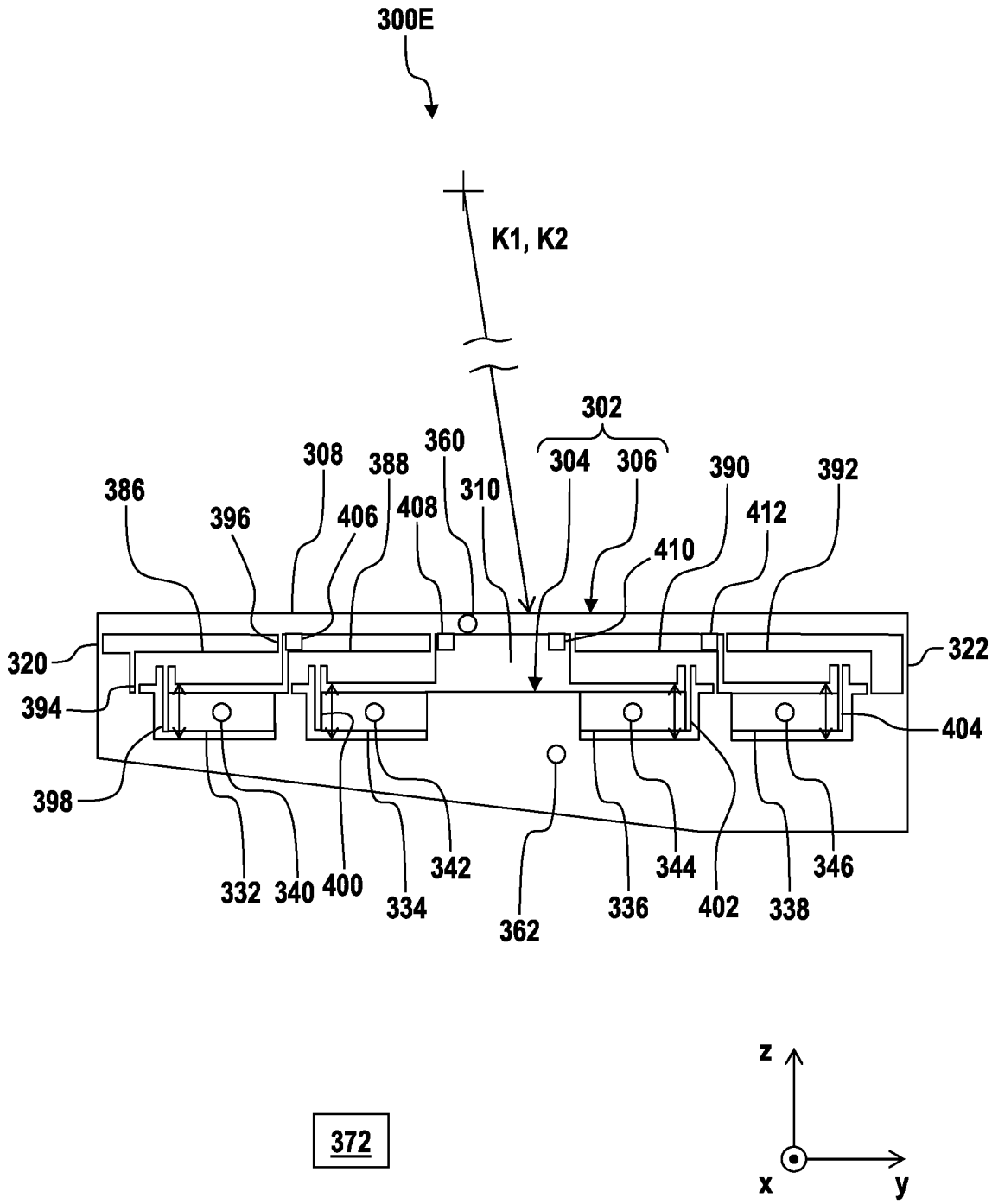

300E
K1, K2
302
304
306
308
360
388
310
386
396
406
408
390
392
412
410
320
322
394
404
398
332
340
400
334
342
362
336
344
402
338
346
372
z
x
y

