



(12)

Offenlegungsschrift

(21) Aktenzeichen: **10 2020 208 416.5**

(22) Anmeldetag: **06.07.2020**

(43) Offenlegungstag: **12.05.2021**

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

G02B 26/08 (2006.01)

G02B 26/10 (2006.01)

G02B 5/09 (2006.01)

G02B 7/182 (2021.01)

(66) Innere Priorität:
10 2019 217 158.3 07.11.2019

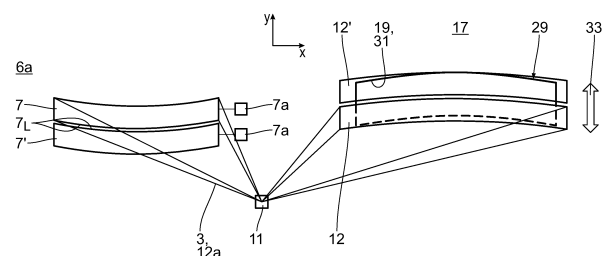
(71) Anmelder:
Carl Zeiss SMT GmbH, 73447 Oberkochen, DE

(72) Erfinder:
**Wischmeier, Lars, 73434 Aalen, DE; Fischer,
Thomas, 73431 Aalen, DE; Patra, Michael,
73447 Oberkochen, DE; Holderer, Hubert, 73447
Oberkochen, DE**

Die folgenden Angaben sind den vom Anmelder eingereichten Unterlagen entnommen.

(54) Bezeichnung: **Mess-Beleuchtungsoptik zur Führung von Beleuchtungslicht in ein Objektfeld einer Projektionsbelichtungsanlage für die EUV-Lithografie**

(57) Zusammenfassung: Eine Mess-Beleuchtungsoptik dient zur Führung von Beleuchtungslicht (3) in ein Objektfeld einer Projektionsbelichtungsanlage für die EUV-Lithografie, in dem eine Lithografiemaske anordenbar ist. Ein Feldfacettenspiegel der Beleuchtungsoptik hat eine Mehrzahl von Feldfacetten (7, 7') und ein Pupillenfacettenspiegel der Beleuchtungsoptik hat eine Mehrzahl von Pupillenfacetten (11). Letztere dienen zur überlagernden Abbildung von Feldfacettenbildern (12) der Feldfacetten (7) in das Objektfeld. Ein Feldfacetten-Abbildungs-Kanal (12a) des Beleuchtungslichts (3) ist über jeweils eine Feldfacette (7) und jeweils eine Pupillenfacette (11) geführt. Eine Feldblende (29) dient zur Vorgabe einer Feldberandung eines Beleuchtungsfeldes (31) in einer Objektebene (17), in der das Objektfeld angeordnet ist. Das Beleuchtungsfeld (31) hat längs einer Felddimension (y) eine größere Erstreckung als jeweils eines der Feldfacettenbilder (12). Mindestens einige der Feldfacetten (7') haben Kippaktoren (7a), die eine Führung des Beleuchtungslichts (3) über verschiedene Feldfacetten (7, 7') und ein und dieselbe Pupillenfacette (11) in das Beleuchtungsfeld (31) gewährleisten. Es resultiert eine Mess-Beleuchtungsoptik, mit der eine Vollaussleuchtung eines Beleuchtungsfeldes möglich ist, welches längs einer Felddimension eine größere Erstreckung hat als ein Feldfacettenbild in der Objektebene.



Beschreibung

[0001] Die Erfindung betrifft eine Mess-Beleuchtungsoptik zur Führung von Beleuchtungslicht in ein Objektfeld einer Projektionsbelichtungsanlage für die EUV-Lithografie. Ferner betrifft die Erfindung ein Beleuchtungssystem mit einer derartigen Mess-Beleuchtungsoptik, eine Projektionsbelichtungsanlage mit einem derartigen Beleuchtungssystem, ein Verfahren zur Herstellung eines mikro- bzw. nanostrukturierten Bauelements mit einer derartigen Projektionsbelichtungsanlage sowie ein mit einem derartigen Herstellungsverfahren hergestelltes strukturiertes Bauelement.

[0002] Projektionsbelichtungsanlagen mit Produktions-Beleuchtungsoptiken sind bekannt aus der DE 10 2011 076 145 B4, der DE 10 2012 208 016 A1 und der DE 10 2011 006 003 A1.

[0003] Es ist eine Aufgabe der Erfindung, eine Mess-Beleuchtungsoptik bereitzustellen, mit der eine Vollausleuchtung eines Beleuchtungsfeldes möglich ist, welches längs einer Felddimension eine größere Erstreckung hat als ein Feldfacettenbild in der Objektebene.

[0004] Produktions-Beleuchtungsoptiken sind bei den bekannten Projektionsbelichtungsanlagen so ausgeführt, dass ein gesamtes Objektfeld, welches mit einer Projektionsoptik der Projektionsbelichtungsanlage abbildbar ist, zumindest längs einer Felddimension größer ist als jeweils eines der Feldfacettenbilder und damit auch größer ist als die über die Produktions-Beleuchtungsoptik erzeugte Überlagerung aller Feldfacettenbilder in der Objektebene, die als Beleuchtungsfeld bezeichnet wird. Auch das Beleuchtungsfeld ist längs der Felddimension größer als jeweils eines der Feldfacettenbilder. Mit den Produktions-Beleuchtungsoptiken ist somit eine Vollausleuchtung des gesamten Beleuchtungsfeldes nicht möglich. Eine derartige Vollausleuchtung ist beispielsweise zur Komplettvermessung von Abbildungseigenschaften einer nachfolgenden Projektionsoptik über das gesamte Beleuchtungsfeld sowie gegebenenfalls über das längs dieser Felddimension noch größere Objektfeld gefordert. Das Beleuchtungsfeld und das Objektfeld können somit ein zu vermessendes Messfeld darstellen. Eine derartige Komplettvermessung kann zur anschließenden Fertigung von optischen Komponenten zur Korrektur von Abbildungsfehlern der Projektionsoptik, insbesondere zur Fertigung von Korrekturasphären genutzt werden.

[0005] Die eingangs genannte Aufgabe ist erfindungsgemäß gelöst gemäß einem ersten Aspekt durch eine Mess-Beleuchtungsoptik mit den im Anspruch 1 angegebenen Merkmalen sowie gemäß einem zweiten Aspekt durch eine Mess-Beleuchtungs-

optik mit den im Anspruch 3 angegebenen Merkmalen.

[0006] Je nach den Ausgestaltungen der Mess-Beleuchtungsoptik lassen sich per Zuordnung der jeweiligen Feldfacetten-Abbildungs-Kanäle, die zur Messfeld-Vollausleuchtung beitragen, Beleuchtungs-Performancegrößen wie Uniformity, Beleuchtungssetting, Übersprechen zwischen verschiedenen Kanälen an Anforderung einer Wellenfront-Messtechnik anpassen, die bei der Mess-Beleuchtungsoptik zum Einsatz kommt. Hierzu können insbesondere gezielt bestimmte Feldfacetten-Abbildungs-Kanäle für die Messfeld-Vollausleuchtung und die nachfolgende Vermessung der Abbildungseigenschaften einer nachgeordneten Projektionsoptik zu- beziehungsweise abgeschaltet werden. Es kann insbesondere ein Beleuchtungssetting vorgegeben werden, welches auch bei der Produktions-Projektionsbeleuchtung zum Einsatz kommt. Auch bestimmte Settings, mit denen ein Kanal-Übersprechen zwischen verschiedenen Feldfacetten-Abbildungs-Kanälen detektiert werden kann, können hierdurch herbeigeführt werden. Schließlich kann auch gezielt eine Dunkel-feldbeleuchtung eingestellt werden, bei der nur an dem strukturierten Objekt gebeugtes Licht durch die Projektionsoptik geleitet wird, nicht aber direkt reflektiertes Licht. Das Ergebnis einer Messung mit der Mess-Beleuchtungsoptik kann beispielsweise zur Korrektur einer Elliptizität, die aufgrund einer von der Isomorphie abweichenden Pupillenabbildung erzeugt wird, eingesetzt werden.

[0007] Gemäß dem ersten Aspekt wurde erkannt, dass die Führung von Beleuchtungslicht über verschiedene Feldfacetten und ein und dieselbe Pupillenfacette zur Möglichkeit führt, das Beleuchtungsfeld auch in Regionen auszuleuchten, in denen keine Ausleuchtung durch die überlagernde Abbildung der Feldfacetten durch Führung über die Feldfacetten-Abbildungs-Kanäle geschieht. Aufgrund der unvermeidbaren räumlichen Variationen von Lagen der Feldfacetten-Abbildungs-Kanäle ergibt sich eine Mischung bei der Positionierung der entstehenden zusätzlichen Feldfacettenbilder, die in der Nachbarschaft der überlagert abgebildeten Feldfacettenbilder liegen, was zu einer Komplettausleuchtung des Beleuchtungsfeldes führt.

[0008] Die Pupillenfacetten können die überlagernde Erzeugung der Feldfacettenbilder insgesamt bewerkstelligen oder können auch Teil einer Abbildungsoptik sein, die die Feldfacetten jeweils in die Objektebene abbildet.

[0009] Mit der Mess-Beleuchtungsoptik kann in allen Beleuchtungsfeldpunkten eine innerhalb vorgegebener Toleranzen homogene Pupille bereitgestellt werden.

[0010] Die Feldfacetten, die über ihre Verkipfung über ein und dieselbe Pupillenfacette in das Beleuchtungsfeld abgebildet wären, können einander direkt benachbarte Feldfacetten des Feldfacettenspiegels sein.

[0011] Eine Ausführung nach Anspruch 2 ermöglicht eine besonders effektive Vollaussleuchtung des Beleuchtungsfeldes.

[0012] Gemäß dem zweiten Aspekt wurde erkannt, dass eine Verlagerung einer das Beleuchtungslicht führenden optischen Komponente zur Erzeugen einer sequentiellen Ausleuchtung des gesamten Messfeldes durch die Feldfacetten-Abbildungs-Kanäle eine effektive Vollaussleuchtung des Messfeldes ermöglicht. Es resultiert eine dynamische Ausleuchtung des gesamten Messfeldes.

[0013] Die Abbildungsoptik kann eine Feldblende zur Vorgabe einer Feldberandung eines Messfeldes in einer Objektebene aufweisen, in der das Objektfeld angeordnet ist. Das Messfeld hat längs einer Vollaussleuchtungs-Felddimension eine größere Erstreckung als jeweils eines der Feldfacettenbilder. Über den mindestens einen Verlagerungsaktor für mindestens eine Komponente der Beleuchtungsoptik können zumindest einige Facettenbilder gemeinsam längs der Vollaussleuchtungs-Felddimension relativ zum Messfeld verlagerbar sein.

[0014] Durch die Feldblende kann eine Feldberandung des Messfeldes vorgegeben werden. Das Messfeld kann in der Objektebene liegen, in der das Objektfeld angeordnet ist.

[0015] Der Verlagerungsaktor kann als Kippaktor und/oder als Translationsaktor für die optische Komponente ausgeführt sein.

[0016] Die optische Komponente kann über eine Schwingungsdämpfung gehaltert sein. Eine Bewegung des Verlagerungsaktors kann geregelt erfolgen. Hierzu kann die Mess-Beleuchtungsoptik eine Sensorik insbesondere zur Erfassung einer Position einer optischen Fläche der optischen Komponente aufweisen.

[0017] Die Messinformation wird von einer Detektionseinrichtung der Mess-Beleuchtungsoptik ortsauflöst und nicht scannend vermessen. Eine Ausleuchtung einer Objektebene, in der das Objektfeld liegt, außerhalb des Objektfeldes hat keine negativen Auswirkungen auf die Messung von Eigenschaften einer Projektionsoptik für Punkte innerhalb des Objektfeldes.

[0018] Eine Verlagerung mindestens einiger Feldfacettenbilder relativ zum Beleuchtungsfeld kann zu einer effektiven Vollaussleuchtung des Beleuchtungsfel-

des genutzt werden. Die Vollaussleuchtung des Beleuchtungsfeldes kann dabei sequenziell dadurch erfolgen, dass die Facettenbilder durch das Beleuchtungsfeld verlagert werden.

[0019] Der Verlagerungsaktor kann als Kippaktor für den Pupillenfacettenspiegel ausgeführt sein. Die Mess-Beleuchtungsoptik kann einen Kondensormspiegel als Teil der Abbildungsoptik zur Erzeugung der Feldfacettenbilder aufweisen. Der Verlagerungsaktor kann als Kippaktor für den Kondensormspiegel ausgeführt sein. Der Verlagerungsaktor kann als Translationsaktor für die Beleuchtungsoptik relativ zur Feldebene ausgeführt sein. Derartige Ausführungen der Verlagerungsaktoren und/oder eine Ausführung des Verlagerungsaktors nach Anspruch 5 sind besonders für eine Relativverlagerung zumindest einiger Facettenbilder gemeinsam relativ zum Beleuchtungsfeld geeignet. Ein Verlagerungsaktor nach Anspruch 5 kann beispielsweise eine Verlagerung genau eines Riegels, also einer Feldfacettengruppe, des Feldfacettenspiegels bewirken. Eine Verlagerungsrichtung des Verlagerungsaktors nach Anspruch 5 kann senkrecht zu einer Anordnungsebene der Feldfacetten auf den Feldfacettenspiegel oder auf den zu verlagernden Feldfacettenspiegel-Abschnitt stehen.

[0020] Eine Verlagerung durch den Verlagerungsaktor kann in Richtung eines Einfallslotes auf eine optische Fläche der zu verlagernden Komponente des Feldfacettenspiegels erfolgen.

[0021] Eine Verlagerungsrichtung des Verlagerungsaktors nach Anspruch 6 kann senkrecht zu einer Anordnungsebene der Pupillenfacetten auf den Pupillenfacettenspiegel oder auf den zu verlagernden Pupillenfacettenspiegel-Abschnitt liegen.

