

(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
24. September 2020 (24.09.2020)



(10) Internationale Veröffentlichungsnummer
WO 2020/187549 A1

(51) Internationale Patentklassifikation:

G03F 7/20 (2006.01)

G02B 7/182 (2006.01)

(DE). **HOEVEL, Hans-Martin**; Erwitter Straße 2a, 59557
Lippstadt (DE).

(21) Internationales Aktenzeichen: PCT/EP2020/055413

(22) Internationales Anmeldedatum:

02. März 2020 (02.03.2020)

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

(25) Einreichungssprache: Deutsch

(26) Veröffentlichungssprache: Deutsch

(30) Angaben zur Priorität:

10 2019 203 838.7

20. März 2019 (20.03.2019) DE

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

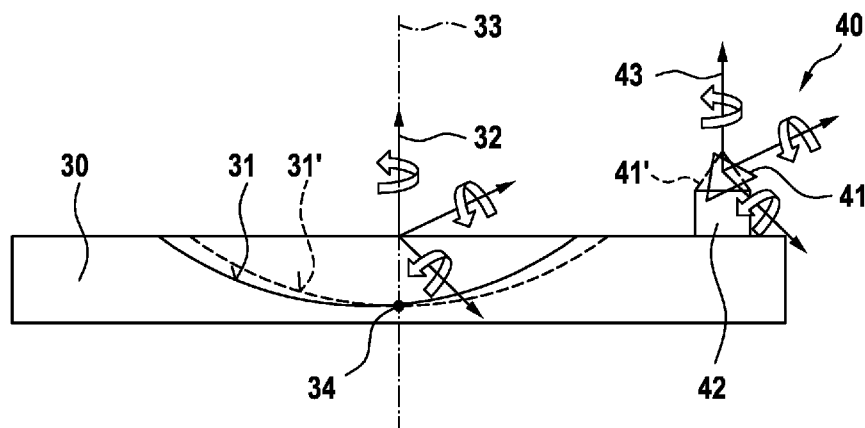
(72) **Erfinder: NIELAND, Peter**; Zeppelinstr. 38, 73430 Aalen
(DE). **STEPPER, Matthias**; Hegelstr. 54-1, 73431 Aalen

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

(54) **Title:** PROJECTION EXPOSURE SYSTEM FOR SEMICONDUCTOR LITHOGRAPHY HAVING AN OPTICAL ELEMENT
WITH SENSOR REFERENCE AND METHOD FOR ALIGNING THE SENSOR REFERENCE

(54) **Bezeichnung:** PROJEKTIONSBELICHTUNGSANLAGE FÜR DIE HALBLEITERLITHOGRAPHIE MIT EINEM
OPTISCHEN ELEMENT MIT SENSORREFERENZ UND VERFAHREN ZUR AUSRICHTUNG DER SENSORREFERENZ

Fig. 2



(57) **Abstract:** The invention relates to a method for aligning a sensor reference (40) to a reference face (31) of a main body (30) in an EUV-5 projection exposure system (1), wherein the sensor reference (40) comprises a reference element (41, 41') and a receiving element (42), the receiving element (42) being arranged on the main body (30) or being formed as part of the main body (30), the method comprising the following steps: - determining the orientation of the reference face (31) in a reference coordinates system (32) of the main body (30), - determining the deviation of the orientation of the reference face (31) from the intended orientation thereof, - placing the reference element (41, 41') into the receiving element (42), - determining the position and the orientation of the reference element

(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).

Veröffentlicht:

— mit internationalem Recherchenbericht (Artikel 21 Absatz 3)

(41, 41') in the reference coordinates system (32) of the main body (30), - determining the deviation from the intended orientation of the reference element (41, 41') taking into account the previously determined orientation of the reference element (41, 41') and the deviation of the reference face (31) from the intended orientation thereof, - aligning the reference element (41, 41') to the determined intended orientation, - fixing the reference element (41, 41') in the intended orientation, - checking the intended orientation of the reference element (41, 41') in the reference coordinates system (32). The invention further relates to a projection exposure system (1) for semiconductor lithography comprising an optical element (18, 19, 20), which has a main body (30), which for its part comprises receiving elements (42) for a plurality of reference elements (41, 41') of a sensor reference (40) for determining the position and orientation of the optical element (18, 19, 20). The optical element (18, 19, 20) further comprises a reference face (31) designed as an optically active surface, the orientation of the reference elements (41) being aligned to the orientation of the reference face (31) and the reference elements (41) being arranged with an angular displacement of less than 100 μ rad to the reference face (31).

(57) Zusammenfassung: Die Erfindung betrifft ein Verfahren zur Ausrichtung einer Sensorreferenz (40) zu einer Bezugsfläche (31) eines Grundkörpers (30) in einer EUV-5 Projektionsbelichtungsanlage (1), wobei die Sensorreferenz (40) ein Referenzelement (41, 41') und ein Aufnahmeelement (42) umfasst, wobei das Aufnahmeelement (42) auf dem Grundkörper (30) angeordnet oder als Teil des Grundkörpers (30) ausgebildet ist, umfassend die folgenden Schritte: - Bestimmung der Lage der Bezugsfläche (31) in einem Referenzkoordinatensystem (32) des Grundkörpers (30), - Bestimmung der Abweichung der Lage der Bezugsfläche (31) von deren Solllage, - Einlegen des Referenzelementes (41, 41') in das Aufnahmeelement (42), - Bestimmung der Position und der Lage des Referenzelementes (41, 41') in dem Referenzkoordinatensystem (32) des Grundkörpers (30), - Bestimmung der Abweichung von der Solllage des Referenzelementes (41, 41') unter Berücksichtigung der zuvor bestimmten Lage des Referenzelementes (41, 41') und der Abweichung der Bezugsfläche (31) von deren Solllage, - Ausrichtung des Referenzelementes (41, 41') auf die bestimmte Solllage, - Fixieren des Referenzelementes (41, 41') in der Solllage, - Überprüfung der Solllage des Referenzelementes (41, 41') in dem Referenzkoordinatensystem (32). Weiterhin betrifft die Erfindung eine Projektionsbelichtungsanlage (1) für die Halbleiterlithographie umfassend ein optisches Element (18, 19, 20), welches einen Grundkörper (30) umfasst, der wiederum Aufnahmeelemente (42) für mehrere Referenzelemente (41, 41') einer Sensorreferenz (40) zur Bestimmung der Position und Lage des optischen Elementes (18, 19, 20) umfasst. Weiterhin umfasst das optische Element (18, 19, 20) eine als optisch aktive Fläche ausgebildete Bezugsfläche (31), wobei die Lage der Referenzelemente (41) zur Lage der Bezugsfläche (31) ausgerichtet ist und die Referenzelemente (41) mit einer Winkelabweichung kleiner als 100 μ rad zu der Bezugsfläche (31) angeordnet sind.

Projektionsbelichtungsanlage für die Halbleiterlithographie mit einem optischen Element mit Sensorreferenz und Verfahren zur Ausrichtung der Sensorreferenz

5

Die vorliegende Patentanmeldung nimmt die Priorität der deutschen Patentanmeldung DE 10 2019 203 838.7 in Anspruch, deren Inhalt hierin vollumfänglich durch Bezugnahme aufgenommen wird.

Die Erfindung betrifft eine Projektionsbelichtungsanlage für die Halbleiterlithographie mit einem optischen Element mit einer Sensorreferenz und ein Verfahren zur Ausrichtung der Sensorreferenz zu dem optischen Element.

In Projektionsbelichtungsanlagen in der Halbleiterlithographie sind die Position und die Lage der optischen Elemente von entscheidender Bedeutung für die erzielte Qualität der mit dem System vorgenommenen Abbildung einer Lithographiemaske, z. B. einer Phasenmaske, eines sogenannten Reticles, auf ein Halbleitersubstrat, einen sogenannten Wafer. Zur Bestimmung der Position und Lage der speziell in EUV-Projektionsbelichtungsanlagen als Spiegel ausgebildeten optischen Elemente werden Sensorsysteme mit sechs Freiheitsgraden verwendet. Die Sensorsysteme sind beispielsweise als Linearencoder ausgebildet, die eine hohe Auflösung verbunden mit einem gleichzeitig sehr großen Messbereich auszeichnet. Linearencoder umfassen einen feststehenden und einen bewegten Teil, wobei der Arbeitsabstand, also der Abstand des bewegten Teils zu dem feststehenden Teil, üblicherweise im Bereich weniger Millimeter liegt. Die feststehenden Teile der Sensoren sind an einem separat gelagerten Sensorrahmen befestigt, während die bewegten Teile der Sensoren an den Spiegeln angeordnet sind. Die Projektionsoptiken in bisherigen EUV-Projektionsbelichtungsanlagen waren bislang durch ein gefaltetes sehr kompaktes Design geprägt. Dadurch wurde die Ausbildung eines kompakten und dadurch steifen Sensorrahmens stark vereinfacht. Die neueren Designvarianten der Projektionsoptiken zeichnen sich insbesondere durch eine Mehrzahl praktisch nebeneinander angeordneter Spiegel aus, die insgesamt einen erheblichen Bauraum beanspruchen, was die Ausbildung eines kompakten und steifen Sensorrahmens

stark erschwert. Eine mögliche Lösung besteht in der Verwendung von Interferometern zur Bestimmung der Position und Lage der Spiegel, die ebenfalls eine hohe Auflösung und einen großen Messbereich aufweisen, wobei der Arbeitsabstand aber im Bereich von mehreren Zentimetern und mehr liegen kann. Dadurch können die fest angeordneten Interferometer auf einem oder mehreren kompakten und steifen Sensorrahmen angeordnet werden, wobei die im Vergleich leichteren und kleineren Referenzspiegel an den optischen Elementen angebracht werden können. Durch die sehr hohen Anforderungen an die Genauigkeit der Position und Lage der Spiegel im Bereich weniger Pikometer [pm] beziehungsweise weniger zehn Mikrorad [μ rad] liegen speziell die Anforderungen an die Genauigkeit der Ausrichtung der Lage der Referenzspiegel zu den relevanten optisch aktiven Flächen der optischen Elemente im Bereich von $10 - 200 \mu$ rad. Die sehr geringen Toleranzen an die Gesamtverkippung der Sensorreferenzen in Bezug zu den Interferometern setzen sich aus den Einbautoleranzen, den Verkippungen der Sensorreferenzen zum Interferometer im Betrieb durch die Bewegung der Spiegel und damit der Sensorreferenzen in einem der nicht gemessenen fünf anderen Freiheitsgrade und einem Driftanteil zusammen.

Zur Ausrichtung der Winkellage von Sensorreferenzen zu einer Bezugsfläche, also beispielsweise zu einer optisch aktiven Fläche (diejenige Fläche, die im Betrieb der Anlage üblicherweise mit Nutzlicht beaufschlagt wird) eines optischen Elementes sind Verfahren mit einem Klebespalt zwischen einem reflektierenden Referenzteil und einem Aufnahmeelement aus der Literatur bekannt, wobei der Winkel zwischen Referenzteil und Aufnahmeelement durch nicht gleichmäßig dicke Klebstoffschichten zwischen Referenzteil und Aufnahmeelement eingestellt wird. Dies hat den Nachteil, dass der Klebespalt selbst durch Ausdehnung oder Schrumpf des Klebstoffs beim Aushärten und/oder über die Zeit eine Drift der Winkel verursacht. Dieser Effekt wird durch die unterschiedlich dicken Klebespalte und die damit verbundene unterschiedliche Größe des Drifts noch zusätzlich verstärkt.

Aufgabe der vorliegenden Erfindung ist es, eine Vorrichtung bereitzustellen, welche die oben beschriebenen Anforderungen erfüllt und die Nachteile des Standes der Technik löst. Eine weitere Aufgabe der Erfindung ist es, ein Verfahren zur Ausrichtung der Sensorreferenz zur Bezugsfläche eines optischen Elementes anzugeben.

