



(10) **DE 10 2011 086 345 A1** 2013.05.16

(12) **Offenlegungsschrift**

(21) Aktenzeichen: **10 2011 086 345.1**  
(22) Anmeldetag: **15.11.2011**  
(43) Offenlegungstag: **16.05.2013**

(51) Int Cl.: **G02B 5/09** (2011.01)  
**G03F 7/20** (2011.01)  
**G21K 1/06** (2011.01)  
**B81B 7/02** (2011.01)

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

(72) Erfinder:  
**Ruoff, Johannes, 73431, Aalen, DE; Feldmann,  
Heiko, 73430, Aalen, DE; Layh, Michael, 73432,  
Aalen, DE**

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

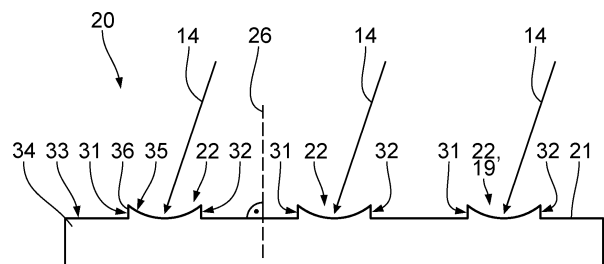
**DE 102 05 425 A1**  
**DE 102 61 137 A1**  
**DE 103 29 141 A1**  
**DE 10 2007 034 447 A1**  
**DE 10 2010 038 748 A1**

Prüfungsantrag gemäß § 44 PatG ist gestellt.

**Die folgenden Angaben sind den vom Anmelder eingereichten Unterlagen entnommen**

(54) Bezeichnung: **Spiegel**

(57) Zusammenfassung: Ein Spiegel (20) für EUV-Strahlung (14) umfasst eine Gesamtreflexionsfläche (24), welche einen ersten EUV-strahlungsreflektierenden Bereich und mindestens einen zweiten EUV-strahlungsreflektierenden Bereich aufweist, wobei die EUV-strahlungsreflektierenden Bereiche konstruktiv voneinander abgegrenzt sind, wobei der erste Bereich mindestens eine erste Teilreflexionsfläche (22) umfasst, welche entlang eines Umfangs (3) jeweils vom mindestens einen zweiten Bereich umgeben ist, und wobei der mindestens einen zweiten EUV-strahlungsreflektierenden Bereich mindestens eine zweite Teilreflexionsfläche (23) umfasst, welche wegzusammenhängend ausgebildet ist, und welche stetig ausgebildet ist.



**Beschreibung**

**[0001]** Die Erfindung betrifft einen Spiegel für die EUV-Strahlung. Die Erfindung betrifft weiterhin die Anordnung eines Spiegels für EUV-Strahlung in einer Projektionsbelichtungsanlage. Weiterhin betrifft die Anmeldung eine Beleuchtungsoptik und eine Projektionsoptik sowie ein optisches System für eine EUV-Projektionsbelichtungsanlage und eine EUV-Projektionsbelichtungsanlage. Schließlich betrifft die Erfindung ein Verfahren zur Herstellung eines mikro- oder nanostrukturierten Bauelements und ein nach diesem Verfahren hergestelltes Bauelement.

**[0002]** Spiegel für EUV-Strahlung sowie eine EUV-Projektionsbelichtungsanlage sind aus der EP 1 927 892 A1 bekannt.

**[0003]** Es ist eine Aufgabe der vorliegenden Erfindung, einen Spiegel für EUV-Strahlung derart weiterzubilden, dass eine Verbesserung der optischen Qualität einer EUV-Projektionsbelichtungsanlage möglich ist.

**[0004]** Diese Aufgabe ist durch einen Spiegel gemäß Anspruch 1 gelöst.

**[0005]** Erfindungsgemäß wurde erkannt, dass sich der Strahlengang in einer Projektionsbelichtungsanlage dadurch verbessern lässt, dass ein einziger Spiegel mehrere unterschiedliche strahlungsreflektierende Bereiche mit unterschiedlichen Funktionen aufweist. Es wurde insbesondere erkannt, dass das Reflexionsvermögen eines als Lithographiemaske dienenden Retikels ab einem bestimmten Einfallswinkel der zur Beleuchtung verwendeten EUV-Strahlung stark abfällt. Andererseits kommt es bei einer Beleuchtung des Retikels mit kleinen Einfallswinkeln, insbesondere bei einer senkrechten Beleuchtung des Retikels, das heißt bei einem Verlauf des Hauptstrahls der Beleuchtungsoptik parallel zur optischen Achse und einer senkrechten Ausrichtung des Retikels hierzu, bautechnisch bedingt zu Obskurationen des Strahlengangs in der Beleuchtungs- und/oder Projektionsoptik. Erfindungsgemäß ist daher vorgesehen, die Gesamtreflexionsfläche eines Spiegels in einen ersten und mindestens einen zweiten strahlungsreflektierenden Bereich aufzuteilen, wobei die Bereiche konstruktiv voneinander abgegrenzt sind, und wobei der erste Bereich mindestens eine erste Teilreflexionsfläche umfasst, welche vom mindestens einen zweiten Bereich umgeben ist, und wobei der mindestens eine zweite strahlungsreflektierende Bereich mindestens eine zweite Teilreflexionsfläche umfasst, welche wegzusammenhängend ausgebildet ist, und welche stetig, insbesondere beugungskantenfrei ausgebildet ist. Der zweite Bereich kann auch insgesamt stetig, das heißt abgesehen vom Rand beugungskantenfrei ausgebildet sein. Die Teilreflexionsflächen des ersten Bereichs können insbeson-

dere jeweils vollständig vom mindestens einen zweiten Bereich umgeben sein. Sie können mit anderen Worten insulär im zweiten Bereich angeordnet sein. Der zweite Bereich ist in diesem Fall insbesondere nicht einfach zusammenhängend ausgebildet. Eine derartige Ausbildung des Spiegels ermöglicht es, gewissermaßen zwei unterschiedliche Spiegel in einem einzigen Bauelement auszubilden.

**[0006]** Die mindestens eine erste Teilreflexionsfläche ist insbesondere jeweils derart relativ zur zweiten Teilreflexionsfläche angeordnet, dass der Umfang derselben jeweils eine Kante bildet. Die erste Teilreflexionsfläche kann insbesondere jeweils in Richtung einer Flächennormalen gegen die zweite Teilreflexionsfläche versetzt angeordnet sein. Die Gesamtreflexionsfläche kann insbesondere im Bereich des Umfangs jeweils unstetig ausgebildet sein. Dies kann beispielsweise dadurch erreicht werden, dass die erste Teilreflexionsfläche jeweils als separates Element auf die zweite Teilreflexionsfläche aufgebracht oder in Aussparungen in der zweiten Teilreflexionsfläche angeordnet ist. Dies erleichtert den konstruktiven Aufbau des Spiegels.

