



(12)

Offenlegungsschrift

(21) Aktenzeichen: **10 2011 078 928.6**

(22) Anmeldetag: **11.07.2011**

(43) Offenlegungstag: **17.01.2013**

(51) Int Cl.: **G03F 7/20 (2011.01)**

(71) Anmelder:

Carl Zeiss SMT GmbH, 73447, Oberkochen, DE

(72) Erfinder:

Hennerkes, Christoph, 73431, Aalen, DE; Sänger, Ingo, 89522, Heidenheim, DE; Zimmermann, Jörg, 73434, Aalen, DE; Ruoff, Johannes, Dr., 73431, Aalen, DE; Meier, Martin, 89518, Heidenheim, DE; Schlesener, Frank, 73447, Oberkochen, DE

(56) Für die Beurteilung der Patentfähigkeit in Betracht
gezogene Druckschriften:

US 2007 / 0 132 977 A1

US 2008 / 0 192 225 A1

US 5 452 054 A

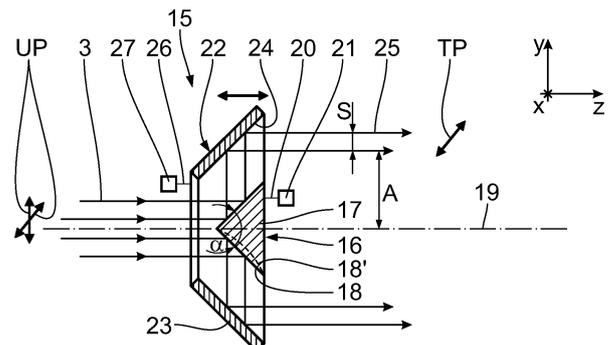
US 5 504 627 A

Prüfungsantrag gemäß § 44 PatG ist gestellt.

Die folgenden Angaben sind den vom Anmelder eingereichten Unterlagen entnommen

(54) Bezeichnung: **Beleuchtungsoptik für die Projektionslithografie**

(57) Zusammenfassung: Eine Beleuchtungsoptik für die Projektionslithografie hat eine erste Polarisations-Spiegeleinrichtung (16) zur Reflexion und Polarisation von Beleuchtungslicht (3). Eine zweite Spiegeleinrichtung (22), die der Polarisations-Spiegeleinrichtung (16) nachgeordnet ist, dient zur Reflexion eines Beleuchtungslicht-Bündels (25). Mindestens eine Antriebseinrichtung (21; 27), steht mit mindestens einer der beiden Spiegeleinrichtungen (16, 22) in Wirkverbindung. Die beiden Spiegeleinrichtungen (16, 22) sind mithilfe der Antriebseinrichtung (21; 27) relativ zueinander verlagerbar zwischen einer ersten Relativposition, die zu einer ersten Bündelgeometrie des Beleuchtungslicht-Bündels (25) nach Reflexion an der zweiten Spiegeleinrichtung (22) führt, und einer zweiten Relativposition, die zu einer zweiten Bündelgeometrie des Beleuchtungslicht-Bündels (25) nach Reflexion an der zweiten Spiegeleinrichtung (22) führt, die von der ersten Bündelgeometrie verschieden ist. Es resultiert eine flexible Vorgabe verschiedener Beleuchtungsgeometrien, insbesondere verschiedener Beleuchtungsgeometrien mit rotationssymmetrischer Beleuchtung.



Beschreibung

[0001] Die Erfindung betrifft eine Beleuchtungsoptik für die Projektionslithografie. Ferner betrifft die Erfindung ein optisches System mit einer derartigen Beleuchtungsoptik und einer Projektionsoptik sowie eine Projektionsbelichtungsanlage mit einem derartigen optischen System und einer EUV-Lichtquelle.

[0002] Eine Beleuchtungsoptik der eingangs genannten Art ist bekannt aus der US 7,414,781 und aus der US 2008/0192225 A1.

[0003] Es ist eine Aufgabe der vorliegenden Erfindung, eine Beleuchtungsoptik der eingangs genannten Art derart weiterzubilden, dass eine flexible Vorgabe verschiedener Beleuchtungsgeometrien, insbesondere verschiedener Beleuchtungsgeometrien mit rotationssymmetrischer Beleuchtung, möglich ist.

[0004] Diese Aufgabe ist erfindungsgemäß gelöst durch eine Beleuchtungsoptik mit den im Anspruch 1 angegebenen Merkmalen.

[0005] Die erfindungsgemäße Beleuchtungsoptik ermöglicht je nach Relativposition der beiden Spiegeleinrichtungen zueinander eine variable Vorgabe einer Geometrie insbesondere eines Querschnitts des Beleuchtungslicht-Bündels und damit eine variable Beleuchtungsgeometrie. Insbesondere ist es möglich, durch die Verlagerung der beiden Spiegelelemente zueinander ein Ringbündel, also ein Beleuchtungslichtbündel mit ringförmigem Querschnitt, mit variabel vorgebbarem Ringradius einzustellen. Die Funktion der erfindungsgemäßen Beleuchtungsoptik kann derjenigen eines Zoom-Axikons entsprechen, wie dies beispielsweise aus der DE 10 2009 029 103 A1 bekannt ist.

[0006] Eine Polarisations-Spiegeleinrichtung mit einem kegelförmigen Spiegel-Grundkörper nach Anspruch 2 ist insbesondere zur Einstellung eines Ringbündels mit variablem Durchmesser vorteilhaft. Der Spiegel-Grundkörper kann eine reflektierende Kegel-Mantelfläche haben. Der Spiegel-Grundkörper kann eine auch im axialen Längsschnitt des Kegels gekrümmt ausgeführte reflektierende Mantelfläche haben, die dann eine zusätzliche Bündelformung herbeiführt. Die Krümmung kann konvex oder konkav oder auch gemischt konvex/konkav ausgeführt sein. Der Spiegel-Grundkörper kann massiv ausgeführt sein, was eine Wärmeableitung von einer reflektierenden Fläche der Polarisations-Spiegeleinrichtung in den Spiegel-Grundkörper verbessert, sodass eine externe, aktive Kühlung entbehrlich sein kann.

[0007] Eine aktive Kühleinrichtung nach Anspruch 3 ermöglicht eine effektive Kühlung insbesondere dann, wenn der Spiegel-Grundkörper aufgrund von Restabsorption des Beleuchtungslichts erwärmt wird.

Als Kühlmedium der Kühleinrichtung kann eine Flüssigkeit oder ein Gas, zum Beispiel Stickstoff, zum Einsatz kommen. Die aktive Kühleinrichtung kann auch für Spiegel-Grundkörper zum Einsatz kommen, die nicht kegelförmig ausgestaltet sind.

[0008] Führungen einer Kühlmittel-Leitung nach den Ansprüchen 4 oder 5 haben sich in Verbindung mit einem rotationssymmetrischen Spiegel-Grundkörper als besonders geeignet herausgestellt.

[0009] Ein ringförmiger äußerer Spiegel-Grundkörper der zweiten Spiegeleinrichtung nach Anspruch 6 ermöglicht die Führung eines Beleuchtungslicht-Ringbündels. Der ringförmige äußere Spiegel-Grundkörper kann eine konisch verlaufende innere Ring-Spiegelfläche haben. Der ringförmige äußere Spiegel-Grundkörper kann in mehrere Ring-Spiegelflächen unterteilt sein, die angetrieben gegeneinander verlagerbar sein können. Die Ring-Spiegelfläche kann segmentiert sein.

[0010] Eine Ausführung der Polarisations-Spiegeleinrichtung mit Spiegelfacetten nach Anspruch 7 ermöglicht eine Zerlegung des einfallenden Beleuchtungslicht in Beleuchtungslicht-Teilbündel, die dann ein zu beleuchtendes Objekt aus unterschiedlichen Richtungen beleuchten können.

[0011] Eine angetriebene Verkipparbeit über Facettenaktoren nach Anspruch 8 gewährleistet einen zusätzlichen Freiheitsgrad zur Herstellung einer variablen Beleuchtung. Durch die Kippbarkeit der Facetten lassen sich neben in ihrem Radius vorgebbaren Ringbündeln auch Umverteilungen in azimuthaler Richtung erzeugen, wodurch beispielsweise Multipol-Beleuchtungen realisiert werden können. Die kippbaren Spiegelfacetten können schaltbar zwischen zwei Kippstellungen ausgeführt sein.