[0022] Ein Verlagerungsaktor nach Anspruch 7 kann als Translations- oder Kippaktor ausgeführt sein. Eine Verlagerungsrichtung des Verlagerungsaktors kann senkrecht zu einer optischen Fläche der Spiegelkomponente liegen. Bei der Spiegelkomponente kann es sich um einen Kondensormspiegel als Teil einer Abbildungsoptik zur Erzeugung der Feldfacettenbilder handeln.

[0023] Ein Verlagerungsaktor nach Anspruch 8 kann als Translations- und/oder Kippaktor ausgeführt sein.

[0024] Ein Verlagerungsaktor nach Anspruch 9 kann als Translationsaktor mit Verlagerungsrichtung insbesondere senkrecht zur Objektebene und/oder als Kippaktor ausgeführt sein.

[0025] Eine Mess-Beleuchtungsoptik, die gleichzeitig als Produktions-Beleuchtungsoptik zum Einsatz kommt, führt zu einer besonders flexiblen Projektionsbelichtungsanlage. Die Vorteile einer Mess-Beleuchtungsoptik nach Anspruch 10 sowie eines Be-

leuchtungssystems nach den Ansprüchen 11 und 12 entsprechen ansonsten denen, die vorstehend bereits erläutert wurden.

[0026] Ein Verlagerungsaktor nach Anspruch 13 stellt eine weitere vorteilhafte Variante zur Verlagerung von Facettenbildern relativ zum Beleuchtungsfeld dar.

[0027] Die Vorteile eines optischen Systems nach Anspruch 13 oder 14, einer Projektionsbelichtungsanlage nach Anspruch 14, eines Herstellungsverfahrens nach Anspruch 15 und eines mikro- beziehungsweise nanostrukturierten Bauteils bzw. Bauelements nach Anspruch 16 entsprechen denjenigen, die vorstehend unter Bezugnahme auf die erfindungsgemäße Beleuchtungsoptik bereits erläutert wurden. Bei dem Bauteil kann es sich um einen Halbleiterchip, insbesondere um einen Speicherchip handeln.

[0028] 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.

[0029] Ausführungsbeispiele der Erfindung werden nachfolgend anhand der Zeichnung näher erläutert. In dieser zeigen:

Fig. 1 schematisch und in Bezug auf eine Mess-Beleuchtungsoptik im Meridionalschnitt eine diese Mess-Beleuchtungsoptik einsetzende Projektionsbelichtungsanlage für die Mikrolithografie;

Fig. 2 eine Ansicht einer Facettenanordnung eines Feldfacettenspiegels der Beleuchtungsoptik der Projektionsbelichtungsanlage nach **Fig. 1** in der Ausführung „Rechteckfeld“;

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

Fig. 4 eine Ausführung einer Facettenanordnung eines Pupillenfacettenspiegels;

Fig. 5A stark schematisch eine Strahlführung von Beleuchtungslicht, welches von drei aneinander angrenzenden Feldfacetten des Feldfacettenspiegels nach **Fig. 3** über ein und dieselbe Pupillenfacette in ein Beleuchtungsfeld in einer Objektebene der Mess-Beleuchtungsoptik in Feldfacettenbilder überführt wird;

Fig. 5B eine Darstellung verschiedener Feldbereiche in der Objektebene der Projektionsbelichtungsanlage sowie der Mess-Beleuchtungsoptik;

Fig. 5C verschiedene Feldbereiche in einer Bildebene der Projektionsbelichtungsanlage;

Fig. 6 ein Positions- und Größenverhältnis eines Objektfeldes der Mess-Beleuchtungsoptik einerseits, in welches eine überlagernde Abbildung von Feldfacettenbildern der Feldfacetten stattfindet, und eines Beleuchtungsfeldes andererseits, welches über eine Feldberandung einer Feldblende der Mess-Beleuchtungsoptik vorgegeben wird, wobei dieses Positionsverhältnis in einem Normalbetrieb einer Messung im Bereich einer Beleuchtungsfeld-Mitte dargestellt ist;

Fig. 7 in einer zu **Fig. 6** ähnlichen Darstellung, wobei das Positionsverhältnis bei einer Messung durch die Mess-Beleuchtungsoptik am Rand des Beleuchtungsfeldes dargestellt ist;

Fig. 8 in einer zur **Fig. 5** ähnlichen Darstellung, wobei allerdings nur zwei Facetten und deren Feldfacettenbilder dargestellt sind, eine Strahlführung des Beleuchtungslichtes bei einer alternativen Ausführung der Mess-Beleuchtungsoptik, wiederum über ein und dieselbe Pupillenfacette des Pupillenfacettenspiegels;

Fig. 9 eine weitere Ausführung einer Mess-Beleuchtungsoptik mit zwei Facettenspiegeln und einer nachgeordneten Übertragungsoptik mit drei Spiegeln;

Fig. 10 schematisch einen Axialschnitt durch einen Abschnitt des Pupillenfacettenspiegels nach **Fig. 4** gemäß der dortigen Linie X - X;

Fig. 11 schematisch eine Seitenansicht eines Grundkörpers eines Facettenspiegels, beispielsweise des Feldfacettenspiegels nach **Fig. 2/3** oder des Pupillenfacettenspiegels nach **Fig. 4**, einschließlich einer Hexapod-Trageverbindung des Grundkörpers mit einem Rahmenkörper, mit der Hexapod-Trageverbindung in einer Ausgangsstellung;

Fig. 12 die Anordnung nach **Fig. 11** mit der Hexapod-Trageverbindung in einer ersten Kippstellung;

Fig. 13 die Anordnung nach **Fig. 11** mit der Hexapod-Trageverbindung in einer zweiten Kippstellung, die gegenüber der ersten Kippstellung zusätzlich linear senkrecht zu einer Facetten-Anordnungsebene des Grundkörpers verlagert ist; und

Fig. 14 schematisch in einer zu **Fig. 1** ähnlichen Darstellung ein mit der Beleuchtungsoptik zu beleuchtendes Objekt in einer ersten, durchgezogen dargestellten Position und in einer zweiten, senkrecht zur Objektebene verlagerten Position.

[0030] Eine Projektionsbelichtungsanlage **1** für die Mikrolithografie dient zur Herstellung eines mikrobeziehungsweise nanostrukturierten elektronischen Halbleiterbauelements. 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 Beleuchtungslicht-Bündels bzw. 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 (vgl. auch **Fig. 2** und **Fig. 3**), die auf einem ersten Spiegelträger **6a** angeordnet sind. Der Spiegelträger **6a** wird auch als Grundkörper des Feldfacettenspiegels **6** bezeichnet.

[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 lokalen 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 ist größer als 2. 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 Facettenseite 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] 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.

[0036] Die Aktoren **7a** können so gestaltet sein, dass sie die Feldfacetten **7**, **7'**, **7''** (vgl. **Fig. 5**) um diskrete Kippbeiträge verkippbar machen. Dies kann beispielsweise durch Verkippung zwischen zwei Endanschlüssen

gewährleistet sein. Auch eine kontinuierliche Verkippung bzw. eine Verkippung zwischen einer größeren Anzahl von diskreten Kipppositionen ist möglich.

[0037] 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 oder als Feldfacetten-Abbildungskanal bezeichnet ist.

[0038] **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.

[0039] 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** einbeschrieben.

[0040] 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.

[0041] **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 in der **Fig. 4** nur in einem Umfangsabschnitt angedeuteten Trägerplatte **10a** des Pupillenfacettenspiegels **10** angeordnet. Die Pupillenfacetten **11** sind auf dem Pupillenfacetten-Spiegelträger **10a** um ein Facetten-Anordnungszentrum angeordnet. Der Pupillenfacetten-Spiegelträger **10a** wird auch als Grundkörper des Pupillenfacettenspiegels **10** bezeichnet.

[0042] Jedem Abbildungslicht-Teilbündel des EUV-Beleuchtungslichts **3**, das von einer der Feldfacetten **7** reflektiert wird, ist eine Pupillenfacette **11** zugeordnet, 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.

[0043] Die kanalweise Zuordnung der Pupillenfacetten **11** zu den Feldfacetten **7** erfolgt abhängig von einer gewünschten Beleuchtung durch die Projektionsbelichtungsanlage **1**. Durch verschiedene mögliche Feldfacetten-Kippstellungen kann jede der Feldfacetten **7** verschiedene Abbildungslichtkanäle vorgeben. Über die so vorgegebenen Feldfacetten-Abbildungskanäle werden die Beleuchtungslicht-Teilbündel einander überlagernd in ein noch zu erläuterndes Objektfeld der Projektionsbelichtungsanlage **1** geführt.

[0044] Über den Pupillenfacettenspiegel **10** (**Fig. 1**) und eine nachfolgende, einen Kondensorspiegel **13** aufweisende Übertragungsoptik **16** werden die Feldfacetten **7** in eine Objektebene **17** der Projektionsbelichtungsanlage **1** abgebildet.

[0045] **Fig. 5A** zeigt schematisch die Verhältnisse bei der Abbildung einer der Feldfacetten **7** am Beispiel der Ausführung „Bogenfeld“ in ein Feldfacettenbild **12**. Ein Strahlengang des zugehörigen Feldfacetten-Abbildungskanals **12a** ist in der **Fig. 5A** entfaltet dargestellt und die zugehörige Pupillenfacette **11** dieses Feldfacetten-Abbildungskanals **12a** ist als einzige Komponente der Übertragungsoptik **16** veranschaulicht. Zudem sind in der **Fig. 5A** die Feldfacetten **7** einerseits und die Objektebene **17** andererseits jeweils in der Zeichenebene dargestellt, liegen in der **Fig. 5A** also in einer Ebene, was in der Realität regelmäßig nicht der Fall ist.

[0046] Auch eine Variante der Übertragungsoptik, bei der ausschließlich die jeweilige Pupillenfacette **11** für die Abbildung der zugeordneten Feldfacette **7** in das Feldfacettenbild **12** sorgt, ist möglich. Auf die Übertragungsoptik **16** kann verzichtet werden, sofern der Pupillenfacettenspiegel **10** direkt in einer Eintrittspupille einer Projektionsoptik **20** angeordnet ist. Die Übertragungsoptik **16** kann auch mehrere Spiegel aufweisen. In der Objektebene **17** ist ein Objekt in Form einer Lithografiemaske bzw. eines Retikels **18** angeordnet, von dem mit dem EUV-Beleuchtungslicht **3** ein Ausleuchtungsbereich ausgeleuchtet wird, mit dem das Objektfeld **19** der nachgelagerten Projektionsoptik **20** der Projektionsbelichtungsanlage **1** überlappt. Der Ausleuchtungsbereich wird auch als nachfolgend noch zu erläuterndes Beleuchtungsfeld bezeichnet (vgl. **Fig. 5A**) und kann, wie auch das Objektfeld **19**, ein Messfeld einer noch zu beschreibenden Mess-Beleuchtungsoptik darstellen. Das Objektfeld **19** ist je nach der konkreten Ausführung einer Beleuchtungsoptik der Projektionsbelichtungsanlage **1** rechteckig oder bogenförmig. Die Feldfacettenbilder **12** der Feldfacetten-Abbildungskanäle werden im Beleuchtungsfeld überlagert. Dieser Überlagerungsbereich hat bei perfekter Überlagerung aller Feldfacettenbilder **12** die gleiche äußere Randkontur wie genau eines der Feldfacettenbilder **12**. Aufgrund der verschiedenen räumlichen Strahlführungen der verschiedenen Feldfacetten-Abbildungs-

Kanäle ergibt sich, dass die Überlagerung der einzelnen Feldfacettenbilder **12** in der Objektebene **17** regelmäßig nicht perfekt ist.

[0047] 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.

[0048] 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.

[0049] Der Feldfacettenspiegel **6**, der Pupillenfacettenspiegel **10** und der Kondensormspiegel **13** 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**. Die Beleuchtungsoptik **28** hat gleichzeitig die Funktion einer Mess-Beleuchtungsoptik, wie nachfolgend noch erläutert wird.

[0050] Eine jeweilige Gruppe von Pupillenfacetten **11**, die über entsprechende Ausleuchtungskanäle zugeordnete 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.

[0051] Fig. **5A** zeigt in der Objektebene **17** zusätzlich zum Feldfacettenbild **12** eine Feldblende **29**, die auch als Scanschlitz bezeichnet wird. Eine innere Berandung **30** der Feldblende **29** gibt eine Feldberandung des Beleuchtungsfeldes **31** beziehungsweise des Messfeldes **19** vor. Das Objektfeld **19** kann mit dem Beleuchtungsfeld **31** beziehungsweise Messfeld

übereinstimmen oder kann ein Teil von diesem sein. Dem Messfeld werden nachfolgend daher beide Bezugswerte **19** und **31** zugeordnet.

[0052] Die Feldblende **29** ist nahe der Objektebene **17** oder in einer hierzu konjugierten Ebene angeordnet. Eine Anordnung der Feldblende **29** nahe der Objektebene **17** ist in der Fig. **1** angedeutet.

[0053] Anhand der Fig. **5B** und Fig. **5C** werden nachfolgend die Größenverhältnisse zwischen den verschiedenen, vorstehend schon angesprochenen Bereichen einerseits in der Objektebene **17** (Fig. **5B**) und andererseits in der Bildebene **24** (Fig. **5C**) beschrieben.

[0054] Die Projektionsoptik **20** bildet einen Bereich der Objektebene **17**, in dem das Retikel **18** angeordnet ist, auf die Bildebene **24** ab. Für einen gewissen Bereich der Objektebene **17** ist die Abbildungsqualität hinreichend gut, so dass dieser Bereich für die Abbildung von Strukturen auf den Retikel **18** genutzt werden kann. Dieser Bereich in der Objektebene **17** ist das Objektfeld **19**. Der zum Objektfeld **19** konjugierte Bereich der Bildebene **24**, in dem das Objektfeld **19** durch die Projektionsoptik **20** abgebildet wird, ist das Bildfeld **23**.

[0055] Das EUV-Beleuchtungslicht **3**, welches moderat außerhalb des Objektfeldes **19** in die Projektionsoptik **20** eintritt, kann ebenfalls die Bildebene **24** erreichen und damit eine photoempfindliche Schicht auf dem Wafer **35** belichten. Die Abbildung durch die Projektionsoptik **20** ist für Bereiche außerhalb des Objektfeldes **19** jedoch schlechter als die Abbildung des Objektfeldes **19** und wird daher nicht genutzt.

