



(10) **DE 10 2015 209 176 A1** 2016.11.24

(12) **Offenlegungsschrift**

(21) Aktenzeichen: **10 2015 209 176.7**
(22) Anmeldetag: **20.05.2015**
(43) Offenlegungstag: **24.11.2016**

(51) Int Cl.: **G03F 7/20 (2006.01)**
G02B 26/08 (2006.01)

(71) Anmelder:
Carl Zeiss SMT GmbH, 73447 Oberkochen, DE

(72) Erfinder:
**Müller, Matthias, 73466 Lauchheim, DE; Fischer,
Thomas, 73430 Aalen, DE; Seitz, Stefan, 73430
Aalen, DE**

(56) Ermittelter Stand der Technik:

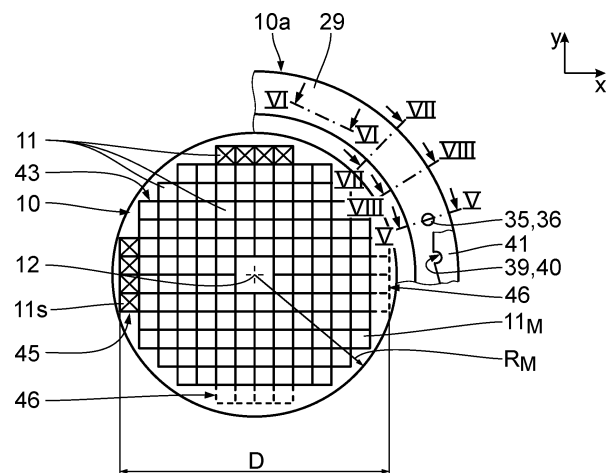
DE 10 2011 005 778 A1
US 2003 / 0 169 520 A1
US 2012 / 0 262 690 A1

Prüfungsantrag gemäß § 44 PatG ist gestellt.

Die folgenden Angaben sind den vom Anmelder eingereichten Unterlagen entnommen

(54) Bezeichnung: **Beleuchtungsoptik für die EUV-Projektionslithographie**

(57) Zusammenfassung: Eine Beleuchtungsoptik für die EUV-Projektionslithographie dient zur Beleuchtung eines Objektfeldes mit Beleuchtungslicht. Die Beleuchtungsoptik hat einen ersten Facettenspiegel mit einer Mehrzahl von ersten Facetten auf einem ersten Spiegelträger, die zwischen mehreren Kippstellungen umstellbar sind. Dem ersten Facettenspiegel nachgeordnet ist ein zweiter Facettenspiegel (10) mit einer Mehrzahl von zweiten Facetten (11), die auf einem zweiten Spiegelträger (10a) um ein Facetten-Anordnungszentrum (12) angeordnet sind. Teilbündel des Beleuchtungslichts werden jeweils über Ausleuchtungskanäle, zu denen eine der ersten Facetten und eine der zweiten Facetten (11) gehört, einander überlagernd in das Objektfeld geführt. Am zweiten Spiegelträger (10a) sind randseitig zweite Maximalwinkel-Facetten (11_M) angeordnet. Letztere geben maximal von einer Hauptstrahl-Inzidenz auf dem Objektfeld abweichende, maximale Beleuchtungswinkel des Beleuchtungslichts vor. Der zweite Spiegelträger (10a) hat einen Beleuchtungslicht-Fallenabschnitt (29), dessen Abstand zum Facetten-Anordnungszentrum (12) größer ist als ein Abstand der zweiten Maximalwinkel-Facetten (11_M) zum Facetten-Anordnungszentrum (12). Bei einem weiteren Aspekt ist der Abstand des Beleuchtungslicht-Fallenabschnitts zum Facetten-Anordnungszentrum (12) höchstens so groß wie ein Abstand der Maximalwinkel-Facetten (11_M) zum Facetten-Anordnungszentrum (12) und der Beleuchtungslicht-Fallenabschnitt ist zum Abführen von Wärmeenergie thermisch an einen Fallen-Kühlkörper angekoppelt. Es resultiert eine Beleuchtungsoptik, mit der eine Störlichtunterdrückung ohne unerwünschte thermische beziehungsweise optische Auswirkungen möglich ist.



Beschreibung

[0001] Die Erfindung betrifft eine Beleuchtungsoptik für die EUV-Projektionslithographie. Ferner betrifft die Erfindung einen zweiten Facettenspiegel zum Einsatz in einer derartigen Beleuchtungsoptik, ein optisches System mit einer derartigen Beleuchtungsoptik, eine Projektionsbelichtungsanlage mit einem derartigen optischen System, ein Verfahren zur Herstellung eines mikro- beziehungsweise nanostrukturierten Bauelements mit einer derartigen Projektionsbelichtungsanlage sowie ein mit einem derartigen Herstellungsverfahren strukturiertes Bauelement.

[0002] Eine Projektionsbelichtungsanlage mit einer Beleuchtungsoptik ist bekannt aus der WO 2011/154244 A1 und der WO 2014/075902 A1. Zur flexiblen Vorgabe von Beleuchtungssettings, also von Beleuchtungswinkelverteilungen zur Beleuchtung von Strukturen, die bei der Projektionslithographie abgebildet werden, kommen verkippbare erste Facetten zum Einsatz. Gefordert ist ein Wechsel zwischen verschiedenen Beleuchtungssettings.

[0003] Es ist eine Aufgabe der vorliegenden Erfindung, eine Beleuchtungsoptik der eingangs genannten Art derart weiterzubilden, dass eine Störlichtunterdrückung ohne unerwünschte thermische beziehungsweise optische Auswirkungen möglich ist.

[0004] Diese Aufgabe ist nach einem ersten Aspekt erfindungsgemäß gelöst durch eine Beleuchtungsoptik mit den im Anspruch 1 angegebenen Merkmalen und nach einem zweiten Aspekt erfindungsgemäß gelöst durch eine Beleuchtungsoptik mit den in Anspruch 8 angegebenen Merkmalen.

[0005] Mindestens ein Beleuchtungslicht-Fallenabschnitt, der nach Anspruch 1 mit im Vergleich zum Abstand der Maximalwinkel-Facetten größerem Abstand zum Facetten-Anordnungszentrum angeordnet ist, ermöglicht ein kontrolliertes Abführen von zur Beleuchtung nicht benötigten Lichtanteilen hin zu einem Ort außerhalb einer Anordnung der zweiten Facetten, wo thermische beziehungsweise optische Auswirkungen einer solchen Lichtabführung sich nicht störend auswirken. Ein kontrolliertes Abführen entsprechender Beleuchtungslichtteile kann zur Optimierung einer Abbildungsqualität, kann zur Korrektur von Systemfehlern und/oder kann zur Beleuchtung weiterer Beleuchtungsoptiken beziehungsweise kann zur Unterstützung unterschiedlicher Lichtquellen genutzt werden. Zum kontrollierten Abführen dieser Beleuchtungslichtanteile können die ersten Facetten, also die Facetten des ersten Facettenspiegels, in eine entsprechende Abführ-Kippstellung umgestellt werden. Beim ersten Facettenspiegel kann es sich um einen Feldfacettenspiegel handeln, der im Bereich einer Feldebene der Beleuchtungsoptik angeordnet sein kann. Die Anordnung ei-

nes derartigen Feldfacettenspiegels in der Feldebene muss nicht exakt sein. Beim zweiten Facettenspiegel kann es sich um einen Pupillenfacettenspiegel handeln, der im Bereich einer Pupillenebene der Beleuchtungsoptik angeordnet ist. Die Anordnung des Pupillenfacettenspiegels in der Pupillenebene muss nicht exakt sein. Bei der Hauptstrahl-Inzidenz auf dem Objektfeld handelt es sich um den Einfallswinkel eines Hauptstrahls des Beleuchtungslichts, insbesondere des Hauptstrahls eines zentralen Objektfeldpunktes, auf dem Objektfeld. Der Beleuchtungslicht-Fallenabschnitt kann abschnittsweise oder komplett um das Facetten-Anordnungszentrum herum angeordnet sein.

[0006] Unerwünschte thermische beziehungsweise optische Auswirkungen des Störlichts sind durch die erfindungsgemäße Beleuchtungsoptik vermieden. Insbesondere ist störendes Streulicht vermieden.

[0007] Der erfindungsgemäße Beleuchtungslicht-Fallenabschnitt kann mit einer aktiven und/oder passiven Kühleinrichtung beziehungsweise einem Kühlkörper zum Abführen von Wärmeenergie in thermischem Kontakt stehen beziehungsweise an diesen thermisch angekoppelt sein.

[0008] Eine absorbierende Ausführung nach Anspruch 2 kann durch eine Beschichtung und/oder durch eine Werkstoffauswahl des Beleuchtungslicht-Fallenabschnitts erreicht werden.

[0009] Als Beschichtung kann eine rein absorbierende Beschichtung zum Einsatz kommen, beispielsweise eine stark absorbierende Schicht, die je nach den zu absorbierenden Wellenlängen aus Ag, Pt, Co, Ni, Sn, Cu, Te, aus Legierungen dieser Materialien oder aus Oxiden dieser Materialien bestehen kann. Eine derartige Beschichtung kann chemisch oder galvanisch erzeugt werden. Auch durch Schwärzung kann eine derartige Beschichtung erzeugt werden. Als chemisch erzeugte Beschichtung kann eine chemisch vernickelt geschwärzte Beschichtung, eine (zum Beispiel schwarz oder blau) gebeizte Beschichtung oder eine verchromte Beschichtung zum Einsatz kommen. Es können beispielsweise nicht-rostende Chrom-Stähle beziehungsweise Chrom-Nickel-Stähle zum Einsatz kommen, die gebeizt werden, was auch als Niro-Beizen bezeichnet wird. Als galvanisch erzeugte Beschichtung kann eine schwarz verchromte, vernickelte, eloxierte oder plasmachemisch oxidierte (PCO) Beschichtung zum Einsatz kommen. Eine absorbierende Ausführung des Beleuchtungslicht-Fallenabschnitts kann auch durch Verwendung mindestens eines absorbierenden Materials einschließlich einer Antireflexschicht realisiert sein. Die Antireflexschicht kann je nach Einfallswinkel und Wellenlänge spezifisch ausgeführt sein. Eine absorbierende Ausführung kann auch als poröse und/oder ko-

lumnaire Schicht realisiert sein. Eine absorbierende Wirkung kann sich hierbei dadurch ergeben, dass in Folge der jeweiligen Materialstruktur das Licht intrinsisch absorbiert wird. Dies kann wellenlängen- und beleuchtungswinkelunabhängig erfolgen. Als Werkstoff kann Nickel, Stahl, Aluminium, Kupfer, Magnesium oder Silber zum Einsatz kommen. Der Beleuchtungslicht-Fallenabschnitt kann komplett für das Beleuchtungslicht absorbierend ausgeführt sein.

