

(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
11. Januar 2024 (11.01.2024)



(10) Internationale Veröffentlichungsnummer
WO 2024/008352 A1

(51) Internationale Patentklassifikation:

G03F 7/00 (2006.01) G02B 7/18 (2021.01)
B81B 3/00 (2006.01) G02B 26/00 (2006.01)
G02B 5/10 (2006.01)

(21) Internationales Aktenzeichen: PCT/EP2023/062473

(22) Internationales Anmeldedatum:
10. Mai 2023 (10.05.2023)

(25) Einreichungssprache: Deutsch

(26) Veröffentlichungssprache: Deutsch

(30) Angaben zur Priorität:
10 2022 116 700.3
05. Juli 2022 (05.07.2022) DE

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

(72) Erfinder: POLLAK, Thilo; Sohlhoehle 5, 73450 Neresheim (DE).

(74) Anwalt: RAUNECKER, Klaus; Raunecker Patent, Frauenstr. 11, 89073 Ulm (DE).

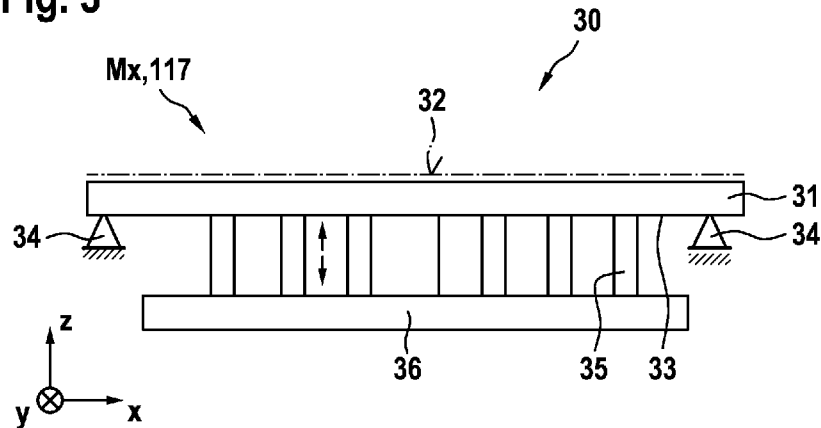
(81) Bestimmungsstaaten (soweit nicht anders angegeben, für jede verfügbare nationale Schutzrechtsart): AE, AG, AL, AM, AO, AT, AU, AZ, BA, BB, BG, BH, BN, BR, BW, BY, BZ, CA, CH, CL, CN, CO, CR, CU, CV, CZ, DE, DJ, DK, DM, DO, DZ, EC, EE, EG, ES, FI, GB, GD, GE, GH, GM, GT, HN, HR, HU, ID, IL, IN, IQ, IR, IS, IT, JM, JO, JP, KE, KG, KH, KN, KP, KR, KW, KZ, LA, LC, LK, LR, LS, LU, LY, MA, MD, MG, MK, MN, MU, MW, MX, MY, MZ, NA, NG, NI, NO, NZ, OM, PA, PE, PG, PH, PL, PT, QA, RO, RS, RU, RW, SA, SC, SD, SE, SG, SK, SL, ST, SV, SY, TH, TJ, TM, TN, TR, TT, TZ, UA, UG, US, UZ, VC, VN, WS, ZA, ZM, ZW.

(84) Bestimmungsstaaten (soweit nicht anders angegeben, für jede verfügbare regionale Schutzrechtsart): ARIPO (BW, CV, GH, GM, KE, LR, LS, MW, MZ, NA, RW, SC, SD, SL, ST, SZ, TZ, UG, ZM, ZW), eurasisches (AM, AZ, BY, KG, KZ, RU, TJ, TM), europäisches (AL, AT, BE, BG, CH, CY, CZ, DE, DK, EE, ES, FI, FR, GB, GR, HR, HU, IE, IS, IT, LT, LU, LV, MC, ME, MK, MT, NL, NO, PL, PT, RO,

(54) Title: OPTICAL ASSEMBLY, PROJECTION EXPOSURE SYSTEM FOR SEMICONDUCTOR LITHOGRAPHY AND METHOD

(54) Bezeichnung: OPTISCHE BAUGRUPPE, PROJEKTIONSBELICHTUNGSANLAGE FÜR DIE HALBLEITERLITHOGRAPHIE UND VERFAHREN

Fig. 3



(57) Abstract: The invention relates to an optical assembly (30) comprising an optical element (Mx, 117), wherein the optical element (Mx, 117) has a base element (31), and wherein at least one actuator (35) is arranged on the rear side of the base element (31) for the deformation of the base element (31), and wherein the at least one actuator (35) is connected to the rear side of the base element (33) at a first connecting surface and connected to a rear panel (36) at a second connecting surface, wherein the rear panel (36) is mounted exclusively via the actuator (35).

(57) Zusammenfassung: Die Erfindung betrifft eine optische Baugruppe (30) mit einem optischen Element (Mx, 117), wobei das optische Element (Mx, 117) einen Grundkörper (31) umfasst, und wobei auf der Rückseite des Grundkörpers (31) mindestens ein Aktuator (35) zur Deformation des Grundkörpers (31) angeordnet ist und wobei der mindestens eine Aktuator (35) an einer ersten Verbindungsfläche mit der Rückseite des Grundkörpers (33) und an einer zweiten Verbindungsfläche mit einer Rückplatte (36) verbunden ist, wobei die Rückplatte (36) ausschließlich über den Aktuator (35) gelagert ist.



WO 2024/008352 A1

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)*
- *vor Ablauf der für Änderungen der Ansprüche geltenden Frist; Veröffentlichung wird wiederholt, falls Änderungen eingehen (Regel 48 Absatz 2 Buchstabe h)*

Optische Baugruppe, Projektionsbelichtungsanlage für die Halbleiterlithographie und
Verfahren

5

Die vorliegende Anmeldung nimmt die Priorität der deutschen Patentanmeldung DE 10 2022 116 700.3 vom 05.07.2022 in Anspruch, deren Inhalt hierin durch Bezugnahme vollumfänglich aufgenommen wird.

10

Die Erfindung betrifft eine optische Baugruppe, eine Projektionsbelichtungsanlage für die Halbleiterlithographie sowie ein Verfahren zur Herstellung einer optischen Baugruppe.

15

In Projektionsbelichtungsanlagen für die Halbleiterlithographie werden mikroskopisch kleine Strukturen mittels fotolithographischer Verfahren ausgehend von einer Maske als Vorlage stark verkleinernd auf einen mit Fotolack beschichteten Wafer abgebildet. In nachfolgenden Entwicklungs- und weiteren Bearbeitungsschritten werden die gewünschten Strukturen wie beispielsweise Speicher- oder Logikelemente auf dem Wafer erzeugt, welcher danach in einzelne Chips zum Einsatz in elektronischen Geräten aufgeteilt wird.

20

Aufgrund der ausgesprochen kleinen zu schaffenden Strukturen bis in den Nanometerbereich stellen sich extreme Anforderungen an die Optiken der Projektionsbelichtungsanlagen und damit an die verwendeten optischen Elemente. Darüber hinaus treten im Betrieb einer entsprechenden Anlage regelmäßig Abbildungsfehler auf, welche oftmals von sich ändernden Umgebungsbedingungen wie beispielsweise

25 Temperaturänderungen in der Optik herrühren. Typischerweise wird dieser Problematik dadurch begegnet, dass die verwendeten optischen Elemente, wie beispielsweise Linsen oder Spiegel, bewegbar oder auch deformierbar ausgebildet sind, um die angesprochenen Abbildungsfehler während des Betriebes der Anlage korrigieren zu können. Hierzu werden in der Regel mechanische Aktuatoren verwendet, welche

30 beispielsweise geeignet sein können, die Oberfläche eines optischen Elementes, welche zur Abbildung verwendet wird, also die sogenannte optische Wirkfläche, gezielt zu deformieren. Diese Deformation kann von der Rückseite eines Grundkör-

pers des entsprechenden optischen Elementes her vorgenommen werden. Die mechanische Einwirkung der Aktuatoren wird nach dem Stand der Technik typischerweise dadurch ermöglicht, dass sich die Aktuatoren auf einer Rückplatte im rückwärtigen Bereich des Grundkörpers mechanisch abstützen. Durch diese Rückplatte, und insbesondere deren Lagerung, werden ihrerseits parasitäre Deformationen bei der Aktuierung des optischen Elementes verursacht. Die davon abgeleiteten Anforderungen an die Fertigungs- und Montagetoleranzen der Aktuatoren und der Rückplatte können nur noch durch einen sehr hohen Aufwand erfüllt werden.

Aufgabe der vorliegenden Erfindung ist es, eine optische Baugruppe und eine Projektionsbelichtungsanlage anzugeben, in welcher nachteilige Effekte, welche von mit Aktuatoren verbundenen Rückplatten herrühren, gegenüber dem Stand der Technik verringert sind. Eine weitere Aufgabe der Erfindung ist es, ein Verfahren zum Herstellen einer derartigen Baugruppe anzugeben.

Diese Aufgabe wird gelöst durch die Vorrichtungen und das Verfahren mit den Merkmalen der unabhängigen Ansprüche. Die Unteransprüche betreffen vorteilhafte Weiterbildungen und Varianten der Erfindung.

Eine erfindungsgemäße optische Baugruppe umfasst ein optisches Element, wobei das optische Element einen Grundkörper umfasst, und wobei auf der Rückseite des Grundkörpers mindestens ein Aktuator zur Deformation des Grundkörpers angeordnet ist. Dabei ist die mindestens zwei Aktuatoren an einer ersten Verbindungsfläche mit der Rückseite des Grundkörpers und an einer zweiten Verbindungsfläche mit einer Rückplatte verbunden, wobei die Rückplatte ausschließlich über die Aktuatoren gelagert ist.

Mit anderen Worten besteht die einzige Verbindung der Rückplatte zur „festen Welt“ in den mindestens zwei Aktuatoren oder typischerweise in einer Mehrzahl von Aktuatoren. Bei den Aktuatoren kann es sich insbesondere um Festkörperaktuatoren wie beispielsweise Piezoaktuatoren oder magnetostriktive, elektrostriktive oder thermische Aktuatoren handeln. Eine homogene, beispielsweise thermisch induzierte Expansion aller Festkörperaktuatoren senkrecht zu einer Verbindungsfläche, führt somit lediglich zu einem Verschieben der Rückplatte und hat keine Auswirkung auf

die Form und Lage der optischen Wirkfläche. Insbesondere bei Einschaltvorgängen tritt oftmals das sogenannte Aktuatkriechen auf, d. h. die Aktuatoren stehen nach dem Einschalten nicht sofort stabil, sondern bewegen sich auf den gewünschten Zustand zu. Da sich die Aktuatoren jedoch dabei typischerweise ähnlich verhalten, wird durch die freie Rückplatte dieser Effekt weitgehend kompensiert bzw. keine unerwünschte Deformation erzeugt.

Darüber hinaus würde auch ein konstanter Temperaturgradient über die optische Baugruppe hinweg nur zu einem Verkippen der Rückplatte und nicht zu einer Verschiebung oder Deformation der optischen Wirkfläche führen.

Neben den sich aus homogenen Änderungen aller Aktuatoren ergebenden Störungen lassen sich auch parasitäre Effekte der Fügetechnik durch die erfindungsgemäße Lösung effektiv unterdrücken. Hierzu zählen unter anderem thermische oder feuchteinduzierte Volumenänderungen eines Fügestoffs vertikal zu den Verbindungsflächen. Unter einem Fügestoff wird in diesem Zusammenhang jeder Stoff verstanden, der die Fügung von Aktuator und angrenzendem Bauteil (hier Grundkörper und Rückplatte) herstellt. Beispiele hierfür sind Klebstoff, Glas-Frit, Lote, Schweißzusatzwerkstoffe, Reaktiv-Schichten aus Reactive Bonding etc..

Da bei vielen Aktuatoren neben der gewünschten Längung in Aktuationsrichtung auch eine Änderung der Aktuatorgeometrie in Querrichtung auftritt, die zu parasitärer Deformation führen kann, ist in einer besonders bevorzugten Ausführungsform zwischen dem Aktuator und mindestens dem Grundkörper und/oder der Rückplatte mindestens ein Entkopplungselement zur lateralen Entkopplung angeordnet.

Durch diese laterale Entkopplung sind auch Wärmedehnungen des Fügestoffs in Querrichtung sowie feuchteinduzierte Geometrieänderungen in diese Richtungen kompensierbar; ähnliches gilt für druckinduzierte Volumenänderungen.

In einer vorteilhaften Variante der Erfindung weist die Rückseite des Grundkörpers mindestens einen ebenen Teilbereich auf. Die dadurch geschaffenen ebenen Fügestellen ermöglichen den Einsatz einfacher Fertigungsverfahren mit guter Rauheit und sehr guter Formtoleranz bzw. Ebenheit. Zu nennen sind hier im speziellen das Schleifen, Läppen und Planhonen sowie die Planpolitur. Es können somit Fügever-

fahren Anwendung finden, die nur den Ausgleich geringer mechanischer Toleranzen ermöglichen. Hierzu zählen insbesondere die vorne bereits erwähnten Fügeverfahren.

Insbesondere kann der Grundkörper eine sich über seinen lateralen Verlauf ändernde Dicke aufweisen. So kann es beispielsweise aufgrund Bauraumerfordernissen
5 notwendig sein, den Grundkörper lokal dünner zu fertigen. In diesem Fall kann es erforderlich sein, die jeweiligen Aktuatoren und/oder auch die Ausführung der Rückplatte entsprechend anzupassen.

