



(10) DE 10 2015 226 531 A1 2016.10.20

(12)

Offenlegungsschrift

(21) Aktenzeichen: 10 2015 226 531.5

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

(22) Anmeldetag: 22.12.2015

G03F 7/20 (2006.01)

(43) Offenlegungstag: 20.10.2016

G02B 5/10 (2006.01)

B81C 1/00 (2006.01)

(66) Innere Priorität:

10 2015 206 635.5 14.04.2015

(72) Erfinder:

Wolf, Alexander, Dr., 73447 Oberkochen, DE;
Rostalski, Hans-Jürgen, 73447 Oberkochen, DE

(71) Anmelder:

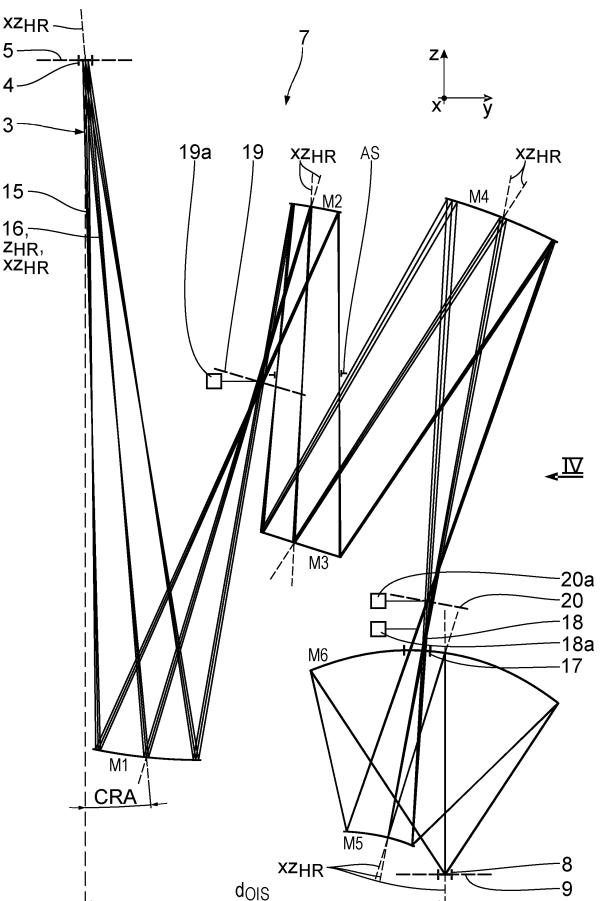
Carl Zeiss SMT GmbH, 73447 Oberkochen, DE

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 M6) zur Führung von Abbildungslicht (3) von einem Objektfeld (4) in ein Bildfeld (8). Das Objektfeld (4) ist aufgespannt von zwei Objektfeldkoordinaten (x, y), auf denen einen Normalkoordinate (z) senkrecht steht. Abbildungslicht (3) verläuft in einer ersten Abbildungslicht-Ebene (xz_{HR}) durch mindestens ein Erstebenen-Zwischenbild (18) der abbildenden Optik (7). In einer zweiten Abbildungslicht-Ebene (yz) verläuft das Abbildungslicht durch mindestens ein Zweitebenen-Zwischenbild (19, 20) der abbildenden Optik (7). Die Anzahl der Erstebenen-Zwischenbilder (18) und die Anzahl der Zweitebenen-Zwischenbilder (19, 20) sind voneinander verschieden. Alle Spiegel (M1 bis M6) sind als NI-Spiegel ausgeführt. Es resultiert eine abbildende Optik, deren Lichtdurchsatz erhöht ist.



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, 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 Lichtdurchsatz erhöht ist.

[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 abbildende Optik ist als choristikonale Optik mit unterschiedlicher Anzahl von Zwischenbildern in den beiden Abbildungslight-Ebenen ausgebildet. Dieser Anzahl-Unterschied kann genau 1 betragen, kann aber auch größer sein, zum Beispiel 2 oder noch größer.

[0007] Die erste Abbildungslight-Ebene (xz_{HR}) wird aufgespannt von der jeweiligen Abbildungslight-Hauptpropagationsrichtung (z_{HR}) und der ersten kartesischen Objektfeldkoordinate (x). Die Abbildungslight-Hauptpropagationsrichtung (z_{HR}) ergibt sich durch Verkippung der Normalkoordinate z in der durch die zweite kartesische Objektfeldkoordinate (x) und die Normalkoordinate (z) aufgespannte Ebene, bis die ursprünglich in z -Richtung verlaufende momentane Propagationskoordinate z_{HR} in Richtung der Abbildungslight-Hauptpropagationsrichtung verläuft. Mit jeder Richtungsänderung der Abbildungslight-Hauptpropagationsrichtung ändert sich also eine Lage der ersten Abbildungslight-Ebene.

[0008] Die unterschiedliche Anzahl der Zwischenbilder in den beiden Abbildungslight-Ebenen kann als zusätzlicher Designfreiheitsgrad genutzt werden, um das gesamte Abbildungslightbündel dort einzuspannen, wo dies aus Strahlführungsgründen gewünscht ist, zum Beispiel im Bereich von Spiegeln für streifenden Einfall, um deren Ausdehnung nicht zu groß werden zu lassen, und/oder im Bereich von aus Bauraumgründen notwendigen Einschnürungen. Es wurde dabei erkannt, dass insbesondere dann, wenn ein Objektfeld mit deutlich von 1 verschiedenem Aspektverhältnis abgebildet werden soll, die Anforderungen an die Ausdehnung des Abbildungslightbündels in dessen beiden Querschnittsdimensionen in den beiden Abbildungslight-Ebenen durchaus unterschiedlich sind, sodass diesen Anforderungen mit Hilfe einer choristikonalen Gestaltung Rechnung getragen werden kann. Die größere Anzahl der Zwischenbilder in einer der beiden Abbildungslight-Ebenen kann 1 betragen, kann 2 betragen, kann 3 betragen oder kann größer sein. Die kleinere der Anzahlen der Zwischenbilder in den beiden Abbildungslight-Ebenen kann 0 sein, kann 1 betragen, kann 2 betragen oder noch größer sein. Die Anzahl der Spiegel kann 6, 7, 8, 9 oder 10 betragen. Die Spiegelanzahl kann auch kleiner oder größer sein.

[0009] Eine Lage der Zwischenbilder kann entlang der Abbildungslight-Hauptpropagationsrichtung grundsätzlich an einem beliebigen Ort zwischen dem Objektfeld und dem Bildfeld sein. Ein jeweiliges Erstebenen-Zwischenbild oder Zweitebenen-Zwischenbild kann zwischen zwei Spiegeln oder am Ort der Reflexion an einem Spiegel liegen. Zwischen einer Feldebene und einem der Zwischenbilder kann jeweils mindestens ein Spiegel liegen.

[0010] Alle Spiegel der abbildenden Optik sind als NI-Spiegel ausgebildet, also als Spiegel, auf die das Abbildungslight mit einem Einfallswinkel trifft, der kleiner ist als 45° . Dies führt zur Möglichkeit, die abbildende Optik kompakt auszuführen. Die kleinen Einfallswinkel auf allen Spiegeln ermöglichen zudem eine hohe Gesamttransmission der abbildenden Optik, also einen hohen Nutzlicht-Durchsatz.

[0011] Ein Objekt-Bild-Versatz, gemessen in einer Ebene parallel zur Bildebene der abbildenden Optik, kann kleiner sein als 1000 mm, kann kleiner sein als 800 mm, kann kleiner sein als 600 mm, kann kleiner sein als

400 mm, kann kleiner sein als 300 mm, kann kleiner sein als 200 mm, kann kleiner sein als 180 mm und kann insbesondere 177,89 mm betragen.

[0012] Die Objektebene kann um einen endlichen Winkel relativ zur Bildebene verkippt sein.

[0013] Eine Anzahlverteilung der Zwischenbilder nach Anspruch 2 führt dazu, dass das Abbildungslichtbündel in der Spiegel-Falteinbene, also in der Einfallsebene eines Hauptstrahls eines zentralen Feldpunktes auf den Spiegeln, vorteilhaft eingeengt werden kann.

[0014] Eine Aperturblende nach Anspruch 3 kann von allen Seiten von außen her zugänglich gestaltet sein. Mithilfe einer solchen Aperturblende ist eine definierte Vorgabe einer Pupillenform der abbildenden Optik möglich.

[0015] Eine Anordnung der Aperturblende nach Anspruch 4 führt zur Möglichkeit, die abbildende Optik mit kleinen Faltwinkeln auch im Bereich der Aperturblende auszuführen.