Fig. 14

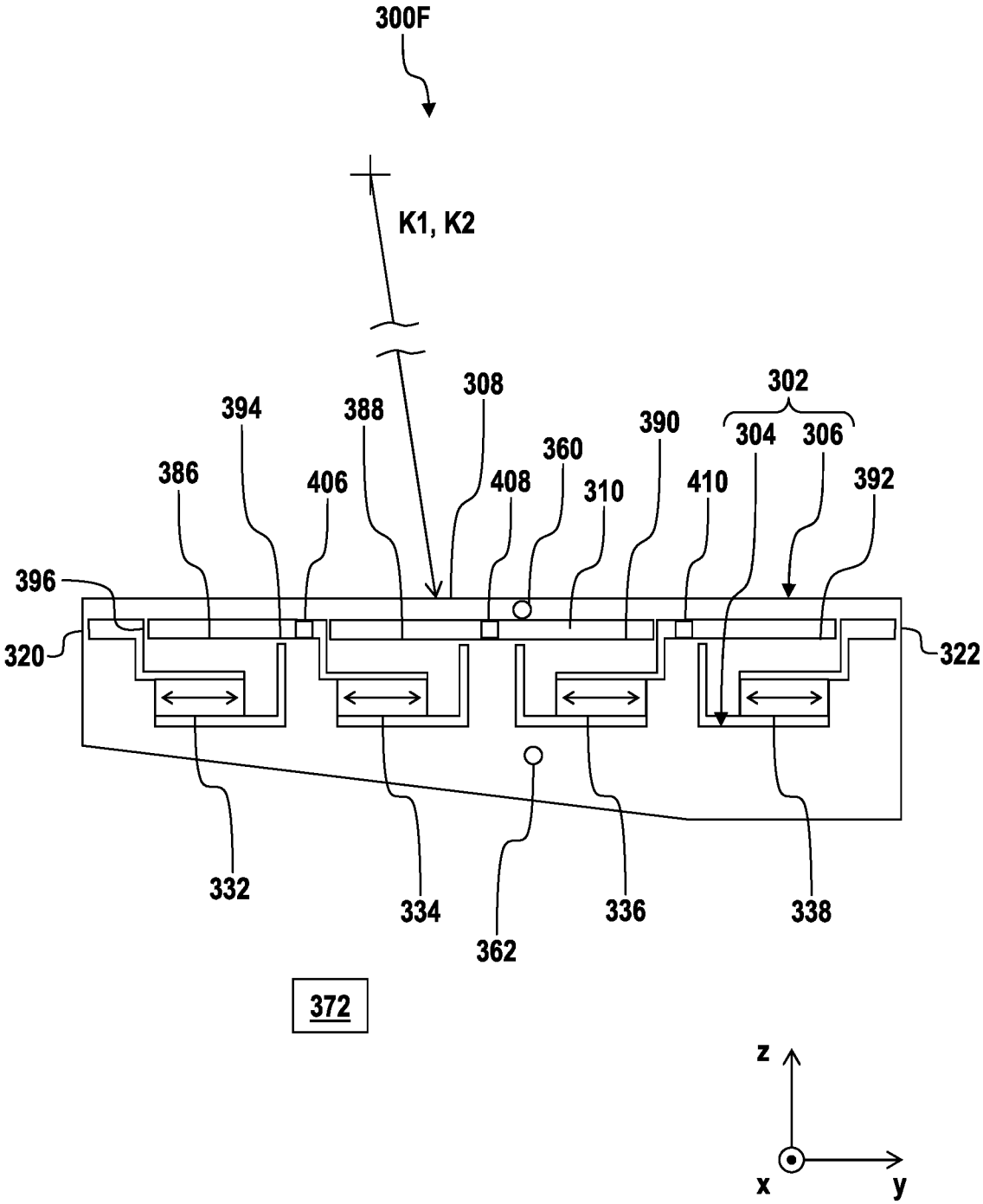

300F
K1, K2
308
302
394
388
390
304
306
360
386
406
408
310
410
392
396
320
322
332
334
336
338
362
372
z
x
y