Ebenso kann die Rückplatte eine sich über ihren lateralen Verlauf ändernde Dicke
10 aufweisen. So kann die Rückplatte beispielsweise in ihren randnahen Bereichen eine im Vergleich zu den Innenbereichen erhöhte Dicke aufweisen, um den durch die Randnähe bedingten Steifigkeitsverlust der Rückplatte auszugleichen.

Zur Einsparung von Bauraum kann es weiterhin sinnvoll sein, wenn die Rückplatte und/oder der Grundkörper Ausnehmungen aufweist, in welcher Aktuatoren mindestens teilweise angeordnet sind.
15

Insbesondere im Fall stark gekrümmter Spiegel als optische Elemente kann es von Vorteil sein, wenn die Rückseite des Grundkörpers mehrere ebene Teilbereiche aufweist, welche nicht parallel zueinander verlaufen. Hierdurch kann erreicht werden, dass sich die Gesamtdicke des Grundkörpers in einem begrenzten Umfang ändert,
20 sodass sich seine mechanischen Eigenschaften über seine Ausdehnung hinweg ebenfalls in einem beherrschbaren Bereich bewegen.

Insbesondere in diesem Fall ist es von Vorteil, wenn mehrere ebene Rückplatten vorhanden sind, welche jeweils parallel zu den ebenen Teilbereichen ausgerichtet sind.

In einer vorteilhaften Ausführungsform der Erfindung verlaufen die dem Grundkörper zugewandte und die dem Grundkörper abgewandte Oberfläche der Rückplatte jeweils in einem konstanten Abstand von der Rückseite des Grundkörpers. Hierdurch kann beispielsweise eine Rückplatte mit konstanter Dicke geschaffen werden. Diese Variante ist auch für Fälle denkbar, in welchen das optische Element als sphärischer
25

Spiegel mit einem Grundkörper konstanter Dicke ausgebildet ist. In diesem Fall wäre die Rückplatte im Wesentlichen eine ähnliche Abbildung des Grundkörpers.

Die vorliegende Erfindung umfasst insbesondere Fälle, in welchen die Wirkrichtung mindestens eines der Aktuatoren normal zur Verbindungsfläche des Aktuators mit dem Grundkörper ausgebildet ist. Sie ist aber auch auf Situationen anwendbar, in
5 welchen die Wirkrichtung mindestens eines der Aktuatoren normal zur optischen Wirkfläche ausgebildet ist.

Insbesondere in Fällen, in welchen der Grundkörper nicht mit gleichmäßiger Dicke ausgebildet ist, kann es vorteilhaft sein, wenn mindestens zwei Aktuatoren mit
10 unterschiedlichen Eigenschaften ausgebildet sind. Dadurch kann den lateral unterschiedlichen mechanischen Eigenschaften des Grundkörpers, wie beispielsweise der Steifigkeit, Rechnung getragen werden. So können die verwendeten Aktuatoren im Hinblick auf beispielsweise ihre Eigensteifigkeit, ihren Verfahrensweg oder auch die von ihnen maximal aufbringbare Kraft an die mechanischen Gegebenheiten des Grund-
15 körpers an der jeweiligen Position angepasst werden.

Wie bereits erwähnt, kann es sich bei dem optischen Element um einen Spiegel, insbesondere um einen Multilayer-Spiegel handeln. Ebenso kann es sich bei dem Spiegel um einen Hohlspiegel mit einem Krümmungsradius von 180mm-260mm, insbesondere im Bereich von 220mm handeln. Derartige Spiegel werden insbeson-
20 dere in DUV-Projektionsbelichtungsanlagen zur Faltung des Strahlenganges verwendet.

In einer vorteilhaften Variante der Erfindung weist die Rückplatte eine geringere Steifigkeit als der Grundkörper auf und kann beispielsweise mit mindestens einem Sensor versehen sein. Bei dem Sensor kann es sich um einen Dehnungs- oder einen
25 Temperatursensor handeln.

Es ist weiterhin denkbar, die Rückplatte wie auch den Grundkörper mit zusätzlicher Sensorik oder auch mit Temperierelementen, wie beispielsweise Kühlkanälen, auszustatten.

Dadurch, dass wie bereits erwähnt, die Rückplatte eine geringere Steifigkeit als der Grundkörper aufweisen kann, kann erreicht werden, dass sich im Falle der Ansteuerung der Aktuatorik zum Erreichen einer gewollten Deformation der optischen Wirkfläche, eine verglichen mit der Deformation der Wirkfläche höhere Verformung der Rückplatte einstellt. Diese höhere Verformung wirkt sich insbesondere positiv auf das Signal-Rausch-Verhältnis einer Dehnungsmessung der Rückplatte, beispielsweise unter Verwendung von Faser-Bragg-Gittersensoren, aus. Bei bekannten mechanischen Eigenschaften von Aktuatoren, Grundkörper und Rückplatte kann dann modellbasiert aus einer lokalen Deformation der Rückplatte auf eine entsprechende Deformation der optischen Wirkfläche geschlossen werden.

In einer weiteren Ausführungsform können die Eigenschaften (Thermischer Ausdehnungskoeffizient und Dicke der verwendeten Aktuatoren) so gewählt werden, dass ein definiertes Temperaturprofil (z.B. die thermische Hauptmode des Systems) nicht zu einer parasitären Deformation oder Verschiebung der optischen Wirkfläche führt. Eine derartige parasitäre Deformation kann beispielsweise daher rühren, dass eine Erwärmung der Aktuatoren ihre Effizienz, also ihre jeweilige mechanische Antwort auf eine sich ändernde Steuerspannung beeinflusst. Weiterhin besteht die Möglichkeit, dass allein aufgrund der üblichen thermischen Ausdehnung bzw. Kontraktion der beteiligten Materialien parasitäre Deformationen hervorgerufen werden. Es besteht die Möglichkeit, durch eine geeignete Wahl des verwendeten Materials und/oder Auslegung der jeweiligen Geometrie eine mindestens teilweise gegenseitige Kompensation der genannten Effekte zu erreichen.

Wie bereits erwähnt, eignet sich die Erfindung besonders zum Einsatz in einer Projektionsbelichtungsanlage für die Halbleiterlithografie.

Ein erfindungsgemäßes Verfahren zur Herstellung einer entsprechenden optischen Baugruppe umfasst folgende Verfahrensschritte:

- Verbinden des Aktuators mit der Rückplatte
- Bestimmung der Flächentoleranz der der Rückplatte abgewandten Verbindungsfläche des Aktuators
- Bearbeitung der Verbindungsflächen
- Wiederholung der zwei vorherigen Schritte, bis die Flächentoleranz unterhalb eines

vorbestimmten Schwellwertes liegt,
- Verbindung des Aktuators mit dem Grundkörper.

Dabei kann die optische Wirkfläche nach der Montage des Aktuators bearbeitet werden. Besonders vorteilhaft lässt sich das Verfahren verwirklichen, wenn mehrere
5 Aktuatoren auf der Rückplatte angeordnet sind, deren Verbindungsflächen gemeinsam bearbeitet werden können.

Nachfolgend werden Ausführungsbeispiele und Varianten der Erfindung anhand der Zeichnung näher erläutert. Es zeigen

- 10 Figur 1 schematisch im Meridionalschnitt eine Projektionsbelichtungsanlage für die EUV-Projektionslithografie,
- Figur 2 schematisch im Meridionalschnitt eine Projektionsbelichtungsanlage für die DUV-Projektionslithografie,
- Figur 3 eine schematische Darstellung einer ersten Ausführungsform der Erfindung,
- 15 Figur 4 eine weitere Ausführungsform der Erfindung,
- Figur 5 eine weitere Ausführungsform der Erfindung,
- Figur 6 eine weitere Ausführungsform der Erfindung,
- Figur 7a,b eine weitere Ausführungsform der Erfindung,
- Figur 8a-c eine Detaildarstellung weiterer Ausführungsformen der Erfindung,
- 20 Figur 9 eine schematische Darstellung zu möglichen Entkopplungselementen,
- Figur 10 eine Variante zur Gestaltung der Rückplatte, und
- Figur 11 ein Flussdiagramm zu einem erfindungsgemäßen Herstellungsverfahren.

Im Folgenden werden zunächst unter Bezugnahme auf die Figur 1 exemplarisch die
25 wesentlichen Bestandteile einer Projektionsbelichtungsanlage 1 für die Mikrolithogra-

fie beschrieben. Die Beschreibung des grundsätzlichen Aufbaus der Projektionsbelichtungsanlage 1 sowie deren Bestandteile sind hierbei nicht einschränkend verstanden.

Eine Ausführung eines Beleuchtungssystems 2 der Projektionsbelichtungsanlage 1 hat neben einer Strahlungsquelle 3 eine Beleuchtungsoptik 4 zur Beleuchtung eines Objektfeldes 5 in einer Objektebene 6. Bei einer alternativen Ausführung kann die Lichtquelle 3 auch als ein zum sonstigen Beleuchtungssystem separates Modul bereitgestellt sein. In diesem Fall umfasst das Beleuchtungssystem die Lichtquelle 3 nicht.

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

In der Figur 1 ist zur Erläuterung ein kartesisches xyz-Koordinatensystem eingezeichnet. Die x-Richtung verläuft senkrecht zur Zeichenebene hinein. Die y-Richtung verläuft horizontal und die z-Richtung verläuft vertikal. Die Scanrichtung verläuft in der Fig. 1 längs der y-Richtung. Die z-Richtung verläuft senkrecht zur Objektebene 6.

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

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

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

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

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

Die Beleuchtungsoptik 4 umfasst einen Umlenkspiegel 19 und diesem im Strahlengang nachgeordnet einen ersten Facettenspiegel 20. Bei dem Umlenkspiegel 19 kann es sich um einen planen Umlenkspiegel oder alternativ um einen Spiegel mit einer über die reine Umlenkungswirkung hinaus bündelbeeinflussenden Wirkung handeln. Alternativ oder zusätzlich kann der Umlenkspiegel 19 als Spektralfilter ausgeführt sein, der eine Nutzlichtwellenlänge der Beleuchtungsstrahlung 16 von Falschlicht einer hiervon abweichenden Wellenlänge trennt. Sofern der erste Facet-

tenspiegel 20 in einer Ebene der Beleuchtungsoptik 4 angeordnet ist, die zur Objektebene 6 als Feldebene optisch konjugiert ist, wird dieser auch als Feldfacettenspiegel bezeichnet. Der erste Facettenspiegel 20 umfasst eine Vielzahl von einzelnen ersten Facetten 21, welche im Folgenden auch als Feldfacetten bezeichnet werden.
5 Von diesen Facetten 21 sind in der Fig. 1 nur beispielhaft einige dargestellt.

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

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

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

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

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

Bei den zweiten Facetten 23 kann es sich ebenfalls um makroskopische Facetten, die beispielsweise rund, rechteckig oder auch hexagonal berandet sein können, oder

alternativ um aus Mikrosiegeln zusammengesetzte Facetten handeln. Diesbezüglich wird ebenfalls auf die DE 10 2008 009 600 A1 verwiesen.

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

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

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

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

Bei einer weiteren, nicht dargestellten Ausführung der Beleuchtungsoptik 4 kann im Strahlengang zwischen dem zweiten Facettenspiegel 22 und dem Objektfeld 5 eine Übertragungsoptik angeordnet sein, die insbesondere zur Abbildung der ersten Facetten 21 in das Objektfeld 5 beiträgt. Die Übertragungsoptik kann genau einen
20 Spiegel, alternativ aber auch zwei oder mehr Spiegel aufweisen, welche hintereinander im Strahlengang der Beleuchtungsoptik 4 angeordnet sind. Die Übertragungsoptik kann insbesondere einen oder zwei Spiegel für senkrechten Einfall (NI-Spiegel, Normal Incidence Spiegel) und/oder einen oder zwei Spiegel für streifenden Einfall (GI-Spiegel, Gracing Incidence Spiegel) umfassen.

25 Die Beleuchtungsoptik 4 hat bei der Ausführung, die in der Fig. 1 gezeigt ist, nach dem Kollektor 17 genau drei Spiegel, nämlich den Umlenkspiegel 19, den Feldfacettenspiegel 20 und den Pupillenfacettenspiegel 22.

Bei einer weiteren Ausführung der Beleuchtungsoptik 4 kann der Umlenkspiegel 19 auch entfallen, so dass die Beleuchtungsoptik 4 nach dem Kollektor 17 dann genau

zwei Spiegel aufweisen kann, nämlich den ersten Facettenspiegel 20 und den zweiten Facettenspiegel 22.

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

Die Projektionsoptik 10 umfasst eine Mehrzahl von Spiegeln M_i , welche gemäß ihrer Anordnung im Strahlengang der Projektionsbelichtungsanlage 1 durchnummeriert sind.

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

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

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

Die Projektionsoptik 10 kann insbesondere anamorphotisch ausgebildet sein. Sie weist insbesondere unterschiedliche Abbildungsmaßstäbe β_x , β_y in x- und y-

Richtung auf. Die beiden Abbildungsmaßstäbe β_x , β_y der Projektionsoptik 10 liegen bevorzugt bei $(\beta_x, \beta_y) = (+/- 0,25, +/- 0,125)$. Ein positiver Abbildungsmaßstab β bedeutet eine Abbildung ohne Bildumkehr. Ein negatives Vorzeichen für den Abbildungsmaßstab β bedeutet eine Abbildung mit Bildumkehr.

