



(12) **Offenlegungsschrift**

(21) Aktenzeichen: **10 2015 221 984.4**
(22) Anmeldetag: **09.11.2015**
(43) Offenlegungstag: **11.05.2017**

(51) Int Cl.: **G03F 7/20 (2006.01)**
G02B 17/06 (2006.01)

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

(56) Ermittelter Stand der Technik:
DE 10 2014 208 770 A1

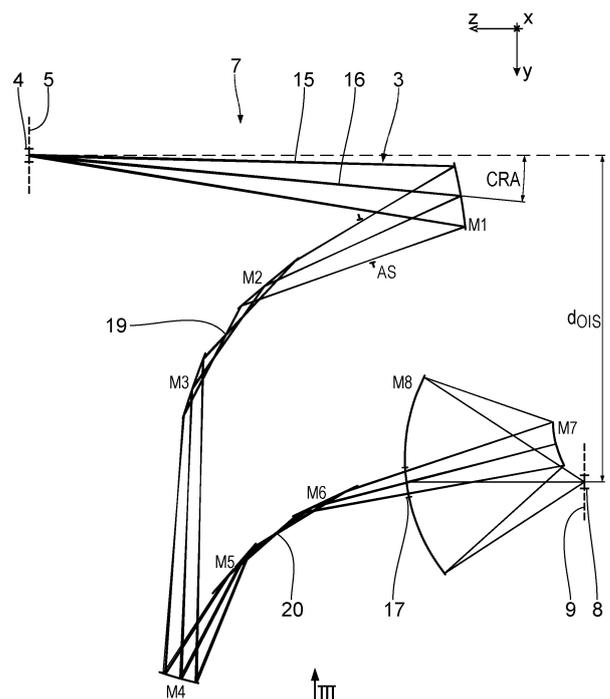
(72) Erfinder:
Wolf, Alexander, 73447 Oberkochen, DE;
Rostalski, Hans-Jürgen, 73447 Oberkochen, DE

Prüfungsantrag gemäß § 44 PatG ist gestellt.

Die folgenden Angaben sind den vom Anmelder eingereichten Unterlagen entnommen

(54) Bezeichnung: **Abbildende Optik zur Abbildung eines Objektfeldes in ein Bildfeld sowie Projektionsbelichtungsanlage mit einer derartigen abbildenden Optik**

(57) Zusammenfassung: Eine abbildende Optik (7) für die Projektionslithographie hat eine Mehrzahl von Spiegeln (M1 bis 8) zur Führung von Abbildungslicht (3) von einem Objektfeld (4) in ein Bildfeld (8). Das Objektfeld (4) ist aufgespannt von zwei Objektfeldkoordinaten (x, y). Längs einer ersten, größeren Objektfelddimension und längs einer zweiten, kleineren Objektfelddimension. Die abbildende Optik (7) hat mindestens zwei GI-Spiegel (M2, M3, M5, M6) und mindestens einen NI-Spiegel (M4), der zwischen zwei GI-Spiegeln (M3, M5) im Abbildungslicht-Strahlengang angeordnet ist. Eine genutzte Reflexionsfläche des NI-Spiegels (M4) hat ein Aspektverhältnis (x/y) zwischen einer Flächendimension längs einer ersten Reflexionsflächenkoordinate (x) und einer Flächendimension längs einer zweiten Reflexionskoordinate (y) parallel zur zweiten Objektfelddimension, das kleiner ist als 4,5. Es resultiert eine abbildende Optik, deren Herstellungskosten reduziert sind.



Beschreibung

[0001] Die Erfindung betrifft eine abbildende Optik beziehungsweise Projektionsoptik zur Abbildung eines Objektfeldes in ein Bildfeld. Ferner betrifft die Erfindung ein optisches System mit einer derartigen Projektionsoptik, eine Projektionsbelichtungsanlage mit einem derartigen optischen System, ein Verfahren zur Herstellung eines mikro- beziehungsweise nanostrukturierten Bauteils mit einer derartigen Projektionsbelichtungsanlage sowie ein mit diesem Verfahren hergestelltes mikro- beziehungsweise nanostrukturiertes Bauelement.

[0002] Projektionsoptiken der eingangs genannten Art sind bekannt aus der JP 2002-048977 A, der US 5,891,806, die eine Projektionsbelichtungsanlage vom "Proximity-Type" beschreibt, aus der DE 10 2015 209 827 A1 und aus der WO 2008/141 686 A1 sowie aus der WO 2015/014 753 A1.

[0003] Es ist eine Aufgabe der vorliegenden Erfindung, eine abbildende Optik der eingangs genannten Art derart weiterzubilden, dass deren Herstellungskosten reduziert sind.

[0004] Diese Aufgabe ist erfindungsgemäß gelöst durch eine abbildende Optik mit den im Anspruch 1 genannten Merkmalen.

[0005] Die abbildende Optik ist zum Einsatz in der Projektionslithographie, insbesondere zum Einsatz in der EUV-Projektionslithographie ausgelegt.

[0006] Die zweite Objektfelddimension kann parallel zu einer Scanrichtung einer Projektionsbelichtungsanlage verlaufen, in der die abbildende Optik zum Einsatz kommt. Die erste Reflexionsflächenkoordinate des NI-Spiegels verläuft in der Regel nicht parallel zur ersten kartesischen Objektfeldkoordinate.

[0007] Das Aspektverhältnis der genutzten Reflexionsfläche des NI-Spiegels kann 4,4 betragen. Dieses Aspektverhältnis kann kleiner sein und kann 4,3 betragen. Dieses Aspektverhältnis kann kleiner sein und 4,2 oder 4,1 betragen. Dieses Aspektverhältnis kann kleiner sein als 4, kann kleiner sein als 3,8, kann kleiner sein als 3,5 und kann 3,4 betragen. Dieses Aspektverhältnis kann kleiner sein als 3,4, kann kleiner sein als 3,3, kann kleiner sein als 3,2 und kann 3,1 betragen.

[0008] Eine abbildende Optik nach Anspruch 2 hat sich als besonders geeignet herausgestellt.

[0009] Eine Ausführung nach Anspruch 3 kann für die drei GI-Spiegel mit dem Aspektverhältnis größer als 1 sicherstellen, dass dort eine Reflexionsflächendimension in einer Faltebene des GI-Spiegels nicht zu groß wird. In dieser Faltebene liegt regelmäßig die zweite Objektfelddimension.

[0010] Eine Ausführung nach Anspruch 4 führt zu vorteilhaft kompakten GI-Spiegeldimensionen. Die Bedingung für den größten Durchmesser der genutzten Reflexionsfläche kann für jeden GI-Spiegel der abbildenden Optik gelten. Der größte Durchmesser kann 397,5 mm betragen. Der größte Durchmesser kann kleiner sein als 380 mm, kann kleiner sein als 370 mm und kann 368,1 mm betragen.

[0011] Eine Ausführung nach Anspruch 5 führt zu einer vorteilhaft kompakten Spiegeldimensionierung. Insbesondere der letzte Spiegel im Abbildungslicht-Strahlengang, der eine bildseitige numerische Apertur vorgibt, ist vorteilhaft kompakt. Der größte Durchmesser kann 840,2 mm betragen, kann kleiner sein als 800 mm und kann 797,2 mm betragen.

[0012] Eine Ausführung nach Anspruch 6 ist insgesamt in Richtung der parallel zur zweiten Bildfeldkoordinate verlaufenden Dimension vorteilhaft kompakt. Diese Kantenlänge parallel zur zweiten Objektfeldkoordinate kann kleiner sein als 1800 mm und kann 1766 mm betragen.

[0013] Bildfelddimensionen der abbildenden Optik können größer sein als 1 mm × 10 mm und können z. B. 1 mm × 26 mm oder 1,2 mm × 26 mm betragen.

[0014] Eine bildseitige numerische Apertur nach Anspruch 7 führt zu einer hohen Strukturauflösung der abbildenden Optik. Die bildseitige numerische Apertur kann 0,55 oder 0,6 betragen und kann noch größer sein.

[0015] Die Vorteile eines optischen Systems nach Anspruch 8, entsprechen denen, die vorstehend unter Bezugnahme auf die abbildende Optik bereits erläutert wurden.

[0016] Bei der Lichtquelle kann es sich um eine EUV-Lichtquelle handeln. Auch eine DUV-Lichtquelle, also beispielsweise eine Lichtquelle mit einer Wellenlänge von 193 nm, kann alternativ zum Einsatz kommen.

[0017] Die Vorteile einer Projektionsbelichtungsanlage nach Anspruch 9, eines Herstellungsverfahrens nach Anspruch 10 und eines mikro- beziehungsweise nanostrukturierten Bauteils nach Anspruch 11 entsprechen denen, die vorstehend unter Bezugnahme auf die abbildende Optik und das optische System bereits erläutert wurden. Hergestellt kann mit der Projektionsbelichtungsanlage insbesondere ein Halbleiter-Bauteil, beispielsweise ein Speicherchip.

[0018] Ausführungsbeispiele der Erfindung werden nachfolgend anhand der Zeichnung näher erläutert. In dieser zeigen:

[0019] Fig. 1 schematisch eine Projektionsbelichtungsanlage für die EUV-Mikrolithographie;

[0020] Fig. 2 in einem Meridionalschnitt eine Ausführung einer abbildenden Optik, die als Projektionsobjektiv in der Projektionsbelichtungsanlage nach Fig. 1 einsetzbar ist, wobei ein Abbildungsstrahlengang für Hauptstrahlen und für einen oberen und einen unteren Komastrahl zweier ausgewählter Feldpunkte dargestellt ist;

[0021] Fig. 3 eine Ansicht der abbildenden Optik nach Fig. 2, gesehen aus Blickrichtung III in Fig. 2;

[0022] Fig. 4 Aufsichten auf Randkonturen optisch genutzter Flächen der Spiegel der abbildenden Optik nach den Fig. 2 und Fig. 3;

[0023] Fig. 5 in einer zu Fig. 2 ähnlichen Darstellung eine weitere Ausführung einer abbildenden Optik, einsetzbar als Projektionsobjektiv in der Projektionsbelichtungsanlage nach Fig. 1;

[0024] Fig. 6 eine Ansicht der abbildenden Optik nach Fig. 5, gesehen aus Blickrichtung VI in Fig. 5;

[0025] Fig. 7 Aufsichten auf Randkonturen optisch genutzter Flächen der Spiegel der abbildenden Optik nach den Fig. 5 und Fig. 6;

[0026] Fig. 8 bis Fig. 16 in zu den Fig. 5 bis Fig. 7 jeweils ähnlichen Darstellungen weitere Ausführungen einer abbildenden Optik, einsetzbar als Projektionsobjektiv in der Projektionsbelichtungsanlage nach Fig. 1.

[0027] Eine Projektionsbelichtungsanlage **1** für die Mikrolithographie hat eine Lichtquelle **2** für Beleuchtungslicht beziehungsweise Abbildungslicht **3**. Bei der Lichtquelle **2** handelt es sich um eine EUV-Lichtquelle, die Licht in einem Wellenlängenbereich beispielsweise zwischen 5 nm und 30 nm, insbesondere zwischen 5 nm und 15 nm, erzeugt. Bei der Lichtquelle **2** kann es sich um eine plasmabasierte Lichtquelle (lasererzeugtes Plasma (laser-produced plasma, LPP), gasentladungserzeugtes Plasma (gas-discharge produced plasma, GDP)) oder auch um eine synchrotronbasierte Lichtquelle, zum Beispiel einen Freie-Elektronen-Laser (FEL) handeln. Bei der Lichtquelle **2** kann es sich insbesondere um eine Lichtquelle mit einer Wellenlänge von 13,5 nm oder um eine Lichtquelle mit einer Wellenlänge von 6,9 nm handeln. Auch andere EUV-Wellenlängen sind möglich. Generell sind sogar beliebige Wellenlängen, zum Beispiel sichtbare Wellenlängen oder auch andere Wellenlängen, die in der Mikrolithographie Verwendung finden können (zum Beispiel DUV, tiefes Ultraviolett) und für die geeigneten Laserlichtquellen und/oder LED-Lichtquellen zur Verfügung stehen (beispielsweise 365 nm, 248 nm, 193 nm, 157 nm, 129 nm, 109 nm), für das in der Projektionsbelichtungsanlage **1** geführte Beleuchtungslicht **3** möglich. Ein Strahlengang des Beleuchtungslichts **3** ist in der Fig. 1 äußerst schematisch dargestellt.

[0028] Zur Führung des Beleuchtungslichts **3** von der Lichtquelle **2** hin zu einem Objektfeld **4** in einer Objektebene **5** dient eine Beleuchtungsoptik **6**. Mit einer Projektionsoptik beziehungsweise abbildenden Optik **7** wird das Objektfeld **4** in ein Bildfeld **8** in einer Bildebene **9** mit einem vorgegebenen Verkleinerungsmaßstab abgebildet.

[0029] Zur Erleichterung der Beschreibung der Projektionsbelichtungsanlage **1** sowie der verschiedenen Ausführungen der Projektionsoptik **7** ist in der Zeichnung ein kartesisches xyz-Koordinatensystem angegeben, aus dem sich die jeweilige Lagebeziehung der in den Figuren dargestellten Komponenten ergibt. In der Fig. 1 verläuft die x-Richtung senkrecht zur Zeichenebene in diese hinein. Die y-Richtung verläuft nach links und die z-Richtung nach oben.

[0030] Das Objektfeld **4** und das Bildfeld **8** sind bei der Projektionsoptik **7** gebogen beziehungsweise gekrümmt und insbesondere teilringförmig ausgeführt. Ein absoluter Krümmungsradius des Bildfeldes **8** beträgt 81 mm. Alternativ ist es möglich, das Objektfeld **4** und das Bildfeld **8** rechteckförmig auszuführen. Das Objektfeld **4** und das Bildfeld **8** haben ein xy-Aspektverhältnis größer als 1. Das Objektfeld **4** hat also eine längere Objektfelddimension in der x-Richtung und eine kürzere Objektfelddimension in der y-Richtung. Diese Objektfelddimensionen verlaufen längs der Feldkoordinaten x und y.

[0031] Das Objektfeld **4** ist dementsprechend aufgespannt von der ersten kartesischen Objektfeldkoordinate x längs der ersten, größeren (längeren) Objektfelddimension und der zweiten kartesischen Objektfeldkoordinate y längs der zweiten, kleineren (kürzeren) Objektfelddimension. Die dritte kartesische Koordinate z, die senkrecht auf diesen beiden Objektfeldkoordinaten x und y steht, wird nachfolgend auch als Normalkoordinate bezeichnet.

[0032] Die erste Objektfeldkoordinate x und die Normalkoordinate z spannen eine erste Abbildungslicht-Ebene xz auf, die nachfolgend auch als Sagittalebene bezeichnet ist. Die Aufspann-Koordinaten x und z der ersten Abbildungslicht-Ebene xz enthalten die größere Objektfelddimension x.

[0033] Die zweite Objektfeldkoordinate y und die Normalkoordinate z spannen eine zweite Abbildungslicht-Ebene yz auf, die nachfolgend auch als Meridionalebene bezeichnet ist.

[0034] Für die Projektionsoptik **7** kann eines der in den **Fig. 2 ff.** dargestellten Ausführungsbeispiele eingesetzt werden. Die Projektionsoptik **7** nach **Fig. 2** verkleinert in der ersten Abbildungslicht-Ebene xz um einen Faktor 4 und in der zweiten Abbildungslicht-Ebene yz um einen Faktor 8.

[0035] Bei der Projektionsoptik **7** handelt es sich um eine anamorphotische Projektionsoptik. Auch andere Verkleinerungsmaßstäbe in den beiden Abbildungslicht-Ebene xz, yz sind möglich, zum Beispiel 3x, 5x, 6x, 7x oder auch Verkleinerungsmaßstäbe, die größer sind als 8x. Alternativ kann die Projektionsoptik **7** auch in den beiden Abbildungslicht-Ebenen xz, yz den jeweils gleichen Verkleinerungsmaßstab aufweisen, beispielsweise eine Verkleinerung um einen Faktor 8. Auch andere Verkleinerungsmaßstäbe sind dann möglich, zum Beispiel 4x, 5x oder auch Verkleinerungsmaßstäbe, die größer sind als 8x. Der jeweilige Verkleinerungsmaßstab kann eine Bildumkehr herbeiführen oder nicht, was nachfolgend auch durch eine entsprechende Vorzeichenangabe des Verkleinerungsmaßstabes verdeutlicht ist.

[0036] Die Bildebene **9** ist bei der Projektionsoptik **7** in der Ausführung nach **Fig. 2** parallel zur Objektebene **5** angeordnet. Abgebildet wird hierbei ein mit dem Objektfeld **4** zusammenfallender Ausschnitt einer Reflexionsmaske **10**, die auch als Retikel bezeichnet wird. Das Retikel **10** wird von einem Retikelhalter **10a** getragen. Der Retikelhalter **10a** wird von einem Retikelverlagerungsantrieb **10b** verlagert.

[0037] Die Abbildung durch die Projektionsoptik **7** erfolgt auf die Oberfläche eines Substrats **11** in Form eines Wafers, der von einem Substrathalter **12** getragen wird. Der Substrathalter **12** wird von einem Wafer- beziehungsweise Substratverlagerungsantrieb **12a** verlagert.

[0038] In der **Fig. 1** ist schematisch zwischen dem Retikel **10** und der Projektionsoptik **7** ein in diese einlaufendes Strahlenbündel **13** des Beleuchtungslichts **3** und zwischen der Projektionsoptik **7** und dem Substrat **11** ein aus der Projektionsoptik **7** auslaufendes Strahlenbündel **14** des Beleuchtungslichts **3** dargestellt. Eine bildfeldseitige numerische Apertur (NA) der Projektionsoptik **7** ist in der **Fig. 1** nicht maßstäblich wiedergegeben.

[0039] Die Projektionsbelichtungsanlage **1** ist vom Scannertyp. Sowohl das Retikel **10** als auch das Substrat **11** werden beim Betrieb der Projektionsbelichtungsanlage **1** in der y-Richtung gescannt. Auch ein Steppertyp der Projektionsbelichtungsanlage **1**, bei dem zwischen einzelnen Belichtungen des Substrats **11** eine schrittweise Verlagerung des Retikels **10** und des Substrats **11** in der y-Richtung erfolgt, ist möglich. Diese Verlagerungen erfolgen synchronisiert zueinander durch entsprechende Ansteuerung der Verlagerungsantriebe **10b** und **12a**.

[0040] **Fig. 2** und **Fig. 3** zeigen das optische Design einer ersten Ausführung der Projektionsoptik **7**. Die **Fig. 2** zeigt die Projektionsoptik **7** in einem Meridionalschnitt, also den Strahlengang des Abbildungslichts **3** in der yz-Ebene. Die Meridionalebene yz wird auch als zweite Abbildungslicht-Ebene bezeichnet. Die **Fig. 3** zeigt den Abbildungsstrahlengang der Projektionsoptik **7** in der Sagittalebene xz. Eine erste Abbildungslicht-Ebene xz_{HR} ist diejenige Ebene, die am jeweiligen Ort des Strahlengangs des Abbildungslichts **3** aufgespannt ist von der ersten kartesischen Objektfeldkoordinate x und einer momentanen Abbildungslicht-Hauptpropagationsrichtung z_{HR} . Die Abbildungslicht-Hauptpropagationsrichtung z_{HR} ist die Strahlrichtung eines Hauptstrahls

16 eines zentralen Feldpunktes. Bei jeder Spiegelreflexion an den Spiegeln M1 bis M8 ändert sich diese Abbildungslicht-Hauptpropagationsrichtung z_{HR} in der Regel. Diese Änderung kann beschrieben werden als eine Verkippung der momentanen Abbildungslicht-Hauptpropagationsrichtung z_{HR} um die erste kartesische Objektfeldkoordinate x um einen Kippwinkel, der gleich dem Umlenkwinkel dieses Hauptstrahls **16** des zentralen Feldpunktes am jeweils betrachteten Spiegel M1 bis M8 ist. Nachfolgend wird die erste Abbildungslicht-Ebene xz_{HR} vereinfachend auch als erste Abbildungslicht-Ebene xz bezeichnet.

[0041] Die zweite Abbildungslicht-Ebene yz enthält ebenfalls die Abbildungslicht-Hauptpropagationsrichtung z_{HR} und steht senkrecht auf der ersten Abbildungslicht-Ebene xz_{HR} .

[0042] Da die Projektionsoptik **7** ausschließlich in der Meridionalebene yz gefaltet ist, fällt die zweite Abbildungslicht-Ebene yz mit der Meridionalebene zusammen.

[0043] Dargestellt ist in der **Fig. 2** der Strahlengang jeweils dreier Einzelstrahlen **15**, die von fünf in der **Fig. 2** zueinander in der y -Richtung beabstandeten Objektfeldpunkten ausgehen. Dargestellt sind Hauptstrahlen **16**, also Einzelstrahlen **15**, die durch das Zentrum einer Pupille in einer Pupillenebene der Projektionsoptik **7** verlaufen, sowie jeweils ein oberer und ein unterer Komastrahl dieser beiden Objektfeldpunkte. Ausgehend vom Objektfeld **4** schließen die Hauptstrahlen **16** mit einer Normalen auf die Objektebene **5** einen Winkel CRAO von $5,4^\circ$ ein.

[0044] Die Objektebene **5** liegt parallel zur Bildebene **9**.

[0045] Die Projektionsoptik **7** hat eine bildseitige numerische Apertur von 0,55.

[0046] Die Projektionsoptik **7** nach **Fig. 2** hat insgesamt acht Spiegel, die in der Reihenfolge des Strahlengangs der Einzelstrahlen **15**, ausgehend vom Objektfeld **4**, mit M1 bis M8 durchnummeriert sind.

[0047] Dargestellt sind in der **Fig. 2** bis **Fig. 4** Ausschnitte der berechneten Reflexionsflächen der Spiegel M1 bis M8. Genutzt wird ein Teilbereich dieser berechneten Reflexionsflächen. Lediglich dieser tatsächlich genutzte Bereich der Reflexionsflächen ist zuzüglich eines Überstandes bei den realen Spiegeln M1 bis M8 tatsächlich vorhanden. Diese Nutz-Reflexionsflächen werden in bekannter Weise von Spiegelkörpern getragen.

[0048] Bei der Projektionsoptik **7** nach **Fig. 2** sind die Spiegel M1, M4, M7 und M8 als Spiegel für normalen Einfall ausgeführt, also als Spiegel, auf die das Abbildungslicht **3** mit einem Einfallswinkel trifft, der kleiner ist als 45° . Insgesamt hat die Projektionsoptik **7** nach **Fig. 2** also vier Spiegel M1, M4, M7 und M8 für normalen Einfall. Diese Spiegel für normalen Einfall werden auch als NI(Normal Incidence)-Spiegel bezeichnet.

[0049] Die Spiegel M2, M3, M5 und M6 sind Spiegel für streifenden Einfall des Beleuchtungslichts **3**, also Spiegel, auf die das Beleuchtungslicht **3** mit Einfallswinkeln auftritt, die größer sind als 60° . Ein typischer Einfallswinkel der Einzelstrahlen **15** des Abbildungslichts **3** auf den Spiegeln M2, M3 sowie M5, M6 für streifenden Einfall liegt im Bereich von 80° . Insgesamt hat die Projektionsoptik **7** nach **Fig. 2** genau vier Spiegel M2, M3, M5 und M6 für streifenden Einfall. Diese Spiegel für streifenden Einfall werden auch als GI(Grazing Incidence)-Spiegel bezeichnet.

[0050] Die Spiegel M2 und M3 bilden ein direkt im Strahlengang des Abbildungslichts **3** hintereinander angeordnetes Spiegel-Paar. Auch die Spiegel M5 und M6 bilden ein im Strahlengang des Abbildungslichts **3** direkt hintereinander angeordnetes Spiegel-Paar.

[0051] Die Spiegel-Paare M2, M3 einerseits und M5, M6 andererseits reflektieren das Abbildungslicht **3** so, dass sich die Ausfallswinkel der Einzelstrahlen **15** auf den jeweiligen Spiegeln M2, M3 beziehungsweise M5, M6 dieser beiden Spiegel-Paare addieren. Der jeweils zweite Spiegel M3 und M6 des jeweiligen Spiegel-Paares M2, M3 und M5, M6 verstärkt also eine umlenkende Wirkung, die der jeweils erste Spiegel M2, M5 auf den jeweiligen Einzelstrahl **15** ausübt. Diese Anordnung der Spiegel der Spiegel-Paare M2, M3 beziehungsweise M5, M6 entspricht derjenigen, die in der DE 10 2009 045 096 A1 für eine Beleuchtungsoptik beschrieben ist.

[0052] Die Spiegel M2, M3, M5 und M6 für streifenden Einfall haben jeweils sehr große absolute Radiuswerte, weichen von einer ebenen Fläche also vergleichsweise gering ab. Diese Spiegel M2, M3, M5 und M6 für streifenden Einfall haben eine vergleichsweise geringe Brechkraft, also eine geringere bündelformende Wirkung, wie ein insgesamt konkaver oder konvexer Spiegel. Die Spiegel M2, M3, M5 und M6 tragen zur spezifischen und insbesondere zur lokalen Abbildungsfehlerkorrektur bei.

[0053] Zur Charakterisierung einer umlenkenden Wirkung der Spiegel der Projektionsoptik **7** wird nachfolgend anhand der jeweils dargestellten Meridionalschnitte eine Umlenkrichtung definiert. Gesehen in der jeweils einfallenden Strahlrichtung im Meridionalschnitt beispielsweise nach **Fig. 2** wird eine umlenkende Wirkung des jeweiligen Spiegels im Uhrzeigersinn, also eine Ablenkung nach rechts, mit dem Kürzel „R“ gekennzeichnet. Der Spiegel M2 der Projektionsoptik **7** hat beispielsweise eine solche umlenkende Wirkung „R“. Eine umlenkende Wirkung eines Spiegels entgegen dem Uhrzeigersinn, also nach links, gesehen aus der jeweils auf diesen Spiegel einfallenden Strahlrichtung, wird mit dem Kürzel „L“ gekennzeichnet. Die Spiegel M1 und M5 der Projektionsoptik **7** sind Beispiele für die umlenkende Wirkung „L“. Eine schwach oder überhaupt nicht umlenkende Wirkung eines Spiegels mit einem Fallwinkel f , für den gilt: $-1^\circ < f < 1^\circ$, wird mit dem Kürzel „0“ gekennzeichnet. Der Spiegel M7 der Projektionsoptik **7** ist ein Beispiel für die umlenkende Wirkung „0“. Insgesamt hat die Projektionsoptik **7** für die Spiegel M1 bis M8 folgende Abfolge umlenkender Wirkungen: LRRLL0R.