[0056] Die Beleuchtungsoptik **28** beleuchtet einen Bereich der Objektebene **17**. Dieser Bereich ist das Beleuchtungsfeld **31**. Das Beleuchtungsfeld **31** ergibt sich als Vereinigungsmenge aller Feldfacettenbilder **12**, von denen in der Fig. **4B** beispielhaft zwei Feldfacettenbilder 12_1 und 12_2 gezeigt sind. Im Regelfall ist jedes Feldfacettenbild **12** kleiner als das Beleuchtungsfeld **31**.

[0057] Beim Scannen wird das Bildfeld **23** entlang der Scanrichtung beziehungsweise Objektverlagerungsrichtung y relativ zum Wafer **25** bewegt und damit die photoempfindliche Schicht auf dem Wafer **25** belichtet. Durch eine jeweilige, einzelne Scanbewegung kann ein bestimmter Bereich **31a** auf dem Wafer strukturiert werden; dieser Bereich **31a** wird als Belichtungsfeld bezeichnet und entspricht dem Bild einer Gesamtmenge an Strukturen in einem Strukturbereich **31b** auf dem Retikel **18**. Typischerweise ist die Breite des Strukturbereichs **31b** auf dem Retikel **18** in der x -Dimension, also senkrecht zur Scanrichtung y , an die Breite des Objektfeldes **19** angepasst. Insbesondere ist die x -Breite des Strukturbereichs

reichs **31b** gleich der x-Breite des Objektfeldes **19** oder die x-Breite des Strukturbereichs **31b** auf dem Retikel **18** ist nur marginal kleiner als die Breite des Objektfeldes **19**.

[0058] Die x-Breite des Belichtungsfeldes **31a** ist durch die x-Breite des Bildfeldes **23** gegeben. Das EUV-Beleuchtungslicht **3**, welches entlang der Cross-Scan-Richtung x moderat neben dem Objektfeld **19** in die Projektionsoptik **20** eintritt, kann einen Bereich moderat neben dem Belichtungsfeld **31a** belichten. Nachteilige Effekte eines derartigen Übersprechens in x-Richtung können dadurch verhindert werden, dass zum einen ein kleiner, nicht zur Projektionsbelichtung genutzter Abstand **31c** in Cross-Scan-Richtung x zwischen benachbarten Belichtungsfeldern **31a** freigelassen wird, zum anderen dadurch, dass das Retikel **18** außerhalb des Strukturbereichs **31b**, absorbierend ausgestaltet wird, so dass kein EUV-Beleuchtungslicht **3** in Cross-Scan-Richtung x neben das Objektfeld **19** fällt.

[0059] Das Beleuchtungsfeld **31** ist in der x-Richtung breiter als das Objektfeld **19**. Wäre das Beleuchtungsfeld **31** auf Grund von Toleranzen in der x-Richtung zu klein, würden gewisse Bereiche des Retikels **18** nicht beleuchtet werden und könnten dementsprechend auch nicht durch die Projektionsoptik **20** abgebildet werden. Auf Grund von immer vorhandenen Toleranzen muss das Beleuchtungsfeld **31** daher in der x-Richtung breiter als das Objektfeld **19** sein.

[0060] In Cross-Scan-Richtung x ist die Berandung des Bildfeldes **23** mit der Berandung des Belichtungsfeldes **31a** identisch. Daher ist es möglich, durch den Abstand **31c** zwischen den Belichtungsfeldern **31a** und/oder absorbierenden Bereichen auf dem Retikel **18** Problemen mit EUV-Beleuchtungslicht **3** außerhalb des Objektfeldes **19** zu vermeiden. In der Scan-Richtung y ist dies nicht möglich, weil das Belichtungsfeld **31a** in Scan-Richtung y ausgedehnter als das Bildfeld **23** ist.

[0061] Es muss vermieden werden, dass das EUV-Beleuchtungslicht **3** in Scan-Richtung außerhalb des Objektfeldes **19** in die Projektionsebene **20** eintritt. Dies wird dadurch gewährleistet, dass das Beleuchtungsfeld **31** in Scan-Richtung kürzer als das Objektfeld **19** ausgeführt wird.

[0062] Unbeleuchtete Randbereiche des Objektfeldes **19**, zum Beispiel die Randbereiche **19a** und **19b**, die in der Scan-Richtung y außerhalb des Beleuchtungsfeldes **31** liegen, beeinträchtigen die Erzeugung von Strukturen auf dem Wafer **25** nicht, da das Retikel **18** durch das Objektfeld **19** hindurch gescannt wird und damit der gesamte Strukturbereich **31b** des Retikels **18** in den ausgeleuchteten Bereich des Objektfeldes **19**, also in die Überlagerung zwischen dem Objektfeld **19** und dem Beleuchtungsfeld **31**, gelangt.

Die Randbereiche **19a** und **19b** liegen ebenfalls im Messfeld der Mess-Beleuchtungsoptik **28**, wie nachfolgend noch erläutert wird. Die Ausdehnungen dieses Messfeldes entsprechen sowohl in x- als auch in y-Richtung mindestens dem Objektfeld **19**, so dass nachfolgend für das Messfeld ebenfalls diese Bezugsziffer **19** verwendet wird.

[0063] Das Beleuchtungsfeld **31** beziehungsweise Messfeld **19** hat längs einer Felddimension, die mit der Objektverlagerungsrichtung y zusammenfällt, eine größere Erstreckung als das Feldfacettenbild **12** und auch eine größere Erstreckung als der Überlagerungsbereich der verschiedenen Feldfacettenbilder **12** bei der überlagernden Abbildung.

[0064] Dieser Objektfelddimension y ist auch in der Anordnungsebene des Feldfacettenspiegels eine entsprechende Felddimension y zugeordnet. Die **Fig. 5** zeigt in dieser Anordnungsebene des Spiegelträgers **6a** zwei längs dieser Felddimension y der Feldfacette **7**, die über den Feldfacetten-Abbildungskanal **12a** abgebildet ist, nächst benachbarte Feldfacetten **7'**, dargestellt unterhalb der Feldfacette **7**, und **7''**, dargestellt oberhalb der Feldfacette **7**.

[0065] Die Feldfacetten **7'**, **7''** sind in der **Fig. 5** über jeweils eine Facetten-Längsseite 7_L einander benachbart.

[0066] Die Aktoren **7a** dieser weiteren Feldfacetten **7'**, **7''** ermöglichen eine Verkippung dieser Feldfacetten **7'**, **7''** um eine zur x-Achse parallele Achse derart weit, dass auf diese Feldfacetten **7'**, **7''** auftreffendes Beleuchtungslicht **3** ebenfalls hin zur Pupillenfacette **11** gelenkt werden kann, die in der **Fig. 5** dargestellt ist. Die dann über die Pupillenfacette **11** erzeugten Feldfacettenbilder **12'**, **12''** sind in der **Fig. 5** oberhalb und unterhalb des Feldfacettenbildes **12** ebenfalls dargestellt. Diese Feldfacettenbilder **12'**, **12''** sind nicht über Feldfacetten-Abbildungskanäle nach Art des Kanals **12a** in der **Fig. 5** geführt, werden also nicht einander überlagernd in das Objektfeld **19** der Projektionsbelichtungsanlage **1** geführt.

[0067] Die Feldfacettenbilder **12'**, **12''** überlappen in Überlappungsregionen **32'**, **32''**, die in der **Fig. 5** schraffiert dargestellt sind, mit dem Beleuchtungsfeld **31**. Die Kippaktoren **7a** der Feldfacetten **7'**, **7''** gewährleisten also eine Führung des Beleuchtungslichts **3** über diese Feldfacetten **7'**, **7''** und ein und dieselbe Pupillenfacette **11** in das Beleuchtungsfeld **31** beziehungsweise Messfeld **19**, nämlich in die Überlappungsregionen **32'**, **32''** des Beleuchtungsfeldes **31** beziehungsweise Messfeld **19**.

[0068] Dargestellt ist die Beleuchtung von zusätzlichen Überlappungsregionen **32'**, **32''** in der **Fig. 5** am Beispiel genau einer Feldfacetten-Dreiergruppe mit Feldfacetten **7'**, **7''**. Tatsächlich hat der Feldfacet-

tenspiegel, wie die Ausführungsbeispiele nach den **Fig. 2** und **Fig. 3** zeigen, eine sehr viel größere Anzahl von Feldfacetten **7**, die in der Praxis sogar noch deutlich größer ist als in den dargestellten Ausführungen. Zudem führen die räumlichen Anordnungsverhältnisse der einander jeweils über die Feldfacetten-Abbildungs-Kanäle **12a** zugeordneten Feldfacetten **7** und Pupillenfacette **11** dazu, dass für jede der Pupillenfacetten **11** die Feldfacettenbilder **12**, **12'**, **12''**, was deren Größe, Orientierung und Kantenschärfe angeht, voneinander unterschiedlich sind. Dies führt dazu, dass die Bereiche innerhalb des Beleuchtungsfeldes **31**, die einerseits vom Feldfacettenbild **12** des jeweiligen Feldfacetten-Abbildungs-Kanals **12a** sowie von den Überlappungsregionen **32'**, **32''** abgedeckt werden, sich voneinander unterscheiden. Durch Mischung dieser verschiedenen Abdeckungen ergibt sich in der Summe aller möglichen Feldfacetten-Abbildungs-Kanäle **12a** eine Komplettausleuchtung des Beleuchtungsfeldes **31** beziehungsweise Messfeld **19**, sodass also auch die in der **Fig. 5** zwischen dem Feldfacettenbild **12** und den Überlappungsregionen **32'**, **32''** vorliegenden Lücken mit dem Beleuchtungs- bzw. Abbildungslicht **3** ausgeleuchtet werden.

[0069] In der Betriebsweise „Mess-Beleuchtungsoptik“ kann durch entsprechende Umstellung der Aktoren **7a** also ein Zustand erreicht werden, bei dem das komplette Beleuchtungsfeld **31** beziehungsweise Messfeld **19** ausgeleuchtet wird, obwohl jedes der über den jeweiligen Feldfacetten-Abbildungs-Kanal **12a** zugeordnete Feldfacettenbild **12** in der Felddimension y eine kleinere Erstreckung hat als das Beleuchtungsfeld **31** beziehungsweise Messfeld **19**.

[0070] Diese erreichbare Komplettausleuchtung des Beleuchtungsfeldes **31** beziehungsweise Messfeld **19** kann zur Komplettermessung der Projektionsoptik **20** zur nachfolgenden Fertigung von Abbildungsfehler-Korrekturkomponenten, beispielsweise von Korrekturasphären genutzt werden.

[0071] Anhand der **Fig. 6** und **Fig. 7** wird nachfolgend in Zusammenhang mit der **Fig. 1** eine weitere Ausführung einer Mess-Beleuchtungsoptik erläutert. Komponenten und Funktionen, die denjenigen entsprechen, die vorstehen unter Bezugnahme auf die **Fig. 1** bis **Fig. 5** bereits erläutert wurden, tragen die gleichen Bezugsziffern und werden nicht nochmals im Einzelnen diskutiert.

[0072] **Fig. 6** zeigt ähnlich wie die **Fig. 5** sowohl das Feldfacettenbild **12**, welches über einen Feldfacetten-Abbildungs-Kanal **12a** in die Objektebene **17** abgebildet wird, als auch das von der Feldblende **29** vorgegebene Beleuchtungsfeld **31** beziehungsweise Messfeld **19**. Wiederum hat das Beleuchtungsfeld **31** beziehungsweise Messfeld **19** längs der Felddimension y , die auch als Vollbeleuchtungs-Felddimension

bezeichnet ist, eine größere Erstreckung als das jeweilige Feldfacettenbild **12**. **Fig. 6** zeigt dabei eine Momentansituation beim Betrieb der Mess-Beleuchtungsoptik, bei dem die Mess-Beleuchtungsoptik so ausgerichtet ist, dass das Feldfacettenbild **12** und insbesondere auch die Überlagerung der über die verschiedenen Feldfacetten-Abbildungs-Kanäle **12a** erzeugten Feldfacettenbilder **12** in der Objektebene **17**, längs der Vollbeleuchtungs-Felddimension y mittig im Beleuchtungsfeld **31** beziehungsweise Messfeld **19** angeordnet ist.

[0073] **Fig. 7** zeigt eine weitere Momentansituation beim Betrieb der Mess-Beleuchtungsoptik, bei der mit Hilfe mindestens eines Verlagerungsaktors eine Relativverlagerung (vgl. Doppelpfeil **33**) zwischen dem Feldfacettenbild **12** und dem Beleuchtungsfeld **31** beziehungsweise Messfeld **19** erreicht ist, bei der das Feldfacettenbild **12** relativ zum Beleuchtungsfeld **31** beziehungsweise Messfeld **19** in der **Fig. 7** in negativer y -Richtung verlagert ist. Hierdurch wird eine Beleuchtung des Beleuchtungsfeldes **31** beziehungsweise Messfeld **19** in einer vom mittig angeordneten Feldfacettenbild **12** nicht abgedeckten unteren Vollbeleuchtungsregion **34** erreicht, die in der **Fig. 6** schraffiert dargestellt ist. Durch entsprechende Verlagerung des Feldfacettenbildes **12** in positive y -Richtung kann auch eine Beleuchtung der Vollbeleuchtungsregion **35** erreicht werden, die in der **Fig. 6** oberhalb des Feldfacettenbildes **12** und innerhalb des Beleuchtungsfeldes **31** beziehungsweise Messfeld **19** ebenfalls schraffiert dargestellt ist.

[0074] Die Relativverlagerung **33** kann mit Hilfe mindestens eines Verlagerungsaktors als Teil einer Messfeld-Ausleuchtungseinrichtung erzeugt werden, für den in der **Fig. 1** mehrere Ausführungsbeispiele schematisch dargestellt sind, die einzeln oder in beliebiger Kombination eingesetzt werden können.