[0016] Eine Pupillenobskuration nach Anspruch 5, definiert als Flächenanteil einer obskurierten, also nicht für die Abbildung nutzbaren Pupillenfläche zur gesamten Pupillenfläche, hat geringe Auswirkungen auf die Abbildung. Die Pupillenobskuration kann kleiner sein als 15%, kann kleiner sein als 12%, kann kleiner sein als 10% und kann beispielsweise 9% betragen.

[0017] Ein maximaler Einfallswinkel des Abbildungslichts nach Anspruch 6 ermöglicht die Ausgestaltung der Spiegel mit hoher Reflektivität auch dann, wenn EUV-Licht als Nutzlicht zum Einsatz kommt. Der maximale Einfallswinkel kann kleiner sein als 22°.

[0018] Maximale Einfallswinkel des Abbildungslichts auf den ersten vier Spiegeln nach Anspruch 7 haben entsprechende Vorteile. Der maximale Einfallswinkel kann kleiner sein als 19°, kann kleiner sein als 18°, kann maximal 17,5° betragen und kann auch maximal 16,6° betragen.

[0019] Eine Verkippung der Objektebene zur Bildebene nach Anspruch 8 hat sich insbesondere zum Erreichen kleiner maximaler Einfallswinkel auf allen Spiegeln als geeignet herausgestellt. Der Kippwinkel kann größer sein als 1°, kann größer sein als 2°, kann größer sein als 4°, kann größer sein als 5°, kann größer sein als 7°, kann größer sein als 8° und kann beispielsweise 10° betragen.

[0020] Eine Zwischenbild-Anordnung nach Anspruch 9 führt zu einer vorteilhaften Einengung des Abbildungslichtbündels im Bereich der Spiegel-Durchtrittsöffnung. Das Zwischenbild kann in der Abbildungslicht-Ebene mit Aufspannkoordinate längs der größeren Objektfeld-Dimension bei einem Objektfeld mit Aspektverhältnis größer 1 liegen. Ein derartiges Zwischenbild gewährleistet, dass das gesamte Abbildungslichtbündel längs der Koordinate stärker eingeschnürt wird, in der das Bündel aufgrund der größeren Felddimension tendenziell den größeren Durchmesser hat. Das Zwischenbild liegt dann im Bereich der Durchtrittsöffnung, solange ein Abstand zwischen der Durchtrittsöffnung und dem Bildfeld mehr als dreimal so groß ist als ein Abstand zwischen der Durchtrittsöffnung und dem Zwischenbild. Das Verhältnis zwischen diesen Abständen kann größer sein als 3,5, kann größer sein als 4, kann größer sein als 5, kann größer sein als 7, kann größer sein als 10 oder kann noch größer sein.

[0021] Eine Zwischenbild-Anordnung nach Anspruch 10 führt zu einer vorteilhaften Einengung beider Querschnittsdimensionen des gesamten Abbildungslicht-Bündels.

[0022] Mindestens einer der Spiegel der abbildenden Optik kann eine Reflexionsfläche haben, die als Freiformfläche ausgeführt ist. Beispiele für derartige Freiformflächen werden nachfolgend noch im Detail beschrieben.

[0023] Ein optisches System nach Anspruch 11 nutzt die Möglichkeit des Designfreiheitsgrades über die unterschiedlichen Anzahlen der Zwischenbilder in den verschiedenen Abbildungslicht-Ebenen aus. Bei der Hilfseinrichtung kann es sich um eine Feldblende oder auch um eine Intensitätsvorgabeeinrichtung nach Art eines UNICOM handeln.

[0024] Die Vorteile eines optischen Systems nach Anspruch 12 entsprechen denen, die vorstehend unter Bezugnahme auf die abbildende Optik sowie das optische System mit der Hilfseinrichtung bereits erläutert wurden. Auch das optische System nach Anspruch 12 kann eine derartige Hilfseinrichtung aufweisen.

[0025] 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.

[0026] Die Vorteile einer Projektionsbelichtungsanlage nach Anspruch 13, eines Herstellungsverfahrens nach Anspruch 14 und eines mikro- beziehungsweise nanostrukturierten Bauteils nach Anspruch 15 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.

[0027] Ausführungsbeispiele der Erfindung werden nachfolgend anhand der Zeichnung näher erläutert. In dieser zeigen:

[0028] **Fig. 1** schematisch eine Projektionsbelichtungsanlage für die EUV-Mikrolithographie;

[0029] **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;

[0030] **Fig. 3** in einer zu **Fig. 2** ähnlichen Darstellung eine weitere Ausführung einer abbildenden Optik, einsetzbar als Projektionsobjektiv in der Projektionsbelichtungsanlage nach **Fig. 1**;

[0031] **Fig. 4** eine Ansicht aus Blickrichtung IV in **Fig. 2**; und

[0032] **Fig. 5** eine Ansicht gemäß Blickrichtung V in **Fig. 3**.

[0033] 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.

[0034] 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.

[0035] 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.

[0036] Das Objektfeld **4** und das Bildfeld **8** sind bei der Projektionsoptik **7** gebogen beziehungsweise gekrümmmt und insbesondere teilringförmig ausgeführt. Ein Krümmungsradius dieser Feldkrümmung beträgt bildseitig 81 mm. Eine Grundform einer Randkontur des Objektfeldes **4** beziehungsweise des Bildfeldes **8** ist entsprechend gebogen. 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.

[0037] Das Objektfeld **4** ist dementsprechend aufgespannt von der ersten kartesischen Objektfeldkoordinate x und der zweiten kartesischen Objektfeldkoordinate y . Die dritte kartesische Koordinate z , die senkrecht auf diesen beiden Objektfeldkoordinaten x und y steht, wird nachfolgend auch als Normalkoordinate bezeichnet.

[0038] Für die Projektionsoptik **7** kann eines der in den **Fig.** 2ff. dargestellten Ausführungsbeispiele eingesetzt werden. Die Projektionsoptik **7** nach den **Fig.** 2 und **Fig.** 4 verkleinert in einer Sagittalebene xz um einen Faktor 4 und in einer Meridionalebene yz um einen Faktor 8. Bei der Projektionsoptik **7** handelt es sich um eine anamorphotische Projektionsoptik. Auch andere Verkleinerungsmaßstäbe in den beiden Abbildungslicht-Ebenen xz , yz sind möglich, zum Beispiel 3x, 5x, 6x, 7x, nichtganzzahlige Verkleinerungsmaßstäbe, 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 mit einer Bildumkehr (image flip) einhergehen oder nicht, was nachfolgend auch durch eine entsprechende Vorzeichenangabe des Verkleinerungsmaßstabes verdeutlicht ist.

[0039] 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.

[0040] 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.

[0041] In der **Fig.** 1 ist schematisch zwischen dem Retikel **10** und der Projektionsoptik **7** ein in diese einlaufendes Strahlenbündel **13** des Beleuchtungslights **3** und zwischen der Projektionsoptik **7** und dem Substrat **11** ein aus der Projektionsoptik **7** auslaufendes Strahlenbündel **14** des Beleuchtungslights **3** dargestellt. Eine bildfeldseitige numerische Apertur (NA) der Projektionsoptik **7** ist in der **Fig.** 1 nicht maßstäblich wiedergegeben.

[0042] 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**.

[0043] Die **Fig.** 2 und **Fig.** 4 zeigen das optische Design einer ersten Ausführung der Projektionsoptik **7**. Die **Fig.** 2 zeigt die Projektionsoptik **7** in einem Meridionalschnitt, also den Strahlengang des Abbildungslights **3** (vgl. Einzelstrahlen **15** in der **Fig.** 2) in der yz -Ebene. Die **Fig.** 4 zeigt die Projektionsoptik **7** in einer Ansicht, bei der die Einzelstrahlen **15** auf die xz -Ebene projiziert sind, also in einer Sagittal-Ansicht. Die Meridionalebene yz wird auch als zweite Abbildungslicht-Ebene bezeichnet. Eine erste Abbildungslicht-Ebene xz_{HR} ist diejenige Ebene, die am jeweiligen Ort des Strahlengangs des Abbildungslights **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 M6 ändert sich diese Abbildungslicht-Hauptpropagationsrichtung z_{HR} in der Regel. Diese Änderung kann beschrieben werden als eine Verkipfung der momentanen Abbildungslicht-Hauptpropagationsrichtung z_{HR} um die erste kartesische Objektfeldkoordinate x um einen Kippwinkel, der gleich dem Umlenkinkel dieses Hauptstrahls **16** des zentralen Feldpunktes am jeweils betrachteten Spiegel M1 bis M6 ist. Die jeweiligen ersten Abbildungslicht-Ebenen xz_{HR} sind in der **Fig.** 2 gestrichelt angedeutet und stehen jeweils senkrecht auf der Zeichenebene (yz -Ebene).