[0010] Eine Strukturierung nach Anspruch 3 kann zu einer Abführung unerwünschter Lichtanteile durch kontrollierte Streuung genutzt werden. Ein Struktur-Neigungswinkel von Strukturen eines entsprechend strukturierten Beleuchtungslicht-Fallenabschnitts kann einen Wert von bis zu 60° haben. Die Strukturierung kann durch eine Riffelung erfolgen.

[0011] Die Riffelung kann in Bezug auf das Facetten-Anordnungszentrum radial und/oder tangential verlaufend ausgeführt sein. Die Oberfläche des Beleuchtungslicht-Fallenabschnitts kann zur Erzeugung der Streuwirkung für das Beleuchtungslicht komplett strukturiert sein.

[0012] Eine Mehrfachreflexionsstruktur nach Anspruch 4 führt zu einer effektiven Abführung unerwünschter Lichtanteile. Die Mehrfachreflexionsstruktur kann nach Art eines Labyrinths ausgeführt sein. Der Beleuchtungslicht-Fallenabschnitt kann komplett als Mehrfachreflexionsstruktur ausgeführt sein.

[0013] Lokale Fallen-Zielbereiche nach Anspruch 5 können speziell thermisch an Kühlkomponenten des zweiten Spiegelträgers angekoppelt sein. Zum kontrollierten Abführen nicht benötigter Beleuchtungslichtanteile können dann die ersten Facetten in ihrer jeweiligen Abführ-Kippstellung die nicht benötigten Lichtanteile gezielt zu den lokalen Fallen-Zielbereichen lenken. Die lokalen Fallen-Zielbereiche können durch absorbierende und/oder mehrfach reflektierende Strukturen ausgebildet sein. Die lokalen Fallen-Zielbereiche können durch Absorptions-Zielorte beziehungsweise Absorptionsspots und/oder durch Hinterschneidungen mit Eintrittsöffnungen gebildet sein.

[0014] Eine Ausführung des Beleuchtungslicht-Fallenabschnitts nach Anspruch 6 ermöglicht eine kontrollierte Abführung von Beleuchtungslicht durch Reflexion weg von einem zur Beleuchtung genutzten Strahlengang. Ein Neigungswinkel der geneigten Reflexionsfläche zur Trägerebene kann im Bereich zwischen 5° und 60° liegen und beispielsweise im Bereich zwischen 5° und 15°, im Bereich zwischen 15° und 30°, im Bereich zwischen 30° und 45°, im Bereich zwischen 45° bis 60° und beispielsweise im Bereich von 30° liegen. Eine in Bezug auf eine Trägerebene des zweiten Spiegelträgers geneigte Fläche des Beleuchtungslicht-Fallenabschnitts kann alternativ oder

zusätzlich auch für das Beleuchtungslicht abschnittsweise oder komplett absorbierend ausgeführt sein.

[0015] Eine konische Anordnung nach Anspruch 7 lässt sich mit vergleichsweise geringem Aufwand fertigen. Eine derartige konische Anordnung kann alternativ oder zusätzlich zu einer Reflexionsfläche auch als absorbierende Fläche ausgeführt sein.

[0016] Bei der Gestaltung einer Beleuchtungsoptik mit einem Beleuchtungslicht-Fallenabschnitt nach Anspruch 8 wird ein Bereich innerhalb der Anordnung der zweiten Facetten spezifisch für einen erhöhten Wärmetransport ausgerüstet. Bei derartigen Beleuchtungslicht-Fallenabschnitten kann es sich um Spezialfacetten oder um spezifische Bereiche innerhalb einer Facettenanordnung des zweiten Facettenspiegels handeln. Es können alle der ersten Facetten des ersten Facettenspiegels zwischen mehreren Kippstellungen umkehrbar sein. Bei dem Fallen-Kühlkörper kann es sich um einen Kühlkörper handeln, der zu einem sonstigen Spiegel-Kühlkörper separat angeordnet ist, oder alternativ zum einen Abschnitt des Spiegel-Kühlkörpers.

[0017] Die Vorteile eines zweiten Facettenspiegels nach Anspruch 9, eines optischen Systems nach Anspruch 10 oder 11, einer Projektionsbelichtungsanlage nach Anspruch 12, eines Herstellungsverfahrens nach Anspruch 13 und eines mikro- beziehungsweise nanostrukturierten Bauteils nach Anspruch 14 entsprechen denjenigen, die vorstehend unter Bezugnahme auf die erfindungsgemäße Beleuchtungsoptik und das erfindungsgemäße Zuordnungs-Vorgabeverfahren bereits erläutert wurden. Bei dem Bauteil kann es sich um einen Halbleiterchip, insbesondere um einen Speicherchip handeln.

[0018] Die Projektionsbelichtungsanlage kann einen Objekthalter mit einem Objektverlagerungsantrieb zur Verlagerung des abzubildenden Objektes längs einer Objektverlagerungsrichtung aufweisen. Die Projektionsbelichtungsanlage kann einen Waferhalter mit einem Waferverlagerungsantrieb zur Verlagerung eines Wafers, auf den eine Struktur des abzubildenden Objektes abzubilden ist, längs einer Bildverlagerungsrichtung aufweisen. Die Objektverlagerungsrichtung kann parallel zur Bildverlagerungsrichtung verlaufen.

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

[0020] Fig. 1 schematisch und in Bezug auf eine Beleuchtungsoptik im Meridionalschnitt eine Projektionsbelichtungsanlage für die Mikrolithografie;

[0021] Fig. 2 eine Ansicht einer Facettenanordnung eines Feldfacettenspiegels der Beleuchtungs-

optik der Projektionsbelichtungsanlage nach **Fig. 1** in der Ausführung „Rechteckfeld“;

[0022] **Fig. 3** in einer zu **Fig. 2** ähnlichen Darstellung eine Facettenanordnung einer weiteren Ausführung eines Feldfacettenspiegels in der Ausführung „Bogenfeld“;

[0023] **Fig. 4** stark schematisch und beispielhaft eine Ansicht einer Facettenanordnung auf einem gebrochen dargestellten Spiegelträger eines Pupillenfacettenspiegels der Beleuchtungsoptik der Projektionsbelichtungsanlage nach **Fig. 1**, wobei von dem Spiegelträger randseitig lediglich ein Quadrant dargestellt ist und der Spiegelträger randseitig einen umlaufenden Beleuchtungslicht-Fallenabschnitt aufweist;

[0024] **Fig. 5** einen radialen Schnitt gemäß Linie V-V durch einen lokalen Fallen-Zielbereich einer Ausführung des Beleuchtungslicht-Fallenabschnitts, wobei der Fallen-Zielbereich als Absorptions-Zielort beziehungsweise Absorptionsspot ausgeführt ist;

[0025] **Fig. 6** einen Schnitt gemäß Linie VI-VI in **Fig. 4**, ausgeführt als Teilumfangsschnitt, durch eine weitere Ausführung eines Beleuchtungslicht-Fallenabschnitts mit strukturierter Oberfläche, wobei als Strukturbeispiel eine radial verlaufende Riffelung vorgesehen ist;

[0026] **Fig. 7**, **Fig. 8A** und **Fig. 8B** Schnitte gemäß den Linien VII-VII und VIII-VIII in **Fig. 4** durch zwei weitere Ausführungen des Beleuchtungslicht-Fallenabschnitts, jeweils ausgeführt als Mehrfachreflexionsstruktur;

[0027] **Fig. 9** perspektivisch, schematisch und vergrößert, gesehen von einem Facetten-Anordnungszentrum her, eine weitere Ausführung eines lokalen Fallen-Zielbereichs für eine entsprechende Ausführung eines Beleuchtungslicht-Fallenabschnitts im Bereich einer Hinterschneidung mit einer Beleuchtungslicht-Eintrittsöffnung;

[0028] **Fig. 10** in einem gebrochenen Axialschnitt eine Ausführung eines Pupillenfacettenspiegels mit einer weiteren Ausführung eines Beleuchtungslicht-Fallenabschnitts mit einer in Bezug auf eine Trägerebene des Spiegelträgers geneigten Reflexionsfläche, die konisch um ein Facetten-Anordnungszentrum des Pupillenfacettenspiegels herum angeordnet ist; und

[0029] **Fig. 11** eine weitere Ausführung einer Facetten-Anordnung eines Pupillenfacettenspiegels mit einem um die Facettenanordnung herum angeordneten Beleuchtungslicht-Fallenabschnitt, der gebrochen im Bereich etwa des halben Umfangs um die Facettenanordnung gezeigt ist.

[0030] Eine Projektionsbelichtungsanlage **1** für die Mikrolithografie dient zur Herstellung eines mikrobeziehungsweise nanostrukturierten elektronischen Halbleiter-Bauelements. Eine Lichtquelle **2** emittiert zur Beleuchtung genutzte EUV-Strahlung im Wellenlängenbereich beispielsweise zwischen 5 nm und 30 nm. Bei der Lichtquelle **2** kann es sich um eine GD-PP-Quelle (Plasmaerzeugung durch Gasentladung, gas discharge produced plasma) oder um eine LPP-Quelle (Plasmaerzeugung durch Laser, laser produced plasma) handeln. Auch eine Strahlungsquelle, die auf einem Synchrotron oder einem Freien Elektronen Laser (FEL) basiert, ist für die Lichtquelle **2** einsetzbar. Informationen zu einer derartigen Lichtquelle findet der Fachmann beispielsweise in der US 6 859 515 B2. Zur Beleuchtung und Abbildung innerhalb der Projektionsbelichtungsanlage **1** wird EUV-Beleuchtungslicht beziehungsweise Beleuchtungsstrahlung in Form eines Abbildungslicht-Bündels **3** genutzt. Das Abbildungslicht-Bündel **3** durchläuft nach der Lichtquelle **2** zunächst einen Kollektor **4**, bei dem es sich beispielsweise um einen genesteten Kollektor mit einem aus dem Stand der Technik bekannten Mehrschalen-Aufbau oder alternativ um einen, dann hinter der Lichtquelle **2** angeordneten ellipsoidalen geformten Kollektor handeln kann. Ein entsprechender Kollektor ist aus der EP 1 225 481 A bekannt. Nach dem Kollektor **4** durchtritt das EUV-Beleuchtungslicht **3** zunächst eine Zwischenfokusebene **5**, was zur Trennung des Abbildungslicht-Bündels **3** von unerwünschten Strahlungs- oder Partikelanteilen genutzt werden kann. Nach Durchlaufen der Zwischenfokusebene **5** trifft das Abbildungslicht-Bündel **3** zunächst auf einen Feldfacettenspiegel **6**. Der Feldfacettenspiegel **6** stellt einen ersten Facettenspiegel der Projektionsbelichtungsanlage **1** dar. Der Feldfacettenspiegel **6** hat eine Mehrzahl von Feldfacetten, die auf einem ersten Spiegelträger **6a** angeordnet sind.