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

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

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

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

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

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

Durch eine Anordnung der Pupillenfacetten kann geometrisch die Ausleuchtung der Eintrittspupille der Projektionsoptik 10 definiert werden. Durch Auswahl der Beleuchtungskanäle, insbesondere der Teilmenge der Pupillenfacetten, die Licht führen, kann die Intensitätsverteilung in der Eintrittspupille der Projektionsoptik 10 eingestellt werden. Diese Intensitätsverteilung wird auch als Beleuchtungssetting bezeichnet.

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

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

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

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

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

Bei der in der Figur 1 dargestellten Anordnung der Komponenten der Beleuchtungsoptik 4 ist der Pupillenfacettenspiegel 22 in einer zur Eintrittspupille der Projektionsoptik 10 konjugierten Fläche angeordnet. Der Feldfacettenspiegel 20 ist verkippt zur

Objektebene 6 angeordnet. Der erste Facettenspiegel 20 ist verkippt zu einer Anordnungsebene angeordnet, die vom Umlenkspiegel 19 definiert ist.

Der erste Facettenspiegel 20 ist verkippt zu einer Anordnungsebene angeordnet, die vom zweiten Facettenspiegel 22 definiert ist.

5 Figur 2 zeigt schematisch im Meridionalschnitt eine weitere Projektionsbelichtungsanlage 101 für die DUV-Projektionslithografie, in welcher die Erfindung ebenfalls zur Anwendung kommen kann.

Der Aufbau der Projektionsbelichtungsanlage 101 und das Prinzip der Abbildung ist vergleichbar mit dem in Figur 1 beschriebenen Aufbau und Vorgehen. Gleiche
10 Bauteile sind mit einem um 100 gegenüber Figur 1 erhöhten Bezugszeichen bezeichnet, die Bezugszeichen in Figur 2 beginnen also mit 101.

Im Unterschied zu einer wie in Figur 1 beschriebenen EUV-Projektionsbelichtungsanlage 1 können auf Grund der größeren Wellenlänge der als Nutzlicht verwendeten DUV-Strahlung 116 im Bereich von 100 nm bis 300 nm, insbesondere von 193 nm, in
15 der DUV-Projektionsbelichtungsanlage 101 zur Abbildung beziehungsweise zur Beleuchtung refraktive, diffraktive und/oder reflexive optische Elementen 117, wie beispielsweise Linsen, Spiegel, Prismen, Abschlussplatten und dergleichen verwendet werden. Die Projektionsbelichtungsanlage 101 umfasst dabei im Wesentlichen ein Beleuchtungssystem 102, einen Retikelhalter 108 zur Aufnahme und
20 exakten Positionierung eines mit einer Struktur versehenen Retikels 107, durch welches die späteren Strukturen auf einem Wafer 113 bestimmt werden, einen Waferhalter 114 zur Halterung, Bewegung und exakten Positionierung eben dieses Wafers 113 und einem Projektionsobjektiv 110, mit mehreren optischen Elementen 117, die über Fassungen 118 in einem Objektivgehäuse 119 des Projektionsobjektives 110 gehalten sind.
25

Das Beleuchtungssystem 102 stellt eine für die Abbildung des Retikels 107 auf dem Wafer 113 benötigte DUV-Strahlung 116 bereit. Als Quelle für diese Strahlung 116 kann ein Laser, eine Plasmaquelle oder dergleichen Verwendung finden. Die Strahlung 116 wird in dem Beleuchtungssystem 102 über optische Elemente derart
30 geformt, dass die DUV-Strahlung 116 beim Auftreffen auf das Retikel 107 die ge-

wünschten Eigenschaften hinsichtlich Durchmesser, Polarisation, Form der Wellenfront und dergleichen aufweist.

Der Aufbau der nachfolgenden Projektionsoptik 110 mit dem Objektivgehäuse 119 unterscheidet sich außer durch den zusätzlichen Einsatz von refraktiven optischen Elementen 117 wie Linsen, Prismen, Abschlussplatten prinzipiell nicht von dem in
5 Figur 1 beschriebenen Aufbau und wird daher nicht weiter beschrieben.

Figur 3 zeigt in einer schematischen Darstellung eine erste Ausführungsform der Erfindung, in welcher eine optische Baugruppe 30 dargestellt ist. Diese umfasst ein als ein Spiegel Mx, 117 ausgebildetes optisches Element, wie es in einer der in der
10 Figur 1 und der Figur 2 erläuterten Projektionsbelichtungsanlagen 1, 101 Anwendung finden kann, Aktuatoren 35 und eine als Rückplatte 36 ausgebildete Abstützstruktur. Der Spiegel Mx, 117 umfasst einen Grundkörper 31 mit einer optischen Wirkfläche 32, wobei der Grundkörper 31 auf einer Lagerung 34, wie beispielsweise einem Rahmen einer Projektionsbelichtungsanlage 1, 101, gelagert ist. Die Aktuatoren 35
15 sind zwischen dem Grundkörper 31 und der Rückplatte 36 angeordnet und mit dem Grundkörper 31 auf der der optischen Wirkfläche 32 gegenüberliegende Rückseite 33 des Grundkörpers 31 verbunden. Die Aktuatoren 35 können mit dem Grundkörper 31 und der Rückplatte 36 über eine in der Figur nicht gesondert dargestellte Klebe-
20 verbindung verbunden sein, wobei auch andere Verbindungsarten, wie beispielsweise Bonden oder Löten angewendet werden können.

Die Aktuatoren 35 werden durch eine in der Figur ebenfalls nicht dargestellte Ansteuerung derart angesteuert, dass die Auslenkung der Aktuatoren 35 eine Deformation der optischen Wirkfläche 32 bewirkt. Durch unterschiedlich große Auslenkungen der Aktuatoren 35 wird die Rückplatte 36 deformiert, wodurch sich eine vom Verhältnis der Steifigkeit des Grundkörpers 31 und der Steifigkeit der Rückplatte 36 abhängige Deformation des Grundkörpers 31 und damit der optischen Wirkfläche 32
25 einstellt. Ein Teil der Aktuatoren 35 hält die Rückplatte also in seiner Position fest, wodurch sich der andere Teil der Aktuatoren 35 an der Rückplatte 36 abstützen kann und dadurch die Deformation bewirkt. Die Rückplatte 36 wird dabei ausschließlich
30 durch die Aktuatoren 35 gelagert, ist also nicht an einen Rahmen oder mit dem Grundkörper 31 des Spiegels Mx, 117 oder mit anderen Bauteilen verbunden. Dies

hat den Vorteil, dass ein homogener, auf alle Aktuatoren 35 gleich wirkender Effekt, wie beispielsweise eine Temperaturerhöhung oder ein Drift in der Ansteuerung der Aktuatoren 35 keine Auswirkung auf die optische Wirkfläche 32 hat, sondern lediglich zu einer Verschiebung der freien Rückplatte 36 führt. Exemplarisch dargestellt in der
5 Figur sind auf der Rückplatte 37.3 drei Dehnungssensoren 49, die der Messung der Deformation der Rückplatte 37.3 dienen.

Figur 4 zeigt eine weitere Ausführungsform der Erfindung, in welcher eine optische Baugruppe 30 mit einem als ein Spiegel Mx, 117 ausgebildeten optischen Element, wie es in einer der in der Figur 1 und der Figur 2 erläuterten Projektionsbelichtungs-
10 anlagen 1, 101 Anwendung finden kann, dargestellt ist. Der Spiegel Mx, 117 umfasst einen Grundkörper 31 mit einer konkav ausgebildeten optischen Wirkfläche 32. Die optische Baugruppe 30 umfasst weiterhin eine Rückplatte 36 und zwischen der Rückplatte 36 und der Rückseite 33 des Grundkörpers 31 angeordnete Aktuatoren 35. Die Rückseite 33 und die Rückplatte 36 sind eben ausgebildet. Dies hat den
15 Vorteil, dass die Aktuatoren 35 ebenfalls in einer Ebene angeordnet sind und, nachdem sie zuerst mit der Rückplatte 36 verbunden wurden, nachgearbeitet werden können, um eine optimale Anpassung an die Rückseite 33 zu erreichen. Dadurch kann der Klebspalt der Klebeverbindung zwischen den Aktuatoren 35 und dem Grundkörper 31 derart ausgeführt werden, dass der Einfluss des Klebstoffes auf die
20 Anbindungssteifigkeit vernachlässigbar ist. Die sich lateral ändernde Materialdicke des Grundkörpers 31 kann über unterschiedlich ausgebildete Aktuatoren und die Ansteuerung der Aktuatoren 35 kompensiert werden.

Figur 5 zeigt eine weitere Ausführungsform der Erfindung, in welcher eine optische Baugruppe 30 mit einem als ein Spiegel Mx, 117 ausgebildeten optischen Element, wie es in einer der in der Figur 1 und der Figur 2 erläuterten Projektionsbelichtungs-
25 anlagen 1, 101 Anwendung finden kann, dargestellt ist. Der Spiegel Mx, 117 umfasst einen Grundkörper 31 mit einer konkav ausgebildeten optischen Wirkfläche 32. Die optische Baugruppe 30 umfasst weiterhin drei Rückplatten 37.1, 37.2, 37.3 und Aktuatoren 35, welche zwischen den Rückplatten 37.1, 37.2, 37.3 und der Rückseite
30 33 des Grundkörpers 31 angeordnet sind. Der Grundkörper 31 ist derart ausgebildet, dass die Unterschiede im Abstand der als drei ebene Flächen ausgebildeten Rück-

seite 33 des Grundkörpers 31 von der optischen Wirkfläche 32 im Vergleich zu der in der Figur 4 erläuterten Ausführungsform minimiert sind. Die Rückplatten 37.1, 37.2, 37.3 sind, wie auch schon in der Figur 4 erläutert, eben und können so leicht hergestellt werden und die Aktuatoren 35 können als Standardaktuatoren ausgebildet sein.

5 Figur 6 zeigt eine weitere Ausführungsform der Erfindung, in welcher eine optische Baugruppe 30 mit einem als ein Spiegel Mx, 117 ausgebildeten optischen Element, wie es in einer der in der Figur 1 und der Figur 2 erläuterten Projektionsbelichtungsanlagen 1, 101 Anwendung finden kann, dargestellt ist. Der Spiegel Mx, 117 umfasst einen Grundkörper 31 mit einer konkav ausgebildeten optischen Wirkfläche 32. In der
10 gezeigten Ausführungsform weist der Grundkörper 31 anders als der in Figur 5 dargestellte Grundkörper eine konstante Dicke auf, so dass sich eine konvexe bzw. sphärische Rückseite 33 ergibt. Die optische Baugruppe 30 umfasst weiterhin eine mit der optischen Wirkfläche 32 und der Geometrie des Grundkörpers 31 korrespondierende konkav ausgebildete Rückplatte 39. Die Aktuatoren 35 umfassen auf
15 beiden Seiten eine sphärische Fügefläche 38, um einen Klebstoffspalt konstanter Dicke in der Klebeverbindung sicherzustellen. Die konstante Dicke der Rückplatte 39 und des Grundkörpers 31 haben den Vorteil, dass diese eine konstante Steifigkeit aufweisen, wodurch alle Aktuatoren eine vergleichbare Kraft zu einer identischen Deformation der optischen Wirkfläche 32 aufbringen müssen. Dies erhöht die Anzahl
20 der Gleichteile und reduziert dadurch die Herstellungskosten.

Die Figuren 7a und 7b zeigen eine weitere Ausführungsform der Erfindung in zwei Betriebszuständen, in welcher eine optische Baugruppe 30 mit einem als Spiegel Mx, 117 ausgebildeten optischen Element, wie es in einer der in der Figur 1 und der Figur 2 erläuterten Projektionsbelichtungsanlagen 1, 101 Anwendung finden kann, dargestellt ist. Der Spiegel Mx, 117 umfasst einen Grundkörper 31 mit einer eben ausgebildeten optischen Wirkfläche 32. Die optische Baugruppe 30 umfasst weiterhin vier
25 Rückplatten 40.1, 40.2, 40.3, 40.4. Zwischen jeder Rückplatte 40.1, 40.2, 40.3, 40.4 und der Rückseite 33 des Grundkörpers 31 sind je zwei Scheraktuatoren 41 angeordnet, welche beim Anlegen einer elektrischen Spannung eine Scherbewegung
30 parallel zur optischen Wirkfläche 32 ausführen.

Figur 7a zeigt dabei einen sogenannten Nullzustand, in welchem die optische Wirkfläche 32 des Grundkörpers 31 keine Deformationen aufweist, also ihrer Sollenoberflächenform entspricht. Die Scheraktuatoren 41 werden aus einer spannungslosen Nullposition ausgelenkt, wodurch der Grundkörper 31 aus seiner Nullposition je nach angelegter Spannung in eine Richtung deformiert wird. Dies hat den Vorteil, dass die optische Wirkfläche 32 vor der Montage der Aktuatoren 41 fertig bearbeitet werden kann.

Figur 7b zeigt die gleiche optische Baugruppe 30 in einem ausgelenkten Betriebszustand. Die zwischen den beiden mittleren Rückplatten 40.2, 40.3 und dem Grundkörper 31 angeordneten Aktuatoren 41 sind ausgelenkt und bewirken eine Deformation des Grundkörpers 31 und damit der optischen Wirkfläche 32. Während in der Figur 7b beide Aktuatoren einer Rückplatte 40.2, 40.3 zueinander ausgelenkt sind, können auch nur ein Aktuator 41 einer Rückplatte 40.1, 40.2, 40.3, 40.4 ausgelenkt werden oder jeweils ein Aktuator 41 von zwei nebeneinander angeordneten Rückplatten 40.1, 40.2, 40.3, 40.4 ausgelenkt werden.