[0075] Die Messfeld-Ausleuchtungseinrichtung, die mindestens einen der nachfolgend beschriebenen Verlagerungsaktoren aufweist, beeinflusst eine Führung des Beleuchtungslichts **3** über die Feldfacetten-Abbildungs-Kanäle **12a** zur Erzeugung einer Ausleuchtung des gesamten Messfeldes **31** durch die Feldfacetten-Abbildungs-Kanäle **12a**. Der mindestens eine Verlagerungsaktor der Messfeld-Ausleuchtungseinrichtung dient zur Verlagerung mindestens einer das Beleuchtungslicht **3** zwischen der Beleuchtungslicht-Lichtquelle **2** und dem Objektfeld **19** führenden optischen Komponente, nämlich des Feldfacettenspiegels **6**, des Pupillenspiegels **10**, des Kondensorspiegels **13**, der gesamten Beleuchtungsoptik **28** oder auch des Retikels **18**, zur Erzeugung einer sequentiellen Ausleuchtung des gesamten Beleuchtungsfeldes **31** beziehungsweise des Messfeldes **19** durch die Feldfacetten-Abbildungs-Kanäle **12a**.

[0076] Ein erster dieser Verlagerungsaktoren ist in der **Fig. 1** bei **Fig. 35** gezeigt und führt zu einer Relativverlagerung des Feldfacettenspiegels **6** insgesamt oder einer der Feldfacettengruppen **8** des Feldfacettenspiegels **6**, wie in der **Fig. 1** durch einen Doppelpfeil **36** angedeutet. Diese Relativverlagerung **36** kann parallel zu einer Facetten-Anordnungsebene des Spiegelträgers beziehungsweise des Grundkörpers **6a** des Feldfacettenspiegels **6** verlaufen. Alternativ oder zusätzlich kann der Verlagerungsaktor **35** eine Relativverlagerung senkrecht zu dieser Anordnungsebene der Feldfacetten **7** auf dem Grundkörper **6a** herbeiführen, die in der **Fig. 1** durch einen weiteren Doppelpfeil **36a** angedeutet ist.

[0077] Ein weiterer dieser Verlagerungsaktoren ist in der **Fig. 1** bei **Fig. 37** dargestellt. Es handelt sich hierbei um einen Kippaktor zur Verkippung des Pupillenfacettenspiegels **10** oder zur Verkippung eines Abschnitts des Pupillenfacettenspiegels **10**, der eine Gruppe der Pupillenfacetten **11** trägt, insgesamt um eine zur x-Achse parallele Achse, wie in der **Fig. 1** durch einen Doppelpfeil **38** angedeutet. Alternativ oder zusätzlich kann der Verlagerungsaktor **37** eine Verlagerung des Pupillenfacettenspiegels **10** senkrecht zu einer Anordnungsebene des Spiegelträgers beziehungsweise Grundkörpers **10a** herbeiführen, wie in der **Fig. 1** durch einen Doppelpfeil **38a** angedeutet.

[0078] Ein weiterer dieser Verlagerungsaktoren ist in der **Fig. 1** bei **Fig. 39** als Kippaktor für den Kondensormspiegel **13** der Übertragungsoptik **16** angedeutet. Dieser Kippaktor bewirkt eine Verkippung des Kondensormspiegels **13** um eine zur x-Achse parallele Achse, wie in der **Fig. 1** durch einen Doppelpfeil **40** angedeutet. Alternativ oder zusätzlich kann der Verlagerungsaktor eine Verlagerung des Kondensormspiegels **13** senkrecht zu dessen Reflexionsfläche, insbesondere in Richtung eines Einfallslotes des Beleuchtungslichts **3** auf dem Kondensormspiegel **13** herbeiführen wie in der **Fig. 1** durch einen Doppelpfeil **40a** angedeutet.

[0079] Ein weiterer Verlagerungsaktor ist in der **Fig. 1** schematisch bei **41** angedeutet und bewirkt eine Translationsverlagerung der Beleuchtungsoptik **28** relativ zur Feldblende **29** bzw. zur Projektionsoptik **20**, wie in der **Fig. 1** durch einen Doppelpfeil **42** angedeutet. Alternativ oder zusätzlich kann der Verlagerungsaktor **41** eine Verkippung der gesamten Beleuchtungsoptik **28** relativ zur Feldblende **29** beziehungsweise zur Projektionsoptik **20** um eine zur x-Achse parallele Achse herbeiführen, wie in der **Fig. 1** durch einen Doppelpfeil **42a** angedeutet.

[0080] Auch mit Hilfe der Ausführung, die vorstehend im Zusammenhang insbesondere mit den **Fig. 6** und **Fig. 7** erläutert wurde, ist eine Komplett- bzw.

Vollausleuchtung des gesamten Beleuchtungsfeldes **31** gewährleistet.

[0081] Um das gesamte Beleuchtungsfeld **31** beziehungsweise das Messfeld **19** mit Hilfe der Relativverlagerung **33** auszuleuchten, genügt eine absolute Verlagerung längs der Felddimension y, die im Bereich von 20% bis 50% einer entsprechenden y-Ausdehnung des jeweiligen Feldfacettenbildes **12** entspricht.

[0082] Die Verlagerungsaktoren **35**, **37**, **39** bzw. **41** müssen nicht kontinuierlich verlagerbar sein. Ausreichend ist eine diskrete Aktuierung, beispielsweise zwischen zwei Endanschlägen. Eine diskrete Aktuierung kann beispielsweise auch über einen Wechsel von Distanzkörpern, beispielsweise von Distanzscheiben, erreicht werden.

[0083] Endanschläge der Aktoren **7a**, **35**, **37**, **39** bzw. **41** können einstellbar ausgeführt sein.

[0084] Die Auslegung eines Beleuchtungslicht-Strahlengangs in der Beleuchtungsoptik **28** kann so sein, dass eine Verlagerung des Feldfacettenspiegels **6** längs des Freiheitsgrades **36** zu einer Verlagerung der Ausleuchtung des Beleuchtungsfeldes **31** um den gleichen Betrag längs der y-Richtung führt. Die Beleuchtungsoptik **28** kann auch so ausgelegt sein, dass ein Abbildungsmaßstab betragsmäßig ungleich 1 zwischen den Feldfacetten **7** und ihren Bildern **12** vorliegt. In diesem Fall führt eine Verlagerung des Feldfacettenspiegels **6** längs des Freiheitsgrades **36** zu einer Verschiebung der Ausleuchtung des Beleuchtungsfeldes **31**, die um den eben definierten Abbildungsmaßstab größer ist.

[0085] Um mit dem Verlagerungsfreiheitsgrad **38** eine Verschiebung der Ausleuchtung des Beleuchtungsfeldes **31** längs der y-Richtung um beispielsweise 3 mm zu bewerkstelligen, kann eine Verkippung des Grundkörpers **10a** des Pupillenfacettenspiegels **10** um etwa ein 1 mrad beziehungsweise um eine Verkippung des Kondensormspiegels **13** (Freiheitsgrad **40**) um etwa 0,5 mrad bis 1 mrad erforderlich sein.

[0086] Auch eine Kombination einer Verlagerung um die vorstehend erläuterten Freiheitsgrade ist zur Gewährleistung einer Komplett- beziehungsweise Vollausleuchtung des Beleuchtungsfeldes **31** beziehungsweise des Messfeldes **19** möglich.

[0087] Anhand der **Fig. 8** wird nachfolgend eine weitere Ausführung einer Mess-Beleuchtungsoptik beschrieben. Komponenten und Funktionen, die vor Stellung der Bezugnahme auf die **Fig. 1** bis **Fig. 7** bereits erläutert wurden, tragen die gleichen Bezugsziffern und werden nicht nochmals im Einzelnen diskutiert.

[0088] Die Mess-Beleuchtungsoptik nach **Fig. 8** kann als Kombination der Mess-Beleuchtungsoptiken verstanden werden, die vorstehend unter Bezugnahme insbesondere auf die **Fig. 5** bis **Fig. 7** bereits erläutert wurden. Zum einen hat die Mess-Beleuchtungsoptik nach **Fig. 8** wiederum Feldfacetten-Kipfaktoren **7a**, die es ermöglichen, Beleuchtungslicht **3** über mehrere benachbarte Feldfacetten **7'**, **7''** und ein und dieselbe Pupillenfacette **11** in die Objektebene **17** zu führen. Gleichzeitig weist die Mess-Beleuchtungsoptik nach **Fig. 8** mindestens einen Verlagerungsaktor nach Art der Verlagerungsaktoren **35**, **37**, **39**, **41** auf, die vorstehend in Zusammenhang mit der **Fig. 1** beschrieben wurden, sodass wiederum eine Relativverlagerung **33** zwischen den Feldfacettenbildern **12**, **12'** und dem Beleuchtungsfeld **31** beziehungsweise dem Messfeld **19** gewährleistet ist. Eine Vollaussleuchtung des Beleuchtungsfeldes **31** beziehungsweise des Messfeldes **19** wird also durch Kombination der Maßnahmen erreicht, die vorstehend in Zusammenhang insbesondere mit den **Fig. 5** bis **Fig. 7** erläutert wurden.

[0089] Anhand der **Fig. 9** wird nachfolgend eine weitere Ausführung einer Projektionsbelichtungsanlage **1**, wiederum mit einer Mess-Beleuchtungsoptik beschrieben. Komponenten und Funktionen, die denjenigen entsprechen, die vorstehend anhand der **Fig. 1** bis **Fig. 8** bereits erläutert wurden, tragen die gleichen Bezugsziffern und werden nicht nochmals im Einzelnen diskutiert.

[0090] Anstelle eines einzigen Kondensorspiegels hat die Übertragungsoptik **16** nach **Fig. 9** insgesamt drei EUV-Spiegel **14a**, **14b** und **15** zur Abbildung der Feldfacetten des Feldfacettenspiegels **6** in die Objektebene **17**. Die beiden EUV-Spiegel **14a**, **14b** sind als NI (Normal Incidence)-Spiegel mit einem Einfallswinkel des Beleuchtungslichts **3** ausgeführt, der kleiner ist als 45° . Der EUV-Spiegel **15** ist als GI (Grazing Incidence)-Spiegel mit einem Einfallswinkel des Beleuchtungslichts **3** größer als 45° ausgeführt. Die Übertragungsoptik **16** mit den Spiegeln **14a**, **14b** und **15** kann zudem für eine Abbildung einer Beleuchtungs-Pupillenebene im Bereich einer Anordnungsebene des Pupillenfacettenspiegels **10** in eine Eintrittspupille der Projektionsoptik **20** sorgen. Grundsätzlich ist ein derartiger Aufbau einer Beleuchtungsoptik bekannt aus der DE 10 2015 208 571 A1.

[0091] In der **Fig. 9** sind wiederum Ausführungsbeispiele zur Erzeugung der Relativverlagerung **33** (vgl. **Fig. 7** und **Fig. 8**) durch Einsatz entsprechender, nicht näher dargestellter Verlagerungsaktoren durch Pfeil-Darstellung der jeweiligen Verlagerungs-Freiheitsgrade veranschaulicht.

[0092] Einer dieser Freiheitsgrade zur Erzeugung der Relativverlagerung **33** ist in der **Fig. 9** bei **Fig. 45** gezeigt und führt zu einer Relativverlagerung des

Feldfacettenspiegels **6** insgesamt oder einer der Feldfacettengruppen des Feldfacettenspiegels **6**, wie im Zusammenhang mit der **Fig. 1** bereits erläutert.

[0093] Ein weiterer dieser Freiheitsgrade ist in der **Fig. 9** bei **Fig. 46** dargestellt und sorgt für eine Verkipfung des Pupillenfacettenspiegels **10** insgesamt um eine zur x-Achse parallele Achse.

[0094] Ein weiterer dieser Freiheitsgrade ist in der **Fig. 9** bei **Fig. 47** dargestellt und sorgt für eine Verkipfung des EUV-Spiegels **14a** um eine zur x-Achse parallele Achse.

[0095] Ein weiterer dieser Freiheitsgrade ist in der **Fig. 9** bei **Fig. 48** dargestellt und sorgt für eine Verkipfung des EUV-Spiegels **14b** um eine zur x-Achse parallele Achse.

[0096] Ein weiterer dieser Freiheitsgrade ist der bereits in Zusammenhang mit der **Fig. 1** erläuterte Verlagerungs-Freiheitsgrad **42** (Translationsverlagerung der Beleuchtungsoptik **28** relativ zur Feldblende **29** bzw. zur Projektionsoptik **20**).

[0097] Ein weiterer dieser Freiheitsgrade **49** sorgt für eine Verkipfung des EUV-Spiegels **15** um eine zur x-Achse parallele Achse.

[0098] Ein weiterer dieser Freiheitsgrade **50** sorgt für eine Relativverlagerung des EUV-Spiegels **15** in etwa senkrecht zu dessen GI-Reflexionsfläche (vgl. Doppelpfeil **50** in der **Fig. 9**).

[0099] Auch hier gilt wiederum, dass die Verlagerungsaktoren, die die Freiheitsgrade **42** sowie **45** bis **50** realisieren, nicht kontinuierlich verlagerbar sein müssen, sondern dass eine diskrete Aktuierung ausreichend sein kann, wie vorstehend in Zusammenhang mit den Verlagerungsaktoren der Ausführung der Mess-Beleuchtungsoptik nach **Fig. 1** und **Fig. 8** erläutert.

[0100] Alternativ zu einer Übertragungsoptik **16** mit genau einem Spiegel, wie bei der Ausführung nach **Fig. 1**, oder zu einer Übertragungsoptik mit genau drei Spiegeln, wie bei der Ausführung nach **Fig. 9**, kann die Übertragungsoptik auch beispielsweise zwei oder auch mehr als drei Spiegel aufweisen. Grundsätzlich ist es auch möglich, auf die Übertragungsoptik insgesamt zu verzichten, sodass beispielsweise der Feldfacettenspiegel **6** und der Pupillenfacettenspiegel **10** die einzigen das Beleuchtungslicht **3** führenden Komponenten zwischen der Zwischenfokusebene **5** und der Objektebene **17** darstellen.