Diese Aufgabe wird gelöst durch eine Vorrichtung und ein Verfahren mit den Merkmalen der unabhängigen Ansprüche. Die Unteransprüche betreffen vorteilhafte Weiterbildungen und Varianten der Erfindung.

- 5 Ein erfindungsgemäßes Verfahren zur Ausrichtung einer Sensorreferenz zu einer Bezugsfläche eines Grundkörpers in einer EUV-Projektionsbelichtungsanlage, wobei die Sensorreferenz ein Referenzelement und ein Aufnahmeelement umfasst, wobei das Aufnahmeelement auf dem Grundkörper fest angeordnet oder als Teil des Grundkörpers ausgebildet ist, umfasst die folgenden Schritte:
- 10 - Bestimmung der Lage der Bezugsfläche in einem Referenzkoordinatensystem des Grundkörpers,
- Bestimmung der Abweichung der Lage der Bezugsfläche von deren Solllage,
- Einlegen des Referenzelementes in das Aufnahmeelement,
- Bestimmung der Position und der Lage des Referenzelementes in dem Referenz-
- 15 koordinatensystem des Grundkörpers,
- Bestimmung der Abweichung von der Solllage des Referenzelementes unter Berücksichtigung der zuvor bestimmten Lage des Referenzelementes und der Abweichung der Bezugsfläche von deren Solllage,
- Ausrichtung des Referenzelementes auf die bestimmte Solllage,
- 20 - Fixieren der Lage des Referenzelementes zu der Bezugsfläche in der Solllage
- Überprüfung der Solllage des Referenzelementes in dem Referenzkoordinatensystem.

Die Bestimmung der Lage der Bezugsfläche im Referenzkoordinatensystem kann dabei beispielsweise interferometrisch erfolgen. Dazu wird der Grundkörper, der

25 beispielsweise als optisches Element, insbesondere als Spiegel einer EUV-Projektionsbelichtungsanlage ausgebildet sein kann, in einer Messmaschine positio-

niert, die mit einem Interferometer die Abweichung der Bezugsfläche zum Referenzkoordinatensystem, welches beispielsweise durch einen Referenzpunkt auf dem Grundkörper definiert ist, bestimmen kann. Die Bezugsfläche weist auf Grund von Fertigungstoleranzen nahezu immer eine Abweichung von Ihrer Sollposition und –
5 lage auf, die auf die beschriebene Weise bestimmt werden kann.

Weiterhin kann das Aufnahmeelement eine als Kegelsitz ausgebildete Kontaktfläche umfassen.

Daneben kann das Referenzelement eine als Kugelfläche ausgebildete Kontaktfläche umfassen. Durch die Kugel-Kegel-Paarung zwischen dem Aufnahmeelement
10 und dem Referenzelement bildet sich eine typischerweise kreisförmige Kontaktlinie aus, die eine eindeutige und stabile Lage des Referenzelementes im Aufnahmeelement ermöglicht. Durch den damit gegebenen direkten mechanischen Kontakt zwischen den beiden Bauteilen kann die Drift zwischen dem Referenzelement und dem Aufnahmeelement vorteilhaft auf ein Minimum reduziert werden.

15 Zur genauen Positionierung kann das Referenzelement bei dem Einlegen in das Aufnahmeelement durch eine Halterung gehalten werden. Dies ist für ein erstes Einlegen nicht entscheidend, kann aber die Einrichtung des Referenzelementes in die Sollposition und -lage stark vereinfachen.

Insbesondere kann die Halterung mindestens ein Stellglied zur Verkipfung der
20 Halterung gegenüber dem Aufnahmeelement aufweisen. Dies kann das Einstellen des Winkels der Referenzfläche zum Winkel der Bezugsfläche in dem Aufnahmeelement in einer sehr hohen Auflösung ermöglichen.

In einer Variante des Verfahrens kann das Gewicht des Referenzelementes durch die Halterung zumindest teilweise kompensiert werden, wodurch beispielsweise eine
25 Anordnung der Aufnahme auch über Kopf oder seitlich möglich wird. Insgesamt kann die Normalkraft kontrolliert eingestellt werden und Querkraft-Komponenten (wie die Gewichtskraft beim seitlichen Einbaufall) können kompensiert werden. Ein weiterer Vorteil der Kompensation des Gewichts ist auch, dass die Normalkraft an der Kontaktlinie minimiert und damit die Reibung zwischen den beiden Bauteilen vorteilhaft
30 reduziert werden kann.

In einer weiteren Ausführungsform der Erfindung kann die Lage des Referenzelementes über die Lage einer Oberfläche des Referenzelementes bestimmt werden. Diese Oberfläche kann vorteilhafterweise die Referenzfläche des Referenzelementes selbst sein. Aber auch eine Fläche mit einer gegenüber der Referenzfläche
5 bekannten Ausrichtung kann verwendet werden.

In einer Variante der Erfindung kann die Lage des Referenzelementes über die Lage einer Hilfsfläche bestimmt werden. Diese Hilfsfläche kann an einem zusätzlichen Bauteil, einem Hilfselement ausgebildet sein, welches in Position und Lage fest zum Referenzelement angeordnet werden kann und eine größere Fläche als die Referenzfläche selbst aufweist. Dies kann beispielsweise von Vorteil sein, um die Be-
10 stimmung eines Winkels mit einem Tastverfahren einfacher beziehungsweise genauer bestimmen zu können, da die Referenzspiegel auf Grund von Bauraumrestriktionen sehr klein sein können, was die Basis für eine Winkelmessung durch Antasten mehrerer Punkte stark einschränken kann.

In einem weiteren Ausführungsbeispiel der Erfindung kann die Lage des Referenzelementes zum Referenzkoordinatensystem mit einer Koordinatenmessmaschine bestimmt werden. Koordinatenmessmaschinen haben den Vorteil, große Körper in sechs Freiheitsgraden hochgenau im Bereich von μm relativ zueinander vermessen zu können. Koordinatenmessmaschinen sind flexibel auf verschiedene Grundkörper
20 einzurichten, was den Prozess und damit die Herstellkosten positiv beeinflussen kann. Zunächst wird die Lage des Grundkörpers und dadurch das Referenzkoordinatensystem auf der Koordinatenmessmaschine bestimmt. Nachfolgend wird die Lage des Referenzelementes zu diesem Referenzkoordinatensystem bestimmt. Mit der Abweichung der Bezugsfläche von Ihrer Sollage und der Lage der Referenzflächen
25 im Referenzkoordinatensystem kann die Abweichung des Referenzelementes von seiner Sollage bestimmt werden.

In einer Variante der Erfindung kann die Lage des Referenzelementes im Referenzkoordinatensystem mit einem optischen Messsystem bestimmt werden. Dabei kann eine Kamera die Geometrie des gegebenenfalls mit Markern versehenen Referenzelementes aufnehmen und mit Hilfe einer Bildauswertung kann nachfolgend die
30 Position und Lage des Referenzelementes bestimmt werden. Der Aufbau ist einfa-

cher und bei Verwendung von sogenannten Time-of-Flight Kameras wird die Anzahl bewegter Teile reduziert. Weiterhin kann die Messung im Vergleich zur Messung mit einer Koordinatenmessmaschine schneller durchgeführt werden, da mit einer Aufnahme mehrere Punkte erfasst und bestimmt werden können. Ist die Abweichung der Lage und Position der Bezugsfläche und die Position und Lage des Referenzelementes im Referenzkoordinatensystem des Grundkörpers bestimmt, kann daraus die Abweichung des Referenzelementes von der Solllage einfach berechnet werden. Die Position, also die Werte auf der X-, Y- und Z-Achse des Referenzkoordinatensystems, sind weniger kritisch, da ein Fehler in Messrichtung lediglich einen Offset darstellt und eine Verschiebung senkrecht zur Messrichtung durch die Ausdehnung der Messfläche kompensiert werden kann. Jede Abweichung der Lage, also der Verkipfung um die X-, Y- und Z-Achse führt zu einem Messfehler des Abstandes und ist insbesondere bei großen Messabständen bei Werten im Bereich von $500 - 300 \mu\text{rad}$, insbesondere im Bereich von $300 - 100 \mu\text{rad}$, insbesondere im Bereich von $100 - 10 \mu\text{rad}$ signifikant.

In einer Variante der Erfindung kann bei der Ausrichtung des Referenzelementes die Lage des Referenzelementes in situ, also während der Ausrichtung selbst, bestimmt werden. Dies hat den Vorteil, dass das Verstellen beziehungsweise Verkippen des Referenzelementes direkt beobachtet werden kann und dadurch die Solllage schneller erreicht werden kann.

Weiterhin kann bei der Ausrichtung des Referenzelementes die Lage des Referenzelementes mit einem optischen Messmittel bestimmt werden.

Insbesondere kann das optische Messmittel ein Autokollimationsfernrohr sein. Dieses eignet sich besonders zur Einstellung von Kippwinkeln, da diese direkt angezeigt werden und nicht über eine Transformation aus mehreren Koordinaten berechnet werden müssen. Im Fall der Verwendung des Hilfselementes kann mit einem Autokollimationsfernrohr sowohl die Lage des Hilfselementes, welches beispielsweise als halbdurchlässiger Spiegel ausgebildet sein kann, mit einem ersten Reflex und andererseits in der gleichen Messung die Lage des Referenzelementes mit einem zweiten Reflex bestimmt werden. Die Lage des Hilfselementes, welche

genauer bestimmbar ist als die des Referenzelementes, kann durch die Verwendung des Autokollimationsfernrohrs quasi auf das Referenzelement übertragen werden.

Insbesondere im Fall von sehr kleinen Referenzflächen kann bei der Ausrichtung des Referenzelementes die Lage des Referenzelementes in Bezug auf die Hilfsfläche
5 bestimmt werden. Dies ist der Fall, wenn die Lage der Referenzflächen, die in einem Bereich von 100mm x 100mm, insbesondere in einem Bereich von 45mm x 45mm, insbesondere in einem Bereich von 20mm x 20mm liegen können, aber auch rechteckige Geometrien aufweisen können, beim Antasten der Referenzfläche nicht mehr im Bereich der gegebenen Toleranzen bestimmt werden können. Wie weiter oben
10 beschrieben kann in diesem Fall ein Hilfselement in einem festen Abstand und Lage zum Referenzelement angeordnet werden. Das Hilfselement kann daraufhin beispielsweise mit der Koordinatenmessmaschine vermessen werden, wobei die Lage des Hilfselementes genauer bestimmt werden kann als die Lage des Referenzelementes. Bei der Ausrichtung des Referenzelementes auf die gewünschte Solllage
15 kann dann die Lage des Referenzelementes relativ zum Hilfselement und damit auch relativ zur Bezugsfläche mit dem Autokollimationsfernrohr ausgerichtet werden.

Entspricht die Lage der Referenzfläche der gewünschten Solllage, kann diese beispielsweise durch Verkleben mit dem Aufnahmeelement fixiert werden. Dazu kann der Klebstoff beispielsweise über seitliche Öffnungen oder Bohrungen im oder
20 im Bereich vom Kegelsitz des Aufnahmeelementes von außen in den Klebespalt um die Kontaktlinie bzw. nur oberhalb der Kontaktlinie appliziert werden, so dass eine gleichmäßige und vollständige Benetzung durch den Klebstoff am Umfang sichergestellt werden kann. Dies führt zu einer Verbindung mit hoher Festigkeit und durch den direkten mechanischen Kontakt minimalem Driftverhalten. Es ist auch denkbar,
25 die vollständige Benetzung durch den Klebstoff durch einen Unterdrucktest vor dem Aushärten beziehungsweise durch einen Über- oder Unterdrucktest nach dem Aushärten zu überprüfen. Dazu kann in einem Raum unterhalb der Kontaktlinie im Aufnahmeelement ein Über- oder Unterdruck erzeugt werden.

Weiterhin kann nach dem Fixieren des Referenzelementes in der Solllage die Lage
30 des Referenzelementes mit einer Koordinatenmessmaschine überprüft werden.