Die Figuren 8a, 8b und 8c zeigen verschiedene Ausführungsformen von Aktuatoren 42, 44, 46, welche parallel zur optischen Wirkfläche 32 ausgelenkt werden.

Figur 8a zeigt ein als Spiegel Mx, 117 ausgebildetes optisches Element, welches auf der linken Seite einen Aktuator 42, welcher mit seiner Stirnseite 43 mit der Rückseite 33 des Grundkörpers 31 verbunden ist. Das elektrische Feld des Aktuatoren 42 ist senkrecht zur optischen Wirkfläche 32 ausgebildet, wogegen die Auslenkung, wie weiter oben bereits erwähnt, parallel zur optischen Wirkfläche 32 verläuft. Im Gegensatz dazu ist der Aktuator 44 auf der rechten Seite des Spiegels Mx mit seiner Längsseite 45 mit dem Grundkörper 31 verbunden. Der Aktuator 44 ist als Stapelaktuator mit piezoelektrischem Material ausgebildet, bei welchem das elektrische Feld und die Auslenkung in der in der Figur 8a dargestellten Ausführungsform parallel zur optischen Wirkfläche 32 ausgebildet ist.

Figur 8b zeigt den schematischen Aufbau eines Bimorphaktuatoren 46, welcher eine erste Aktuatorschicht 47 und eine zweite Aktuatorschicht 48 aufweist. Die beiden Aktuatorschichten 47, 48 können in entgegengesetzte Richtungen (in der Figur 8b

durch Pfeile dargestellt) ausgelenkt werden, so dass sich eine Aktuatorschicht 47 ausdehnt und die andere Aktuatorschicht 48 zusammenzieht, wodurch eine Deformation im Aktuator 46 bewirkt wird.

Figur 8c zeigt ein als Spiegel Mx, 117 ausgebildetes optisches Element mit einem in der Figur 8b erläuterten Bimorphaktuator 46. Dieser ist über eine Klebeverbindung mit der Rückseite 33 des Grundkörpers 31 verbunden und deformiert diesen bei seiner Auslenkung. Die Funktionsweise ist der eines flächennormal angeordneten Aktuators, welcher die Deformation durch den sekundären Effekt einer Geometrieänderung senkrecht zur Hauptauslenkung nutzt, ähnlich. Er unterscheidet sich aber dadurch, dass der Hauptbeitrag der Deformation durch die Deformation des Bimorphaktors 46 selbst, wie in der Figur 8b erläutert bewirkt wird und nicht über ein Zusammenziehen des Materials im Grundkörper 31 durch die Geometrieänderung des Aktuators.

Figur 9 zeigt eine vorteilhafte Variante der Erfindung, bei welcher ein Entkopplungselement 120 zur Anwendung kommt. Dabei ist in der bereits geschilderten Weise ein Grundkörper 31 über Aktuatoren 35 mit einer freien Rückplatte 36 verbunden. Eine mechanische Entkopplung im Bereich der Verbindung der Aktuatoren 35 mit dem Grundkörper 31 wird im gezeigten Beispiel durch die als Freischnitte 120 im Grundkörper 31 ausgebildeten Entkopplungselemente geleistet. Wenn beispielsweise die Aktuatoren 35 als zylindrische Festkörperaktuatoren ausgebildet sind, können die Entkopplungselemente 120 als umlaufende Ringnuten realisiert sein. Im gezeigten Beispiel sind die Entkopplungselemente 120 lediglich im Grundkörper 31 ausgebildet. Es versteht sich von selbst, dass eine entsprechende Maßnahme auch für die Rückplatte 36 denkbar ist.

Figur 10 zeigt eine Ausführungsform der Erfindung, bei welcher eine Rückplatte 36' derart ausgebildet ist, dass sich ihre Dicke lateral ändert. Weiterhin zeigt die Rückplatte 36' Ausnehmungen 121, in welchen die Aktuatoren 35 teilweise angeordnet sind. Durch die sich lateral ändernde Dicke der Rückplatte 36' wird erreicht, dass die Steifigkeit der Rückplatte 31' auch in ihren Randbereichen vergleichbar mit der Steifigkeit in den Innenbereichen ist. Weiterhin kann durch die Anordnung der Aktuatoren 35 in den Ausnehmungen 121 eine gewisse Einsparung von Bauraum

erreicht werden. Dabei müssen die in der Figur 10 gezeigten Maßnahmen nicht zwingend kombiniert eingesetzt werden; es ist selbstverständlich auch denkbar, jeweils nur eine Rückplatte mit sich laterale ändernder Dicke oder auch eine Rückplatte mit Ausnehmungen zu verwenden.

- 5 Figur 11 beschreibt ein mögliches Verfahren zur Herstellung einer erfindungsgemäßen optischen Baugruppe.

In einem ersten Verfahrensschritt 51 werden die Aktuatoren mit der Rückplatte verbunden.

- 10 In einem zweiten Verfahrensschritt 52 wird die Flächentoleranz der der Rückplatte abgewandten Verbindungsflächen der Aktuatoren bestimmt.

In einem dritten Verfahrensschritt 53 werden die Verbindungsflächen bearbeitet.

In einem vierten Verfahrensschritt 54 werden die zwei vorherigen Schritte wiederholt, bis die Flächentoleranz unterhalb eines vorbestimmten Schwellwertes liegt.

- 15 In einem fünften Verfahrensschritt 55 werden die Aktuatoren mit dem Grundkörper verbunden.

Bezugszeichenliste

1	Projektionsbelichtungsanlage
2	Beleuchtungssystem
3	Strahlungsquelle
4	Beleuchtungsoptik
5	Objektfeld
6	Objektebene
7	Retikel
8	Retikelhalter
9	Retikelverlagerungsantrieb
10	Projektionsoptik
11	Bildfeld
12	Bildebene
13	Wafer
14	Waferhalter
15	Waferverlagerungsantrieb
16	EUV-Strahlung
17	Kollektor
18	Zwischenfokusebene
19	Umlenkspiegel
20	Facettenspiegel
21	Facetten
22	Facettenspiegel
23	Facetten
30	Optische Baugruppe
31	Grundkörper
32	optische Wirkfläche
33	Rückseite Grundkörper
34	Lagerung Grundkörper
35	Aktuator

36,36'	Rückplatte
37.1-37.3	Rückplatte geteilt
38	sphärische Fügefläche
39	Rückplatte
40.1-40.4	Rückplatte geteilt
41	Scheraktuator
42	Scheraktuator
43	Stirnseite
44	Normalenaktuator
45	Längsseite
46	Bimorphaktuator
47	Aktuatorschicht 1
48	Aktuatorschicht 2
49	Dehnungssensor
51	Verfahrensschritt 1
52	Verfahrensschritt 2
53	Verfahrensschritt 3
54	Verfahrensschritt 4
55	Verfahrensschritt 5
101	Projektionsbelichtungsanlage
102	Beleuchtungssystem
107	Retikel
108	Retikelhalter
110	Projektionsoptik
113	Wafer
114	Waferhalter
116	DUV-Strahlung
117	optisches Element
118	Fassungen
119	Objektivgehäuse
M1-M6	Spiegel

- 120 Ringnut
- 121 Ausnehmung

Patentansprüche

1. Optische Baugruppe (30) mit einem optischen Element (117), wobei das optische Element (Mx, 117) einen Grundkörper (31) umfasst, und wobei auf der Rückseite des Grundkörpers (31) mindestens zwei Aktuatoren (35) zur Deformation des Grundkörpers (31) angeordnet ist und wobei die mindestens zwei Aktuatoren (35) an einer ersten Verbindungsfläche mit der Rückseite des Grundkörpers (33) und an einer zweiten Verbindungsfläche mit einer Rückplatte (36) verbunden ist, wobei die Rückplatte (36) ausschließlich über die Aktuatoren (35) gelagert ist,
dadurch gekennzeichnet, dass
die Rückplatte (36') eine sich über ihren lateralen Verlauf ändernde Dicke aufweist.
2. Optische Baugruppe (30) nach Anspruch 1,
dadurch gekennzeichnet, dass
zwischen den Aktuatoren (35) und mindestens dem Grundkörper (31) und/oder der Rückplatte (36) mindestens ein Entkopplungselement zur lateralen Entkopplung angeordnet ist.
3. Optische Baugruppe (30) nach Anspruch 1 oder 2,
dadurch gekennzeichnet, dass
die Rückseite des Grundkörpers (33) mindestens einen ebenen Teilbereich aufweist.
4. Optische Baugruppe (30) nach einem der Ansprüche 1 bis 3,
dadurch gekennzeichnet, dass
der Grundkörper (31) eine sich über seinen lateralen Verlauf ändernde Dicke aufweist.
5. Optische Baugruppe (30) nach einem der Ansprüche 1 bis 4,
dadurch gekennzeichnet, dass
die Rückplatte (36') und/oder der Grundkörper (31) Ausnehmungen (121) aufweist, in welcher Aktuatoren (35) mindestens teilweise angeordnet sind.
6. Optische Baugruppe (30) nach einem der vorangehenden Ansprüche,
dadurch gekennzeichnet, dass
die Rückseite des Grundkörpers (33) mehrere ebene Teilbereiche aufweist, welche nicht parallel zu einander verlaufen.

7. Optische Baugruppe (30) nach Anspruch 6,
dadurch gekennzeichnet, dass
mehrere ebene Rückplatten (36) vorhanden sind, welche jeweils parallel zu
den ebenen Teilbereichen ausgerichtet sind.
- 5 8. Optische Baugruppe (30) nach einem der vorangehenden Ansprüche,
dadurch gekennzeichnet, dass
die Wirkrichtung mindestens eines der Aktuatoren (35) normal zur Verbin-
dungsfläche des Aktuators (35) mit dem Grundkörper (31) ausgebildet ist.
- 10 9. Optische Baugruppe (30) nach einem der vorangehenden Ansprüche,
dadurch gekennzeichnet, dass
die Wirkrichtung mindestens eines der Aktuatoren (35) normal zur optischen
Wirkfläche (32) ausgebildet ist.
- 15 10. Optische Baugruppe (30) nach einem der vorangehenden Ansprüche,
dadurch gekennzeichnet, dass
mindestens zwei Aktuatoren (35) mit unterschiedlichen Eigenschaften ausge-
bildet sind.
- 20 11. Optische Baugruppe (30) nach einem der vorangehenden Ansprüche,
dadurch gekennzeichnet, dass
es sich bei dem optischen Element (Mx, 117) um einen Spiegel, insbesondere
um einen Multilayer-Spiegel handelt.
- 25 12. Optische Baugruppe (30) nach Anspruch 11,
dadurch gekennzeichnet, dass
es sich bei dem Spiegel (Mx, 117) um einen Hohlspiegel mit einem Krüm-
mungsradius von 180mm-260mm, insbesondere im Bereich von 220mm han-
delt.
13. Optische Baugruppe (30) nach einem der vorangehenden Ansprüche,
dadurch gekennzeichnet, dass
die Rückplatte (36) eine geringere Steifigkeit als der Grundkörper (31) auf-
weist.
- 30 14. Optische Baugruppe (30) nach einem der vorangehenden Ansprüche,
dadurch gekennzeichnet, dass
die Rückplatte (36) mit mindestens einem Sensor (49) versehen ist.

15. Optische Baugruppe (30) nach Anspruch 14,
dadurch gekennzeichnet, dass
es sich bei dem mindestens einen Sensor (49) um einen Dehnungs- oder
einen Temperatursensor (49) handelt.
- 5 16. Optische Baugruppe (30) mit einem optischen Element (117), wobei das optische Element (Mx, 117) einen Grundkörper (31) umfasst, und wobei auf der Rückseite des Grundkörpers (31) mindestens zwei Aktuatoren (35) zur Deformation des Grundkörpers (31) angeordnet ist und wobei die mindestens zwei Aktuatoren (35) an einer ersten Verbindungsfläche mit der Rückseite des
10 Grundkörpers (33) und an einer zweiten Verbindungsfläche mit einer Rückplatte (36) verbunden ist wobei die Rückplatte (36) ausschließlich über die Aktuatoren (35) gelagert ist,
dadurch gekennzeichnet, dass
die Rückseite des Grundkörpers (33) mehrere ebene Teilbereiche aufweist,
15 welche nicht parallel zu einander verlaufen und mehrere ebene Rückplatten (36) vorhanden sind, welche jeweils parallel zu den ebenen Teilbereichen ausgerichtet sind.
17. Optische Baugruppe (30) nach Anspruch 16,
dadurch gekennzeichnet, dass
20 zwischen den Aktuatoren (35) und mindestens dem Grundkörper (31) und/oder einer Rückplatte (36) mindestens ein Entkopplungselement zur lateralen Entkopplung angeordnet ist.
18. Optische Baugruppe (30) nach einem der Ansprüche 16 oder 17,
dadurch gekennzeichnet, dass
25 der Grundkörper (31) eine sich über seinen lateralen Verlauf ändernde Dicke aufweist.
19. Optische Baugruppe (30) nach einem der Ansprüche 16 bis 18,
dadurch gekennzeichnet, dass
30 die Rückplatte (36') und/oder der Grundkörper (31) Ausnehmungen (121) aufweist, in welcher Aktuatoren (35) mindestens teilweise angeordnet sind.
20. Optische Baugruppe (30) nach einem der Ansprüche 16 bis 19,
dadurch gekennzeichnet, dass
die dem Grundkörper (31) zugewandte und die dem Grundkörper (31) abge-

wandte Oberfläche mindestens einer Rückplatte (36) in einem konstanten Abstand von der Rückseite des Grundkörpers (33) verlaufen.