[0044] Nachfolgend wird die erste Abbildungslicht-Ebene xz_{HR} vereinfachend auch als erste Abbildungslicht-Ebene xz bezeichnet.

[0045] Die zweite Abbildungslicht-Ebene yz enthält ebenfalls die Abbildungslicht-Hauptpropagationsrichtung z_{HR} und steht senkrecht auf der ersten Abbildungslicht-Ebene xz_{HR} .

[0046] Da die Projektionsoptik **7** ausschließlich in der Meridionalebene yz gefaltet ist, fällt die zweite Abbildungslicht-Ebene yz mit der Meridionalebene zusammen.

[0047] Dargestellt ist in der **Fig. 2** der Strahlengang jeweils dreier Einzelstrahlen **15**, die von drei in der **Fig. 2** zueinander in der y-Richtung beabstandeten Objektfeldpunkten ausgehen. Dargestellt sind die Hauptstrahlen **16**, also die 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 CRA von $5,2^\circ$ ein.

[0048] Die Objektebene **5** liegt parallel zur Bildebene **9**.

[0049] Die Projektionsoptik **7** hat eine bildseitige numerische Apertur von 0,55.

[0050] Die Projektionsoptik **7** nach **Fig. 2** hat insgesamt sechs Spiegel, die in der Reihenfolge des Strahlengangs der Einzelstrahlen **15**, ausgehend vom Objektfeld **4**, mit M1 bis M6 durchnummieriert sind.

[0051] Dargestellt sind in der **Fig. 2** Ausschnitte der berechneten Reflexionsflächen der Spiegel M1 bis M6. Genutzt wird ein Teilbereich dieser berechneten Reflexionsflächen. Lediglich dieser tatsächlich genutzte Bereich der Reflexionsflächen ist zuzüglich eines Überstandes bei den realen Spiegeln M1 bis M6 tatsächlich vorhanden. Diese Nutz-Reflexionsflächen werden in bekannter Weise von Spiegelkörpern getragen.

[0052] Bei der Projektionsoptik **7** nach **Fig. 2** sind alle Spiegel M1 bis M6 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 sechs Spiegel M1 bis M6 für normalen Einfall. Diese Spiegel für normalen Einfall werden auch als NI(Normal Incidence)-Spiegel bezeichnet.

[0053] Die Projektionsoptik **7** hat keinen Spiegel für streifenden Einfall (GI-Spiegel, Grazing Incidence-Spiegel).

[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.

[0055] Die Spiegel M1 bis M6 tragen eine die Reflektivität der Spiegel M1 bis M6 für das Abbildungslicht **3** optimierende Beschichtung. Diese hoch reflektierenden Schichten 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. Diese können zusätzliche Trennschichten aus beispielsweise C (Kohlenstoff), B₄C (Borcarbid) beinhalten und können durch eine Schutzschicht oder ein Schutzschichtsystem zum Vakuum abgeschlossen sein.

[0056] 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.

[0057] Details zur Reflektivitätsberechnung sind erläutert in der WO 2015/014 753 A1. Weitere Informationen zur Reflektivität von NI-Spiegeln (Normal Incidence Spiegeln) finden sich in der DE 101 55 711 A.

[0058] Eine Gesamt-Reflektivität beziehungsweise Systemtransmission der Projektionsoptik **7**, die sich als Produkt der Reflektivitäten aller Spiegel M1 bis M8 der Projektionsoptik **7** ergibt, beträgt etwa R = 7,0 %.

[0059] Der Spiegel M6, also der im Abbildungsstrahlengang letzte Spiegel vor dem Bildfeld **8**, hat eine Durchtrittsöffnung **17** zum Durchtritt des Abbildungslichts **3**, das vom drittletzten Spiegel M4 hin zum vorletzten Spiegel M5 reflektiert wird. Der Spiegel M6 wird um die Durchtrittsöffnung **17** herum reflektiv genutzt. Alle anderen Spiegel M1 bis M5 haben keine Durchtrittsöffnung und werden in einem lückenlos zusammenhängenden Bereich reflektiv genutzt.

[0060] In der ersten Abbildungslicht-Ebene xz hat die Projektionsoptik **7** genau ein Erstebenen-Zwischenbild **18** im Abbildungslichtstrahlengang zwischen den Spiegeln M4 und M5. Dieses Erstebenen-Zwischenbild **18** liegt im Bereich der Durchtrittsöffnung **17**. Ein Abstand zwischen der Durchtrittsöffnung **17** und dem Bildfeld

8 ist mehr als viermal so groß wie ein Abstand zwischen der Durchtrittsöffnung **17** und dem Erstebenen-Zwischenbild **18**.

[0061] In der zur ersten Abbildungslicht-Ebene xz senkrechten zweiten Abbildungslicht-Ebene yz verläuft das Abbildungslicht **3** durch genau zwei Zweitebenen-Zwischenbilder **19** und **20**. Das erste dieser beiden Zweitebenen-Zwischenbilder **19** liegt im Abbildungslichtstrahlengang zwischen den Spiegeln M1 und M2. Das andere der beiden Zweitebenen-Zwischenbilder **20** liegt im Abbildungslichtstrahlengang zwischen den Spiegeln M4 und M5 im Bereich des Erstebenen-Zwischenbildes **18**. Sowohl das Erstebenen-Zwischenbild **18** als auch das Zweitebenen-Zwischenbild **20** liegt also im Bereich der Durchtrittsöffnung **17** im Spiegel M6. Am Ort der Durchtrittsöffnung **17** hat das gesamte Bündel des Abbildungslichts **3** einen kleinen Durchmesser. Entsprechend kann der Durchmesser der Durchtrittsöffnung **17** klein gewählt werden, ohne das Abbildungslicht **3** im Teil-Strahlengang zwischen den Spiegeln M4 und M5 zu beschneiden.

[0062] Die Anzahl der Erstebenen-Zwischenbilder, bei der Projektionsoptik **7** also genau ein Erstebenen-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.

[0063] 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 Spiegel M1 bis M6 zusammen. Diese Faltebene ist die Einfallsebene des Hauptstrahls **16** des zentralen Feldpunktes bei der Reflexion am jeweiligen Spiegel M1 bis M6. 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 $+/-89^\circ$ liegen.

[0064] 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 abschnittsweise Definition einer Berandung des Abbildungsbündels handeln. Auch eine Feldintensitäts-Vorgabeeinrichtung nach Art eines UNICOM, insbesondere mit in x-Richtung gestaffelten Fingerblenden, kann in einer der Zwischenbild-Ebenen der Zwischenbilder **18** bis **20** angeordnet sein.

[0065] Die Spiegel M1 bis M6 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 M6 als rotationssymmetrische Asphäre ausgeführt ist. Eine Asphärenungleichung für eine solche rotationssymmetrische Asphäre ist bekannt aus der DE 10 2010 029 050 A1. Auch alle Spiegel M1 bis M6 können als derartige Asphären ausgeführt sein.

[0066] 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)

[0067] 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 ($x = 0; y = 0$).

[0068] In der Freiformflächengleichung (1) bezeichnen $C_1, C_2, C_3\dots$ die Koeffizienten der Freiformflächen-Reihenentwicklung in den Potenzen von x und y.

[0069] 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.

[0070] 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 2007-0058269A1.

[0071] Alternativ können Freiformflächen auch mit Hilfe zweidimensionaler Spline-Oberflächen beschrieben werden. Beispiele hierfür sind Bezier-Kurven oder nicht-uniform 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.

[0072] Die nachfolgende Tabelle fasst die Parameter "maximaler Einfallswinkel", "Reflexionsflächenerstreckung in x-Richtung", "Reflexionsflächenerstreckung in y-Richtung" und "maximaler Spiegeldurchmesser" für die Spiegel M1 bis M6 zusammen:

	M1	M2	M3	M4	M5	M6
maximaler Einfallswinkel [°]	12.7	12.5	17.5	13.5	22.0	10.9
Reflexionsflächenerstreckung in x-Richtung [mm]	763.7	426.9	524.9	913.0	407.7	793.7
Reflexionsflächenerstreckung in y-Richtung [mm]	315.7	148.3	256.7	354.4	206.6	767.7
maximaler Spiegeldurchmesser [mm]	763.9	426.9	524.9	913.0	407.8	793.8

[0073] Ein maximaler Einfallswinkel des Abbildungslichts auf allen Spiegeln M1 bis M6 ist kleiner als 25°. Dieser maximale Einfallswinkel liegt am Spiegel M5 vor und beträgt 22,0°.

[0074] Der maximale Einfallswinkel des Abbildungslichts 3 auf den ersten vier Spiegeln M1 bis M4 im Abbildungslicht-Strahlengang nach dem Objektfeld 4 ist kleiner als 20°. Dieser maximale Einfallswinkel auf den ersten vier Spiegeln M1 bis M4 liegt beim Spiegel M3 vor und beträgt 17,5°.