[0031] Zur Erleichterung der Beschreibung von Lagebeziehungen ist in der Zeichnung jeweils ein kartesisches globales xyz-Koordinatensystem eingezeichnet. Die x-Achse verläuft in der **Fig. 1** senkrecht zur Zeichenebene und aus dieser heraus. Die y-Achse verläuft in der **Fig. 1** nach rechts. Die z-Achse verläuft in der **Fig. 1** nach oben.

[0032] Zur Erleichterung der Beschreibung von Lagebeziehungen bei einzelnen optischen Komponenten der Projektionsbelichtungsanlage **1** wird in den nachfolgenden Figuren jeweils auch ein kartesisches lokales xyz- oder xy-Koordinatensystem verwendet. Die jeweiligen lokalen xy-Koordinaten spannen, soweit nichts anderes beschrieben ist, eine jeweilige Hauptanordnungsebene der optischen Komponente, beispielsweise eine Reflexionsebene, auf. Die x-Achsen des globalen xyz-Koordinatensystems und der lokalen xyz- oder xy-Koordinatensysteme verlaufen parallel zueinander. Die jeweiligen y-Achsen der lo-

kalen xyz- oder xy-Koordinatensysteme haben einen Winkel zur y-Achse des globalen xyz-Koordinatensystems, die einem Kippwinkel der jeweiligen optischen Komponente um die x-Achse entspricht.

[0033] Fig. 2 zeigt beispielhaft eine Facettenanordnung von Feldfacetten 7 des Feldfacettenspiegels 6 in der Ausführung „Rechteckfeld“. Die Feldfacetten 7 sind rechteckig und haben jeweils das gleiche x/y-Aspektverhältnis. Das x/y-Aspektverhältnis kann beispielsweise 12/5, kann 25/4, kann 104/8, kann 20/1 oder kann 30/1 betragen.

[0034] Die Feldfacetten 7 geben eine Reflexionsfläche des Feldfacettenspiegels 6 vor und sind in vier Spalten zu je sechs bis acht Feldfacettengruppen 8a, 8b gruppiert. Die Feldfacettengruppen 8a haben jeweils sieben Feldfacetten 7. Die beiden zusätzlichen randseitigen Feldfacettengruppen 8b der beiden mittleren Feldfacettenspalten haben jeweils vier Feldfacetten 7. Zwischen den beiden mittleren Facettenspalten und zwischen der dritten und vierten Facettenzeile weist die Facettenanordnung des Feldfacettenspiegels 6 Zwischenräume 9 auf, in denen der Feldfacettenspiegel 6 durch Haltespeichen des Kollektors 4 abgeschattet ist. Soweit eine LPP-Quelle als die Lichtquelle 2 zum Einsatz kommt, kann sich eine entsprechende Abschattung auch durch einen Zinntröpfchen-Generator ergeben, der benachbart zum Kollektor 4 angeordnet und in der Zeichnung nicht dargestellt ist.

[0035] Fig. 3 zeigt eine weitere Ausführung „Bogenfeld“ eines Feldfacettenspiegels 6. Komponenten, die denjenigen entsprechen, die vorstehend unter Bezugnahme auf den Feldfacettenspiegel 6 nach Fig. 2 erläutert wurden, tragen die gleichen Bezugsziffern und werden nur erläutert, soweit sie sich von den Komponenten des Feldfacettenspiegels 6 nach Fig. 2 unterscheiden.

[0036] Der Feldfacettenspiegel 6 nach Fig. 3 hat eine Feldfacettenanordnung mit gebogenen Feldfacetten 7. Diese Feldfacetten 7 sind in insgesamt fünf Spalten mit jeweils einer Mehrzahl von Feldfacettengruppen 8 angeordnet. Die Feldfacettenanordnung ist in eine kreisförmige Begrenzung des Spiegelträgers 6a des Feldfacettenspiegels 6 eingeschrieben.

[0037] Die Feldfacetten 7 der Ausführung nach Fig. 3 haben alle die gleiche Fläche und das gleiche Verhältnis von Breite in x-Richtung und Höhe in y-Richtung, welches dem x/y-Aspektverhältnis der Feldfacetten 7 der Ausführung nach Fig. 2 entspricht.

[0038] Die Feldfacetten 7 sind umstellbar zwischen jeweils mehreren verschiedenen Kippstellungen, zum Beispiel umstellbar zwischen drei Kippstellungen. Je nach Ausführung des Feldfacettenspiegels 6 können alle oder auch einige der Feldfacetten

7 auch zwischen zwei oder zwischen mehr als drei verschiedenen Kippstellungen umstellbar sein. Hierzu ist jede der Feldfacetten jeweils mit einem Aktor 7a verbunden, was in der Fig. 2 äußerst schematisch dargestellt ist. Die Aktoren 7a aller verkippbaren Feldfacetten 7 können über eine zentrale Steuereinrichtung 7b, die in der Fig. 2 ebenfalls schematisch dargestellt ist, angesteuert werden.

[0039] Nach Reflexion am Feldfacettenspiegel 6 trifft das in Abbildungslicht-Teilbündel, die den einzelnen Feldfacetten 7 zugeordnet sind, aufgeteilte Abbildungslicht-Bündel 3 auf einen Pupillenfacettenspiegel 10. Das jeweilige Abbildungslicht-Teilbündel des gesamten Abbildungslicht-Bündels 3 ist längs jeweils eines Abbildungslichtkanals geführt, der auch als Ausleuchtungskanal bezeichnet ist.

[0040] Fig. 4 zeigt stark schematisch eine beispielhafte Facettenanordnung von Pupillenfacetten 11 des Pupillenfacettenspiegels 10. Der Pupillenfacettenspiegel 10 stellt einen zweiten Facettenspiegel der Projektionsbelichtungsanlage 1 dar. Die Pupillenfacetten 11 sind auf einer Trägerplatte 10a des Pupillenfacettenspiegels 10 angeordnet. Die Pupillenfacetten 11 sind auf dem Pupillenfacetten-Spiegelträger 10a um ein Facetten-Anordnungszentrum 12 angeordnet. Die Pupillenfacetten 11 sind um das Zentrum 12 herum zeilen- und spaltenweise in einem x/y-Raster angeordnet. Die Pupillenfacetten 11 haben quadratische Reflexionsflächen. Auch andere Formen von Reflexionsflächen sind möglich, zum Beispiel rechteckig, rund oder mehreckig, zum Beispiel sechseckig oder achteckig. Auch rautenförmig angeordnete Pupillenfacetten 11 sind möglich.

[0041] Jedem von einer der Feldfacetten 7 in einer der zum Beispiel drei Kippstellungen reflektierten Abbildungslicht-Teilbündel des EUV-Beleuchtungslichts 3 kann genau eine Pupillenfacette 11 zugeordnet sein, so dass jeweils ein beaufschlagtes Facettenpaar mit genau einer der Feldfacetten 7 und genau einer der Pupillenfacetten 11 den Abbildungslichtkanal für das zugehörige Abbildungslicht-Teilbündel des EUV-Beleuchtungslichts 3 vorgibt. In allen oder in bestimmten Kippstellungen der jeweiligen Feldfacette 7 ist dieser Feldfacette 7 also genau eine Pupillenfacette 11 zum Ablenken des EUV-Beleuchtungslichts 3 in Richtung dieser Pupillenfacette 11 zugeordnet.

[0042] Die kanalweise Zuordnung der Pupillenfacetten 11 zu den Feldfacetten 7 erfolgt abhängig von einer gewünschten Beleuchtung durch die Projektionsbelichtungsanlage 1. Aufgrund der verschiedenen möglichen Feldfacetten-Kippstellungen kann jede der Feldfacetten 7 also verschiedene Abbildungslichtkanäle vorgeben. Über die so vorgegebenen Ausleuchtungskanäle werden die Beleuchtungslicht-Teilbün-

del einander überlagernd in ein Objektfeld der Projektionsbelichtungsanlage **1** geführt.

[0043] Über den Pupillenfacettenspiegel **10** (Fig. 1) und eine nachfolgende, aus drei EUV-Spiegeln **13**, **14**, **15** bestehenden Übertragungsoptik **16** werden die Feldfacetten **7** in eine Objektebene **17** der Projektionsbelichtungsanlage **1** abgebildet. Der EUV-Spiegel **15** ist als Spiegel für streifenden Einfall (Grazing-Incidence-Spiegel) ausgeführt. In der Objektebene **17** ist ein Objekt in Form eines Retikels **18** angeordnet, von dem mit dem EUV-Beleuchtungslicht **3** ein Ausleuchtungsbereich ausgeleuchtet wird, der mit dem Objektfeld **19** einer nachgelagerten Projektionsoptik **20** der Projektionsbelichtungsanlage **1** zusammenfällt. Der Ausleuchtungsbereich wird auch als Beleuchtungsfeld bezeichnet. Das Objektfeld **19** ist je nach der konkreten Ausführung einer Beleuchtungsoptik der Projektionsbelichtungsanlage **1** rechteckig oder bogenförmig. Die Abbildungslichtkanäle werden im Objektfeld **19** überlagert. Das EUV-Beleuchtungslicht **3** wird vom Retikel **18** reflektiert. Das Retikel **18** wird von einem Objekthalter **21** gehalten, der längs der Verlagerungsrichtung y mit Hilfe eines schematisch angedeuteten Objektverlagerungsantriebs **22** angetrieben verlagerbar ist.

[0044] Auf die Übertragungsoptik **16** kann verzichtet werden, sofern der Pupillenfacettenspiegel **10** direkt in einer Eintrittspupille der Projektionsoptik **20** angeordnet ist.