21. Optische Baugruppe (30) nach einem der Ansprüche 16 bis 20,
dadurch gekennzeichnet, dass
5 die Wirkrichtung mindestens eines der Aktuatoren (35) normal zur Verbindungsfläche des Aktuators (35) mit dem Grundkörper (31) ausgebildet ist.

22. Optische Baugruppe (30) nach einem der Ansprüche 16 bis 21,
dadurch gekennzeichnet, dass
10 die Wirkrichtung mindestens eines der Aktuatoren (35) normal zur optischen Wirkfläche (32) ausgebildet ist.

23. Optische Baugruppe (30) nach einem der Ansprüche 16 bis 22,
dadurch gekennzeichnet, dass
mindestens zwei Aktuatoren (35) mit unterschiedlichen Eigenschaften ausgebildet sind.

15 24. Optische Baugruppe (30) nach einem der Ansprüche 16 bis 23,
dadurch gekennzeichnet, dass
es sich bei dem optischen Element (Mx, 117) um einen Spiegel, insbesondere um einen Multilayer-Spiegel handelt.

20 25. Optische Baugruppe (30) nach Anspruch 24,
dadurch gekennzeichnet, dass
es sich bei dem Spiegel (Mx, 117) um einen Hohlspiegel mit einem Krümmungsradius von 180mm-260mm, insbesondere im Bereich von 220mm handelt.

25 26. Optische Baugruppe (30) nach einem der Ansprüche 16 bis 25,
dadurch gekennzeichnet, dass
die Rückplatte (36) eine geringere Steifigkeit als der Grundkörper (31) aufweist.

30 27. Optische Baugruppe (30) nach einem der Ansprüche 16 bis 26,
dadurch gekennzeichnet, dass
die Rückplatte (36) mit mindestens einem Sensor (49) versehen ist.

28. Optische Baugruppe (30) nach Anspruch 27,
dadurch gekennzeichnet, dass

es sich bei dem mindestens einen Sensor (49) um einen Dehnungs- oder einen Temperatursensor (49) handelt.

29. Projektionsbelichtungsanlage (1,101) für die Halbleiterlithografie mit einer optischen Baugruppe (30) nach einem der vorangehenden Ansprüche.

5 30. Verfahren zur Herstellung einer optischen Baugruppe (30) mit einem optischen Element (Mx,117), wobei das optische Element (Mx,117), einen Grundkörper (31) mit einer optischen Wirkfläche (32) umfasst, mindestens einem Aktuator (35) zur Deformation der optischen Wirkfläche (32) und einer Rückplatte (39), wobei der Aktuator (35) zwischen dem Grundkörper (31) und der Rückplatte (36) angeordnet ist, umfassend folgende Verfahrensschritte:

- 10 - Verbinden des Aktuators mit der Rückplatte
- Bestimmung der Flächentoleranz der der Rückplatte abgewandten Verbindungsfläche des Aktuators
- Bearbeitung der Verbindungsflächen
- 15 - Wiederholung der zwei vorherigen Schritte, bis die Flächentoleranz unterhalb eines vorbestimmten Schwellwertes liegt,
- Verbindung des Aktuators mit dem Grundkörper.

31. Verfahren nach Anspruch 30,
dadurch gekennzeichnet, dass
20 die optische Wirkfläche (32) nach der Montage des Aktuators (35) bearbeitet wird.

32. Verfahren nach Anspruch 30 oder 31,
dadurch gekennzeichnet, dass
mehrere Aktuatoren (35) auf der Rückplatte (36) angeordnet sind.