Daneben kann die Lage des Referenzelementes mit einem optischen Messsystem überprüft werden. Das Verfahren kann durch die Ausrichtung der Referenzflächen relativ zu den für die Abbildungsqualität relevanten Bezugsflächen des Grundkörpers in einem Referenzkoordinatensystem sehr niedrige Lagetoleranzen erreichen, die im Bereich von $500 - 300 \mu\text{rad}$, insbesondere im Bereich von $300 - 100 \mu\text{rad}$, insbesondere im Bereich von $100 - 10 \mu\text{rad}$ liegen können.

Eine erfindungsgemäße Projektionsbelichtungsanlage für die Halbleiterlithographie umfasst ein optisches Element, welches seinerseits einen Grundkörper mit Aufnahmeelementen für mehrere Referenzelemente einer Sensorreferenz zur Bestimmung der Position und Lage des optischen Elementes umfasst. Weiterhin umfasst das optische Element eine als optisch aktive Fläche ausgebildeten Bezugsfläche, wobei die Lage der Referenzelemente zur Lage der Bezugsfläche ausgerichtet ist. Insbesondere sind die Referenzelemente mit einer Winkelabweichung kleiner als $100 \mu\text{rad}$ zu der Bezugsfläche angeordnet. Die optischen Elemente erreichen so Positioniergenauigkeiten, die den Anforderungen an die Abbildungsqualität für EUV-Projektionsbelichtungsanlagen entsprechen. Die Aufnahmeelemente können als separates Teil auf dem Grundkörper angeordnet und befestigt sein oder als Teil des Grundkörpers, also einteilig, ausgebildet sein.

In einer Variante der Erfindung können die Aufnahmeelemente eine als Kegelsitz ausgebildete Kontaktfläche umfassen.

Daneben können die Referenzelemente eine als Kugelfläche ausgebildete Kontaktfläche umfassen. Durch die Kugel-Kegel-Paarung wird der Kontakt der beiden Kontaktflächen auf eine kreisförmige Kontaktlinie reduziert, was zu einem driftstabilen mechanischen Kontakt zwischen den beiden Bauteilen führen kann.

Weiterhin können die Referenzelemente in den Aufnahmeelementen durch einen Klebstoff fixiert sein.

Der Klebstoff kann von außen über den gesamten Umfang appliziert werden, so dass dieser beispielsweise eine Kontaktlinie zwischen den Kontaktflächen zumindest teilweise berühren kann. Durch den am gesamten Umfang applizierten und ausgehärteten Klebstoff kann eine Verbindung mit hoher Steifigkeit und gleichzeitig hoher

Driftstabilität ausgebildet werden. Ein am Umfang gleichmäßig applizierter Klebstoff führt auch zu einer gleichmäßigen Zugspannung beim Aushärten und kann ein Verkippen oder Verziehen des Referenzelementes in dem Aufnahmeelement vorteilhaft minimieren. Ebenso kann der Klebstoff die Kontaktlinie entweder an Aussparungen durchfließen oder an dieser entlanglaufen und so zu einer vollständigen Benetzung des Klebespalts führen, wobei die Kontaktlinie aber nicht oder nicht wesentlich durchflossen wird. Für die Aussparungen sind mehrere Geometrien denkbar, sie können an einem der beiden oder auch an beiden zu verbindenden Elementen angeordnet sein. Auch ein punktuell Aufbringen des Klebstoffs ist denkbar.

In einer Variante der Erfindung können die Kontaktflächen der Referenzelemente und/oder der Aufnahmeelemente zur Verringerung der Reibung zumindest teilweise beschichtet sein. Die Beschichtung reduziert die Reibkräfte zwischen Referenzelement und Aufnahmeelement, wodurch der Prozess des Ausrichtens vorteilhaft vereinfacht wird.

Daneben können die Aufnahmeelemente dazu ausgebildet sein, in einem Raum, der durch eine Aussparung in den Aufnahmeelementen und der Kugelfläche der Referenzelemente begrenzt wird, einen Überdruck zur Reduzierung von Reibung an der Kontaktlinie oder einen Unterdruck zur Kontrolle der Qualität der Verbindung zu erzeugen. Ebenso kann mindestens ein Referenzelement zu diesem Zweck ein Prüffenster umfassen.

Weiterhin kann die Ausrichtung des Referenzelementes auf die Solllage durch eine Änderung der Geometrie des Referenzelementes oder des Aufnahmeelementes bewirkt werden; alternativ oder zusätzlich kann dies auch durch eine Anpassung der Dicke eines Klebespaltes erreicht werden.

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

Figur 1 den prinzipiellen Aufbau einer EUV-Projektionsbelichtungsanlage,

Figur 2 eine schematische Detailansicht der Erfindung,

Figur 3a eine weitere schematische Detailansicht der Erfindung,

Figur 3b eine weitere schematische Detailansicht der Erfindung,

Figur 4 eine weitere schematische Detailansicht der Erfindung,

Figur 5 a, b eine weitere schematische Detailansicht der Erfindung,

5 Figur 6 eine weitere schematische Detailansicht der Erfindung,

Figur 7a, b je eine schematische Darstellung eines Messmittels,

Figur 8 a, b eine Variante der Erfindung,

Figur 9 a, b eine weitere Variante der Erfindung und

Figur 10 ein Flussdiagramm zu einem erfindungsgemäßen Herstellungsverfahren.
10

Figur 1 zeigt exemplarisch den prinzipiellen Aufbau einer EUV-Projektionsbelichtungsanlage 1 für die Mikrolithographie, in welcher die Erfindung Anwendung finden kann. Ein Beleuchtungssystem der Projektionsbelichtungsanlage 1 weist neben einer Lichtquelle 3 eine Beleuchtungsoptik 4 zur Beleuchtung eines Objektfeldes 5 in einer Objektebene 6 auf. Eine durch die Lichtquelle 3 erzeugte EUV-Strahlung 14 als optische Nutzstrahlung wird mittels eines in der Lichtquelle 3 integrierten Kollektors derart ausgerichtet, dass sie im Bereich einer Zwischenfokusebene 15 einen Zwischenfokus durchläuft, bevor sie auf einen Feldfacettenspiegel 2 trifft. Nach dem Feldfacettenspiegel 2 wird die EUV-Strahlung 14 von einem Pupillenfacettenspiegel 16 reflektiert. Unter Zuhilfenahme des Pupillenfacettenspiegels 16 und einer optischen Baugruppe 17 mit Spiegeln 18, 19 und 20 werden Feldfacetten des Feldfacettenspiegels 2 in das Objektfeld 5 abgebildet.
15
20

Beleuchtet wird ein im Objektfeld 5 angeordnetes Reticle 7, das von einem schematisch dargestellten Reticlehalter 8 gehalten wird. Eine lediglich schematisch dargestellte Projektionsoptik 9 dient zur Abbildung des Objektfeldes 5 in ein Bildfeld 10 in eine Bildebene 11. Abgebildet wird eine Struktur auf dem Reticle 7 auf eine lichttemp-
25

findliche Schicht eines im Bereich des Bildfeldes 10 in der Bildebene 11 angeordneten Wafers 12, der von einem ebenfalls ausschnittsweise dargestellten Waferhalter 13 gehalten wird. Die Lichtquelle 3 kann Nutzstrahlung insbesondere in einem Wellenlängenbereich zwischen 5 nm und 30 nm emittieren.

5

Figur 2 zeigt einen Grundkörper 30, der als optisches Element 30, insbesondere in der Art der Spiegel 18,19,20 einer EUV-Projektionsbelichtungsanlage 1 ausgebildet sein kann. Der Grundkörper 30 umfasst eine konkav ausgebildete Bezugsfläche 31. Senkrecht zur konkaven Bezugsfläche 31 ist die als optische Achse 33 ausgebildete z-Achse 33 eines Referenzkoordinatensystems 32 dargestellt, die senkrecht zur Bezugsfläche 31 und durch deren Scheitelpunkt 34 verläuft. Die Bezugsfläche 31 weicht durch Fertigungstoleranzen von der Soll-Bezugsfläche 31', die als gestrichelte Linie dargestellt ist, ab. Der Grundkörper 30 umfasst weiterhin ein Aufnahmeelement 42, welches zusammen mit einem Referenzelement 41 eine Sensorreferenz 40 bildet. Die Geometrie des Aufnahmeelementes 42 kann alternativ auch im Grundkörper 30 ausgebildet sein und mit diesem zusammen ein Teil bilden. Dieses kann insbesondere als Referenzspiegel 40 für ein Interferometer ausgebildet sein. Dem Referenzelement 41 ist ebenfalls ein Referenzkoordinatensystem 43 zugeordnet, wobei die z-Achse senkrecht auf einer Referenzfläche 44 (siehe Fig. 3a) des Referenzelementes 41 steht. Das Referenzelement 41 wird zur Bezugsfläche 31 ausgerichtet, so dass die Lage der Referenzfläche 44 die Abweichung der Lage der Bezugsfläche 31 zum Grundkörper 30 kompensiert, wodurch das Referenzelement 41 in der Nullstellung, also in der Stellung, in der der Grundkörper 30 in der Projektionsoptik optimal ausgerichtet ist, senkrecht zum Strahlengang des Interferometers steht. Dadurch können die durch ein Verkippen des Referenzelementes 41 zum Interferometerstrahlengang hervorgerufenen parasitären Fehler vorteilhaft minimiert werden. Die Lage des Referenzelementes 41' nach dem Einlegen in das Aufnahmeelement und vor der Ausrichtung ist mit gestrichelten Linien dargestellt.

Figur 3a zeigt eine Sensorreferenz 40, die ein Referenzelement 41 und ein Aufnahmeelement 42 umfasst. Das Referenzelement 41 umfasst an einer ersten Seite eine als Kugelfläche 46 ausgebildete Kontaktfläche 46 und an einer zweiten Seite die Referenzfläche 44. Oberhalb der Kugelfläche 46 ist ein Absatz 48 ausgebildet, der

zur Aufnahme des Referenzelementes 41 in einer nicht dargestellten Halterung dient. Neben dem in Figur 3a dargestellten Absatz 48 sind auch andere Strukturen oder Flächen am Referenzelement 41 für dessen Aufnahme in der nicht dargestellten Halterung denkbar. Das Aufnahmeelement 42 umfasst eine Aussparung 50, an deren oberen Ende eine als Kegelfläche 47 ausgebildete Kontaktfläche 47 ausgebildet ist. Weiterhin umfasst das Aufnahmeelement 42 eine Bohrung 49 senkrecht zur Aussparung 50, die den Raum 51, der sich durch das Aufsetzen der Kugelfläche 46 des Referenzelementes 41 auf die Kegelfläche 47 des Aufnahmeelementes 42 ergibt, belüftet. Die Kugelfläche 46 und die Kegelfläche 47 berühren sich in einer Kontaktlinie 45. Zur Überprüfung des Kontaktes und einer späteren Klebung 53, die in Figur 3b näher erläutert wird, umfasst das Referenzelement 41 ein Prüffenster 52, welches eine Überprüfung der Kontaktlinie 45 und der Klebung 53 ermöglicht.

Figur 3b zeigt in einer Detaildarstellung die Kontaktlinie 45 und eine als Klebung 53 ausgebildete Fixierung 53 des Referenzelementes 41 auf dem Aufnahmeelement 42. Nachdem das Referenzelement 41 ausgerichtet ist, wird es durch eine Klebung 53 fixiert, die vollumfänglich von außen appliziert wird und die Kontaktlinie 45 berührt. Der Klebstoff 53 wird durch Kapillarwirkung bis an die Kontaktlinie 45 herangezogen und entlang dem Kugelumfang herumgezogen, so dass eine steife Verbindung zwischen Referenzelement 41 und Aufnahmeelement 42 entsteht. Zur Überprüfung der Klebung 53 kann durch die in Figur 3a dargestellte Bohrung 49 in dem Raum 51 unter der Kugelfläche 46 ein Unterdruck erzeugt werden.