[0012] Ein Kippachsen-Verlauf nach den Ansprüchen 9 bzw. 10 ermöglicht es, auch polarisierende Eigenschaften bei der Reflexion an den Spiegelfacetten zur Vorgabe einer Beleuchtungsgeometrie zu nutzen. Anstelle der parallelen Verläufe nach den Ansprüchen 9 bzw. 10 sind auch kleine Winkel zu den jeweils angegebenen Referenzebenen zulässig.

[0013] Eine zweite Spiegeleinrichtung nach Anspruch 11 kann ebenfalls zur Führung von Beleuchtungslicht-Teilbündeln genutzt werden. Im Zusammenspiel mit einer ebenfalls Spiegelfacetten aufweisenden Polarisations-Spiegeleinrichtung kann eine Beleuchtungslicht-Führung realisiert sein, bei der Teilbündel jeweils von einer Spiegelfacetten der Polarisations-Spiegeleinrichtung reflektiert und dabei ggf. polarisiert werden und anschließend von einer der Spiegelfacetten der zweiten Spiegeleinrichtung reflektiert werden.

[0014] Gegeneinander verlagerbare Ring-Tragrahmen nach Anspruch 12 erhöhen eine Variabilität bei der Vorgabe einer Beleuchtungsgeometrie nochmals.

[0015] Die eingangs genannte Aufgabe ist zudem gelöst durch eine Beleuchtungsoptik mit den im Anspruch 13 angegebenen Merkmalen.

[0016] Die Beleuchtungsoptik nach Anspruch 13 muss nicht zwingend zwei angetriebenen gegeneinander verlagerbare Spiegeleinrichtungen aufweisen. Die Polarisations-Spiegeleinrichtung kann insbesondere zur Überführung des einfallenden Beleuchtungslichts in eine Mehrzahl von Teilbündeln genutzt werden. Die Polarisations-Spiegeleinrichtung nach Anspruch 13 kann die erste Polarisations-Spiegeleinrichtung der Beleuchtungsoptik nach Anspruch 1 darstellen. Die Polarisations-Spiegeleinrichtung nach Anspruch 13 kann die Weiterbildung der vorstehend erläuterten Ansprüche aufweisen. Die Polarisations-Spiegeleinrichtung mit den Spiegelfacetten und/oder die zweite Spiegeleinrichtung mit den Spiegelfacetten kann anstelle eines Feldfacettenspiegels und/oder anstelle eines Pupillenfacettenspiegels einer Beleuchtungsoptik nach der US 7,414,781 eingesetzt sein. Die Spiegelfacetten können schaltbar zwischen zwei Kippstellungen ausgeführt sein.

[0017] Die Vorteile eines optischen Systems nach Anspruch 14 entsprechen denen, die vorstehend im Zusammenhang mit den erfindungsgemäßen Beleuchtungsoptiken bereits ausgeführt wurden. Das optische System kann Teil eines Beleuchtungssystems ein, zu dem zusätzlich noch eine EUV-Lichtquelle gehört. Die EUV-Lichtquelle kann eine Wellenlänge im Bereich zwischen 5 nm und 30 nm als Nutzwellenlänge haben. Die reflektierenden Spiegelflächen der Beleuchtungsoptik können Reflexionsbeschichtungen tragen, die als Mehrlagen-(Multilayer) Beschichtungen ausgeführt sein können.

[0018] Die Vorteile einer Projektionsbelichtungsanlage nach Anspruch 15 entsprechen denen, die vorstehend unter Bezugnahme auf das Beleuchtungssystem bereits erläutert wurden. Die Projektionsbelichtungsanlage kann zur Herstellung eines strukturierten Bauteils, insbesondere eines Halbleiterbauelements, beispielsweise eines mikro- bzw. nanostrukturierten Chips, genutzt werden. bei dem zunächst ein Retikel und ein Wafer bereitgestellt werden und anschließend eine Struktur auf dem Retikel auf eine lichtempfindliche Schicht des Wafers mithilfe der Projektionsbelichtungsanlage projiziert wird, wobei durch Entwicklung der lichtempfindlichen Schicht schließlich eine Mikro- bzw. Nanostruktur auf dem Wafer erzeugt wird. Mit diesem Verfahren kann ein mikro- bzw. nanostrukturiertes Bauteil hergestellt werden.

[0019] Ausführungsbeispiele der Erfindung werden nachfolgend anhand der Zeichnung näher erläutert. In dieser zeigen:

[0020] [Fig. 1](#) schematisch eine Projektionsbelichtungsanlage für die EUV-Mikrolithografie;

[0021] [Fig. 2](#) schematisch eine Spiegel-Baugruppe einer Beleuchtungsoptik für die Projektionslithografie mit einer ersten Polarisations-Spiegeleinrichtung und einer zweiten Spiegeleinrichtung, dargestellt in einem Axialschnitt;

[0022] [Fig. 3](#) eine weitere Ausführung einer ersten Polarisations-Spiegeleinrichtung für eine Spiegel-Baugruppe nach [Fig. 2](#) mit einer Mehrzahl an einem Kegel-Tragrahmen angebrachten Spiegelfacetten;

[0023] [Fig. 4](#) schematisch eine Ansicht längs einer Rotation-Symmetrieachse einer Spiegel-Baugruppe mit einer ersten Polarisations-Spiegeleinrichtung nach [Fig. 3](#) und einer zweiten Spiegeleinrichtung mit einem ringförmigen äußeren Spiegel-Grundkörper und einer Mehrzahl von hieran angebrachten Spiegelfacetten, wobei lediglich zwei einander jeweils über die Reflexion eines Beleuchtungslicht-Teilbündels zugeordnete Spiegelfacetten der ersten Polarisations-Spiegeleinrichtung und der zweiten Spiegeleinrichtung dargestellt sind,

[0024] [Fig. 5](#) in einer zur [Fig. 4](#) ähnlichen Ansicht die Spiegel-Baugruppe, bei der eine Spiegelfacetten der Polarisations-Spiegeleinrichtung in eine im Vergleich zur [Fig. 4](#) andere Kippstellung verkippt ist, sodass dieser Spiegelfacetten nun über einen Beleuchtungskanal eine andere der Spiegelfacetten der zweiten Spiegeleinrichtung zur Führung eines Beleuchtungslicht-Teilbündels zugeordnet ist;

[0025] [Fig. 6](#) in einer zur [Fig. 2](#) ähnlichen Darstellung eine weitere Ausführung einer Spiegel-Baugruppe einer Beleuchtungsoptik für die Projektionslithografie, bei der die zweite Spiegeleinrichtung eine Mehrzahl von gegeneinander verlagerbaren Ring-Tragrahmen aufweist;

[0026] [Fig. 7](#) die Spiegel-Baugruppe nach [Fig. 6](#) in einer anderen Relativstellung der Ring-Tragrahmen der zweiten Spiegeleinrichtung;

[0027] [Fig. 8](#) die Spiegel-Baugruppe nach [Fig. 2](#) mit einer aktiven Kühleinrichtung; und

[0028] [Fig. 9](#) die Spiegel-Baugruppe nach [Fig. 2](#) mit einer weiteren Ausführung einer aktiven Kühleinrichtung.

[0029] Eine Projektionsbelichtungsanlage **1** für die Mikrolithografie hat eine Lichtquelle **2** für Beleuchtungslicht bzw. Beleuchtungsstrahlung **3**. Bei der

Lichtquelle **2** handelt es sich um eine EUV-Lichtquelle, die Licht in einem Wellenlängenbereich beispielsweise zwischen 5 nm und 30 nm, insbesondere zwischen 5 nm und 10 nm erzeugt. Bei der Lichtquelle **2** kann es sich insbesondere um eine Lichtquelle mit einer Wellenlänge von 13,5 nm oder um eine Lichtquelle mit einer Wellenlänge von 6,9 nm handeln. Auch andere EUV-Wellenlängen sind möglich. Generell sind sogar beliebige Wellenlängen, zum Beispiel sichtbare Wellenlängen oder auch andere Wellenlängen, die in der Mikrolithografie Verwendung finden können und für die geeigneten Laserlichtquellen und/oder LED-Lichtquellen zur Verfügung stehen (beispielsweise 365 nm, 248 nm, 193 nm, 157 nm, 129 nm, 109 nm), für das in der Projektionsbelichtungsanlage **1** geführte Beleuchtungslicht **3** möglich. Ein Strahlengang des Beleuchtungslichts **3** ist in der [Fig. 1](#) äußerst schematisch dargestellt.