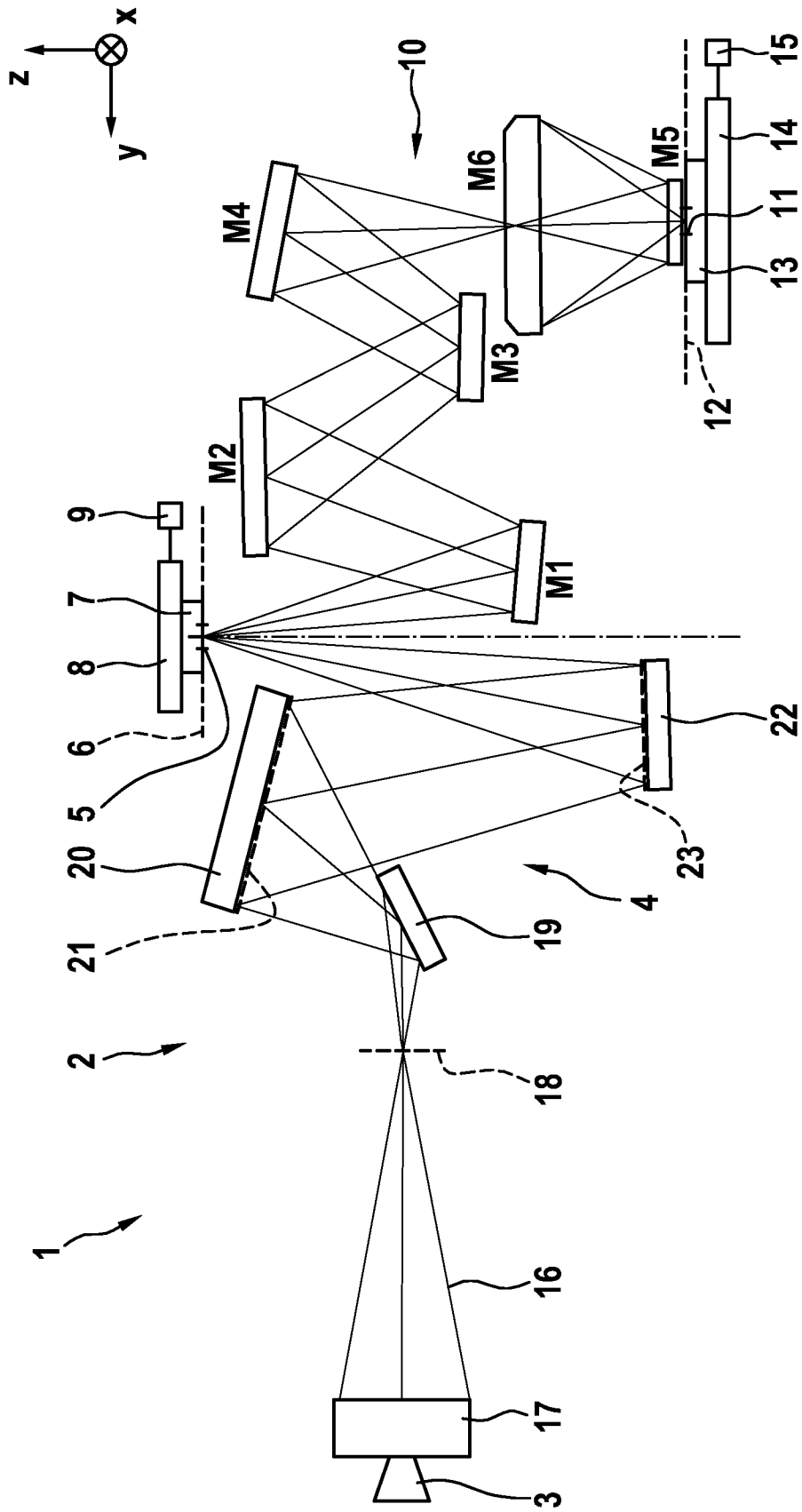


Fig. 1

Fig. 2

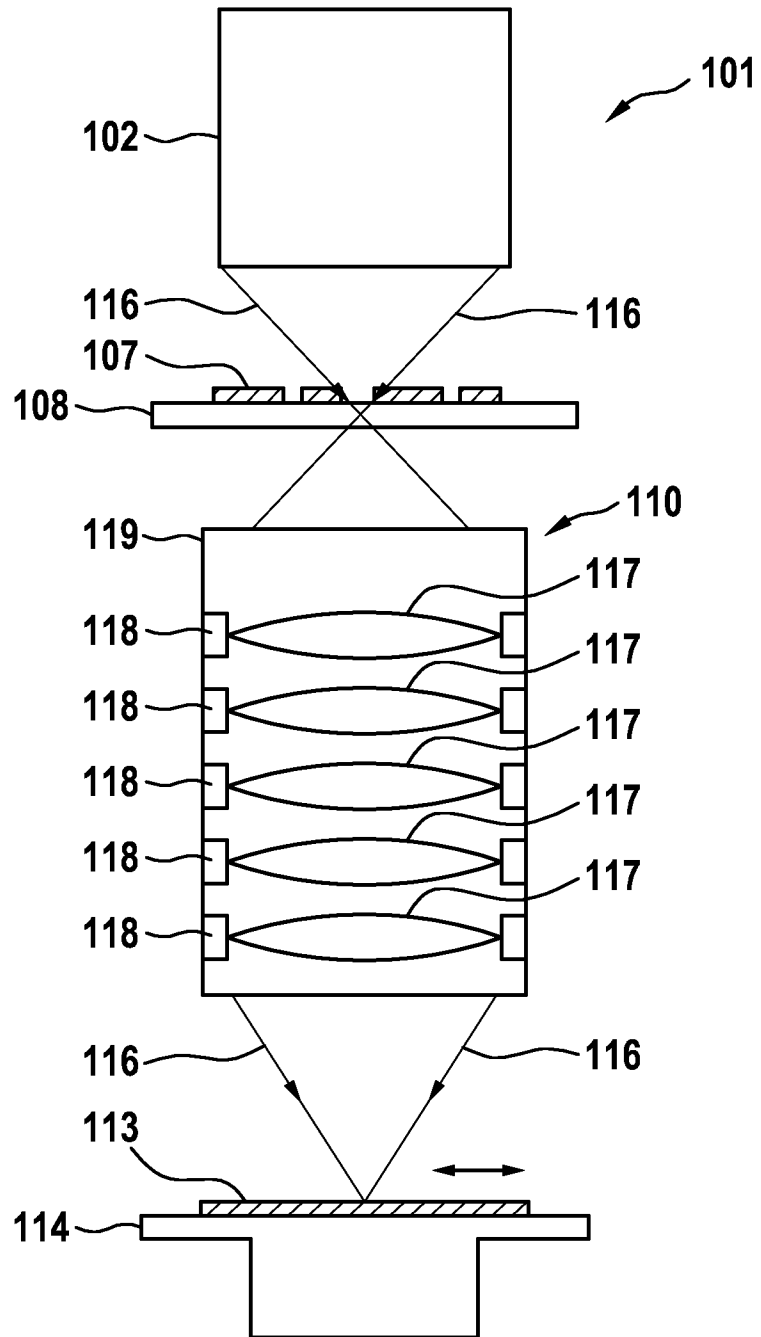


Fig. 3

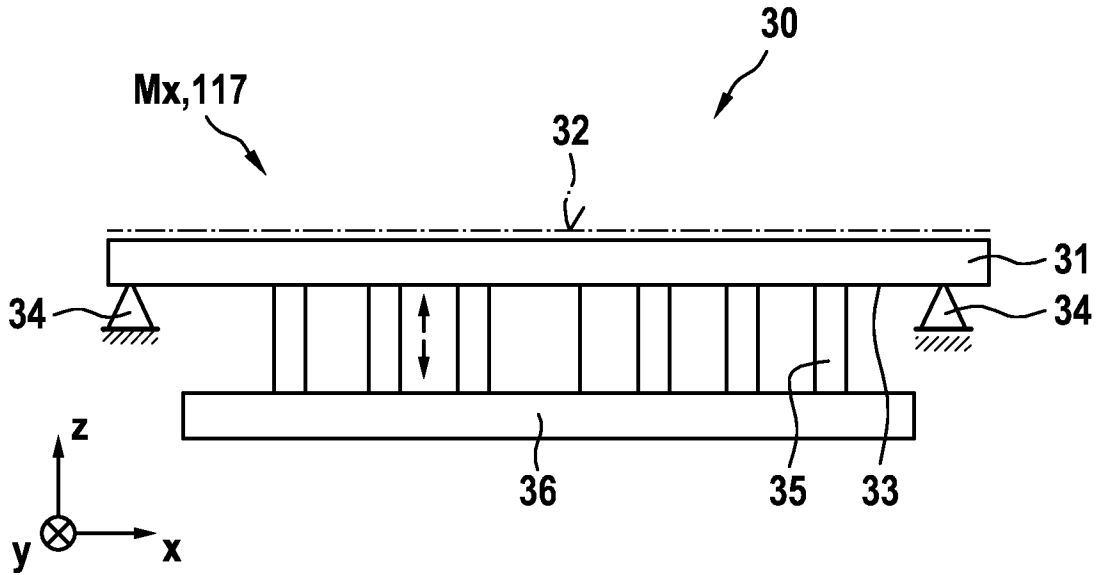


Fig. 4

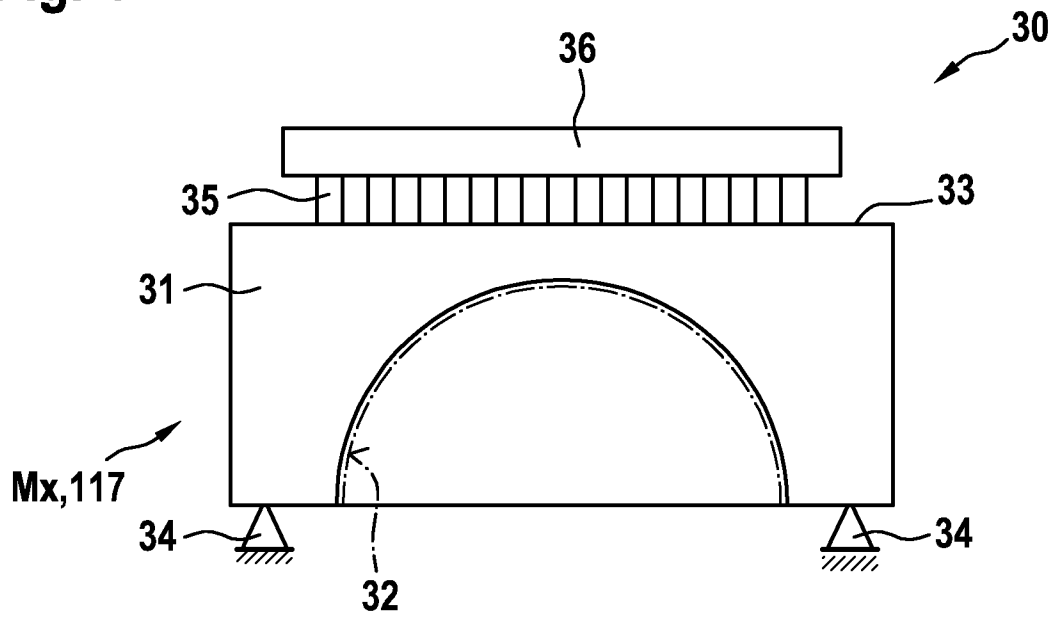


Fig. 5

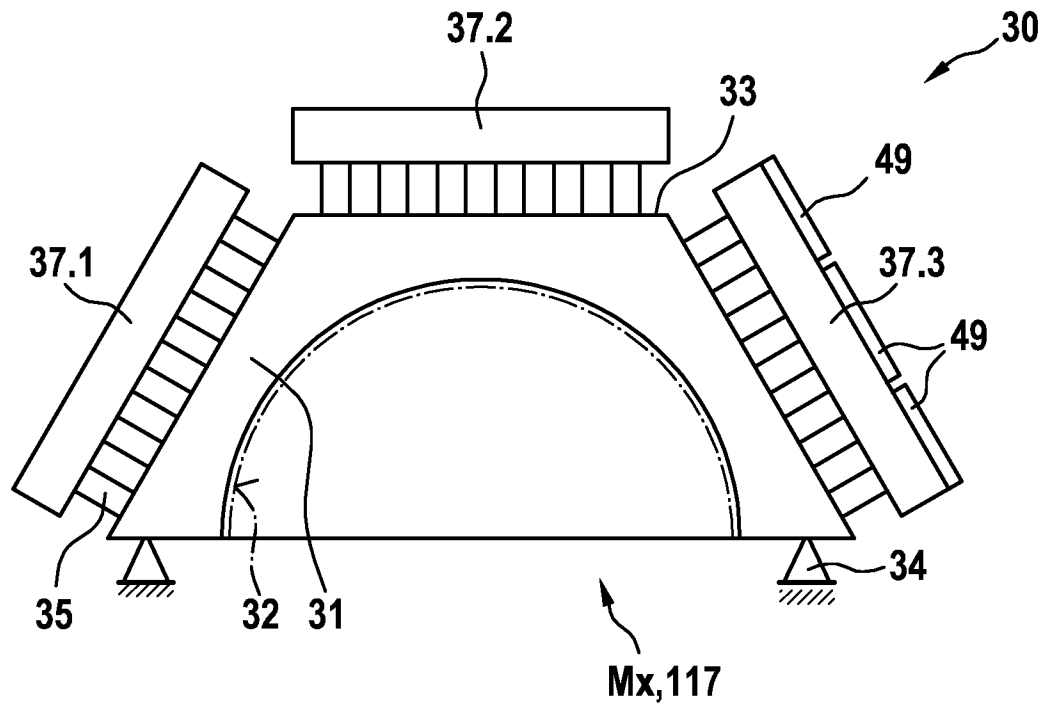


Fig. 6

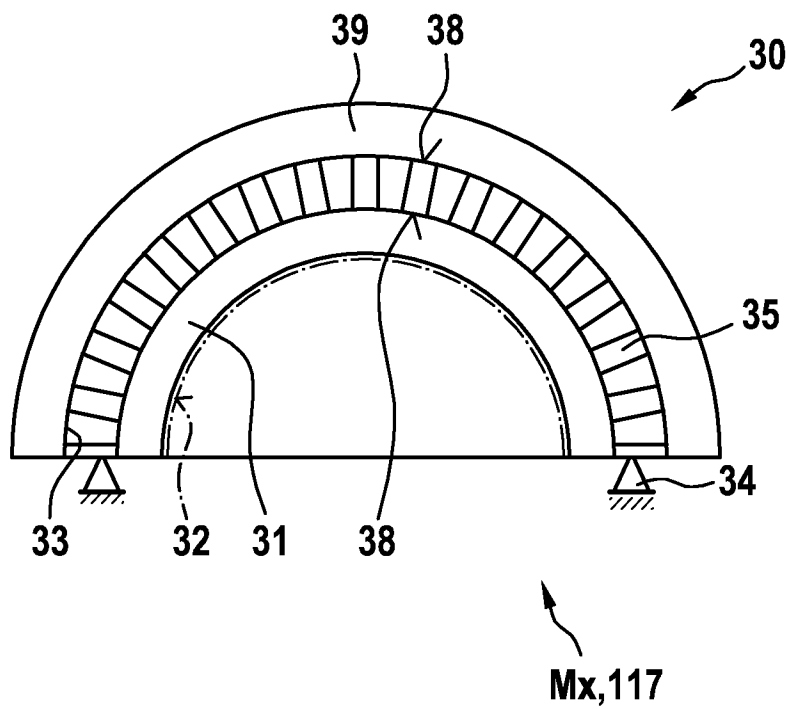


Fig. 7a

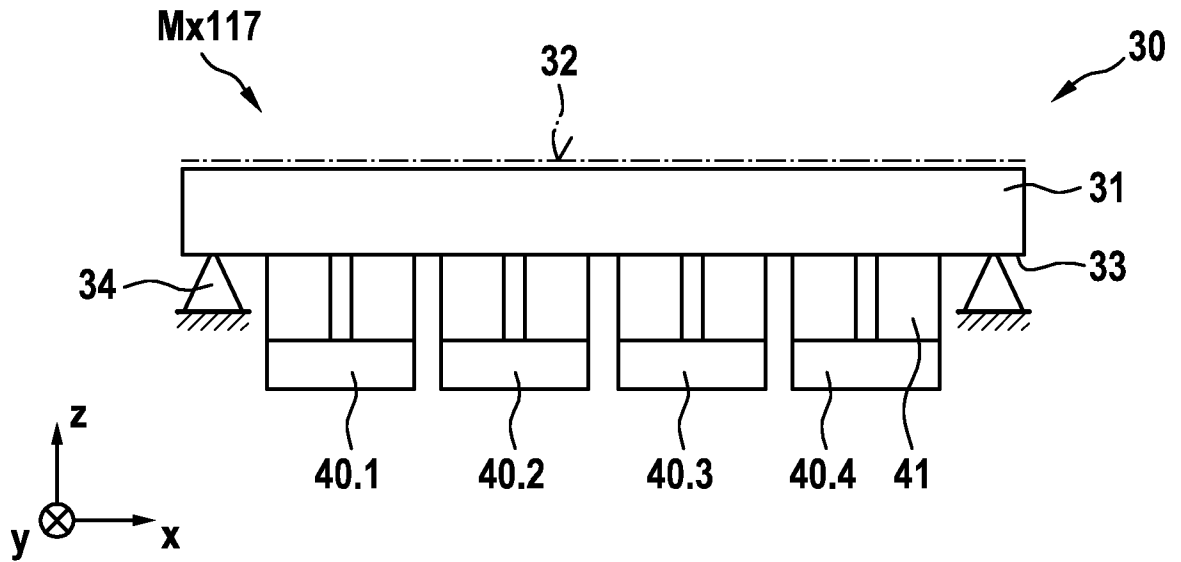


Fig. 7b

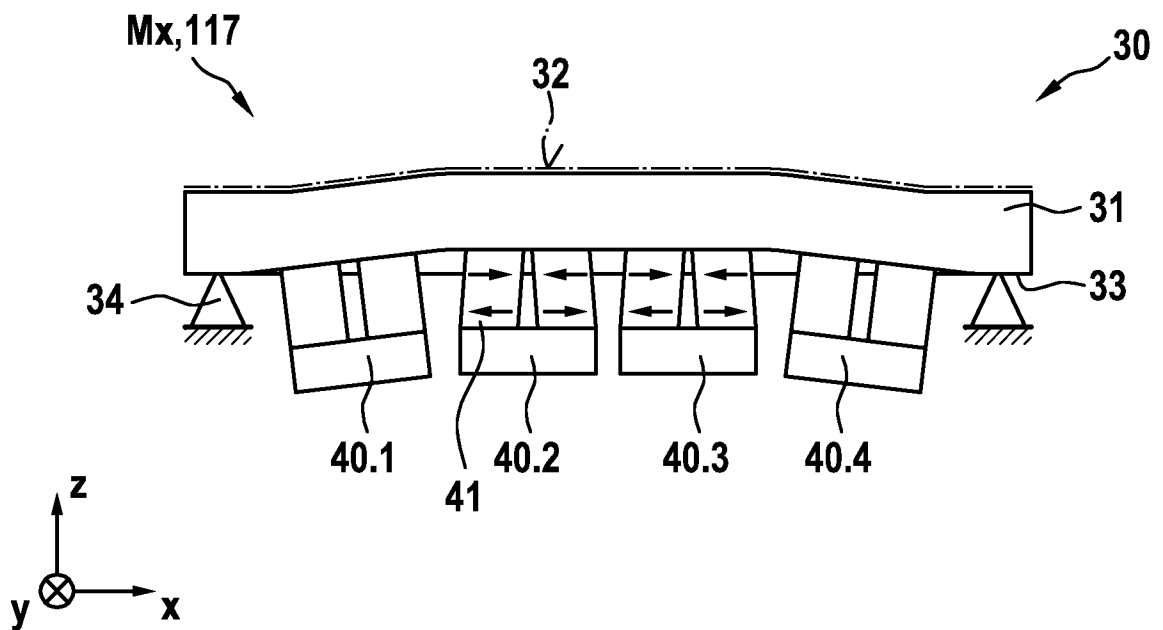


Fig. 8a

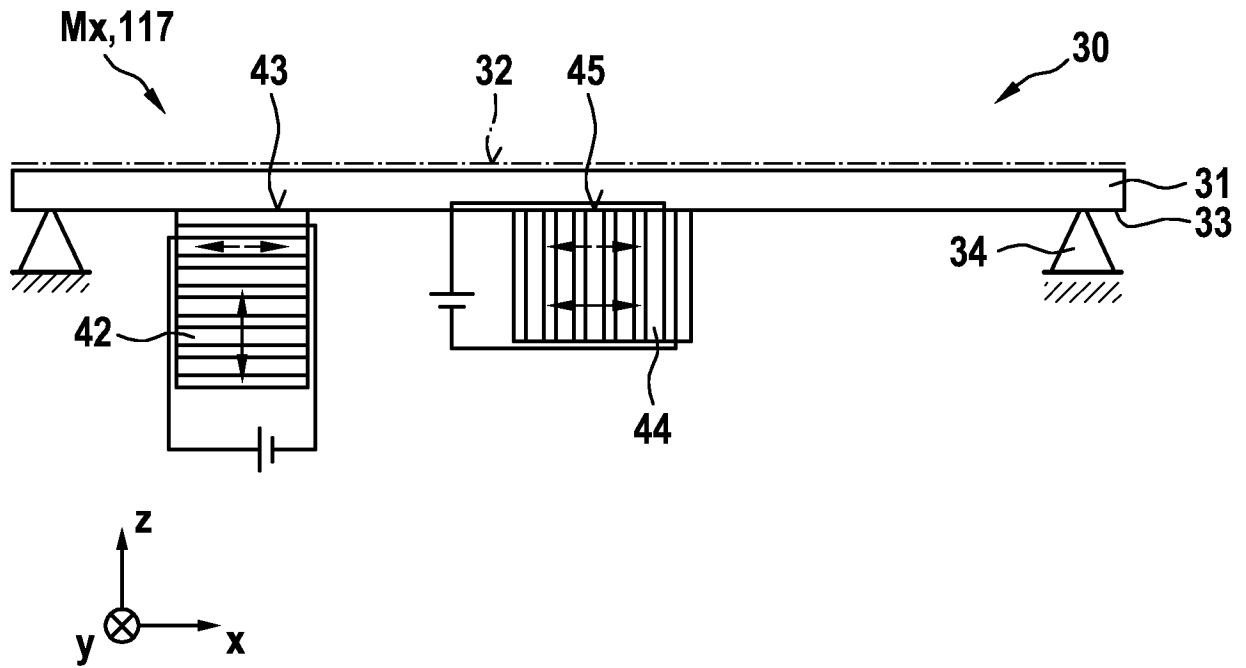


Fig. 8b

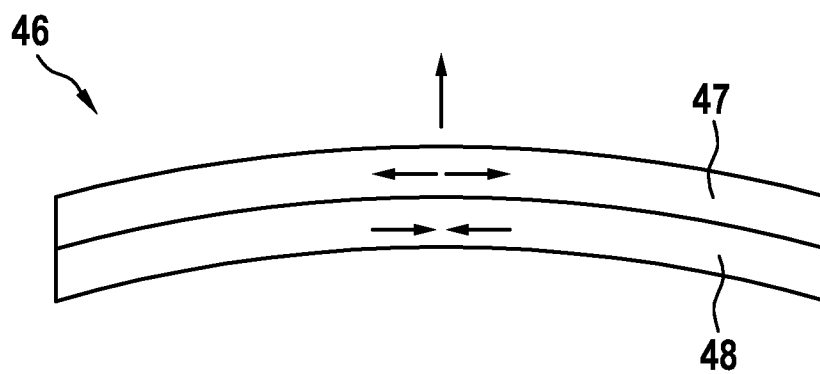


Fig. 8c

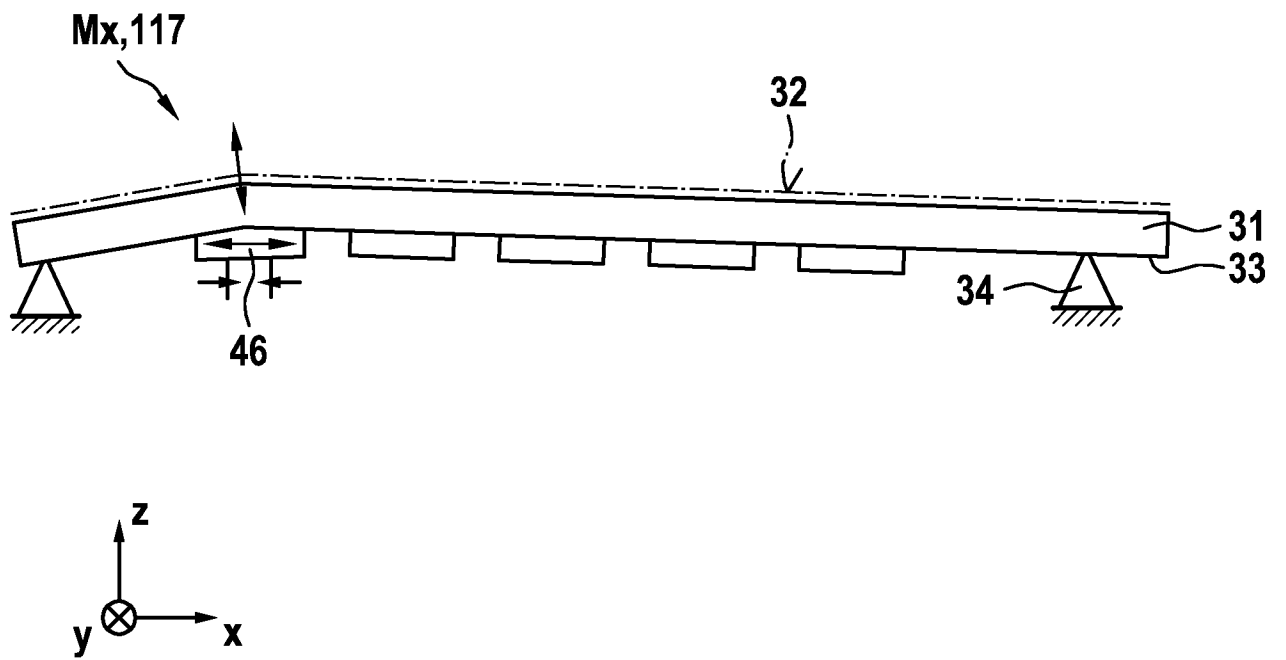


Fig. 9

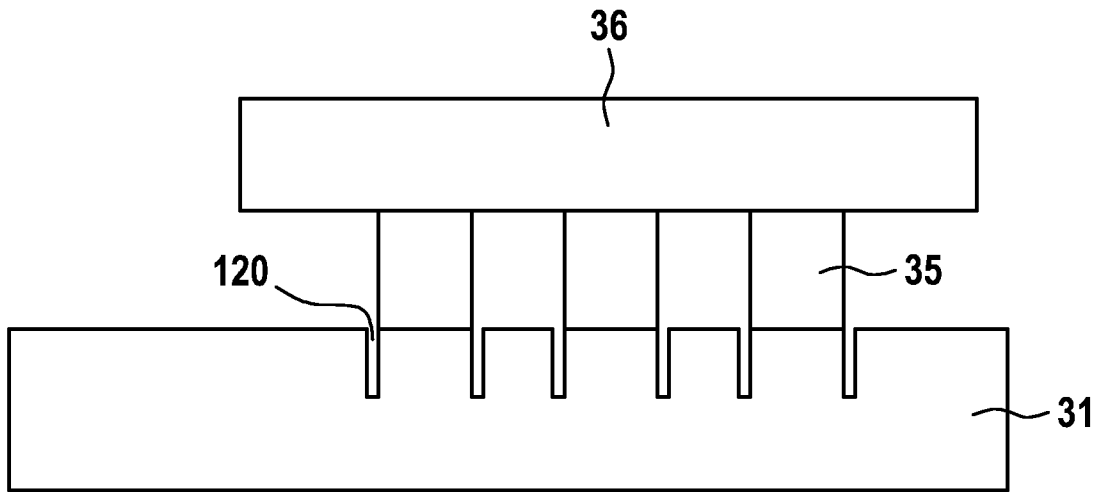
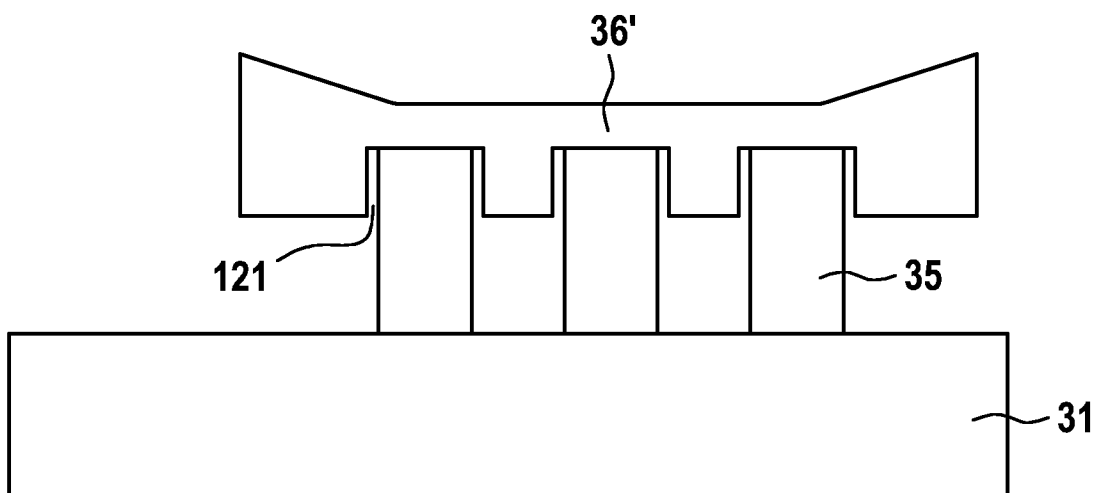
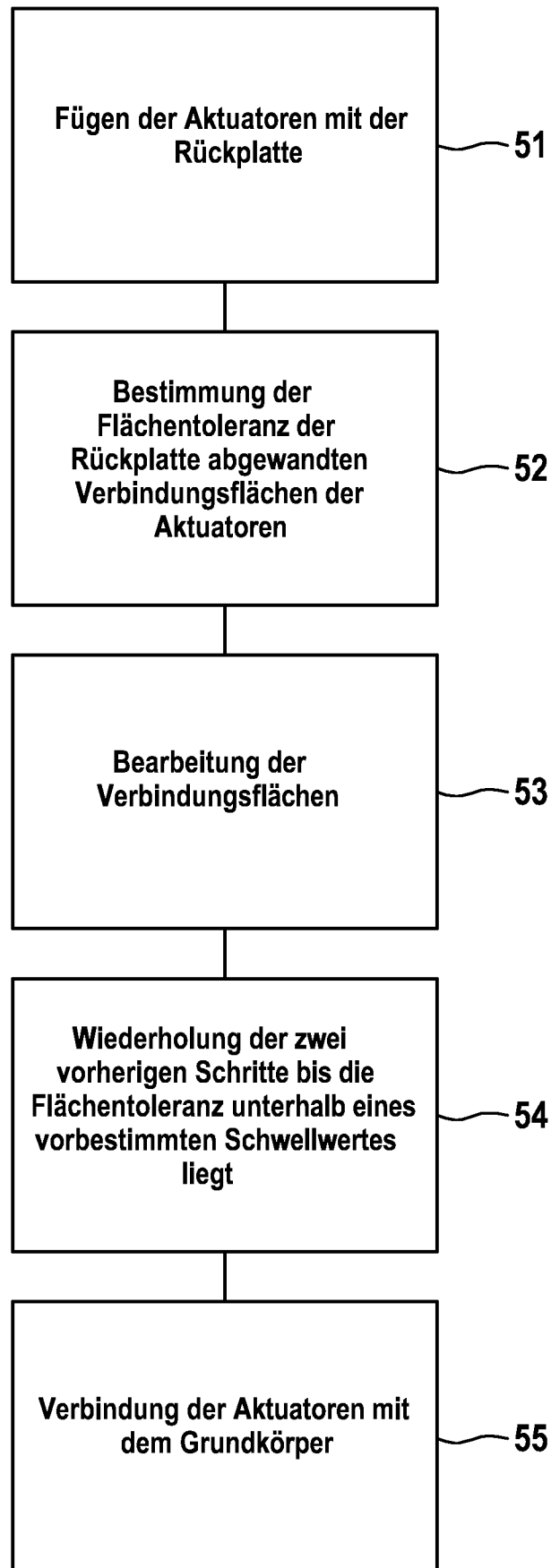


Fig. 10



9 / 9

Fig. 11



INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.

PCT/EP2023/062473

A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER		
<i>G03F 7/00</i> (2006.01)i; <i>B81B 3/00</i> (2006.01)i; <i>G02B 5/10</i> (2006.01)i; <i>G02B 7/18</i> (2021.01)i; <i>G02B 26/00</i> (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; B82B; B81B; G02B		
Documentation searched other than minimum documentation to the extent that such documents are included in the fields searched		
Electronic data base consulted during the international search (name of data base and, where practicable, search terms used) EPO-Internal, WPI Data		
C. DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT		
Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
X Y A	US 2011019295 A1 (ROOMS FREDERIC [FR] ET AL) 27 January 2011 (2011-01-27) paragraphs [0002] - [0008] paragraphs [0039] - [0061]; figures 4,7	1-5,8,9,11 12, 29 10,13-28
Y A	EP 0410686 A2 (CHROMEX INC [US]) 30 January 1991 (1991-01-30) page 9, lines 16-40 page 10, line 32 - page 12, line 34; figure 3D	12 16-28
X Y A	EP 2378345 A1 (TNO [NL]) 19 October 2011 (2011-10-19) paragraphs [0003] - [0005] paragraphs [0031] - [0038]; figures 8,9	1,6,13 29-32 7, 16-28
A	EP 0471362 A2 (MITSUBISHI ELECTRIC CORP [JP]) 19 February 1992 (1992-02-19) column 9, line 33 - columns 12-36; figure 8	1-5, 8-15, 29
A	EP 1640329 A2 (IDC LLC [US]) 29 March 2006 (2006-03-29) paragraphs [0013] - [0022]; figure 1 paragraphs [0052] - [0054]; figures 10, 12, 14, 15	1-5, 8-15
<input checked="" type="checkbox"/> Further documents are listed in the continuation of Box C. <input checked="" type="checkbox"/> See patent family annex.		
<p>* Special categories of cited documents:</p> <p>“A” document defining the general state of the art which is not considered to be of particular relevance</p> <p>“E” earlier application or patent but published on or after the international filing date</p> <p>“L” document which may throw doubts on priority claim(s) or which is cited to establish the publication date of another citation or other special reason (as specified)</p> <p>“O” document referring to an oral disclosure, use, exhibition or other means</p> <p>“P” document published prior to the international filing date but later than the priority date claimed</p> <p>“T” later document published after the international filing date or priority date and not in conflict with the application but cited to understand the principle or theory underlying the invention</p> <p>“X” document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered novel or cannot be considered to involve an inventive step when the document is taken alone</p> <p>“Y” document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered to involve an inventive step when the document is combined with one or more other such documents, such combination being obvious to a person skilled in the art</p> <p>“&” document member of the same patent family</p>		