Figur 4 zeigt eine Halterung 60 für das in der Figur nicht dargestellte Referenzelement 41, die zur Ausrichtung des Referenzelementes 41 auf dem Aufnahmeelement 42 verwendet wird und eine Aufnahme 62 umfasst. Das Referenzelement 41 wird mit dem in Figur 3a dargestellten Absatz 48 in die Aufnahme 62 der Halterung 60 eingesetzt. Wie weiter oben bei Figur 3a beschrieben sind auch weitere Alternativen für die Aufnahme des Referenzelementes 41 in der Halterung 60 denkbar. Die Halterung 60 umfasst zwei Stellglieder 61, 61', die so angeordnet sind, dass ein Verkippen des Referenzelementes 41 um zwei zueinander orthogonale Achsen um den Mittelpunkt der Kugelfläche 46 des Referenzelementes 41, welcher mit dem Drehpunkt 66 der Halterung zusammenfällt, möglich ist. Es sind auch Halterungen

60 denkbar, bei denen der Drehpunkt 66 der Halterung 60 und der Mittelpunkt der Kugelfläche 46 nicht zusammenfallen. Die Drehachse 65 des ersten Stellgliedes 61 verläuft also durch die Achse des zweiten Stellgliedes 61' und umgekehrt, wobei die Drehachsen 65, 65' senkrecht aufeinander stehen. Eine Seite der Halterung 60 kann
5 als Festkörper mit einem Zustellelement oder alternativ wie dargestellt als Feder 63 ausgebildet werden, die mit der Federkontaktfläche 64 das Referenzelement 41 in der Halterung 60 fixiert und ein Verrutschen bei der Ausrichtung zum Aufnahmeelement 42 verhindert. In einer Alternative kann die Feder 63 beispielsweise durch eine Schraubverbindung entlang der Wirkrichtung der Feder 63 bewegt werden, wodurch
10 verschiedene Referenzelemente 41 mit einer Halterung 60 gehalten werden können, beziehungsweise die Kraft der Feder 63 eingestellt werden kann.

Figur 5a zeigt eine schematische Anordnung eines Autokollimationsfernrohrs 70, im Folgenden als AKF 70 bezeichnet, eines Hilfselementes 75 umfassend eine Hilfsfläche 78 und der Sensorreferenz 40. Das AKF 70 bestimmt die Verkippung von
15 Objekten zur optischen Achse des AKF 70, wobei ein kollimierter Lichtstrahl 71 auf das Objekt trifft, welches den Lichtstrahl 71 reflektiert, welcher nachfolgend auf einem in der Figur nicht dargestellten Detektor fokussiert wird. Eine Verkippung des Objektes führt zu einem Wandern des reflektierten Punktes auf dem Detektor. Aus
20 dem Abstand der beiden Punkte beziehungsweise dem Abstand des Reflexes 72, 72' auf dem Detektor zum Nullpunkt des AKF 70, also dem Punkt auf dem Detektor, der keine Verkippung des Objektes zum AKF 70 anzeigt, kann der Winkel bestimmt werden. Das Hilfselement 75 ist als teildurchlässiger Spiegel oder als Glasplatte ausgebildet, so dass ein Teil des Lichtstrahls 71 an der Hilfsfläche 78 reflektiert und
25 vom Detektor im AKF 70 erfasst wird und ein Teil des Lichtstrahls 71 auf das Referenzelement 41 trifft, welches den Lichtstrahl 71 ebenfalls reflektiert und einen weiteren Punkt auf dem Detektor erzeugt. Dadurch, dass die Winkellage des Hilfselementes aufgrund seiner relativ großen Fläche mittels einer Koordinatenmessmaschine gut bestimmbar ist, kann aus der relativen Lage der beiden Punkte
30 zueinander beziehungsweise zum Nullpunkt zuverlässig und präzise auf die Lage der Sensorreferenz 40 geschlossen werden.

Figur 5b zeigt eine Anzeige 74 eines AKF 70, auf dem ein Koordinatensystem mit einem Nullpunkt und zwei Fadenkreuze 73, 73' dargestellt sind. Das durch durchgezogene Linien dargestellte Fadenkreuz 73 definiert den Winkel des Hilfselementes 75 und das gestrichelt dargestellte Fadenkreuz 73' den Winkel des Referenzelementes 41 zum AKF 70. Bei der Ausrichtung des Referenzelementes 41 wird die bestimmte Abweichung von der Sollage in Bezug auf das vermessene Hilfselement 75 eingestellt. Zunächst wird das Referenzelement 41 so eingestellt, dass sich die beiden Fadenkreuze 73, 73' überdecken und von dieser Lage ausgehend die Abweichung von der Sollage eingestellt. Es ist auch möglich, die Sollage des Referenzelementes 41 direkt einzustellen, ohne dieses zuvor parallel mit dem Hilfselement 75 auszurichten.

Figur 6 zeigt eine Koordinatenmessmaschine 80, die im Folgenden als KMG 80 bezeichnet wird und einen neben der KMG 80 angeordneten Roboter 83, an dessen Arm 84 ein AKF 70 befestigt ist. Auf der KMG 80 ist eine Aufnahme 81 mit einer Fixierung 82 angeordnet, die dazu eingerichtet ist, den Grundkörper 30, auf dem die Sensorreferenzen 40 angeordnet sind, aufzunehmen und zu fixieren. Zusätzlich kann die Aufnahme 81 noch auf einem nicht dargestellten Drehtisch montiert werden, wodurch die Möglichkeiten der Ausrichtung von dem Grundkörper 30 zum AKF 70 noch erweitert werden. Das KMG 80 bestimmt durch Antasten von Referenzpunkten zunächst die Lage des Grundkörpers 30 und damit dessen nicht dargestelltes Referenzkoordinatensystem 32 und nachfolgend durch Antasten der Referenzflächen 44 die Lage der Sensorreferenzen 40 im Referenzkoordinatensystem 32 des Grundkörpers 30. Ist die Abweichung der Sensorreferenzen 40 bestimmt, wird das AKF 70 mit Hilfe des Roboters 83 zur Messung des Winkels der Referenzelemente 41, wie in Figur 5a und 5b beschrieben, positioniert. Das AKF 70 bestimmt den Winkel der Referenzflächen 44 in situ, also kontinuierlich, so dass die relative Ausrichtung der Referenzflächen 44 am AKF 70 beobachtet werden kann. Nach der Ausrichtung der Referenzelemente 41 werden diese fixiert und die Lage kann zur Kontrolle abschließend mit der KMG 80 nochmals bestimmt werden.

Figur 7a zeigt einen alternativen Aufbau zur Ausrichtung der Referenzelemente 41, 41' mit einem als Kamera 85, 85' ausgebildetem optischen Messsystem 85, 85',

wobei die Anzahl und der Erfassungsbereich der Kameras 85, 85' rein schematisch dargestellt sind. Beispielsweise kann das Messsystem 3 Kameras umfassen, womit eine 3-Punkt-Referenzierung von Markern möglich ist oder es kann eine sogenannte Time-of-Flight Kamera verwendet werden, die mit einem Laufzeitverfahren Abstände bestimmen kann. Die Positionen der Kameras 85, 85' des Messsystems 85, 85' sind im Raum und zueinander bekannt. Das Messsystem 85 bestimmt an Hand von den auf dem Grundkörper 30 angebrachten Markern 86, deren Positionen im Referenzkoordinatensystem 32 des Grundkörpers 30 bekannt sind, die Position und Lage des Referenzkoordinatensystems 32 des Grundkörpers 30 und kann danach über ein oder mehrere Bilder die Position und Lage der Sensorreferenzen 40 im Referenzkoordinatensystem 32 bestimmen. Zur Ausrichtung der Referenzflächen 44 der Sensorreferenzen 40 wird ebenfalls ein an einem Arm 84 eines Roboters 83 befestigtes AKF 70 verwendet. Die Position und Lage des AKF 70 wird durch Marker 86' bestimmt, die durch eine zweite Kamera 85' des Messsystems 85, 85' erfasst werden. Der Grundkörper 30 ist auf einem Verstelltisch 87 angeordnet. Durch die Verwendung des Verstelltisches 87 kann auch ein fest verbautes AKF 70 verwendet werden, da die Referenzflächen 44 durch den Verstelltisch zum AKF 70 ausgerichtet werden können.

Figur 7b zeigt einen weiteren alternativen Aufbau zur Ausrichtung der Referenzelemente 41, 41' in einem Messrahmen 88, der eine festinstallierte Kamera 85 und ein Interferometer 89 umfasst. Das System kann durch einen sogenannten goldenen Grundkörper, also einen Referenzgrundkörper, kalibriert werden, wobei das Interferometer 89 in Bezug auf eine goldene Sensorreferenz 40 ausgerichtet wird. Zur Ausrichtung der nicht dargestellten Referenzelemente 41, 41' der Sensorreferenz 40 wird der Grundkörper 30 auf einem in bis zu sechs Freiheitsgraden verstellbaren Verstelltisch 87 fixiert. Die Position und Lage des Grundkörpers 30 wird so eingestellt, dass sie der Position und Lage des goldenen Grundkörpers 30 im Messrahmen 88 entspricht. Die Referenzelemente 41 können nun unter Berücksichtigung der für den Grundkörper 30 eigenen Abweichung der Bezugsfläche 31 von der Sollbezugsfläche 31' mit dem kalibrierten Interferometer 89 ausgerichtet werden. Ist die Abweichung der Bezugsfläche 31 beispielsweise gleich null, wird das Referenzelement 41 auf die Position und Lage des Referenzelementes der goldenen Sensorre-

ferenz ausgerichtet. Der Messaufbau hat den Vorteil, dass die Lage des Referenzelementes 41 nicht im Vorfeld durch Antasten oder ein optisches Messmittel bestimmt werden muss, da die Sollposition des Referenzelementes 41 durch das mit dem goldenen Grundkörper kalibrierte Interferometer 89 absolut eingestellt werden kann. Zur Ausrichtung der Referenzelemente 41 der Sensorreferenzen 40 zum fest eingebauten Interferometer 89 kann der Grundkörper 30 ebenfalls mit dem Verstell-
5 tisch 87 entsprechend ausgerichtet werden, wobei die Position und Lage des Grundkörpers 30 wiederum der des goldenen Grundkörpers für das jeweilige Referenzelement 41 entspricht. Alternativ kann für jede Sensorreferenz 40 ein AKF
10 70 (nicht dargestellt) im Messrahmen 88 angeordnet sein, welche wie oben beschrieben mit einem goldenen Grundkörper mit goldenen Sensorreferenzen kalibriert werden können.

Figur 8a und 8b zeigen weitere Alternativen, die Lage der Referenzelemente 41 der Sensorreferenzen 40 zu der Lage der Bezugsfläche 31 des Grundkörpers 30 auszu-
15 richten. Nach der Bestimmung der Abweichung der Lage eines nominellen Referenzelementes 90 von deren Sollage werden, wie in Figur 8a dargestellt, die Referenzelemente 90 entsprechend der bestimmten Abweichung nachgearbeitet und wieder mit dem Aufnahmeelement 42 zur erneuten Überprüfung der Lage verbun-
20 den. Liegt die Lage des angepassten Referenzelementes 90' im Bereich der Toleranzen der Sollage, wird das Referenzelement 90' im Aufnahmeelement 42 dauerhaft fixiert. Alternativ oder zusätzlich kann die Kontaktfläche 91' in dem Aufnahmeelement 94 wie in Figur 8b dargestellt nachgearbeitet werden, um die Lage des Referenzelementes 41 an die Sollage auszurichten. Die nominelle Geometrie
25 des Referenzelementes 90 in Figur 8a und die des Aufnahmeelementes 91 in der Figur 8b sind jeweils gestrichelt dargestellt. Der Grundkörper 30 und das Aufnahmeelement 94 können alternativ einteilig ausgeführt sein. Es ist auch denkbar, dass das Referenzelement 90' auf Basis von berechneten Abweichungen bearbeitet und direkt mit dem Aufnahmeelement 94 verbunden wird.