Fig. 15

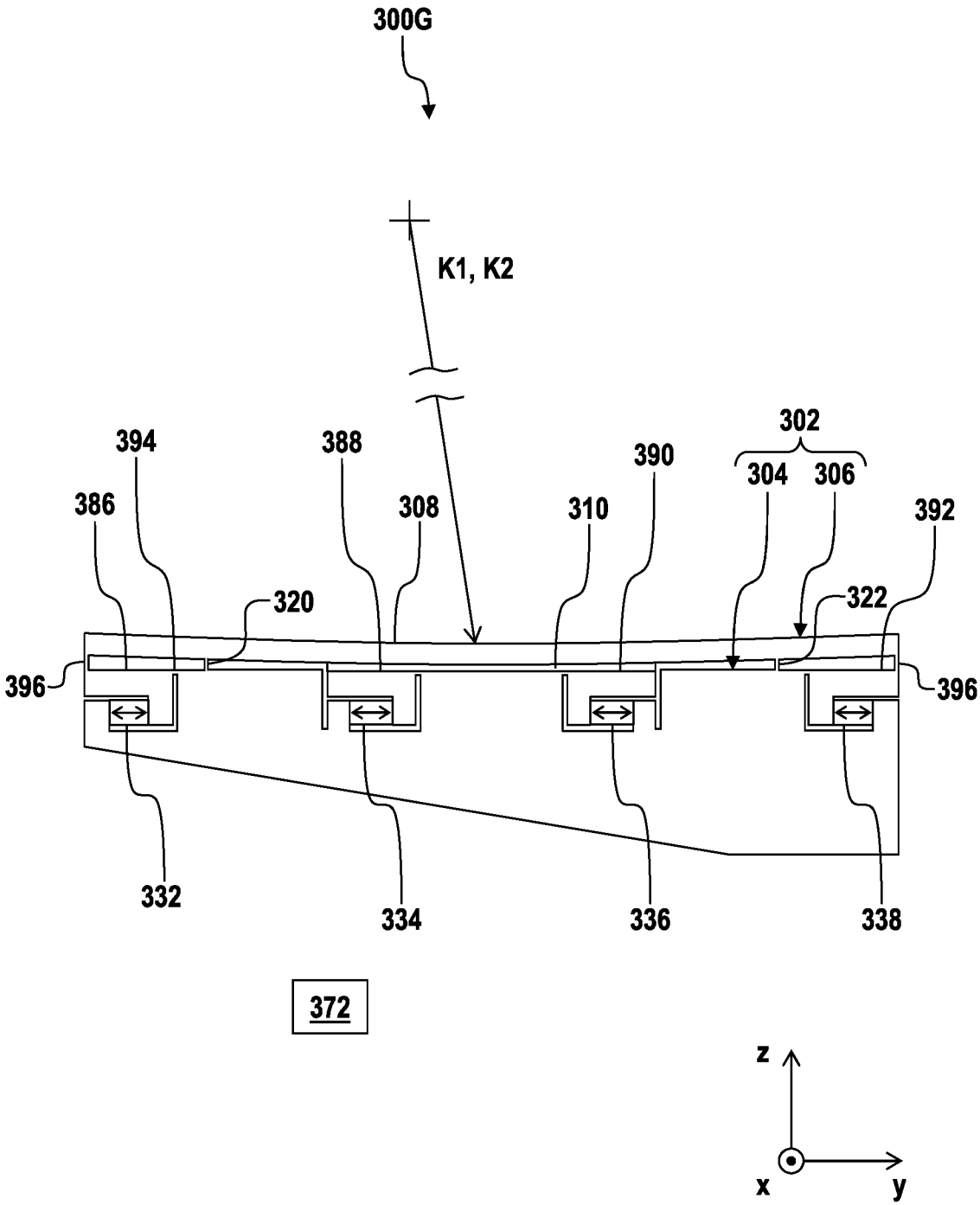

300G
K1, K2
394
388
390
302
304
306
386
308
310
392
320
322
396
396
332
334
336
338
372
z
x
y