[0030] Zur Führung des Beleuchtungslichts **3** von der Lichtquelle **2** hin zu einem Objektfeld **4** in einer Objektebene **5** dient eine Beleuchtungsoptik **6**. Mit einer Projektionsoptik bzw. abbildenden Optik **7** wird das Objektfeld **4** in ein Bildfeld **8** in einer Bildebene **9** mit einem vorgegebenen Verkleinerungsmaßstab abgebildet. Für die Beleuchtungsoptik **6** kann eines der in den [Fig. 2](#) ff. dargestellten Ausführungsbeispiele eingesetzt werden. Die Projektionsoptik **7** nach [Fig. 1](#) verkleinert um einen Faktor 4.

[0031] Auch andere Verkleinerungsmaßstäbe sind möglich, zum Beispiel 5x, 6x oder 8x oder auch Verkleinerungsmaßstäbe, die größer sind als 8x oder die kleiner sind als 4x, z. B. 2x oder 1x. Für das Beleuchtungslicht **3** mit EUV-Wellenlänge eignet sich insbesondere ein Abbildungsmaßstab von 4x, da dies ein für die Mikrolithografie gebräuchlicher Maßstab ist und einen hohen Durchsatz bei einer vertretbaren Größe einer Reflexionsmaske **10**, die auch als Retikel bezeichnet ist und das abbildende Objekt trägt, ermöglicht. Zudem ist bei einem Abbildungsmaßstab von 4x die benötigte Strukturgröße auf der Reflexionsmaske **10** ausreichend groß, um Herstellungs- und Qualifizierungsaufwände für die Reflexionsmaske **10** in Grenzen zu halten. Die Bildebene **9** ist bei der Projektionsoptik **7** in den Ausführungen nach den [Fig. 2](#) ff. parallel zur Objektebene **5** angeordnet. Abgebildet wird hierbei ein mit dem Objektfeld **4** zusammenfallender Ausschnitt der Reflexionsmaske **10**. Das Retikel **10** kann von einem nicht dargestellten Retikelhalter getragen werden.

[0032] Die Abbildung durch die Projektionsoptik **7** erfolgt auf die Oberfläche eines Substrats **11** in Form eines Wafers, der von einem Substrathalter **12** getragen wird. In der [Fig. 1](#) ist schematisch zwischen dem Retikel **10** und der Projektionsoptik **7** ein in diese einlaufendes Strahlenbündel **13** des Beleuchtungslichts **3** und zwischen der Projektionsoptik **7** und dem Substrat **11** ein aus der Projektionsoptik **7** auslaufendes

des Strahlenbündel **14** des Beleuchtungslichts **3** dargestellt. Das von der Projektionsoptik **7** abgebildete Beleuchtungslicht **3** wird auch als Abbildungslicht bezeichnet.

[0033] Zur Erleichterung der Beschreibung der Projektionsbelichtungsanlage **1** sowie der verschiedenen Ausführungen der Projektionsoptik **7** ist in der Zeichnung ein globales kartesisches xyz-Koordinatensystem angegeben, aus dem sich die jeweilige Lagebeziehung der in den Figuren dargestellten Komponenten ergibt. In der [Fig. 1](#) verläuft die x-Richtung senkrecht zur Zeichenebene in diese hinein. Die y-Richtung verläuft nach rechts und die z-Richtung nach unten.

[0034] Die Projektionsbelichtungsanlage **1** ist vom Scannertyp. Sowohl das Retikel **10** als auch das Substrat **11** werden beim Betrieb der Projektionsbelichtungsanlage **1** in der y-Richtung gescannt. Auch ein Steppertyp der Projektionsbelichtungsanlage **1**, bei dem zwischen einzelnen Belichtungen des Substrats **11** eine schrittweise Verlagerung des Retikels **10** und des Substrats **11** in der y-Richtung erfolgt, ist möglich.

[0035] Anhand der [Fig. 2](#) ff. werden nachfolgend verschiedene Varianten einer Spiegel-Baugruppe erläutert, die Bestandteil der Beleuchtungsoptik **6** ist. Zur Erleichterung der Beschreibung dieser Komponenten wird nachfolgend ein lokales kartesisches xyz-Koordinatensystem angegeben, aus dem sich die jeweilige Lagebeziehung der in den Figuren dargestellten Komponenten ergibt. Die x-, y- und z-Achsen dieser lokalen Koordinatensysteme fallen zusammen.

[0036] [Fig. 2](#) zeigt eine Spiegel-Baugruppe **15** mit einer ersten Polarisations-Spiegeleinrichtung **16** zu Reflexion und Polarisation des längs der z-Richtung einfallenden Beleuchtungslichts **3**. Das einfallende Beleuchtungslicht **3** ist unpolarisiert, wie durch Polarisationspfeile UP in der [Fig. 2](#) schematisch angedeutet ist.

[0037] Die Polarisations-Spiegeleinrichtung **16** hat einen kegelförmigen Spiegel-Grundkörper **17** und eine reflektierende Kegel-Mantelfläche **18**. Der Spiegel-Grundkörper **17** ist massiv ausgeführt. Eine Rotations-Symmetrieachse **19** des Spiegel-Grundkörpers **17** verläuft durch dessen Kegelspitze längs der z-Achse.

[0038] Die Polarisations-Spiegeleinrichtung **16** ist, wie in der [Fig. 2](#) schematisch bei **20** angedeutet, mechanisch mit einer Antriebseinrichtung **21** verbunden, steht mit der Antriebseinrichtung **21** also in Wirkverbindung. Über die Antriebseinrichtung **21** kann die Polarisations-Spiegeleinrichtung **16** längs der z-Achse, also längs der Rotations-Symmetrieachse **19** verlagert werden.

[0039] Im Strahlengang des Beleuchtungslichts **3** ist der ersten Polarisations-Spiegeleinrichtung **16** eine zweite Spiegeleinrichtung **22** der Spiegel-Baugruppe nachgeordnet. Die zweite Spiegeleinrichtung **22** reflektiert das von der ersten Polarisations-Spiegeleinrichtung **16** reflektierte und in Bezug auf die Rotations-Symmetrieachse **19** tangential polarisierte Beleuchtungslicht **3**. Die zweite Spiegeleinrichtung **22** hat einen ringförmigen äußeren Spiegel-Grundkörper **23** mit einer konisch verlaufenden inneren Ring-Spiegelfläche **24**.

[0040] Die erste Polarisations-Spiegeleinrichtung **16** hat einen Konuswinkel (α) von 90° , reflektiert das Beleuchtungslicht **3** also radial zur z-Achse. Nach der Reflexion an der inneren Ring-Spiegelfläche **24** der zweiten Spiegeleinrichtung **22** verläuft das Beleuchtungslicht **3** in Form eines Ringbündels parallel zur Rotations-Symmetrieachse **19** unter einem Abstand A. Das Ringbündel **25** hat eine Ringstärke S.

[0041] Im Ringbündel **25** liegt das Beleuchtungslicht **3** zur Rotations-Symmetrieachse **19** tangential polarisiert vor, wie in der [Fig. 2](#) durch einen Pfeil TP schematisch angedeutet ist.

[0042] Wie in der [Fig. 2](#) bei **26** schematisch angedeutet, steht die zweite Spiegeleinrichtung **22** mit einer weiteren Antriebseinrichtung **27** in Wirkverbindung. Mit Hilfe der zweiten Antriebseinrichtung **27** kann die zweite Spiegeleinrichtung **22** parallel zur Rotations-Symmetrieachse **19** verlagert werden.

[0043] Mit Hilfe der Antriebseinrichtungen **21** bzw. **27** können die beiden Spiegeleinrichtungen **16**, **22** zwischen mindestens zwei Relativpositionen verlagert werden, die entsprechend zumindest zu zwei Bündelgeometrien des Beleuchtungslichts **3** nach Reflexion an der zweiten Spiegeleinrichtung **22** führt. Wenn beispielsweise die Polarisations-Spiegeleinrichtung **16** mit Hilfe der ersten Antriebseinrichtung **21** in negativer z-Richtung, ausgehend von der Relativposition nach [Fig. 2](#), verlagert wird, verkleinert sich der Abstand des Ringbündels **25** zur Rotations-Symmetrieachse **19**, wohingegen die Stärke S des Ringbündels **25** konstant bleibt.