[0075] Am stärksten weicht bei den Spiegeln M1 bis M6 der Projektionsoptik 7 ein y/x-Aspektverhältnis beim Spiegel M4 vom Wert 1 ab und beträgt dort etwa 1:2,6. Bei allen anderen Spiegeln liegt das y/x-Aspektverhältnis im Bereich zwischen 1:1 und 1:2,5. Ein x/y-Aspektverhältnis der Spiegel M1 bis M4 ist jeweils größer als 2:1.

[0076] Den größten maximalen Spiegeldurchmesser hat der Spiegel M4 mit einem Durchmesser von 913 mm. Keiner der anderen Spiegel M1 bis M3, M5, M6 hat einen maximalen Durchmesser, der größer ist als 800 mm.

[0077] Eine pupillendefinierende Aperturblende AS ist bei der Projektionsoptik 7 im Abbildungslichtstrahlengang zwischen den Spiegeln M2 und M3 angeordnet. Im Bereich der Aperturblende AS ist das gesamte Abbildungslicht-Strahlenbündel über seinen gesamten Umfang zugänglich. Die Aperturblende AS begrenzt den gesamten äußeren Querschnitt des gesamten Abbildungslicht-Bündels. Die Aperturblende AS ist räumlich benachbart zum Zweitebenen-Zwischenbild 19 angeordnet. Diese Anordnung ermöglicht es, den Abbildungslicht-Teilstrahl zwischen den Spiegeln M1 und M2 gering zum Abbildungslicht-Teilstrahl zwischen den Spiegeln M2

und M3 zu falten, sodass ein entsprechend geringer maximaler Einfallwinkel der Eintrittsstrahlen des Abbildungslichts **3** auf dem Spiegel M2 resultiert.

[0078] Die optischen Designdaten der Reflexionsflächen der Spiegel M1 bis M6 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**.

[0079] 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 $m\lambda$ (ml), also abhängig von der Designwellenlänge. Es handelt sich hierbei um den rms-Wert des Wellenfrontfehlers.

[0080] Die zweite dieser Tabellen gibt zu den optischen Oberflächen der optischen Komponenten Scheitelpunktsradien ($Radius_x = R_x$, $Radius_y = R_y$) und Brechkraftwerte ($Power_x$, $Power_y$) an. Negative Radienwerte bedeuten zum einfallenden Beleuchtungslight **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.

[0081] 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.

[0082] Die Brechkräfte $Power_x$ (P_x), $Power_y$ (P_y) an den Scheitelpunkten sind definiert als:

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

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

[0083] AOI bezeichnet hierbei einen Einfallwinkel des Führungsstrahls zur Flächennormalen.

[0084] Die dritte Tabelle gibt für die Spiegel M1 bis M6 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.

[0085] 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 Verkipfung beim Freiformflächen-Designverfahren. Verschoben 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 einzelnen Spiegeln zugeordneten Flächen sind in der vierten Tabelle auch die Bildebene als erste Fläche, die Objekt ebene als letzte Fläche sowie ggf. eine Blendenfläche (mit der Bezeichnung „Blende“) tabelliert.

[0086] Die fünfte Tabelle gibt noch die Transmissionsdaten der Spiegel M6 bis M1 an, nämlich deren Reflektivität für den Einfallwinkel eines zentral auf den jeweiligen Spiegel treffenden Beleuchtungslightstrahls. Die Gesamttransmission wird als Anteilsfaktor angegeben, der von einer einfallenden Intensität nach Reflexion an allen Spiegeln der Projektionsoptik verbleibt.

[0087] 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	Fig. 2
Wellenlänge	0.55
beta_x	13.5 nm
beta_y	4.0
Feldgröße_x	-8.0
Feldgröße_y	26.0 mm
Feldkrümmung	1.025 mm
rms	0.012055 1/mm
Blende	14.8 ml
	AS

Tabelle 1 zu Fig. 2

Oberfläche	Radius_x[mm]	Power_x[1/mm]	Radius_y[mm]	Power_y[1/mm]	Betriebsmodus
M6	-858.8749765	0.0023024	-737.8428816	0.0027415	REFL
M5	11682.0944369	-0.0001709	534.1551388	-0.0037506	REFL
M4	-1809.2188844	0.0010846	-1922.0843519	0.0010605	REFL
M3	6440.5662221	-0.0003000	-50750.8327561	0.0000408	REFL
M2	4674.6964470	-0.0004248	-1689.0780794	0.0011926	REFL
M1	-3024.6211530	0.0006495	-1563.8351466	0.0013020	REFL

Tabelle 2 zu Fig. 2

Koeffizient	M6	M5	M4
KY	0.00000000	0.00000000	0.00000000
KX	0.00000000	0.00000000	0.00000000
RX	-858.87497650	11682.09444000	-1809.21888400
C7	-1.75601165e-08	9.76351323e-07	9.24894814e-09
C9	4.12151659e-08	-1.56366742e-06	-1.30495858e-08
C10	-2.3717266e-11	4.05325511e-10	-5.79972529e-12
C12	-7.77186732e-11	8.75399624e-10	-3.79452218e-12
C14	-9.96610891e-12	4.36073106e-09	-4.96523891e-13
C16	-4.78999259e-14	1.32627983e-12	3.34101424e-15
C18	3.80178838e-14	2.2544009e-12	-4.32759723e-15
C20	6.511239e-14	-1.98197357e-11	1.12275782e-14
C21	-3.92631731e-17	5.49613894e-16	-2.56249544e-18
C23	-1.90245505e-16	4.01086987e-15	-4.40565287e-18
C25	-1.74273842e-16	-1.5885968e-14	8.76955689e-18
C27	-2.10056418e-17	7.29644441e-14	-4.39478392e-17
C29	-6.92447499e-20	7.26806853e-19	-1.16221193e-21
C31	-9.67320853e-22	-9.07342399e-18	2.09560033e-20
C33	1.58051548e-19	8.64687575e-17	9.71341566e-20
C35	1.31073342e-19	-6.14527486e-16	1.0702907e-19
C36	-7.37235909e-23	1.62385505e-21	-1.65841605e-24
C38	-3.82619485e-22	-2.24043808e-21	-2.45488766e-24
C40	-6.28798296e-22	9.40837613e-20	-4.20470613e-23
C42	-3.62609295e-22	-1.26850842e-18	3.32122136e-22
C44	-1.13486477e-23	2.74573501e-18	1.21683021e-22
C46	-1.37331048e-25	4.2081407e-23	5.7969842e-27

Koeffizient	M6	M5	M4
C48	-1.47293299e-25	2.88686689e-22	-2.23585834e-26
C50	2.07891229e-25	-2.45657195e-22	-8.67407678e-25
C52	5.16694591e-25	4.84753531e-21	-2.97297137e-24
C54	2.27538477e-25	6.32501824e-21	-1.05704009e-23
C55	-3.24119108e-29	-3.08147298e-26	5.64088431e-30
C57	-6.41610415e-28	3.57346972e-25	-2.00859294e-29
C59	-1.69412665e-27	2.06843583e-24	-9.52490119e-29
C61	-1.72411595e-27	-2.47503441e-24	1.97416699e-27
C63	-5.7995256e-28	4.01267717e-23	-3.83090877e-26
C65	-1.635162e-29	-4.62428375e-23	1.21532476e-25
C67	1.22726086e-31	-1.2494157e-27	-6.17049136e-32
C69	2.84133671e-31	-5.44453482e-27	-7.76588296e-31
C71	4.44381319e-31	-3.78606642e-26	-2.18932157e-31
C73	1.77800746e-30	-4.15333379e-26	1.78648032e-29
C75	1.6160079e-30	-1.24201006e-25	3.46971259e-29
C77	3.10049067e-31	-3.13835508e-25	-2.00008177e-29
C78	-4.00765463e-34	3.71999699e-31	-2.61982192e-35
C80	-2.12693373e-33	-8.2624255e-30	5.31477481e-34
C82	-4.00467472e-33	-9.39873312e-29	8.16603132e-33
C84	-6.27063161e-33	-1.0314431e-28	1.14008163e-32
C86	-3.54293249e-33	9.4886599e-28	-3.12780164e-32
C88	-9.29818695e-34	-5.58939473e-27	2.06573781e-30
C90	-7.896513e-34	-1.32131239e-27	-6.03635915e-30
C92	-5.73838546e-37	1.70280303e-32	2.4443233e-37
C94	-3.39136484e-36	9.34845871e-32	5.29050095e-36
C96	-2.86917081e-36	5.06073109e-31	3.61960832e-35
C98	5.07534678e-37	3.15612468e-30	4.78854298e-35
C100	-2.99347712e-36	-6.44314e-30	5.76086779e-35
C102	-1.31255149e-36	3.67811047e-29	4.76487931e-34
C104	1.74787841e-36	-1.59011113e-29	2.31589865e-32
C105	-1.31762349e-40	1.09344483e-36	5.14787253e-41
C107	3.54057177e-39	1.10846109e-34	-2.64963079e-39
C109	-1.78073131e-39	1.72014461e-33	-6.49527987e-38
C111	-1.55177824e-39	3.05219736e-33	-3.04866424e-37
C113	9.44170173e-40	-1.606718e-32	3.01731009e-37
C115	-6.64945728e-39	-5.29558524e-33	6.40489097e-37
C117	-3.11940525e-39	7.18345117e-32	-4.90591508e-35
C119	5.50110677e-39	7.25898814e-31	6.03700342e-35
C121	-9.71158605e-43	-6.95775525e-38	-3.26101881e-43
C123	7.23217134e-43	-3.34409103e-37	-1.06619266e-41
C125	-5.69478444e-43	-2.68711867e-36	-1.08286695e-40
C127	1.01640903e-41	-1.59432765e-35	-5.65210621e-40
C129	3.54945098e-41	-6.92583272e-35	-6.24703952e-40
C131	5.75167037e-41	1.44445437e-34	-5.42019444e-39
C133	3.08126364e-41	-1.06727558e-33	-1.50612862e-38
C135	2.19317005e-42	-4.78626916e-33	-4.47539966e-37
C136	-2.9364696e-46	-2.35545286e-41	-3.64930823e-47
C138	-1.90854146e-44	-2.28045861e-40	4.04460613e-45
C140	-4.87396267e-44	-1.12315129e-38	1.50547812e-43
C142	-1.22392623e-43	-5.18269145e-39	1.08187079e-42
C144	-1.5701492e-43	8.12616097e-38	2.14893577e-42
C146	-1.41544082e-43	7.94029513e-37	-2.09572031e-41
C148	-4.16578745e-44	-1.02187357e-37	-5.68091764e-42
C150	-4.93563592e-45	2.08165148e-36	4.3697037e-40
C152	-1.23605467e-44	9.57945472e-36	5.32462749e-40