Figur 9a und 9b zeigen zwei aus dem Stand der Technik bekannte Alternativen, bei denen die Lage der Referenzelemente 41 der Sensorreferenz 40 über die Dicke des Klebespaltes 92,92' eingestellt wird. Das Aufnahmeelement 94 umfasst in diesem

Fall drei Kontaktpunkte 95, um eine statisch bestimmte Lage des Referenzelementes 41 zu gewährleisten. In Figur 9a wird die Sollage des Referenzelementes 41 der Sensorreferenz 40 ausschließlich über die Dicke des Klebespaltes 92, 92' an den drei Auflagepunkten 95 eingestellt.

5

Figur 9b zeigt eine Abwandlung der in Figur 9a gezeigten Methode, bei der der Klebespalt 92 und 92' an allen Kontaktpunkten 95 identisch und so klein wie möglich ausgestaltet ist. Die zur Ausrichtung der Lage des Referenzelementes 41 notwendigen unterschiedlichen Abstände zwischen Referenzelement 41 und den Kontaktpunkten 95 des Aufnahmeelementes 94 werden durch unterschiedlich hohe Abstandselemente 93, 93', sogenannte Spacer 93, 93', erreicht. Dies hat den Vorteil, dass durch die geringe Klebstoffdicke die Drift auf ein Minimum reduziert werden kann.

10

Figur 10 beschreibt ein erfindungsgemäßes Verfahren zur Ausrichtung einer Sensorreferenz zu einer Bezugsfläche eines Grundkörpers in einer EUV-Projektionsbelichtungsanlage, wobei die Sensorreferenz ein Referenzelement und ein Aufnahmeelement umfasst, welches auf dem Grundkörper angeordnet oder als Teil des Grundkörpers ausgebildet ist.

20

In einem ersten Verfahrensschritt 100 wird die Lage der Bezugsfläche in einem Referenzkoordinatensystem des Grundkörpers bestimmt.

In einem zweiten Verfahrensschritt 101 wird die Abweichung der Lage der Bezugsfläche von deren Sollage bestimmt.

25

In einem dritten Verfahrensschritt 102 wird das Referenzelement in das Aufnahmeelement eingelegt.

In einem vierten Verfahrensschritt 103 wird die Position und die Lage des Referenzelementes in dem Referenzkoordinatensystem des Grundkörpers bestimmt.

30

In einem fünften Verfahrensschritt 104 wird die Abweichung der bestimmten Lage und der Solllage des Referenzelementes unter Berücksichtigung der zuvor bestimmten Lage des Referenzelementes und der Abweichung der Bezugsfläche von deren Solllage bestimmt.

5

In einem sechsten Verfahrensschritt 105 wird das Referenzelement auf die bestimmte Solllage ausgerichtet.

10

In einem siebten Verfahrensschritt 106 wird das Referenzelement in der Solllage fixiert.

In einem achten Verfahrensschritt 107 wird die Solllage des Referenzelementes in dem Referenzkoordinatensystem überprüft.

15

Mit Hilfe von diesem Verfahren ist es möglich, die Sensorreferenzen in einem Bereich von $500 - 300 \mu\text{rad}$, insbesondere im Bereich von $300 - 100 \mu\text{rad}$, insbesondere im Bereich von $100 - 10 \mu\text{rad}$ zu realisieren, was sich vorteilhaft auf die Präzision der Lageregelung der optischen Elemente in der Anlage auswirkt.

Bezugszeichenliste

1	Projektionsbelichtungsanlage
2	Facettenspiegel
3	Lichtquelle
4	Beleuchtungsoptik
5	Objektfeld
6	Objektebene
7	Reticle
8	Reticlehalter
9	Projektionsoptik
10	Bildfeld
11	Bildebene
12	Wafer
13	Waferhalter
14	EUV-Strahlung
15	Zwischenfeldfokusebene
16	Pupillenfacettenspiegel
17	Baugruppe
18	Spiegel
19	Spiegel
20	Spiegel
30	Grundkörper
31, 31'	Bezugsfläche
32	Referenzkoordinatensystem
33	optische Achse
34	Scheitelpunkt
40	Sensorreferenz
41, 41'	Referenzelement
42	Aufnahmeelement
43	Referenzelementkoordinatensystem

44	Referenzfläche
45	Kontaktlinie
46	Kontaktfläche Referenzelement
47	Kontaktfläche Aufnahmeelement
48	Absatz
49	Bohrung
50	Aussparung
51	Raum für Überdruck
52	Prüffenster
53	Klebstoff
60	Halterung
61, 61'	Stellglied
62	Aufnahme
63	Feder
64	Federkontaktfläche
65, 65'	Drehachse
66	Drehpunkt der Halterung
70	optisches Messmittel, Autokollimationsfernrohr
71	Lichtstrahl
72, 72'	Reflex
73, 73'	Fadenkreuz
74	Anzeige
75	Hilfselement
76	Koordinatensystem
77	Nullpunkt
78	Hilfsfläche
79	Messkopf KMG
80	Koordinatenmessmaschine
81	Aufnahme Koordinatenmessmaschine
82	Fixierungen KMG
83	Roboter

84	Roboterarm
85, 85'	Kamera
86, 86'	Marker
87	Verstellisch
88	Messrahmen
89	Interferometer
90, 90'	Referenzelement (individualisierbar)
91, 91'	Kontaktfläche Aufnahmeelement (individualisierbar)
92, 92'	Klebspalt
93, 93'	Abstandshalter, Spacer
94	Aufnahmeelement
95	Kontaktpunkte; Klebefläche
100	Verfahrensschritt 1
101	Verfahrensschritt 2
102	Verfahrensschritt 3
103	Verfahrensschritt 4
104	Verfahrensschritt 5
105	Verfahrensschritt 6
106	Verfahrensschritt 7
107	Verfahrensschritt 8

Patentansprüche

1. Verfahren zur Ausrichtung einer Sensorreferenz (40) zu einer Bezugsfläche (31) eines Grundkörpers (30) in einer EUV-Projektionsbelichtungsanlage (1),
5 wobei die Sensorreferenz (40) ein Referenzelement (41, 41') und ein Aufnahmeelement (42) umfasst, wobei das Aufnahmeelement (42) auf dem Grundkörper (30) fest angeordnet oder als Teil des Grundkörpers (30) ausgebildet ist, umfassend die folgenden Schritte:
 - Bestimmung der Lage der Bezugsfläche (31) in einem Referenzkoordinatensystem (32) des Grundkörpers (30),
10
 - Bestimmung der Abweichung der Lage der Bezugsfläche (31) von deren Solllage (31'),
 - Einlegen des Referenzelementes (41, 41') in das Aufnahmeelement (42),
 - Bestimmung der Position und der Lage des Referenzelementes (41, 41') in dem Referenzkoordinatensystem (32) des Grundkörpers (30),
15
 - Bestimmung der Abweichung des Referenzelementes (41, 41') von der Solllage unter Berücksichtigung der zuvor bestimmten Lage des Referenzelementes (41, 41') und der Abweichung der Bezugsfläche (31) von deren Solllage (31'),
20
 - Ausrichtung des Referenzelementes (41, 41') auf die bestimmte Solllage,
 - Fixieren der Lage des Referenzelementes (41, 41') zu der Bezugsfläche (31) in der Solllage
 - Überprüfung der Solllage des Referenzelementes (41, 41') in dem Referenzkoordinatensystem (32)
25
2. Verfahren nach Anspruch 1,
dadurch gekennzeichnet, dass
die Lage der Bezugsfläche (31) im Referenzkoordinatensystem interferometrisch bestimmt wird.
30
3. Verfahren nach Anspruch 1 oder 2,
dadurch gekennzeichnet, dass
das Aufnahmeelement (42) eine als Kegelsitz (47) ausgebildete Kontaktfläche

(47) umfasst.

4. Verfahren nach einem der vorangehenden Ansprüche,
dadurch gekennzeichnet, dass
5 das Referenzelement (41, 41') eine als Kugelfläche (46) ausgebildete Kontaktfläche (46) umfasst.
5. Verfahren nach einem der vorangehenden Ansprüche,
dadurch gekennzeichnet, dass
10 das Referenzelement (41, 41') bei dem Einlegen in das Aufnahmeelement (42) durch eine Halterung (60) gehalten wird.
6. Verfahren nach Anspruch 5,
dadurch gekennzeichnet, dass
15 die Halterung (60) mindestens ein Stellglied (61, 61') zur Verkipfung der Halterung (60) gegenüber dem Aufnahmeelement (42) aufweist.
7. Verfahren nach Anspruch 5 oder 6,
dadurch gekennzeichnet, dass
20 das Gewicht des Referenzelementes (41, 41') durch die Halterung (60) zumindest teilweise kompensiert wird.
8. Verfahren nach einem der vorangehenden Ansprüche,
dadurch gekennzeichnet, dass
25 die Lage des Referenzelementes (41, 41') über die Lage einer Oberfläche (44) des Referenzelementes (41, 41') bestimmt wird.
9. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 7,
dadurch gekennzeichnet, dass
30 die Lage des Referenzelementes (41, 41') über die Lage einer Hilfsfläche (78) bestimmt wird.

10. Verfahren nach einem der vorangehenden Ansprüche,
dadurch gekennzeichnet, dass
die Lage des Referenzelementes (41, 41') zum Referenzkoordinatensystem
(32) mit einer Koordinatenmessmaschine (80) bestimmt wird.

5

11. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 9,
dadurch gekennzeichnet, dass
die Lage des Referenzelementes (41, 41') zum Referenzkoordinatensystem
(32) mit einem optischen Messsystem (85, 85') bestimmt wird.

10

12. Verfahren nach einem der vorangehenden Ansprüche,
dadurch gekennzeichnet, dass
bei der Ausrichtung des Referenzelementes (41, 41') die Lage des Referen-
zelementes (41, 41') in situ bestimmt wird.

15

13. Verfahren nach einem der vorangehenden Ansprüche,
dadurch gekennzeichnet, dass
bei der Ausrichtung des Referenzelementes (41, 41') die Lage des Referen-
zelementes (41, 41') mit einem optischen Messmittel (70) bestimmt wird.

20

14. Verfahren nach Anspruch 13,
dadurch gekennzeichnet, dass
das optische Messmittel (70) ein Autokollimationsfernrohr (70) ist.

25

15. Verfahren nach einem der vorangehenden Ansprüche,
dadurch gekennzeichnet, dass
die Sollage des Referenzelementes (41, 41') durch Verkleben mit dem Auf-
nahmeelement (42) fixiert wird.

30

16. Verfahren nach einem der vorangehenden Ansprüche,
dadurch gekennzeichnet, dass
die Sollage des Referenzelementes (41, 41') mit einer Koordinatenmessma-

schine (80) überprüft wird.

17. Verfahren nach einem der vorangehenden Ansprüche,

dadurch gekennzeichnet, dass

5 die Solllage des Referenzelementes (41, 41') mit einem optischen Messsystem (85, 85') überprüft wird.

18. Verfahren nach einem der vorangehenden Ansprüche,

dadurch gekennzeichnet, dass

10 die Ausrichtung des Referenzelementes (41, 41') auf die Solllage durch eine Änderung der Geometrie des Referenzelementes (40, 41) oder des Aufnahmeelementes bewirkt wird.

19. Verfahren nach einem der vorangehenden Ansprüche,

15 dadurch gekennzeichnet, dass

die Ausrichtung des Referenzelementes (41, 41') auf die Solllage durch eine Anpassung der Dicke eines Klebspaltes (92, 92') bewirkt wird.

20. Projektionsbelichtungsanlage (1) für die Halbleiterlithographie umfassend

20 - ein optisches Element (18, 19, 20) umfassend

- einen Grundkörper (30) umfassend Aufnahmeelemente (42) für mehrere Referenzelemente (41, 41') einer Sensorreferenz (40) zur Bestimmung der Position und Lage des optischen Elementes (18, 19, 20),

25 - eine als optisch aktive Fläche ausgebildete Bezugsfläche (31), wobei die Lage der Referenzelemente (41) zur Lage der Bezugsfläche (31) ausgerichtet sind,

dadurch gekennzeichnet, dass

die Referenzelemente (41) mit einer Winkelabweichung kleiner als $100\mu\text{rad}$ zu der Bezugsfläche (31) angeordnet sind.