[0101] Eine erste Einfallrichtung des Beleuchtungslichts **3** nach Reflexion am Kollektor **4** kann, wie bei der Ausführung nach **Fig. 1** dargestellt, schräg von

oben her erfolgen oder kann, wie in der **Fig. 9** dargestellt, schräg von unten her erfolgen. Auch eine Einfallsrichtung beispielsweise senkrecht von oben oder senkrecht von unten ist möglich, die von der jeweiligen Beleuchtungsoptik **28** dann entsprechend in die Einfallsrichtung zur Beleuchtung des Objektfeldes **19** überführt wird.

[0102] **Fig. 10** zeigt einen axialen Schnitt durch einen Abschnitt der Trägerplatte beziehungsweise des Grundkörpers **10a** des Pupillenfacettenspiegels **10**. Die Pupillenfacetten **11** sind über Aktorbereiche **51** mit dem Grundkörper **10a** verbunden. Über die Aktorbereiche **51** ist eine Verlagerung von Reflexionsflächen der Pupillenfacetten **11** längs des Verlagerungs-Freiheitsgrades **38a** (vgl. **Fig. 1**), also senkrecht zur Facetten-Anordnungsebene des Grundkörpers **10a**, möglich. Über die Aktorbereiche **51** lassen sich die Pupillenfacetten **11** individuell längst des Freiheitsgrades **38a** verlagern.

[0103] Durch gemeinsame Ansteuerung der Aktorbereiche **51** lässt sich auch eine gemeinsame Verlagerung der Pupillenfacetten **11** längs des Freiheitsgrades **38a** erreichen. Die Aktorbereiche **51** können als Piezo-Aktoren ausgestaltet sein. Die Amplitude der Bewegung kann zum Beispiel bis zu 1 mm betragen. Auch andere Aktuatoren für eine lineare Bewegung, wie zum Beispiel Linearmotoren, können eingesetzt werden. Eine Amplitude der Bewegung kann im Bereich von 1 mm bis 100 mm liegen und zum Beispiel 10 mm betragen.

[0104] **Fig. 11** zeigt eine Hexapod-Trageverbindung eines der Grundkörper **6a** beziehungsweise **10a**, die beim Feldfacettenspiegel **6** und/oder beim Pupillenfacettenspiegel **10** zum Einsatz kommen kann. Der Grundkörper **6a**, **10a** wird über die Hexapod-Trageverbindung **52** mit einem Rahmenkörper **53** der Projektionsbelichtungsanlage **1** verbunden. Schematisch sind in der **Fig. 11** drei Hexapod-Beine **54** der Hexapod-Trageverbindung **52** dargestellt. **Fig. 11** zeigt den Grundkörper **6a**, **10a** in einer Ausgangsposition mit einem Ausgangsabstand z_0 zwischen dem Zentrum **Z** der Facettenanordnung auf dem Grundkörper **6a**, **10a** und einem korrespondierenden Zentralbereich des Rahmenkörpers **53**. In dieser Ausgangsposition ist eine Facetten-Anordnungsebene **55** des Grundkörpers **6a**, **10a** parallel zu einer Rahmenebene **56** des Rahmenkörpers **53**.

[0105] **Fig. 12** und **Fig. 13** zeigen zwei verschiedene Messpositionen des Grundkörpers **6a**, **10a**, die relativ zur Ausgangsposition nach **Fig. 11** verlagert sind.

[0106] In einer ersten Messposition nach **Fig. 12** ist ein in den **Fig. 11** bis **Fig. 13** rechts dargestelltes Hexapod-Bein **54r** ein Stück weit ausgefahren und ein in den **Fig. 11** bis **Fig. 13** links dargestelltes weiteres Hexapod-Bein **54l** korrespondierend hierzu ein-

gefahren, so dass eine Verkippung der Facetten-Anordnungsebene **55** um eine Achse parallel zur x-Achse, also um beispielsweise den Verlagerungs-Freiheitsgrad **38** resultiert. Ein in den **Fig. 11** bis **Fig. 13** mittleres Hexapod-Bein **54m** hat in der ersten Messposition nach **Fig. 12** die gleiche Länge wie in der Ausgangsposition nach **Fig. 11**.

[0107] In der zweiten Messposition nach **Fig. 13** hat das in den **Fig. 11** bis **Fig. 13** linke Hexapod-Bein **54l** die gleiche Länge wie in der Ausgangsposition nach **Fig. 11**. Das in den **Fig. 11** bis **Fig. 13** mittlere Hexapod-Bein **54m** ist in der zweiten Messposition nach **Fig. 13** um einen Betrag gegenüber der Ausgangsposition verlängert, der in etwa einer Verlängerung des in der **Fig. 12** rechten Hexapod-Beins **54r** entspricht. Das in den **Fig. 11** bis **Fig. 13** rechte Hexapod-Bein **54r** ist in der zweiten Messposition nach **Fig. 13** im Vergleich zum mittleren Hexapod-Bein **54m** um den doppelten Betrag verlängert. Es ergibt sich eine Verlagerung des Grundkörpers **6a**, **10a** in der zweiten Messposition nach **Fig. 13** im Vergleich zur Ausgangsposition, die sich als Überlagerung der Verlagerungs-Freiheitsgrade **38** (Verkippung um eine Achse parallel zur x-Achse) sowie **36a** beziehungsweise **38a** (translatorische Verlagerung senkrecht zur Facetten-Anordnungsebene **55**) verstehen lässt. Ein Abstand z_1 zwischen dem Zentrum **Z** der Facettenanordnung auf dem Grundkörper **6a**, **10a** und dem Zentralbereich des Rahmenkörpers **53** ist in der zweiten Messposition nach **Fig. 13** größer als der Abstand z_0 in der Ausgangsposition nach **Fig. 11**.

[0108] Auch der Kondensormspiegel **13** kann über eine entsprechende Hexapod-Trageverbindung mit einem Rahmenkörper der Projektionsbelichtungsanlage **1** verbunden sein.

[0109] Mit der Hexapod-Trageverbindung **52** lassen sich ohne weiteres auch die anderen Verlagerungs-Freiheitsgrade erreichen, die vorstehend insbesondere im Zusammenhang mit den **Fig. 1** und **Fig. 9** erläutert wurden.

[0110] **Fig. 14** zeigt als zusätzlichen Verlagerungs-Freiheitsgrad zur Gewährleistung einer dynamischen Komplett- beziehungsweise Vollaussleuchtung des gesamten Beleuchtungsfeldes **31** beziehungsweise des Messfeldes **19** eine Verlagerung **57** des Retikels **18** senkrecht zur Objektebene **17**. Eine derartige z-Verlagerung **57** kann über den Objektverlagerungsantrieb **22** herbeigeführt werden.

[0111] Durchgezogen ist in der **Fig. 14** eine erste Ausgangsposition des Retikels **18** dargestellt. Gestrichelt ist in der **Fig. 14** eine Messposition des Retikels dargestellt, die gegenüber der Ausgangsposition um einen Betrag dz senkrecht zur Objektebene **17** längs des Verlagerungs-Freiheitsgrades **57** (vgl. auch **Fig. 1**) verlagert ist. Es ergibt sich eine Ver-

schiebung dy einer Ausleuchtung des Beleuchtungsfeldes **31** beziehungsweise des Messfeldes **19**, wie durch die Darstellung in der **Fig. 14** eines reflektierten Hauptstrahls CR eines zentralen Feldpunktes des Beleuchtungslichts **3** einerseits am Retikel **18** der Ausgangsposition (durchgezogen) und andererseits in der Messposition (gestrichelt) verdeutlicht ist. Diese Verschiebung dy kann wiederum zur dynamischen Komplett- beziehungsweise Vollausleuchtung des gesamten Beleuchtungsfeldes **31** beziehungsweise des Messfeldes **19** genutzt werden. Es gilt:

$$dy = dz \sin(\text{CRA})$$

[0112] CRA ist dabei der Einfallswinkel des Hauptstrahls CR des zentralen Feldpunktes auf die Objektebene **17**. CRA kann im Bereich zwischen 3° und 9° liegen und kann beispielsweise 6° betragen. Für eine Verschiebung dy um 3 mm wäre beispielsweise eine dz -Verlagerung um etwa 30 mm erforderlich.

[0113] Ein Betrag, um den die Hexapod-Beine **54** der Hexapod-Tragverbindung **52** ausgeschoben beziehungsweise eingezogen werden müssen, kann im Bereich von $\pm 100 \mu\text{m}$ oder von $\pm 50 \mu\text{m}$ liegen.

[0114] Eine Verlagerungsaktorik zur Bewerkstelligung mindestens eines der oben beschriebenen Freiheitsgrade kann mit einer aktiven Schwingungsdämpfung kombiniert werden. Zudem ist eine Messung/Regelung der jeweiligen Verlagerungsbewegung möglich.

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

- DE 102011076145 B4 [0002]
- DE 102012208016 A1 [0002]
- DE 102011006003 A1 [0002]
- US 6859515 B2 [0030]
- EP 1225481 A [0030]
- WO 2014/075902 A1 [0050]
- WO 2011/154244 A1 [0050]
- DE 102015208571 A1 [0090]

Patentansprüche

1. Mess-Beleuchtungsoptik (28) zur Führung von Beleuchtungslicht (3) in ein Objektfeld (19) einer Projektionsbelichtungsanlage (1) für die EUV-Lithografie, in dem eine Lithografiemaske (18) anordenbar ist,
 - mit einem Feldfacettenspiegel (6) mit einer Mehrzahl von Feldfacetten (7, 7', 7''),
 - mit einem Pupillenfacettenspiegel (10) mit einer Mehrzahl von Pupillenfacetten (11) zur überlagernden Abbildung von Feldfacettenbildern (12) der Feldfacetten (7) in das Objektfeld (19), wobei ein Feldfacetten-Abbildungs-Kanal (12a) des Beleuchtungslichts (3) über jeweils eine Feldfacette (7) und jeweils eine Pupillenfacette (11) geführt ist,
 - mit einer Feldblende (29) zur Vorgabe einer Feldberandung eines Beleuchtungsfeldes (31) in einer Objektebene (17), in der das Objektfeld (19) angeordnet ist,
 - wobei das Beleuchtungsfeld (31) längs einer Felddimension (y) eine größere Erstreckung hat als jeweils eines der Feldfacettenbilder (12),
 - wobei mindestens einige der Feldfacetten (7', 7'') Kippaktoren (7a) aufweisen, die eine Führung des Beleuchtungslichts (3) über verschiedene Feldfacetten (7, 7', 7'') und ein und dieselbe Pupillenfacette (11) in das Beleuchtungsfeld (31) gewährleisten.

2. Mess-Beleuchtungsoptik nach Anspruch 1, **dadurch gekennzeichnet**, dass die Feldfacetten (7) eine Reflexionsfläche mit einem Aspektverhältnis aufweisen, welches größer ist als zwei, mit einer Ausführung der Kippaktoren (7a) derart, dass die Führung von Beleuchtungslicht (3) über Feldfacetten (7, 7'; 7, 7''), die einander über eine Feldfacetten-Längsseite (7_L) benachbart sind, und über ein und dieselbe Pupillenfacette (11) in das Beleuchtungsfeld (31) gewährleistet ist.

3. Mess-Beleuchtungsoptik (28) zur Führung von Beleuchtungslicht (3) in ein Objektfeld (19) einer Projektionsbelichtungsanlage (1) für die EUV-Lithografie, in dem eine Lithografiemaske (18) anordenbar ist,
 - mit einem Feldfacettenspiegel (6) mit einer Mehrzahl von Feldfacetten (7, 7', 7''),
 - mit einem Pupillenfacettenspiegel (10) mit einer Mehrzahl von Pupillenfacetten (11) zur überlagernden Erzeugung von Feldfacettenbildern (12) der Feldfacetten (7) in das Objektfeld (19), wobei ein Feldfacetten-Abbildungs-Kanal (12a) des Beleuchtungslichts (3) über jeweils eine Feldfacette (7) und jeweils eine Pupillenfacette (11) geführt ist,
 - wobei ein Messfeld (19, 31) längs einer Felddimension (y) eine größere Erstreckung hat als jeweils eines der Feldfacettenbilder (12),
 - mit mindestens einer Messfeld-Ausleuchtungseinrichtung (35, 37, 39, 41), die eine Führung des Beleuchtungslichts (3) über die Feldfacetten-Abbildungs-Kanäle (12) zur Erzeugung einer Ausleuch-

tung des gesamten Messfeldes (19, 31) durch die Feldfacetten-Abbildungs-Kanäle (12) beeinflusst,
 - wobei die Messfeld-Ausleuchtungseinrichtung (35, 37, 39, 41) mindestens einen Verlagerungsaktor zur Verlagerung mindestens einer das Beleuchtungslicht (3) zwischen einer Beleuchtungs-Lichtquelle (2) und dem Objektfeld (19) führenden optischen Komponente (6, 10, 13, 28) zur Erzeugung einer sequentiellen Ausleuchtung des gesamten Messfeldes (19, 31) durch die Feldfacetten-Abbildungs-Kanäle (12a) aufweist.

4. Mess-Beleuchtungsoptik nach Anspruch 3, **dadurch gekennzeichnet**, dass der Verlagerungsaktor (35, 37, 39, 41) so ausgeführt ist, dass zumindest einige Facettenbilder (12; 12, 12') gemeinsam längst der Felddimension (y) relativ zum Messfeld (19, 31) verlagerbar sind.

5. Mess-Beleuchtungsoptik nach Anspruch 3 oder 4, **dadurch gekennzeichnet**, dass der Verlagerungsaktor (35) mit zumindest einem eine Feldfacettengruppe (8) tragenden Abschnitt des Feldfacettenspiegels (6) zur Verlagerung des Feldfacettenspiegels (6) oder des Feldfacettenspiegel-Abschnitts zusammenwirkt.

6. Mess-Beleuchtungsoptik nach einem der Ansprüche 3 bis 5, **dadurch gekennzeichnet**, dass der Verlagerungsaktor (37) derart ausgeführt ist, dass er mit zumindest einem eine Pupillenfacettengruppe tragenden Abschnitt des Pupillenfacettenspiegels (10) zur Verlagerung des Pupillenfacettenspiegels (10) oder des Pupillenfacettenspiegel-Abschnitts zusammenwirkt.