Tabelle 3a zu Fig. 2

Koeffizient	M3	M2	M1
KY	0.00000000	0.00000000	0.00000000
KX	0.00000000	0.00000000	0.00000000
RX	6440.56622200	4674.69644700	-3024.62115300
C7	-2.75621082e-08	1.33344077e-07	8.13680852e-09
C9	2.13772967e-07	-4.88439323e-07	-5.25766875e-08
C10	9.05428093e-11	2.4651278e-10	-4.04575459e-12
C12	9.97338804e-11	3.42470844e-10	-1.29491379e-11
C14	8.68032839e-11	7.31944141e-10	7.96400769e-12
C16	-2.05047244e-13	-1.75843577e-13	5.544904e-16
C18	1.34167844e-13	-1.38921296e-12	-7.29182129e-15
C20	1.73209287e-13	-1.66984422e-12	3.01026401e-14
C21	9.16122712e-17	4.83036548e-16	-8.06064519e-19
C23	-1.09772479e-16	1.07200979e-15	-1.50707101e-18
C25	-7.56588666e-16	5.73756053e-15	-8.45373733e-18
C27	-1.67309364e-15	4.42677763e-15	3.25143759e-17
C29	2.16545447e-19	-1.13834484e-18	-9.71555651e-22
C31	-5.68407901e-19	-8.59930026e-18	1.00947506e-21
C33	-6.38803875e-18	-1.94419133e-17	-2.20716112e-20
C35	-6.0317108e-18	-1.84553665e-16	-9.50209226e-19
C36	4.37147715e-22	8.94388533e-22	3.17263448e-25
C38	-2.31254227e-22	5.73932727e-21	-5.13351486e-24
C40	-4.04758904e-21	1.11881151e-20	3.52315788e-23
C42	-3.17472839e-20	3.32163198e-19	6.48990287e-22
C44	-9.85162714e-20	1.8034724e-18	7.74038563e-21
C46	-4.1324221e-24	1.07264182e-23	6.57538448e-27
C48	-1.08450683e-23	1.14076514e-22	-1.23024327e-27
C50	3.68038057e-23	1.77193073e-21	-5.48205165e-26
C52	2.16095044e-22	6.33924939e-21	-2.14983022e-24
C54	2.41539568e-22	3.18513118e-20	4.11656476e-23
C55	-5.4475152e-27	8.76303942e-27	-2.46528392e-30
C57	8.2180888e-27	-4.28356923e-26	1.32430341e-28
C59	1.53403997e-25	-9.18224618e-25	-1.73597019e-28
C61	4.03258962e-25	2.60047232e-24	-4.7745939e-27
C63	3.53575651e-24	-7.63901326e-23	-6.04547381e-26
C65	8.31549041e-24	-4.35078172e-22	-7.54618751e-25
C67	9.87087274e-29	-3.56838335e-28	-8.88835362e-32
C69	6.42776984e-28	-2.84407951e-27	-5.61337491e-31
C71	1.01602965e-27	-4.57862438e-26	-4.00758063e-30
C73	1.41613033e-30	-6.37072226e-25	9.87094819e-30
C75	4.43477538e-27	-1.92873559e-24	1.24431428e-28
C77	5.64483223e-27	-2.99431785e-24	-1.94178739e-27
C78	6.57189519e-32	-3.55474086e-32	4.93765851e-36
C80	-3.95411808e-31	-6.34983549e-32	-1.37798134e-33
C82	-6.45360265e-30	5.97194435e-30	-1.79738233e-33
C84	-1.76221617e-29	-3.4243908e-28	9.45814317e-32
C86	-4.93632546e-29	-2.90233773e-27	4.84143104e-31
C88	-3.47366201e-28	1.64734281e-26	2.85035612e-30
C90	-5.69693718e-28	8.7332442e-26	3.51411701e-29
C92	-9.41428626e-34	4.07301235e-33	4.99363876e-37
C94	-9.52828137e-33	3.91076643e-32	6.51134396e-36
C96	-4.03443132e-32	6.72956002e-31	4.31274648e-35

Koeffizient	M3	M2	M1
C98	-8.16791536e-32	1.07442969e-29	2.93394382e-34
C100	-5.06109148e-31	1.46674302e-28	-1.25604389e-33
C102	-2.27324283e-30	4.12153973e-28	-4.12484361e-33
C104	-3.25497507e-30	3.17476096e-28	7.96225335e-32
C105	-2.84264594e-37	-8.01264065e-37	6.15642053e-41
C107	4.14759235e-36	2.17790829e-35	6.4351619e-39
C109	1.13957341e-34	3.89579308e-34	2.3184794e-38
C111	3.64220606e-34	1.62536408e-32	-7.22249316e-37
C113	4.64657733e-34	1.53002667e-31	-5.7129879e-36
C115	2.88642202e-34	1.00791788e-30	-2.03780388e-35
C117	7.44826089e-33	-4.72609071e-31	-5.56109055e-35
C119	1.00966682e-32	-7.69819227e-30	-6.86936805e-34
C121	3.10161513e-39	-1.4205369e-38	-9.82000697e-43
C123	4.61926649e-38	-8.58182682e-38	-2.14923463e-41
C125	2.73215469e-37	-4.42601259e-36	-1.52471202e-40
C127	9.55584866e-37	-5.38081705e-35	-1.039324e-39
C129	4.89550473e-36	-1.37871892e-33	-4.79859802e-39
C131	2.76267148e-35	-1.46401094e-32	3.70949403e-38
C133	1.08744782e-34	-3.75359399e-32	5.38604799e-38
C135	1.43759826e-34	-3.76390962e-32	-1.31857729e-36
C136	3.12192213e-43	8.75181853e-42	-2.53432908e-46
C138	-1.15972236e-41	-2.91207673e-40	-1.15659019e-44
C140	-6.88975315e-40	-6.99129714e-39	-4.69836892e-44
C142	-2.90125414e-39	-2.13001905e-37	1.46558091e-42
C144	-4.26224447e-39	-2.15878626e-36	2.57968797e-41
C146	2.12388457e-38	-1.92354163e-35	8.70323809e-41
C148	1.00587068e-37	-1.25257261e-34	3.0826717e-40
C150	2.69054759e-37	-1.60142154e-34	2.17287446e-40
C152	3.45264757e-37	4.28993407e-35	3.7668963e-39