30

21. Projektionsbelichtungsanlage (1) nach Anspruch 20,

dadurch gekennzeichnet, dass

die Aufnahmeelemente (42) eine als Kegelsitz (47) ausgebildete Kontaktfläche

(47) umfassen.

22. Projektionsbelichtungsanlage (1) nach Anspruch 20 oder 21,

dadurch gekennzeichnet, dass

5 die Referenzelemente (41) eine als Kugelfläche (46) ausgebildete Kontaktfläche (46) umfassen.

23. Projektionsbelichtungsanlage (1) nach einem der Ansprüche 20 bis 22,

dadurch gekennzeichnet, dass

10 die Referenzelemente (41) in den Aufnahmeelementen (42) durch einen Klebstoff (53) fixiert sind.

24. Projektionsbelichtungsanlage (1) nach Anspruch 23,

dadurch gekennzeichnet, dass

15 der Klebstoff (53) eine Kontaktlinie (45) zwischen den Kontaktflächen (46, 47) zumindest teilweise berührt.

25. Projektionsbelichtungsanlage (1) nach einem der Ansprüche 22 bis 24,

dadurch gekennzeichnet, dass

20 die Kontaktflächen (46, 47) der Referenzelemente (41) und/oder der Aufnahmeelemente (42) zur Verringerung der Reibung zumindest teilweise beschichtet sind.

26. Projektionsbelichtungsanlage (1) nach einem der Ansprüche 22 bis 25,

dadurch gekennzeichnet, dass

25 die Aufnahmeelemente (42) dazu ausgebildet sind, in einem Raum (51), der durch eine Aussparung (50) in den Aufnahmeelementen (42) und der Kugelfläche (46) der Referenzelemente (41) begrenzt wird, einen Überdruck zur Reduzierung von Reibung an den Kontaktflächen (46, 47) oder einen Unterdruck zur Prüfung der Fixierung der Referenzelemente (41) zu erzeugen.

27. Projektionsbelichtungsanlage (1) nach einem der Ansprüche 22 bis 26,

dadurch gekennzeichnet, dass

mindestens ein Referenzelement (41) ein Prüffenster (52) umfasst.

35

1 / 8

Fig. 1

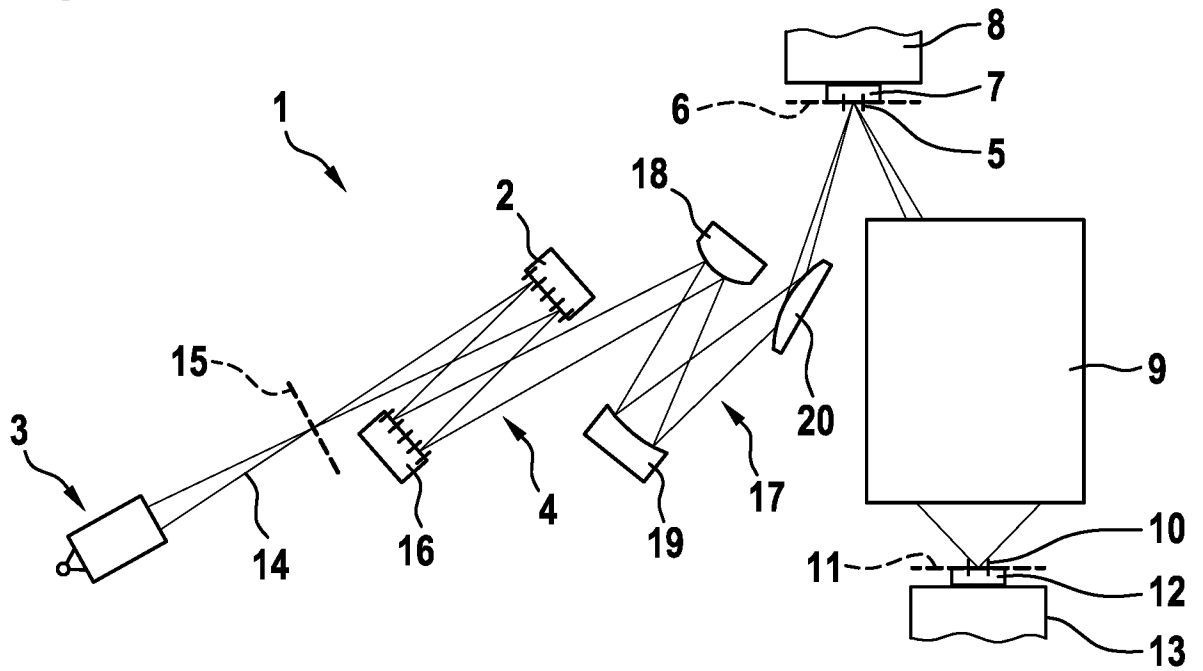
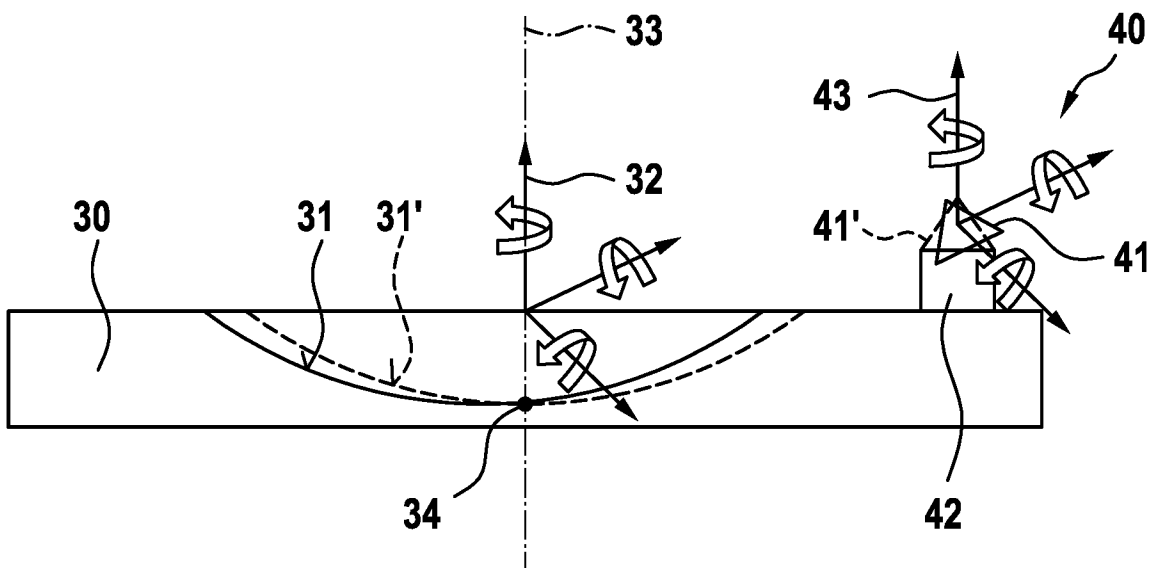


Fig. 2



2 / 8

Fig. 3a

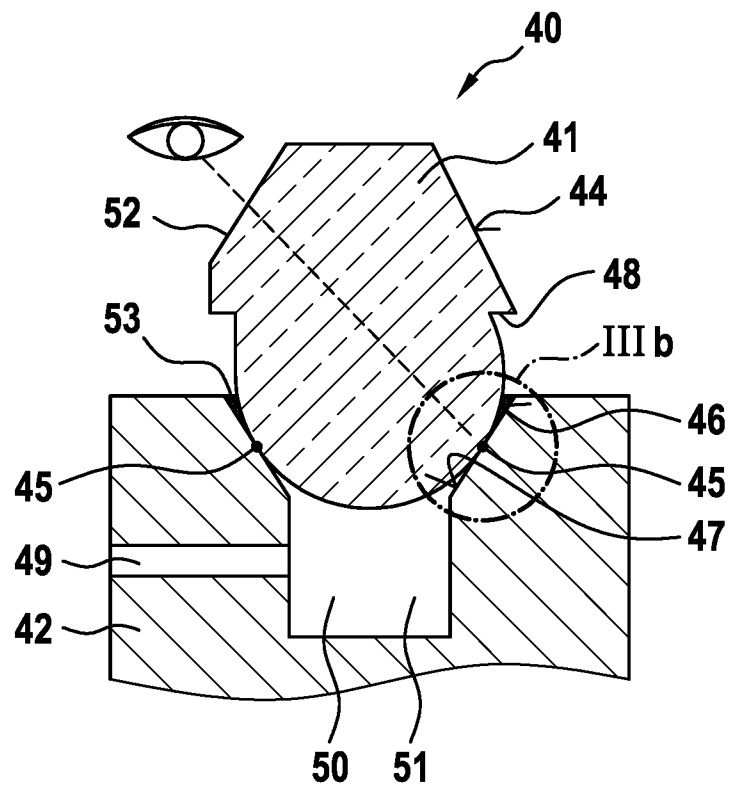
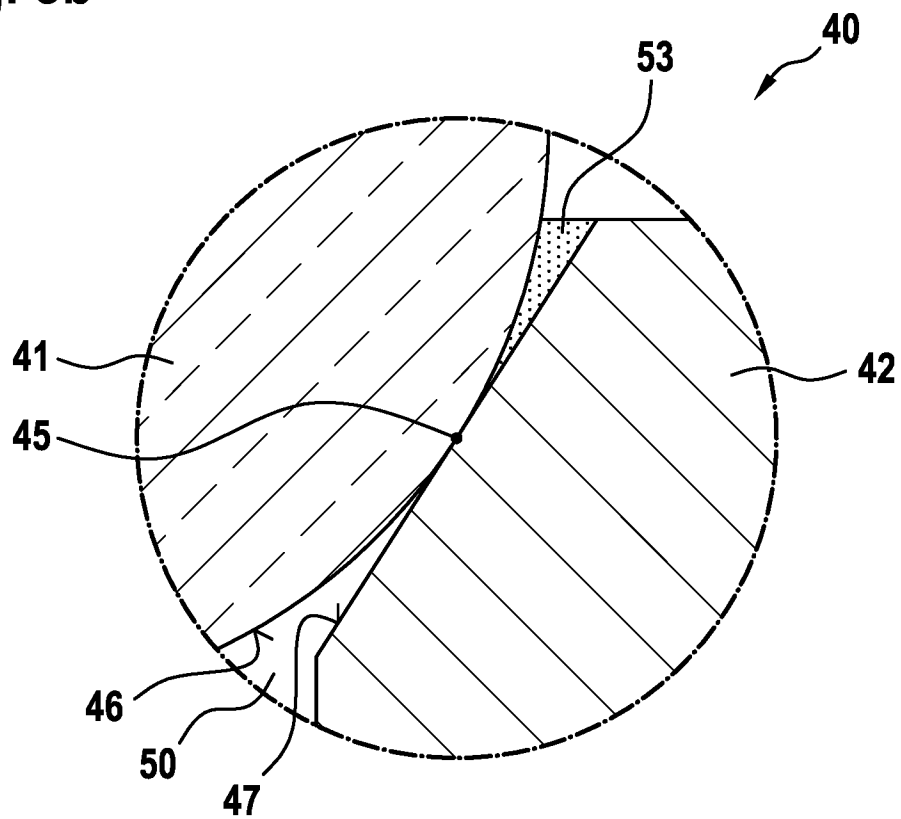