[0044] Die Rotations-Symmetrieachse **19** der Spiegel-Baugruppe **15** wird auch als optische Achse bezeichnet. Der Spiegel-Baugruppe **15** kann in der Beleuchtungsoptik **6** ein Pupillenfacettenspiegel nachgeordnet sein, wie beispielsweise aus der WO 2006/111 319 A2 bekannt ist. Mit der Spiegel-Baugruppe **15** kann dieser Pupillenfacettenspiegel mit verschiedenen annularen Beleuchtungen beaufschlagt werden, die sich im Radius unterscheiden. Entsprechend resultieren entsprechende annulare Beleuchtungssettings mit je nach der Relativposition der beiden Spiegeleinrichtungen **16**, **22** zueinander unterschiedlichen minimalen und maximalen

Grenzwinkeln eines Beleuchtungswinkels einer Beleuchtung der Reflexionsmaske **10**.

[0045] Anhand der [Fig. 3](#) und [Fig. 4](#) werden nachfolgend weitere Ausführungen von Spiegel-Baugruppen bzw. Polarisations-Spiegeleinrichtungen als Bestandteile von Ausführungen von Beleuchtungsoptiken für die Projektionslithografie erläutert. Komponenten, die denjenigen entsprechen, die vorstehend unter Bezugnahme auf die [Fig. 1](#) und [Fig. 2](#) bereits beschrieben wurden, tragen die gleichen Bezugsziffern und werden nicht nochmals im Einzelnen diskutiert.

[0046] [Fig. 3](#) zeigt eine weitere Ausführung einer Polarisations-Spiegeleinrichtung **28**, die anstelle der Polarisations-Spiegeleinrichtung **16** in der Spiegel-Baugruppe **15** nach [Fig. 2](#) zum Einsatz kommen kann. Alternativ kann die Polarisations-Spiegeleinrichtung **28** ohne eine nachfolgende Spiegeleinrichtung nach Art der zweiten Spiegeleinrichtung **22** nach [Fig. 2](#) in einer nicht dargestellten Ausführung einer Beleuchtungsoptik zum Einsatz kommen. Die Polarisations-Spiegeleinrichtung **28** hat einen inneren Spiegel-Grundkörper **29** in Form eines Kegel-Tragrahmens mit kegelförmiger Grundgestalt, die um die Rotations-Symmetrieachse **19** rotationssymmetrisch ausgeführt ist. Eine Mehrzahl von Spiegelfacetten **30**, von denen in der [Fig. 3](#) fünf Spiegelfacetten **30** dargestellt sind, ist am Kegel-Tragrahmen **29** angebracht. Die Spiegelfacetten **30** sind über jeweils zugeordneten Facettenaktoren **31** um mindestens eine Kippachse verkippbar.

[0047] Die dargestellten Spiegelfacetten **30** sind längs eines Rings um die Symmetrieachse **19** auf dem Kegel-Tragrahmen **29** angeordnet. Wie in der [Fig. 3](#) schematisch durch Punkte dargestellt, liegen weitere der Spiegelfacetten **30** dicht an dicht auf weiteren einander jeweils benachbarten Ringen um die Symmetrieachse **19** auf dem Kegel-Tragrahmen **29**. Auch die nicht dargestellten Spiegelfacetten **30** sind über zugeordnete Facettenaktoren **31** um mindestens eine Kippachse verkippbar, wie in der [Fig. 3](#) schematisch angedeutet. Eine Kippachse K_1 der Spiegelaktoren **30** liegt jeweils in einer die Rotations-Symmetrieachse **19** des Kegel-Tragrahmens **29** enthaltenden Ebene und verläuft parallel zu einer Kegel-Mantelfläche **32** der Grundgestalt des Kegel-Tragrahmens **29**. Eine solche Kippachse ist in der [Fig. 3](#) gestrichelt bei K_1 für die Spiegelfacetten **30** dargestellt. Alternativ oder zusätzlich können die Spiegelfacetten **30** um eine weitere Kippachse K_2 verkippbar sein, die tangential zur Rotations-Symmetrieachse **19** des Kegel-Tragrahmens **29** und parallel zu einer Kegelgrundfläche **33** des Kegel-Tragrahmens **29** verläuft. Eine derartige Kippachse K_2 ist in der [Fig. 3](#) für die Spiegelfacetten **30** dargestellt.

[0048] Auch ein anderer Verlauf der Kippachsen K_1 , K_2 der unter einem kleinem Winkel zu den eingezeichneten und vorstehend beschriebenen Verläufen der Kippachsen K_1 , K_2 verläuft, ist möglich.

[0049] Anstelle von einer im dargestellten Meridionalschnitt geradlinig verlaufenden Kegel-Mantelfläche **18** kann die Kegel-Mantelfläche auch einen gekrümmten Verlauf haben, wie in der [Fig. 2](#) gestrichelt bei **18'** angedeutet.

[0050] Anhand der [Fig. 4](#) und [Fig. 5](#) werden verschiedene Polarisierungseinstellungen der Spiegelfacetten **30** der Polarisations-Spiegeleinrichtung **28** in einer Spiegel-Baugruppe **34** beschrieben, die neben der Polarisations-Spiegeleinrichtung **28** noch eine zweite Spiegeleinrichtung **35** aufweist, die anstelle der zweiten Spiegeleinrichtung **22** der Ausführung nach [Fig. 2](#) zum Einsatz kommen kann. Die zweite Spiegeleinrichtung **35** hat einen ringförmigen äußeren Spiegel-Grundkörper **36** in Form eines Ring-Tragrahmens und eine Mehrzahl von Spiegelfacetten **37**, die am Ring-Tragrahmen **36** angebracht sind und von denen in der [Fig. 4](#) zwei der Spiegelfacetten **37**, nämlich die Spiegelfacetten **37₁** und **37₂** dargestellt sind. Dargestellt sind in der [Fig. 4](#) auch zwei der Spiegelfacetten **30** der Polarisations-Spiegeleinrichtung **28**, nämlich die den Spiegelfacetten **37₁**, **37₂** der zweiten Spiegeleinrichtung **35** jeweils über einen Ausleuchtungskanal für ein Beleuchtungslicht-Teilbündel **38** zugeordneten Spiegelfacetten **30₁** und **30₂**.

[0051] In der [Fig. 4](#) ist die Spiegel-Baugruppe **34** in einer schematischen Ansicht längs der Rotations-Symmetrieachse **19** dargestellt. Das Beleuchtungslicht **3** fällt auf die Polarisations-Spiegeleinrichtung **28** vom Betrachter her senkrecht auf die Zeichenebene der [Fig. 4](#). Die beiden Teilbündel **38** werden von den Spiegelfacetten **30₁**, **30₂** der Polarisations-Spiegeleinrichtung **28** jeweils in zur Symmetrieachse **19** radialer Richtung reflektiert, sodass eine zur Symmetrieachse **19** tangentiale Polarisation resultiert, wie in der [Fig. 4](#) durch Polarisationspfeile TP angedeutet. Nach Reflexion an den Spiegelfacetten **37₁**, **37₂** der beiden Spiegeleinrichtungen **35** bleibt diese tangentiale Polarisation analog zu dem, was vorstehend zur Spiegel-Baugruppe **15** nach [Fig. 2](#) erläutert wurde, erhalten.

[0052] Anstelle eines kontinuierlichen Ringbündels **25** erzeugt die diskrete Facettenanordnung der Spiegel-Baugruppe **34** nach [Fig. 4](#) ein aus diskreten Teilbündeln aufgebautes Ringbündel.

[0053] [Fig. 5](#) zeigt eine weitere Kippkonfiguration der Spiegelfacetten **30**, **37** der Spiegel-Baugruppe **34**. Die Spiegelfacetten **30₁** der Polarisations-Spiegeleinrichtung **28** ist nun so verkippert, dass sie das Teilbündel **38** in einer tangentialen Richtung ablenkt, die

zu einer Meridionalebene ME senkrecht ist, die sowohl die Symmetrieachse **19** als auch den Mittelpunkt der Reflexionsfläche der Spiegelfacetten **30₁** beinhaltet. Von der Spiegelfacetten **30₁** wird das Teilbündel **38** nun zu einer Spiegelfacetten **37'₁** reflektiert, die, wie in der [Fig. 4](#) durch einen Versatz-Pfeil V angedeutet, an einer etwa um 90° im Uhrzeigersinn auf den Ring-Tragrahmen **36** versetzten Position angeordnet ist. Aufgrund der zur Ebene ME senkrechten Ablenkung des Teilbündels **38** durch die Spiegelfacetten **30₁** ist dieses Teilbündel **38** in der Kippkonfiguration nach [Fig. 5](#) nun radial zur Rotations-Symmetrieachse **19** polarisiert, wie in der [Fig. 5](#) durch Polarisationspfeile RP angedeutet.