[0054] Grundsätzlich können alle beschriebenen Ausführungsbeispiele der Projektionsoptiken um eine Ebene, die parallel zur xz-Ebene verläuft, gespiegelt werden, ohne dass sich hierbei grundlegende Abbildungseigenschaften ändern. Allerdings ändert sich dann natürlich die Abfolge der umlenkenden Wirkungen, die beispielsweise bei einer Projektionsoptik, die durch entsprechende Spiegelung aus der Projektionsoptik **7** hervorgeht, folgende Reihenfolge hat: RLLRR0L.

[0055] Eine Wahl der Umlenkwirkung, also eine Wahl einer Richtung des jeweils einfallenden Strahls beispielsweise auf den Spiegel M4 und eine Wahl einer Ablenkrichtung der Spiegelpaare M2, M3 sowie M5, M6 wird jeweils so gewählt, dass ein für die Projektionsoptik **7** zur Verfügung stehender Bauraum effizient genutzt wird.

[0056] Die Spiegel M1 bis M8 tragen eine die Reflektivität der Spiegel M1 bis M8 für das Abbildungslicht **3** optimierende Beschichtung. Hierbei kann es sich um eine Ruthenium-Beschichtung, um eine Molybdän-Beschichtung oder um eine Molybdän-Beschichtung mit einer obersten Schicht aus Ruthenium handeln. Bei den Spiegeln M2, M3, M5 und M6 für streifenden Einfall kann eine Beschichtung mit beispielsweise einer Lage aus Molybdän oder Ruthenium zum Einsatz kommen. Diese hoch reflektierenden Schichten insbesondere der Spiegel M1, M4, M7 und M8 für normalen Einfall können als Mehrlagen-Schichten ausgeführt sein, wobei aufeinanderfolgende Schichten aus unterschiedlichen Materialien gefertigt sein können. Auch alternierende Materialschichten können zum Einsatz kommen. Eine typische Mehrlagenschicht kann fünfzig Bilagen aus jeweils einer Schicht Molybdän und einer Schicht Silizium aufweisen.

[0057] Zur Berechnung einer Gesamt-Reflektivität der Projektionsoptik **7** wird eine Systemtransmission wie folgt berechnet: Eine Spiegel-Reflektivität wird in Abhängigkeit vom Einfallswinkel eines Führungsstrahls, also eines Hauptstrahls eines zentralen Objektfeldpunktes, an jeder Spiegelfläche bestimmt und multiplikativ zur Systemtransmission zusammengefasst.

[0058] Details zur Reflektivitätsberechnung sind erläutert in der WO 2015/014 753 A1.

[0059] Weitere Informationen zur Reflexion an einem GI-Spiegel (Spiegel für streifenden Einfall) finden sich in der WO 2012/126 867 A. Weitere Informationen zur Reflektivität von NI-Spiegeln (Normal Incidence Spiegeln) finden sich in der DE 101 55 711 A.

[0060] Eine Gesamt-Reflektivität beziehungsweise System- oder Gesamttransmission der Projektionsoptik **7**, die sich als Produkt der Reflektivitäten aller Spiegel M1 bis M8 der Projektionsoptik **7** ergibt, beträgt etwa $R = 8\%$.

[0061] Der Spiegel M8, also der im Abbildungsstrahlengang letzte Spiegel vor dem Bildfeld **8**, hat eine Durchtrittsöffnung **17** zum Durchtritt des Abbildungslichts **3**, das vom drittletzten Spiegel M6 hin zum vorletzten Spiegel M7 reflektiert wird. Der Spiegel M8 wird um die Durchtrittsöffnung **17** herum reflektiv genutzt. Alle anderen Spiegel M1 bis M7 haben keine Durchtrittsöffnung und werden in einem lückenlos zusammenhängenden Bereich reflektiv genutzt.

[0062] In der ersten Abbildungslicht-Ebene xz hat die Projektionsoptik **7** genau ein Ersteinbenen-Zwischenbild **18** im Abbildungslicht-Strahlengang zwischen den Spiegeln M6 und M7. Dieses Ersteinbenen-Zwischenbild **18** liegt im Bereich der Durchtrittsöffnung **17**. Ein Abstand zwischen der Durchtrittsöffnung **17** und dem Bildfeld **8** ist mehr als viermal so groß als ein Abstand zwischen der Durchtrittsöffnung **17** und dem Ersteinbenen-Zwischenbild **18**.

[0063] In der zur ersten Abbildungslicht-Ebene xz senkrechten zweiten Abbildungslicht-Ebene yz (vergleiche Fig. 2) verläuft das Abbildungslicht **3** durch genau zwei Zweitebenen-Zwischenbilder **19** und **20**. Das erste dieser beiden Zweitebenen-Zwischenbilder **19** liegt im Abbildungslicht-Strahlengang zwischen den Spiegeln M2 und M3. Das andere der beiden Zweitebenen-Zwischenbilder **20** liegt im Abbildungsstrahlengang zwischen den Spiegeln M5 und M6.

[0064] Die Anzahl der Ersteinbenen-Zwischenbilder, bei der Projektionsoptik **7** also genau ein Ersteinbenen-Zwischenbild, und die Anzahl der Zweitebenen-Zwischenbilder, bei der Projektionsoptik **7** also genau zwei Zweitebenen-Zwischenbilder, sind bei der Projektionsoptik **7** voneinander verschieden. Diese Anzahl der Zwischenbilder unterscheidet sich bei der Projektionsoptik **7** um genau eins.

[0065] Die zweite Abbildungslicht-Ebene yz , in der die größere Anzahl an Zwischenbildern, nämlich die beiden Zweitebenen-Zwischenbilder **19** und **20**, vorliegt, fällt mit der Faltebene yz der GI-Spiegel M2, M3 sowie M5, M6 zusammen. Die Zweitebenen-Zwischenbilder stehen in der Regel nicht senkrecht auf dem Hauptstrahl **16** des zentralen Feldpunktes, der die Abbildungslicht-Hauptpropagationsrichtung z_{HR} definiert. Ein Zwischenbild-Kippwinkel, also eine Abweichung von dieser senkrechten Anordnung, ist grundsätzlich beliebig und kann zwischen 0° und $\pm 89^\circ$ liegen.

[0066] Im Bereich der Zwischenbilder **18**, **19**, **20** können Hilfseinrichtungen **18a**, **19a**, **20a** angeordnet sein. Bei diesen Hilfseinrichtungen **18a** bis **20a** kann es sich um Feldblenden zur zumindest abschnittswise Definition einer Berandung des Abbildungslichtbündels handeln. Auch eine Feldintensitäts-Vorgabeeinrichtung nach Art eines UNICOM, insbesondere mit in x -Richtung gestaffelten Fingerblenden, kann in einer der Zwischenbilderebenen der Zwischenbilder **18** bis **20** angeordnet sein.

[0067] Die Spiegel M1 bis M8 sind als nicht durch eine rotationssymmetrische Funktion beschreibbare Freiformflächen ausgeführt. Es sind auch andere Ausführungen der Projektionsoptik **7** möglich, bei denen mindestens einer der Spiegel M1 bis M8 als rotationssymmetrische Asphäre ausgeführt ist. Auch alle Spiegel M1 bis M8 können als derartige Asphären ausgeführt sein.

[0068] Eine Freiformfläche kann durch folgende Freiformflächengleichung (Gleichung 1) beschrieben werden:

$$Z = \frac{c_x x^2 + c_y y^2}{1 + \sqrt{1 - (1 + k_x)(c_x x)^2 - (1 + k_y)(c_y y)^2}}$$

$$\begin{aligned} &+ C_1 x + C_2 y \\ &+ C_3 x^2 + C_4 xy + C_5 y^2 \\ &+ C_6 x^3 + \dots + C_9 y^3 \\ &+ C_{10} x^4 + \dots + C_{12} x^2 y^2 + \dots + C_{14} y^4 \\ &+ C_{15} x^5 + \dots + C_{20} y^5 \\ &+ C_{21} x^6 + \dots + C_{24} x^3 y^3 + \dots + C_{27} y^6 \\ &+ \dots \end{aligned}$$

(1)

[0069] Für die Parameter dieser Gleichung (1) gilt:

Z ist die Pfeilhöhe der Freiformfläche am Punkt x, y , wobei $x^2 + y^2 = r^2$. r ist hierbei der Abstand zur Referenzachse der Freiformflächengleichung ($x = 0; y = 0$).

[0070] In der Freiformflächengleichung (1) bezeichnen C_1, C_2, C_3, \dots die Koeffizienten der Freiformflächen-Reihenentwicklung in den Potenzen von x und y .

[0071] Im Falle einer konischen Grundfläche ist c_x, c_y eine Konstante, die der Scheitelpunktkrümmung einer entsprechenden Asphäre entspricht. Es gilt also $c_x = 1/R_x$ und $c_y = 1/R_y$. k_x und k_y entsprechen jeweils einer

konischen Konstante einer entsprechenden Asphäre. Die Gleichung (1) beschreibt also eine bikonische Freiformfläche.

[0072] Eine alternativ mögliche Freiformfläche kann aus einer rotationssymmetrischen Referenzfläche erzeugt werden. Derartige Freiformflächen für Reflexionsflächen der Spiegel von Projektionsoptiken von Projektionsbelichtungsanlagen für die Mikrolithographie sind bekannt aus der US 2007-0058269 A1.

[0073] Alternativ können Freiformflächen auch mit Hilfe zweidimensionaler Spline-Oberflächen beschrieben werden. Beispiele hierfür sind Bezier-Kurven oder nicht-uniforme rationale Basis-Splines (non-uniform rational basis splines, NURBS). Zweidimensionale Spline-Oberflächen können beispielsweise durch ein Netz von Punkten in einer xy-Ebene und zugehörige z-Werte oder durch diese Punkte und ihnen zugehörige Steigungen beschrieben werden. Abhängig vom jeweiligen Typ der Spline-Oberfläche wird die vollständige Oberfläche durch Interpolation zwischen den Netzpunkten unter Verwendung zum Beispiel von Polynomen oder Funktionen, die bestimmte Eigenschaften hinsichtlich ihrer Kontinuität und Differenzierbarkeit haben, gewonnen. Beispiele hierfür sind analytische Funktionen.

[0074] Fig. 4 zeigt Randkonturen der auf den Spiegeln M1 bis M8 der Projektionsoptik 7 jeweils mit dem Abbildungslicht 3 beaufschlagten Reflexionsflächen, also die sogenannten Footprints der Spiegel M1 bis M8. Dargestellt sind diese Randkonturen jeweils in einem x/y-Diagramm, welches den lokalen x- und y-Koordinaten des jeweiligen Spiegels M1 bis M8 entspricht. Die Darstellungen sind maßstäblich in Millimetern. Bei der Darstellung des Spiegels M8 ist zudem die Durchtrittsöffnung 17 dargestellt.

[0075] Die nachfolgende Tabelle fasst die Parameter "maximaler Einfallswinkel", "Reflexionsflächenerstreckung in x-Richtung", "Reflexionsflächenerstreckung in y-Richtung" und "maximaler Spiegeldurchmesser" für die Spiegel M1 bis M8 zusammen:

	M1	M2	M3	M4	M5	M6	M7	M8
maximaler Einfallswinkel [°]	16.8	82.6	79.3	14.4	83.3	83.6	20.0	8.6
Reflexionsflächenerstreckung in x-Richtung [mm]	490.6	369.9	397.5	529.7	347.2	128.4	307.9	796.0
Reflexionsflächenerstreckung in y-Richtung [mm]	248.5	298.7	269.3	157.5	258.6	279.3	177.6	778.5
maximaler Spiegeldurchmesser [mm]	490.6	371.0	397.5	529.7	358.1	283.6	307.9	797.2

[0076] Aufgrund der Zweitebenen-Zwischenbilder 19 und 20 im Bereich der GI-Spiegel M2, M3, M5 und M6 haben auch diese GI-Spiegel keine extreme Erstreckung in der y-Richtung. Ein y/x-Aspektverhältnis entsprechender Flächendimension der Reflexionsflächen dieser GI-Spiegel M2, M3, M5 und M6 ist nur für den Spiegel M6 größer als 1 und beträgt dort etwa 2,2. Keiner der GI-Spiegel hat ein y/x-Aspektverhältnis, das größer ist als 2,2. Am stärksten weicht bei den Spiegeln M1 bis M8 der Projektionsoptik 7 das y/x-Aspektverhältnis beim Spiegeln M4 vom Wert 1 ab und beträgt dort etwa 1:3,4. Bei allen anderen Spiegeln liegt das y/x-Aspektverhältnis im Bereich zwischen 2,25:1 und 1:2,25.

[0077] Den größten maximalen Spiegeldurchmesser hat der die bildseitige numerische Apertur vorgebende Spiegel M8 mit einem Durchmesser von 797.2 mm. Keiner der anderen Spiegel M1 bis M7 hat einen maximalen Durchmesser, der größer ist als 70% des maximalen Spiegeldurchmessers des Spiegels M8. Sieben der acht Spiegel haben einen maximalen Durchmesser, der kleiner ist als 530 mm. Sechs der acht Spiegel haben einen maximalen Durchmesser, der kleiner ist als 400 mm. Insbesondere haben alle vier GI-Spiegel M2, M3, M5 und M6 der Projektionsoptik 7 einen maximalen Durchmesser, der kleiner ist als 400 mm.

[0078] Eine pupillendefinierende Aperturblende AS ist bei der Projektionsoptik 7 im Abbildungslicht-Strahlengang zwischen den Spiegeln M1 und M2 angeordnet. Im Bereich der Aperturblende AS ist das gesamte Abbildungslicht-Strahlenbündel über seinen gesamten Umfang zugänglich.

[0079] Die optischen Designdaten der Reflexionsflächen der Spiegel M1 bis M8 der Projektionsoptik **7** können den nachfolgenden Tabellen entnommen werden. Diese optischen Designdaten gehen jeweils von der Bildebene **9** aus, beschreiben die jeweilige Projektionsoptik also in umgekehrter Laufrichtung des Abbildungslichts **3** zwischen der Bildebene **9** und der Objektebene **5**.

[0080] Die erste dieser Tabellen gibt einen Überblick über die Designdaten der Projektionsoptik **7** und fasst zusammen die numerische Apertur NA, die gerechnete Designwellenlänge für das Abbildungslicht, die Verkleinerungsfaktoren β_x und β_y in den beiden Abbildungslicht-Ebenen xz und yz, die Größen des Bildfeldes in x- und y-Richtung, eine Bildfeldkrümmung, einen Bildfehlerwert rms sowie einen Blendenort. Diese Krümmung ist definiert als der inverse Krümmungsradius des Feldes. Der Bildfehlerwert ist angegeben in m λ (ml), also abhängig von der Designwellenlänge. Es handelt sich hierbei um den rms-Wert des Wellenfrontfehlers.

[0081] Die zweite dieser Tabellen gibt zu den optischen Oberflächen der optischen Komponenten Scheitelpunktradien (Radius_x = R_x , Radius_y = R_y) und Brechkraftwerte (Power_x, Power_y) an. Negative Radienwerte bedeuten zum einfallenden Beleuchtungslicht **3** hin konkave Kurven im Schnitt der jeweiligen Oberfläche mit der betrachteten Ebene (xz, yz), die von einer Flächennormalen im Scheitelpunkt mit der jeweiligen Krümmungsrichtung (x, y) aufgespannt wird. Die beiden Radien Radius_x, Radius_y können explizit verschiedene Vorzeichen haben.

[0082] Die Scheitelpunkte an jeder optischen Fläche sind definiert als Auftreffpunkte eines Führungsstrahls, der von einer Objektfeldmitte entlang einer Symmetrieebene $x = 0$, also der Zeichenebene der **Fig. 2** (Meridionalebene) hin zum Bildfeld **8** geht.

[0083] Die Brechkraften Power_x (P_x), Power_y (P_y) an den Scheitelpunkten sind definiert als:

$$P_x = - \frac{2 \cos AOI}{R_x}$$

$$P_y = - \frac{2}{R_y \cos AOI}$$

[0084] AOI bezeichnet hierbei einen Einfallswinkel des Führungsstrahls zur Oberflächennormalen.

[0085] Die dritte Tabelle gibt für die Spiegel M1 bis M8 in mm die konischen Konstanten k_x und k_y , den Scheitelpunktradius R_x (= Radius_x) und die Freiformflächen-Koeffizienten C_n an. Koeffizienten C_n , die nicht tabelliert sind, haben jeweils den Wert 0.

[0086] In der vierten Tabelle ist noch der Betrag angegeben, längs dem der jeweilige Spiegel, ausgehend von einer Bezugsfläche in der y-Richtung dezentriert (DCY), in der z-Richtung verschoben (DCZ) und verkippt (TLA, TLC) wurde. Dies entspricht einer Parallelverschiebung und einer Verkippung beim Freiformflächen-Designverfahren. Verschieben wird dabei in y- und in z-Richtung in mm und verkippt um die x-Achse und um die z-Achse. Der Verdrehwinkel ist dabei in Grad angegeben. Es wird zunächst dezentriert, dann verkippt. Die Bezugsfläche bei der Dezentrierung ist jeweils die erste Fläche der angegebenen optischen Designdaten. Auch für das Objektfeld **4** ist eine Dezentrierung in y- und in z-Richtung angegeben. Neben den den einzelnen Spiegeln zugeordneten Flächen sind in der vierten Tabelle auch die Bildebene als erste Fläche, die Objektebene als letzte Fläche sowie ggf. eine Blendenfläche (mit der Bezeichnung „Blende“) tabelliert.

[0087] Die fünfte Tabelle gibt noch die Transmissionsdaten der Spiegel M8 bis M1 an, nämlich deren Reflektivität für den Einfallswinkel eines zentral auf den jeweiligen Spiegel treffenden Beleuchtungslichtstrahls. Die Gesamttransmission wird als Anteilfaktor angegeben, der von einer einfallenden Intensität nach Reflexion an allen Spiegeln der Projektionsoptik verbleibt.

[0088] Die sechste Tabelle gibt eine Berandung der Blende AS als Polygonzug in lokalen Koordinaten xyz an. Die Blende AS wird noch wie oben beschrieben dezentriert und verkippt.

Ausführungsbeispiel

NA	0.55
Wellenlänge	13.5 nm
beta_x	4.0
beta_y	-8.0
Feldgröße_x	26.0 mm
Feldgröße_y	1.0 mm
Feldkrümmung	0.012345 1/mm
rms	6.38 ml
Blende	AS

Fig. 2

Tabelle 1 zu Fig. 2

Oberfläche	Radius_x[mm]	Power_x[1/mm]	Radius_y[mm]	Power_y[1/mm]	Betriebsmodus
M8	-802.5022033	0.0024725	-736.5041758	0.0027372	REFL
M7	1243.5083386	-0.0016083	408.9827364	-0.0048902	REFL
M6	22312.0067884	-0.0000171	-16523.5937662	0.0006351	REFL
M5	4163.9295323	-0.0001084	18509.1514396	-0.0004789	REFL
M4	-1806.9481349	0.0010804	-1096.9073876	0.0018680	REFL
M3	4670.5254167	-0.0001206	-2109.0449047	0.0033674	REFL
M2	1429.2250169	-0.0003655	-7307.6455425	0.0010478	REFL
M1	-2048.6462811	0.0009424	-1454.2373585	0.0014247	REFL

Tabelle 2 zu Fig. 2

Koeffizient	M8	M7	M6
KY	0.00000000	0.00000000	0.00000000
KX	0.00000000	0.00000000	0.00000000
RX	-802.50220330	1243.50833900	22312.00679000
C7	4.85422738e-09	-1.10124327e-06	3.74610966e-08
C9	7.18145215e-09	-1.23749863e-06	-2.8294067e-08
C10	-3.30933113e-11	1.13040963e-09	1.07114581e-10
C12	-6.07276398e-11	5.81614962e-09	-1.47027594e-11
C14	-2.19699403e-11	5.41786865e-09	-9.22980287e-11
C16	1.2529286e-14	-4.65721628e-12	-2.44004417e-13
C18	3.57525204e-14	-2.17441266e-11	9.21757333e-14
C20	1.54469467e-14	-1.31152306e-11	-2.16387941e-13
C21	-5.78496382e-17	3.79034877e-15	-1.24133606e-15
C23	-1.75402378e-16	4.67344887e-14	-5.28479755e-16
C25	-1.6867679e-16	1.0218487e-13	-6.99885553e-16
C27	-5.0066194e-17	8.60105303e-14	-6.14088227e-16
C29	2.41962297e-20	-3.41493347e-17	-9.64493071e-18
C31	9.54008439e-20	-2.77443047e-16	-1.10620144e-17
C33	8.62911805e-20	-4.27136772e-16	-2.38591705e-18
C35	3.06810403e-20	-3.96481139e-16	-1.52996781e-18
C36	-9.49878915e-23	2.56283044e-20	2.50941142e-19
C38	-4.04628869e-22	4.41860202e-19	2.15384959e-19
C40	-6.38784166e-22	1.97203693e-18	1.43829194e-19
C42	-4.24266693e-22	3.8723228e-18	1.83536295e-20
C44	-9.63539115e-23	2.09002325e-18	-3.2343075e-21
C46	4.27367614e-26	-2.39900704e-22	-1.5902046e-21
C48	2.25739256e-25	-3.94241942e-21	2.48435372e-21
C50	3.40555516e-25	-1.32645387e-20	1.50741344e-21
C52	2.50767942e-25	-2.41941145e-20	1.44847456e-23

Koeffizient	M8	M7	M6
C54	6.31767248e-26	-1.44567056e-20	1.36023061e-23
C55	-1.14156531e-28	-3.59772628e-25	-1.59047894e-22
C57	-7.04262728e-28	3.75691126e-24	-3.64084904e-23
C59	-1.42525165e-27	2.65423247e-23	-4.53171863e-24
C61	-1.36315348e-27	6.57151804e-23	-5.32955976e-24
C63	-6.45715404e-28	2.90531881e-23	-9.34085875e-25
C65	-1.40785044e-28	1.00456746e-22	1.82858911e-25
C67	1.11172135e-31	-3.93999722e-27	1.05351666e-24
C69	5.99618803e-31	-2.6778863e-26	8.43744328e-26
C71	1.01644152e-30	-5.75732629e-26	-1.73430971e-25
C73	8.91032389e-31	8.55034755e-26	-7.84026675e-26
C75	3.84721585e-31	5.76888561e-25	-3.1275055e-27
C77	6.45952447e-32	6.20707141e-25	6.92666259e-28
C78	-4.67456965e-34	1.31144272e-29	1.69211417e-26
C80	-2.64593025e-33	5.14418461e-29	1.74151568e-27
C82	-7.95615629e-33	3.36679465e-28	1.86625109e-27
C84	-1.3103537e-32	1.43843695e-27	-6.28256188e-28
C86	-1.11888544e-32	3.37581122e-27	-1.8204036e-28
C88	-4.79970403e-33	7.22562446e-27	-7.64275523e-31
C90	-8.32563472e-34	-6.07736036e-29	9.042147e-31
C92	-6.66723925e-38	2.69073098e-33	0
C94	-2.26214693e-37	-1.22568055e-30	0
C96	2.3985196e-37	-9.01274512e-30	0
C98	1.82545447e-36	-3.75361828e-29	0
C100	2.08198826e-36	-9.53216447e-29	0
C102	7.71704055e-37	-1.32501141e-28	0
C104	1.48278618e-37	-8.71910506e-29	0
C105	6.36031163e-40	-1.17611618e-34	0
C107	3.05864811e-39	6.89106973e-34	0
C109	1.19510104e-38	1.18211346e-32	0
C111	3.26134462e-38	6.84415336e-32	0
C113	4.54844445e-38	2.22650877e-31	0
C115	3.1790603e-38	4.75226303e-31	0
C117	1.11615375e-38	5.20368105e-31	0
C119	1.7028603e-39	3.37791747e-31	0
C121	7.09450969e-43	0	0
C123	7.07503038e-42	0	0
C125	2.01498298e-41	0	0
C127	3.10462528e-41	0	0
C129	2.89416996e-41	0	0
C131	1.77146401e-41	0	0
C133	7.32317896e-42	0	0
C135	1.39621644e-42	0	0
C136	-2.96560175e-45	0	0
C138	-2.26575326e-44	0	0
C140	-8.91865658e-44	0	0
C142	-2.21194891e-43	0	0
C144	-3.36496878e-43	0	0
C146	-3.11967074e-43	0	0
C148	-1.70730657e-43	0	0
C150	-5.11020132e-44	0	0
C152	-6.67658875e-45	0	0

Tabelle 3a zu Fig. 2

Koeffizient	M5	M4	M3
KY	0.00000000	0.00000000	0.00000000
KX	0.00000000	0.00000000	0.00000000
RX	4163.92953200	-1806.94813500	4670.52541700
C7	-2.10132761e-08	-1.96042016e-09	1.62660277e-07
C9	-5.5879311e-08	3.22887466e-07	-8.79201149e-08
C10	6.60356299e-11	-3.81682851e-12	1.08915894e-10
C12	2.48281963e-11	-2.19025544e-11	-1.3244389e-10
C14	1.92771173e-10	-1.41550222e-09	1.12386197e-10
C16	7.70206237e-14	6.80369184e-15	4.0728942e-13
C18	9.37492897e-14	-1.78308403e-13	-5.63814016e-13
C20	6.37804542e-13	3.31994899e-12	2.99697615e-13
C21	-7.62109996e-16	1.52010309e-17	-7.87021013e-16
C23	-2.31567068e-16	3.25142814e-17	3.28215159e-16
C25	5.85177474e-16	-2.09682708e-16	-9.61071038e-16
C27	2.99541817e-15	-1.35100083e-14	7.32414862e-16
C29	-4.91106991e-18	4.99874737e-20	-3.51025207e-19
C31	-9.27434598e-19	-2.8099415e-19	-3.82994126e-20
C33	3.0221538e-18	1.63143999e-18	-2.57263738e-18
C35	1.40322409e-17	1.30314788e-17	7.96878133e-19
C36	-2.37319526e-21	2.28892392e-23	-2.63311888e-21
C38	-2.43593156e-20	-4.74899498e-22	1.49767874e-21
C40	-3.73597452e-20	-2.71606304e-21	4.4850654e-21
C42	-2.75480203e-21	-3.77947198e-20	9.97805784e-22
C44	6.50052182e-20	-2.66467491e-19	7.10627982e-21
C46	-9.92859949e-23	2.01370768e-25	-6.42903854e-24
C48	-2.71002436e-22	-3.80209813e-24	-1.0454636e-23
C50	-5.85944963e-22	-3.16816605e-23	-1.77246378e-23
C52	-2.44401021e-24	-5.86338683e-22	-4.25156431e-23
C54	3.13651795e-22	4.61395099e-21	7.27525754e-23
C55	-2.81447556e-25	2.93595222e-28	-3.18477132e-27
C57	-1.25304807e-24	7.37416289e-27	-2.66231286e-26
C59	-2.52989315e-24	1.71633598e-25	6.56672764e-26
C61	-3.04309752e-24	6.15735146e-25	1.49215316e-25
C63	5.79561246e-25	5.66886933e-24	-4.84841763e-25
C65	1.26297109e-24	5.90956041e-23	2.21369837e-25
C67	-3.16492539e-27	2.45670952e-30	-4.18839007e-29
C69	-7.1955939e-27	1.25097063e-28	-1.06626833e-29
C71	-8.05663512e-27	2.5799422e-27	3.82609687e-28
C73	-6.16735799e-27	1.66088461e-26	1.27614952e-27
C75	2.45791988e-27	1.60858762e-25	-1.01011905e-27
C77	3.34992721e-27	5.11099651e-25	2.17655593e-28
C78	8.93661109e-31	1.54942222e-33	-2.07565832e-31
C80	-1.57719074e-29	-2.59783981e-32	4.13101141e-31
C82	-1.39846025e-30	-1.12125967e-30	-1.39211849e-30
C84	-1.60155592e-29	-1.08554078e-29	-4.47749969e-30
C86	7.83403749e-31	3.00541444e-29	6.80498312e-32
C88	1.03927553e-30	1.01025288e-28	1.31408439e-30
C90	4.40879896e-30	-3.17393318e-27	-2.41376037e-31
C92	0	1.21290856e-35	0
C94	0	-6.97164866e-34	0
C96	0	-3.76392034e-32	0
C98	0	-3.9154796e-31	0
C100	0	-1.00983894e-30	0
C102	0	-1.17861553e-29	0
C104	0	-7.56974861e-29	0