[0045] Die Projektionsoptik **20** bildet das Objektfeld **19** in der Objektebene **17** in ein Bildfeld **23** in einer Bildebene **24** ab. In dieser Bildebene **24** ist ein Wafer **25** angeordnet, der eine lichtempfindliche Schicht trägt, die während der Projektionsbelichtung mit der Projektionsbelichtungsanlage **1** belichtet wird. Der Wafer **25**, also das Substrat, auf welches abgebildet wird, wird von einem Wafer- beziehungsweise Substrathalter **26** gehalten, der längs der Verlagerungsrichtung y mit Hilfe eines ebenfalls schematisch angedeuteten Waferverlagerungsantriebs **27** synchron zur Verlagerung des Objekthalters **21** verlagerbar ist. Bei der Projektionsbelichtung werden sowohl das Retikel **18** als auch der Wafer **25** in der y -Richtung synchronisiert gescannt. Die Projektionsbelichtungsanlage **1** ist als Scanner ausgeführt. Die Scanrichtung y ist die Objektverlagerungsrichtung.

[0046] Der Feldfacetten Spiegel **6**, der Pupillenfacettenspiegel **10** und die Spiegel **13** bis **15** der Übertragungsoptik **16** sind Bestandteile einer Beleuchtungsoptik **28** der Projektionsbelichtungsanlage **1**. Gemeinsam mit der Projektionsoptik **20** bildet die Beleuchtungsoptik **28** ein Beleuchtungssystem der Projektionsbelichtungsanlage **1**.

[0047] Eine jeweilige Gruppe von Pupillenfacetten **11**, die über entsprechende Ausleuchtungskanäle zu-

geordnete Feldfacetten **7** mit dem Beleuchtungslicht **3** beaufschlagt werden, definiert ein jeweiliges Beleuchtungssetting, also eine Beleuchtungswinkelverteilung bei der Beleuchtung des Objektfeldes **19**, die über die Projektionsbelichtungsanlage **1** vorgegeben werden kann. Durch Umstellung der Kippstellungen der Feldfacetten **7** kann zwischen verschiedenen derartigen Beleuchtungssettings gewechselt werden. Beispiele derartiger Beleuchtungssettings sind beschrieben in der WO 2014/075902 A1 und in der WO 2011/154244 A1.

[0048] Am Pupillenfacetten-Spiegelträger randseitig angeordnete Maximalwinkel-Pupillenfacetten **11_M** geben, soweit diese vom Beleuchtungslicht **3** beaufschlagt sind, maximal von einer Hauptstrahl-Inzidenz des Beleuchtungslichts **3** auf dem Objektfeld **19** abweichende, maximale Beleuchtungswinkel des Beleuchtungslichts **3** vor. Bei der Hauptstrahl-Inzidenz auf dem Objektfeld **19** handelt es sich um den Einfallswinkel eines Hauptstrahls des Beleuchtungslichts **3**, insbesondere des Hauptstrahls eines zentralen Objektfeldpunktes, auf dem Objektfeld **19**. Die Maximalwinkel-Pupillenfacetten **11_M** geben einen Wert eines Beleuchtungswinkelparameters σ von 1 vor. 90 % der Energie der hierüber eingestellten Beleuchtungswinkelverteilung liegen dann innerhalb eines Kreises vor, dessen minimaler Radius durch die gesamte Eintrittspupille der Projektionsoptik **20** vorgegeben ist. Die Maximalwinkel-Pupillenfacetten **11_M** sind diejenigen Pupillenfacetten **11** mit in der jeweiligen Umfangsposition größtem Abstand zum Facetten-Anordnungszentrum **12**. Bei der regelmäßigen Rasteranordnung nach Fig. 4 liegen alle Pupillenfacetten **11** innerhalb eines Kreises mit Anordnungs-Maximalradius R_M . Die Maximalwinkel-Pupillenfacetten **11_M** haben an ihrer jeweiligen Umfangsposition um das Anordnungszentrum **12** jeweils den kleinsten Abstand zum Anordnungs-Maximalradius R_M .

[0049] Der Pupillenfacetten-Spiegelträger **10a** hat randseitig umlaufend einen Beleuchtungslicht-Fallenabschnitt **29**, dessen Abstand zum Facetten-Anordnungszentrum **12** größer ist als ein Abstand der Maximalwinkel-Pupillenfacetten **11_M** zum Facetten-Anordnungszentrum **12**. Der Beleuchtungslicht-Fallenabschnitt **29** ist vollumlaufend um das Facetten-Anordnungszentrum **12** als Teil des Pupillenfacetten-Spiegelträgers **10a** ausgeführt. Der Beleuchtungslicht-Fallenabschnitt **29** umgibt die gesamte Facettenanordnung des Pupillenfacettenspiegels **10**, liegt also in radialer Richtung vom Zentrum **12** aus gesehen außen.

[0050] Der Beleuchtungslicht-Fallenabschnitt **29** dient zum kontrollierten Abführen von Beleuchtungslicht **3**, das zur Beleuchtung des Objektfeldes **19** momentan nicht genutzt wird. Derart nicht genutzte Beleuchtungslichtanteile können beispielsweise

von den Feldfacetten **7** in einer Abführ-Kippstellung hin zum Beleuchtungslicht-Fallenabschnitt **29** gelenkt werden.

[0051] Bei einer ersten Ausführung ist der Beleuchtungslicht-Fallenabschnitt **29** zumindest bereichsweise für das Beleuchtungslicht **3** absorbierend ausgeführt.

[0052] Zum kontrollierten Abführen eines Teilbündels des Beleuchtungslichts **3** wird die zu dem zugeordneten Ausleuchtungskanal gehörende Feldfacette **7** so verkippt, dass dieses Beleuchtungslicht-Teilbündel hin zum absorbierenden Beleuchtungslicht-Fallenabschnitt **29** geführt wird. Eine unerwünschte Streuung des abzuführenden Beleuchtungslichts **3** hin zum Objektfeld **19** wird hierdurch vermieden.

[0053] Die absorbierende Wirkung des Beleuchtungslicht-Fallenabschnitts **29** kann durch eine entsprechende absorbierende Beschichtung herbeigeführt werden. Alternativ oder zusätzlich ist es möglich, die absorbierende Wirkung über eine entsprechende Werkstoffauswahl des Beleuchtungslicht-Fallenabschnitts **29** zu gewährleisten. Hierzu kann der Beleuchtungslicht-Fallenabschnitt **29** beispielsweise aus Kupfer ausgeführt sein.

[0054] Bei einer weiteren, alternativ oder zusätzlich möglichen Ausführung des Beleuchtungslicht-Fallenabschnitts **29** ist dessen Oberfläche zur Erzeugung einer Streuwirkung für das Beleuchtungslicht **3** zumindest bereichsweise strukturiert. **Fig. 6** zeigt eine derartige strukturierte Ausführung der Oberfläche des Beleuchtungslicht-Fallenabschnitts **29**. Eine Schnittlinie der **Fig. 6** läuft in Umfangsrichtung durch den Beleuchtungslicht-Fallenabschnitt **29** um das Facetten-Anordnungszentrum **12** herum. Die Strukturierung der Oberfläche ist gebildet als radial verlaufende Riffelung. Ein Struktur-Neigungswinkel α zwischen einer Strukturflanke **30** dieser Riffelung zu einer Trägerebene **31** des Pupillenfacetten-Spiegelträgers **10a** liegt im Bereich zwischen 10° und 60° und liegt im dargestellten Ausführungsbeispiel nach **Fig. 6** bei $52,5^\circ$. Eine Strukturperiode S der Riffelstruktur liegt im Bereich zwischen $0,5\text{ mm}$ und 5 mm .

[0055] Die geriffelte Ausführung des Beleuchtungslicht-Fallenabschnitts **29** führt zu einer gezielten Streuung abzuführenden Beleuchtungslichts **3** so, dass dieses ebenfalls nicht unerwünscht hin zum Objektfeld **19** gelangen kann. **Fig. 7** zeigt eine weitere Ausführung des Beleuchtungslicht-Fallenabschnitts **29**, die ebenfalls alternativ oder zusätzlich zu den vorstehend erläuterten Varianten zum Einsatz kommen kann. Bei der Ausführung nach der **Fig. 7** hat der Beleuchtungslicht-Fallenabschnitt **29** umlaufend um das Facetten-Anordnungszentrum **12** einen Fallen-Eintrittskanal **32**. Beleuchtungslicht (vgl. die beispielhaften Strahlwege **3₁**, **3₂** und **3₃** in der **Fig. 7**),

welches durch den Fallen-Eintrittskanal **32** eintritt, erfährt eine Mehrfachreflexion innerhalb eines torusförmigen Fallenkörpers **33** des Beleuchtungslicht-Fallenabschnitts **29** nach **Fig. 7**. Der Fallenkörper **33** kann von einem ebenfalls umlaufenden Tragrahmen **34** des Pupillenfacetten-Spiegelträgers **10a** getragen werden, der in der **Fig. 7** mit einer gepunkteten Linie dargestellt und in der dargestellten Ausführung im Querschnitt in etwa routenförmig ist.

[0056] Eine Innenwand des Fallenkörpers **33** kann wiederum für das Beleuchtungslicht **3** absorbierend ausgeführt sein. Dies kann wiederum über eine Beschichtung, über eine Strukturierung und/oder über eine Werkstoffauswahl erfolgen.

[0057] **Fig. 8A** zeigt eine weitere Ausführung einer Mehrfachreflexionsstruktur, die bei einer entsprechenden Ausführung des Beleuchtungs-Fallenabschnitts **29** zum Einsatz kommen kann. Komponenten und Bezugsziffern, die vorstehend unter Bezugnahme auf die **Fig. 1** bis **Fig. 7** und insbesondere unter Bezugnahme auf die **Fig. 7** bereits erläutert wurden, tragen die gleichen Bezugsziffern und werden nicht nochmals im Einzelnen erläutert.

[0058] Ein Fallenkörper **33** des Beleuchtungslicht-Fallenabschnitts **29** nach **Fig. 8** ist wiederum umlaufend um das Facetten-Anordnungszentrum **12** des hiermit ausgerüsteten Pupillenfacettenspiegels **10** ausgeführt. In der wiederum radial geführten Schnittdarstellung nach **Fig. 8** hat der umlaufende Fallenkörper **33** eine gebogene Sacknutgestaltung. Je nach Ausführung des Fallenkörpers **33** nach **Fig. 8** kann eine Biegung dieser Sacknutgestaltung hin zum Facetten-Anordnungszentrum **12** oder von diesem weg ausgeführt sein. Die Sacknutgestaltung bewirkt wiederum eine Mehrfachreflexion von durch den Fallen-Eintrittskanal **32** eindringenden Strahlen **3₁**, **3₂** und **3₃** des Beleuchtungslichts **3**.