Fig. 16

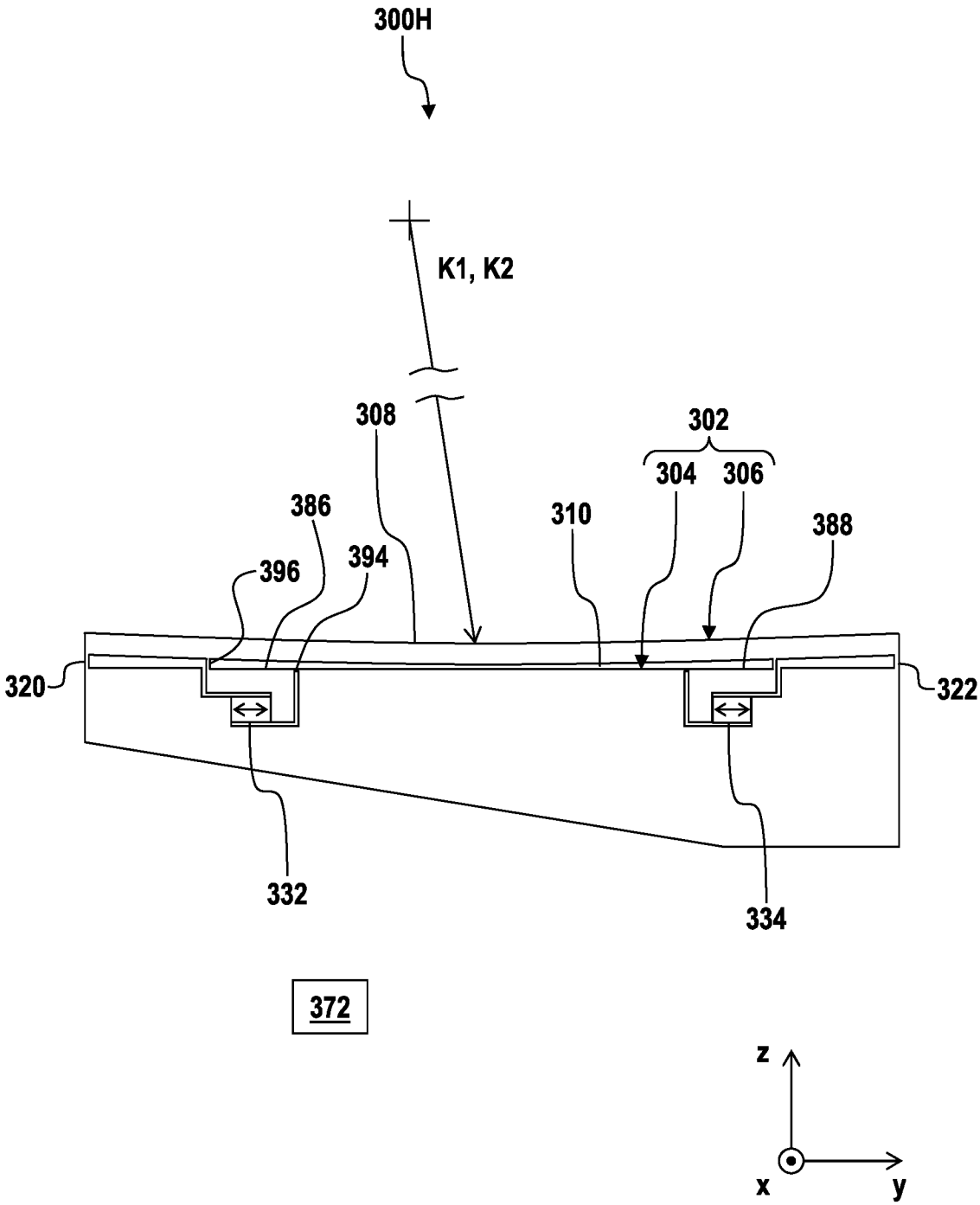

300H
K1, K2
308
302
304
306
386
310
388
396
394
320
322
332
334
372
z
x
y

Fig. 17

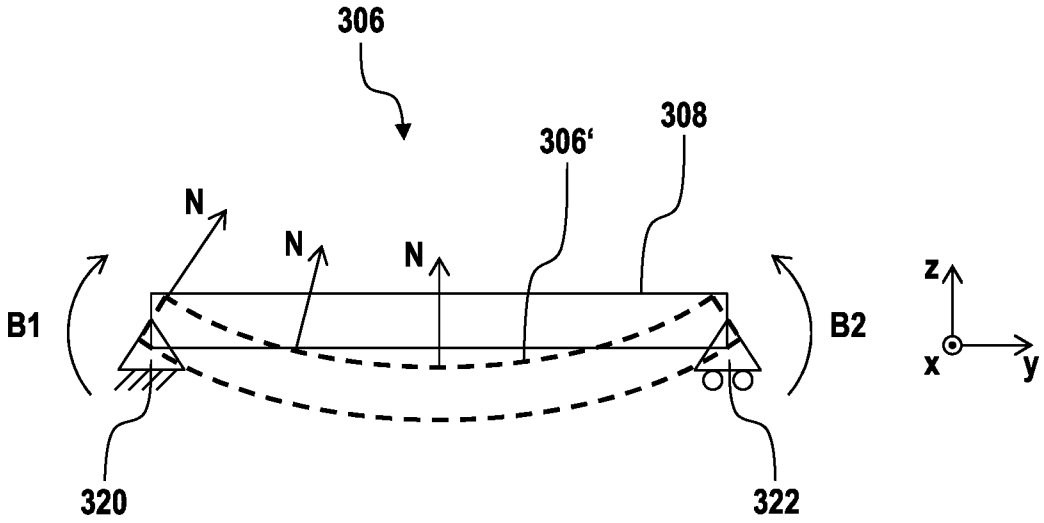


Fig. 18

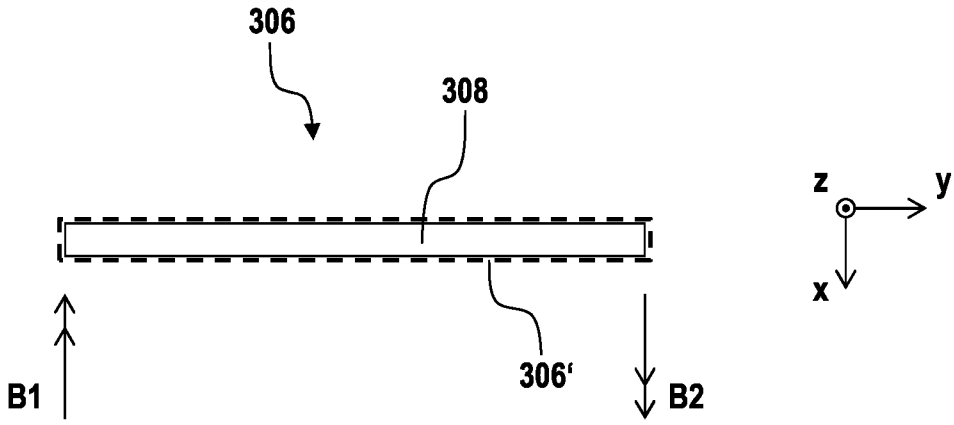