Koeffizient	M5	M4	M3
C105	0	-5.03089559e-39	0
C107	0	1.21893179e-37	0
C109	0	-3.79618188e-36	0
C111	0	-2.53653057e-34	0
C113	0	-1.36970492e-33	0
C115	0	-6.98012733e-33	0
C117	0	-5.26436344e-32	0
C119	0	-3.64914866e-31	0

Tabelle 3b zu Fig. 2

Koeffizient	M2	M1
KY	0.00000000	0.00000000
KX	0.00000000	0.00000000
RX	1429.22501700	-2048.64628100
C7	7.4622147e-08	-2.31373688e-08
C9	-8.10665986e-08	9.69618686e-08
C10	2.3651995e-10	7.70563479e-11
C12	-1.35391995e-10	1.62407858e-10
C14	-8.60024366e-11	-1.55949448e-10
C16	-3.44597706e-13	-9.83300637e-14
C18	-2.48577607e-13	-3.20060625e-14
C20	2.16024415e-13	4.37205194e-13
C21	4.67712475e-16	1.37083456e-16
C23	-1.29361412e-15	4.83890959e-16
C25	1.11170813e-15	1.45379564e-15
C27	1.17088742e-15	-1.23794576e-15
C29	-1.99954811e-18	-7.79973128e-20
C31	-6.26403797e-19	1.67798127e-18
C33	7.9948687e-18	-1.67559956e-18
C35	-1.23765777e-18	5.71118565e-18
C36	2.41757429e-21	9.22440784e-23
C38	-6.33033004e-21	1.16466581e-21
C40	9.08593022e-21	-3.51002077e-21
C42	7.91314282e-21	-9.11809175e-21
C44	-2.59058326e-20	-2.61095722e-20
C46	-1.69806535e-23	-1.09576134e-24
C48	-4.33727594e-23	-9.67843942e-25
C50	-4.22905968e-23	-1.41219977e-23
C52	-1.50413625e-22	-2.22956868e-23
C54	5.31164199e-23	2.31646331e-22
C55	-3.21318676e-26	2.98282317e-27
C57	8.72314313e-26	-9.88569935e-28
C59	1.89674196e-25	-4.04215227e-26
C61	-1.40693088e-25	9.15739511e-26
C63	2.35769523e-25	1.62156366e-24
C65	8.29420086e-25	-4.13233056e-25
C67	-4.29878349e-29	1.66584653e-29
C69	2.38881015e-29	1.23079349e-28
C71	1.28270131e-27	5.50642326e-28
C73	4.01624753e-27	2.89609863e-27
C75	5.98305592e-27	-2.31029808e-27
C77	1.38915802e-27	-2.6679793e-27
C78	1.04493779e-30	-2.55298292e-32

Koeffizient	M2	M1
C80	-1.58146043e-30	8.91180571e-32
C82	-1.56362155e-30	9.46761877e-31
C84	5.63052564e-30	3.0711769e-30
C86	1.95541207e-29	-1.75342289e-29
C88	1.35361791e-29	-6.61302266e-29
C90	-8.57848052e-31	-3.62265578e-29
C92	0	-1.19933805e-34
C94	0	-7.79292368e-34
C96	0	-4.28319407e-33
C98	0	-2.0509339e-32
C100	0	-4.49301451e-32
C102	0	1.02922373e-31
C104	0	2.23284149e-31
C105	0	8.94654006e-38
C107	0	-4.41662281e-37
C109	0	-1.03211557e-35
C111	0	-4.02647882e-35
C113	0	-1.78956629e-35
C115	0	5.52147433e-34
C117	0	1.15153432e-33
C119	0	3.53557632e-34

Tabelle 3c zu Fig. 2

Oberfläche	DCX	DCY	DCZ
Bildebene	0.00000000	0.00000000	0.00000000
M8	0.00000000	0.00000000	692.70142831
M7	0.00000000	-150.28584966	111.59359570
M6	0.00000000	91.27036997	1045.61507253
M5	0.00000000	306.22020224	1333.94328576
M4	0.00000000	770.16161797	1574.59599473
M3	0.00000000	-374.43222682	1523.77570437
M2	0.00000000	-766.22921483	1249.46634114
Blende	0.00000000	-952.91164371	850.45570284
M1	0.00000000	-1125.64750674	481.25412677
Objektebene	0.00000000	-1287.17833311	2159.96480376

Tabelle 4a zu Fig. 2

Oberfläche	TLA[deg]	TLB[deg]	TLC[deg]
Bildebene	-0.00000000	0.00000000	-0.00000000
M8	-7.25005294	0.00000000	-0.00000000
M7	-14.50010589	180.00000000	0.00000000
M6	64.39760913	0.00000000	-0.00000000
M5	40.35585328	0.00000000	180.00000000
M4	-75.02066924	0.00000000	-0.00000000
M3	18.76967537	0.00000000	180.00000000
M2	49.96195183	0.00000000	-0.00000000
Blende	-16.29884106	180.00000000	0.00000000
M1	-9.78845456	180.00000000	0.00000000
Objektebene	-0.00374113	0.00000000	-0.00000000

Tabelle 4b zu Fig. 2

Oberfläche	Einfallswinkel [deg]	Reflektivität
------------	----------------------	---------------

Oberfläche	Einfallswinkel [deg]	Reflektivität
M8	7.20888333	0.66016470
M7	0.12960115	0.66566464
M6	79.01248894	0.86504588
M5	76.95981254	0.83543426
M4	12.55617051	0.64772556
M3	73.64353526	0.77974628
M2	74.85892611	0.80146525
M1	15.13099267	0.63853353
Gesamttransmission		0.0821

Tabelle 5 zu Fig. 2

X[mm]	Y[mm]	Z[mm]
0.00000000	82.43009082	0.00000000
31.79239431	81.29896143	0.00000000
62.83013696	77.93470818	0.00000000
92.36959037	72.42536601	0.00000000
119.68996413	64.92012578	0.00000000
144.10694307	55.63281166	0.00000000
164.98868473	44.84406140	0.00000000
181.77450930	32.89878215	0.00000000
193.99658660	20.19617811	0.00000000
201.30371857	7.17073797	0.00000000
203.48438474	-5.73573759	0.00000000
200.48525652	-18.10720836	0.00000000
192.42071841	-29.58358391	0.00000000
179.56818162	-39.88041272	0.00000000
162.34630896	-48.79671362	0.00000000
141.28022436	-56.21519078	0.00000000
116.96363543	-62.09879565	0.00000000
90.02718200	-66.48455774	0.00000000
61.11784172	-69.47043875	0.00000000
30.88942232	-71.18579378	0.00000000
0.00000000	-71.74270619	0.00000000
-30.88942232	-71.18579378	0.00000000
-61.11784172	-69.47043875	0.00000000
-90.02718200	-66.48455774	0.00000000
-116.96363543	-62.09879565	0.00000000
-141.28022436	-56.21519078	0.00000000
-162.34630896	-48.79671362	0.00000000
-179.56818162	-39.88041272	0.00000000
-192.42071841	-29.58358391	0.00000000
-200.48525652	-18.10720836	0.00000000
-203.48438474	-5.73573759	0.00000000
-201.30371857	7.17073797	0.00000000
-193.99658660	20.19617811	0.00000000
-181.77450930	32.89878215	0.00000000
-164.98868473	44.84406140	0.00000000
-144.10694307	55.63281166	0.00000000
-119.68996413	64.92012578	0.00000000
-92.36959037	72.42536601	0.00000000
-62.83013696	77.93470818	0.00000000
-31.79239431	81.29896143	0.00000000

Tabelle 6 zu Fig. 2

[0089] Eine Gesamt-Reflektivität der Projektionsoptik 7 beträgt etwa 8%.

[0090] Die Referenzachsen der Spiegel sind in der Regel gegenüber einer Normalen auf die Bildebene **9** verkippt, wie die tabellierten Verkipfungswerte deutlich machen.

[0091] Das Bildfeld **8** hat eine x-Erstreckung von zwei mal 13 mm und eine y-Erstreckung von 1 mm. Die Projektionsoptik **7** ist optimiert für eine Betriebswellenlänge des Beleuchtungslichts **3** von 13,5 nm.

[0092] Eine Berandung einer Blendenfläche der Blende (vgl. auch die Tabelle 6 zur **Fig. 2**) ergibt sich durch Durchstoßpunkte an der Blendenfläche aller Strahlen des Beleuchtungslichts **3**, die bildseitig am Feldmittelpunkt mit einer vollen bildseitigen telezentrischen Apertur in Richtung der Blendenfläche propagieren. Bei der Ausführung der Blende als Aperturblende handelt es sich bei der Berandung um eine innere Berandung.

[0093] Die Blende AS kann in einer Ebene liegen oder auch dreidimensional ausgeführt sein. Die Ausdehnung der Blende AS kann in Scanrichtung (y) kleiner sein als in cross-Scanrichtung (x).

[0094] Eine Baulänge der Projektionsoptik **7** in der z-Richtung, also ein Abstand zwischen der Objektebene **5** und der Bildebene **9**, beträgt etwa 2160 mm.

[0095] Eine Pupillenobskuration beträgt bei der Projektionsoptik **7** 18% der gesamten Apertur der Eintrittspupille. Weniger als 18% der numerischen Apertur sind aufgrund der Durchtrittsöffnung **17** also obskuriert. Die Konstruktion der Obskurationsberandung erfolgt analog der vorstehend im Zusammenhang mit der Blende **18** erläuterten Konstruktion der Blendenberandung. Bei der Ausführung als Obskurationsblende handelt es sich bei der Berandung um eine äußere Berandung der Blende. In einer Systempupille der Projektionsoptik **7** ist eine aufgrund der Obskuration nicht beleuchtbare Fläche kleiner als 0,182 der Fläche der gesamten Systempupille. Die nicht beleuchtete Fläche innerhalb der Systempupille kann in der x-Richtung eine andere Ausdehnung haben als in der y-Richtung. Die nicht beleuchtete Fläche in der Systempupille kann rund, elliptisch, quadratisch oder rechteckig sein. Diese nicht beleuchtbare Fläche in der Systempupille kann zudem in Bezug auf ein Zentrum der Systempupille in der x-Richtung und/oder in der y-Richtung dezentriert sein.

[0096] Ein y-Abstand d_{OIS} zwischen einem zentralen Objektfeldpunkt und einem zentralen Bildfeldpunkt beträgt etwa 1290 mm. Ein Arbeitsabstand zwischen dem Spiegel M7 und der Bildebene **9** beträgt 80 mm.

[0097] Die Spiegel der Projektionsoptik **7** können in einem Quader mit den xyz-Kantenlängen 796 mm × 2033 mm × 1577 mm untergebracht werden.

[0098] Die Projektionsoptik **7** ist bildseitig näherungsweise telezentrisch.

[0099] Ein mittlerer Wellenfrontfehler rms beträgt 6,38 mλ.

[0100] Anhand der **Fig. 5** bis **Fig. 7** wird nachfolgend eine weitere Ausführung einer Projektionsoptik **21** erläutert, die anstelle der Projektionsoptik **7** bei der Projektionsbelichtungsanlage **1** nach **Fig. 1** zum Einsatz kommen kann. Komponenten und Funktionen, die vorstehend im Zusammenhang mit den **Fig. 1** bis **Fig. 4** bereits erläutert wurden, tragen gegebenenfalls die gleichen Bezugsziffern und werden nicht nochmals im Einzelnen diskutiert.

[0101] Die Spiegel M1 bis M8 sind wiederum als Freiformflächen-Spiegel ausgeführt, für die die vorstehend angegebene Freiformflächengleichung (1) gilt.

[0102] Die nachfolgende Tabelle zeigt wiederum die Spiegelparameter der Spiegel M1 bis M8 der Projektionsoptik **21**.

	M1	M2	M3	M4	M5	M6	M7	M8
maximaler Einfallswinkel [°]	18.0	82.7	79.2	15.4	82.7	83.2	19.6	8.4
Reflexionsflächen- erstreckung in x- Richtung [mm]	500.0	387.8	412.1	495.9	320.5	123.3	377.8	909.0

Reflexionsflächen- erstreckung in y- Richtung [mm]	254.2	303.5	217.8	121.7	221.3	254.2	191.6	884.0
maximaler Spiegeldurchmesser [mm]	500.1	390.0	412.2	496.1	326.3	258.1	378.0	909.4

[0103] Drei der vier GI-Spiegel M2, M3, M5 und M6 haben ein y/x-Aspektverhältnis seiner Reflexionsfläche, das kleiner ist als 1. Der GI-Spiegel M6 hat ein y/x-Aspektverhältnis seiner Reflexionsfläche, das kleiner ist als 2,1. Der Spiegel M4 hat ein y/x-Aspektverhältnis von etwa 1:4,1.

[0104] Den größten maximalen Spiegeldurchmesser hat auch hier der Spiegel M8 mit 909,4 mm. Der nächstgrößere Spiegel M1 hat einen maximalen Spiegeldurchmesser von 500,1 mm. Alle anderen Spiegel M2 bis M7 haben einen maximalen Spiegeldurchmesser, der kleiner ist als 500 mm. Vier der acht Spiegel haben einen Spiegeldurchmesser, der kleiner ist als 400 mm.

[0105] Die optischen Designdaten der Projektionsoptik **21** können den nachfolgenden Tabellen entnommen werden, die in ihrem Aufbau den Tabellen zur Projektionsoptik **7** nach **Fig. 2** entsprechen.

Ausführungsbeispiel

NA	0.55	Fig. 5
Wellenlänge	13.5 nm	
beta_x	4.0	
beta_y	-8.0	
Feldgröße_x	26.0 mm	
Feldgröße_y	1.2 mm	
Feldkrümmung	0.012345 1/mm	
rms	7.32 ml	
Blende	AS	

Tabelle 1 zu Fig. 5

Oberfläche	Radius_x[mm]	Power_x[1/mm]	Radius_y[mm]	Power_y[1/mm]	Betriebsmodus
M8	-940.0617618	0.0021140	-840.2295581	0.0023956	REFL
M7	1928.9734306	-0.0010368	451.1570534	-0.0044331	REFL
M6	67185.8399361	-0.0000058	-95593.5289239	0.0001069	REFL
M5	3969.9634388	-0.0001127	-26268.2463111	0.0003405	REFL
M4	-1644.4855893	0.0011803	-936.8967374	0.0021995	REFL
M3	5545.7476060	-0.0001019	-1763.0659005	0.0040141	REFL
M2	1750.6743811	-0.0002831	-7605.8431739	0.0010610	REFL
M1	-2196.1980747	0.0008724	-1547.9396447	0.0013487	REFL

Tabelle 2 zu Fig. 5

Koeffizient	M8	M7	M6
KY	0.00000000	0.00000000	0.00000000
KX	0.00000000	0.00000000	0.00000000
RX	-940.06176180	1928.97343100	67185.83994000
C7	7.62497428e-09	-8.57639147e-07	1.54886469e-08
C9	4.97628952e-09	-9.99097263e-07	1.7981249e-08
C10	-1.78774467e-11	5.98726407e-10	1.27439073e-10
C12	-3.68949094e-11	3.30093917e-09	-4.54971207e-11
C14	-1.48006849e-11	4.48291579e-09	2.61502943e-11
C16	1.19469362e-14	-1.97262516e-12	-1.86187323e-13
C18	2.06260918e-14	-1.13369576e-11	-5.16762903e-14
C20	6.73188531e-15	-6.84864355e-12	1.59975109e-13
C21	-2.442351e-17	1.30460398e-15	2.24463245e-16
C23	-8.05572299e-17	1.71660461e-14	-1.20746517e-15
C25	-8.37074918e-17	5.32208098e-14	-9.94385751e-16
C27	-2.52600807e-17	5.44225377e-14	1.1700494e-15
C29	1.49720569e-20	-9.38573354e-18	-3.76248016e-17
C31	4.41397537e-20	-9.78201006e-17	7.24046077e-18
C33	3.44595455e-20	-2.08907367e-16	-9.14462766e-19
C35	1.00184621e-20	-1.67962928e-16	7.77909486e-18
C36	-3.04471535e-23	4.75208488e-21	-4.46742594e-19
C38	-1.38182759e-22	9.81780945e-20	1.30465357e-18
C40	-2.32391801e-22	6.07471253e-19	2.32156832e-19
C42	-1.58479253e-22	1.30152795e-18	-1.30550515e-20
C44	-3.55412325e-23	7.68316032e-19	2.70030383e-20
C46	1.9389914e-26	-4.01545245e-23	1.26802584e-20
C48	7.59407934e-26	-6.65432869e-22	-7.05217687e-21
C50	9.45028792e-26	-2.26535734e-21	-1.71513506e-21
C52	5.81726748e-26	-3.4567483e-21	-8.2060824e-22
C54	1.26116442e-26	-1.37469551e-21	-2.24584841e-23
C55	-2.99356247e-29	-4.50986103e-27	3.72162755e-23
C57	-1.79943344e-28	6.84634464e-25	-4.02496029e-22
C59	-3.79371622e-28	5.60548802e-24	-8.19691792e-23
C61	-4.01438917e-28	1.4529786e-23	-1.32329541e-23
C63	-2.15579655e-28	1.08042106e-23	-7.08574489e-24
C65	-4.64996596e-29	1.80236429e-23	-5.54040576e-25
C67	2.02091944e-32	-5.63995413e-28	-4.97720727e-25
C69	1.31010773e-31	-9.26319661e-27	1.65961753e-24
C71	2.69538916e-31	-6.51166229e-26	4.74689338e-25

Koeffizient	M8	M7	M6
C73	2.82179482e-31	-1.98884581e-25	8.24977258e-26
C75	1.39901502e-31	-2.38611223e-25	-2.61713331e-26
C77	2.8801261e-32	-9.27090584e-26	-1.84248153e-27
C78	-7.2976325e-35	4.2747446e-31	-4.46147518e-27
C80	-4.8441275e-34	3.6322151e-30	2.64999204e-26
C82	-1.72032993e-33	6.81159649e-29	1.77710333e-26
C84	-2.82560075e-33	4.14104646e-28	3.15445422e-27
C86	-2.19501492e-33	1.13243636e-27	4.52014997e-28
C88	-8.08969738e-34	1.51509437e-27	-4.20751415e-29
C90	-1.23421096e-34	5.43162152e-28	-1.9482289e-30
C92	4.3661147e-38	6.39314773e-34	0
C94	1.2948377e-37	-5.09327657e-32	0
C96	1.56475778e-37	-2.70270623e-31	0
C98	1.17135874e-37	-4.17109526e-31	0
C100	-2.2164768e-39	-2.83826635e-31	0
C102	-5.09426132e-38	-3.86051226e-31	0
C104	-2.25621183e-38	1.2451787e-31	0
C105	5.21451219e-41	-1.15450758e-36	0
C107	3.69839027e-40	4.98860771e-35	0
C109	2.39074148e-39	4.57400102e-34	0
C111	6.40693939e-39	1.17311174e-33	0
C113	7.52463073e-39	6.69924954e-34	0
C115	4.13779574e-39	-1.76196881e-33	0
C117	1.05974458e-39	1.36394362e-36	0
C119	1.18135063e-40	5.46823374e-34	0
C121	1.50128376e-44	0	0
C123	5.71442659e-43	0	0
C125	2.03807113e-42	0	0
C127	3.64316795e-42	0	0
C129	3.90631453e-42	0	0
C131	2.5122016e-42	0	0
C133	9.10058853e-43	0	0
C135	1.50573991e-43	0	0
C136	-2.58023942e-46	0	0
C138	-2.24059058e-45	0	0
C140	-1.06043362e-44	0	0
C142	-2.84523862e-44	0	0
C144	-4.27367363e-44	0	0
C146	-3.71965178e-44	0	0
C148	-1.8721749e-44	0	0
C150	-5.20772272e-45	0	0
C152	-6.31758988e-46	0	0

Tabelle 3a zu Fig. 5

Koeffizient	M5	M4	M3
KY	0.00000000	0.00000000	0.00000000
KX	0.00000000	0.00000000	0.00000000
RX	3969.96343900	-1644.48558900	5545.74760600
C7	-6.39513036e-08	4.59950055e-09	1.80743263e-07
C9	-1.5017407e-07	6.28364058e-07	-1.10965537e-07
C10	8.52587701e-11	-5.06881673e-12	3.95138036e-11
C12	-2.47660778e-11	5.37301883e-12	-2.06666309e-10
C14	3.74198936e-11	-2.5397412e-09	2.40085756e-10

Koeffizient	M5	M4	M3
C16	1.29736535e-13	1.08572755e-14	3.5701404e-13
C18	-8.68563834e-14	-4.93480814e-13	-9.1790881e-13
C20	-2.50836675e-13	7.09853994e-12	4.67116604e-13
C21	-9.77703397e-16	2.60781551e-17	-6.7114944e-16
C23	2.38813114e-16	-7.06272175e-18	2.45838924e-16
C25	-1.04147534e-16	-1.45243395e-15	-1.02545139e-15
C27	-4.16728425e-16	-1.23708615e-14	7.89225583e-16
C29	-4.96986975e-18	1.11248771e-19	-1.26267243e-19
C31	3.31558149e-18	-9.04095469e-19	-1.36495548e-18
C33	2.53002417e-18	4.85763094e-18	-5.58121292e-19
C35	-2.50118694e-18	2.27833008e-16	-1.87848367e-18
C36	2.09216699e-22	1.72943619e-23	-1.73254351e-21
C38	5.38097573e-21	-2.36262205e-21	2.05861283e-21
C40	1.4856735e-20	-2.02482242e-20	-4.31771208e-21
C42	6.07086976e-21	9.96632775e-20	1.14114612e-20
C44	-4.31290448e-20	3.49660054e-18	2.11906577e-20
C46	-5.18098806e-23	-5.53662398e-25	-2.99015703e-24
C48	-2.99253322e-22	-2.23394881e-23	-3.9876167e-24
C50	-1.38543108e-22	-2.24614331e-22	-3.67713989e-23
C52	-3.53076267e-22	2.83176923e-21	-2.6203102e-22
C54	-2.09030917e-22	5.21734292e-20	2.95685809e-22
C55	-2.82529552e-25	8.53661206e-28	-3.35005205e-27
C57	-3.58319443e-24	5.0364398e-26	-1.96477668e-26
C59	-4.29933193e-24	7.27741408e-25	1.34877357e-25
C61	-4.35164002e-25	-3.70172805e-25	9.08466291e-25
C63	-4.31612597e-24	-1.65512418e-23	-1.15821486e-24
C65	5.74566859e-25	-3.54839213e-22	9.75105989e-25
C67	-8.31856725e-27	2.23913867e-29	-7.53092542e-30
C69	-3.03135923e-26	9.24067287e-28	6.97106649e-29
C71	-6.34159858e-27	1.29441651e-26	2.59341661e-28
C73	-1.45964284e-27	7.21404487e-26	2.42170553e-27
C75	-1.93255602e-26	-5.34524622e-25	6.10793347e-27
C77	7.65786113e-27	-7.05057312e-24	-7.52722442e-27
C78	-9.6627235e-31	-2.01181857e-33	-1.18301807e-31
C80	-4.64023731e-29	-2.2908469e-31	2.05691034e-31
C82	-4.21140793e-29	-9.08557064e-30	-2.86985661e-30
C84	1.14175315e-29	1.81010784e-31	-8.51064858e-30
C86	-7.952672e-30	1.14283042e-27	-2.99648638e-29
C88	-3.06560966e-29	2.97065585e-27	3.1957382e-29
C90	1.739769e-29	-1.53356387e-26	-5.55236415e-29
C92	0	-9.35479925e-35	0
C94	0	-1.11066562e-32	0
C96	0	-2.7117545e-31	0
C98	0	-2.16812021e-30	0
C100	0	6.49579619e-30	0
C102	0	8.30122741e-29	0
C104	0	1.33368175e-28	0
C105	0	7.63062872e-39	0
C107	0	-1.33707919e-36	0
C109	0	-6.17114636e-35	0
C111	0	-1.93752659e-33	0
C113	0	-1.47555389e-32	0
C115	0	1.51767677e-32	0
C117	0	3.13470054e-31	0
C119	0	-4.06330463e-32	0