7. Mess-Beleuchtungsoptik nach einem der Ansprüche 3 bis 6, **gekennzeichnet durch** mindestens eine weitere Spiegelkomponente (13), die das Beleuchtungslicht (3) zwischen dem Pupillenfacettenspiegel (10) und dem Objektfeld (19) führt, wobei der Verlagerungsaktor (39) derart ausgeführt ist, dass er mit der Spiegelkomponente (13) zur Verlagerung der Spiegelkomponente (13) zusammenwirkt.

8. Mess-Beleuchtungsoptik nach einem der Ansprüche 3 bis 7, **dadurch gekennzeichnet**, dass der Verlagerungsaktor (41) zur Verlagerung der Mess-Beleuchtungsoptik (28) relativ zum Objektfeld (19) einer der Mess-Beleuchtungsoptik (28) nachgelagerten Projektionsoptik (20) zur Abbildung des Objektfeldes (19) in ein Bildfeld (23) ausgeführt ist.

9. Mess-Beleuchtungsoptik nach einem der Ansprüche 3 bis 8, **dadurch gekennzeichnet**, dass der Verlagerungsaktor (22) zur Verlagerung einer Objekthalterung (21) relativ zur sonstigen Mess-Beleuchtungsoptik (28) ausgeführt ist.

10. Mess-Beleuchtungsoptik (28), zusätzlich ausgeführt als Produktions-Beleuchtungsoptik für die Projektionsbelichtungsanlage (1).

11. Beleuchtungssystem mit einer Mess-Beleuchtungsoptik (28) nach einem der Ansprüche 1 bis 10 und mit einer Lichtquelle (2) für das Beleuchtungslicht (3).

12. Beleuchtungssystem mit einer Mess-Beleuchtungsoptik (28) nach einem der Ansprüche 1 bis 9 und mit einer Projektionsoptik (20) zur Abbildung des Objektfeldes (19) in ein Bildfeld (23) der Projektionsbelichtungsanlage (1), in dem ein Substrat (25) anordenbar ist.

13. Beleuchtungssystem nach Anspruch 12 unter Rückbeziehung auf Anspruch 3, **dadurch gekennzeichnet**, dass der Verlagerungsaktor (41) als Translationsaktor für die Beleuchtungsoptik (28) relativ zur Projektionsoptik (20) ausgeführt ist.

14. Projektionsbelichtungsanlage (1) mit einem Beleuchtungssystem nach einem der Ansprüche 11 bis 13.

15. 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 14,
- Projizieren wenigstens eines Teils des Retikels (18) auf einen Bereich der Schicht des Wafers (25) mit Hilfe der Projektionsbelichtungsanlage (1).