**[0007]** Vorzugsweise umfasst der erste Bereich eine Mehrzahl separater Teilreflexionsflächen. Die Anzahl der ersten Teilreflexionsflächen kann mindestens zehn, insbesondere mindestens 30, insbesondere mindestens 100, insbesondere mindestens 300, insbesondere mindestens 500, insbesondere mindestens 1000 betragen. Die ersten Teilreflexionsflächen können Facettenelemente, insbesondere Pupillenfacetten, zur Ausbildung einer facettierten Beleuchtungsoptik bilden. Mit Hilfe derartiger Facettenelemente lassen sich unabhängige Beleuchtungskanäle einer Beleuchtungsoptik ausbilden. Diese können zu unterschiedlichen Beleuchtungssettings zur Beleuchtung eines Retikels mit einer vorgegebenen Beleuchtungswinkelverteilung kombiniert werden.

**[0008]** Gemäß einer besonders vorteilhaften Ausführungsform weist der erste Bereich eine räumlich Erstreckung auf, welche bei einer Punktspiegelung an einer zentralen Achse des Spiegels zu mindestens 80 % innerhalb des zweiten Bereichs zu liegen kommt. Vorzugsweise weist der erste Bereich eine räumliche Erstreckung auf, welche bei einer Punktspiegelung an einer zentralen Achse des Spiegels zu mindestens 90 %, insbesondere mindestens 95 %, vorzugsweise vollständig innerhalb des zweiten Bereichs zu liegen kommt. Mit anderen Worten existiert zu jeder ersten Teilreflexionsfläche jeweils eine konjugierte Fläche im zweiten Bereich derart, dass die nullte Beugungsordnung der vom Retikel reflektierten Strahlung von der ersten Teilreflexionsfläche größtenteils, insbesondere vollständig auf eine zweite Teilreflexionsfläche im zweiten strahlungsreflektierenden Bereich fällt.

**[0009]** Bei Kenntnis der Strukturen der üblicherweise verwendeten Retikel kann durch eine gezielte Anordnung der ersten und zweiten Teilreflexionsflächen vorbestimmt werden, welche Beugungsordnungen des reflektierten Lichtes zur Projektion dieser Retikel in das Bildfeld beitragen. Die Anordnung und Ausbildung der ersten und zweiten Teilreflexionsflächen kann insbesondere derart gewählt werden, dass für bestimmte Retikel zumindest oder ausschließlich die nullte Beugungsordnung und/oder die 1./–1. Beugungsordnung und/oder höhere Beugungsordnungen der reflektierten Strahlung zur Projektion dieser Retikel in das Bildfeld beitragen.

**[0010]** Für den konstruktiven Aufbau des Spiegels kann es vorteilhaft sein, die zweite Teilreflexionsfläche als reflektierende Beschichtung auf einem Grundsubstrat auszubilden und die mindestens eine erste Teilreflexionsfläche jeweils als Beschichtung auf mindestens einem weiteren Hilfssubstrat auszubilden. Das Hilfssubstrat kann hierbei auf dem Grundsubstrat oder in Öffnungen im Grundsubstrat angeordnet sein.

**[0011]** Eine weitere Aufgabe der Erfindung besteht darin, die Abbildungsqualität einer Projektionsbelichtungsanlage zu verbessern. Diese Aufgabe wird durch die Merkmale des Anspruchs 5 gelöst. Der Kern der Erfindung besteht darin, einen Spiegel derart in einer Projektionsbelichtungsanlage anzuordnen, dass ein erster strahlungsreflektierender Bereich des Spiegels im Strahlengang der Beleuchtungsoptik angeordnet ist und ein zweiter strahlungsreflektierender Bereich im Strahlengang der Projektionsoptik angeordnet ist. Der Spiegel ist somit als Ganzes betrachtet sowohl ein Bestandteil der Beleuchtungsoptik, als auch ein Bestandteil der Projektionsoptik. Durch eine derartige Anordnung des Spiegels kann insbesondere die Abbildungsqualität einer hochaperturigen Projektionsbelichtungsanlage verbessert werden. Die objektseitige numerische Apertur der Projektionsbelichtungsanlage kann insbesondere mindestens 0,4, insbesondere mindestens 0,5, insbesondere mindestens 0,6, insbesondere mindestens 0,7 betragen.

**[0012]** Insbesondere der erste Bereich umfasst eine Vielzahl unzusammenhängend ausgebildeter Teilreflexionsflächen. Diese bilden Facetten, insbesondere Pupillenfacetten der Beleuchtungsoptik.

**[0013]** Weitere Aufgaben der Erfindung bestehen darin, eine Beleuchtungsoptik, eine Projektionsoptik und ein optisches System für eine EUV-Projektionsbelichtungsanlage sowie eine EUV-Projektionsbelichtungsanlage zu verbessern.

**[0014]** Diese Aufgaben werden durch die Merkmale der Ansprüche 9, 10, 12 und 13 gelöst. Die Vorteile entsprechen den vorhergehend beschriebenen.

**[0015]** Weitere Aufgaben der Erfindung bestehen darin, ein Verfahren zur Herstellung eines Bauelements unter Verwendung der Projektionsbelichtungsanlage sowie ein durch das Verfahren hergestelltes Bauelement anzugeben. Diese Aufgaben sind erfindungsgemäß gelöst durch ein Herstellungsverfahren nach Anspruch 14 und ein Bauelement nach Anspruch 15.

**[0016]** Die Vorteile dieser Gegenstände entsprechen denjenigen, die bereits vorstehend diskutiert wurden.

**[0017]** Weitere Details und Einzelheiten der Erfindung ergeben sich aus der Beschreibung mehrerer Ausbildungsbeispiele anhand der Zeichnungen. Es zeigen:

**[0018]** [Fig. 1](#) eine schematische Darstellung der Komponenten einer EUV-Projektionsbelichtungsanlage für die EUV-Lithographie,

**[0019]** [Fig. 2](#) eine schematische Darstellung eines Spiegels gemäß einem ersten Ausführungsbeispiel,

**[0020]** [Fig. 3](#) eine schematische Darstellung eines Spiegels gemäß einem zweiten Ausführungsbeispiel,

**[0021]** [Fig. 4](#) schematische Darstellungen unterschiedlicher Anordnungen der strahlungsreflektierenden Bereiche auf dem Spiegel,

**[0022]** [Fig. 5](#) schematische Darstellungen der Anordnung des Spiegels im Strahlengang einer Projektionsbelichtungsanlage gemäß einem ersten Ausführungsbeispiel, und

**[0023]** [Fig. 6](#) schematische Darstellungen der Anordnung des Spiegels im Strahlengang einer Projektionsbelichtungsanlage gemäß einem zweiten Ausführungsbeispiel.

**[0024]** [Fig. 1](#) zeigt schematisch in einem Meridionalschnitt die Komponenten einer Projektionsbelichtungsanlage **1** für die Mikrolithografie. Ein Beleuchtungssystem **2** der Projektionsbelichtungsanlage **1** umfasst neben einer Strahlungsquelle **3** eine Beleuchtungsoptik **4** zur Belichtung eines Objektfeldes **5** in einer Objektebene **6**. Belichtet wird hierbei ein im Objektfeld **5** angeordnetes Retikel **7**, das von einem lediglich ausschnittsweise dargestellten Retikelhalter **8** gehalten ist.

**[0025]** Eine Projektionsoptik **9** dient zur Abbildung des Objektfeldes **5** in ein Bildfeld **10** in einer Bildebene **11**. Abgebildet wird eine Struktur auf dem Retikel **7** auf eine lichtempfindliche Schicht eines im Bereich des Bildfeldes **10** in der Bildebene **11** angeordneten Wafers **12**, der von einem ebenfalls schematisch dargestellten Waferhalter **13** gehalten ist.