Fig. 19

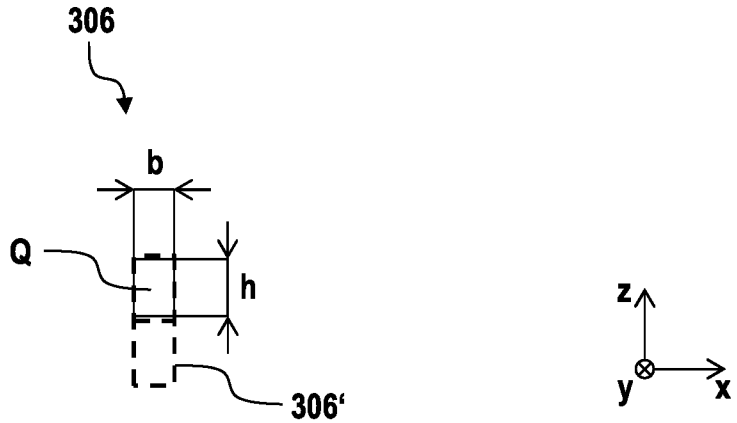


Fig. 20

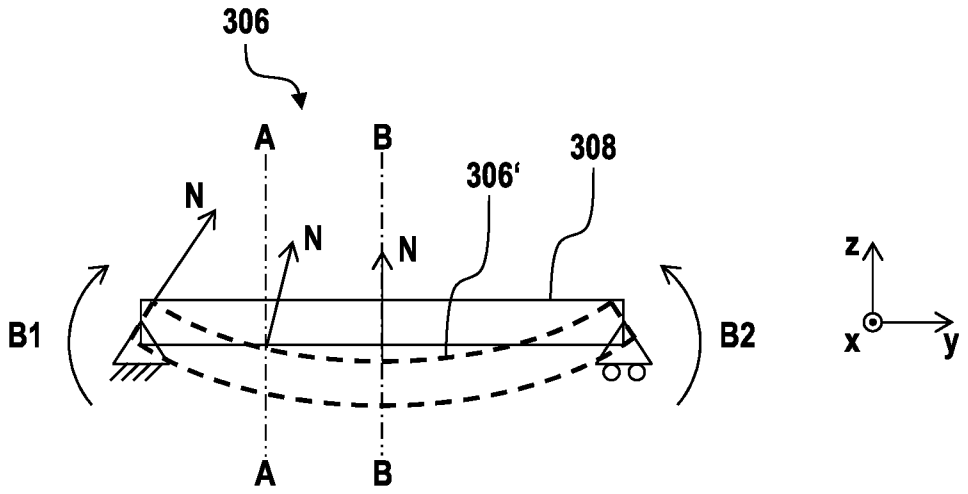


Fig. 21

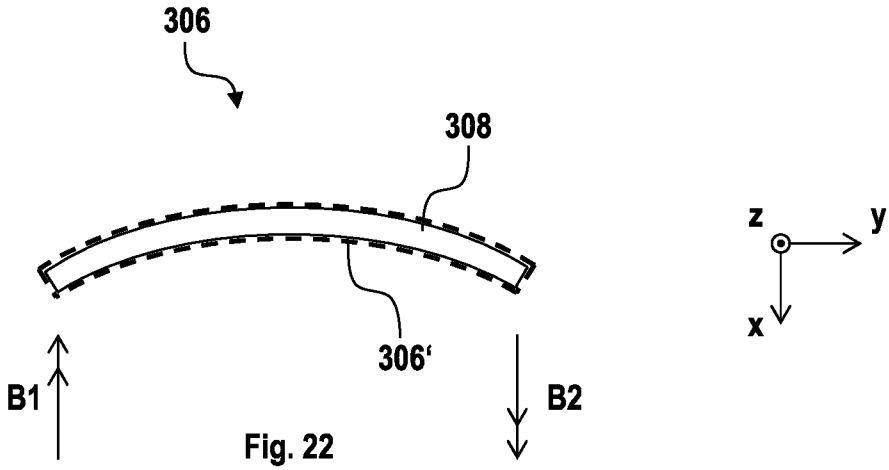


Fig. 22

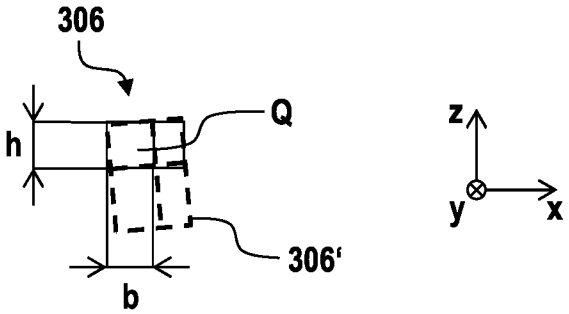