16. Strukturierter Bauelement, hergestellt nach einem Verfahren nach Anspruch 15.

Es folgen 12 Seiten Zeichnungen

Anhängende Zeichnungen

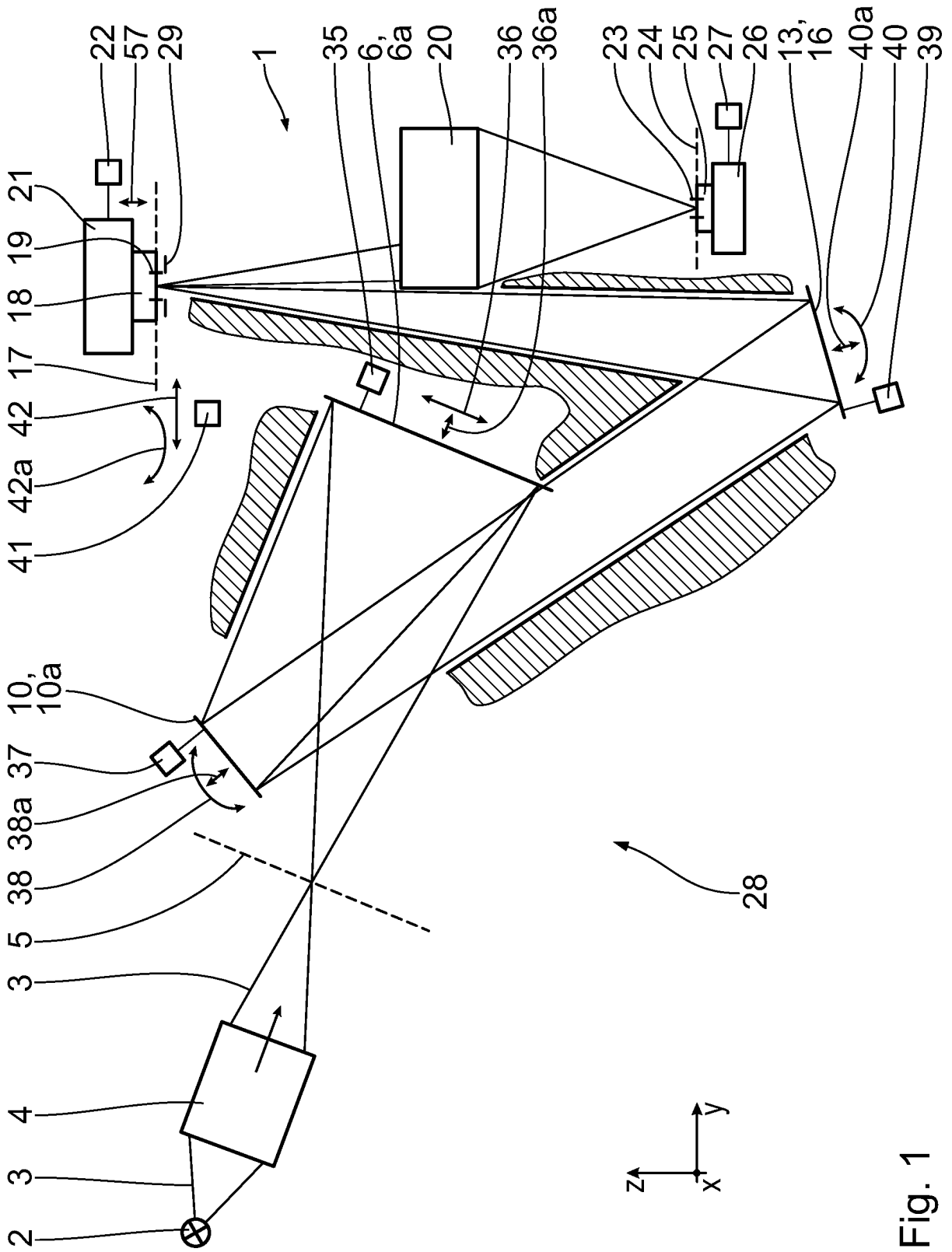


Fig. 1

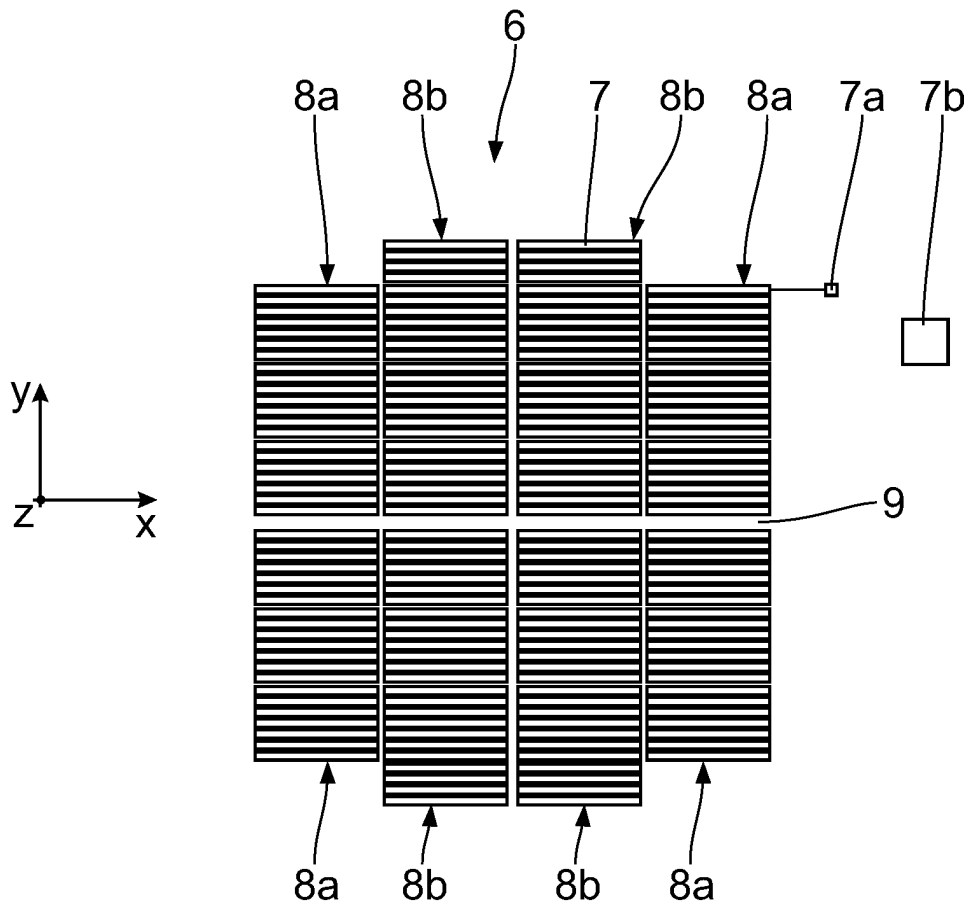


Fig. 2

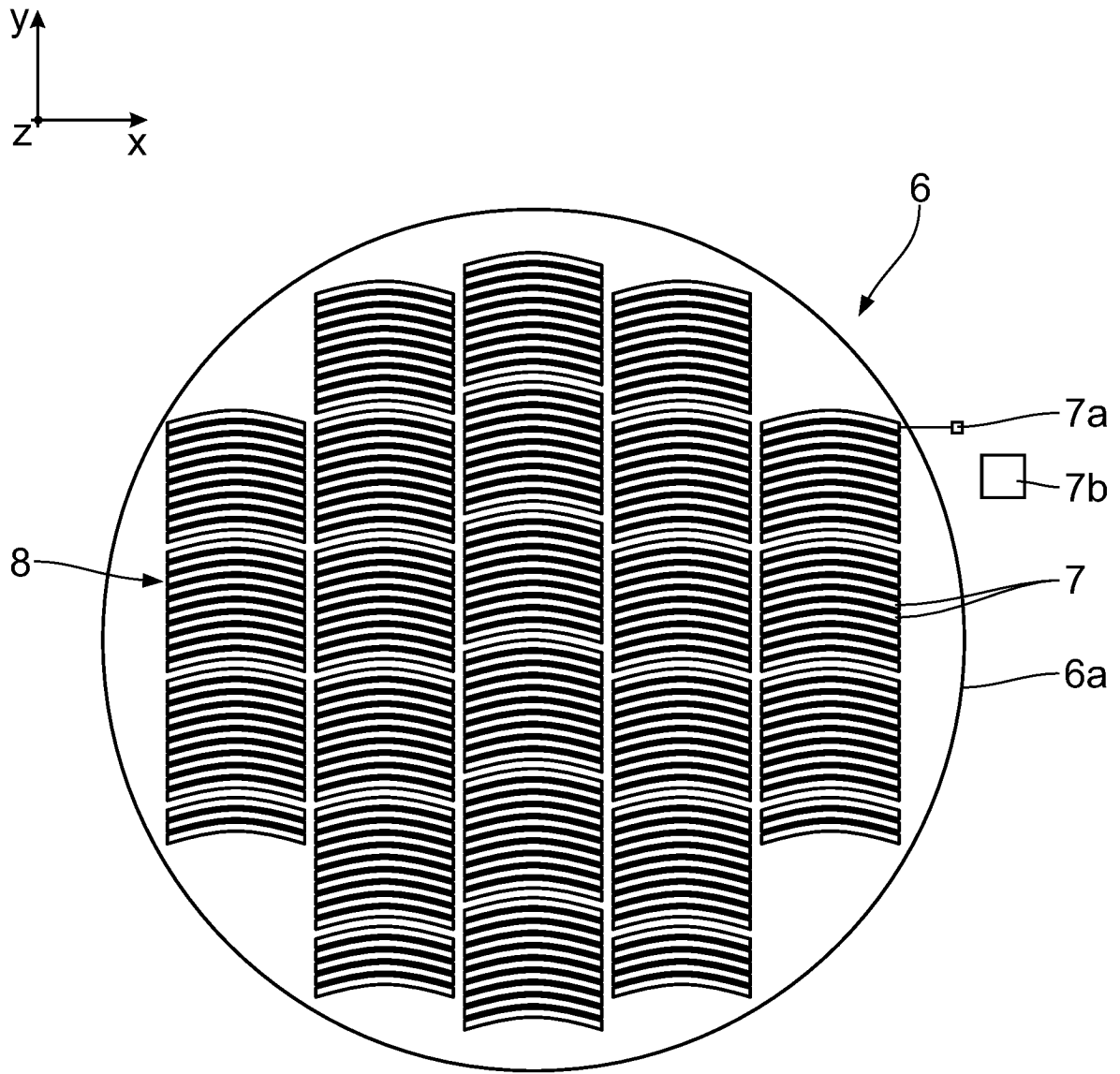


Fig. 3

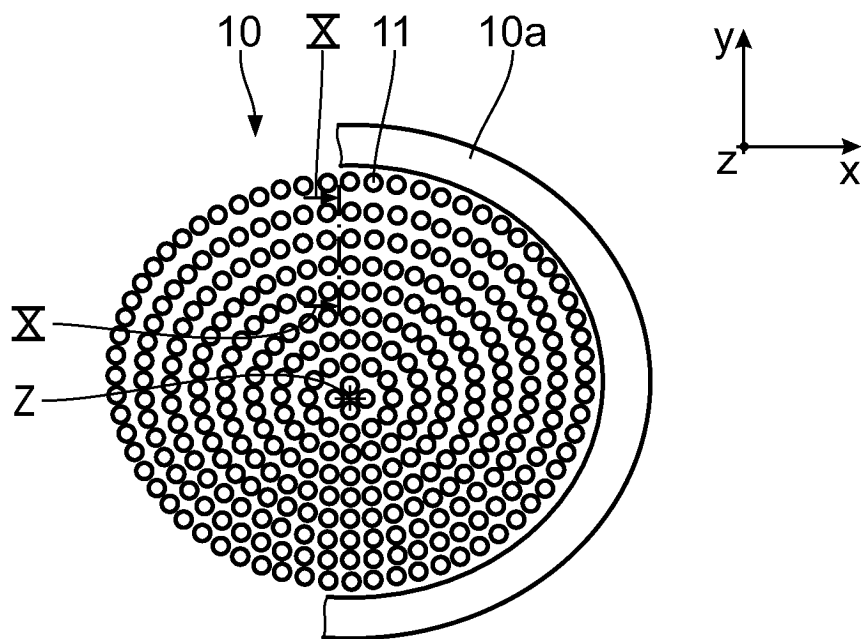


Fig. 4

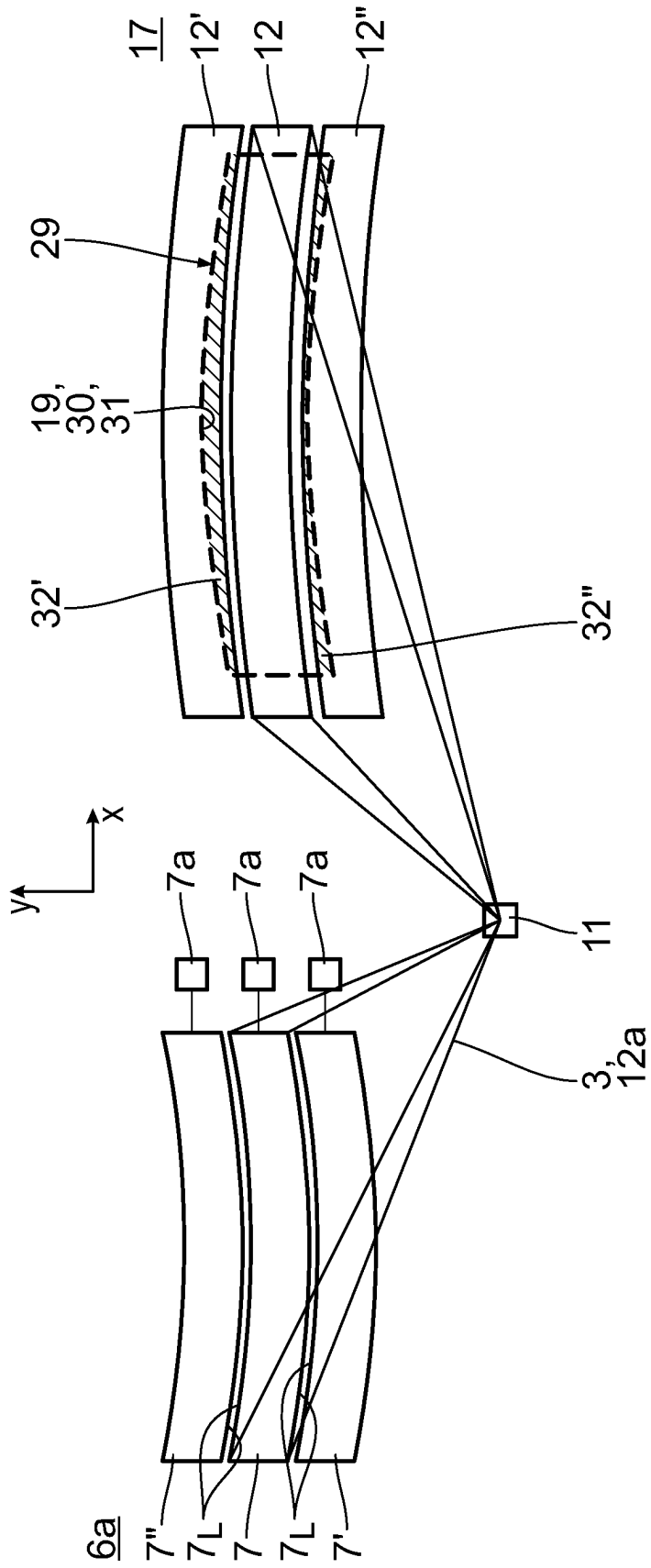


Fig. 5A

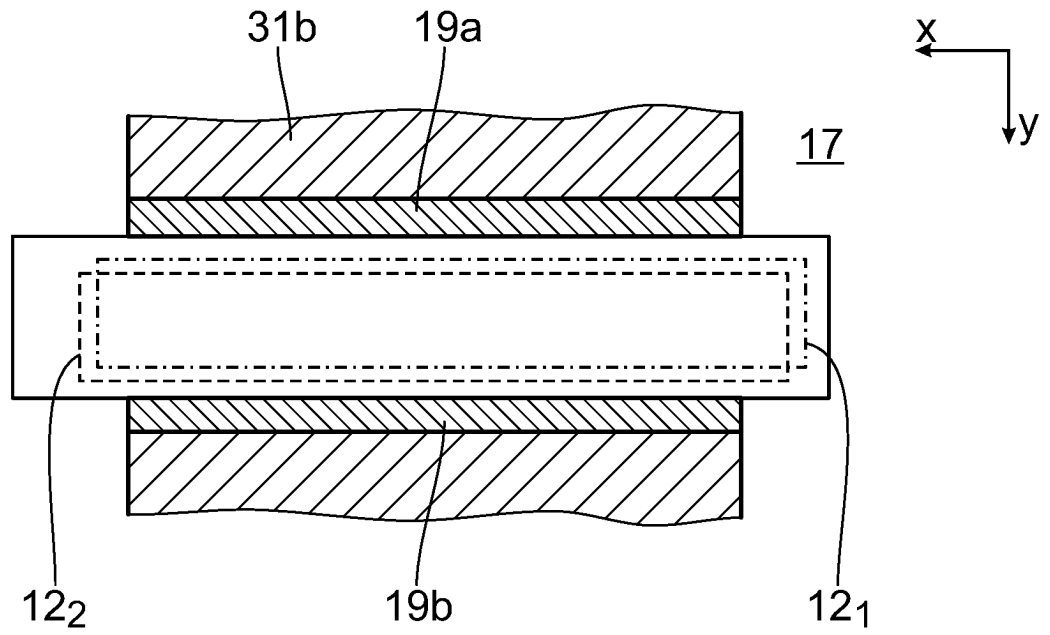


Fig. 5B

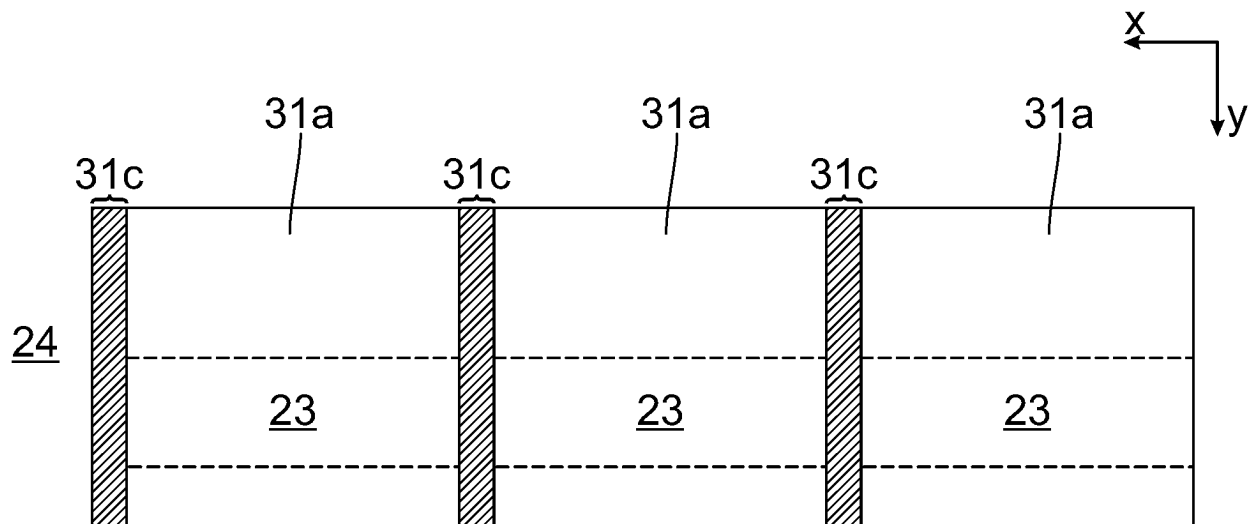