**[0026]** Bei der Strahlungsquelle **3** handelt es sich um eine EUV-Strahlungsquelle, welche EUV-Strahlung **14** emittiert. Die Wellenlänge der emittierten Nutzstrahlung der EUV-Strahlungsquelle **3** liegt im Bereich von 5 nm bis 30 nm. Auch andere Wellenlängen, die in der Lithografie Verwendung finden, und für die geeignete Lichtquellen zur Verfügung stehen, sind möglich. Bei der Strahlungsquelle **3** kann es sich um eine Plasmaquelle, beispielsweise um eine DPP-Quelle oder um eine LPP-Quelle, handeln. Auch eine Strahlungsquelle, die auf einem Synchrotron basiert, ist als Strahlungsquelle **3** einsetzbar. Informationen zu einer derartigen Strahlungsquelle findet der Fachmann beispielsweise in der US 6 859 515 B2. Zur Bündelung der EUV-Strahlung **14** von der EUV-Strahlungsquelle **3** ist ein Kollektor **15** vorgesehen.

**[0027]** Die EUV-Strahlung **14** wird auch als Beleuchtungslicht oder als Abbildungslicht bezeichnet.

**[0028]** Die Beleuchtungsoptik **4** umfasst einen Feldfacettenspiegel **16** mit einer Vielzahl von Feldfacetten **17**. Der Feldfacettenspiegel **16** ist in einer Ebene der Beleuchtungsoptik **4** angeordnet, die zur Objektebene **6** optisch konjugiert ist. Vom Feldfacettenspiegel **16** wird die EUV-Strahlung **14** zu einem Pupillenfacettenspiegel **18** der Beleuchtungsoptik **4** reflektiert. Der Pupillenfacettenspiegel **18** weist eine Vielzahl von Pupillenfacetten **19** auf. Mit Hilfe des Pupillenfacettenspiegels **18** werden die Feldfacetten **17** des Feldfacettenspiegels **16** in das Objektfeld **5** abgebildet.

**[0029]** Zu jeder Feldfacette **17** auf dem Feldfacettenspiegel **16** gibt es mindestens eine zugehörige Pupillenfacette **19** auf dem Pupillenfacettenspiegel **18**. Zwischen je einer Feldfacette **17** und je einer Pupillenfacette **19** wird ein Lichtkanal ausgebildet. Die Facetten **17**, **19** mindestens eines der Facettenspiegel **16**, **18** können schaltbar ausgebildet sein. Sie können insbesondere verkippbar auf dem Facettenspiegel **16**, **18** angeordnet sein. Hierbei ist es möglich, nur einen Teil, beispielsweise höchstens 30 %, höchstens 50 % oder höchstens 70 % der Facetten **17**, **19** verkippbar auszubilden. Es kann auch vorgesehen sein, sämtliche Facetten **17**, **19** verkippbar auszubilden. Bei den schaltbaren Facetten **17**, **19** handelt es sich insbesondere um die Feldfacetten **17**. Durch eine Verkippung der Feldfacetten **17** kann die Zuordnung derselben zu den jeweiligen Pupillenfacetten **19** und damit die Ausbildung der Lichtkanäle variiert werden. Eine bestimmte Zuordnung der Feldfacetten **17** zu den jeweiligen Pupillenfacetten **19** wird auch als Beleuchtungssetting bezeichnet. Für weitere Details der Facettenspiegel **16**, **18** mit verkippbaren Facetten **17**, **19** sei auf die DE 10 2008 009 600 A1 verwiesen.

**[0030]** Für weitere Details der Beleuchtungsoptik **4** sei ebenfalls auf die DE 10 2008 009 600 A1 verwiesen.

**[0031]** Der Strahlengang der EUV-Strahlung **14** in der Beleuchtungsoptik **4** und der Projektionsoptik **9** sowie insbesondere die konstruktive Anordnung des Feldfacettenspiegels **16** und des Pupillenfacettenspiegels **18** ist der [Fig. 1](#) nicht zu entnehmen.

**[0032]** Der Retikelhalter **8** ist gesteuert so verlagerbar, dass bei der Projektionsbelichtung das Retikel **7** in einer Verlagerungsrichtung in der Objektebene **6** verlagert werden kann. Entsprechend ist der Waferhalter **13** gesteuert so verlagerbar, dass der Wafer **12** in einer Verlagerungsrichtung in der Bildebene **11** verlagerbar ist. Hierdurch können das Retikel **7** und der Wafer **12** einerseits durch das Objektfeld **5** und andererseits das Bildfeld **10** gescannt werden. Die Verlagerungsrichtung wird nachfolgend auch als Scan-Richtung bezeichnet. Die Verschiebung des Retikels **7** und des Wafers **12** in Scan-Richtung kann vorzugsweise synchron zueinander erfolgen.

**[0033]** Die Projektionsoptik **9** umfasst eine Vielzahl von Projektionsspiegeln  $M_i$ , welche in der [Fig. 1](#) nicht dargestellt sind. Die Projektionsoptik **9** umfasst insbesondere mindestens drei, insbesondere mindestens fünf Projektionsspiegel  $M_1$  bis  $M_5$ . Sie kann insbesondere mindestens sechs, sieben oder acht Projektionsspiegel  $M_1$  bis  $M_8$  aufweisen.

**[0034]** Beim Einsatz der Projektionsbelichtungsanlage **1** werden das Retikel **7** und der Wafer **12**, der eine für das Beleuchtungslicht **14** lichtempfindliche Beschichtung trägt, bereitgestellt. Anschließend wird zumindest ein Abschnitt des Retikels **7** mit Hilfe der Projektionsbelichtungsanlage **1** auf den Wafer **12** projiziert. Hierbei wird das Retikel derart mit EUV-Strahlung **14** beleuchtet, dass der Hauptstrahl (CRA, chief ray angle) der EUV-Strahlung **14** unter einem Einfallswinkel von höchstens  $6^\circ$ , insbesondere höchstens  $3^\circ$ , insbesondere höchstens  $1^\circ$ , insbesondere  $0^\circ$  auf das Retikel **7** trifft. Der Einfallswinkel ist hierbei als Winkel zwischen dem Hauptstrahl des zur Beleuchtung des Retikels **7** dienenden Strahlenbündels und einer Normalen **29** auf dem Retikel **7** definiert. Der Einfallswinkel des Hauptstrahls ist insbesondere kleiner als die objektseitige numerische Apertur,  $CRA < \arcsin(NAO)$ .

**[0035]** Bei der Projektion des Retikels **7** auf den Wafer **12** kann der Retikelhalter **8** und/oder der Waferhalter **13** in Richtung parallel zur Objektebene **6** beziehungsweise parallel zur Bildebene verlagert werden. Die Verlagerung des Retikels **7** und des Wafers **12** kann vorzugsweise synchron zueinander erfolgen.

**[0036]** Schließlich wird die mit dem Beleuchtungslicht belichtete lichtempfindliche Schicht auf dem Wafer **12** entwickelt. Auf diese Weise wird ein mikro- beziehungsweise nanostrukturiertes Bauelement, insbesondere ein Halbleiterchip, hergestellt.

**[0037]** Ein erfindungsgemäßes optisches System **27** umfasst die Beleuchtungsoptik **4** und die Projektionsoptik **9**.