[0059] **Fig. 8B** zeigt eine weitere Ausführung einer Mehrfachreflexionsstruktur, die bei einer entsprechenden Ausführung des Beleuchtungs-Fallenabschnitts **29** zum Einsatz kommen kann. Komponenten und Bezugsziffern, die vorstehend unter Bezugnahme auf die **Fig. 1** bis **Fig. 7**, **Fig. 8A** und die insbesondere unter Bezugnahme auf die **Fig. 7** und **Fig. 8A** bereits erläutert wurden, tragen die gleichen Bezugsziffern und werden nicht nochmals im Einzelnen erläutert.

[0060] In der **Fig. 8B** ist ähnlich wie in den **Fig. 7** und **Fig. 8A** der Querschnitt eines umlaufenden Fallenkörpers angedeutet, der als im Querschnitt im Wesentlichen V-förmige Umfangsnut mit zwei diesen V-Querschnitt quer erweiternden hohlen Umfangsrippen ausgeführt ist. Licht, welches von oben in den Beleuchtungslicht-Fallenabschnitt **29** nach **Fig. 8B** einfällt, wird mehrfach am V-Querschnitt und/oder inner-

halb der Quer-Rippen reflektiert und dabei absorbiert und abgeführt.

[0061] Die vorstehend erläuterten Ausführungen des Beleuchtungslicht-Fallenabschnitts **29** sind jeweils so ausgeführt, dass deren beleuchtungslicht-abführende Wirkung um den gesamten Umfangsverlauf des Beleuchtungslicht-Fallenabschnitts **29** herum gleichmäßig ist. Alternativ oder zusätzlich kann der Beleuchtungslicht-Fallenabschnitt **29** zumindest einige lokale Fallen-Zielbereiche aufweisen.

[0062] Anhand der **Fig. 4** und **Fig. 5** wird nachfolgend eine erste Ausführung eines solchen lokalen Fallen-Zielbereichs **35** beschrieben. Der Fallen-Zielbereich **35** hat einen lokalen Absorptions-Zielort **36**, der auch als Absorptionsspot bezeichnet ist. Am Absorptions-Zielort **36** ist in den Beleuchtungslicht-Fallenabschnitt **29** ein Absorptionskörper **37** eingelassen. Dieser ist aus einem für das Beleuchtungslicht **3** absorbierenden Material. Der Absorptionskörper **37** steht in termischem Kontakt mit einem Kühlkörper **38** des Pupillenfacetten-Spiegelträgers **10a**. Letzterer kann lokal jeweils einem der Absorptionskörper **37** zugeordnet sein oder insgesamt umlaufend um das Facetten-Anordnungszentrum **12** vorliegen.

[0063] Der Beleuchtungslicht-Fallenabschnitt **29** kann eine Mehrzahl derartiger Fallen-Zielbereiche **35** aufweisen, zum Beispiel acht, zehn, zwanzig, fünf- und zwanzig, dreißig, vierzig oder fünfzig derartiger Fallen-Zielbereiche **35**. Auch eine noch größere Anzahl derartiger Fallen-Zielbereiche **35** ist möglich. Auch eine kleinere Anzahl derartiger Fallen-Zielbereiche, zum Beispiel vier oder sechs Fallen-Zielbereiche, ist möglich.

[0064] Der Kühlkörper **38** kann eine passive und/oder eine aktive Kühlung des Absorptionskörpers **37** bereitstellen. Bei der aktiven Kühlung kann es sich um eine Fluidkühlung, also um eine Kühlung auf Basis eines Gases und/oder einer Flüssigkeit als Wärmeträgermedium handeln. Bei der passiven Kühlungsvariante kann der Kühlkörper **38** an eine Umgebung des Pupillenfacetten-Spiegelträgers **10a** über Bereiche vergrößerter Oberfläche, beispielsweise über Kühlrippen, thermisch angekoppelt sein.

[0065] **Fig. 9** zeigt eine weitere mögliche Gestaltung eines Fallen-Zielbereichs **39** in einer perspektivischen, schematischen Ansicht, die aus einer Blickrichtung im Wesentlichen um das Facetten-Anordnungszentrum **12** her erfolgt. Eine ebenfalls schematische Aufsicht des Fallen-Zielbereichs **39** zeigt die **Fig. 4**.

[0066] Der Fallen-Zielbereich **39** umfasst eine Fallen-Eintrittsöffnung **40**, die im Bereich einer Hinterschneidung **41** des Beleuchtungslicht-Fallenabschnitts **29** ausgeführt ist. Ein Fallen-Lichtweg eines

Beleuchtungslichtstrahls **3₁** im Fallen-Zielbereich **39** ist in der **Fig. 9** gepunktet dargestellt. Der Beleuchtungslichtstrahl **3₁** tritt durch die Fallen-Eintrittsöffnung **40** in den Beleuchtungslicht-Fallenabschnitt **29** ein und erfährt zunächst eine Reflexion an einem um das Facetten-Anordnungszentrum **12** umlaufenden Nutgrundabschnitt **42** des Beleuchtungslicht-Fallenabschnitts **29** und wird dann an der Hinterschneidung **41** des Fallen-Zielbereichs **39** absorbiert.

[0067] **Fig. 10** zeigt eine weitere Ausführung eines Beleuchtungslicht-Fallenabschnitts **29**. Komponenten, die denjenigen entsprechen, die vorstehend unter Bezugnahme auf die **Fig. 1** bis **Fig. 9** bereits erläutert wurden, tragen die gleichen Bezugsziffern und werden nicht nochmals im Einzelnen erläutert.

[0068] Die **Fig. 10** zeigt den Pupillenfacettenspiegel **10** in einer sowohl außen als auch im Bereich einer inneren Facettenanordnung **43** gebrochenen Darstellung. Die Facettenanordnung **43** des Pupillenfacettenspiegels **10** nach **Fig. 10** hat einen Durchmesser D , der tatsächlich wesentlich größer ist als in der **Fig. 10** dargestellt.

[0069] Der Beleuchtungslicht-Fallenabschnitt **29** ist bei der Ausführung nach **Fig. 10** als eine in Bezug auf die Trägerebene **31** des Pupillenfacetten-Spiegelträgers **10a** geneigte Reflexionsfläche **44** ausgeführt. Ein Neigungswinkel β der geneigten Reflexionsfläche **44** zur Trägerebene **31** liegt im Bereich von 30° . Auch andere Neigungswinkel im Bereich zwischen 5° und 60° sind möglich.

[0070] Die Reflexionsfläche **44** des Beleuchtungslicht-Fallenabschnitts **29** ist konisch um das Facetten-Anordnungszentrum **12** herum angeordnet. **Fig. 10** zeigt Strahlengänge verschiedener Beleuchtungslicht-Einzelstrahlen, die jeweils ausgehend von einer bestimmten Feldfacette **7** hin zum Pupillenfacettenspiegel **10** gelenkt werden. Der Einzelstrahl **3₁** wird zur Beleuchtung des Objektfeldes **19** genutzt und von einer bestimmten Pupillenfacette **11** der Pupillenfacettenanordnung **43** hin zum Objektfeld **19** reflektiert. Der Beleuchtungslicht-Einzelstrahl **3₂** wird von der geneigten Reflexionsfläche **44** des Beleuchtungslicht-Fallenabschnitts **29** so reflektiert, dass er das Objektfeld **19** nicht erreicht, sondern, beispielsweise über einen im Strahlengang des Einzelstrahls **3₂** angeordneten Absorptionskörper absorbiert. Entsprechendes gilt für den weiteren Beleuchtungslicht-Einzelstrahl **3₃**, der ebenfalls nicht zur Beleuchtung des Objektfeldes **19** genutzt wird, sondern durch Reflexion an der geneigten Reflexionsfläche **44** kontrolliert abgeführt wird.

[0071] **Fig. 11** zeigt eine weitere Ausführung einer Facettenanordnung **43** des Pupillenfacettenspiegels **10**. Dort stellt das Facetten-Anordnungszentrum **12** nicht das geometrische Zentrum der Facettena-

nordnung **43** dar. Bei der Beurteilung, ob ein Beleuchtungslicht-Fallenabschnitt **29** bei der Ausführung des Pupillenfacettenspiegels **10** nach **Fig. 11** einen Abstand zum Facetten-Anordnungszentrum **12** aufweist, der größer ist als ein Abstand einer Maximalwinkel-Pupillenfacette **11_M** zum Facetten-Anordnungszentrum **12** ist, wird der Abstand des Beleuchtungslicht-Fallenabschnitts **29** längs des Radius R_M der jeweiligen Maximalwinkel-Pupillenfacette **11_M** herangezogen. Dieser Abstand längs des Radius R_M ist, anders als näherungsweise bei der Ausführung nach **Fig. 4**, über den gesamten Umfang des Beleuchtungslicht-Fallenabschnitts **29** nicht konstant.

[0072] Anhand der **Fig. 4** werden nachfolgend noch zwei weitere Ausführungen von Beleuchtungslicht-Fallenabschnitten **45, 46** erläutert, die alternativ oder zusätzlich zu den vorstehend beschriebenen Ausführungen des Beleuchtungslicht-Fallenabschnitts **29** zum kontrollierten Abführen des Beleuchtungslichts **3** genutzt werden können. Bei diesen weiteren Beleuchtungslicht-Fallenabschnitten **45, 46** ist deren Abstand zum Facetten-Anordnungszentrum **12** höchstens so groß wie ein Abstand einer Maximalwinkel-Pupillenfacette **11_M** zum Facetten-Anordnungszentrum **12**.

[0073] Der Beleuchtungslicht-Fallenabschnitt **45** ist als Gruppe von Spezial-Pupillenfacetten **11_S** ausgeführt, bei denen es sich gleichzeitig um Maximalwinkel-Facetten **11_M** handeln kann. Diese Spezialfacetten **11_S** sind zum Abführen von Wärmeenergie thermisch an einen Fallen-Kühlkörper angekoppelt. Dies kann genauso geschehen, wie vorstehend im Zusammenhang mit dem Fallen-Zielbereich **35** nach den **Fig. 4** und **Fig. 5** erläutert. Anstelle des Absorptionskörpers **37** tritt dann die Spezialfacette **11_S**, die thermisch an den Fallen-Kühlkörper **38** angekoppelt ist. Mögliche Anordnungsbeispiele für die Spezialfacetten **11_S** sind in der **Fig. 4** durch angekreuzte Pupillenfacetten **11** angedeutet. Auch andere Anordnungen für die Spezialfacetten **11_S** sind möglich, beispielsweise in nicht durch Beleuchtungsfacetten belegten Zwischenbereichen innerhalb der Pupille, zum Beispiel direkt benachbart den in der **Fig. 4** angekreuzten Pupillenfacetten **11** oder im Bereich des Facetten-Anordnungszentrums **12**.