Tabelle 3b zu Fig. 5

Koeffizient	M2	M1
KY	0.00000000	0.00000000
KX	0.00000000	0.00000000
RX	1750.67438100	-2196.19807500
C7	4.7297134e-09	-4.86481906e-09
C9	-5.36155645e-08	6.01275614e-08
C10	1.59151467e-10	7.46596389e-11
C12	-2.02398537e-10	1.45342585e-10
C14	3.12252434e-11	-1.08723836e-10
C16	-3.31390341e-13	-9.34448438e-14
C18	-2.42004872e-14	-7.70625615e-14
C20	4.45566248e-13	1.57106949e-13
C21	3.80206914e-16	8.49056831e-17
C23	-9.56343255e-16	3.07262613e-16
C25	1.45687793e-15	4.12831935e-16
C27	9.96110057e-16	-6.78360599e-16
C29	-1.35242776e-18	-8.09472368e-20
C31	3.878658e-19	8.74413523e-19
C33	5.84002502e-18	-7.39905067e-20
C35	4.45642888e-19	2.28066485e-18
C36	1.95686187e-21	7.10067552e-23
C38	-1.88113443e-21	1.34398924e-21
C40	7.17808853e-21	4.93020658e-22
C42	1.48440454e-20	-1.09302223e-21
C44	-1.8863007e-20	-6.93027773e-21
C46	-1.4738118e-23	-9.80248468e-25
C48	-2.76214199e-23	-1.05148019e-23
C50	1.62454625e-23	-5.72823473e-23
C52	1.6767595e-24	-8.17398356e-23
C54	-5.46813238e-23	8.69674176e-23
C55	-2.01826152e-26	2.31220573e-28
C57	2.24379893e-26	-1.69336589e-26
C59	1.46483916e-25	-1.55947876e-25
C61	2.76717073e-25	-3.16491948e-25
C63	3.60699347e-25	2.52372061e-25
C65	6.49680396e-25	-4.13953744e-25
C67	-7.2725905e-30	1.76604001e-29
C69	2.64991096e-28	1.97905218e-28
C71	9.95789009e-28	1.53395973e-27
C73	2.1901547e-27	5.10156455e-27
C75	3.93340903e-27	3.79217645e-27
C77	4.25386162e-27	-2.13756483e-28
C78	5.51457855e-31	1.73082408e-33
C80	-6.10075425e-31	2.51373647e-31
C82	-5.64817815e-31	2.65475898e-30
C84	1.48472093e-30	1.19081526e-29
C86	5.14461598e-30	1.48221822e-29
C88	9.48397385e-30	-3.58732144e-30
C90	7.31964218e-30	8.78094036e-30
C92	0	-1.05729528e-34
C94	0	-1.18735654e-33
C96	0	-1.1292592e-32

Koeffizient	M2	M1
C98	0	-5.84661259e-32
C100	0	-1.20686328e-31
C102	0	-7.00065014e-32
C104	0	7.63092948e-33
C105	0	-2.71068349e-38
C107	0	-1.37360137e-36
C109	0	-1.78911485e-35
C111	0	-1.11895866e-34
C113	0	-3.08686012e-34
C115	0	-3.09249328e-34
C117	0	-4.89479255e-35
C119	0	-2.12968606e-34

Tabelle 3c zu Fig. 5

Oberfläche	DCX	DCY	DCZ
Blendenebene	0.00000000	0.00000000	0.00000000
M8	0.00000000	0.00000000	789.65404564
M7	0.00000000	-156.74162415	111.54216970
M6	0.00000000	75.82209555	1117.68346177
M5	0.00000000	264.33972449	1378.11700369
M4	0.00000000	672.72538896	1599.35824164
M3	0.00000000	-141.59750086	1584.88117058
M2	0.00000000	-505.63142958	1344.24717896
Blende	0.00000000	-737.61173826	911.36439031
M1	0.00000000	-958.90354606	498.42669138
Objektebene	0.00000000	-1120.89995218	2199.99050736

Tabelle 4a zu Fig. 5

Oberfläche	TLA[deg]	TLB[deg]	TLC[deg]
Blendenebene	-0.00000000	0.00000000	-0.00000000
M8	-6.50750638	0.00000000	-0.00000000
M7	-13.01501276	180.00000000	0.00000000
M6	65.54284117	0.00000000	-0.00000000
M5	41.27356560	0.00000000	180.00000000
M4	-75.26753205	0.00000000	-0.00000000
M3	17.24201595	0.00000000	180.00000000
M2	47.63941851	0.00000000	-0.00000000
Blende	3.43166576	180.00000000	0.00000000
M1	-11.37413742	180.00000000	0.00000000
Objektebene	-0.06157975	0.00000000	-0.00000000

Tabelle 4b zu Fig. 5

Oberfläche	Einfallswinkel [deg]	Reflektivität
M8	6.47147520	0.66128118
M7	0.11653216	0.66566419
M6	78.70978085	0.86086591
M5	77.07792270	0.83722518
M4	13.94320818	0.64306998
M3	73.58463359	0.77865080
M2	75.65025415	0.81475558
M1	16.66193250	0.63186641
Gesamttransmission		0.0818

Tabelle 5 zu Fig. 5

X[mm]	Y[mm]	Z[mm]
0.00000000	89.66980683	0.00000000
32.26933636	88.49883199	0.00000000
63.80242161	85.00678770	0.00000000
93.86826885	79.25859655	0.00000000
121.74851975	71.36984717	0.00000000
146.74869993	61.51615592	0.00000000
168.21452338	49.94208075	0.00000000
185.55384755	36.96581320	0.00000000
198.26379471	22.97584784	0.00000000
205.96026358	8.41653940	0.00000000
208.40508531	-6.23816130	0.00000000
205.52599380	-20.51954235	0.00000000
197.42538052	-33.99995929	0.00000000
184.37470881	-46.32063692	0.00000000
166.79373383	-57.20679974	0.00000000
145.21783608	-66.47143800	0.00000000
120.26075163	-74.01138993	0.00000000
92.58074849	-79.79782652	0.00000000
62.85560742	-83.85970028	0.00000000
31.76805617	-86.25747226	0.00000000
0.00000000	-87.04886980	0.00000000
-31.76805617	-86.25747226	0.00000000
-62.85560742	-83.85970028	0.00000000
-92.58074849	-79.79782652	0.00000000
-120.26075163	-74.01138993	0.00000000
-145.21783608	-66.47143800	0.00000000
-166.79373383	-57.20679974	0.00000000
-184.37470881	-46.32063692	0.00000000
-197.42538052	-33.99995929	0.00000000
-205.52599380	-20.51954235	0.00000000
-208.40508531	-6.23816130	0.00000000
-205.96026358	8.41653940	0.00000000
-198.26379471	22.97584784	0.00000000
-185.55384755	36.96581320	0.00000000
-168.21452338	49.94208075	0.00000000
-146.74869993	61.51615592	0.00000000
-121.74851975	71.36984717	0.00000000
-93.86826885	79.25859655	0.00000000
-63.80242161	85.00678770	0.00000000
-32.26933636	88.49883199	0.00000000

Tabelle 6 zu Fig. 5

[0106] Eine Gesamt-Reflektivität der Projektionsoptik **21** beträgt etwa 8%.

[0107] Die Projektionsoptik **21** hat ein Bildfeld **8** mit einer x-Dimension von 2×13 mm und einer y-Dimension von 1,2 mm. Das Bildfeld liegt gekrümmt mit einem absoluten Krümmungsradius von 81 mm vor. Die Projektionsoptik **21** hat eine bildseitige numerische Apertur von 0,55. In der ersten Abbildungslicht-Ebene xz hat die Projektionsoptik **21** einen Verkleinerungsfaktor β_x von 4,00. In der zweiten Abbildungslicht-Ebene yz hat die Projektionsoptik **21** einen Verkleinerungsfaktor β_y von 8,00. Ein objektseitiger Hauptstrahlwinkel beträgt $5,4^\circ$. Eine Pupillenobskuration beträgt 15%. Ein Objekt-Bild-Versatz d_{OIS} beträgt etwa 1120 mm. Die Spiegel der Projektionsoptik **21** können in einem Quader mit xyz-Kantenlängen von 909 mm \times 1766 mm \times 1584 mm untergebracht werden.

[0108] Das Retikel **10** und damit die Objektebene **5** sind um einen Winkel T von $-0,1^\circ$ um die x-Achse verkippt. Dieser Kippwinkel T ist in der **Fig. 5** angedeutet.

[0109] Ein Arbeitsabstand zwischen dem wafernächsten Spiegel M7 und der Bildebene **9** beträgt etwa 80 mm. Ein mittlerer Wellenfrontfehler rms beträgt 7,32 m λ .

[0110] Fig. 7 zeigt wiederum die Randkonturen der Reflexionsflächen der Spiegel M1 bis M8 der Projektionsoptik 21.

[0111] Anhand der Fig. 8 bis Fig. 10 wird nachfolgend eine weitere Ausführung einer Projektionsoptik 22 erläutert, die anstelle der Projektionsoptik 7 bei der Projektionsbelichtungsanlage 1 nach Fig. 1 zum Einsatz kommen kann. Komponenten und Funktionen, die vorstehend im Zusammenhang mit den Fig. 1 bis Fig. 7 bereits erläutert wurden, tragen gegebenenfalls die gleichen Bezugsziffern und werden nicht nochmals im Einzelnen diskutiert.

[0112] Für die Spiegel M1 bis M8 gilt wiederum die vorstehend angegebene Freiformflächengleichung (1).

[0113] Die nachfolgende Tabelle zeigt wiederum die Spiegelparameter der Spiegel M1 bis M8 der Projektionsoptik 22.

	M1	M2	M3	M4	M5	M6	M7	M8
maximaler Einfallswinkel [°]	19.4	83.2	78.9	14.6	83.4	81.3	20.4	8.4
Reflexionsflächen- er Streckung in x- Richtung [mm]	500.6	415.3	464.4	608.0	438.7	157.9	331.3	839.6
Reflexionsflächen- er Streckung in y- Richtung [mm]	258.0	319.6	315.9	139.9	276.0	289.4	175.9	821.2
maximaler Spiegeldurchmesser [mm]	500.7	416.9	464.4	608.1	440.2	293.8	331.3	840.2

[0114] Den größten Spiegeldurchmesser hat hier wiederum der letzte Spiegel im Abbildungsstrahlengang M8 mit 840,2 mm. Den nächstgrößeren maximalen Spiegeldurchmesser hat der Spiegel M4 mit 608,1 mm. Den nächstgrößeren maximalen Spiegeldurchmesser hat der Spiegel M1 mit 500,7 mm. Die Spiegeldurchmesser der weiteren Spiegel M2, M3 sowie M5 bis M7 sind jeweils kleiner als 500 mm.

[0115] Der NI-Spiegel M4 hat ein x/y-Aspektverhältnis von etwa 4,3:1. Das x/y-Aspektverhältnis von drei der vier GI-Spiegel, nämlich der Spiegel M2, M3 und M5, ist jeweils größer als 1.

[0116] Fig. 10 zeigt wiederum die Randkonturen der Reflexionsflächen der Spiegel M1 bis M8 der Projektionsoptik 22.

[0117] Die optischen Designdaten der Projektionsoptik 22 können den nachfolgenden Tabellen entnommen werden, die in ihrem Aufbau den Tabellen zur Projektionsoptik 7 nach Fig. 2 entsprechen.

Ausführungsbeispiel

NA	Fig. 8
Wellenlänge	0.55
	13.5 nm
beta_x	4.0
beta_y	-8.0
Feldgröße_x	26.0 mm
Feldgröße_y	1.2 mm
Feldkrümmung	0.012345 1/mm
rms	6.32 ml
Blende	AS

Tabelle 1 zu Fig. 8

Oberfläche	Radius_x[mm]	Power_x[1/mm]	Radius_y[mm]	Power_y[1/mm]	Betriebsmodus
M8	-851.0361523	0.0023330	-772.1034778	0.0026093	REFL
M7	1546.8239627	-0.0012930	394.6694678	-0.0050675	REFL
M6	-202333.1456610	0.0000022	-10187.2890997	0.0008677	REFL
M5	8912.8787588	-0.0000480	169600.7233122	-0.0000551	REFL
M4	-1924.8246697	0.0010145	-1122.2826293	0.0018252	REFL
M3	8381.6578186	-0.0000650	-2584.1884987	0.0028424	REFL
M2	1663.9595421	-0.0002907	-9018.2564818	0.0009168	REFL
M1	-2366.4461630	0.0008036	-1573.3008227	0.0013369	REFL

Tabelle 2 zu Fig. 8

Koeffizient	M8	M7	M6
KY	0.00000000	0.00000000	0.00000000
KX	0.00000000	0.00000000	0.00000000
RX	-851.03615230	1546.82396300	-202333.14570000
C7	8.22353195e-09	-1.1254404e-06	5.70321402e-08
C9	1.06800922e-08	-1.61066543e-06	-4.04332858e-08
C10	-2.32081625e-11	9.01260368e-10	9.97049994e-11
C12	-4.81965523e-11	5.41498721e-09	-3.87882762e-11
C14	-1.78337439e-11	6.95736847e-09	-8.07590068e-11
C16	1.53703977e-14	-3.72727079e-12	-2.22606408e-13
C18	3.92824351e-14	-2.3049091e-11	1.39174244e-13
C20	1.41211822e-14	-1.33256083e-11	-1.58580213e-13
C21	-3.81721312e-17	2.57394252e-15	-1.15923561e-15
C23	-1.24510595e-16	3.79123979e-14	6.26522278e-16
C25	-1.24327748e-16	1.02191353e-13	-3.15498125e-16
C27	-4.02771064e-17	1.05686173e-13	8.01345954e-17
C29	2.36036771e-20	-2.32704295e-17	2.86986088e-18
C31	9.23476141e-20	-2.50971866e-16	-6.31866033e-18
C33	7.42391485e-20	-4.69584608e-16	-1.77467853e-18
C35	2.13920436e-20	-4.20709884e-16	1.93080313e-18
C36	-5.75028905e-23	1.36974288e-20	1.20047411e-19
C38	-2.56478559e-22	2.99082116e-19	1.58313804e-19
C40	-4.17528537e-22	1.63802081e-18	3.48230344e-20
C42	-2.93237802e-22	3.53149682e-18	-1.30664337e-20
C44	-6.5240127e-23	2.22557903e-18	9.34200365e-21
C46	3.26730959e-26	-1.31769525e-22	1.87467922e-22
C48	1.65647684e-25	-2.54108407e-21	-9.7459547e-23
C50	2.06003704e-25	-8.02218967e-21	4.24535452e-22
C52	1.25828823e-25	-1.08154448e-20	-3.60660032e-23
C54	2.94874126e-26	-4.52045601e-21	3.08426535e-23
C55	-6.97828495e-29	-8.04789954e-27	-3.02842858e-23
C57	-3.93224712e-28	2.36826803e-24	-3.05704402e-23

Koeffizient	M8	M7	M6
C59	-8.5715617e-28	1.91225859e-23	-1.61986274e-23
C61	-9.44354252e-28	5.47973494e-23	-5.89325036e-25
C63	-4.92557976e-28	5.42718964e-23	1.75162691e-25
C65	-9.53675468e-29	-2.41144334e-23	1.37982154e-25
C67	8.56161307e-32	-2.13597878e-27	1.42425027e-25
C69	5.45793082e-31	-3.1078544e-26	1.57057755e-25
C71	1.08872714e-30	-1.66326237e-25	-3.00238819e-26
C73	1.12115534e-30	-6.38207957e-25	-1.34557376e-26
C75	6.11516854e-31	-1.02076137e-24	3.36558839e-27
C77	1.73978227e-31	-1.03262553e-24	2.84928864e-28
C78	-2.15434724e-34	2.23358192e-30	1.67334485e-27
C80	-1.42981408e-33	2.69345444e-29	-7.09831855e-29
C82	-4.31511841e-33	3.21344558e-28	9.35814833e-28
C84	-6.50204276e-33	1.66879067e-27	5.92963244e-28
C86	-4.98319988e-33	4.54510687e-27	-5.80186138e-29
C88	-1.71245423e-33	4.96070699e-27	1.15834488e-29
C90	-2.25973101e-34	1.01639976e-26	-5.5330398e-32
C92	-4.67191518e-38	-6.25563325e-33	0
C94	-5.22713002e-37	-4.34830237e-31	0
C96	-1.89944414e-36	-3.56929016e-30	0
C98	-2.81867609e-36	-1.11408817e-29	0
C100	-2.00885345e-36	-3.36202301e-30	0
C102	-9.14331673e-37	1.99813966e-29	0
C104	-3.93192552e-37	5.1763834e-29	0
C105	2.59858488e-40	-1.30912151e-35	0
C107	1.91340725e-39	2.51076736e-34	0
C109	7.28860105e-39	3.88659065e-33	0
C111	1.43323996e-38	1.93195701e-32	0
C113	1.56110989e-38	3.48086283e-32	0
C115	8.98701927e-39	-5.48720528e-32	0
C117	1.6511978e-39	-1.29982627e-31	0
C119	-1.30949821e-40	-4.96284696e-31	0
C121	4.23660664e-43	0	0
C123	4.15160139e-42	0	0
C125	1.39771326e-41	0	0
C127	2.53124046e-41	0	0
C129	2.68371578e-41	0	0
C131	1.59135165e-41	0	0
C133	5.46251923e-42	0	0
C135	1.15209039e-42	0	0
C136	-1.17664747e-45	0	0
C138	-1.02663575e-44	0	0
C140	-4.20279722e-44	0	0
C142	-9.68210854e-44	0	0
C144	-1.33553594e-43	0	0
C146	-1.14971336e-43	0	0
C148	-5.92069859e-44	0	0
C150	-1.53968726e-44	0	0
C152	-1.21262169e-45	0	0

Tabelle 3a zu Fig. 8

Koeffizient	M5	M4	M3
KY	0.00000000	0.00000000	0.00000000
KX	0.00000000	0.00000000	0.00000000

Koeffizient	M5	M4	M3
RX	8912.87875900	-1924.82467000	8381.65781900
C7	-8.57268768e-08	2.54807038e-08	1.55608617e-07
C9	-6.40759103e-08	5.25166423e-07	-7.37308994e-08
C10	2.6897543e-11	-5.54870269e-13	-2.18140873e-11
C12	-2.7546226e-11	-4.63238035e-11	-6.24966108e-12
C14	1.73068149e-10	-2.87565404e-09	4.78306365e-11
C16	-2.16934555e-14	2.88286746e-14	1.42144476e-13
C18	-3.78830935e-14	-1.16294514e-13	-2.62164582e-13
C20	2.23511026e-13	1.06010033e-11	1.19479387e-13
C21	-2.93742356e-16	1.20280745e-17	-4.13931787e-16
C23	1.03921979e-16	-8.1527366e-17	2.34105392e-16
C25	-1.01100395e-16	2.07655296e-16	-4.5300826e-16
C27	1.02450572e-15	-2.86240941e-14	-2.49592968e-17
C29	-1.10251956e-18	3.89793994e-20	-3.28703583e-19
C31	6.87189608e-19	3.58723632e-19	2.34944949e-19
C33	-9.50730177e-19	2.17310978e-17	2.18611821e-19
C35	2.23205339e-18	1.22715871e-16	3.44365927e-20
C36	-2.99662129e-22	1.5227569e-23	-8.39841059e-22
C38	-2.28852461e-21	-2.49850063e-22	4.49849691e-23
C40	-6.61286925e-21	3.66778349e-21	-1.00697786e-21
C42	-6.83118232e-21	-7.87351542e-20	-1.93220209e-21
C44	4.74805065e-21	-1.20795235e-18	1.39567847e-21
C46	-6.19052002e-24	-2.95842767e-27	-8.0421363e-25
C48	-4.53218038e-23	-1.86701681e-24	-7.51188458e-26
C50	-3.53355801e-23	-1.94682324e-22	6.58138946e-24
C52	9.66685993e-24	-2.54695991e-21	-2.24468037e-23
C54	4.68338408e-23	1.56039907e-20	2.3689314e-23
C55	-3.36029673e-27	3.64770651e-29	-1.64579218e-27
C57	-1.50039295e-25	2.97142578e-27	-4.39616284e-27
C59	-1.58152693e-25	-9.31466014e-27	-3.28807432e-27
C61	1.40480231e-25	-5.43887391e-25	9.68467712e-26
C63	3.42078317e-25	-7.81685653e-24	-1.21580745e-25
C65	3.34544742e-25	2.49081993e-22	5.2524997e-26
C67	-1.91985692e-28	1.23915532e-30	-4.34996752e-30
C69	-6.19652043e-28	5.59164321e-29	1.1395921e-29
C71	5.78399459e-28	2.46635389e-27	-6.03194547e-29
C73	6.06143848e-28	6.4010328e-26	3.18629423e-28
C75	2.14114816e-27	5.89668384e-25	2.4585905e-29
C77	8.34473509e-28	-3.8312013e-25	-3.30336043e-28
C78	-2.63013498e-32	-3.04381081e-35	1.90506513e-33
C80	-8.58668923e-31	-5.52823344e-33	2.0730057e-32
C82	3.6604218e-31	1.5262269e-31	-7.57202598e-32
C84	1.22304772e-30	1.81454202e-29	-8.86741054e-31
C86	3.96796879e-31	2.84600101e-28	-5.95886159e-31
C88	4.7506545e-30	3.52745373e-27	9.5255502e-31
C90	1.01760514e-31	-5.7803578e-26	-1.26507199e-30
C92	0	1.87739314e-36	0
C94	0	-2.22865742e-34	0
C96	0	-1.0891435e-32	0
C98	0	-4.24411917e-31	0
C100	0	-6.24102946e-30	0
C102	0	-4.91277622e-29	0
C104	0	-1.05847058e-28	0
C105	0	2.44803895e-40	0
C107	0	3.63856827e-38	0

Koeffizient	M5	M4	M3
C109	0	-9.85256801e-37	0
C111	0	-1.48844151e-34	0
C113	0	-3.24054187e-33	0
C115	0	-4.83253562e-32	0
C117	0	-4.56856787e-31	0
C119	0	2.64024429e-30	0

Tabelle 3b zu Fig. 8

Koeffizient	M2	M1
KY	0.00000000	0.00000000
KX	0.00000000	0.00000000
RX	1663.95954200	-2366.44616300
C7	-2.6256998e-08	-1.88881955e-08
C9	-4.49213586e-08	6.43389667e-08
C10	1.54586082e-10	6.46192823e-11
C12	-1.21371886e-10	1.31169767e-10
C14	-4.33390669e-11	-1.78376811e-10
C16	-2.73749675e-13	-8.16202701e-14
C18	-2.92834639e-13	-1.77336534e-13
C20	5.30808959e-13	1.28125779e-13
C21	3.92239718e-16	7.7481034e-17
C23	-7.40201663e-16	2.19947215e-16
C25	1.08355999e-15	8.51061497e-16
C27	2.44427707e-15	-7.69477857e-16
C29	-1.06269965e-18	-5.04698618e-20
C31	-4.88332067e-19	1.20045157e-18
C33	9.46993181e-18	-1.0606871e-18
C35	3.12945049e-18	4.10938248e-18
C36	1.53705534e-21	4.30277308e-23
C38	-1.32914259e-21	1.09041364e-21
C40	9.35384761e-21	1.32436368e-22
C42	1.83272246e-20	5.94189415e-21
C44	-1.6258077e-20	-1.73278155e-20
C46	-8.69830376e-24	-8.70142065e-25
C48	-1.83642254e-23	-4.10900663e-24
C50	7.81204363e-24	-3.66083552e-23
C52	-7.6675503e-23	-1.57882422e-22
C54	-7.16811746e-24	1.75681164e-22
C55	1.00553344e-27	1.85224361e-28
C57	9.61086623e-27	-9.92933564e-27
C59	9.22836469e-26	-9.27618468e-26
C61	5.03417067e-26	-3.91366057e-25
C63	8.18957345e-26	3.55969196e-26
C65	5.4051668e-25	-2.60900198e-25
C67	-4.59015691e-29	1.5260942e-29
C69	5.56437743e-29	1.29590808e-28
C71	5.74425184e-28	5.1841973e-28
C73	1.78819681e-27	3.0919993e-27
C75	3.84503995e-27	5.78715704e-27
C77	1.77868051e-27	-1.1835767e-27
C78	7.746135e-32	-6.58196385e-34
C80	-6.03716849e-32	1.87038385e-31
C82	1.75693025e-32	1.10323344e-30

Koeffizient	M2	M1
C84	9.46185586e-31	6.41534647e-30
C86	6.92515865e-30	1.83718563e-29
C88	9.33866138e-30	2.26352334e-29
C90	1.35684272e-30	-8.39131456e-30
C92	0	-7.45481971e-35
C94	0	-9.20444921e-34
C96	0	-3.82571455e-33
C98	0	-2.02038771e-32
C100	0	-4.58610144e-32
C102	0	-2.19149074e-31
C104	0	1.21942322e-31
C105	0	-2.04017375e-39
C107	0	-1.13152305e-36
C109	0	-8.67384688e-36
C111	0	-3.73813523e-35
C113	0	-1.42966936e-34
C115	0	-5.28437513e-34
C117	0	5.05058256e-36
C119	0	-4.57963592e-34

Tabelle 3c zu Fig. 8

Oberfläche	DCX	DCY	DCZ
Blendenebene	0.00000000	0.00000000	0.00000000
M8	0.00000000	0.00000000	730.47846317
M7	0.00000000	-152.90056746	112.82201342
M6	0.00000000	78.36865349	1047.05612597
M5	0.00000000	389.10924804	1414.16174057
M4	0.00000000	812.27571998	1612.23227806
M3	0.00000000	-265.50935323	1603.53836219
M2	0.00000000	-726.85543010	1316.88850383
Blende	0.00000000	-960.14137189	921.36601541
M1	0.00000000	-1210.40105284	497.06555821
Objektebene	0.00000000	-1383.95499737	2195.69303406

Tabelle 4a zu Fig. 8

Oberfläche	TLA[deg]	TLB[deg]	TLC[deg]
Blendenebene	-0.00000000	0.00000000	-0.00000000
M8	-6.95201256	0.00000000	-0.00000000
M7	-13.90402511	180.00000000	0.00000000
M6	62.92468079	0.00000000	-0.00000000
M5	37.41808021	0.00000000	180.00000000
M4	-77.22753094	0.00000000	-0.00000000
M3	16.15812057	0.00000000	180.00000000
M2	45.66062220	0.00000000	-0.00000000
Blende	-17.71808396	180.00000000	0.00000000
M1	-12.34949612	180.00000000	0.00000000
Objektebene	0.33384010	0.00000000	-0.00000000

Tabelle 4b zu Fig. 8

Oberfläche	Einfallswinkel[deg]	Reflektivität
M8	6.91276625	0.66062902
M7	0.12878534	0.66566461

Oberfläche	Einfallswinkel[deg]	Reflektivität
M6	76.92252636	0.83486647
M5	77.65337591	0.84578931
M4	12.48133148	0.64795820
M3	74.19981712	0.78989266
M2	76.00169981	0.82045940
M1	18.03253830	0.62503760
Gesamttransmission		0.0815

Tabelle 5 zu Fig. 8

X[mm]	Y[mm]	Z[mm]
0.00000000	79.44891448	0.00000000
33.44609853	78.35210193	0.00000000
66.09827943	75.08959780	0.00000000
97.17379795	69.74566864	0.00000000
125.91323007	62.46267647	0.00000000
151.59477634	53.44369041	0.00000000
173.55179314	42.95465388	0.00000000
191.19420271	31.32416265	0.00000000
204.03313655	18.93717691	0.00000000
211.70619028	6.21863897	0.00000000
213.99952587	-6.39415339	0.00000000
210.86350256	-18.48584486	0.00000000
202.41900580	-29.69478411	0.00000000
188.95119114	-39.73468794	0.00000000
170.88870987	-48.40435562	0.00000000
148.77113918	-55.58900603	0.00000000
123.21255397	-61.25733366	0.00000000
94.87031062	-65.45439617	0.00000000
64.42418298	-68.28828106	0.00000000
32.56662812	-69.90208600	0.00000000
0.00000000	-70.42283034	0.00000000
-32.56662812	-69.90208600	0.00000000
-64.42418298	-68.28828106	0.00000000
-94.87031062	-65.45439617	0.00000000
-123.21255397	-61.25733366	0.00000000
-148.77113918	-55.58900603	0.00000000
-170.88870987	-48.40435562	0.00000000
-188.95119114	-39.73468794	0.00000000
-202.41900580	-29.69478411	0.00000000
-210.86350256	-18.48584486	0.00000000
-213.99952587	-6.39415339	0.00000000
-211.70619028	6.21863897	0.00000000
-204.03313655	18.93717691	0.00000000
-191.19420271	31.32416265	0.00000000
-173.55179314	42.95465388	0.00000000
-151.59477634	53.44369041	0.00000000
-125.91323007	62.46267647	0.00000000
-97.17379795	69.74566864	0.00000000
-66.09827943	75.08959780	0.00000000
-33.44609853	78.35210193	0.00000000

Tabelle 6 zu Fig. 8

[0118] Eine Gesamt-Reflektivität der Projektionsoptik **22** beträgt etwa 8%.