**[0038]** Das erfindungsgemäße optische System **27** weist einen Spiegel **20** auf, der im Folgenden näher beschrieben wird.

**[0039]** Der Spiegel **20** weist einen Spiegelkörper **21** mit einer Gesamtreflexionsfläche **24** auf. Die Gesamtreflexionsfläche **24** wird vereinfachend auch als Spiegelfläche bezeichnet. Sie ist jedoch nicht notwendigerweise flach, insbesondere nicht notwendigerweise durchgehend ausgebildet. Sie weist insbesondere einen ersten EUV-strahlungsreflektierenden Bereich auf. Der erste EUV-strahlungsreflektierende Bereich umfasst eine Vielzahl an ersten Teilreflexionsflächen **22**. Die ersten Teilreflexionsflächen **22** können unzusammenhängend ausgebildet sein.

**[0040]** Die Anzahl der ersten Teilreflexionsflächen **22** kann insbesondere mindestens zehn, insbesondere mindestens **30**, insbesondere mindestens **100** betragen. Die ersten Teilreflexionsflächen **22** sind vorzugsweise gleichmäßig über die Gesamtreflexionsfläche **24** verteilt angeordnet. Sie sind insbesondere derart angeordnet, dass ihr geometrischer Schwerpunkt mit einer zentralen Achse **25** des Spiegels **20** zusammenfällt. Sie können auf einem oder mehreren Kreisen um die zentrale Achse **25** herum angeordnet sein.

**[0041]** Die ersten Teilreflexionsflächen **22** sind jeweils rund, insbesondere kreisförmig ausgebildet. Sie weisen lineare Abmessungen im Bereich von 1 mm bis 20 mm, insbesondere im Bereich von 5 mm bis 15 mm auf. Prinzipiell ist es auch möglich, die ersten Teilreflexionsflächen **22** eckig, insbesondere polygonal, beispielsweise quadratisch oder sechseckig, auszubilden.

**[0042]** Die ersten Teilreflexionsflächen **22** können die Pupillenfacetten **19** bilden. In diesem Fall bildet der erste strahlungsreflektierende Bereich des Spiegels **20** den Pupillenfacettenspiegel **18**. Dieser ist somit in den Spiegel **20** integriert und bildet insbesondere kein konstruktiv unabhängiges Element.

**[0043]** Außerdem weist der Spiegel **20** einen zweiten EUV-strahlungsreflektierenden Bereich auf. Der zweite EUV-strahlungsreflektierende Bereich umfasst eine zweite Teilreflexionsfläche **23**. Im dargestellten Ausführungsbeispiel bildet die Vereinigung der ersten und zweiten Teilreflexionsflächen **22**, **23** die Gesamtreflexionsfläche **24**. Prinzipiell ist es auch denkbar, den Spiegel **20** mit noch weiteren Bereichen mit separaten Teilreflexionsflächen auszubilden.

**[0044]** Die ersten Teilreflexionsflächen **22** sind jeweils entlang ihres Umfangs **31** vom zweiten Be-

reich, insbesondere von der zweiten Teilreflexionsfläche **23**, vollständig umgeben. Sie sind zumindest abschnittsweise entlang ihres Umfangs **31** von der zweiten Teilreflexionsfläche **23** umgeben, das heißt grenzen entlang ihres Umfangs **31** zumindest abschnittsweise an die zweite Teilreflexionsfläche **23** an.

**[0045]** Die ersten Teilreflexionsflächen **22** sind jeweils derart relativ zur zweiten Teilreflexionsfläche **23** angeordnet, dass der Umfang **31** jeweils eine Kante bildet. Im Bereich des Umfangs **31** kann insbesondere eine Stufe **32** ausgebildet sein. Die ersten Teilreflexionsflächen **22** können mit anderen Worten in Richtung einer Flächennormalen **26** des Spiegels **22** relativ zur zweiten Teilreflexionsfläche **23** versetzt angeordnet sein. Anders ausgedrückt ist die Gesamtreflexionsfläche **24** im Bereich des Umfangs **31** jeweils un stetig ausgebildet.

**[0046]** Im Übrigen ist die zweite Teilreflexionsfläche **23** jeweils sowie vorzugsweise der gesamte zweite Bereich stetig ausgebildet. Sie ist insbesondere abgesehen von ihrem Rand beugungskantenfrei ausgebildet. Sie ist wegzusammenhängend ausgebildet.

**[0047]** Die ersten Teilreflexionsflächen **22** sind jeweils derart auf der Gesamtreflexionsfläche **24** angeordnet, dass ihre räumliche Erstreckung bei einer Punktspiegelung an einer zentralen Achse **25** des Spiegels **20** vollständig innerhalb des zweiten Bereichs, das heißt im Bereich der zweiten Teilreflexionsfläche **23** zu liegen kommt. Die entsprechenden Teilflächen sind zur Verdeutlichung in der [Fig. 4](#) gestrichelt umrandet und mit dem Bezugszeichen **22\*** versehen dargestellt. Sie werden im Folgenden auch als zu den jeweiligen ersten Teilreflexionsflächen **22** konjugierte Flächen **22\*** bezeichnet. Im Allgemeinen ist die Anzahl der ersten Teilreflexionsflächen **22** wesentlich größer als in der [Fig. 4](#) dargestellt.

**[0048]** Der erste Bereich, das heißt die Gesamtheit der ersten Teilreflexionsflächen **22** weist somit eine räumliche Erstreckung auf, welche bei einer Punktspiegelung an der zentralen Achse **25** des Spiegels **20** vollständig innerhalb des zweiten Bereichs, das heißt im Bereich der zweiten Teilreflexionsfläche **23**, zu liegen kommt.

**[0049]** Die zweite Teilreflexionsfläche **23** ist als reflektierende Beschichtung **33** auf einem Grundsubstrat **34** ausgebildet. Die Beschichtung **33** umfasst insbesondere eine Vielzahl alternierender Schichten aus Silizium und Molybdän. Für Details eines derartigen Schichtsystems sei beispielsweise auf die DE 10 2010 001 336 B3 verwiesen. Entsprechend sind die ersten Teilreflexionsflächen **22** jeweils als Beschichtung **35** auf einem weiteren, vom Grundsubstrat **34** separaten Hilfssubstrat **36** ausgebildet. Die Beschichtung **35** für die ersten Teilreflexionsflächen **22** entspricht in ihrem prinzipiellen Aufbau der Be-

schichtung **33** für die zweite Teilreflexionsfläche **23**. Jedoch können die Schichten der Beschichtung **35** der ersten Teilreflexionsflächen **22** andere Schichtdicken aufweisen als die der Beschichtung **33** der zweiten Teilreflexionsfläche **23**. Für Details der Beschichtung **35** sei wiederum auf die DE 10 2010 001 336 B3 verwiesen. Bei dem in **Fig. 2** dargestellten Ausführungsbeispiel ist jede der ersten Teilreflexionsflächen **22** durch ein separates Hilfssubstrat **36** mit der Beschichtung **35** ausgebildet. Bei dem in **Fig. 2** dargestellten Ausführungsbeispiel sind die Hilfssubstrate **36** der ersten Teilreflexionsflächen **22** jeweils auf das Grundsubstrat **34** aufgebracht. Sie können insbesondere aufgeklebt, angesprengt oder auf das Grundsubstrat **34** gebonded sein. Eine derartige Anordnung der Hilfssubstrate **36** auf dem Grundsubstrat **34** ist sehr stabil.