Tabelle 3b zu Fig. 2

Oberfläche	DCX	DCY	DCZ
Bildebene	0.00000000	0.00000000	0.00000000
M6	0.00000000	0.00000000	680.26363148
M5	0.00000000	175.01413342	115.40717146
0	0.00000000	67.03531830	696.81352059
M4	0.00000000	-177.89118720	2015.60763050
M3	0.00000000	463.67514111	1019.61228072
Blende	0.00000000	437.35060541	1536.16364485
M2	0.00000000	411.13780579	2050.52247554
M1	0.00000000	916.20837074	360.59865458
Objektabene	0.00000000	1103.19655335	2500.12593849

Tabelle 4a zu Fig. 2

Oberfläche	TLA[deg]	TLB[deg]	TLC[deg]
Bildebene	-0.00000000	0.00000000	-0.00000000
M6	8.60749020	0.00000000	-0.00000000
M5	13.86804194	180.00000000	0.00000000
Blende	1.91361326	0.00000000	-0.00000000
M4	21.65427373	0.00000000	-0.00000000
M3	17.85241632	180.00000000	0.00000000
AS	-1.32428889	0.00000000	-0.00000000
M2	9.77865522	0.00000000	-0.00000000

Oberfläche	TLA[deg]	TLB[deg]	TLC[deg]
M1	5.82256804	180.00000000	0.00000000
Objektebene	0.00521430	0.00000000	-0.00000000

Tabelle 4b zu Fig. 2

Oberfläche	Einfallsinkel[deg]	Reflektivität
M6	8.60749020	0.65767358
M5	3.34693847	0.66458709
M4	11.13317026	0.65184268
M3	14.93502767	0.63931878
M2	6.86126657	0.66070757
M1	10.81735374	0.65267164
Gesamttransmission		0.0785

Tabelle 5 zu Fig. 2

X[mm]	Y[mm]	Z[mm]
-0.00000000	-112.29771418	0.00000000
-33.95300806	-110.50829091	0.00000000
-67.19709735	-105.23305301	0.00000000
-99.02112992	-96.74222105	0.00000000
-128.70836648	-85.46276877	0.00000000
-155.53408145	-71.94865414	0.00000000
-178.77033514	-56.83454541	0.00000000
-197.70656829	-40.78032165	0.00000000
-211.69220377	-24.42406785	0.00000000
-220.19846094	-8.34604314	0.00000000
-222.88505781	6.96008041	0.00000000
-219.65050117	21.10835728	0.00000000
-210.64850400	33.82750503	0.00000000
-196.26500687	44.95249418	0.00000000
-177.06410535	54.40979859	0.00000000
-153.72103885	62.20042270	0.00000000
-126.96076580	68.38008729	0.00000000
-97.51311407	73.03741008	0.00000000
-66.08745553	76.27157774	0.00000000
-33.36449943	78.17125573	0.00000000
-0.00000000	78.79727683	0.00000000
33.36449943	78.17125573	0.00000000
66.08745553	76.27157774	0.00000000
97.51311407	73.03741008	0.00000000
126.96076580	68.38008729	0.00000000
153.72103885	62.20042270	0.00000000
177.06410535	54.40979859	0.00000000
196.26500687	44.95249418	0.00000000
210.64850400	33.82750503	0.00000000
219.65050117	21.10835728	0.00000000
222.88505781	6.96008041	0.00000000
220.19846094	-8.34604314	0.00000000
211.69220377	-24.42406785	0.00000000
197.70656829	-40.78032165	0.00000000
178.77033514	-56.83454541	0.00000000
155.53408145	-71.94865414	0.00000000
128.70836648	-85.46276877	0.00000000
99.02112992	-96.74222105	0.00000000

X[mm]	Y[mm]	Z[mm]
67.19709735	-105.23305301	0.00000000
33.95300806	-110.50829091	0.00000000

Tabelle 6 zu Fig. 2

[0088] Eine Gesamt-Reflektivität der Projektionsoptik **7** beträgt etwa 7,85 %.

[0089] Die Referenzachsen der Spiegel sind in der Regel gegenüber einer Normalen auf die Bildebene **9** verkippt, wie die tabellierten Verkippungswerte deutlich machen.

[0090] Das Bildfeld **8** hat eine x-Erstreckung von zweimal 13 mm und eine y-Erstreckung von 1 mm. Die Projektionsoptik **7** ist optimiert für eine Betriebswellenlänge des Beleuchtungslichts **3** von 13,5 nm.

[0091] 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.

[0092] 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).

[0093] Eine Baulänge der Projektionsoptik **7** in der z-Richtung, also ein Abstand zwischen der Objektebene **5** und der Bildebene **9**, beträgt etwa 2500 mm.

[0094] Eine Pupillenobskuration beträgt bei der Projektionsoptik **7** 15 % der gesamten Apertur der Eintrittspupille. Weniger als 15 % 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 $0,15^2$ 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.

[0095] Ein y-Abstand d_{OIS} (Objekt-Bild-Versatz) zwischen einem zentralen Objektfeldpunkt und einem zentralen Bildfeldpunkt beträgt etwa 1100 mm. Ein Arbeitsabstand zwischen dem Spiegel M5 und der Bildebene **9** beträgt 90 mm.

[0096] Die Spiegel der Projektionsoptik **7** können in einem Quader mit den xyz-Kantenlängen 913 mm \times 1418 mm \times 1984 mm untergebracht werden.

[0097] Die Projektionsoptik **7** ist bildseitig näherungsweise telezentrisch.

[0098] Anhand der **Fig. 3** und **Fig. 5** 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. Die **Fig. 3** zeigt wiederum einen Meridionalschnitt und die **Fig. 5** zeigt eine Sagittal-Ansicht der Projektionsoptik **21**. Komponenten und Funktionen, die vorstehend im Zusammenhang mit den **Fig. 1**, **Fig. 2** und **Fig. 4** bereits erläutert wurden, tragen gegebenenfalls die gleichen Bezugsziffern und werden nicht nochmals im Einzelnen diskutiert.

[0099] Die Spiegel M1 bis M6 sind wiederum als Freiformflächen-Spiegel ausgeführt, für die die vorstehend angegebene Freiformflächengleichung (1) gilt.

[0100] Die nachfolgende Tabelle zeigt wiederum die Spiegelparameter der Spiegel M1 bis M6 der Projektionsoptik **21**.

	M1	M2	M3	M4	M5	M6
maximaler Einfallswinkel [°]	9.0	14.2	16.6	11.3	21.4	9.7
Reflexionsflächenerstreckung in x-Richtung [mm]	509.7	525.9	442.0	857.3	464.6	950.6
Reflexionsflächenerstreckung in y-Richtung [mm] maximaler	210.7	153.5	171.9	293.9	172.2	917.1
Spiegeldurchmesser [mm]	509.7	526.0	442.1	857.3	464.6	950.9

[0101] Keiner der Spiegel M1 bis M6 hat ein y/x-Aspektverhältnis seiner Reflexionsfläche, das größer ist als 1. Das kleinste y/x-Aspektverhältnis hat der Spiegel M2 mit etwa 1:3,4.

[0102] Den größten maximalen Spiegeldurchmesser hat hier der Spiegel M6 mit 950,9 mm. 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

	Fig. 3
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	15.3 ml
Blende	AS

Tabelle 1 zu Fig. 3

Oberfläche	Radius_x[mm]	Power_x[1/mm]	Radius_y[mm]	Power_y[1/mm]	Betriebsmodus
M6	-1006.7284257	0.0019693	-842.2517827	0.0023954	REFL
M5	5965.3172078	-0.0003353	391.8243663	-0.0051043	REFL
M4	-1561.8151501	0.0012619	-1649.3044398	0.0012306	REFL
M3	1880.6366574	-0.0010299	3383.4646405	-0.0006104	REFL
M2	-5843.2989604	0.0003379	-914.8700717	0.0022144	REFL
M1	-4100.6049314	0.0004851	-898.9161353	0.0022371	REFL