Date of the actual completion of the international search 24 November 2023		Date of mailing of the international search report 05 December 2023
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 van Toledo, Wiebo Telephone No.

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.

PCT/EP2023/062473

C. DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT		
Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
A	US 2014232984 A1 (TAMAMORI KENJI [JP] ET AL) 21 August 2014 (2014-08-21) paragraph [0048]; figure 3A	16-28
A	US 4940318 A (EALEY MARK A [US] ET AL) 10 July 1990 (1990-07-10) column 3, line 32 - column 5, line 38; figures 1,3	16-28
A	BINAL POYYATHURUTHY BRUNO ET AL. "Micro Fresnel mirror array with individual mirror control" <i>SMART MATERIALS AND STRUCTURES</i> , IOP PUBLISHING LTD., BRISTOL, GB, Vol. 29, No. 7, 26 May 2020 (2020-05-26), page 75003, [retrieved on 2020-05-26] DOI: 10.1088/1361-665X/AB85A3 ISSN: 0964-1726, XP020354453 2. Design and simulation; figures 1a-c	16-28
Y	DE 102019203838 A1 (ZEISS CARL SMT GMBH [DE]) 24 September 2020 (2020-09-24) paragraph [0035]	30-32

Box No. III Observations where unity of invention is lacking (Continuation of item 3 of first sheet)

This International Searching Authority found multiple inventions in this international application, as follows:

1. Claims: 1-5, 8-15 (in full); 29 (in part)

Optical module having an optical element that is deformable by an optimized process

2. Claims: 6, 7, 16-28 (in full); 29 (in part)

Optical module having a stress-reduced and deformable optical element

3. Claims: 30-32

Optimized method for producing an optical module comprising a deformable optical element

1. As all required additional search fees were timely paid by the applicant, this international search report covers all searchable claims.
2. As all searchable claims could be searched without effort justifying additional fees, this Authority did not invite payment of additional fees.
3. As only some of the required additional search fees were timely paid by the applicant, this international search report covers only those claims for which fees were paid, specifically claims Nos.:
4. No required additional search fees were timely paid by the applicant. Consequently, this international search report is restricted to the invention first mentioned in the claims; it is covered by claims Nos.:

Remark on Protest

- The additional search fees were accompanied by the applicant's protest and, where applicable, the payment of a protest fee.
- The additional search fees were accompanied by the applicant's protest but the applicable protest fee was not paid within the time limit specified in the invitation.
- No protest accompanied the payment of additional search fees.