**[0050]** Bei dem in **Fig. 3** dargestellten Ausführungsbeispiel sind die ersten Teilreflexionsflächen **22** in Aussparungen **37** im Grundsubstrat **34** angeordnet. Bei dieser Ausführungsform ist es möglich, sämtliche ersten Teilreflexionsflächen **22** auf einem einzigen Hilfssubstrat **36** auszubilden. Das Hilfssubstrat **36** ist bei dieser Ausführungsform von der Rückseite des Spiegels **20** in die das Grundsubstrat **34** des Spiegels **20** vollständig durchsetzenden Aussparungen **37** eingebracht. Dies führt zu einer thermischen und mechanischen Entkopplung des Hilfssubstrats **36** vom Grundsubstrat **34** und somit von den ersten Teilreflexionsflächen **22** und der zweiten Teilreflexionsfläche **23**. Bei dieser Ausführungsform ist somit im Bereich des Umfangs **31** der ersten Teilreflexionsflächen **22** jeweils ein kleiner Spalt **38** ausgebildet. Der Spalt **38** hat vorzugsweise eine freie Weite von höchstens 1 cm, insbesondere höchstens 3 mm, insbesondere höchstens 1 mm. Trotz des Spaltes **38** werden auch bei diesem Ausführungsbeispiel die ersten Teilreflexionsflächen **22** und die zweite Teilreflexionsfläche **23** als im Bereich des Umfangs **31** aneinander angrenzend bezeichnet. Die ersten Teilreflexionsflächen **22** sind jedenfalls jeweils von der zweiten Teilreflexionsfläche **23** umgeben. Erfindungsgemäß ist vorgesehen, den Spiegel **20** derart im Strahlengang der Projektionsbelichtungsanlage **1** anzuordnen, dass der erste Bereich, das heißt die ersten Teilreflexionsflächen **22**, im Strahlengang der Beleuchtungsoptik **4** angeordnet ist und der zweite Bereich, das heißt die zweite Teilreflexionsfläche **23**, im Strahlengang der Projektionsoptik **9** angeordnet ist. Der Spiegel **20** ist somit Bestandteil sowohl der Beleuchtungsoptik **4** als auch der Projektionsoptik **9**.

**[0051]** Mögliche Anordnungen des Spiegels **20** im Strahlengang der Projektionsbelichtungsanlage **1** sind exemplarisch in den **Fig. 5** und **Fig. 6** dargestellt. Die Projektionsoptik **9** weist bei beiden Ausführungsformen sechs Spiegel M1 bis M6 auf, wobei die Nummerierung der Spiegel M1 bis M6 ihrer Reihenfolge im Strahlengang der Projektionsoptik **9** ent-

spricht. Bei der in **Fig. 5** dargestellten Ausführungsform bildet der Spiegel **20**, insbesondere der zweite Bereich, das heißt die zweite Teilreflexionsfläche **23** desselben, den Spiegel M2 der Projektionsoptik **9**.

**[0052]** Bei dem in **Fig. 6** dargestellten Ausführungsbeispiel bildet der Spiegel **20**, insbesondere der zweite Bereich, das heißt die zweite Teilreflexionsfläche **23**, den Spiegel M1 der Projektionsoptik **9**. Dies führt zu geringeren Strahlungsverlusten und damit zu einer höheren Transmission der Projektionsoptik **9**.

**[0053]** Es kann insbesondere vorteilhaft sein, den Spiegel **20** pupillennah anzuordnen. Eine pupillennahe Anordnung eines Spiegels M liegt vor, wenn folgende Bedingung erfüllt ist:

$$P(M) = D(SA)/(D(SA) + D(CR)) \geq 0,5.$$

**[0054]** Hierbei ist D(SA) der Subaperturdurchmesser eines von einem Objektfeldpunkt ausgehenden Strahlbüschels am Ort des Spiegels M und D(CR) ist der maximale Abstand von Hauptstrahlen eines effektiven Objektfeldes, abgebildet durch die abbildende Optik, gemessen in einer Referenzebene des optischen Systems, auf der Oberfläche des Spiegels M. Bei der Referenzebene kann es sich um eine Symmetrie- oder um eine Meridionalebene der abbildenden Optik handeln. Die Definition des Parameters P(M) entspricht derjenigen, die in der WO 2009/024 164 A1 angegeben ist.

**[0055]** In einer Feldebene gilt  $P(M) = 0$ . In einer Pupillenebene gilt  $P(M) = 1$ .

**[0056]** Durch eine pupillennahe Anordnung des Spiegels **20** wird die Abhängigkeit der Abbildungseigenschaften von der Position im Objektfeld **5** reduziert. Es kann insbesondere eine feldunabhängige Abbildung erreicht werden.

**[0057]** Alternativ zum Einsatz in einer Projektionsbelichtungsanlage **1** kann der erfindungsgemäße Spiegel **20** auch in einer Inspektionsvorrichtung insbesondere zur Inspektion reflektierender Lithografiemasken oder zur Inspektion belichteter Wafersubstrate zum Einsatz kommen. Das Bildfeld **10** der Projektionsoptik **9** stellt in diesem Fall ein Inspektions-Objektfeld der Inspektionsvorrichtung dar.

**[0058]** In einer weiteren Ausführungsform umfasst der Spiegel **20** eine Vielzahl von verstellbaren Teilspegelelementen. Bei den Teilspegelelementen handelt es sich insbesondere um sogenannte Mikrospiegel. Der Spiegel **20** bildet insbesondere ein mikroelektromechanisches System (MEMS). Hierbei können die ersten Teilreflexionsflächen **22** und/oder die zweite Teilreflexionsfläche **23** durch verstellbare Mikrospiegel gebildet werden. Für konstruktive De-

tails derartiger Mikrospiegel sowie deren Ansteuerung sei auf die DE 10 2009 034 592 A1 verwiesen.

## 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

- EP 1927892 A1 [[0002](#)]
- US 6859515 B2 [[0026](#)]
- DE 102008009600 A1 [[0029](#), [0030](#)]
- DE 102010001336 B3 [[0049](#), [0049](#)]
- WO 2009/024164 A1 [[0054](#)]
- DE 102009034592 A1 [[0058](#)]

### Patentansprüche

1. Spiegel (20) für EUV-Strahlung (14) mit einer Gesamtreflexionsfläche (24), welche

- einen ersten EUV-strahlungsreflektierenden Bereich und
- mindestens einen zweiten EUV-strahlungsreflektierenden Bereich aufweist,
- wobei die EUV-strahlungsreflektierenden Bereiche konstruktiv voneinander abgegrenzt sind,
- wobei der erste Bereich mindestens eine erste Teilreflexionsfläche (22) umfasst, welche
- entlang eines Umfangs (3) jeweils vom mindestens einen zweiten Bereich umgeben ist, und
- wobei der mindestens eine zweite EUV-strahlungsreflektierende Bereich mindestens eine zweite Teilreflexionsfläche (23) umfasst,
- welche wegzusammenhängend ausgebildet ist, und
- welche stetig ausgebildet ist.

2. Spiegel (20) gemäß einem der vorhergehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, dass der erste Bereich eine Mehrzahl erster Teilreflexionsflächen (22) aufweist.