[0054] Durch diese azimuthale Umverteilung des Teilbündels **38** in der Kippkonfiguration der Spiegelfacetten **30**, **37** nach [Fig. 5](#) im Vergleich zur Kippkonfiguration nach [Fig. 4](#) lässt sich anstelle eines Ringbündels beispielsweise auch ein Beleuchtungslichtbündel zur Erzeugung einer Multipol-Beleuchtung erzeugen. Eine Entfernung der jeweiligen Pole von der Symmetrieachse **19** bzw. zur optischen Achse lässt sich dann unabhängig von einer Verkippung der Spiegelfacetten **30**, **37** über den Verlagerungsantrieb **27** herbeiführen.

[0055] Durch Vorgabe der jeweiligen Kippkonfiguration der Spiegelfacetten **30** der Polarisations-Spiegeleinrichtung **28** der Spiegel-Baugruppe **34** lässt sich also nicht nur die Geometrie der von der Spiegel-Baugruppe **34** reflektierten Positionsverteilung aller Teilbündel **38** beeinflussen, sondern auch die Polarisationsverteilung. Es ist klar, dass auch Polarisationsmischformen zwischen tangentialer und radialer Polarisation je nach Ablenkwinkel der Spiegelfacetten **30** der Polarisations-Spiegeleinrichtung **28** möglich sind. Diese Mischformen lassen sich über die Kippwinkel um die Kippachsen K_1 , K_2 nach [Fig. 3](#) vorgeben.

[0056] [Fig. 6](#) zeigt eine weitere Variante einer Spiegel-Baugruppe **39**, die anstelle der Spiegel-Baugruppen **15** oder **34** in der Beleuchtungsoptik **6** zum Einsatz kommen kann.

[0057] Im Unterschied zur Spiegel-Baugruppe nach [Fig. 2](#) hat die Spiegel-Baugruppe **39** eine zweite Spiegeleinrichtung **40** mit mehreren Ring-Tragrahmen **41**, **42**, **43**, **44**, die in der [Fig. 6](#) mit zunehmendem Radius zur Rotations-Symmetrieachse **19** von innen nach außen durchnummeriert sind. Wie in der [Fig. 6](#) beispielhaft am innersten Ring-Tragrahmen **41** dargestellt, sind die Ring-Tragrahmen **41** bis **44** mithilfe einer mit diesen Wirkverbindung stehenden Antriebseinrichtung **45** längs einer Ring-Rotations-Symmetrieachse, die mit der Rotations-Symmetrieachse **19** der Polarisations-Spiegeleinrichtung **16** zusammenfällt, axial gegeneinander verlagerbar.

[0058] Die Ring-Tragrahmen **41** bis **44** können ringförmig kontinuierlich umlaufende innere Ring-Spiegelflächen **46** nach Art der Ring-Spiegelfläche **24** der zweiten Spiegeleinrichtung **22** nach [Fig. 2](#) aufweisen, sodass sich das durch die Spiegel-Baugruppe **39** erzeugte Ringbündel als Superposition verschiedener Einzelringe ergibt, von denen in der [Fig. 6](#) drei Einzelringe **25₁**, **25₂** und **25₃** dargestellt sind. Die Einzelringe **25₁** bis **25₃** formen dann jeweils einen individuellen Abstand A zur Rotations-Symmetrieachse **19** und eine individuelle Ringstärke S . Alternativ ist es möglich, die zweite Spiegeleinrichtung **40** mit diskreten Spiegelfacetten nach Art der Spiegelfacetten **37** auszuführen, die an den Ring-Tragrahmen **41** bis **44** innen angebracht sind.

[0059] [Fig. 7](#) zeigt die Spiegel-Baugruppe **39** mit einer anderen Relativ-Position der Ring-Tragrahmen **41** bis **44** zueinander. Im Vergleich zur Ring-Tragrahmenkonfiguration nach [Fig. 6](#) ist in der Konfiguration nach [Fig. 7](#) der innerste Ring-Tragrahmen **41** in positiver z -Richtung durch die Antriebseinrichtung **45** so weit verlagert, dass der innerste Ring-Tragrahmen **41** nun für das Beleuchtungslicht anstelle des zweitinnersten Ring-Tragrahmens **42** reflektierend wirkt. Der Teilring **25₃** des Ringbündels **25** hat entsprechend im Vergleich zur Konfiguration nach [Fig. 6](#) in der Konfiguration nach [Fig. 7](#) einen geringeren Abstand zur optischen Achse **19**. Entsprechend vergrößert ist eine Stärke S des Ringbündels **25** in der Konfiguration nach [Fig. 7](#) im Vergleich zur Konfiguration nach [Fig. 6](#).

[0060] [Fig. 8](#) zeigt die Spiegel-Baugruppe **15** mit einer aktiven Kühleinrichtung **47**. Letztere umfasst eine Kühlmittel-Leitung **48** in Form von zwei Speichen-Leitungen mit radialer Verlaufskomponente in Bezug auf die Rotations-Symmetrieachse **19**. Die Kühlmittel-Leitung **48** mündet in eine Kühlmittel-Versorgungsleitung **49**, die das Innere des Spiegel-Grundkörpers **17** der Polarisations-Spiegeleinrichtung **16** mit Kühlmittel, beispielsweise mit Wasser, einer anderen Kühlflüssigkeit oder einem Kühlgas, versorgt. Über eine der Speichen-Leitungen der Kühlmittel-Leitung **48**, die in der [Fig. 8](#) dargestellt ist, kann eine Zufuhr des Kühlmittels und über die andere der Speichen-Leitungen eine Abfuhr des Kühlmittels hin zu und vom inneren Spiegel-Grundkörper **17** erfolgen.

[0061] [Fig. 9](#) zeigt eine weitere Ausführung einer aktiven Kühleinrichtung **50**, die anstelle der Kühleinrichtung **47** nach [Fig. 8](#) zum Einsatz kommen kann und eine Axial-Leitung **51** aufweist, die längs der Rotations-Symmetrieachse **19** des inneren Spiegel-Grundkörpers **17** verläuft und das Innere des Spiegel-Grundkörpers **17** mit Kühlmittel versorgt.

[0062] Zur Herstellung eines mikro- oder nanostrukturierten Bauteils wird die Projektionsbelichtungsanlage **1** folgendermaßen eingesetzt: Zunächst werden

die Reflexionsmaske **10** bzw. das Retikel und das Substrat bzw. der Wafer **11** bereitgestellt. Anschließend wird eine Struktur auf dem Retikel **10** auf eine lichtempfindliche Schicht des Wafers **11** mithilfe der Projektionsbelichtungsanlage projiziert. Durch Entwicklung der lichtempfindlichen Schicht wird dann eine Mikro- oder Nanostruktur auf dem Wafer **11** und somit das mikrostrukturierte Bauteil erzeugt.

ZITATE ENTHALTEN IN DER BESCHREIBUNG

Diese Liste der vom Anmelder aufgeführten Dokumente wurde automatisiert erzeugt und ist ausschließlich zur besseren Information des Lesers aufgenommen. Die Liste ist nicht Bestandteil der deutschen Patent- bzw. Gebrauchsmusteranmeldung. Das DPMA übernimmt keinerlei Haftung für etwaige Fehler oder Auslassungen.