[0119] Die Projektionsoptik **22** hat ein Bildfeld **8** mit einer x-Dimension von 2×13 mm und einer y-Dimension von 1,2 mm. Das Bildfeld liegt gekrümmt mit einem absoluten Krümmungsradius von 81 mm vor. Die Projektionsoptik **22** hat eine numerische Apertur von 0,55. Ein Verkleinerungsfaktor beträgt in der ersten Abbildungs-

licht-Ebene xz $4,0$ (β_x) und in der zweiten Abbildungslicht-Ebene yz $-8,0$ (β_y). Ein Hauptstrahlwinkel CRA zu einer Normalen auf dem Objektfeld **4** beträgt $5,4^\circ$. Eine maximale Pupillenobskuration beträgt 16%. Ein Objekt-Bildversatz d_{OIS} beträgt etwa 1380 mm. Die Spiegel der Projektionsoptik **22** können in einem Quader mit xyz-Kantenlängen 840 mm \times 2160 mm \times 1598 mm untergebracht werden.

[0120] Die Objektebene **5** und die Bildebene **9** verlaufen mit einem Winkel von $0,3^\circ$ zueinander.

[0121] Ein Arbeitsabstand zwischen dem wafernächsten Spiegel M5 und der Bildebene **9** beträgt 81 mm. Ein mittlerer Wellenfrontfehler rms beträgt 6,32 m λ .

[0122] Anhand der **Fig. 11** bis **Fig. 13** wird nachfolgend eine weitere Ausführung einer Projektionsoptik **23** erläutert, die anstelle der Projektionsoptik **7** bei der Projektionsbelichtungsanlage **1** nach **Fig. 1** zum Einsatz kommen kann. Komponenten und Funktionen, die vorstehend im Zusammenhang mit den **Fig. 1** bis **Fig. 10** bereits erläutert wurden, tragen gegebenenfalls die gleichen Bezugsziffern und werden nicht nochmals im Einzelnen diskutiert.

[0123] Die Spiegel M1 bis M8 sind wiederum als Freiformflächen ausgestaltet, für die die oben angegebene Freiformflächengleichung (1) gilt.

[0124] Die nachfolgende Tabelle zeigt wiederum die Spiegelparameter der Spiegel M1 bis M8 der Projektionsoptik **23**.

	M1	M2	M3	M4	M5	M6	M7	M8
maximaler Einfallswinkel [0]	16.8	83.8	79.4	13.7	82.6	83.7	23.2	7.8
Reflexionsflächen- erstreckung in x- Richtung [mm]	537.0	463.6	511.9	707.8	437.8	222.7	382.8	1060.2
Reflexionsflächen- erstreckung in y- Richtung [mm]	272.8	340.3	266.9	160.1	223.6	233.2	201.1	1038.2
maximaler Spiegeldurchmesser [mm]	537.1	463.9	512.0	707.8	438.1	252.4	382.9	1060.6

[0125] Drei der vier GI-Spiegel haben ein x/y-Aspektverhältnis, das größer ist als 1. Der NI-Spiegel M4 hat ein x/y-Aspektverhältnis von etwa 4,4.

[0126] Den größten Spiegeldurchmesser hat wiederum der Spiegel im Abbildungslicht-Strahlengang letzte Spiegel M8 mit 1060 mm. Den nächstgrößeren Spiegeldurchmesser hat der Spiegel M4 mit einem maximalen Spiegeldurchmesser von 707,8 mm. Die anderen Spiegel M1 bis M3 sowie M5 bis M7 haben jeweils einen maximalen Spiegeldurchmesser, der kleiner ist als 550 mm. Vier der acht Spiegel haben einen maximalen Spiegeldurchmesser, der kleiner ist als 500 mm.

[0127] **Fig. 13** zeigt wiederum die Randkonturen der Reflexionsflächen der Spiegel M1 bis M8.

[0128] Die optischen Designdaten der Projektionsoptik **23** können den nachfolgenden Tabellen entnommen werden, die in ihrem Aufbau den Tabellen zur Projektionsoptik **7** nach **Fig. 2** entsprechen.

Ausführungsbeispiel

NA	0.6
Wellenlänge	13.5 nm
beta_x	4.0
beta_y	-8.0
Feldgröße_x	26.0 mm
Feldgröße_y	1.0 mm

Fig. 11

Feldkrümmung	0.012345 1/mm
rms	7.69 ml
Blende	AS

Tabelle 1 zu Fig. 11

Oberfläche	Radius_x[mm]	Power_x[1/mm]	Radius_y[mm]	Power_y[1/mm]	Betriebsmodus
M8	-976.0549264	0.0020372	-893.9607135	0.0022503	REFL
M7	1605.4488755	-0.0012457	413.7247105	-0.0048341	REFL
M6	10301.5015885	-0.0000380	-21202.8072073	0.0004824	REFL
M5	3635.0365565	-0.0001307	16701.6709302	-0.0005042	REFL
M4	-1820.9646398	0.0010765	-1080.2806166	0.0018888	REFL
M3	4841.0405977	-0.0001159	-2073.3089952	0.0034384	REFL
M2	1827.2419697	-0.0002758	-14444.8000814	0.0005495	REFL
M1	-2377.3222124	0.0008136	-1375.5962463	0.0015034	REFL

Tabelle 2 zu Fig. 11

Koeffizient	M8	M7	M6
KY	0.00000000	0.00000000	0.00000000
KX	0.00000000	0.00000000	0.00000000
RX	-976.05492640	1605.44887500	10301.50159000
C7	2.19828378e-10	-6.36356922e-07	4.00562767e-08
C9	-9.98389871e-10	-3.65016004e-07	-4.12528422e-08
C10	-1.45764106e-11	5.71969655e-10	1.08957891e-10
C12	-2.52771135e-11	2.46670725e-09	-4.70662581e-11
C14	-1.02760462e-11	3.54420919e-09	-1.39245857e-10
C16	2.03106665e-15	-1.54734742e-12	-5.12435244e-13
C18	2.6654738e-15	-7.13079933e-12	1.30925964e-13
C20	1.17154825e-15	-4.75131372e-12	-4.62559187e-13
C21	-1.63294322e-17	6.02217641e-16	-8.74551041e-16
C23	-5.13321666e-17	1.70725636e-14	2.05417956e-15
C25	-5.16679749e-17	5.1300394e-14	2.82778542e-16
C27	-1.52982188e-17	5.95502512e-14	-1.76294366e-15
C29	2.34938434e-21	-5.87047318e-18	1.79292389e-17
C31	9.53875955e-21	-8.02159693e-17	3.53677984e-18
C33	7.41837531e-21	-1.44760898e-16	4.75224443e-18
C35	3.17781966e-21	-1.53389098e-16	-8.67749489e-18
C36	-1.74669803e-23	4.64238531e-21	4.46663739e-20
C38	-8.12917271e-23	7.97874167e-20	-9.13846086e-20
C40	-1.33686469e-22	5.38558802e-19	4.82591287e-20
C42	-8.89282942e-23	1.35242561e-18	-1.72228538e-20
C44	-2.11369558e-23	1.03204921e-18	-4.12209424e-20
C46	3.70185157e-27	-1.50196108e-23	-1.29159987e-21
C48	1.71782297e-26	-6.95842931e-22	-1.39616084e-21
C50	2.22143444e-26	-3.09804936e-21	-2.08627777e-21
C52	1.53089006e-26	-6.98533988e-21	-9.76842727e-22
C54	4.26761031e-27	-7.26036629e-21	2.22191067e-23
C55	-1.41052783e-29	1.46190475e-26	-2.60137326e-24
C57	-7.4039309e-29	8.85137564e-25	4.26678678e-24
C59	-1.55590461e-28	4.9319069e-24	-1.47414496e-23
C61	-1.53106603e-28	1.54676307e-23	-9.68568796e-24
C63	-7.24629635e-29	2.28420484e-23	-8.46512694e-24
C65	-1.29675849e-29	1.32974652e-23	1.94534917e-24

Koeffizient	M8	M7	M6
C67	3.92163993e-33	-3.06130187e-28	4.60816293e-26
C69	3.32571387e-32	-2.585229e-27	7.15188958e-26
C71	6.41931602e-32	6.54914392e-27	1.76430762e-25
C73	7.54394662e-32	3.13410623e-26	6.6239737e-26
C75	4.59718108e-32	1.00112056e-25	-3.27980476e-26
C77	1.13027094e-32	3.27676767e-25	1.06724729e-26
C78	-4.10206054e-35	-8.70027245e-31	3.4135289e-29
C80	-3.39233217e-34	-3.89320993e-30	-1.06150735e-28
C82	-1.03021092e-33	5.93753999e-30	1.02974453e-27
C84	-1.56850907e-33	1.90450094e-28	9.23265145e-28
C86	-1.28386624e-33	5.05025861e-28	3.74030197e-28
C88	-5.48685031e-34	3.6172057e-28	-5.51970409e-29
C90	-9.80914435e-35	1.01240632e-27	1.89034544e-29
C92	-1.39157061e-39	-4.57873831e-33	0
C94	-4.31708386e-39	-8.382893e-32	0
C96	-3.44448678e-38	-1.07210993e-30	0
C98	-8.25658658e-38	-5.03791613e-30	0
C100	-1.01825796e-37	-1.28669615e-29	0
C102	-6.84513059e-38	-1.76911459e-29	0
C104	-1.711747e-38	-1.82821708e-29	0
C105	4.649962e-41	8.1726139e-36	0
C107	4.70430643e-40	1.10616456e-34	0
C109	1.81720607e-39	1.18250099e-33	0
C111	3.65304902e-39	6.82975313e-33	0
C113	4.19723988e-39	2.53159388e-32	0
C115	2.7839518e-39	5.81649573e-32	0
C117	1.01869286e-39	8.98654673e-32	0
C119	1.61205615e-40	5.72497092e-33	0
C121	2.29413381e-44	0	0
C123	1.71241151e-43	0	0
C125	5.53566908e-43	0	0
C127	1.03511867e-42	0	0
C129	1.16673722e-42	0	0
C131	8.00578935e-43	0	0
C133	3.25315947e-43	0	0
C135	5.89466945e-44	0	0
C136	-1.11109234e-46	0	0
C138	-1.20653366e-45	0	0
C140	-5.12337794e-45	0	0
C142	-1.18813824e-44	0	0
C144	-1.67120445e-44	0	0
C146	-1.47117042e-44	0	0
C148	-7.95032735e-45	0	0
C150	-2.44327164e-45	0	0
C152	-3.25752244e-46	0	0

Tabelle 3a zu Fig. 11

Koeffizient	M5	M4	M3
KY	0.00000000	0.00000000	0.00000000
KX	0.00000000	0.00000000	0.00000000
RX	3635.03655600	-1820.96464000	4841.04059800
C7	2.57009749e-08	-2.1294935e-08	1.36712069e-07
C9	-3.72582374e-08	1.93421757e-07	-8.74500595e-08

Koeffizient	M5	M4	M3
C10	7.8233734e-11	-5.89084686e-12	8.62494237e-11
C12	8.02780698e-11	-3.37543666e-11	-1.7088634e-10
C14	2.61049117e-10	-1.32261075e-09	4.48492651e-11
C16	3.09661447e-13	-1.58818149e-14	2.77450683e-13
C18	2.10045635e-13	-2.15865369e-13	-3.34113276e-13
C20	1.21021701e-12	1.15393712e-12	-5.85921541e-15
C21	-2.41896476e-16	4.65141242e-18	-5.50559018e-16
C23	9.52938781e-16	-1.35366331e-17	-5.52843264e-17
C25	1.39124833e-15	-1.67400723e-15	-4.64366814e-17
C27	6.63375073e-15	-1.05535916e-14	2.5490439e-18
C29	-8.16482841e-19	8.38156716e-21	-7.32373211e-19
C31	3.59438789e-18	-6.23501959e-19	-9.06845758e-19
C33	8.86781642e-18	-3.90825082e-18	-3.35013376e-19
C35	3.76466129e-17	5.37595901e-17	-7.91688697e-19
C36	-1.28304836e-21	1.03112096e-23	-9.50827489e-22
C38	-4.52259774e-21	-4.62084609e-23	-6.54130884e-22
C40	1.56604929e-20	-2.7292065e-21	-8.74034942e-23
C42	3.88773358e-20	2.03483548e-20	-6.5838669e-22
C44	1.67428046e-19	2.93995381e-20	-2.53948758e-21
C46	-3.0360884e-23	5.21312924e-26	-2.68013198e-24
C48	-7.21185982e-23	-1.33972726e-24	-4.9222184e-24
C50	5.18088318e-23	-1.24105283e-24	-4.7933984e-24
C52	6.16975585e-23	3.06933511e-23	-1.70412044e-23
C54	4.24660998e-22	-5.64955517e-22	6.4347066e-24
C55	-1.6271291e-26	4.63650557e-29	-3.42069517e-27
C57	-3.57240815e-25	5.55114689e-28	2.25863789e-27
C59	-6.31556667e-25	-1.84905509e-26	9.28486516e-27
C61	4.61447251e-25	-3.08585922e-25	8.51712637e-26
C63	-3.71561263e-25	-3.12378903e-24	1.7529979e-25
C65	9.5860185e-26	-1.8010687e-23	6.62427176e-26
C67	-2.47265617e-28	5.41712208e-31	-1.55256743e-29
C69	-2.06239914e-27	-2.35057884e-30	1.99164113e-29
C71	-1.5921589e-27	-1.41339304e-28	9.91860891e-29
C73	3.03522588e-27	-9.69554851e-28	1.00634728e-28
C75	-2.62981493e-27	2.0508857e-27	9.00855813e-28
C77	-2.18840864e-27	6.06084993e-26	-8.26691103e-28
C78	-1.17239422e-32	4.89119743e-35	5.58604671e-33
C80	-1.16854407e-30	-2.02407723e-33	-3.28747822e-32
C82	-3.08998618e-30	-2.20096684e-32	-1.14542118e-31
C84	-7.89273413e-31	2.74906624e-30	-6.79261258e-31
C86	6.84152967e-30	3.72337204e-29	-3.89967939e-30
C88	-5.7080773e-30	2.22680476e-28	-1.91337022e-30
C90	-3.51317215e-30	3.87680038e-28	-5.50880595e-30
C92	0	-8.38453643e-37	0
C94	0	-3.55006604e-35	0
C96	0	1.26938434e-33	0
C98	0	2.33863016e-32	0
C100	0	2.18103556e-31	0
C102	0	5.016293e-31	0
C104	0	3.62790298e-31	0
C105	0	1.09066038e-40	0
C107	0	-7.25422962e-39	0
C109	0	2.22890362e-37	0
C111	0	6.88589895e-37	0
C113	0	4.02220615e-35	0
C115	0	-1.2216709e-34	0

Koeffizient	M5	M4	M3
C117	0	-7.73545378e-34	0
C119	0	1.85443438e-34	0

Tabelle 3b zu Fig. 11

Koeffizient	M2	M1
KY	0.00000000	0.00000000
KX	0.00000000	0.00000000
RX	1827.24197000	-2377.32221200
C7	1.56502368e-09	-7.13513756e-08
C9	-6.26911734e-08	9.17471292e-08
C10	1.41230769e-10	8.40766962e-11
C12	-3.04910182e-10	2.91023473e-10
C14	-2.30510407e-11	4.31755807e-12
C16	-3.52691423e-13	-4.53670074e-14
C18	-1.0320651e-13	-5.95941991e-14
C20	-9.51064717e-14	1.66558381e-13
C21	9.84316426e-17	1.66149114e-16
C23	-1.35395637e-15	1.32371152e-16
C25	1.21597267e-15	5.833456e-16
C27	-1.1674039e-15	-3.68408362e-17
C29	-7.74261965e-19	-2.40580867e-19
C31	-2.76522987e-19	1.65773059e-18
C33	1.05241218e-18	5.48856019e-20
C35	-5.10437615e-18	-4.42162143e-19
C36	-3.81741873e-22	2.43979093e-23
C38	-2.88594691e-21	1.66336126e-21
C40	5.24127138e-21	-3.88130319e-21
C42	-3.41854736e-21	-1.10874925e-20
C44	-1.25112141e-20	-4.08279493e-21
C46	-4.9140382e-24	-2.57343371e-25
C48	-1.97383935e-24	-1.97810927e-24
C50	1.54345126e-23	7.29885252e-24
C52	-2.12401718e-23	4.19211248e-23
C54	-2.0430002e-23	9.62634178e-23
C55	1.23131058e-26	-6.15974781e-28
C57	-2.05893454e-26	-9.39989994e-27
C59	1.38955401e-26	2.09944038e-26
C61	3.74456493e-26	2.7448534e-25
C63	1.73774336e-26	1.00440987e-24
C65	1.25560997e-25	8.58767365e-25
C67	-3.17910229e-30	6.91958428e-31
C69	-4.10898094e-29	4.696358e-29
C71	1.75258658e-29	6.04823906e-29
C73	-1.04296772e-28	4.77800782e-28
C75	6.93775083e-28	-6.02584377e-29
C77	9.48135271e-28	-6.53478917e-27
C78	-1.23543362e-31	1.39551165e-32
C80	2.24525835e-31	1.34737938e-31
C82	5.09289774e-31	1.31968764e-32
C84	3.55196448e-31	-2.26117025e-30
C86	-6.08086773e-32	-1.48860877e-29
C88	1.95350165e-30	-4.62935115e-29
C90	1.69949878e-30	-1.38625073e-29

Koeffizient	M2	M1
C92	0	1.78614456e-35
C94	0	-1.46012632e-34
C96	0	1.16037236e-34
C98	0	8.65517951e-34
C100	0	-3.13867819e-33
C102	0	3.97265573e-32
C104	0	9.3511929e-32
C105	0	-4.77493951e-38
C107	0	-7.34006931e-37
C109	0	-1.17359681e-36
C111	0	7.86504888e-36
C113	0	6.86341896e-35
C115	0	3.49056747e-34
C117	0	7.18775288e-34
C119	0	2.32566387e-34

Tabelle 3c zu Fig. 11

Oberfläche	DCX	DCY	DCZ
Blendenebene	0.00000000	0.00000000	0.00000000
M8	0.00000000	0.00000000	848.28205269
M7	0.00000000	-162.88773890	109.30511934
M6	0.00000000	65.26456604	1144.36946351
M5	0.00000000	232.71909805	1381.58868170
M4	0.00000000	709.32039347	1630.18877097
M3	0.00000000	-458.15012351	1529.45343974
M2	0.00000000	-838.71048856	1239.83802566
Blende	0.00000000	-994.31028446	889.36154956
M1	0.00000000	-1164.93718040	505.03769572
Objektebene	0.00000000	-1338.70151052	2200.17508279

Tabelle 4a zu Fig. 11

Oberfläche	TLA[deg]	TLB[deg]	TLC[deg]
Blendenebene	-0.00000000	0.00000000	-0.00000000
M8	-6.21527522	0.00000000	-0.00000000
M7	-12.43055045	180.00000000	0.00000000
M6	66.17547111	0.00000000	-0.00000000
M5	41.16424832	0.00000000	180.00000000
M4	-73.76071870	0.00000000	-0.00000000
M3	21.10177461	0.00000000	180.00000000
M2	51.66618772	0.00000000	-0.00000000
Blende	-21.28832791	180.00000000	0.00000000
M1	-9.04340489	180.00000000	0.00000000
Objektebene	0.35280539	0.00000000	-0.00000000

Tabelle 4b zu Fig. 11

Oberfläche	Einfallswinkel [deg]	Reflektivität
M8	6.18142908	0.66168421
M7	0.11878457	0.66566427
M6	78.72475666	0.86107409
M5	76.26057332	0.82458650
M4	11.42975349	0.65103680
M3	73.70682018	0.78091870

Oberfläche	Einfallswinkel [deg]	Reflektivität
M2	75.40680465	0.81073422
M1	14.74080091	0.64008245
Gesamttransmission		0.0825

Tabelle 5 zu Fig. 11

X[mm]	Y[mm]	Z[mm]
0.00000000	86.20922226	0.00000000
36.72382480	84.97541559	0.00000000
72.60627184	81.30635297	0.00000000
106.81704274	75.30020814	0.00000000
138.54746210	67.12445749	0.00000000
167.02142858	57.02095116	0.00000000
191.50920870	45.30980142	0.00000000
211.34639358	32.38840096	0.00000000
225.95894895	18.72172915	0.00000000
234.89419168	4.82024813	0.00000000
237.85573593	-8.79637599	0.00000000
234.73598499	-21.64530437	0.00000000
225.63532277	-33.32461514	0.00000000
210.85823653	-43.54394285	0.00000000
190.88425204	-52.13722338	0.00000000
166.32148117	-59.05987397	0.00000000
137.85765833	-64.37417564	0.00000000
106.22378637	-68.22254961	0.00000000
72.17738489	-70.78761836	0.00000000
36.50050531	-72.24403204	0.00000000
0.00000000	-72.71484378	0.00000000
-36.50050531	-72.24403204	0.00000000
-72.17738489	-70.78761836	0.00000000
-106.22378637	-68.22254961	0.00000000
-137.85765833	-64.37417564	0.00000000
-166.32148117	-59.05987397	0.00000000
-190.88425204	-52.13722338	0.00000000
-210.85823653	-43.54394285	0.00000000
-225.63532277	-33.32461514	0.00000000
-234.73598499	-21.64530437	0.00000000
-237.85573593	-8.79637599	0.00000000
-234.89419168	4.82024813	0.00000000
-225.95894895	18.72172915	0.00000000
-211.34639358	32.38840096	0.00000000
-191.50920870	45.30980142	0.00000000
-167.02142858	57.02095116	0.00000000
-138.54746210	67.12445749	0.00000000
-106.81704274	75.30020814	0.00000000
-72.60627184	81.30635297	0.00000000
-36.72382480	84.97541559	0.00000000

Tabelle 6 zu Fig. 11

[0129] Die Projektionsoptik **23** hat eine Gesamttransmission von etwa 8%.

[0130] Die Projektionsoptik **23** hat ein Bildfeld **8** mit einer x-Dimension von 2 mal 13 mm und einer y-Dimension von 1,0 mm. Das Bildfeld liegt gekrümmt mit einem absoluten Krümmungsradius von 81 mm vor. Die Projektionsoptik **23** hat eine bildseitige numerische Apertur von 0,60.

[0131] In der ersten Abbildungslicht-Ebene xz ist der Verkleinerungsfaktor β_x 4,00. In der zweiten Abbildungslicht-Ebene yz ist der Verkleinerungsfaktor β_y -8,00. Ein objektfeldseitiger Hauptstrahlwinkel beträgt 5,4°. Eine

maximale Pupillenobskuration beträgt 11%. Die Projektionsoptik **23** hat eine Gesamttransmission von etwa 6,8%.

[0132] Ein Objekt-Bildversatz d_{OIS} beträgt etwa 1340 mm. Die Spiegel der Projektionsoptik **23** können in einem Quader mit xyz-Kantenlängen 1060 mm × 2025 mm × 1634 mm untergebracht werden.

[0133] Bei der Projektionsoptik **23** verlaufen die Objektebene **5** und die Bildebene **9** unter einem Winkel von 0,4° zueinander. Ein Arbeitsabstand zwischen dem wafernächsten Spiegel M7 und der Bildebene **9** beträgt 77 mm. Ein mittlerer Wellenfrontfehler rms beträgt etwa 7,69 mλ.

[0134] Anhand der **Fig. 14** bis **Fig. 16** wird nachfolgend eine weitere Ausführung einer Projektionsoptik **24** erläutert, die anstelle der Projektionsoptik **7** bei der Projektionsbelichtungsanlage **1** nach **Fig. 1** zum Einsatz kommen kann.

[0135] Komponenten und Funktionen, die vorstehend im Zusammenhang mit den **Fig. 1** bis **Fig. 13** bereits erläutert wurden, tragen gegebenenfalls die gleichen Bezugsziffern und werden nicht nochmals im Einzelnen diskutiert.

[0136] Die Spiegel M1 bis M8 sind wiederum als Freiformflächen-Spiegel ausgeführt, für die die vorstehend angegebene Freiformflächengleichung (1) gilt.

[0137] Die nachfolgende Tabelle zeigt wiederum die Spiegelparameter der Spiegel M1 bis M8 der Projektionsoptik **24**.

[0138] Der Spiegel M4 hat ein x/y-Aspektverhältnis von etwa 3,1.

[0139] Den größten Spiegeldurchmesser hat der letzte Spiegel M8 von etwa 872,3 mm. Keiner der anderen Spiegel M1 bis M7 hat einen größeren Durchmesser als 580 mm. Fünf der sieben Spiegel haben einen kleineren maximalen Durchmesser als 350 mm. Keiner der GI-Spiegel hat einen maximalen Spiegeldurchmesser, der größer ist als 370 mm.

[0140] **Fig. 16** zeigt die Randkonturen der Reflexionsflächen der Spiegel M1 bis M8.

[0141] Die optischen Designdaten der Projektionsoptik **24** können den nachfolgenden Tabellen entnommen werden, die in ihrem Aufbau den Tabellen zur Projektionsoptik **7** nach **Fig. 2** entsprechen.