[0074] Der Beleuchtungslicht-Fallenabschnitt **46** ist als spezifischer Fallenbereich als Bestandteil der Facettenanordnung **43** ausgeführt. Dieser spezifische Fallenbereich **46** kann die Fläche einer Mehrzahl von Pupillenfacetten **11** und beispielsweise einer Mehrzahl von Maximalwinkel-Pupillenfacetten **11_M** einnehmen. Der Fallen-Spezialbereich **46** ist wiederum zum Abführen von Wärmeenergie thermisch an einen Fallen-Kühlkörper nach Art des Kühlkörpers **38** nach **Fig. 5** angekoppelt. Mögliche Anordnungen von Fallen-Spezialbereichen **46** sind in der **Fig. 4** durch gestrichelte Umfangslinien angedeutet.

[0075] Zur kontrollierten Lichtabführung über die Beleuchtungslicht-Fallenabschnitte **45, 46** werden wiederum Feldfacetten **7** gesteuert so verkippt, dass das abzuführende Beleuchtungslicht **3** über diese Feldfacetten **7** auf die Beleuchtungslicht-Fallenabschnitte **45, 46** trifft und dort absorbiert wird.

[0076] Mithilfe der vorstehend erläuterten Beleuchtungslicht-Fallenabschnitte können auch unerwünschte längerwellige Lichtanteile kontrolliert abgeführt werden.

[0077] Bei der Projektionsbelichtung werden zunächst das Retikel **18** und der Wafer **25**, der eine für das Beleuchtungslicht **3** lichtempfindliche Beschichtung trägt, bereitgestellt. Durch Vergleich der eingestellten Ist-Beleuchtungsparameter mit Sollwerten wird entschieden, ob Teile des Beleuchtungslichts **3** über die jeweilige Ausführung eines Beleuchtungslicht-Fallenabschnitts **29, 45** und/oder **46** abgeführt werden soll. Sobald eine derartige kontrollierte Abführung des Beleuchtungslichts **3** erfolgen soll, werden die hierfür ausgewählten Feldfacetten **7** so verkippt, dass das hierüber geführte Beleuchtungslicht **3** hin zu den Beleuchtungslicht-Fallenabschnitten **29, 45** beziehungsweise **46** gelenkt wird. Anschließend wird ein Abschnitt des Retikels **18** auf den Wafer **25** mit Hilfe der Projektionsbelichtungsanlage **1** projiziert. Schließlich wird die mit dem Beleuchtungslicht **3** belichtete lichtempfindliche Schicht auf dem Wafer **25** entwickelt. Auf diese Weise wird ein mikro- beziehungsweise nanostrukturiertes Bauteil, beispielsweise ein Halbleiterchip, hergestellt.

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

- WO 2011/154244 A1 [0002, 0047]
- WO 2014/075902 A1 [0002, 0047]
- US 6859515 B2 [0030]
- EP 1225481 A [0030]

Patentansprüche

1. Beleuchtungsoptik (28) für die EUV-Projektionslithographie zur Beleuchtung eines Objektfeldes (19) mit Beleuchtungslicht (3),

– mit einem in einem Strahlengang des Beleuchtungslichts (3) ersten Facettenspiegel (6) mit einer Mehrzahl von ersten Facetten (7), die auf einem ersten Spiegelträger (6a) angeordnet sind,

– wobei mindestens einige der ersten Facetten (7) umstellbar sind zwischen mehreren Kippstellungen,

– mit einem im Strahlengang des Beleuchtungslichts (3) dem ersten Facettenspiegel (6) nachgeordneten zweiten Facettenspiegel (10) mit einer Mehrzahl von zweiten Facetten (11), die auf einem zweiten Spiegelträger (10a) um ein Facetten-Anordnungszentrum (12) angeordnet sind,

– wobei Teilbündel des Beleuchtungslichts (3) jeweils über Ausleuchtungskanäle einander überlagernd in das Objektfeld (19) geführt werden, wobei zu jedem der Ausleuchtungskanäle eine der ersten Facetten (7) und eine der zweiten Facetten (11) gehört,

– wobei am zweiten Spiegelträger (10a) randseitig zweite Maximalwinkel-Facetten (11_M) angeordnet sind, die maximal von einer Hauptstrahl-Inzidenz auf dem Objektfeld (19) abweichende, maximale Beleuchtungswinkel des Beleuchtungslichts (3) vorgeben,

– wobei der zweite Spiegelträger (10a) einen Beleuchtungslicht-Fallenabschnitt (29; 45; 46) aufweist, dessen Abstand zum Facetten-Anordnungszentrum (12) größer ist als ein Abstand (R_M) der zweiten Maximalwinkel-Facetten (11_M) zum Facetten-Anordnungszentrum (12).

2. Beleuchtungsoptik nach Anspruch 1, **dadurch gekennzeichnet**, dass der Beleuchtungslicht-Fallenabschnitt (29) zumindest abschnittsweise für das Beleuchtungslicht (3) absorbierend ausgeführt ist.

3. Beleuchtungsoptik nach Anspruch 1 oder 2, **dadurch gekennzeichnet**, dass eine Oberfläche des Beleuchtungslicht-Fallenabschnitts (29) zur Erzeugung einer Streuwirkung für das Beleuchtungslicht (3) zumindest bereichsweise strukturiert ist.

4. Beleuchtungsoptik nach einem der Ansprüche 1 bis 3, **dadurch gekennzeichnet**, dass der Beleuchtungslicht-Fallenabschnitt (29) zumindest bereichsweise eine Mehrfachreflexionsstruktur (33) aufweist.

5. Beleuchtungsoptik nach einem der Ansprüche 1 bis 4, **dadurch gekennzeichnet**, dass der Beleuchtungslicht-Fallenabschnitt (29) zumindest einige lokale Fallen-Zielbereiche (35; 39) aufweist.

6. Beleuchtungsoptik nach einem der Ansprüche 1 bis 5, **dadurch gekennzeichnet**, dass der Beleuchtungslicht-Fallenabschnitt (29) mindestens eine in Bezug auf eine Trägerebene (31) des zweiten

Spiegelträgers (10a) geneigte Reflexionsfläche (44) aufweist.

7. Beleuchtungsoptik nach Anspruch 6, **dadurch gekennzeichnet**, dass die Reflexionsfläche (44) des Beleuchtungslicht-Fallenabschnitts (29) konisch um das Facetten-Anordnungszentrum (12) herum angeordnet ist.

8. Beleuchtungsoptik (28) für die EUV-Projektionslithographie zur Beleuchtung eines Objektfeldes (19) mit Beleuchtungslicht (3),

– mit einem in einem Strahlengang des Beleuchtungslichts (3) ersten Facettenspiegel (6) mit einer Mehrzahl von ersten Facetten (7), die auf einem ersten Spiegelträger (6a) angeordnet sind,

– wobei mindestens einige der ersten Facetten (7) umstellbar sind zwischen mehreren Kippstellungen,

– mit einem im Strahlengang des Beleuchtungslichts (3) dem ersten Facettenspiegel (6) nachgeordneten zweiten Facettenspiegel (10) mit einer Mehrzahl von zweiten Facetten (11), die auf einem zweiten Spiegelträger (10a) um ein Facetten-Anordnungszentrum (12) angeordnet sind,

– wobei Teilbündel des Beleuchtungslichts (3) jeweils über Ausleuchtungskanäle einander überlagernd in das Objektfeld (19) geführt werden, wobei zu jedem der Ausleuchtungskanäle eine der ersten Facetten (7) und eine der zweiten Facetten (11) gehört,

– wobei am zweiten Spiegelträger (10a) randseitig angeordnete zweite Maximalwinkel-Facetten (11_M) maximal von einer Hauptstrahl-Inzidenz auf dem Objektfeld (19) abweichende, maximale Beleuchtungswinkel des Beleuchtungslichts (3) vorgeben,

– wobei der zweite Spiegelträger (10a) einen Beleuchtungslicht-Fallenabschnitt (45; 46) aufweist, dessen Abstand zum Facetten-Anordnungszentrum (12) höchstens so groß ist wie ein Abstand der Maximalwinkel-Facetten (11_M) zum Facetten-Anordnungszentrum (12),

– wobei der Beleuchtungslicht-Fallenabschnitt (45, 46) zum Abführen von Wärmeenergie thermisch an einen Fallen-Kühlkörper (38) angekoppelt ist.

9. Zweiter Facettenspiegel (10) mit mindestens einem Beleuchtungslicht-Fallenabschnitt (29; 45; 46) zum Einsatz in einer Beleuchtungsoptik (28) nach einem der Ansprüche 1 bis 8.

10. Optisches System mit einer Beleuchtungsoptik (28) nach einem Ansprüche 1 bis 8 und mit einer Projektionsoptik (20) zur Abbildung des Objektfeldes (19) in ein Bildfeld (23).

11. Optisches System mit einer Beleuchtungsoptik (28) nach einem der Ansprüche 1 bis 8 und mit einer Lichtquelle (2) zur Erzeugung des Beleuchtungslichts (3).

12. Projektionsbelichtungsanlage (1) mit einem optischen System nach Anspruch 10 oder 11 und einer Lichtquelle (2) für das Beleuchtungslicht (3).

13. Verfahren zur Herstellung strukturierter Bauelemente mit folgenden Schritten:

- Bereitstellen eines Wafers (25), auf dem zumindest teilweise eine Schicht aus einem lichtempfindlichen Material aufgebracht ist,
- Bereitstellen eines Retikels als Objekt (18), das abzubildende Strukturen aufweist,
- Bereitstellen einer Projektionsbelichtungsanlage (1) nach Anspruch 12,
- Projizieren wenigstens eines Teils des Retikels (18) auf einen Bereich der Schicht des Wafers (25) mit Hilfe der Projektionsbelichtungsanlage (1).