Fig. 23

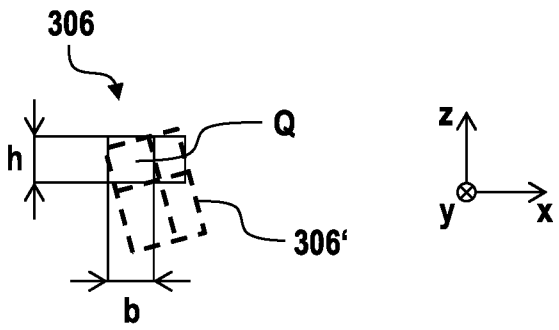


Fig. 24

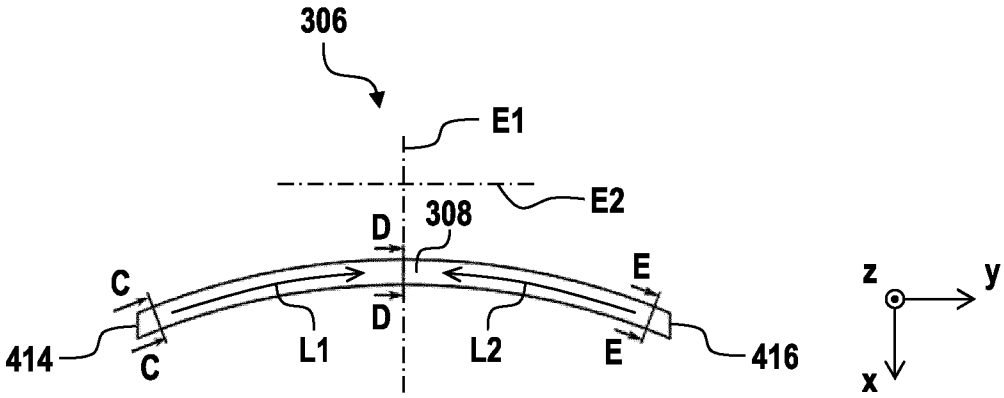


Fig. 25

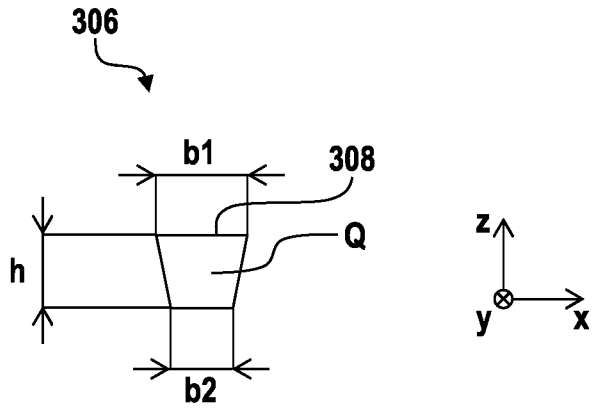


Fig. 26

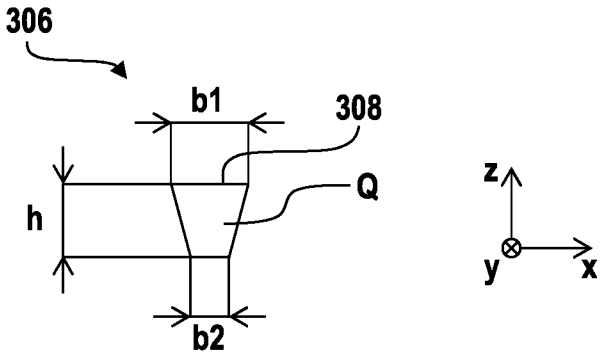