	M1	M2	M3	M4	M5	M6	M7	M8
maximaler Einfallswinkel [°]	18.2	82.1	80.4	12.9	83.8	81.7	20.6	7.8
Reflexionsflächen- erstreckung in x-Richtung [mm]	469.6	320.2	364.3	579.8	330.3	162.0	273.1	871.9
Reflexionsflächen- erstreckung in y-Richtung [mm]	237.5	354.0	308.4	190.1	255.4	257.5	206.0	857.9
maximaler Spiegeldurchmesser [mm]	469.8	368.1	364.8	579.9	338.1	266.6	273.2	872.3

Ausführungsbeispiel	Fig. 14
NA	0.55
Wellenlänge	13.5 nm
beta_x	4.0
beta_y	-8.0
Feldgröße_x	26.0 mm
Feldgröße_y	1.2 mm
Feldkrümmung	0.012345 1/mm
rms	7.7 ml
Blende	AS

Tabelle 1 zu Fig. 14

Oberfläche	Radius_x[mm]	Power_x[1/mm]	Radius_y[mm]	Power_y[1/mm]	Betriebsmodus
Oberfläche	Radius_x[mm]	Power_x[1/mm]	Radius_y[mm]	Power_y[1/mm]	Betriebsmodus
M8	-846.9724012	0.0023447	-826.8226473	0.0024360	REFL
M7	853.1079988	-0.0023444	521.1284629	-0.0038378	REFL
M6	12387.0674460	-0.0000385	-7874.4479637	0.0010664	REFL
M5	3684.7892162	-0.0001153	-415388.1158876	0.0000227	REFL
M4	-1890.0093745	0.0010377	-1179.0939089	0.0017297	REFL
M3	1914.3380123	-0.0002630	-3265.5960252	0.0024327	REFL
M2	1009.3281633	-0.0005199	-8476.1578337	0.0008993	REFL
M1	-1839.1919908	0.0010399	-1533.5196808	0.0013638	REFL

Tabelle 2 zu Fig. 14

Koeffizient	M8	M7	M6
KY	0.00000000	0.00000000	0.00000000
KX	0.00000000	0.00000000	0.00000000
RX	-846.97240120	853.10799880	12387.06745000
C7	1.2320395e-08	-1.10223453e-06	4.71730563e-08
C9	-1.16005845e-09	-2.98278131e-07	-5.3389029e-08
C10	-2.04236611e-11	1.78106299e-09	9.05156021e-11
C12	-4.54132962e-11	6.12353711e-09	-1.03359082e-11
C14	-2.40367475e-11	5.08477087e-09	-1.64730548e-10
C16	1.77843692e-14	-8.07912869e-12	-5.57266573e-14
C18	2.01124106e-14	-1.6167378e-11	-9.91603275e-14
C20	4.10729539e-15	-7.35914115e-12	-4.67930188e-13
C21	-3.20814752e-17	9.41630194e-15	-7.15980298e-16
C23	-1.06488731e-16	6.39117479e-14	1.38110923e-16
C25	-1.14439569e-16	1.06117399e-13	-1.04361583e-15
C27	-3.77999342e-17	4.96949958e-14	1.73894357e-16
C29	2.60054296e-20	-8.06963682e-17	2.75272685e-18
C31	5.50028986e-20	-2.96316741e-16	-7.50105218e-18
C33	3.70562779e-20	-3.00433027e-16	-6.94368156e-19
C35	1.42854705e-20	-2.29648711e-16	4.26271462e-18
C36	-4.60596848e-23	6.92131411e-20	9.05436047e-21
C38	-2.05873444e-22	7.7464303e-19	-1.33099001e-19
C40	-3.3383545e-22	2.15541971e-18	-4.18111548e-20
C42	-2.27079989e-22	2.70298127e-18	-5.40235414e-21
C44	-6.30295138e-23	1.40217381e-18	-2.84168534e-20
C46	3.75400319e-26	-1.14341942e-21	-6.32863915e-22
C48	1.10078875e-25	-5.43635692e-21	4.69331841e-22
C50	1.26265607e-25	-9.32893259e-21	5.77175439e-22
C52	8.33497479e-26	-1.13644482e-20	-2.98864274e-22
C54	2.00021285e-26	-6.04762304e-21	-2.34720669e-22
C55	-5.91182486e-29	1.16957749e-24	7.21565155e-24
C57	-3.1494251e-28	1.22796411e-23	-1.28570543e-25
C59	-6.57074254e-28	3.55297455e-23	2.24855854e-23
C61	-6.6062298e-28	5.08203578e-23	-1.55822253e-25
C63	-3.3623666e-28	2.31215095e-23	-6.517115e-25
C65	-6.04041979e-29	-1.25746228e-23	9.46438643e-25
C67	7.42620668e-32	-5.15614263e-28	1.11822802e-25
C69	3.03590667e-31	-5.75779942e-26	-2.24690875e-26
C71	5.33963015e-31	-2.80774548e-25	-6.01942492e-27
C73	5.21323573e-31	-7.52374968e-25	-2.19602179e-26
C75	2.59187184e-31	-8.50473137e-25	1.43241195e-26
C77	-8.62385553e-33	1.13161567e-25	1.02565112e-26
C78	-1.46891831e-34	8.75817967e-32	-1.38339869e-27

Koeffizient	M8	M7	M6
C80	-1.00682817e-33	1.87433e-29	3.62550261e-28
C82	-2.88560889e-33	1.00248412e-27	-5.85727759e-28
C84	-4.13548699e-33	4.67230535e-27	-5.29132467e-28
C86	-3.3652948e-33	9.51617567e-27	1.70844702e-29
C88	-1.60170466e-33	9.06067387e-27	5.25684627e-29
C90	-2.60609186e-34	3.37692234e-27	2.06314078e-29
C92	-2.01160817e-38	-5.48890415e-31	0
C94	-1.07137119e-37	-3.31305082e-30	0
C96	-3.65980529e-37	-5.7458122e-30	0
C98	-5.30998728e-37	-2.43038114e-30	0
C100	-5.48265982e-37	2.81796705e-29	0
C102	-4.91185122e-37	6.15964021e-29	0
C104	5.16017552e-38	3.11055245e-30	0
C105	1.30887811e-40	8.41812594e-36	0
C107	1.08604904e-39	7.7469187e-33	0
C109	4.28513307e-39	1.21879325e-32	0
C111	8.34074932e-39	-6.262806e-32	0
C113	8.89084695e-39	-2.88292697e-31	0
C115	6.12303433e-39	-6.81118618e-31	0
C117	3.29331725e-39	-7.0452395e-31	0
C119	4.85587891e-40	-2.43594128e-31	0
C121	4.2188167e-43	1.53572715e-36	0
C123	2.4324299e-42	-7.53625277e-36	0
C125	6.75774304e-42	-2.29876953e-34	0
C127	1.07671213e-41	-9.43774343e-34	0
C129	1.02263161e-41	-1.73631618e-33	0
C131	5.96074699e-42	-2.628547e-33	0
C133	2.39193735e-42	-2.9304751e-33	0
C135	2.42057211e-43	-6.02371961e-34	0
C136	-7.41800075e-46	4.48389771e-39	0
C138	-6.68889241e-45	-3.30564593e-38	0
C140	-2.65690996e-44	4.11242391e-37	0
C142	-5.79200648e-44	4.15570507e-36	0
C144	-7.67227313e-44	1.28277521e-35	0
C146	-6.4258078e-44	2.39774859e-35	0
C148	-3.43925844e-44	3.45224439e-35	0
C150	-1.23729775e-44	2.88769432e-35	0
C152	-1.80030431e-45	9.78156794e-36	0

Tabelle 3a zu Fig. 14

Koeffizient	M5	M4	M3
KY	0.00000000	0.00000000	0.00000000
KX	0.00000000	0.00000000	0.00000000
RX	3684.78921600	-1890.00937500	1914.33801200
C7	-1.18441223e-07	4.82838464e-09	2.64819336e-07
C9	-7.56475041e-08	3.49378793e-07	-6.38036447e-08
C10	6.04878431e-11	-1.84051484e-12	4.64197765e-11
C12	-2.23709381e-10	1.09280358e-10	6.18069921e-11
C14	1.562198e-10	-7.28651667e-10	7.83230576e-11
C16	3.34028351e-14	2.38952065e-14	4.12679488e-13
C18	-3.00086748e-13	-1.96777276e-13	-4.32270063e-13
C20	4.68319284e-13	1.35355146e-12	8.40087274e-14
C21	-4.0702865e-16	7.40532658e-18	-8.81423887e-16

Koeffizient	M5	M4	M3
C23	-2.36288628e-16	1.00712117e-18	9.92956862e-16
C25	-4.97432802e-16	7.598711e-17	-3.686827e-16
C27	1.81191641e-15	7.88304423e-17	-8.23646195e-17
C29	-2.06197001e-18	1.384685e-20	-1.1842489e-18
C31	1.13052156e-19	-2.57856348e-19	1.96732721e-20
C33	-1.90139505e-18	4.80769598e-18	1.26971686e-18
C35	3.95527556e-18	2.77912532e-17	-7.90318924e-19
C36	-5.35303599e-21	1.69716842e-23	-3.14125518e-21
C38	7.68100312e-21	-1.48206479e-22	1.43308149e-21
C40	-7.2244406e-22	3.42034323e-21	-4.99750813e-21
C42	-2.4634504e-20	3.6436736e-20	7.70706811e-21
C44	-2.00431385e-21	-2.45500848e-19	2.74487979e-21
C46	5.18193203e-23	-1.01297263e-25	-1.44657698e-23
C48	8.75679392e-23	4.79637256e-25	2.74117762e-24
C50	-3.53128094e-23	9.94327619e-24	-1.03711253e-23
C52	-6.60467887e-23	-5.22184057e-22	-2.92843985e-23
C54	1.51518204e-22	1.07459088e-21	1.12713962e-23
C55	1.59948709e-25	-8.20323086e-29	-1.77185804e-26
C57	1.77247597e-25	-2.74918664e-27	3.96509337e-26
C59	-7.63267432e-26	-1.97739674e-26	-3.49426355e-26
C61	4.43767655e-26	-3.78630703e-25	3.46924008e-26
C63	4.79776834e-25	-9.93260359e-25	-1.91536464e-25
C65	2.33370237e-24	1.99117001e-24	-2.90090272e-26
C67	-6.22107865e-28	-3.47445925e-31	1.54529133e-29
C69	-2.80330445e-27	8.00579883e-30	2.22647601e-28
C71	-2.7708788e-28	8.66604501e-30	-3.78783104e-28
C73	-4.70246478e-28	2.29017464e-27	3.59269229e-28
C75	4.3527901e-27	5.39425603e-26	8.58505666e-28
C77	1.12154448e-26	-8.33422427e-26	-2.07149081e-28
C78	-1.09052444e-30	8.02911291e-34	2.88900861e-31
C80	-7.89753097e-30	4.92272668e-32	-7.56973433e-31
C82	-6.22313726e-30	7.30249575e-31	-1.96564197e-31
C84	4.94271486e-31	3.92211632e-30	2.72814487e-30
C86	-5.27875299e-30	5.30860827e-29	-3.72111076e-30
C88	1.13764862e-29	1.17646094e-28	2.94159718e-30
C90	1.82757598e-29	-1.25531699e-30	-9.02850462e-31
C92	0	7.83484698e-36	0
C94	0	9.01532973e-35	0
C96	0	-4.79518858e-34	0
C98	0	-5.81406734e-34	0
C100	0	-2.90065241e-31	0
C102	0	-4.77939068e-30	0
C104	0	2.48822193e-30	0
C105	0	-7.9516104e-39	0
C107	0	-3.36132761e-37	0
C109	0	-7.97463555e-36	0
C111	0	-7.1384024e-35	0
C113	0	-1.23920171e-34	0
C115	0	-6.7658379e-33	0
C117	0	-1.07711846e-32	0
C119	0	-6.20607675e-33	0
C121	0	-3.42863929e-41	0
C123	0	-1.19294188e-39	0
C125	0	-5.42537125e-39	0
C127	0	9.13126811e-38	0
C129	0	-9.62175253e-37	0

Koeffizient	M5	M4	M3
C131	0	1.28691362e-35	0
C133	0	1.83991188e-34	0
C135	0	-5.1120586e-35	0
C136	0	2.80529867e-44	0
C138	0	7.81010551e-43	0
C140	0	2.50483237e-41	0
C142	0	4.37654706e-40	0
C144	0	1.40349982e-39	0
C146	0	1.49878457e-39	0
C148	0	3.40726155e-37	0
C150	0	1.41219028e-37	0
C152	0	8.65494549e-37	0

Tabelle 3b zu Fig. 14

Koeffizient	M2	M1
KY	0.00000000	0.00000000
KX	0.00000000	0.00000000
RX	1009.32816300	-1839.19199100
C7	1.15791194e-07	-2.10330873e-08
C9	2.81311304e-08	5.71004481e-08
C10	4.01603347e-10	4.59920641e-11
C12	8.47431965e-11	3.20362129e-11
C14	9.19800647e-11	-3.17268047e-10
C16	-1.8578156e-13	-5.62526332e-14
C18	1.88101838e-13	-1.96202126e-13
C20	3.44146806e-13	1.22222735e-12
C21	1.15227647e-15	1.03457192e-16
C23	3.0610184e-16	2.14948323e-16
C25	1.98806887e-15	1.63315386e-15
C27	3.999433e-16	-1.33842851e-15
C29	-4.50764941e-18	1.51178198e-21
C31	-1.13520012e-18	6.18047072e-19
C33	6.60379251e-18	-1.12071413e-18
C35	-1.74979748e-18	1.14458337e-17
C36	2.95341334e-21	1.98193002e-22
C38	2.46269942e-21	7.84748626e-22
C40	1.36636713e-20	-5.27670983e-22
C42	1.5532345e-20	2.44131348e-21
C44	-1.17688916e-21	-6.42589825e-20
C46	-6.18840191e-23	2.95669522e-24
C48	-2.51133676e-23	2.00150274e-23
C50	3.0813624e-23	4.43919683e-23
C52	-4.22236698e-23	-1.64910744e-23
C54	6.54578986e-23	4.32519192e-22
C55	2.15112054e-25	-9.51670115e-28
C57	1.51154184e-25	-1.86216769e-26
C59	8.91248971e-26	-4.4849987e-26
C61	2.63763707e-25	4.12891153e-25
C63	2.0115816e-25	2.46668429e-24
C65	3.67076445e-25	7.34843371e-25
C67	-7.24836449e-28	-5.59655462e-29
C69	-7.70098473e-28	-7.11547944e-28
C71	-6.62633874e-28	-3.24543794e-27

Koeffizient	M2	M1
C73	1.00156146e-27	-1.97472208e-27
C75	3.5914817e-27	3.23563967e-27
C77	9.53490791e-28	-9.64699548e-27
C78	-2.46263824e-30	-2.12417285e-33
C80	7.61167971e-32	2.7946236e-31
C82	1.847629e-30	5.37219032e-31
C84	2.28947077e-30	-8.78841496e-30
C86	2.84930933e-30	-7.51226179e-29
C88	9.09305572e-30	-1.65688665e-28
C90	1.09479255e-30	-8.37782627e-29
C92	0	7.67960769e-34
C94	0	1.35391537e-32
C96	0	9.00825477e-32
C98	0	2.75308176e-31
C100	0	1.2784506e-31
C102	0	-3.88159724e-31
C104	0	2.07989087e-31
C105	0	2.12255803e-37
C107	0	-1.4203208e-36
C109	0	1.53126381e-36
C111	0	2.08254131e-34
C113	0	1.37075784e-33
C115	0	5.11989116e-33
C117	0	8.17509278e-33
C119	0	3.7508084e-33
C121	0	-3.93652753e-39
C123	0	-9.55254973e-38
C125	0	-7.79678377e-37
C127	0	-3.53176885e-36
C129	0	-7.68950802e-36
C131	0	1.02208584e-36
C133	0	4.31237688e-36
C135	0	4.47529766e-36
C136	0	-1.42825014e-42
C138	0	-7.8391962e-42
C140	0	-1.33765614e-40
C142	0	-1.8482486e-39
C144	0	-1.33522767e-38
C146	0	-5.18348707e-38
C148	0	-1.50711848e-37
C150	0	-1.3717832e-37
C152	0	-1.16771891e-37

Tabelle 3c zu Fig. 14

Oberfläche	DCX	DCY	DCZ
Blendenebene	0.00000000	0.00000000	0.00000000
M8	0.00000000	0.00000000	764.87463088
M7	0.00000000	-158.53849802	113.21489784
0	0.00000000	0.00000000	764.87463088
M6	0.00000000	86.34182753	1119.77576203
M5	0.00000000	333.11529690	1400.28752103
0	0.00000000	537.84440339	1491.60942852
M4	0.00000000	932.59477536	1667.69263218
0	0.00000000	500.55820963	1654.36759348

Oberfläche	DCX	DCY	DCZ
M3	0.00000000	-245.43161019	1631.35948722
M2	0.00000000	-754.40672617	1327.40237617
Blende	0.00000000	-928.07425481	1016.19380735
M1	0.00000000	-1164.61229001	592.32260943
Objektebene	0.00000000	-1306.78021133	2164.11115577

Tabelle 4a zu Fig. 14

Oberfläche	TLA[deg]	TLB[deg]	TLC[deg]
Blendenebene	-0.00000000	0.00000000	-0.00000000
M8	-6.83676056	0.00000000	-0.00000000
M7	-13.67352111	180.00000000	0.00000000
0	-6.83676056	0.00000000	-0.00000000
M6	62.49377625	0.00000000	-0.00000000
M5	36.35045780	0.00000000	180.00000000
0	-65.96015802	0.00000000	-0.00000000
M4	-77.09678973	0.00000000	-0.00000000
0	-88.23342144	180.00000000	0.00000000
M3	16.30599639	0.00000000	180.00000000
M2	45.84102562	0.00000000	-0.00000000
Blende	10.38881906	180.00000000	0.00000000
M1	-11.99751813	180.00000000	0.00000000
Objektebene	0.16832671	0.00000000	-0.00000000

Tabelle 4b zu Fig. 14

Oberfläche	Einfallswinkel [deg]	Reflektivität
M8	6.80012089	0.66080000
M7	0.10985487	0.66566394
M6	76.22085727	0.82395733
M5	77.73256209	0.84694751
M4	11.29255719	0.65141292
M3	75.41836224	0.81092646
M2	74.78959663	0.80027009
M1	17.00752705	0.63022445
Gesamttransmission		0.0818

Tabelle 5 zu Fig. 14

X[mm]	Y[mm]	Z[mm]
0.00000000	90.04906552	0.00000000
27.17672876	88.80427811	0.00000000
53.75800651	85.10509967	0.00000000
79.15063786	79.05636488	0.00000000
102.76711337	70.83014507	0.00000000
124.03168128	60.66119735	0.00000000
142.39118547	48.84039770	0.00000000
157.33281155	35.70702920	0.00000000
168.40917370	21.64080208	0.00000000
175.26797040	7.05330433	0.00000000
177.68020215	-7.62340188	0.00000000
175.55982644	-21.95350582	0.00000000
168.97007983	-35.51873897	0.00000000
158.11599180	-47.94110633	0.00000000
143.32617194	-58.90548689	0.00000000

X[mm]	Y[mm]	Z[mm]
125.02877485	-68.18143822	0.00000000
103.72645526	-75.64056189	0.00000000
79.97390644	-81.26286617	0.00000000
54.35988096	-85.12393131	0.00000000
27.49435009	-87.35550229	0.00000000
0.00000000	-88.08219552	0.00000000
-27.49435009	-87.35550229	0.00000000
-54.35988096	-85.12393131	0.00000000
-79.97390644	-81.26286617	0.00000000
-103.72645526	-75.64056189	0.00000000
-125.02877485	-68.18143822	0.00000000
-143.32617194	-58.90548689	0.00000000
-158.11599180	-47.94110633	0.00000000
-168.97007983	-35.51873897	0.00000000
-175.55982644	-21.95350582	0.00000000
-177.68020215	-7.62340188	0.00000000
-175.26797040	7.05330433	0.00000000
-168.40917370	21.64080208	0.00000000
-157.33281155	35.70702920	0.00000000
-142.39118547	48.84039770	0.00000000
-124.03168128	60.66119735	0.00000000
-102.76711337	70.83014507	0.00000000
-79.15063786	79.05636488	0.00000000
-53.75800651	85.10509967	0.00000000
-27.17672876	88.80427811	0.00000000

Tabelle 6 zu Fig. 14

[0142] Die Projektionsoptik **24** hat eine Bildfeldgröße in der x-Richtung von zweimal 13,0 mm und in der y-Richtung von 1,2 mm.

[0143] Eine bildseitige numerische Apertur beträgt bei der Projektionsoptik **24** 0,55. Ein Verkleinerungsfaktor beträgt in der ersten Abbildungslicht-Ebene xz 4,00 (β_x) und in der zweiten Abbildungslicht-Ebene yz –8,00 (β_y). Ein objektseitiger Hauptstrahlwinkel CRA beträgt 4,9°. Eine Pupillenobskuration beträgt maximal 17%.

[0144] Die Projektionsoptik **24** hat eine Gesamttransmission von etwa 8%.

[0145] Ein Objekt-Bildversatz d_{OIS} beträgt bei der Projektionsoptik **24** etwa 1310 mm. Die Spiegel der Projektionsoptik **24** können in einem Quader mit den xyz-Kantenlängen 872 mm × 2229 mm × 1678 mm untergebracht werden.

[0146] Bei der Projektionsoptik **24** ist die Objektebene **5** um die x-Achse relativ zur Bildebene **9** um 0,2° verkippt.

[0147] Ein Arbeitsabstand zwischen dem wafernächsten Spiegeln M7 und der Bildebene **9** beträgt 80 mm. Ein mittlerer Wellenfrontfehler rms beträgt etwa 7,7 μm .

[0148] Einige Daten vorstehend beschriebener Projektionsoptiken sind in den nachfolgenden Tabellen I und II nochmals zusammengefasst. Die jeweils erste Spalte dient zur Zuordnung der Daten zum jeweiligen Ausführungsbeispiel.

[0149] In der nachfolgenden Tabelle I sind die optischen Parameter numerische Apertur (NA), Bildfeldausdehnung in x-Richtung (Fieldsize X), Bildfeldausdehnung in y-Richtung (Fieldsize Y), Bildfeldkrümmung (Field Curvature) und Gesamt-Reflektivität beziehungsweise Systemtransmission (Transmission) zusammengefasst.

[0150] In der nachfolgenden Tabelle II sind die Parameter „Abfolge des Spiegeltyps“ (Mirror Type Order), „Abfolge der Spiegel-Umlenkwirkung“ (Mirror Rotation Order), „Brechkraftabfolge in der xz -Ebene“ (x Power Order) sowie „Brechkraftabfolge in der yz -Ebene“ (y Power Order) angegeben. Diese Abfolgen beginnen jeweils mit dem letzten Spiegel im Strahlengang, folgen also der umgekehrten Strahlrichtung. Die Abfolge „LORRLLLR“

bezieht sich auf die Umlenkwirkung in der Reihenfolge M8 bis M1, beispielsweise bei der Ausführung nach Fig. 2.

FIG.	NA	FIELD SIZE X	FIELD SIZE Y	FIELD CURVATURE	TRANSMISSION%
2	0,55	26	1	0,0123455	8,21
5	0,55	26	1,2	0,0123455	8,18
8	0,55	26	1,2	0,0123455	8,15
11	0,6	26	1	0,0123455	8,25
14	0,55	26	1,2	0,0123455	8,18

Tabelle I

FIG.	MIRROR TYPE ORDER	MIRROR ROTATION ORDER	xPOWER ORDER	yPOWER ORDER
2	NNGGNNGN	LORRLLLR	+---+---	+--+++++
5	NNGGNNGN	LORRLLLR	+---+---	+-----+
8	NNGGNNGN	LORRLLLR	+--+---+	+--+++++
11	NNGGNNGN	LORRLLLR	+---+---	+--+++++
14	NNGGNNGN	LORRLLLR	+---+---	+-----+

Tabelle II

[0151] Beim Spiegeltyp bezieht sich die Angabe „N“ auf einen normal incidence(NI)-Spiegel und die Bezeichnung „G“ auf einen grazing incidence(GI)-Spiegel. Bei den Brechkraftabfolgen steht „+“ für eine konkave und „-“ für eine konvexe Spiegelfläche. Beim Vergleich der Brechkraftabfolgen in x und y ist zu sehen, dass beispielsweise die Ausführungen nach den Fig. 2 und Fig. 11 identische Brechkraft-Abfolgen haben. Die Ausführungen nach den Fig. 2, Fig. 5, Fig. 11 und Fig. 14 haben in x identische Brechkraft-Abfolgen. Die Ausführungen nach den Fig. 2, Fig. 8 und Fig. 11 haben in y identische Brechkraftabfolgen. Die Ausführungen nach den Fig. 5 und Fig. 14 haben in y identische Brechkraftabfolgen. Die Brechkraft-Abfolge der Ausführung nach Fig. 8 in x unterscheidet sich von derjenigen aller anderen Ausführungen. Spiegel mit unterschiedlichen Vorzeichen der Brechkraft in x und y stellen Sattelflächen beziehungsweise torische Flächen dar. Soweit in einem der Ausführungsbeispiele GI-Spiegel auftreten, treten diese jeweils zumindest paarweise auf, wie der Spiegeltyp-Abfolge in der Tabelle II zu entnehmen ist.

[0152] Zur Herstellung eines mikro- oder nanostrukturierten Bauteils wird die Projektionsbelichtungsanlage 1 folgendermaßen eingesetzt: Zunächst werden die Reflexionsmaske 10 beziehungsweise das Retikel und das Substrat beziehungsweise der Wafer 11 bereitgestellt. Anschließend wird eine Struktur auf dem Retikel 10 auf eine lichtempfindliche Schicht des Wafers 11 mithilfe der Projektionsbelichtungsanlage 1 projiziert. Durch Entwicklung der lichtempfindlichen Schicht wird dann eine Mikro- oder Nanostruktur auf dem Wafer 11 und somit das mikrostrukturierte Bauteil erzeugt.