INTERNATIONAL SEARCH REPORT
Information on patent family members

International application No.

PCT/EP2023/062473

Patent document cited in search report			Publication date (day/month/year)	Patent family member(s)			Publication date (day/month/year)
US	2011019295	A1	27 January 2011	CA	2703870	A1	30 July 2009
				EP	2206006	A1	14 July 2010
				FR	2923301	A1	08 May 2009
				JP	5452497	B2	26 March 2014
				JP	2011503641	A	27 January 2011
				US	2011019295	A1	27 January 2011
				WO	2009092901	A1	30 July 2009
EP	0410686	A2	30 January 1991	CA	2018758	A1	25 January 1991
				EP	0410686	A2	30 January 1991
				JP	H03148602	A	25 June 1991
				US	5089915	A	18 February 1992
EP	2378345	A1	19 October 2011	EP	2378345	A1	19 October 2011
				EP	2558901	A1	20 February 2013
				TW	201215912	A	16 April 2012
				WO	2011129694	A1	20 October 2011
EP	0471362	A2	19 February 1992	DE	69123098	T2	06 March 1997
				DE	69133142	T2	24 July 2003
				EP	0471362	A2	19 February 1992
EP	1640329	A2	29 March 2006	AU	2005203430	A1	13 April 2006
				BR	PI0503937	A	09 May 2006
				CA	2516638	A1	27 March 2006
				EP	1640329	A2	29 March 2006
				JP	2006099069	A	13 April 2006
				KR	20060092877	A	23 August 2006
				MX	PA05009409	A	29 March 2006
				SG	121062	A1	26 April 2006
				TW	200618214	A	01 June 2006
				US	2006076648	A1	13 April 2006
				US	2014232984	A1	21 August 2014
EP	2767858	A1	20 August 2014				
JP	6308790	B2	11 April 2018				
JP	2014178675	A	25 September 2014				
US	2014232984	A1	21 August 2014				
US	4940318	A	10 July 1990	NONE			
DE	102019203838	A1	24 September 2020	CN	113614643	A	05 November 2021
				DE	102019203838	A1	24 September 2020
				US	2022004111	A1	06 January 2022
				WO	2020187549	A1	24 September 2020

Feld Nr. II Bemerkungen zu den Ansprüchen, die sich als nicht recherchierbar erwiesen haben (Fortsetzung von Punkt 2 auf Blatt 1)

Gemäß Artikel 17(2)a) wurde aus folgenden Gründen für bestimmte Ansprüche kein internationaler Recherchenbericht erstellt:

1. Ansprüche Nr.
weil sie sich auf Gegenstände beziehen, zu deren Recherche diese Behörde nicht verpflichtet ist, nämlich

2. Ansprüche Nr.
weil sie sich auf Teile der internationalen Anmeldung beziehen, die den vorgeschriebenen Anforderungen so wenig entsprechen, dass eine sinnvolle internationale Recherche nicht durchgeführt werden kann, nämlich

3. Ansprüche Nr.
weil es sich dabei um abhängige Ansprüche handelt, die nicht entsprechend Satz 2 und 3 der Regel 6.4 a) abgefasst sind.

Feld Nr. III Bemerkungen bei mangelnder Einheitlichkeit der Erfindung (Fortsetzung von Punkt 3 auf Blatt 1)

Diese Internationale Recherchenbehörde hat festgestellt, dass diese internationale Anmeldung mehrere Erfindungen enthält:

siehe Zusatzblatt

1. Da der Anmelder alle erforderlichen zusätzlichen Recherchegebühren rechtzeitig entrichtet hat, erstreckt sich dieser internationale Recherchenbericht auf alle recherchierbaren Ansprüche.

2. Da für alle recherchierbaren Ansprüche die Recherche ohne einen Arbeitsaufwand durchgeführt werden konnte, der zusätzliche Recherchegebühr gerechtfertigt hätte, hat die Behörde nicht zur Zahlung solcher Gebühren aufgefordert.

3. Da der Anmelder nur einige der erforderlichen zusätzlichen Recherchegebühren rechtzeitig entrichtet hat, erstreckt sich dieser internationale Recherchenbericht nur auf die Ansprüche, für die Gebühren entrichtet worden sind, nämlich auf die Ansprüche Nr.

4. Der Anmelder hat die erforderlichen zusätzlichen Recherchegebühren nicht rechtzeitig entrichtet. Dieser internationale Recherchenbericht beschränkt sich daher auf die in den Ansprüchen zuerst erwähnte Erfindung;; diese ist in folgenden Ansprüchen erfasst:

Bemerkungen hinsichtlich eines Widerspruchs

- Der Anmelder hat die zusätzlichen Recherchegebühren unter Widerspruch entrichtet und die gegebenenfalls erforderliche Widerspruchsgebühr gezahlt.
- Die zusätzlichen Recherchegebühren wurden vom Anmelder unter Widerspruch gezahlt, jedoch wurde die entsprechende Widerspruchsgebühr nicht innerhalb der in der Aufforderung angegebenen Frist entrichtet.
- Die Zahlung der zusätzlichen Recherchegebühren erfolgte ohne Widerspruch.

INTERNATIONALER RECHERCHENBERICHT

Internationales Aktenzeichen
PCT/EP2023/062473

A. KLASSIFIZIERUNG DES ANMELDUNGSGEGENSTANDES		
INV.	G03F7/00	B81B3/00
		G02B5/10
		G02B7/18
		G02B26/00
ADD.		
Nach der Internationalen Patentklassifikation (IPC) oder nach der nationalen Klassifikation und der IPC		
B. RECHERCHIERTE GEBIETE		
Recherchierter Mindestprüfstoff (Klassifikationssystem und Klassifikationssymbole)		
G03F B82B B81B G02B		
Recherchierte, aber nicht zum Mindestprüfstoff gehörende Veröffentlichungen, soweit diese unter die recherchierten Gebiete fallen		
Während der internationalen Recherche konsultierte elektronische Datenbank (Name der Datenbank und evtl. verwendete Suchbegriffe)		
EPO-Internal, WPI Data		
C. ALS WESENTLICH ANGESEHENE UNTERLAGEN		
Kategorie*	Bezeichnung der Veröffentlichung, soweit erforderlich unter Angabe der in Betracht kommenden Teile	Betr. Anspruch Nr.
X	US 2011/019295 A1 (ROOMS FREDERIC [FR] ET AL) 27. Januar 2011 (2011-01-27)	1-5, 8, 9, 11
Y	Absätze [0002] - [0008]	12, 29
A	Absätze [0039] - [0061]; Abbildungen 4, 7	10, 13-28

Y	EP 0 410 686 A2 (CHROMEX INC [US]) 30. Januar 1991 (1991-01-30)	12
A	Seite 9, Zeilen 16-40 Seite 10, Zeile 32 - Seite 12, Zeile 34; Abbildung 3D	16-28

X	EP 2 378 345 A1 (TNO [NL]) 19. Oktober 2011 (2011-10-19)	1, 6, 13
Y	Absätze [0003] - [0005]	29-32
A	Absätze [0031] - [0038]; Abbildungen 8, 9	7, 16-28

	-/--	
<input checked="" type="checkbox"/> Weitere Veröffentlichungen sind der Fortsetzung von Feld C zu entnehmen <input checked="" type="checkbox"/> 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		Absdtedatum des internationalen Recherchenberichts
24. November 2023		05/12/2023
Name und Postanschrift der Internationalen Recherchenbehörde Europäisches Patentamt, P.B. 5818 Patentlaan 2 NL - 2280 HV Rijswijk Tel. (+31-70) 340-2040, Fax: (+31-70) 340-3016		Bevollmächtigter Bediensteter van Toledo, Wiebo

C. (Fortsetzung) ALS WESENTLICH ANGESEHENE UNTERLAGEN		
Kategorie*	Bezeichnung der Veröffentlichung, soweit erforderlich unter Angabe der in Betracht kommenden Teile	Betr. Anspruch Nr.
A	EP 0 471 362 A2 (MITSUBISHI ELECTRIC CORP [JP]) 19. Februar 1992 (1992-02-19) Spalte 9, Zeile 33 - Spalten 12-36; Abbildung 8 -----	1-5, 8-15,29
A	EP 1 640 329 A2 (IDC LLC [US]) 29. März 2006 (2006-03-29) Absätze [0013] - [0022]; Abbildung 1 Absätze [0052] - [0054]; Abbildungen 10,12,14,15 -----	1-5,8-15
A	US 2014/232984 A1 (TAMAMORI KENJI [JP] ET AL) 21. August 2014 (2014-08-21) Absatz [0048]; Abbildung 3A -----	16-28
A	US 4 940 318 A (EALEY MARK A [US] ET AL) 10. Juli 1990 (1990-07-10) Spalte 3, Zeile 32 - Spalte 5, Zeile 38; Abbildungen 1,3 -----	16-28
A	BINAL POYYATHURUTHY BRUNO ET AL: "Micro Fresnel mirror array with individual mirror control", SMART MATERIALS AND STRUCTURES, IOP PUBLISHING LTD., BRISTOL, GB, Bd. 29, Nr. 7, 26. Mai 2020 (2020-05-26), Seite 75003, XP020354453, ISSN: 0964-1726, DOI: 10.1088/1361-665X/AB85A3 [gefunden am 2020-05-26] 2. Design and simulation; Abbildungen 1a-c -----	16-28
Y	DE 10 2019 203838 A1 (ZEISS CARL SMT GMBH [DE]) 24. September 2020 (2020-09-24) Absatz [0035] -----	30-32

INTERNATIONALER RECHERCHENBERICHT

Angaben zu Veröffentlichungen, die zur selben Patentfamilie gehören

Internationales Aktenzeichen

PCT/EP2023/062473

Im Recherchenbericht angeführtes Patentdokument	Datum der Veröffentlichung	Mitglied(er) der Patentfamilie	Datum der Veröffentlichung
US 2011019295 A1	27-01-2011	CA 2703870 A1	30-07-2009
		EP 2206006 A1	14-07-2010
		FR 2923301 A1	08-05-2009
		JP 5452497 B2	26-03-2014
		JP 2011503641 A	27-01-2011
		US 2011019295 A1	27-01-2011
		WO 2009092901 A1	30-07-2009
EP 0410686 A2	30-01-1991	CA 2018758 A1	25-01-1991
		EP 0410686 A2	30-01-1991
		JP H03148602 A	25-06-1991
		US 5089915 A	18-02-1992
EP 2378345 A1	19-10-2011	EP 2378345 A1	19-10-2011
		EP 2558901 A1	20-02-2013
		TW 201215912 A	16-04-2012
		WO 2011129694 A1	20-10-2011
EP 0471362 A2	19-02-1992	DE 69123098 T2	06-03-1997
		DE 69133142 T2	24-07-2003
		EP 0471362 A2	19-02-1992
EP 1640329 A2	29-03-2006	AU 2005203430 A1	13-04-2006
		BR PI0503937 A	09-05-2006
		CA 2516638 A1	27-03-2006
		EP 1640329 A2	29-03-2006
		JP 2006099069 A	13-04-2006
		KR 20060092877 A	23-08-2006
		MX PA05009409 A	29-03-2006
		SG 121062 A1	26-04-2006
		TW 200618214 A	01-06-2006
		US 2006076648 A1	13-04-2006
		US 2014232984 A1	21-08-2014
EP 2767858 A1	20-08-2014		
JP 6308790 B2	11-04-2018		
JP 2014178675 A	25-09-2014		
US 2014232984 A1	21-08-2014		
US 4940318 A	10-07-1990	KEINE	
DE 102019203838 A1	24-09-2020	CN 113614643 A	05-11-2021
		DE 102019203838 A1	24-09-2020
		US 2022004111 A1	06-01-2022
		WO 2020187549 A1	24-09-2020

WEITERE ANGABEN

PCT/ISA/ 210

Die internationale Recherchenbehörde hat festgestellt, dass diese internationale Anmeldung mehrere (Gruppen von) Erfindungen enthält, nämlich:

1. Ansprüche: 1-5, 8-15(vollständig); 29(teilweise)

Optischen Baugruppe mit einem durch einen optimierten
Vorgang deformierbaren optischen Element

2. Ansprüche: 6, 7, 16-28(vollständig); 29(teilweise)

Optischen Baugruppe mit einem stress-reduzierten und
deformierbaren optischen Element

3. Ansprüche: 30-32

Optimiertes Verfahren zur Herstellung einer optischen
Baugruppe mit einem deformierbaren optischen Element