Fig. 27

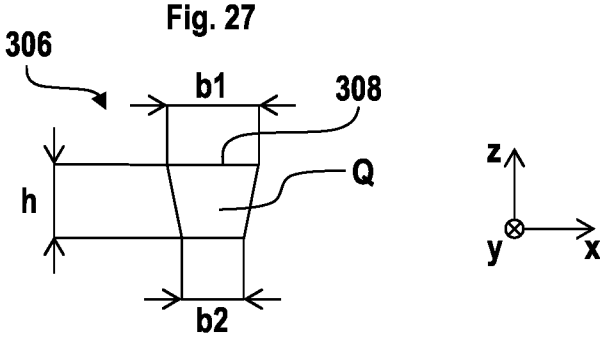


Fig. 28

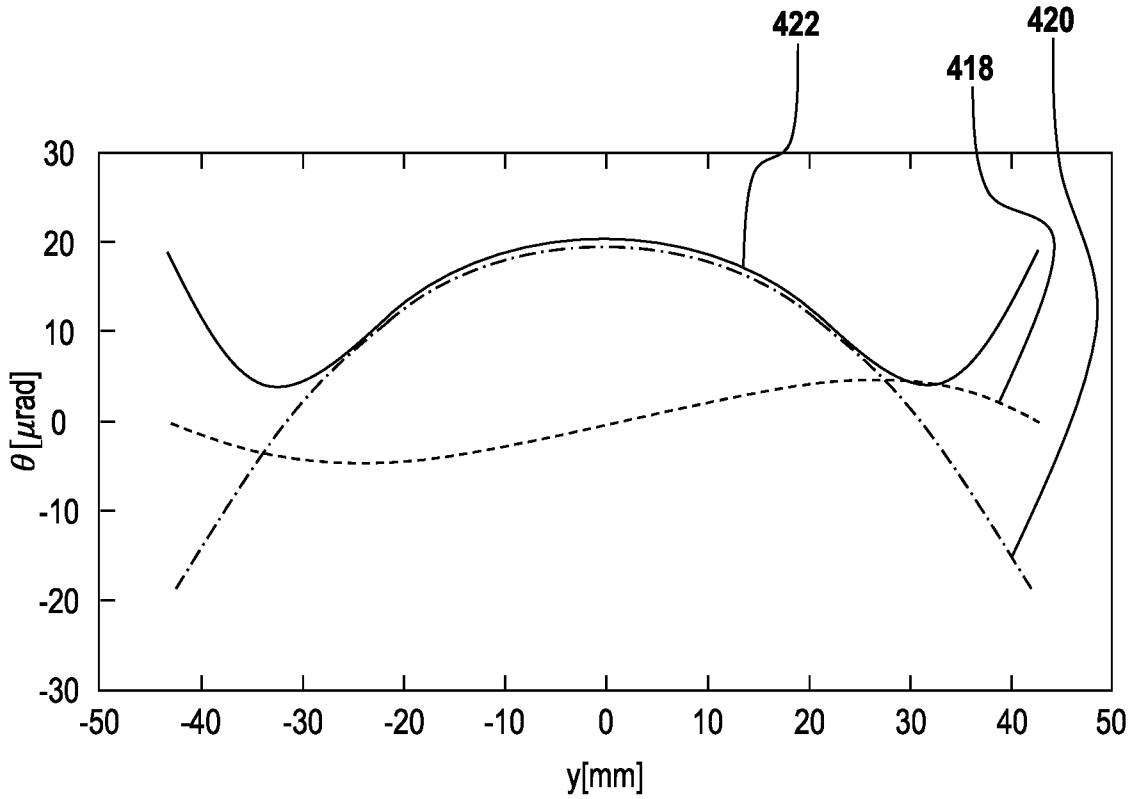

422
420
418
30
20
10
0
-10
-20
-30
θ [μrad]
-50
-40
-30
-20
-10
0
10
20
30
40
50
y[mm]