3. Spiegel (20) gemäß einem der vorhergehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, dass der erste Bereich eine räumliche Erstreckung aufweist, welche bei einer Punktspiegelung an einer zentralen Achse (25) des Spiegels (20) zu mindestens 80 % innerhalb des zweiten Bereichs zu liegen kommt.

4. Spiegel (20) gemäß einem der vorhergehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, dass die zweite Teilreflexionsfläche (23) als reflektierende Beschichtung (33) auf einem Grundsubstrat (34) ausgebildet ist, und die mindestens eine erste Teilreflexionsfläche (22) jeweils als reflektierende Beschichtung (35) auf mindestens einem weiteren Hilfssubstrat (36) ausgebildet ist.

5. Anordnung eines Spiegels (20) für EUV-Strahlung (14) in einer Projektionsbelichtungsanlage (1) für die Mikrolithographie mit einer Beleuchtungsoptik (4) zur Beleuchtung eines Objektfeldes (5) mit EUV-Strahlung (14) und einer Projektionsoptik (9) zur Projektion des Objektfeldes (5) in ein Bildfeld (10), wobei die EUV-Strahlung (14) in der Beleuchtungsoptik (4) und in der Projektionsoptik (9) einen bestimmten Strahlengang aufweist,

- wobei der Spiegel (20) einen Spiegelkörper (21) aufweist,
- mit mindestens einem erstem EUV-strahlungsreflektierenden Bereich und
- mindestens einem zweiten EUV-strahlungsreflektierenden Bereich,
- wobei der mindestens eine erste Bereich im Strahlengang der Beleuchtungsoptik (4) angeordnet ist, und

- wobei der mindestens eine zweite Bereich im Strahlengang der Projektionsoptik (9) angeordnet ist.

6. Anordnung eines Spiegels (20) gemäß Anspruch 5, dadurch gekennzeichnet, dass der mindestens eine zweite Bereich einen ersten Spiegel (M1) oder einen zweiten Spiegel (M2) im Strahlengang der Projektionsoptik (9) bildet.

7. Anordnung eines Spiegels (20) gemäß einem der Ansprüche 5 oder 6, dadurch gekennzeichnet, dass der erste Bereich eine Vielzahl unzusammenhängend ausgebildeter Teilreflexionsflächen (22) umfasst.

8. Anordnung eines Spiegels (20) gemäß einem der Ansprüche 5 bis 7, dadurch gekennzeichnet, dass der Spiegel gemäß einem der Ansprüche 1 bis 4 ausgebildet ist.

9. Beleuchtungsoptik (4) zur Beleuchtung eines Objektfeldes (5) mit EUV-Strahlung (14) mit einem Spiegel (20) gemäß einem der Ansprüche 1 bis 4.

10. Projektionsoptik (9) zur Abbildung eines Objektfeldes (5) in ein Bildfeld (10) mit einer Anordnung eines Spiegels (20) gemäß einem der Ansprüche 5 bis 9.

11. Projektionsoptik (9) gemäß Anspruch 10, dadurch gekennzeichnet, dass der Spiegel (20) pupilennah angeordnet ist.

12. Optisches System (27) für eine EUV-Projektionsbelichtungsanlage (1) mit

- einer Beleuchtungsoptik (4) zur Beleuchtung eines Objektfeldes (5) mit EUV-Strahlung (14),
- wobei die Beleuchtungsoptik (4) mindestens einen Pupillenfacettenspiegel (18) aufweist, und
- wobei die EUV-Strahlung in der Beleuchtungsoptik (4) zur Erzeugung eines bestimmten Beleuchtungsettings mindestens einen bestimmten Strahlengang aufweist, und
- einer Projektionsoptik (9) zur Abbildung des Objektfeldes (5) in ein Bildfeld (10),
- gekennzeichnet, durch eine Anordnung eines Spiegels (20) gemäß einem der Ansprüche 5 bis 9.

13. EUV-Projektionsbelichtungsanlage (1) mit

- einer EUV-Strahlungsquelle (3) und
- einem Optischen System (27) gemäß Anspruch 12.

14. Verfahren zur Herstellung eines mikro- oder nanostrukturierten Bauelements mit folgenden Verfahrensschritten:

- Bereitstellen eines Retikels (7),
- Bereitstellen eines Wafers (12) mit einer lichtempfindlichen Beschichtung,

- Projizieren zumindest eines Abschnitts des Retikels (7) auf den Wafer (12) mit Hilfe der Projektionsbelichtungsanlage (1) nach Anspruch 13,
- Entwickeln der belichteten lichtempfindlichen Beschichtung auf dem Wafer (12).