Tabelle 2 zu Fig. 3

Koeffizient	M6	M5	M4
KY	0.00000000	0.00000000	0.00000000
KX	0.00000000	0.00000000	0.00000000
RX	-1006.72842600	5965.31720800	-1561.81515000
C7	-2.36080773e-08	1.28554798e-06	3.94514132e-09
C9	-4.2069464e-09	1.07681842e-06	-1.62903175e-09
C10	-1.17644873e-11	4.17941495e-10	-6.48276378e-12
C12	-3.59134517e-11	2.88742693e-09	1.76483997e-11
C14	-1.63305797e-11	6.95203918e-09	3.4186017e-13
C16	-3.32910335e-14	1.11774422e-12	7.60337079e-16
C18	-3.36483434e-14	1.32703447e-11	6.40178912e-15
C20	-7.90772381e-15	1.3867734e-11	2.20113512e-14
C21	-2.39696783e-17	7.7521509e-16	-5.4865664e-18
C23	-7.21389701e-17	1.13884842e-14	4.97674411e-18
C25	-8.58520679e-17	5.1496675e-14	1.61922965e-17
C27	-2.49737385e-17	1.03640903e-13	5.2042106e-17
C29	-2.36771533e-20	6.69920634e-18	-2.46740499e-21
C31	-7.23068755e-20	7.48829488e-17	2.94884664e-20
C33	-5.04364058e-20	3.19263293e-16	9.68386762e-20
C35	-8.81491788e-21	4.7637767e-17	1.61788245e-19
C36	-3.07931348e-23	1.88599363e-21	-4.7228178e-25
C38	-1.2368233e-22	3.86262162e-20	1.5000994e-23
C40	-2.10717929e-22	3.74624343e-19	-1.71575087e-22
C42	-1.55975256e-22	5.55280341e-19	-2.29927658e-21
C44	-3.49712831e-23	2.54793079e-19	-4.86801861e-21
C46	-2.66204224e-26	6.027065e-24	8.05564747e-27
C48	-1.06852252e-25	1.35565132e-22	-2.12494726e-26
C50	-1.39905245e-25	1.28558155e-21	3.31373857e-25
C52	-7.38507052e-26	3.91068516e-21	5.70573409e-24

Koeffizient	M6	M5	M4
C54	-1.20370276e-26	-7.12291126e-21	1.41345158e-24
C55	-2.69457175e-29	-2.23174837e-27	-2.1395474e-30
C57	-1.77986898e-28	3.32509965e-25	-1.48447807e-28
C59	-3.66895205e-28	3.53118757e-24	3.27794124e-28
C61	-3.98218369e-28	2.6586045e-23	1.89615686e-26
C63	-2.03566054e-28	4.0294128e-23	1.00894697e-25
C65	-5.30268041e-29	3.23594134e-22	1.13309229e-25
C67	-3.0047318e-32	2.9829458e-28	-1.83843732e-32
C69	-1.55074503e-31	7.06201039e-27	-2.03057508e-31
C71	-4.70669939e-31	7.46696177e-26	1.53278455e-30
C73	-3.89482265e-31	1.82406791e-25	-5.45541074e-29
C75	-8.18915595e-32	8.6022715e-25	-3.66861957e-28
C77	-8.15530371e-33	6.57527779e-25	-1.39584841e-28
C78	-3.3235481e-35	6.71728717e-32	1.15787845e-35
C80	-2.61100277e-34	-1.18245822e-30	1.13061166e-33
C82	-1.07477883e-33	3.624861e-29	3.47838169e-33
C84	-1.84308773e-33	-9.0142297e-29	-5.12555002e-32
C86	-1.82743964e-33	-1.42012455e-27	-5.72799315e-31
C88	-9.28722157e-34	-1.85608864e-27	-1.62324547e-30
C90	-1.04744708e-34	-2.7671563e-26	-3.15634748e-31
C92	-1.28436626e-37	-3.28236635e-33	4.59915186e-38
C94	-4.58925734e-37	-6.13084953e-32	1.76190676e-36
C96	1.46331065e-37	-1.19479671e-30	1.11464545e-35
C98	5.73381884e-37	-1.06320106e-29	9.94287718e-36
C100	2.03899668e-37	-2.83336892e-29	1.19466153e-33
C102	-3.72313868e-37	-1.09821473e-28	6.56891196e-33
C104	-1.33892457e-37	8.26930634e-29	6.75668551e-34
C105	2.54605643e-42	-2.91865459e-37	-2.91255207e-41
C107	4.2759669e-40	4.89002957e-36	-3.18092396e-39
C109	1.37326821e-39	-5.61432253e-34	-2.61564889e-38
C111	2.26926013e-39	-8.66021369e-33	-3.59867394e-38
C113	3.77714415e-39	-1.88255881e-32	1.06600252e-36
C115	3.89548381e-39	-7.64730421e-32	6.80748387e-36
C117	2.09996643e-39	-3.16857153e-32	2.850714e-36
C119	2.54320661e-40	3.19444666e-31	-1.04473406e-35
C121	1.21614444e-43	2.32998757e-38	0
C123	6.49368051e-44	5.04254106e-37	0
C125	-2.89343618e-42	7.30943297e-36	0
C127	-6.07402874e-42	1.21067923e-34	0
C129	-6.32771343e-42	7.23619769e-34	0
C131	-3.36969492e-42	1.2428046e-33	0
C133	-2.104793e-43	3.52791806e-33	0
C135	1.77306314e-43	-1.02737596e-32	0
C136	-1.52575809e-46	2.12924071e-42	0
C138	-2.30237851e-45	2.07292225e-40	0
C140	-7.87878875e-45	4.36510753e-39	0
C142	-1.5800379e-44	9.4878367e-38	0
C144	-2.52175277e-44	9.4252e-37	0
C146	-2.658207e-44	3.21331684e-36	0
C148	-1.73727174e-44	1.06350303e-35	0
C150	-6.65813017e-45	-1.05592399e-35	0
C152	-8.98636196e-46	3.26212163e-35	0

Tabelle 3a zu Fig. 3

DE 10 2015 226 531 A1 2016.10.20

Koeffizient	M3	M2	M1
KY	0.00000000	0.00000000	0.00000000
KX	0.00000000	0.00000000	0.00000000
RX	1880.63665700	-5843.29896000	-4100.60493100
C7	-4.94029343e-08	1.49179578e-07	7.73453613e-09
C9	1.90649177e-07	-1.56715489e-08	3.20483091e-08
C10	8.97962559e-11	1.04449418e-10	-2.45522201e-11
C12	-8.62966033e-10	-3.739312e-12	-1.01617201e-10
C14	1.72078355e-10	-1.31318293e-10	-2.77000383e-10
C16	-2.00154532e-13	-9.73768186e-14	2.03576356e-14
C18	-9.11364311e-13	-1.58355358e-13	1.94910249e-13
C20	-2.01758014e-12	4.96235302e-13	-6.81883948e-13
C21	7.35882998e-16	8.20220031e-17	-4.61681069e-18
C23	4.83251272e-16	1.51701684e-16	-7.82206035e-18
C25	2.49131175e-15	-7.21394993e-16	3.21596342e-16
C27	-4.5294101e-15	-2.73671786e-15	-1.27108558e-15
C29	1.74504569e-18	-1.9860959e-21	-2.12228815e-20
C31	-2.18679872e-18	5.75861209e-19	-2.22428091e-19
C33	-9.36508454e-18	-1.31083424e-18	-9.06535225e-20
C35	-4.96430229e-17	-3.13301142e-17	-3.51793744e-17
C36	3.43328396e-22	8.20150186e-23	3.04376562e-23
C38	-1.35049644e-20	1.73800191e-21	1.58444309e-22
C40	7.32106265e-21	2.64009548e-20	1.87047244e-21
C42	4.07732261e-19	2.4290507e-19	1.91910499e-20
C44	6.44543663e-19	9.92250873e-19	-1.3098699e-19
C46	-1.1357514e-23	-6.85737803e-25	-6.72152116e-26
C48	1.88750153e-23	-8.28542257e-24	9.48692673e-25
C50	2.43074745e-22	1.86471291e-22	2.91710329e-24
C52	4.11977741e-22	2.03147349e-21	-2.07056289e-23
C54	4.49237652e-21	3.61364485e-23	-2.45380768e-23
C55	-1.28868081e-27	1.40543445e-27	-8.73981974e-28
C57	3.3048524e-25	-3.74175772e-26	-2.95434759e-28
C59	3.91588107e-25	-5.74632156e-25	6.78617966e-27
C61	-1.12703785e-23	-9.65404462e-24	-5.41578074e-25
C63	-5.52941228e-23	-6.43759572e-23	-3.28650311e-24
C65	-1.17857183e-24	-2.55557626e-22	1.29846463e-24
C67	5.60276243e-30	1.246671e-29	2.14903234e-30
C69	-2.96093489e-28	1.81147151e-28	6.03676056e-30
C71	-1.53896678e-26	1.04355606e-27	6.52210129e-29
C73	-5.38762556e-27	-6.35307839e-26	2.61271121e-28
C75	7.03953591e-26	-3.37289815e-25	3.72205453e-28
C77	-2.39732418e-25	4.3699226e-25	6.61454986e-26
C78	-7.38287739e-32	-5.15111147e-33	7.78620254e-33
C80	-8.0679497e-30	5.93676557e-31	-1.10593906e-32
C82	-1.86642027e-29	7.6402297e-30	-7.5135761e-31
C84	1.46666077e-28	1.53054394e-28	4.2156926e-30
C86	1.16839579e-27	1.93800725e-27	7.20454782e-29
C88	2.71039548e-27	9.64306599e-27	2.63101456e-28
C90	-5.57449245e-27	3.35251116e-26	1.62675507e-28
C92	6.90715973e-35	-7.74524297e-35	-1.59436458e-35
C94	-3.53289956e-33	-9.77085827e-34	-6.04425154e-35
C96	1.38988534e-31	-2.7791015e-32	-8.37212226e-34
C98	1.05676201e-30	4.47091465e-32	-4.218493e-33
C100	-2.8300685e-31	4.8671863e-30	-9.32282295e-33
C102	-4.21395731e-30	1.61442883e-29	-2.37304382e-32
C104	4.27990879e-30	-4.06284648e-29	-3.24174527e-30