Zitierte Patentliteratur

- US 7414781 [[0002](#), [0016](#)]
- US 2008/0192225 A1 [[0002](#)]
- DE 102009029103 A1 [[0005](#)]
- WO 2006/111319 A2 [[0044](#)]

Patentansprüche

1. Beleuchtungsoptik (6) für die Projektionslithografie

- mit einer ersten Polarisations-Spiegeleinrichtung (16; 28) zur Reflexion und Polarisierung von Beleuchtungslicht (3),
- mit mindestens einer zweiten Spiegeleinrichtung (22; 35; 40), die der Polarisations-Spiegeleinrichtung (16; 28) im Strahlengang des Beleuchtungslichts (3) nachgeordnet ist, zur Reflexion eines Beleuchtungslicht-Bündels (25),
- mit mindestens einer Antriebseinrichtung (21; 27; 45), die mit mindestens einer der beiden Spiegeleinrichtungen (16; 28; 22; 35; 40) in Wirkverbindung steht,
- wobei die beiden Spiegeleinrichtungen (16; 28; 22; 35; 40) mithilfe der Antriebseinrichtung (21; 27; 45) relativ zueinander verlagerbar sind zwischen
- einer ersten Relativposition, die zu einer ersten Bündelgeometrie des Beleuchtungslicht-Bündels (25) nach Reflexion an der zweiten Spiegeleinrichtung (22; 35; 40) führt, und
- einer zweiten Relativposition, die zu einer zweiten Bündelgeometrie des Beleuchtungslicht-Bündels (25) nach Reflexion an der zweiten Spiegeleinrichtung (22; 35; 40) führt, die von der ersten Bündelgeometrie verschieden ist.

2. Beleuchtungsoptik nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, dass die Polarisations-Spiegeleinrichtung (16; 28) einen kegelförmigen Spiegel-Grundkörper (17; 29) aufweist.

3. Beleuchtungsoptik nach Anspruch 2, gekennzeichnet durch eine aktive Kühleinrichtung (47; 50) für den Spiegel-Grundkörper (17; 29).

4. Beleuchtungsoptik nach Anspruch 3, gekennzeichnet durch eine Kühlmittel-Leitung (48) mit mindestens einer Speichen-Leitung, die eine radiale Verlaufskomponente in Bezug auf eine Rotations-Symmetrieachse (19) des Spiegel-Grundkörpers (17) aufweist.

5. Beleuchtungsoptik nach Anspruch 3 oder 4, gekennzeichnet durch eine Kühlmittel-Zuleitung (49; 51) über mindestens eine Axial-Leitung, die längs einer Rotations-Symmetrieachse (19) des Spiegel-Grundkörpers (6) verläuft.

6. Beleuchtungsoptik nach einem der Ansprüche 1 bis 5, dadurch gekennzeichnet, dass die zweite Spiegeleinrichtung (22; 35; 40) mindestens einen ringförmigen äußeren Spiegel-Grundkörper (23; 36; 41 bis 44) aufweist.

7. Beleuchtungsoptik nach einem der Ansprüche 2 bis 6, dadurch gekennzeichnet, dass die Polarisations-Spiegeleinrichtung (28) aufweist:

- den inneren Spiegel-Grundkörper (29) in Form eines Kegel-Tragrahmens mit kegelförmiger Grundgestalt;
- eine Mehrzahl von Spiegelfacetten (30), die am Kegel-Tragrahmen (29) angebracht sind.

8. Beleuchtungsoptik nach Anspruch 7, dadurch gekennzeichnet, dass mindestens einige der Spiegelfacetten (30) über zugeordnete Facettenaktoren (31) um mindestens eine Kippachse (K_1 , K_2) verkippbar sind.

9. Beleuchtungsoptik nach Anspruch 8, dadurch gekennzeichnet, dass die Kippachse (K_1) in einer der Rotations-Symmetrieachse (19) des Kegel-Tragrahmens (29) enthaltenden Ebene liegt und parallel zu einer Kegel-Mantelfläche (32) der Grundgestalt des Kegel-Tragrahmens (29) verläuft.

10. Beleuchtungsoptik nach Anspruch 8 oder 9, dadurch gekennzeichnet, dass die Kippachse (K_2) tangential zur Rotations-Symmetrieachse (19) des Kegel-Tragrahmens (29) und parallel zu einer Kegel-Grundfläche (33) der Grundgestalt des Kegel-Tragrahmens (29) verläuft.

11. Beleuchtungsoptik nach einem der Ansprüche 6 bis 10, dadurch gekennzeichnet, dass die zweite Spiegeleinrichtung (35) aufweist:

- den ringförmigen äußeren Spiegel-Grundkörper (36) in Form mindestens eines Ring-Tragrahmens,
- eine Mehrzahl von Spiegelfacetten (37), die am Ring-Tragrahmen (36) angebracht sind.

12. Beleuchtungsoptik nach Anspruch 11, dadurch gekennzeichnet, dass der äußere Spiegel-Grundkörper (36) mindestens zwei Ring-Tragrahmen (41, 44) aufweist, die gegeneinander längs einer Ring-Rotationssymmetrieachse (19) axial mit der Antriebseinrichtung (45) verlagerbar sind.

13. Beleuchtungsoptik (6) für die Projektionslithografie

- mit einer Polarisations-Spiegeleinrichtung (28) zur Reflexion und Polarisierung von Beleuchtungslicht (3), die aufweist:
- einen Tragrahmen (29) mit kegelförmiger Grundgestalt,
- eine Mehrzahl von Spiegelfacetten (30), die am Tragrahmen (29) angebracht sind.

14. Optisches System mit einer Beleuchtungsoptik nach einem der Ansprüche 1 bis 13 zur Beleuchtung eines Objektfeldes (4) und einer Projektionsoptik (7) zur Abbildung des Objektfeldes (4) in ein Bildfeld (8).

15. Projektionsbelichtungsanlage mit einem Beleuchtungssystem mit einem optischen System nach Anspruch 14 und einer EUV-Lichtquelle (2) sowie mit einem Objekthalter zur Halterung eines im Objektfeld

(4) anordenbaren Objekts (10) und mit einem Substrathalter (12) zur Halterung eines im Bildfeld (8) anordenbaren Substrats (11).