15. Bauelement, hergestellt nach dem Verfahren nach Anspruch 15.

Es folgen 5 Blatt Zeichnungen

Anhängende Zeichnungen

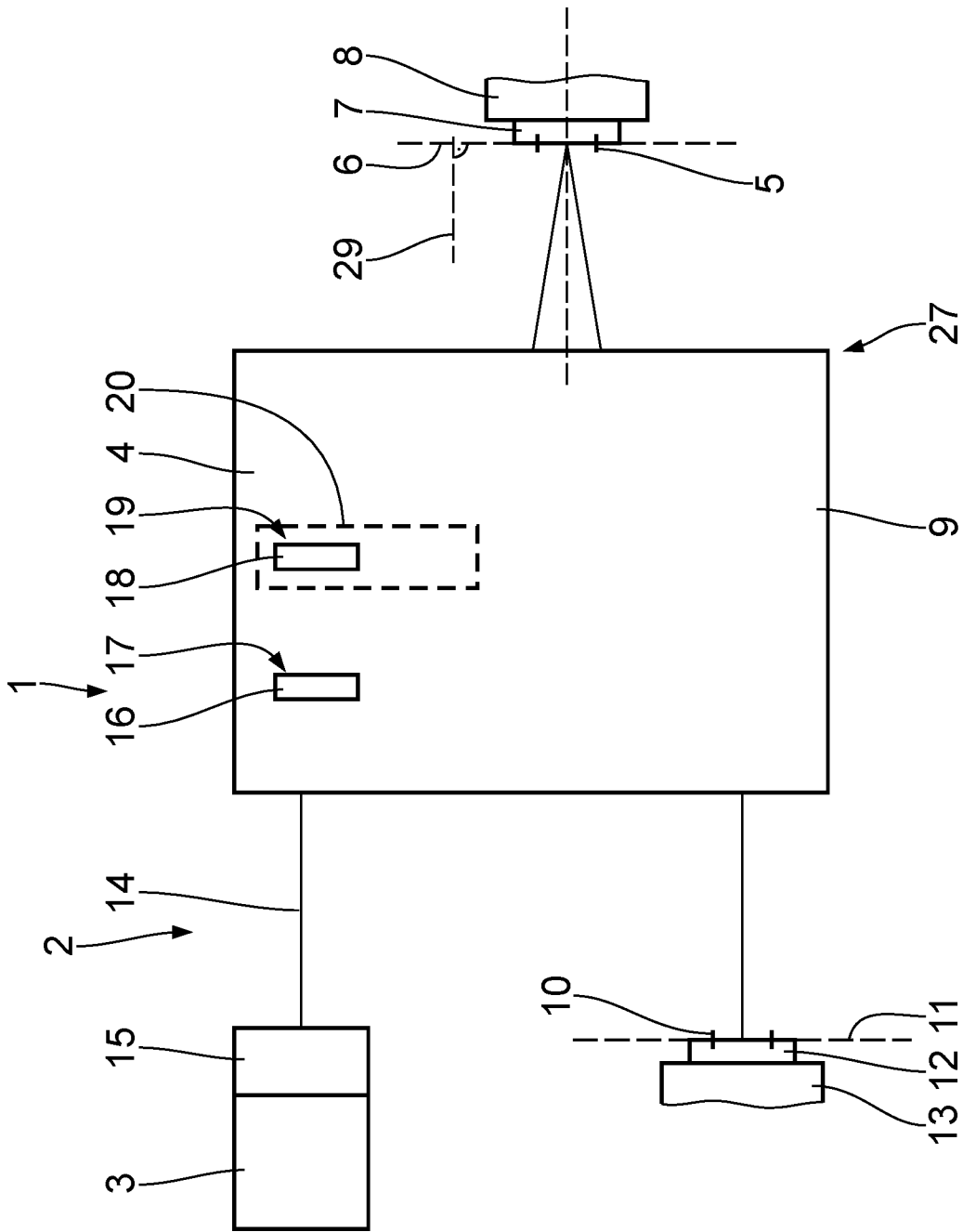


Fig. 1

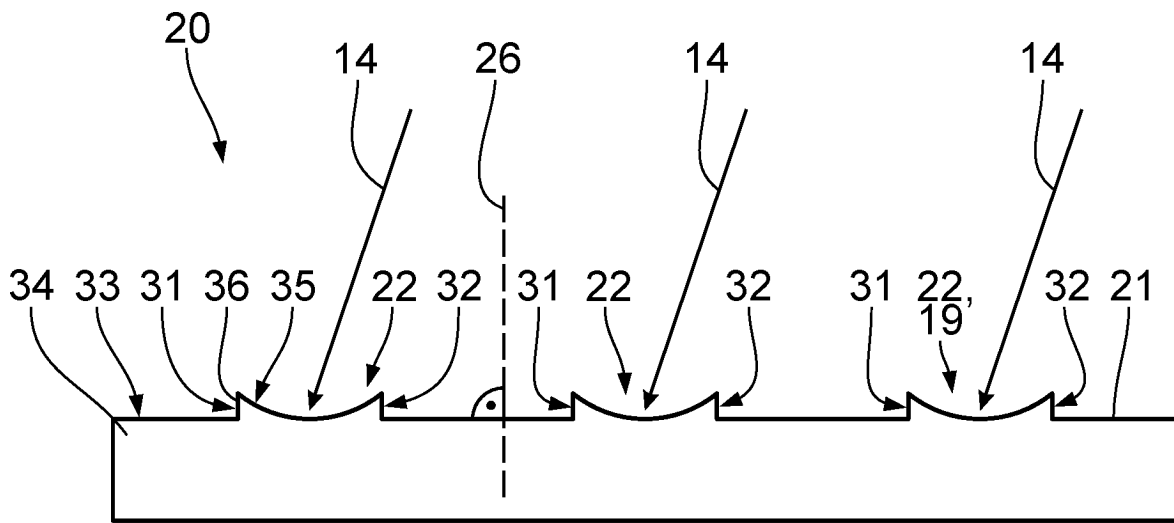