14. Strukturiertes Bauelement, hergestellt nach einem Verfahren nach Anspruch 13.

Es folgen 7 Seiten Zeichnungen

Anhängende Zeichnungen

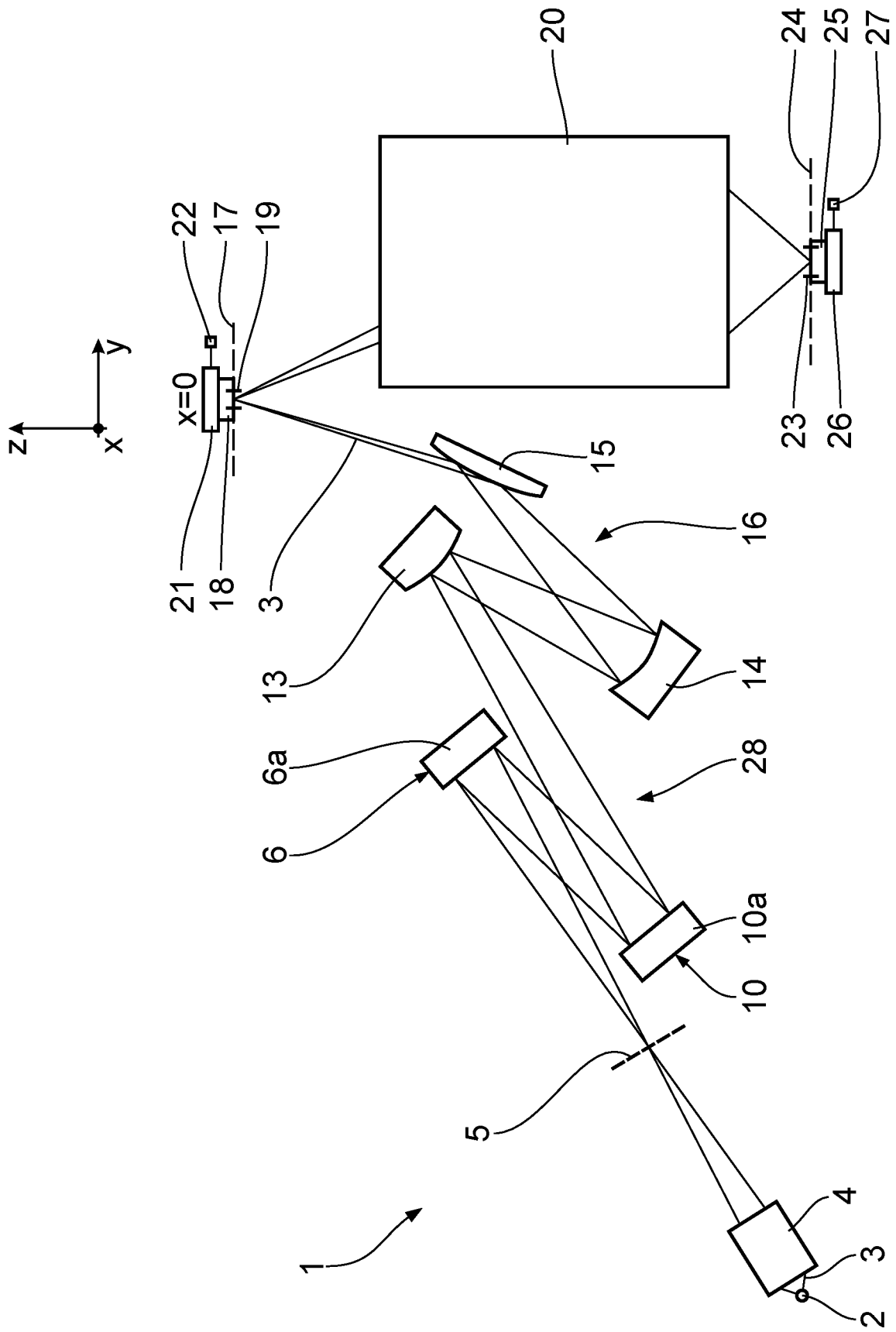


Fig. 1

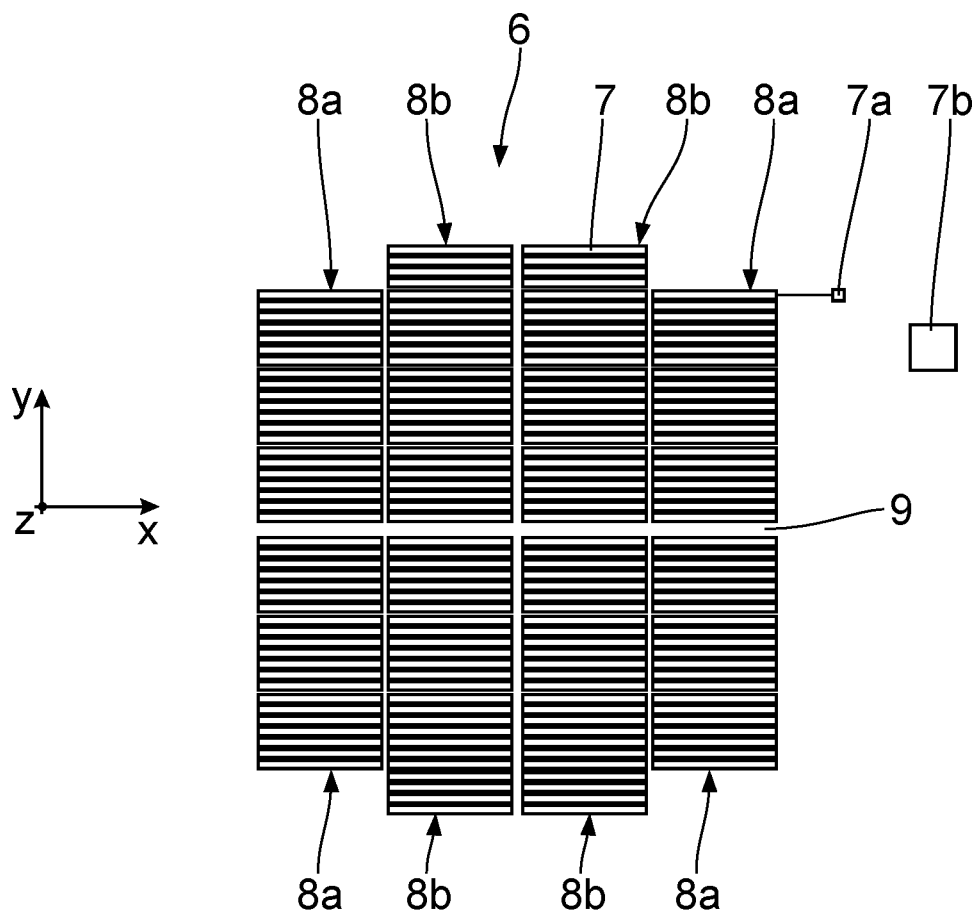


Fig. 2

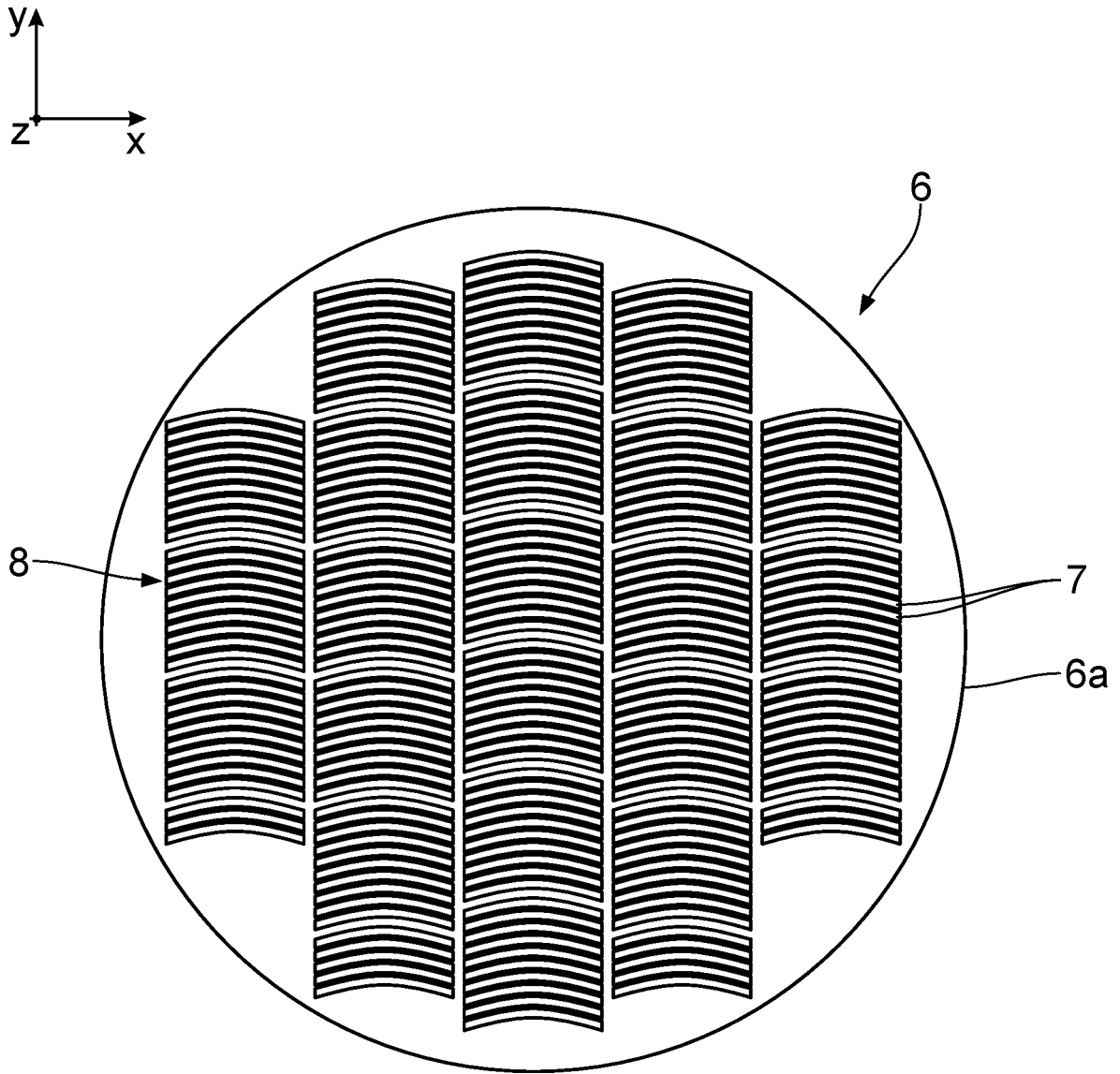


Fig. 3

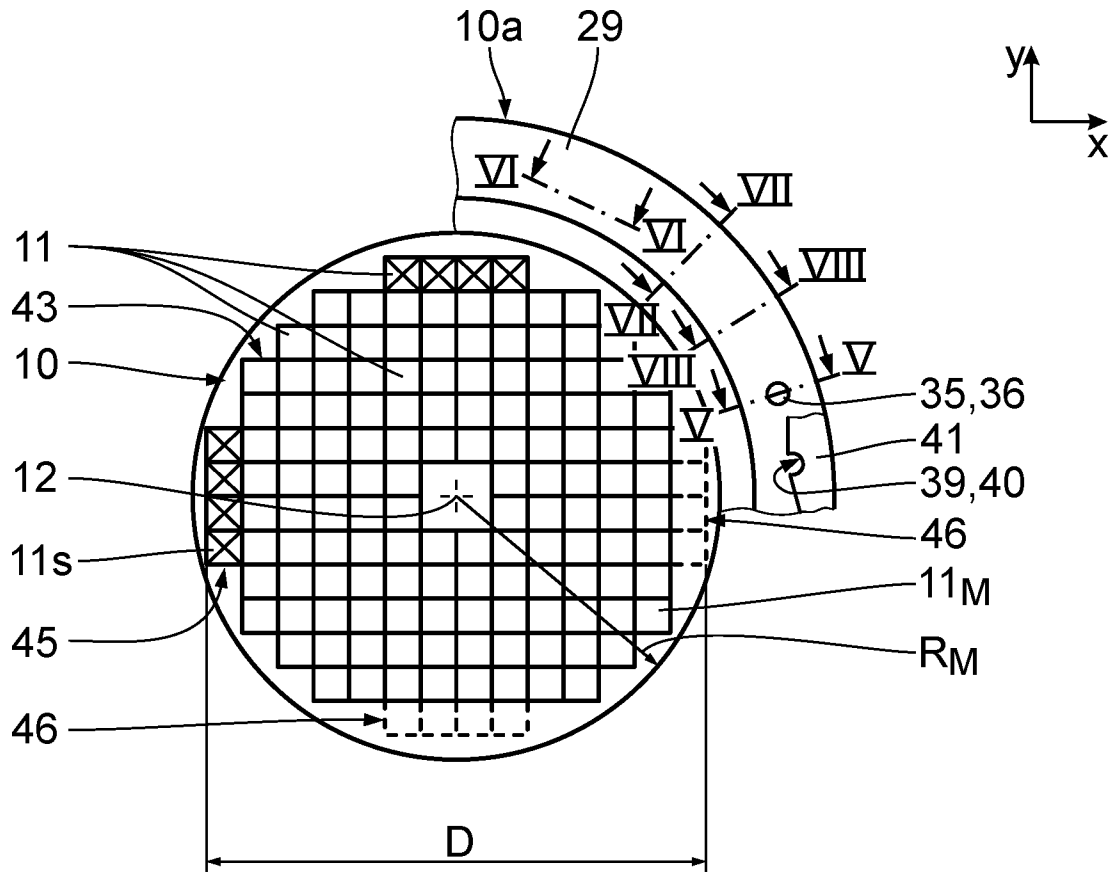


Fig. 4