Fig. 29

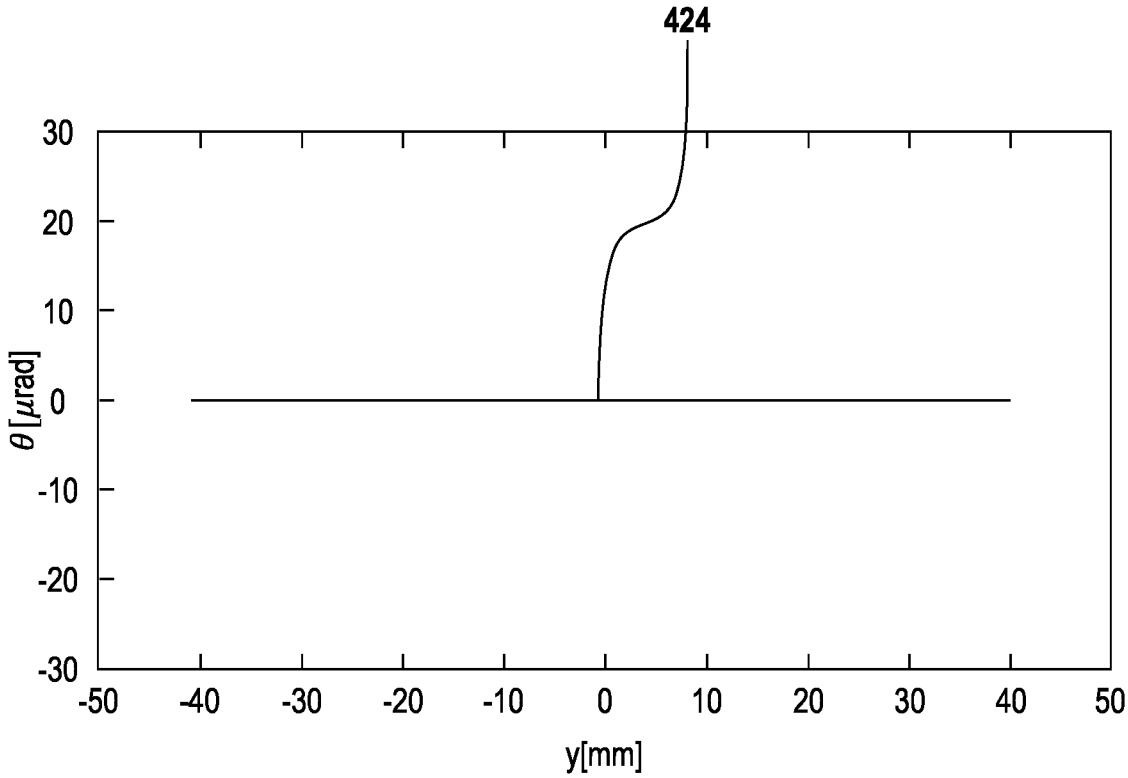


Fig. 30

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.
PCT/EP2021/082009

A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER

G03F 7/20(2006.01)i; ***G02B 5/09***(2006.01)i; ***G02B 17/00***(2006.01)i; ***G02B 26/08***(2006.01)i

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

B. FIELDS SEARCHED

Minimum documentation searched (classification system followed by classification symbols)

G03F; G02B

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

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

EPO-Internal, INSPEC, WPI Data

C. DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
A	DE 102013206981 A1 (ZEISS CARL SMT GMBH [DE]) 24 December 2013 (2013-12-24) cited in the application paragraphs [0030] - [0036]; figures 2, 3, 6	1-15
A	DE 102019200358 A1 (ZEISS CARL SMT GMBH [DE]) 21 March 2019 (2019-03-21) paragraphs [0008], [0009]; figures 2, 3	1-15
A	WO 2015144370 A1 (ASML NETHERLANDS BV [NL]) 01 October 2015 (2015-10-01) paragraphs [0011], [0012]; figures 7, 9	1-15

☐ 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	Date of mailing of the international search report
25 February 2022	**07 March 2022**

Name and mailing address of the ISA/EP

European Patent Office
p.b. 5818, Patentlaan 2, 2280 HV Rijswijk
Netherlands

Telephone No. **(+31-70)340-2040**
Facsimile No. **(+31-70)340-3016**

Authorized officer

Eisner, Klaus

Telephone No.

INTERNATIONAL SEARCH REPORT
Information on patent family members

International application No.
PCT/EP2021/082009

Patent document cited in search report	Publication date (day/month/year)	Patent family member(s)	Publication date (day/month/year)
DE 102013206981 A1	24 December 2013	NONE	
DE 102019200358 A1	21 March 2019	NONE	
WO 2015144370 A1	01 October 2015	NL 2014324 A	02 November 2015
		WO 2015144370 A1	01 October 2015

INTERNATIONALER RECHERCHENBERICHT

Internationales Aktenzeichen
PCT/EP2021/082009

A. KLASSIFIZIERUNG DES ANMELDUNGSGEGENSTANDES
INV. G03F7/20 G02B5/09 G02B17/00 G02B26/08
ADD.

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

B. RECHERCHIERTE GEBIETE

Recherchierter Mindestprüfstoff (Klassifikationssystem und Klassifikationssymbole)
G03F G02B

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

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

EPO-Internal, INSPEC, WPI Data

C. ALS WESENTLICH ANGESEHENE UNTERLAGEN

Kategorie*	Bezeichnung der Veröffentlichung, soweit erforderlich unter Angabe der in Betracht kommenden Teile	Betr. Anspruch Nr.
A	DE 10 2013 206981 A1 (ZEISS CARL SMT GMBH [DE]) 24. Dezember 2013 (2013-12-24) in der Anmeldung erwähnt Absätze [0030] - [0036]; Abbildungen 2, 3, 6	1-15
A	DE 10 2019 200358 A1 (ZEISS CARL SMT GMBH [DE]) 21. März 2019 (2019-03-21) Absätze [0008], [0009]; Abbildungen 2, 3	1-15
A	WO 2015/144370 A1 (ASML NETHERLANDS BV [NL]) 1. Oktober 2015 (2015-10-01) Absätze [0011], [0012]; Abbildungen 7, 9	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	Absendedatum des internationalen Recherchenberichts
25. Februar 2022	07/03/2022

Name und Postanschrift der Internationalen Recherchenbehörde	Bevollmächtigter Bediensteter
Europäisches Patentamt, P.B. 5818 Patentlaan 2 NL - 2280 HV Rijswijk Tel. (+31-70) 340-2040, Fax: (+31-70) 340-3016	Eisner, Klaus

INTERNATIONALER RECHERCHENBERICHT

Angaben zu Veröffentlichungen, die zur selben Patentfamilie gehören

Internationales Aktenzeichen

PCT/EP2021/082009

Im Recherchenbericht angeführtes Patentdokument	Datum der Veröffentlichung	Mitglied(er) der Patentfamilie	Datum der Veröffentlichung
DE 102013206981 A1	24-12-2013	KEINE	
DE 102019200358 A1	21-03-2019	KEINE	
WO 2015144370 A1	01-10-2015	NL 2014324 A	02-11-2015
		WO 2015144370 A1	01-10-2015