Es folgen 5 Blatt Zeichnungen

Anhängende Zeichnungen

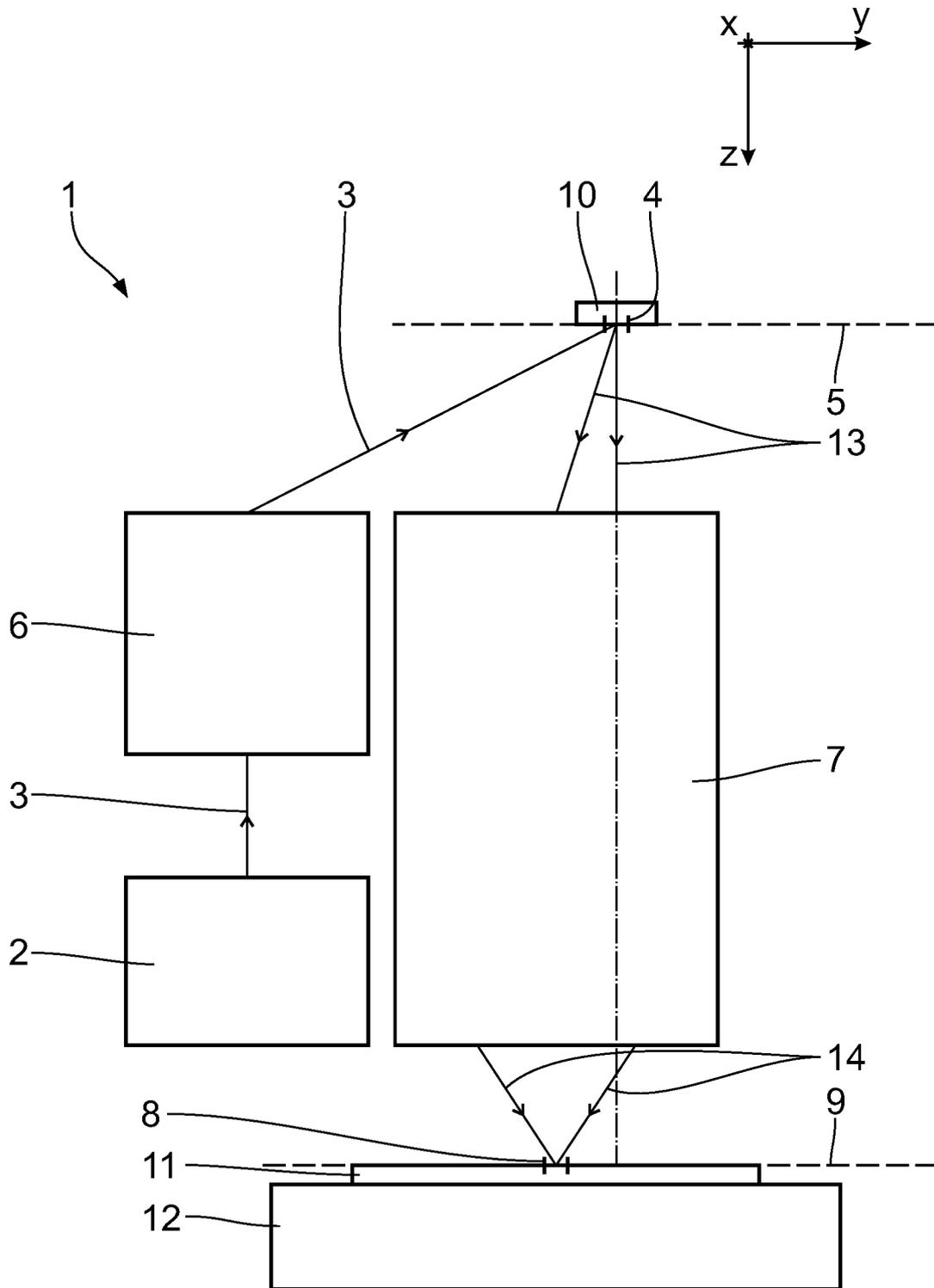


Fig. 1

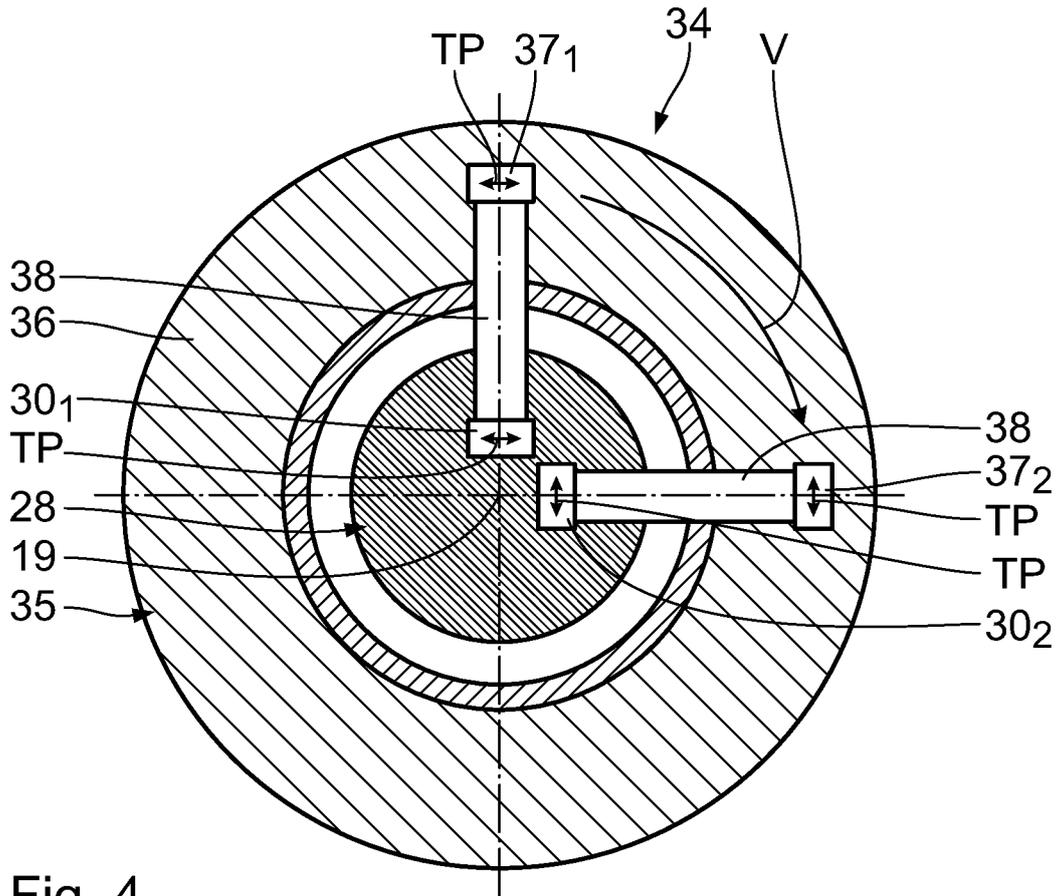


Fig. 4

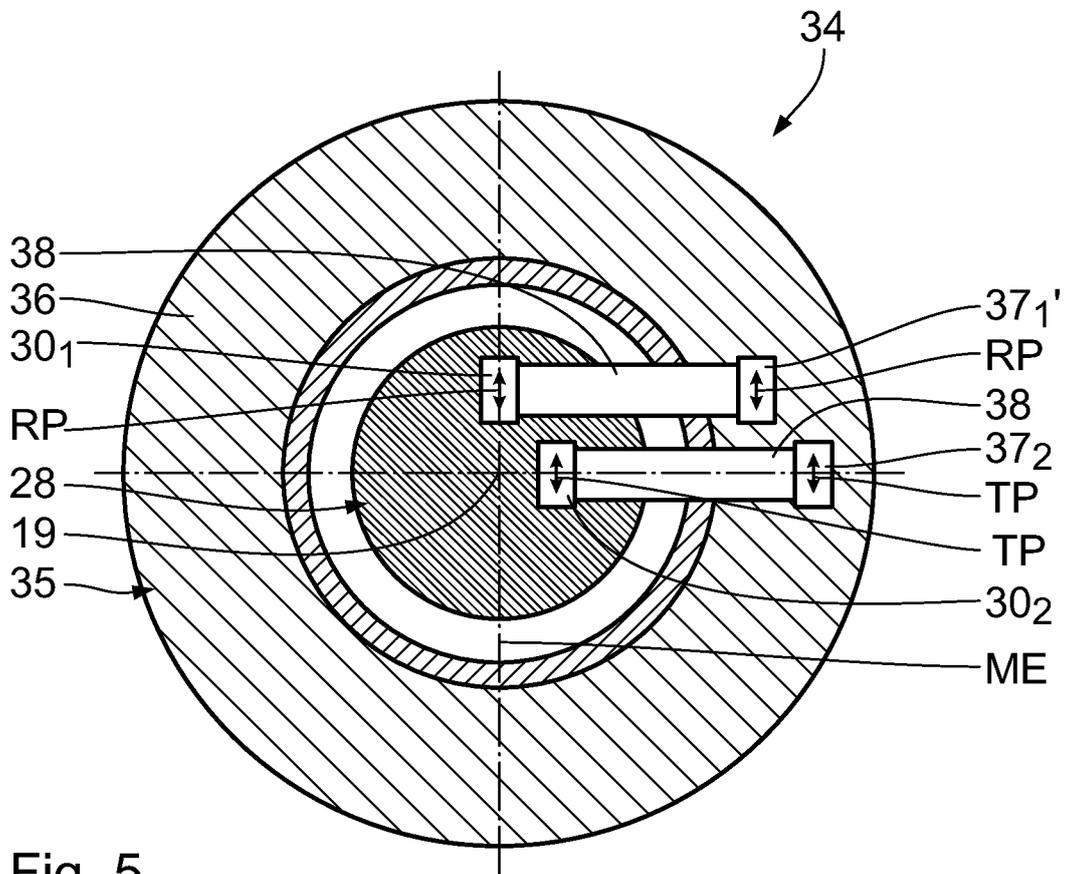


Fig. 5