ZITATE ENTHALTEN IN DER BESCHREIBUNG

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

Zitierte Patentliteratur

- JP 2002-048977 A [0002]
- US 5891806 [0002]
- DE 102015209827 A1 [0002]
- WO 2008/141686 A1 [0002]
- WO 2015/014753 A1 [0002, 0058]
- DE 102009045096 A1 [0051]
- WO 2012/126867 A [0059]
- DE 10155711 A [0059]
- US 2007-0058269 A1 [0072]

Patentansprüche

1. Abbildende Optik (**7; 21; 22; 23; 24**) für die Projektionslithographie
 - mit einer Mehrzahl von Spiegeln (M1 bis M8) zur Führung von Abbildungslicht (**3**) von einem Objektfeld (**4**) in einer Objektebene (**5**) in ein Bildfeld (**8**) in einer Bildebene (**9**) längs eines Abbildungslicht-Strahlengangs,
 - wobei das Objektfeld (**4**) aufgespannt ist von
 - einer ersten kartesischen Objektfeldkoordinate (x) längs einer ersten, größeren Objektfelddimension und
 - einer zweiten kartesischen Objektfeldkoordinate (y) längs einer zweiten Objektfelddimension, die kleiner ist als die erste Objektfelddimension,
 - wobei die abbildende Optik (**7; 21; 22; 23; 24**) mindestens zwei GI-Spiegel (M2, M3, M5, M6) aufweist,
 - wobei die abbildende Optik (**7; 21; 22; 23; 24**) mindestens einen NI-Spiegel (M4) aufweist, der zwischen zwei GI-Spiegeln (M3, M5) im Abbildungslicht-Strahlengang angeordnet ist,
 - wobei eine genutzte Reflexionsfläche des NI-Spiegels (M4) ein Aspektverhältnis (x/y) zwischen
 - einer Flächendimension längs einer ersten Reflexionsflächenkoordinate (x) und einer Flächendimension längs einer zweiten Reflexionsflächenkoordinate (y) parallel zur zweiten Objektfelddimension aufweist,
 - das kleiner ist als 4,5.
2. Abbildende Optik nach Anspruch 1, gekennzeichnet durch mindestens vier GI-Spiegel (M2, M3, M6, M7).
3. Abbildende Optik nach Anspruch 1 oder 2, gekennzeichnet durch mindestens drei GI-Spiegel (M2, M3, M5),
 - wobei eine genutzte Reflexionsfläche dieser drei GI-Spiegel (M2, M3, M5) ein Aspektverhältnis (x/y) zwischen
 - einer Flächendimension längs einer ersten Reflexionsflächenkoordinate (x) und
 - einer Flächendimension längs einer zweiten Reflexionsflächenkoordinate (y) parallel zur zweiten Objektfelddimension aufweist,
 - das größer ist als 1.
4. Abbildende Optik (**7; 24**) nach einem der Ansprüche 1 bis 3, **dadurch gekennzeichnet**, dass ein größter Durchmesser einer genutzten Reflexionsfläche der GI-Spiegel der abbildenden Optik (**7**) kleiner ist als 400 mm.
5. Abbildende Optik nach einem der Ansprüche 1 bis 4, **dadurch gekennzeichnet**, dass ein größter Durchmesser einer genutzten Reflexionsfläche jedes Spiegels (M1 bis M8) der abbildenden Optik (**22**) kleiner ist als 850 mm.
6. Abbildende Optik nach einem der Ansprüche 1 bis 5, **dadurch gekennzeichnet**, dass die genutzten Reflexionsflächen der Spiegel der abbildenden Optik (**21**) in einem Quader untergebracht werden können, dessen Kantenlänge in Richtung einer Bildfeldkoordinate (y), die parallel zur zweiten kartesischen Objektfeldkoordinate verläuft, kleiner ist als 2000 mm.
7. Abbildende Optik nach einem der Ansprüche 1 bis 6, gekennzeichnet durch eine bildseitige numerisch Apertur von mindestens 0,5.
8. Optisches System
 - mit einer abbildenden Optik nach einem der Ansprüche 1 bis 7,
 - mit einer Beleuchtungsoptik (**6**) zur Beleuchtung des Objektfeldes (**4**) mit Beleuchtungslicht (**3**) einer Lichtquelle (**2**).
9. Projektionsbelichtungsanlage mit einem optischen System nach Anspruch 8 und mit einer Lichtquelle (**2**) zur Erzeugung des Beleuchtungslichts (**3**).
10. Verfahren zur Herstellung eines strukturierten Bauteils mit folgenden Verfahrensschritten:
 - Bereitstellen eines Retikels (**10**) und eines Wafers (**11**),
 - Projizieren einer Struktur auf dem Retikel (**10**) auf eine lichtempfindliche Schicht des Wafers (**11**) mithilfe der Projektionsbelichtungsanlage nach Anspruch 9,
 - Erzeugen einer Mikro- beziehungsweise Nanostruktur auf dem Wafer (**11**).
11. Strukturiertes Bauteil, hergestellt nach einem Verfahren nach Anspruch 10.