Fig. 3b



3 / 8

Fig. 4

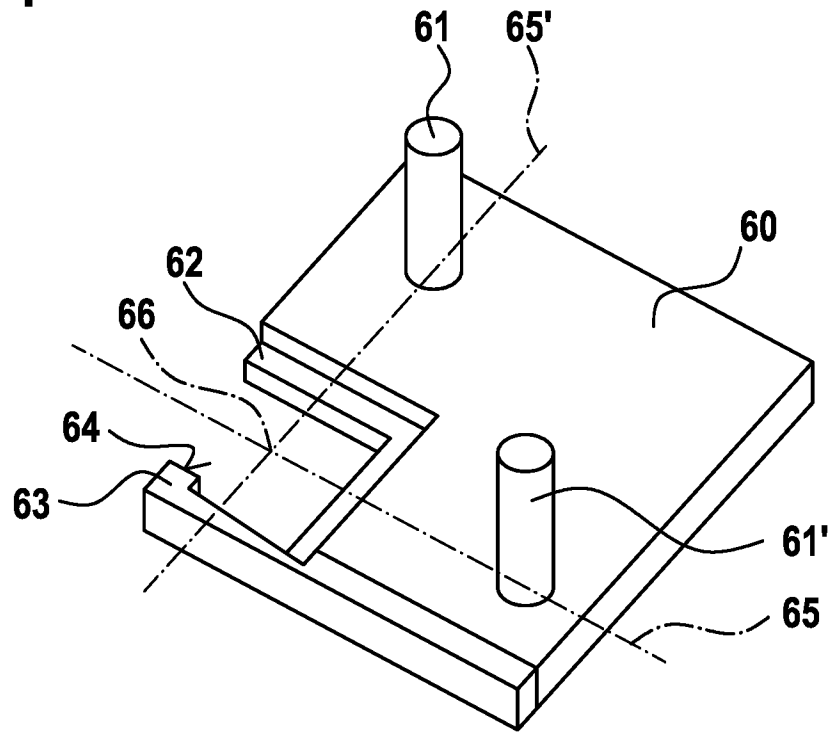
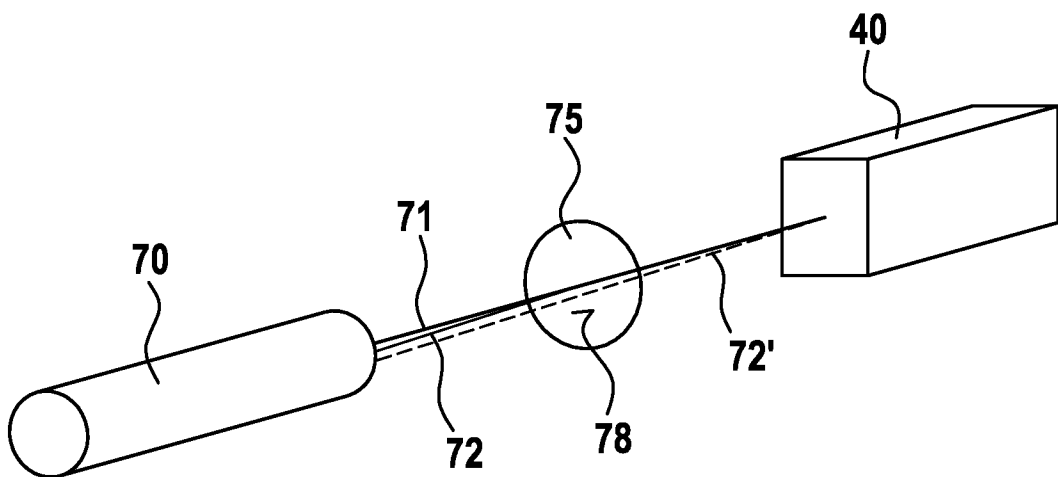


Fig. 5a



4 / 8

Fig. 5b

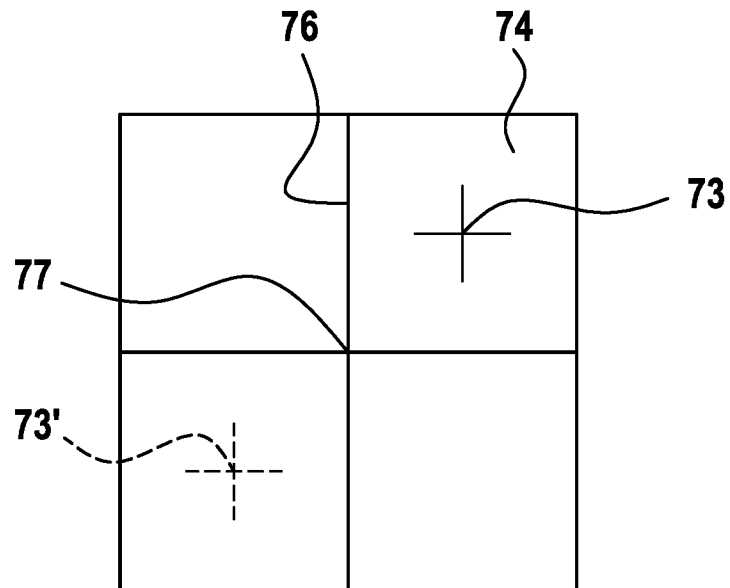
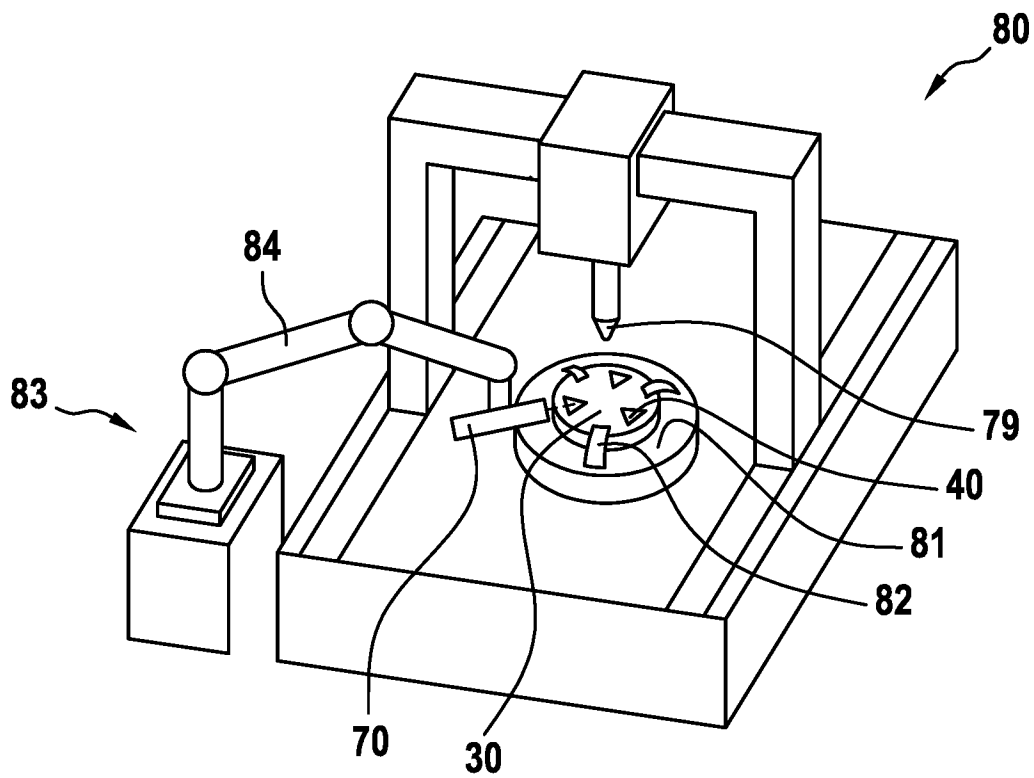


Fig. 6



5 / 8

Fig. 7a

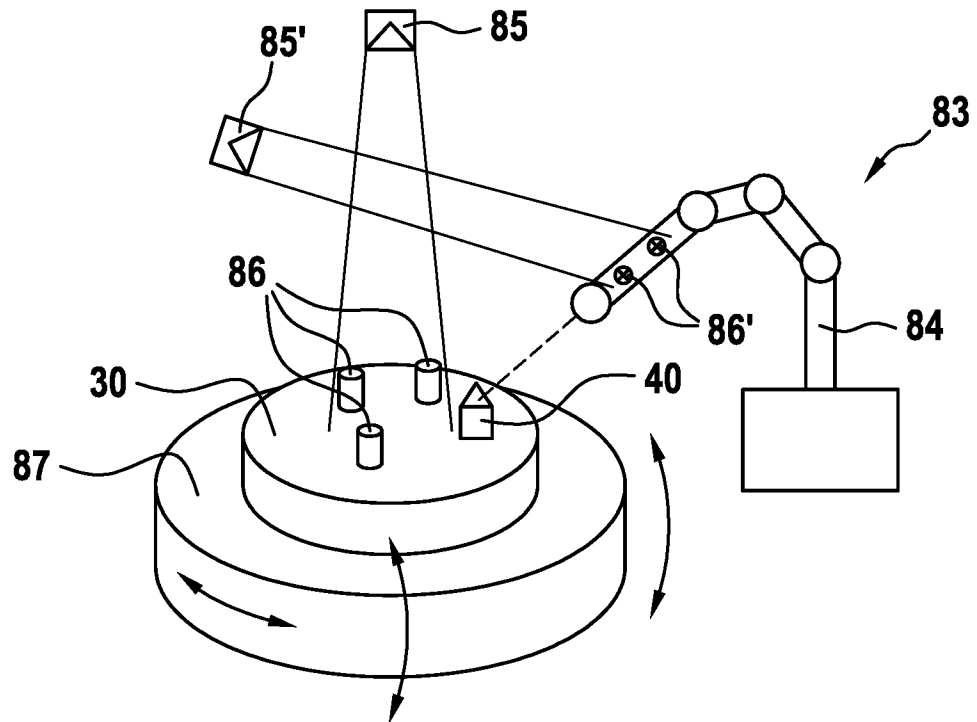
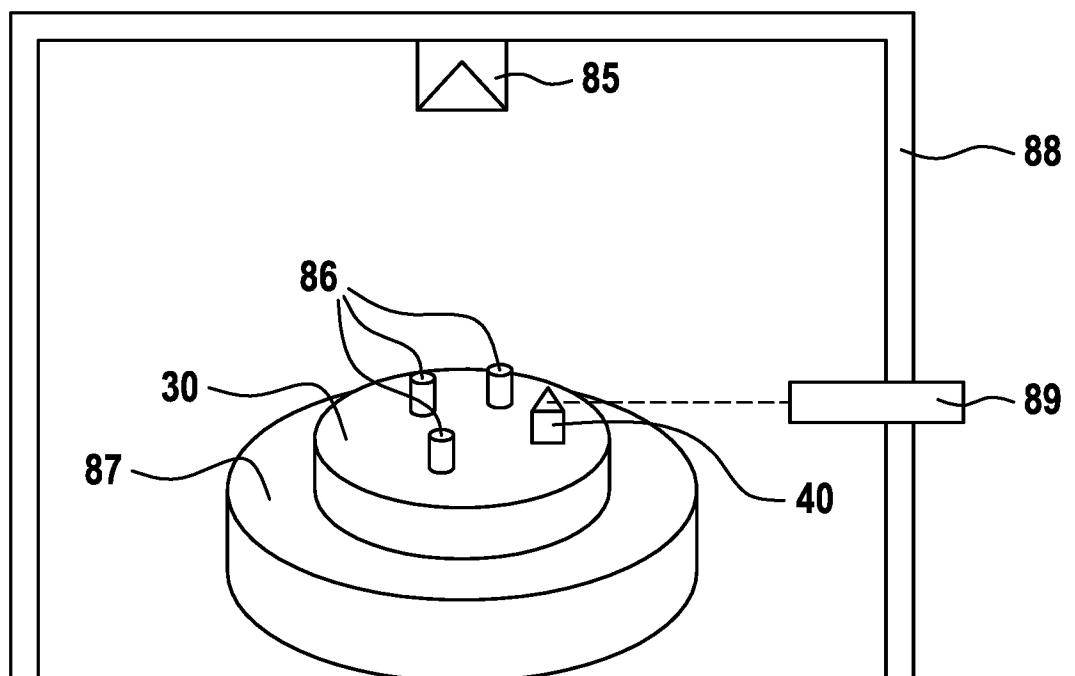