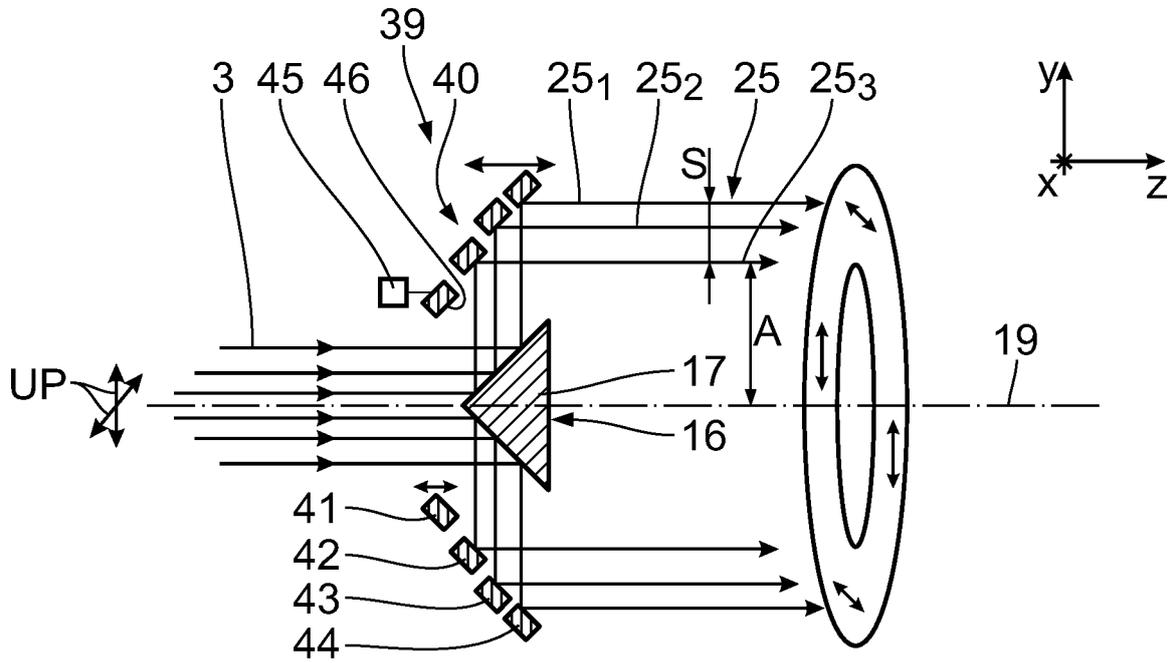


Fig. 6

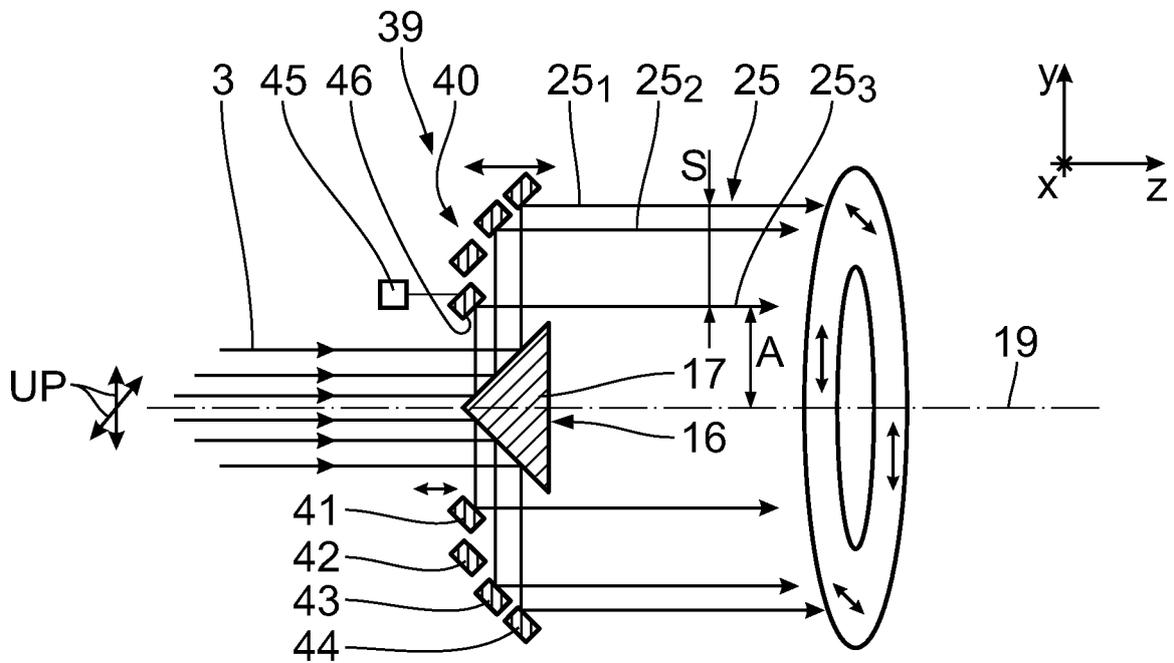


Fig. 7

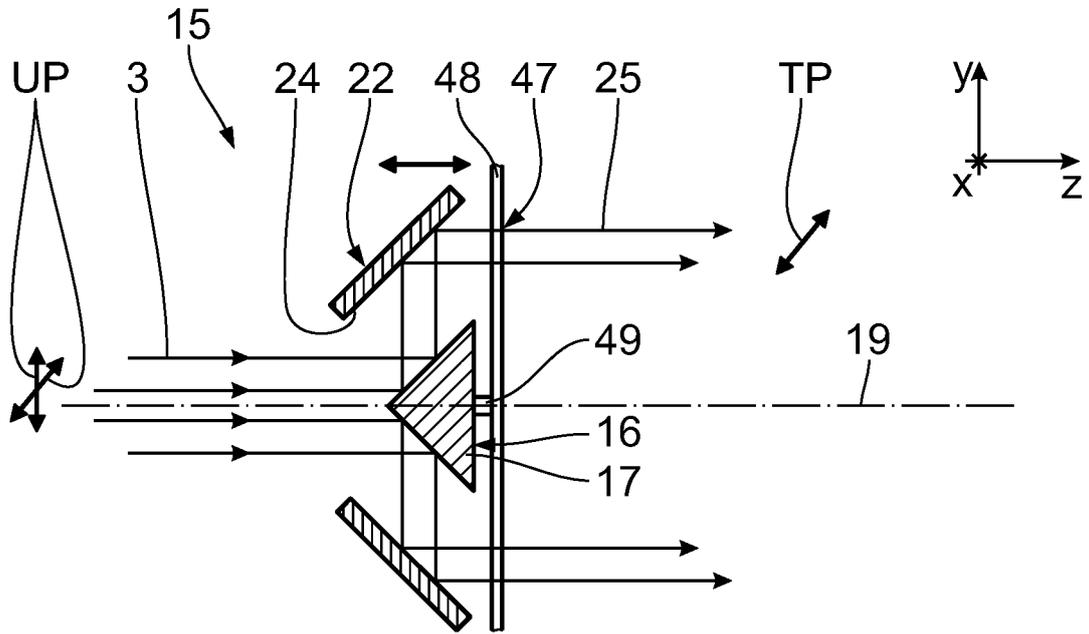


Fig. 8

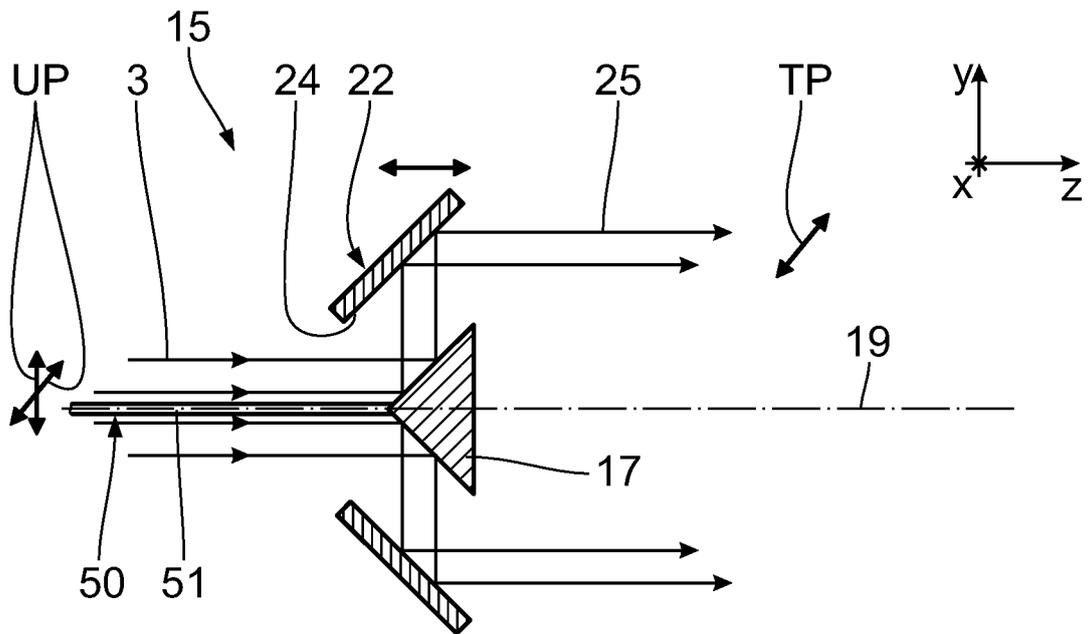


Fig. 9