Fig. 5C

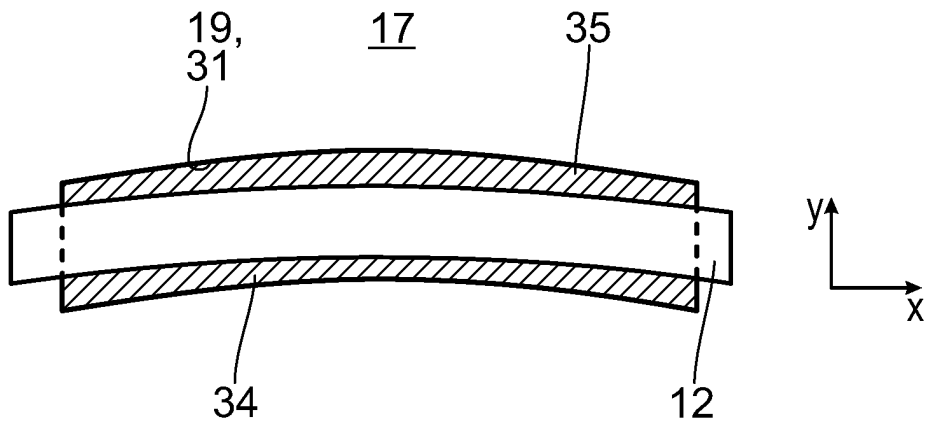


Fig. 6

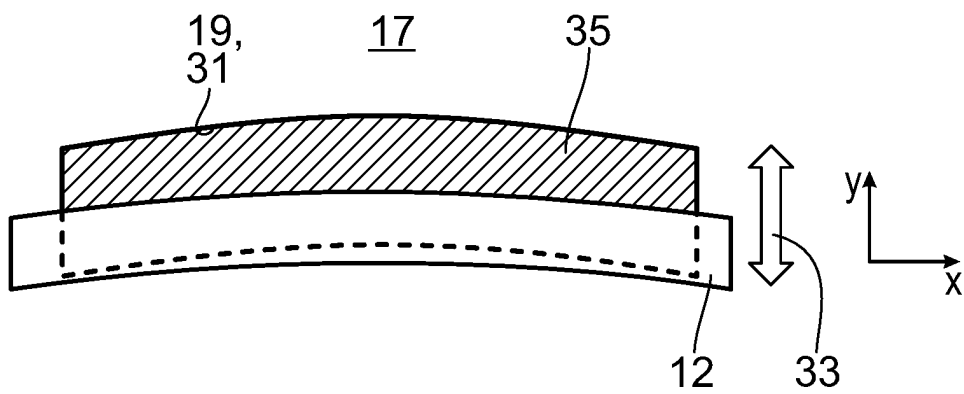


Fig. 7

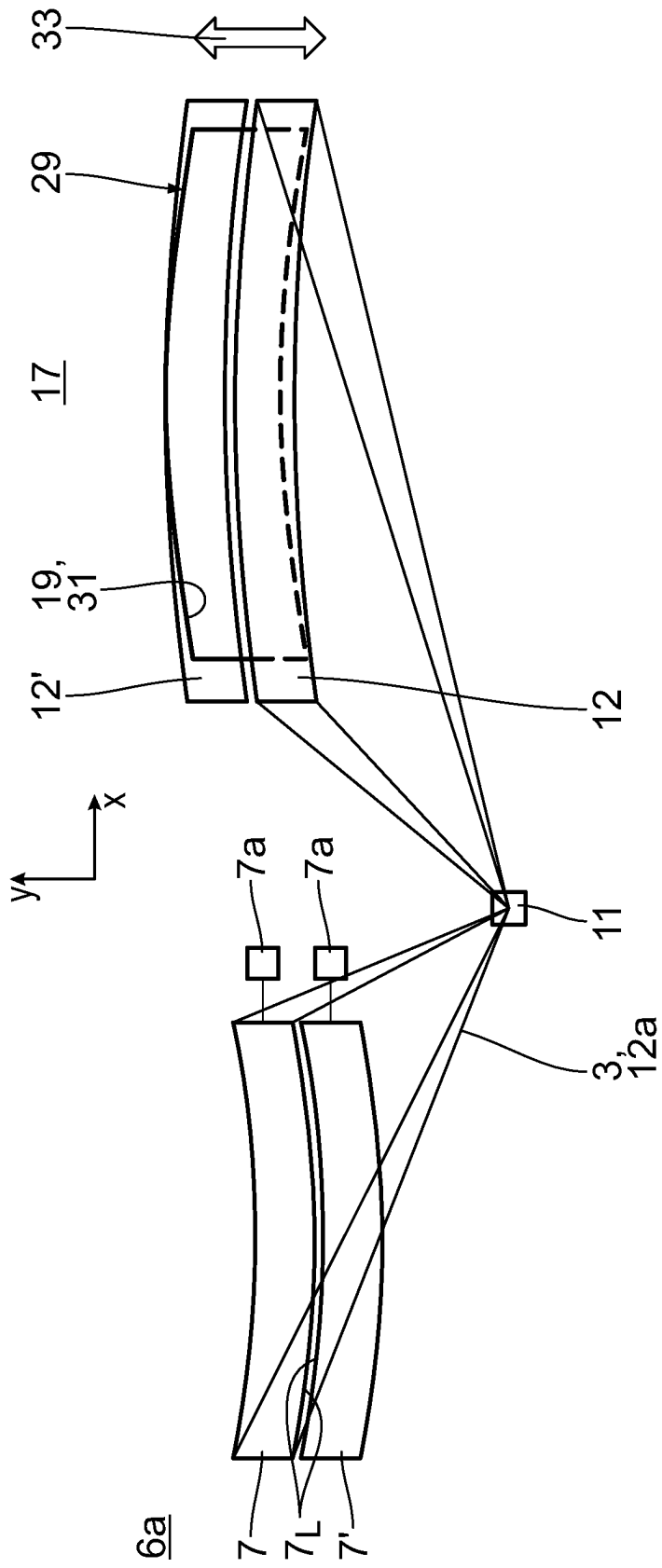


Fig. 8

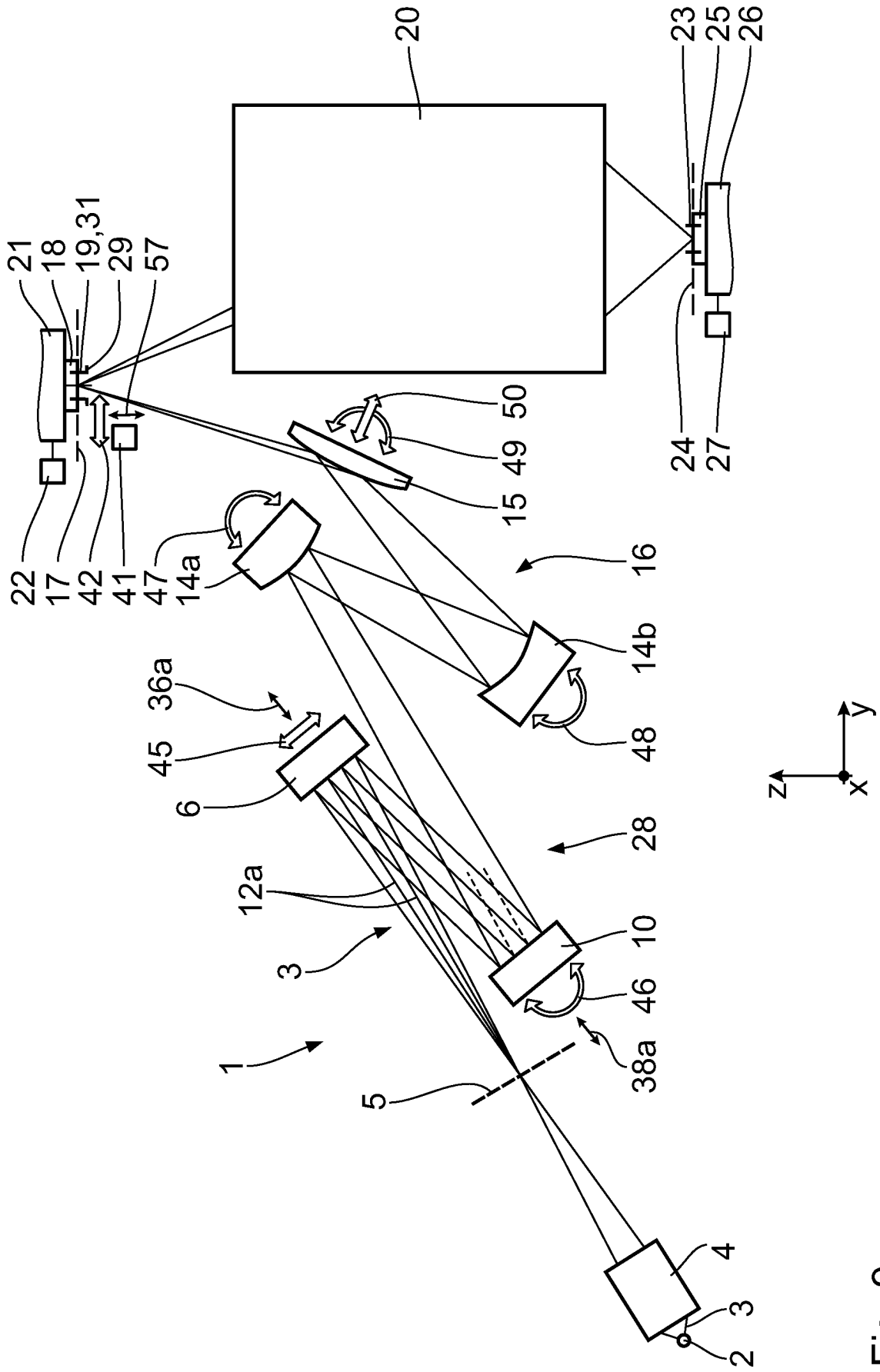


Fig. 9

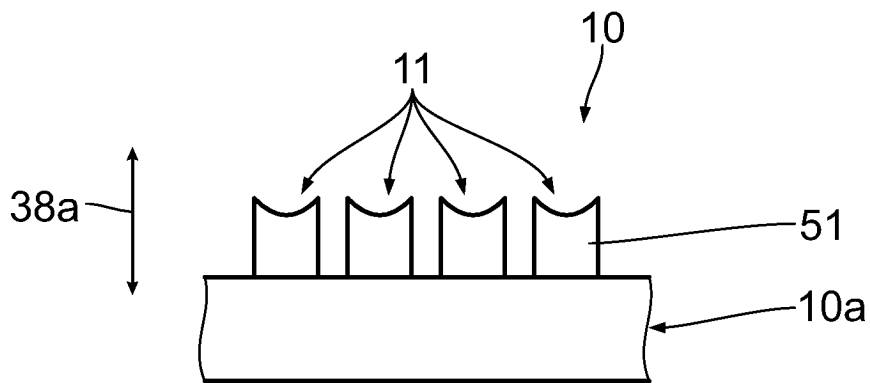


Fig. 10

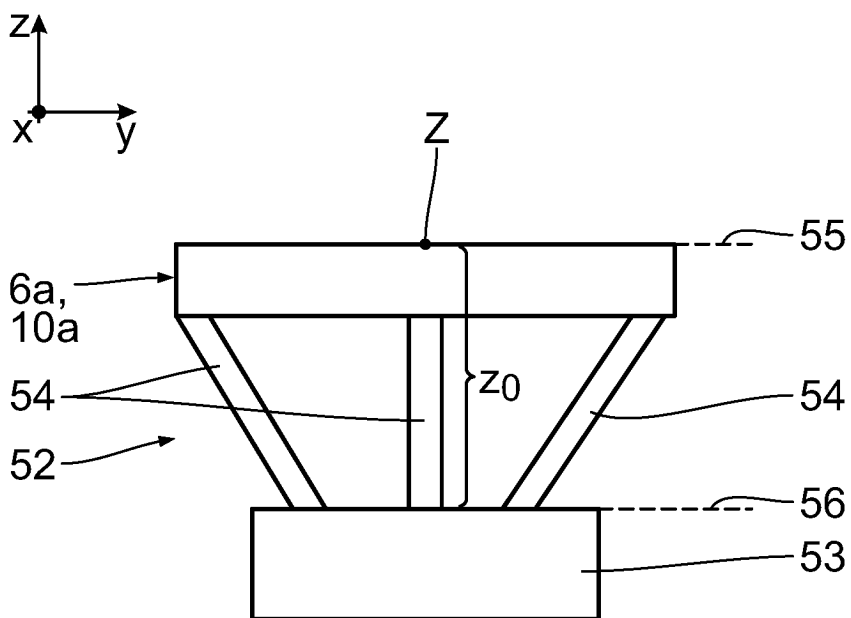


Fig. 11

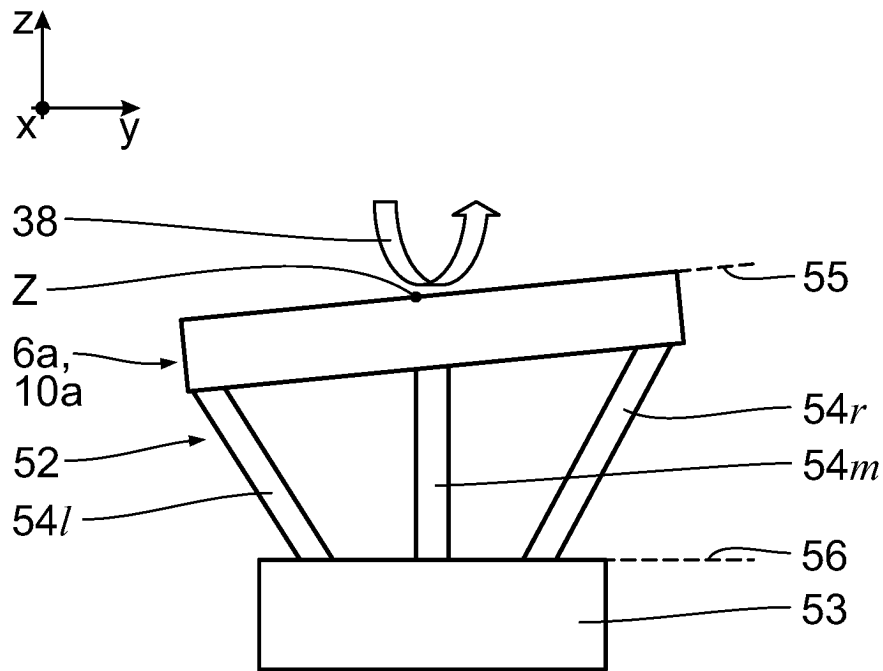


Fig. 12

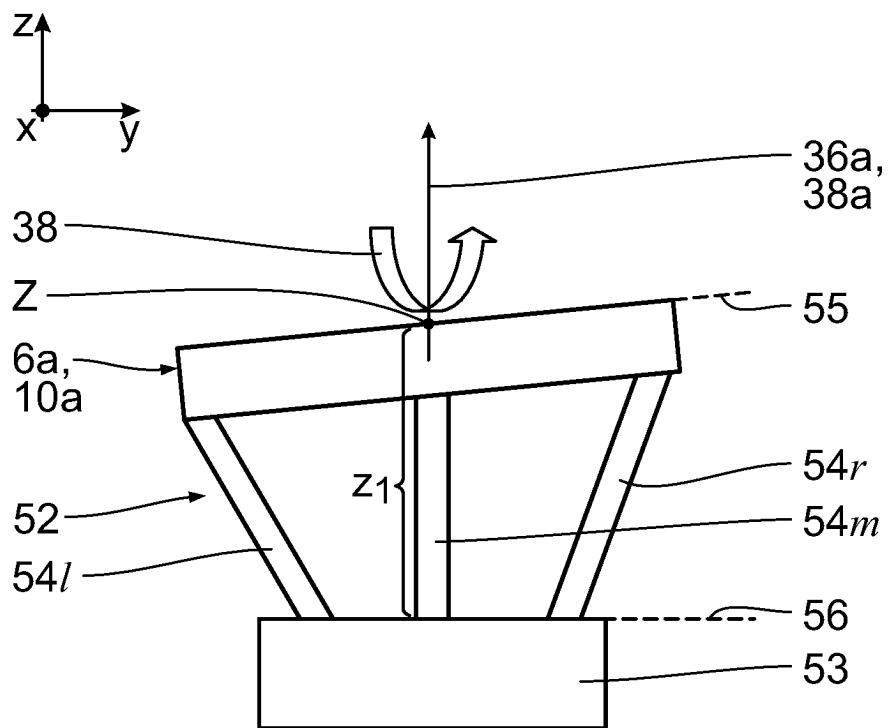


Fig. 13

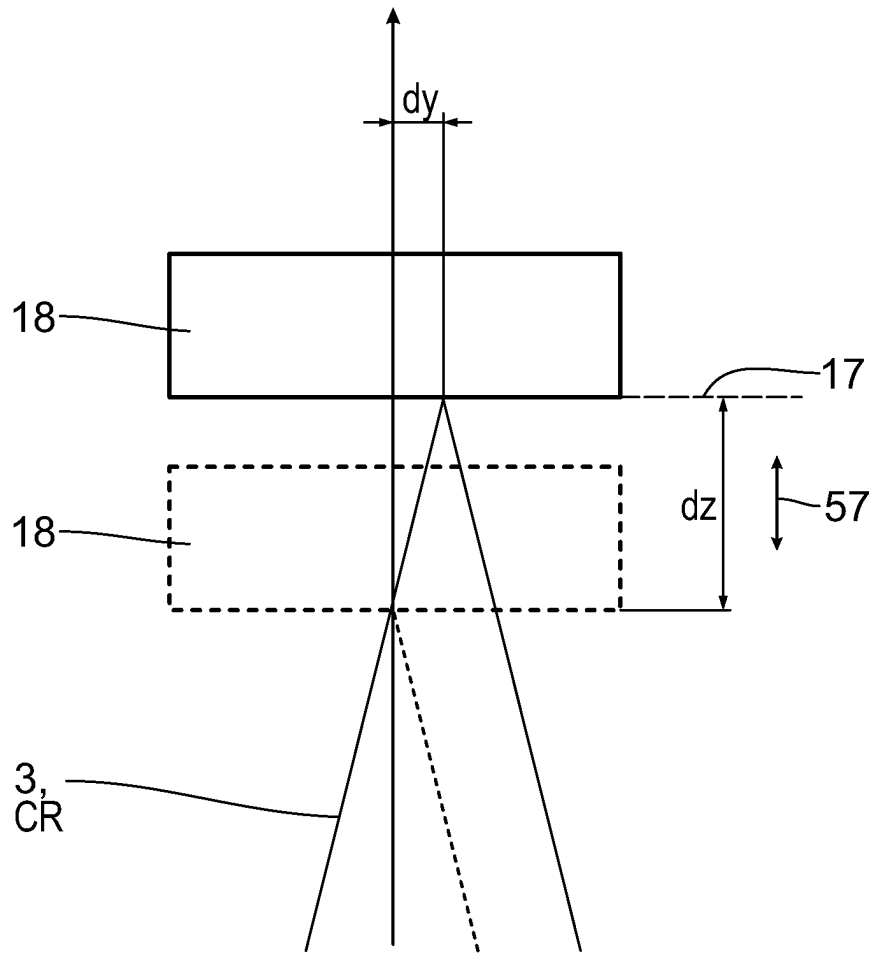


Fig. 14