Fig. 7b



6 / 8

Fig. 8a

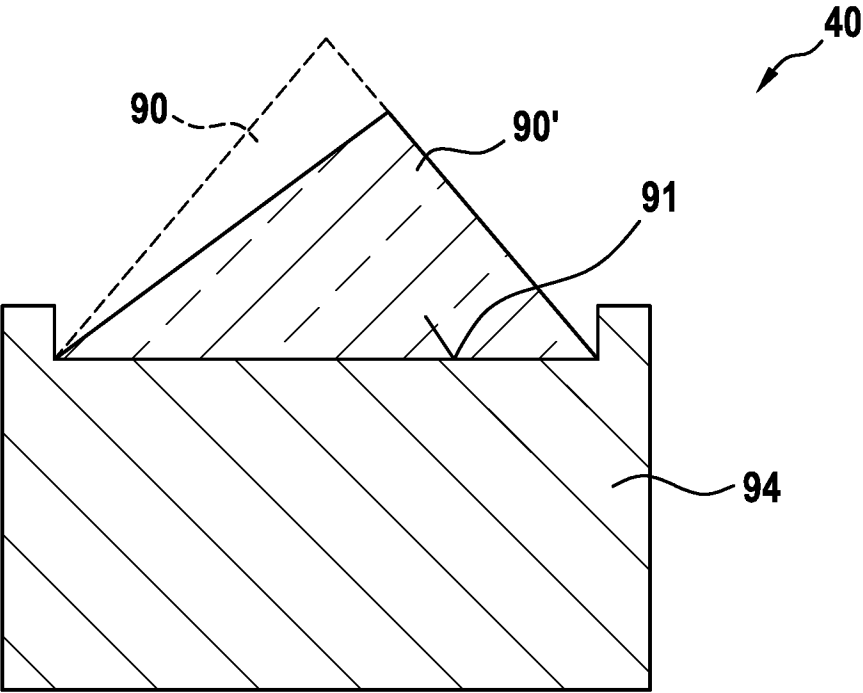
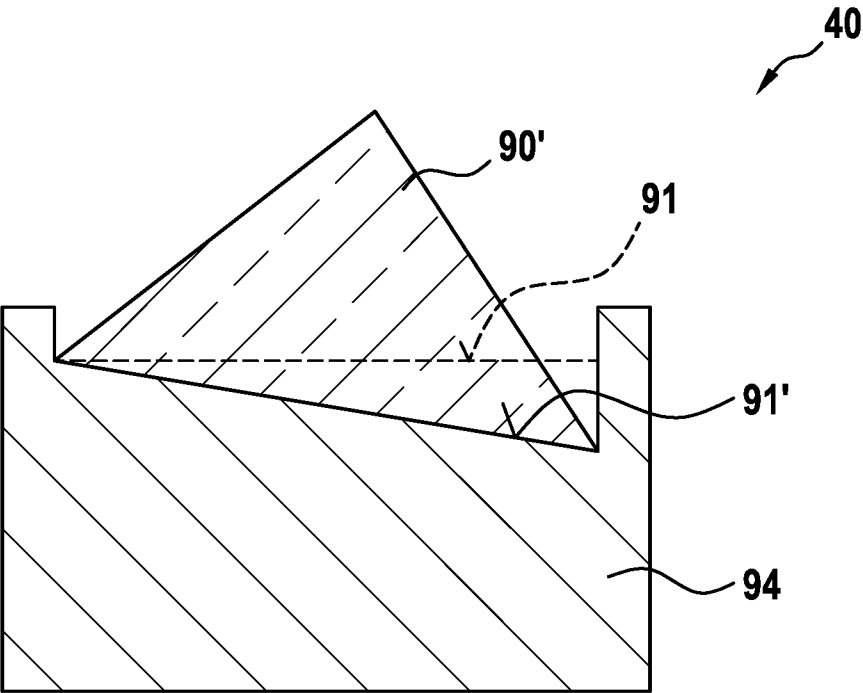


Fig. 8b



7 / 8

Fig. 9a

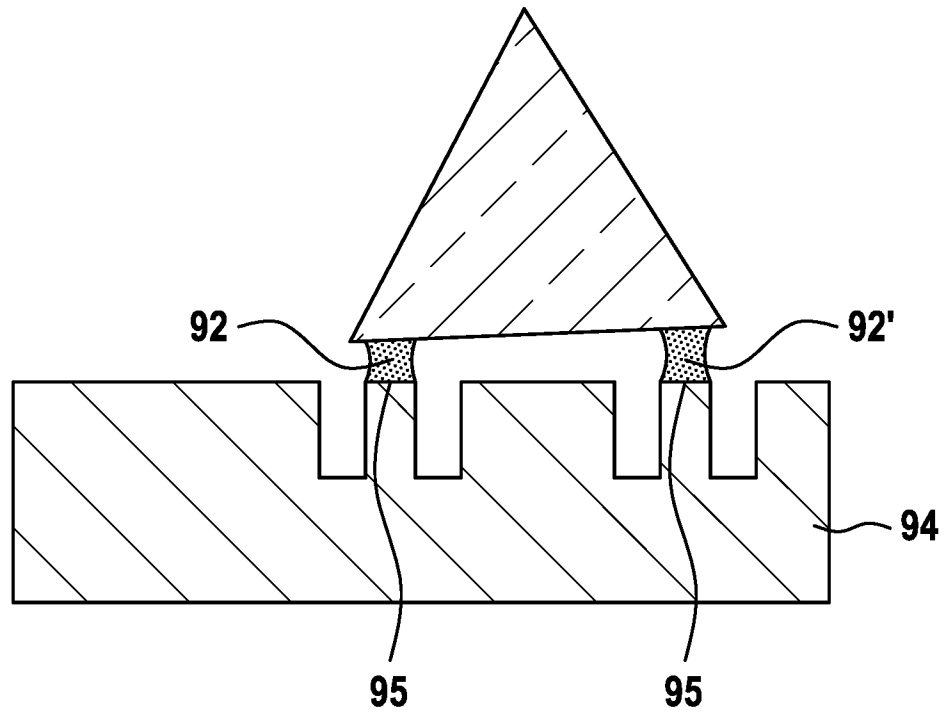
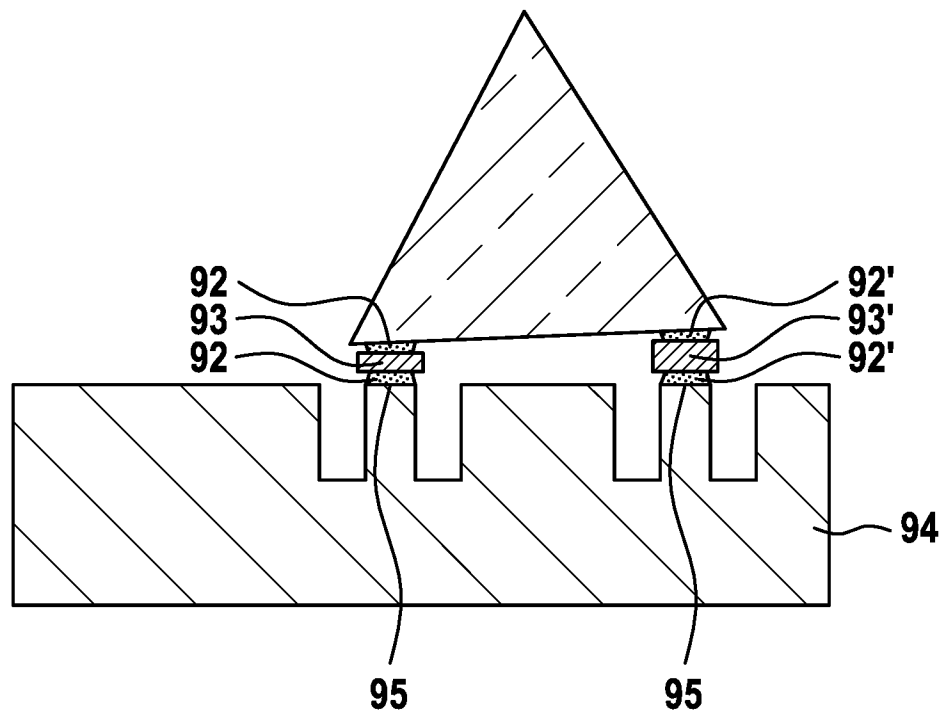
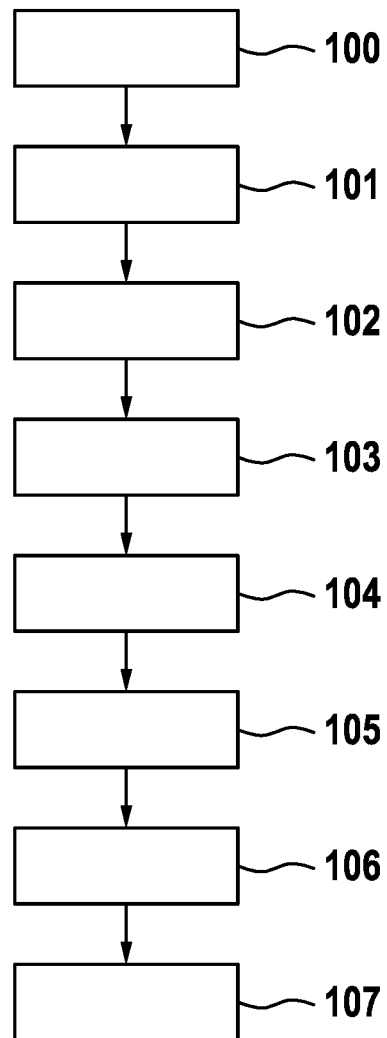


Fig. 9b



8 / 8

Fig. 10



INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.

PCT/EP2020/055413

A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER**G03F 7/20**(2006.01)i; **G02B 7/182**(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, WPI Data, INSPEC

C. DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
X A	DE 102018218162 A1 (ZEISS CARL SMT GMBH [DE]) 13 December 2018 (2018-12-13) paragraphs [0001], [0023]; figures 1a, 1b	20-25,27 1-19,26
A	DE 102010028496 A1 (ZEISS CARL SMT GMBH [DE]) 03 November 2011 (2011-11-03) paragraph [0034]; claims 5,11; figure 1	1-27

☐ 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

12 June 2020

Date of mailing of the international search report

23 June 2020

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/EP2020/055413

Patent document cited in search report			Publication date (day/month/year)	Patent family member(s)	Publication date (day/month/year)
DE	102018218162	A1	13 December 2018	NONE	
DE	102010028496	A1	03 November 2011	NONE	

A. KLASSIFIZIERUNG DES ANMELDUNGSGEGENSTANDES
 INV. G03F7/20 G02B7/182
 ADD.

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

B. RECHERCHIERTE GEBIETE

Recherchierter Mindestprüfstoff (Klassifikationssystem und Klassifikationssymbole)
 G03F G02B

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

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

EPO-Internal, WPI Data, INSPEC

C. ALS WESENTLICH ANGESEHENE UNTERLAGEN

Kategorie*	Bezeichnung der Veröffentlichung, soweit erforderlich unter Angabe der in Betracht kommenden Teile	Betr. Anspruch Nr.
X	DE 10 2018 218162 A1 (ZEISS CARL SMT GMBH [DE]) 13. Dezember 2018 (2018-12-13)	20-25,27
A	Absätze [0001], [0023]; Abbildungen 1a, 1b	1-19,26
A	DE 10 2010 028496 A1 (ZEISS CARL SMT GMBH [DE]) 3. November 2011 (2011-11-03) Absatz [0034]; Ansprüche 5,11; Abbildung 1	1-27



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

12. Juni 2020

Absendedatum des internationalen Recherchenberichts

23/06/2020

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

Bevollmächtigter Bediensteter

Eisner, Klaus

INTERNATIONALER RECHERCHENBERICHT

Angaben zu Veröffentlichungen, die zur selben Patentfamilie gehören

Internationales Aktenzeichen

PCT/EP2020/055413

Im Recherchenbericht angeführtes Patentdokument	Datum der Veröffentlichung	Mitglied(er) der Patentfamilie	Datum der Veröffentlichung
DE 102018218162 A1	13-12-2018	KEINE	
DE 102010028496 A1	03-11-2011	KEINE	