Fig. 2

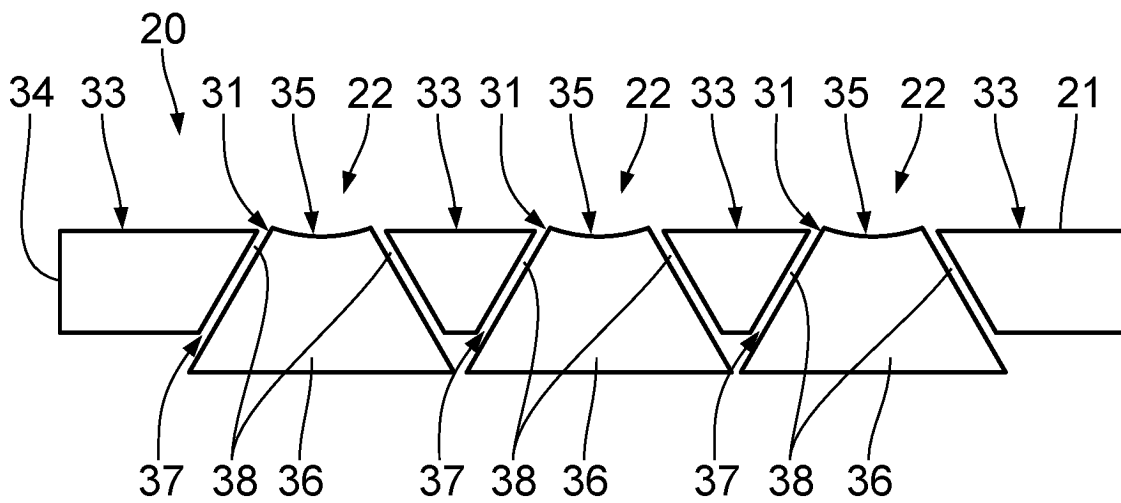


Fig. 3

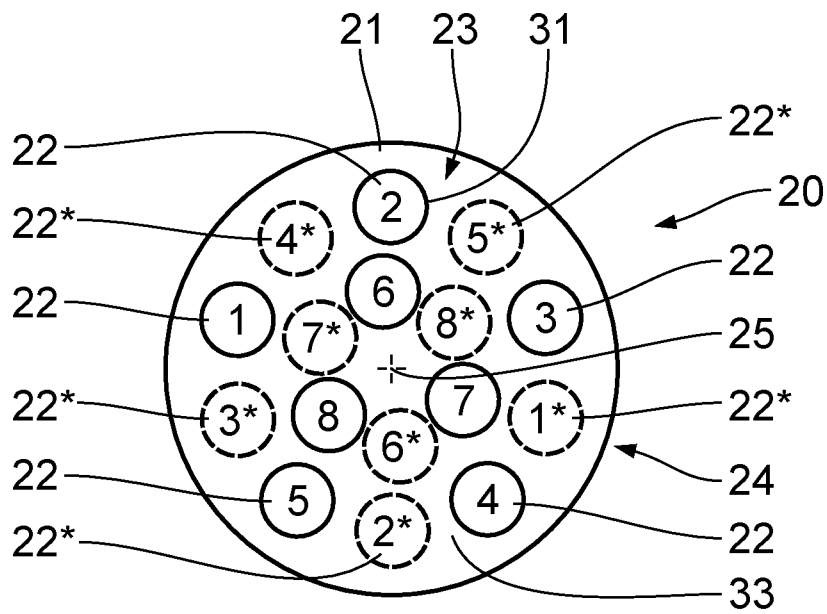


Fig. 4

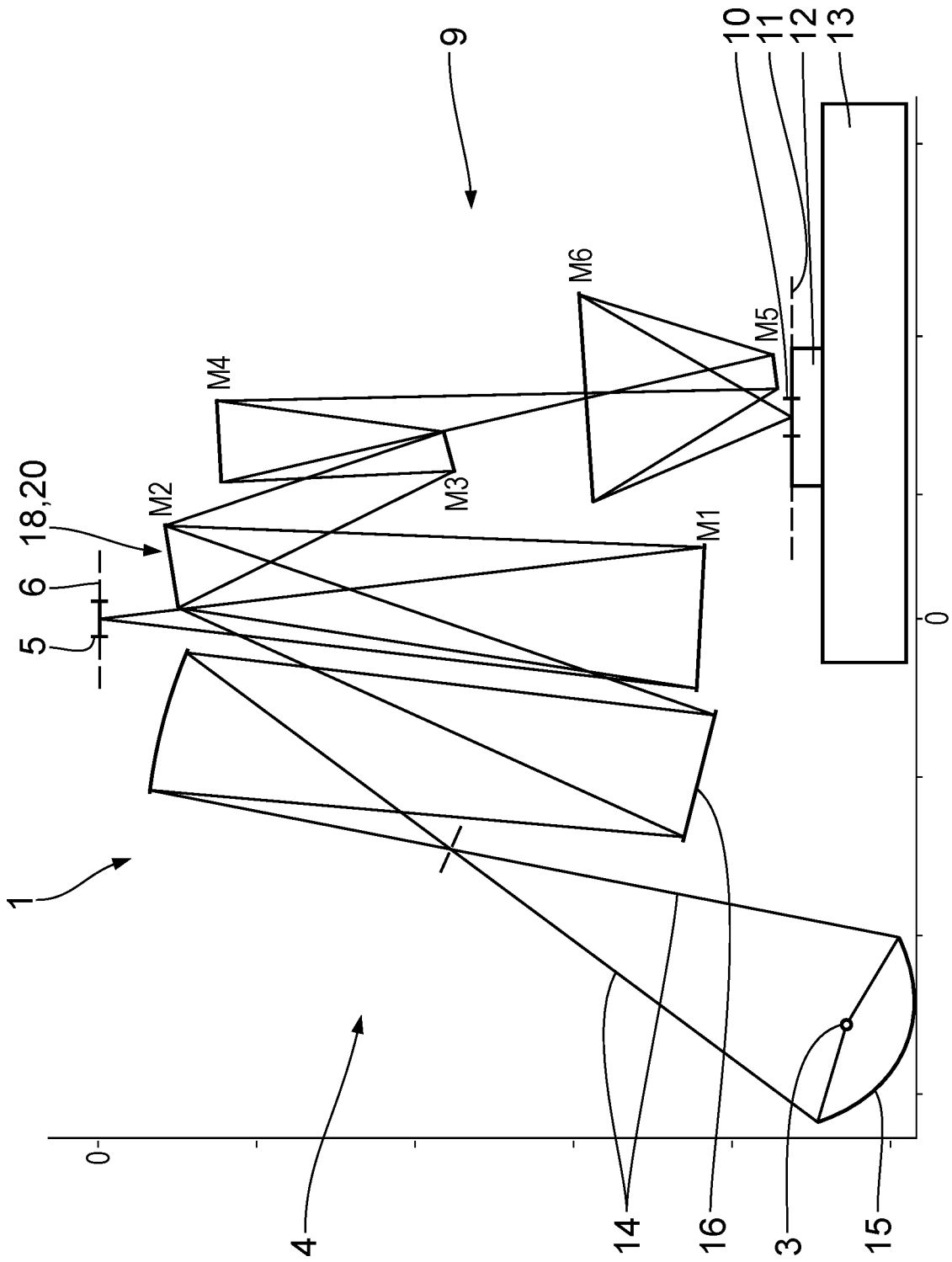


Fig. 5

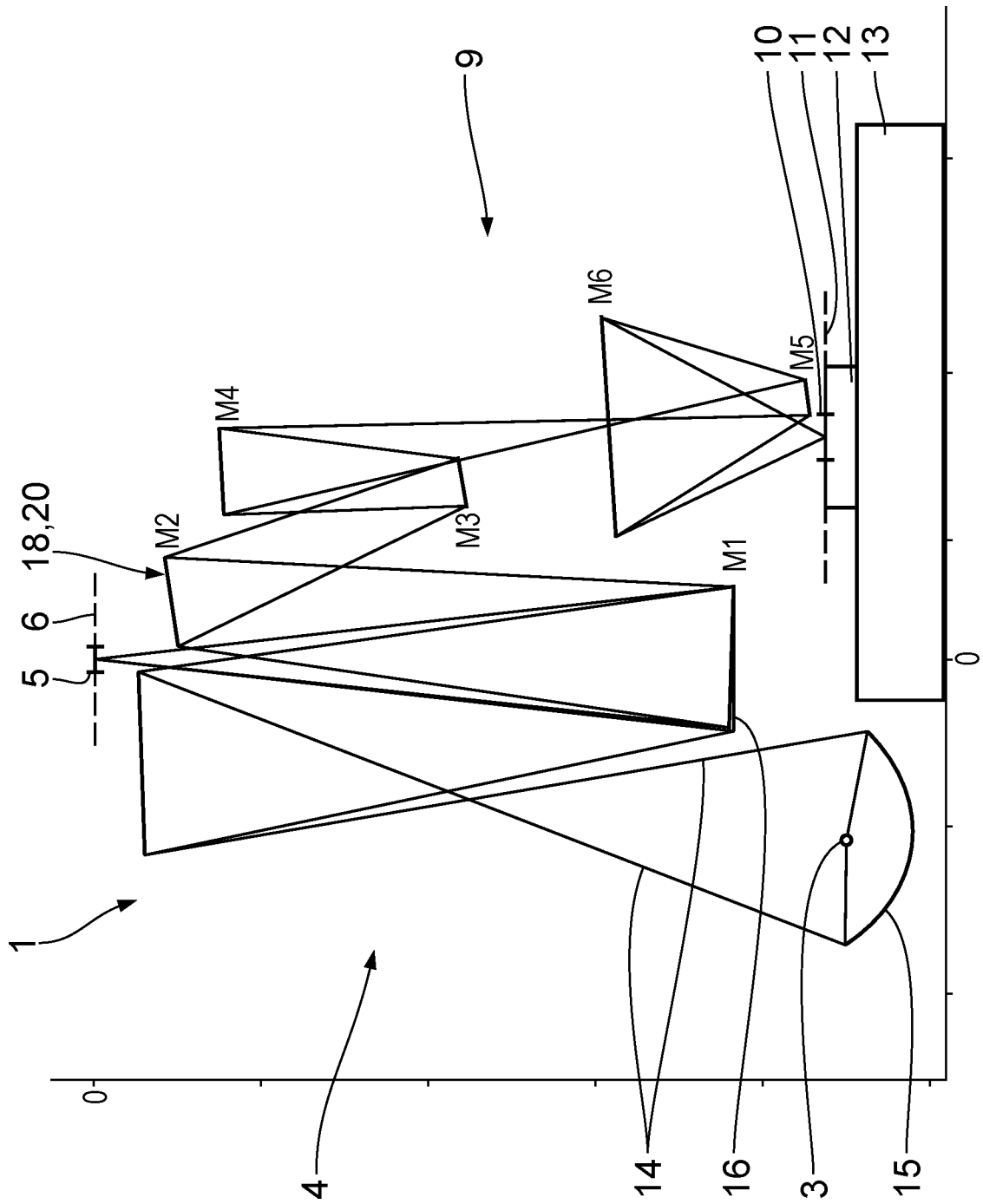


Fig. 6