Es folgen 16 Seiten Zeichnungen

Anhängende Zeichnungen

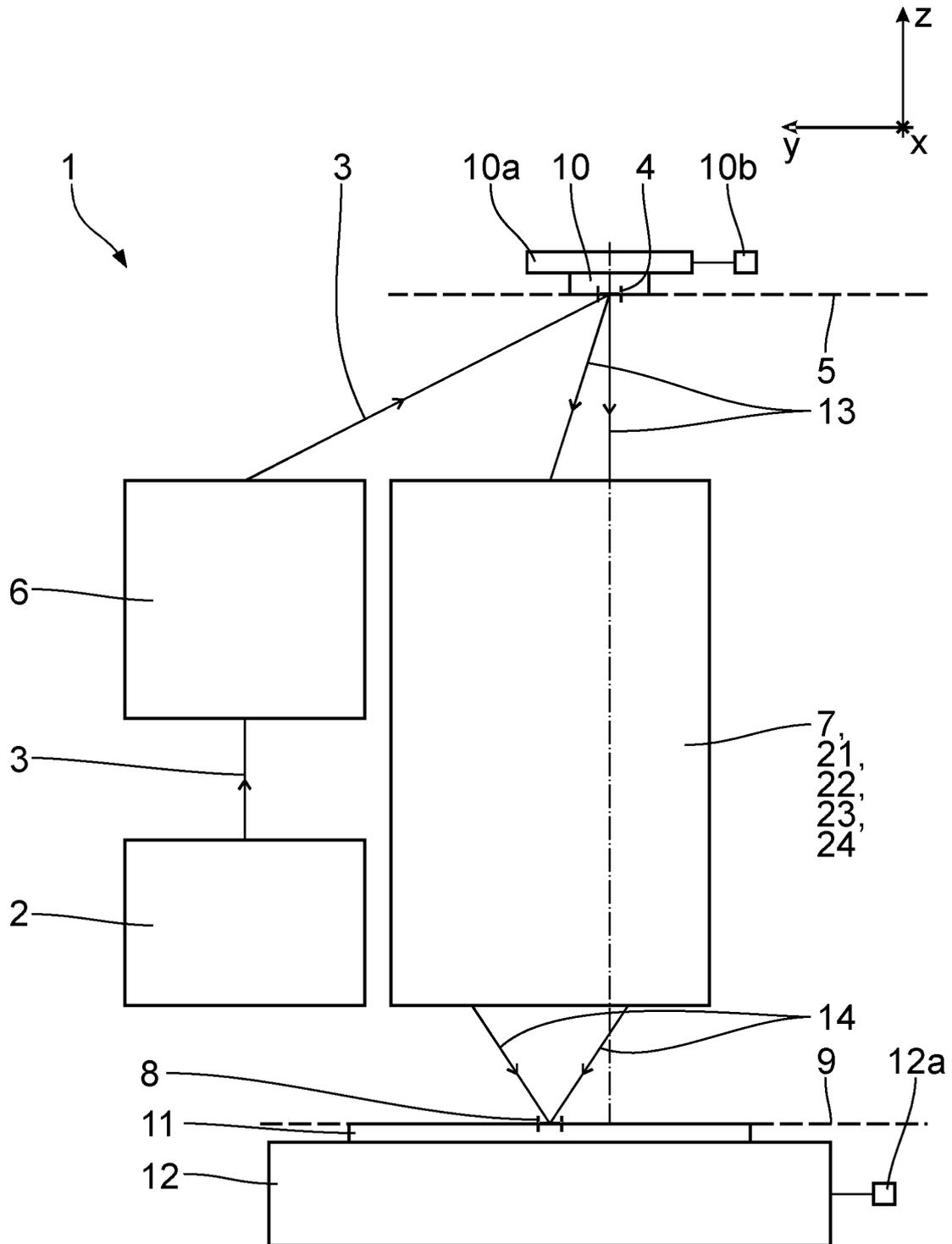


Fig. 1

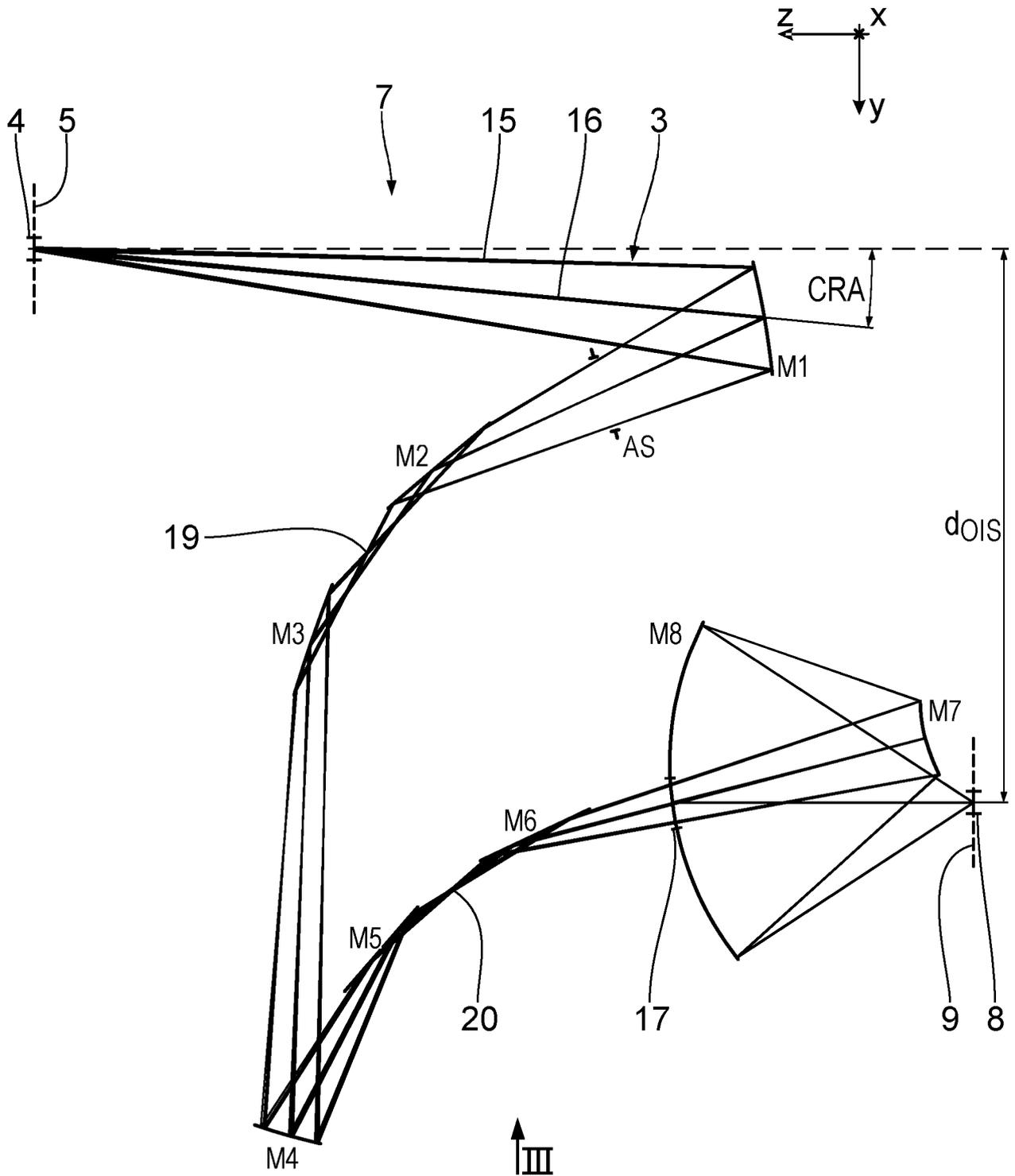


Fig. 2

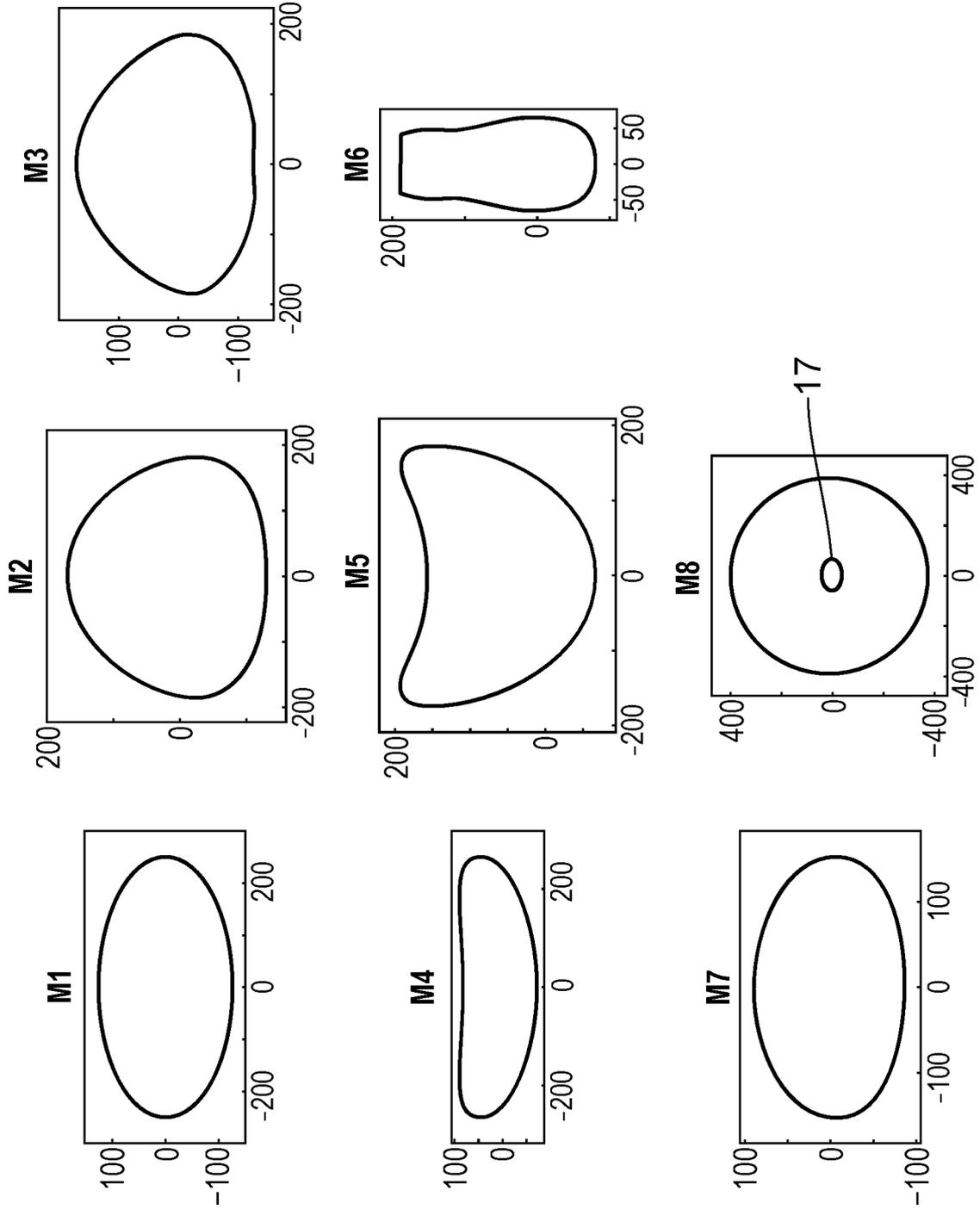


Fig. 4

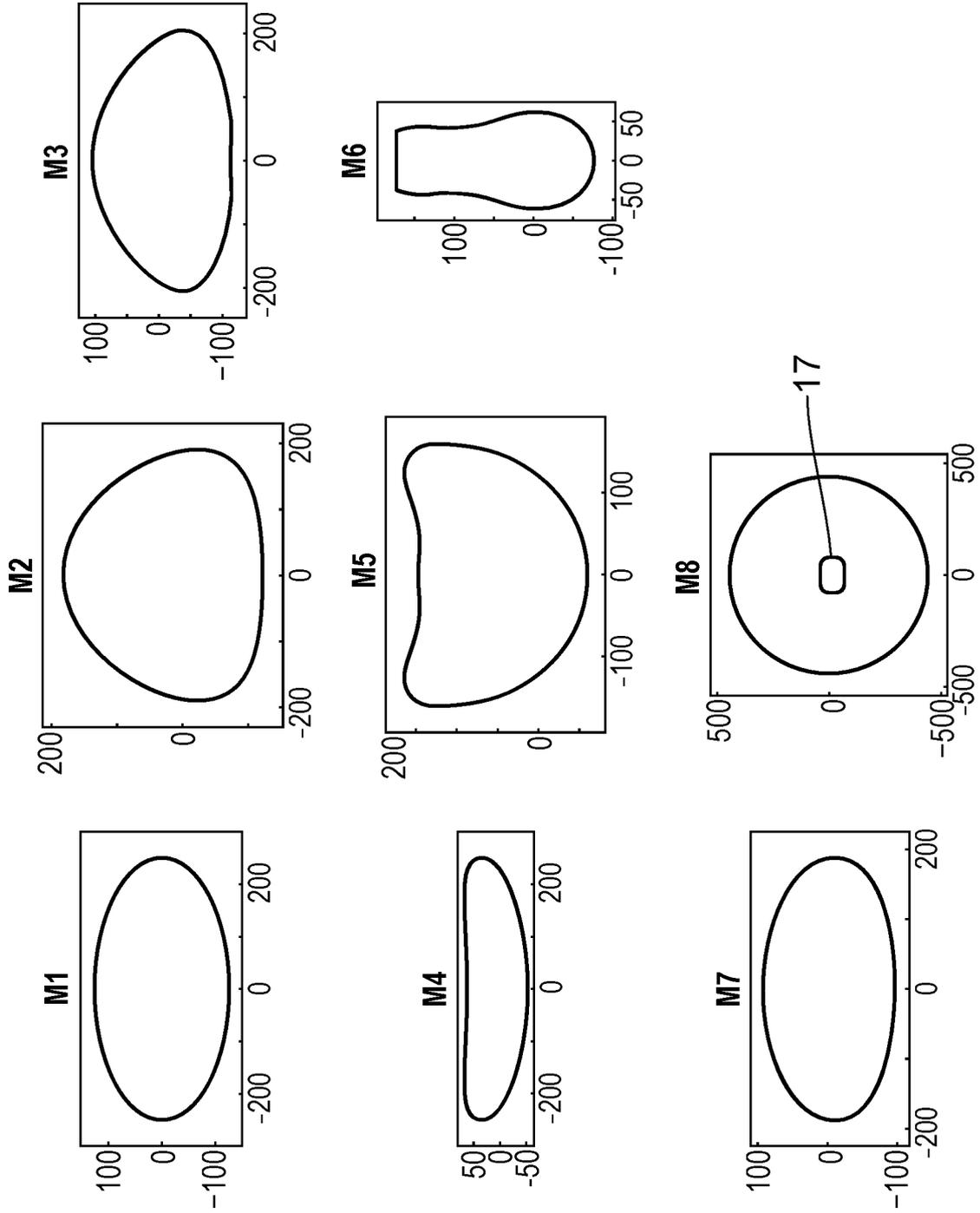


Fig. 7

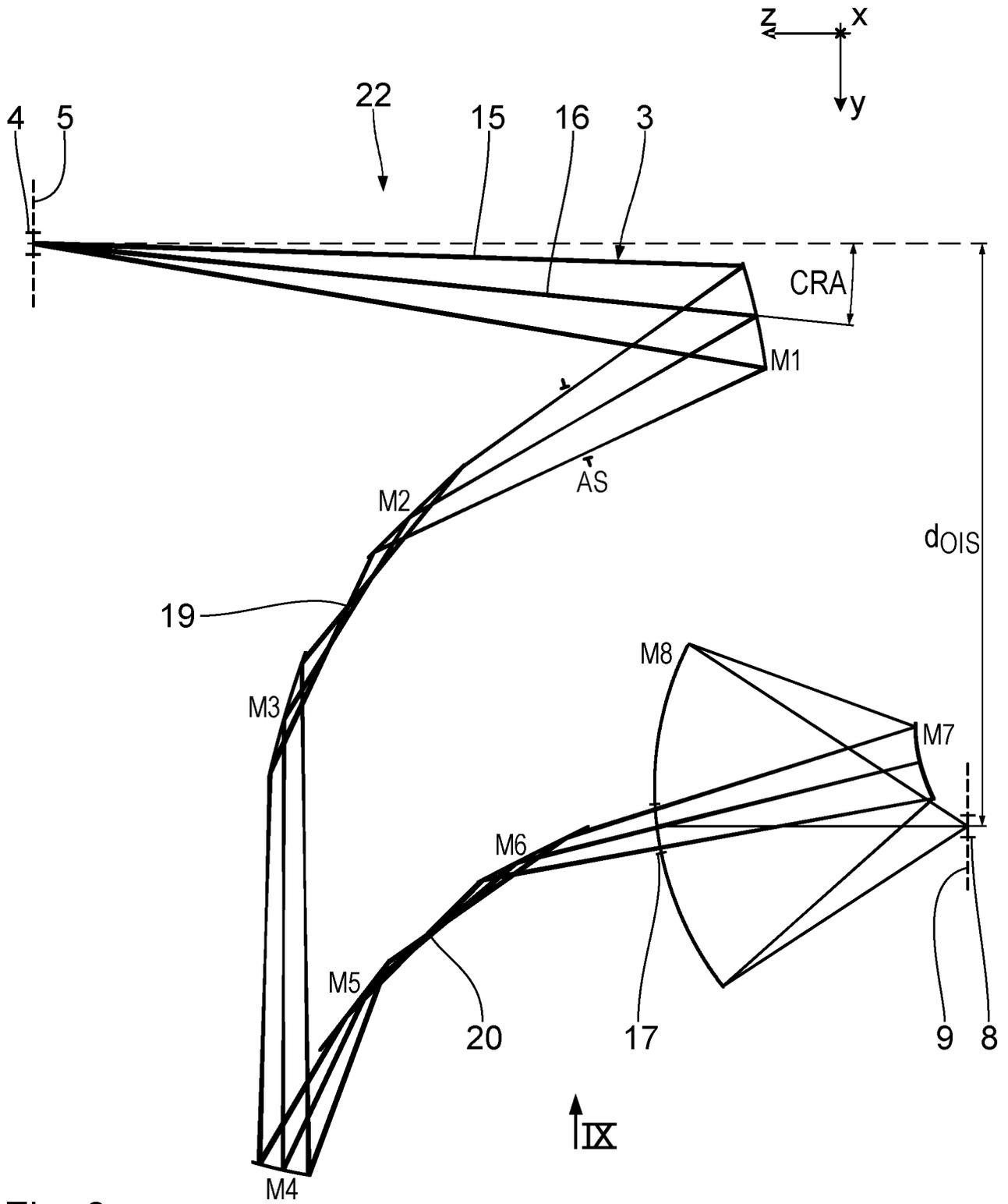


Fig. 8

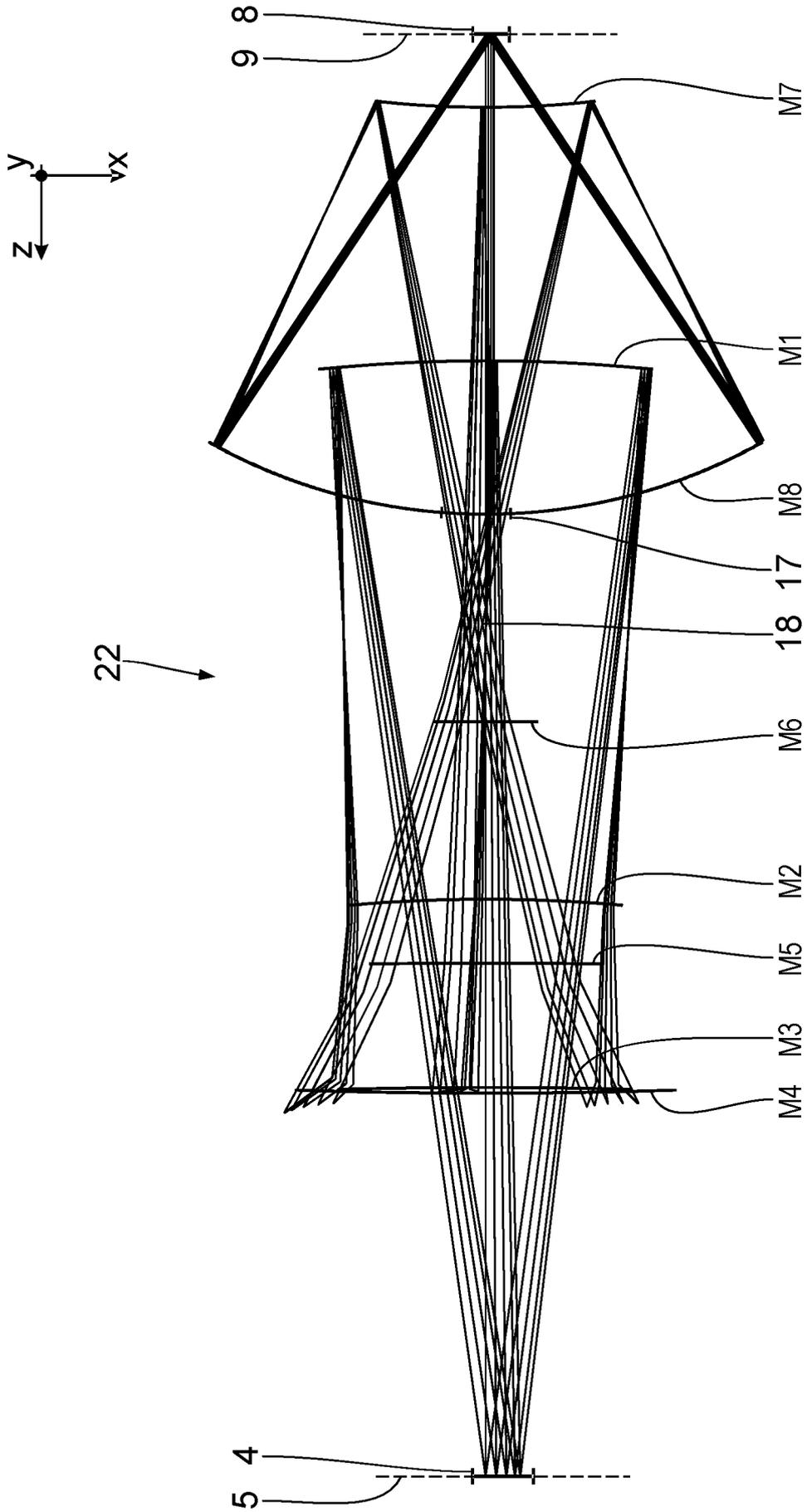


Fig. 9

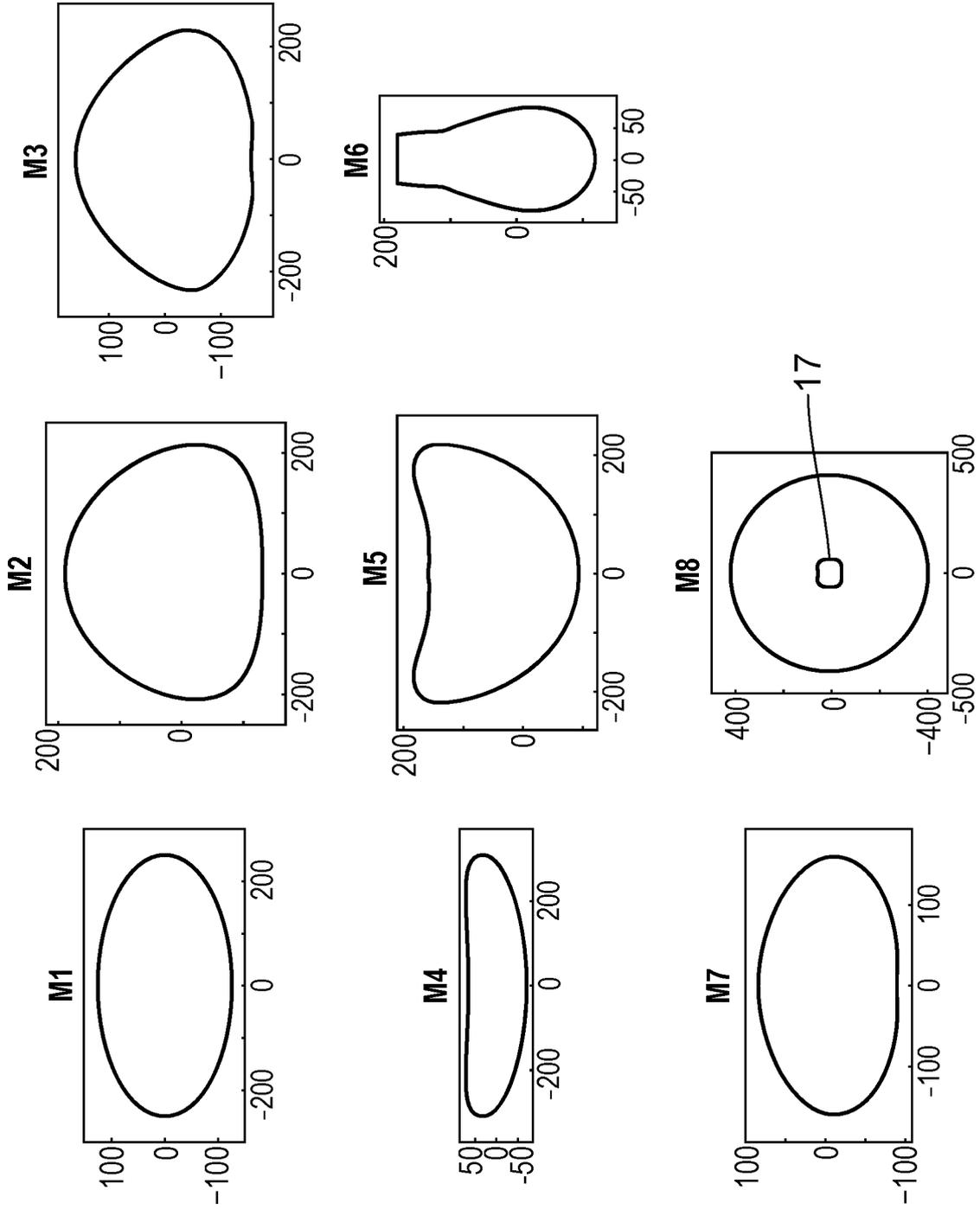


Fig. 10

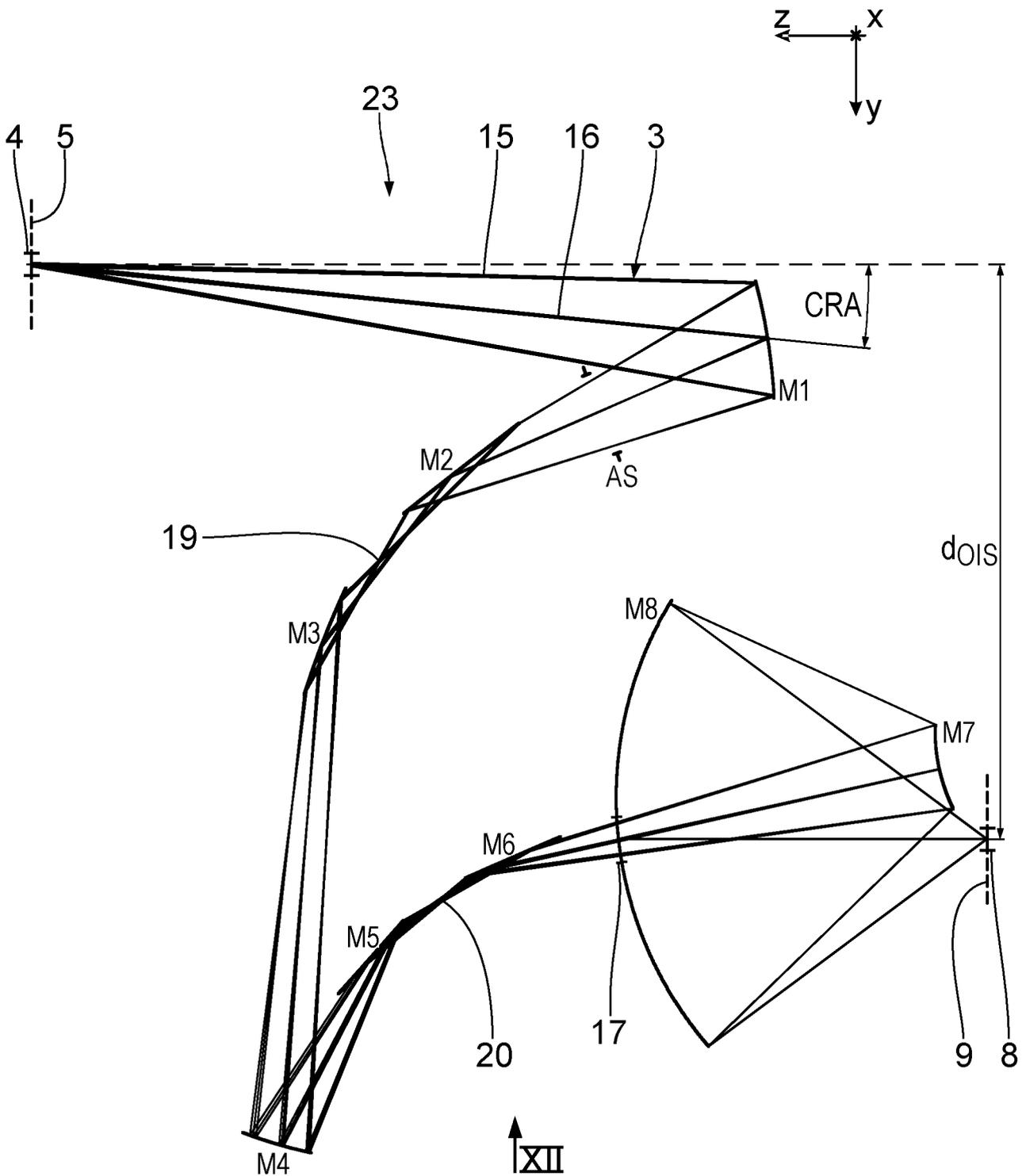


Fig. 11

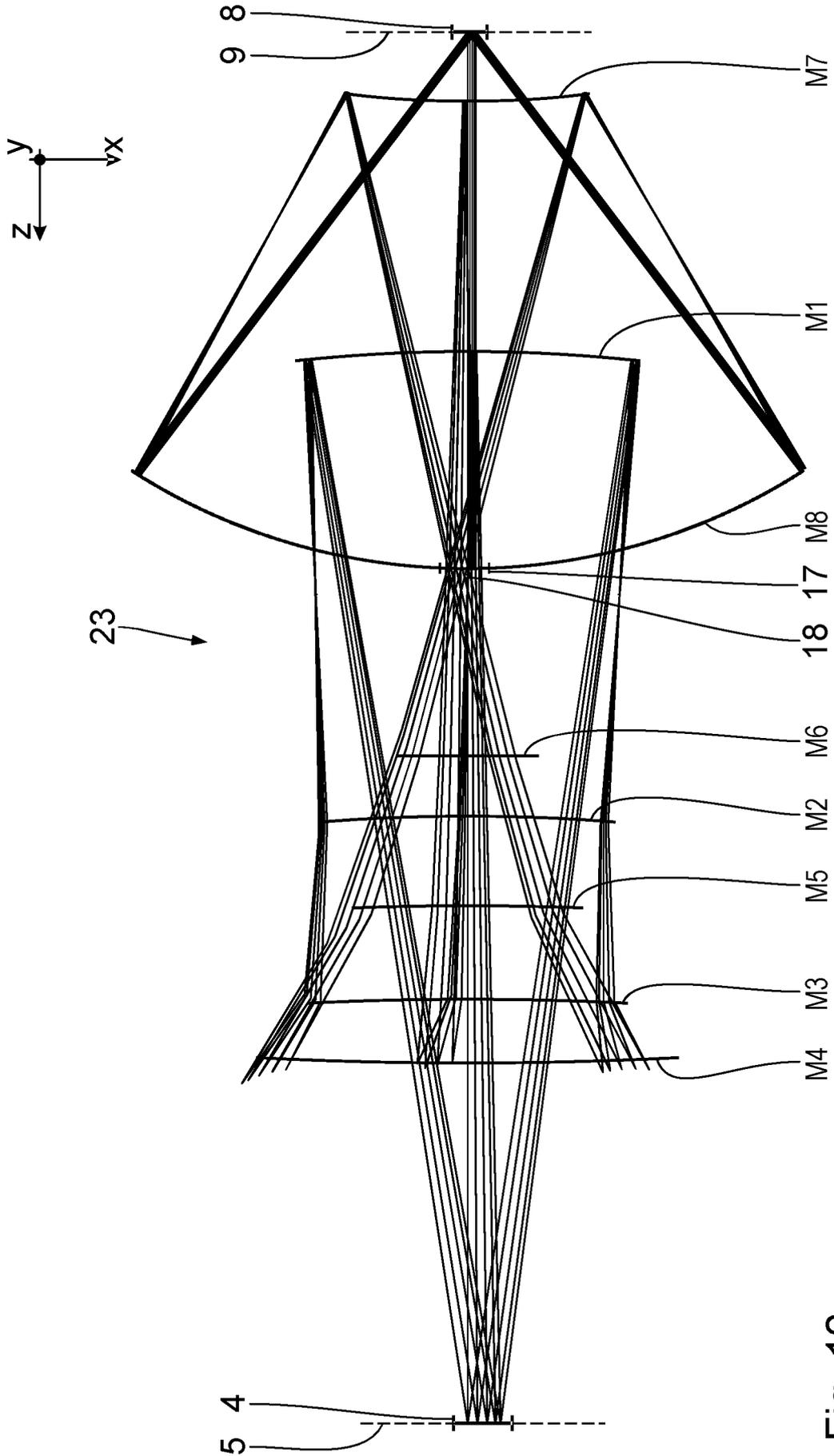


Fig. 12

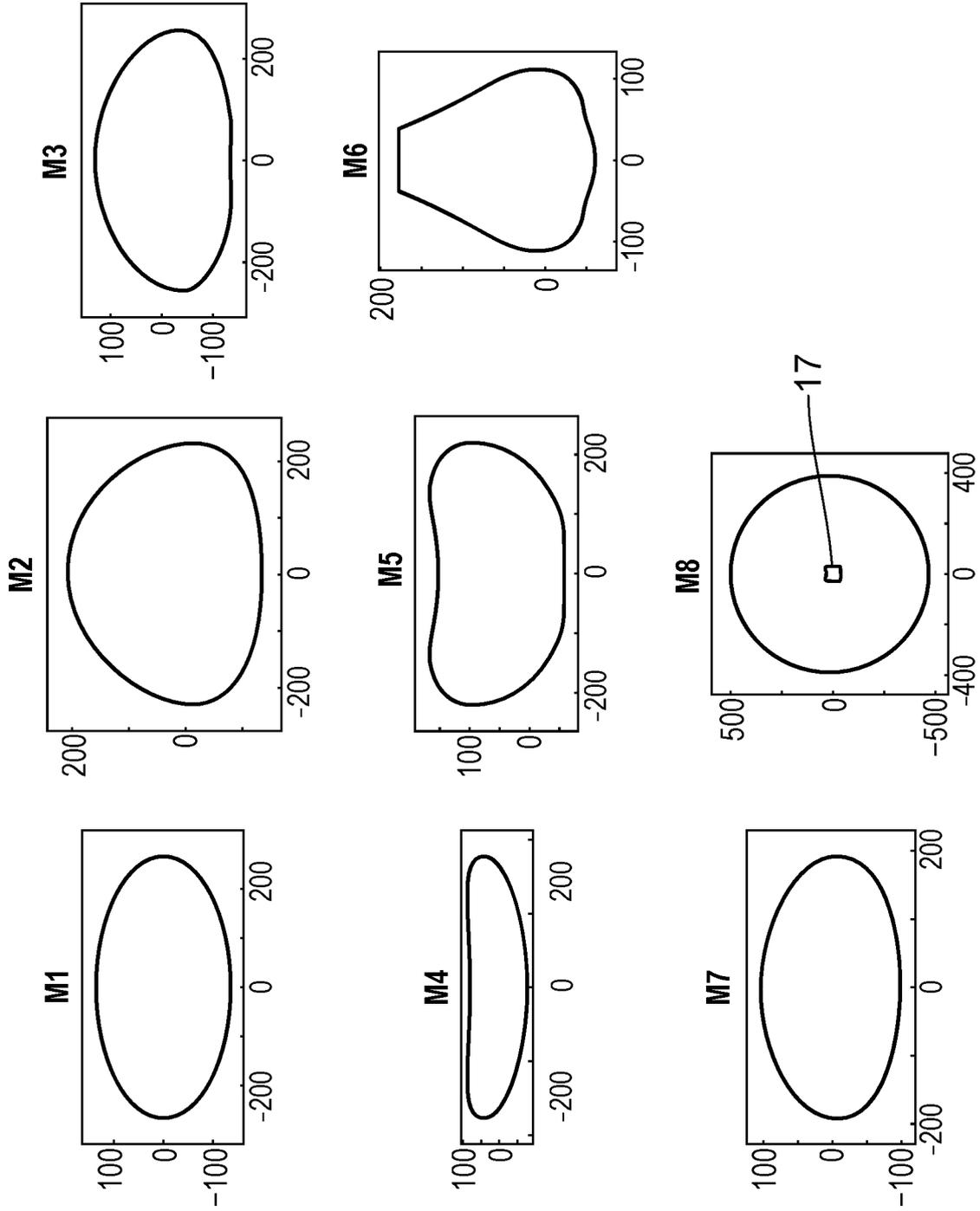


Fig. 13

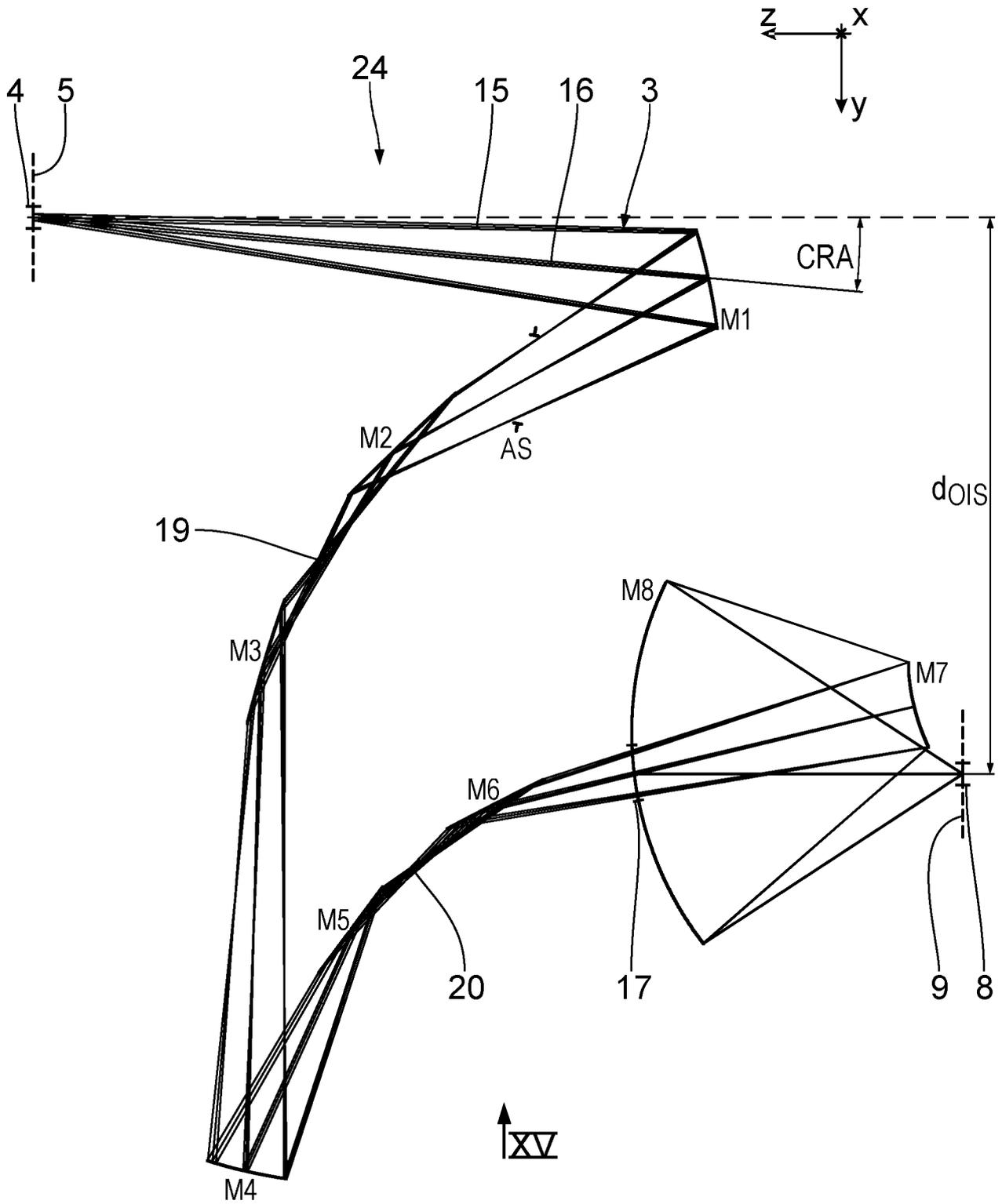


Fig. 14

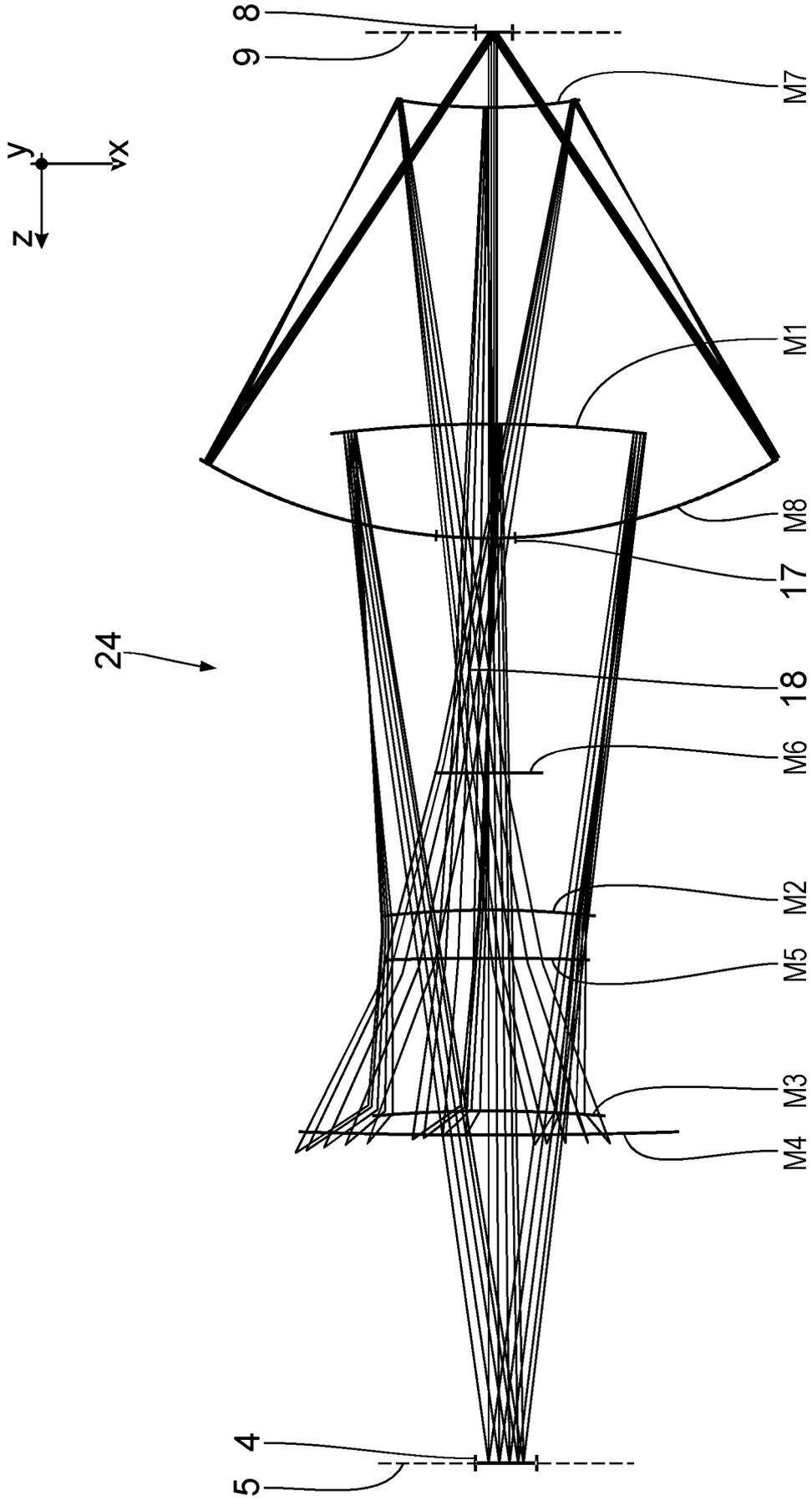


Fig. 15

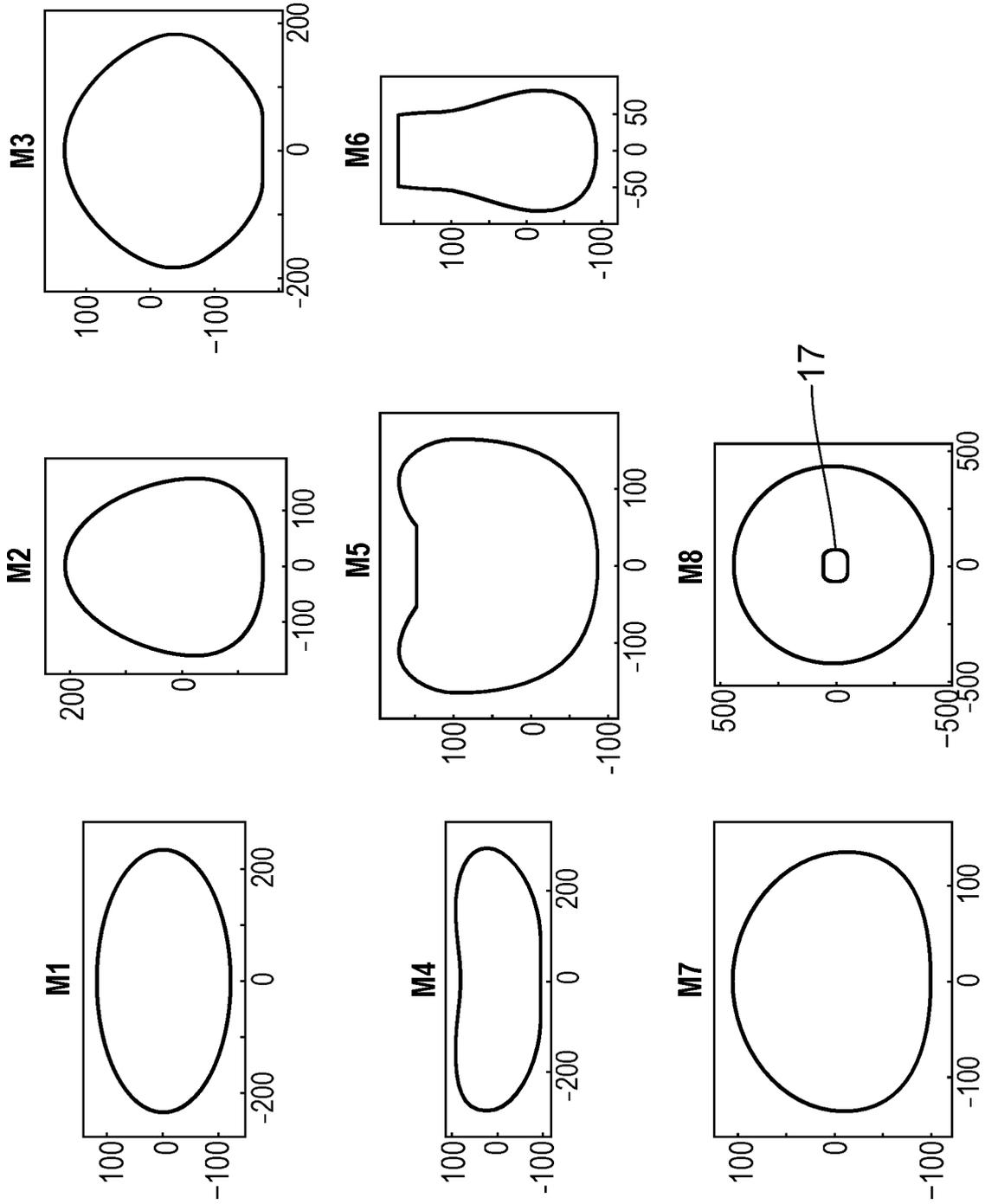


Fig. 16