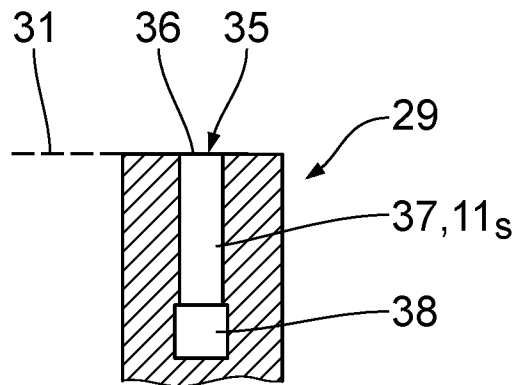


Fig. 5

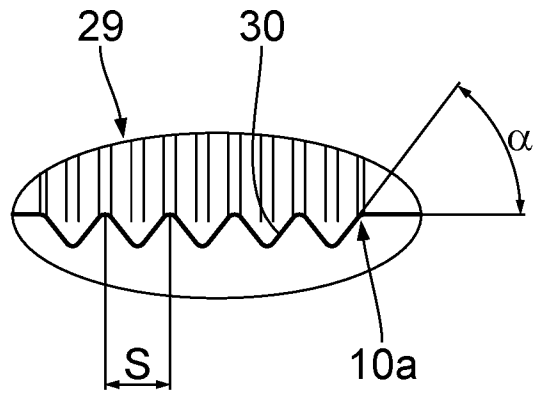


Fig. 6

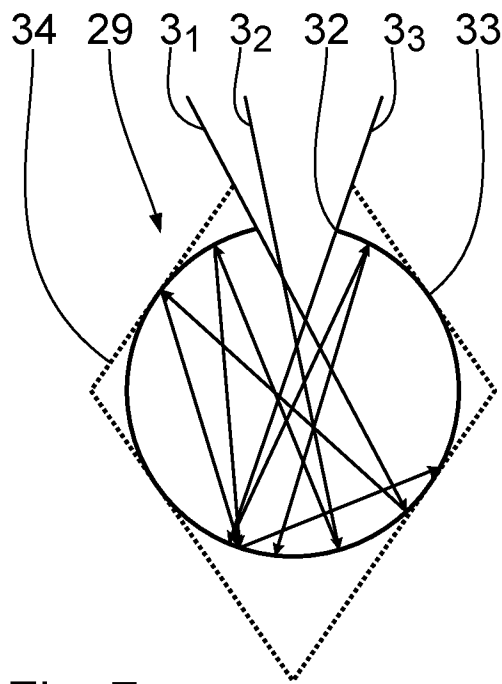


Fig. 7

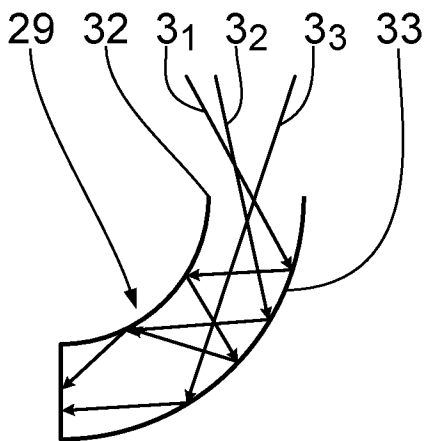


Fig. 8A

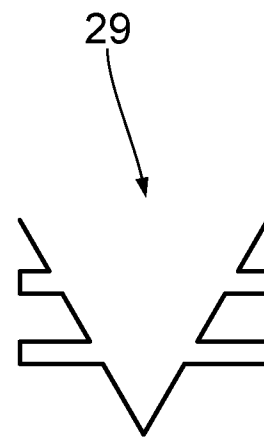


Fig. 8B

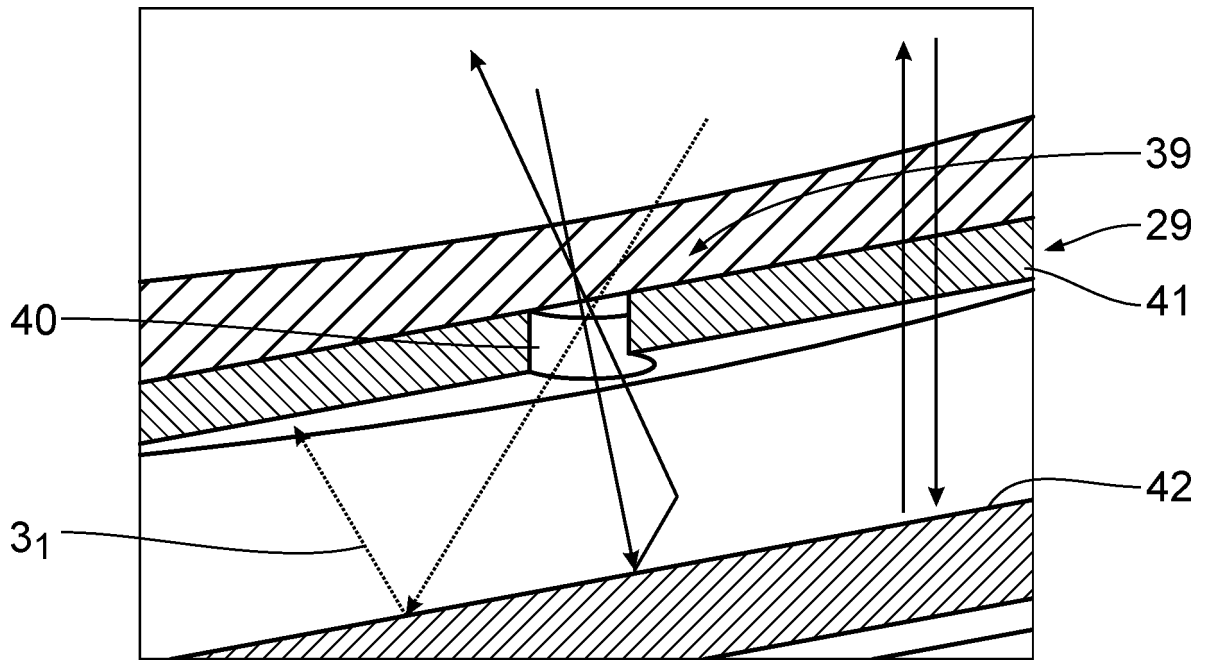


Fig. 9

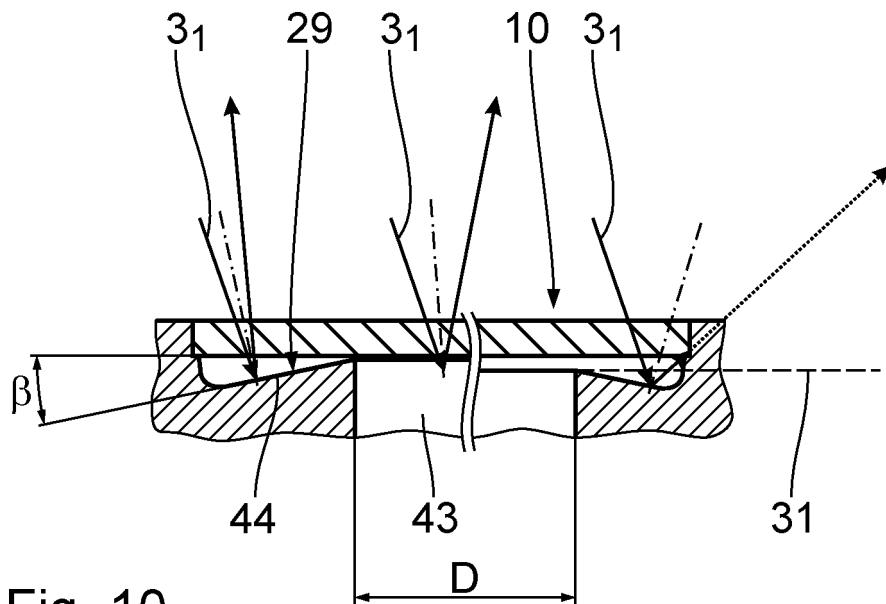


Fig. 10