Koeffizient	M3	M2	M1
C105	8.74018101e-37	9.1640292e-39	-2.68034362e-38
C107	7.20609305e-35	-3.31672266e-36	6.17847878e-38
C109	3.05138754e-34	-4.71797412e-35	6.49183349e-36
C111	-1.16191956e-33	-6.0757407e-34	1.55751393e-35
C113	-1.12796824e-32	-1.48310841e-32	-4.66813792e-34
C115	-4.60817817e-32	-1.3034314e-31	-2.94237332e-33
C117	-5.07248021e-32	-5.0498434e-31	-8.09943855e-33
C119	3.25810602e-31	-1.65054488e-30	-1.34504174e-32

Tabelle 3b zu Fig. 3

Oberfläche	DCX	DCY	DCZ
Bildebene	0.00000000	0.00000000	0.00000000
M6	0.00000000	0.00000000	823.56702252
M5	0.00000000	180.17345446	156.98468248
M4	0.00000000	-344.49567167	2142.94126767
M3	0.00000000	169.32702293	1392.39086385
Blende	0.00000000	124.47525498	1855.02797681
M2	0.00000000	62.86723152	2490.50255031
M1	0.00000000	488.47152498	1529.14826845
Objektebene	0.00000000	177.89305993	3000.03510500

Tabelle 4a zu Fig. 3

Oberfläche	TLA[deg]	TLB[deg]	TLC[deg]
Bildebene	-0.00000000	0.00000000	-0.00000000
M6	7.56264709	0.00000000	-0.00000000
M5	14.96206408	180.00000000	0.00000000
M4	24.59708091	0.00000000	-0.00000000
M3	19.96636844	180.00000000	0.00000000
Blende	8.44368788	0.00000000	-0.00000000
M2	14.70850835	0.00000000	-0.00000000
M1	17.90125287	180.00000000	0.00000000
Objektebene	16.92289808	0.00000000	-0.00000000

Tabelle 4b zu Fig. 3

Oberfläche	Einfallsinkel[deg]	Reflektivität
M6	7.56264709	0.65958150
M5	0.16323010	0.66566562
M4	9.79824693	0.65514770
M3	14.42895939	0.64127863
M2	9.17109930	0.65652593
M1	5.97835478	0.66195441
Gesamttransmission		0.0802

Tabelle 5 zu Fig. 3

X[mm]	Y[mm]	Z[mm]
-0.00000000	-74.47687523	0.00000000
-33.42303871	-73.30016348	0.00000000
-66.20895326	-69.81789891	0.00000000
-97.69836577	-64.16914383	0.00000000
-127.19700543	-56.57212560	0.00000000

X[mm]	Y[mm]	Z[mm]
-153.97830881	-47.30798153	0.00000000
-177.30271236	-36.70256857	0.00000000
-196.45254533	-25.10940417	0.00000000
-210.77915870	-12.89656449	0.00000000
-219.75712654	-0.43675223	0.00000000
-223.03684474	11.90374040	0.00000000
-220.48252499	23.78006122	0.00000000
-212.18414282	34.88544628	0.00000000
-198.44034760	44.96581894	0.00000000
-179.71982840	53.82983649	0.00000000
-156.61422236	61.35361805	0.00000000
-129.79477480	67.47742250	0.00000000
-99.97891473	72.19240955	0.00000000
-67.90733792	75.52146833	0.00000000
-34.33014480	77.49927798	0.00000000
-0.00000000	78.15483696	0.00000000
34.33014480	77.49927798	0.00000000
67.90733792	75.52146833	0.00000000
99.97891473	72.19240955	0.00000000
129.79477480	67.47742250	0.00000000
156.61422236	61.35361805	0.00000000
179.71982840	53.82983649	0.00000000
198.44034760	44.96581894	0.00000000
212.18414282	34.88544628	0.00000000
220.48252499	23.78006122	0.00000000
223.03684474	11.90374040	0.00000000
219.75712654	-0.43675223	0.00000000
210.77915870	-12.89656449	0.00000000
196.45254533	-25.10940417	0.00000000
177.30271236	-36.70256857	0.00000000
153.97830881	-47.30798153	0.00000000
127.19700543	-56.57212560	0.00000000
97.69836577	-64.16914383	0.00000000
66.20895326	-69.81789891	0.00000000
33.42303871	-73.30016348	0.00000000

Tabelle 6 zu Fig. 3

[0103] Eine Gesamt-Reflektivität der Projektionsoptik **21** beträgt etwa 8,02 %.

[0104] 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 5,2°. Eine Baulänge der Projektionsoptik **21** beträgt etwa 3000 mm. Eine Pupillenobskuration beträgt 9 %. Ein Objekt-Bild-Versatz d_{OIS} beträgt etwa 177,89 mm und ist damit deutlich kleiner als der Objekt-Bild-Versatz d_{OIS} der Projektionsoptik **7** nach **Fig. 2**.

[0105] Die Spiegel der Projektionsoptik **21** können in einem Quader mit xyz-Kantenlängen von 951 mm × 1047 mm × 2380 mm untergebracht werden.

[0106] Das Retikel **10** und damit die Objektebene **5** ist um einen Winkel T von 10° um die x-Achse relativ zur Bildebene **9** verkippt. Dieser Kippwinkel T ist in der **Fig. 3** angedeutet.

[0107] Ein Arbeitsabstand zwischen dem wafernächsten Spiegel M5 und der Bildebene **9** beträgt etwa 126 mm.

[0108] 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]
- WO 2008/141686 A1 [0002]
- WO 2015/014753 A1 [0002, 0057]
- DE 10155711 A [0057]
- DE 102010029050 A1 [0065]
- US 2007-0058269 A1 [0070]

Patentansprüche

1. Abbildende Optik (7; 21) für die Projektionslithographie

- mit einer Mehrzahl von Spiegeln (M1 bis M6;) 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) und
 - einer zweiten kartesischen Objektfeldkoordinate (y) und
- wobei eine dritte kartesische Normalkoordinate (z) senkrecht auf beiden Objektfeldkoordinaten (x, y) steht,
- wobei die abbildende Optik (7; 21) so ausgeführt ist, dass
 - das Abbildungslicht (3) in einer ersten Abbildungslicht-Ebene (xz_{HR}) verläuft, in der eine Abbildungslicht-Hauptpropagationsrichtung (z_{HR}) liegt, und
 - das Abbildungslicht (3) in einer zweiten Abbildungslicht-Ebene (yz) verläuft, in der die Abbildungslicht-Hauptpropagationsrichtung (z_{HR}) liegt und die senkrecht auf der ersten Abbildungslicht-Ebene (xz_{HR}) steht,
- wobei die Anzahl von Erstebenen-Zwischenbildern (18) des Abbildungslights (3), das in der ersten Abbildungslicht-Ebene (xz_{HR}) verläuft, und die Anzahl der Zweitebenen-Zwischenbilder (19, 20) von Abbildungslicht (3), das in der zweiten Abbildungslicht-Ebene (yz) verläuft, voneinander verschieden sind,
- wobei alle Spiegel (M1 bis M6) als NI-Spiegel ausgeführt sind.

2. Abbildende Optik nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, dass diejenige Abbildungslicht-Ebene (yz), in der die größere Anzahl an Zwischenbildern (19, 20) vorliegt, mit einer Faltebene (yz) der Spiegel (M1 bis M6) zusammenfällt.

3. Abbildende Optik nach Anspruch 1 oder 2, gekennzeichnet durch eine Aperturblende (AS), angeordnet im Abbildungslicht-Strahlengang zwischen zweien (M2, M3) der Spiegel (M1 bis M6), wobei die Aperturblende (AS) einen gesamten äußeren Querschnitt eines Bündels des Abbildungslights (3) begrenzt.

4. Abbildende Optik nach Anspruch 3, dadurch gekennzeichnet, dass die Aperturblende (AS) in einem Teil-Strahlengang des Abbildungslights (3) zwischen zweien (M2, M3) der Spiegel (M1 bis M6) liegt, wobei die Aperturblende (AS) räumlich benachbart zu einem der Zweitebenen-Zwischenbilder (19) liegt, das in einem weiteren Teil-Strahlengang des Abbildungslights (3) zwischen zweien (M1, M2) der Spiegel (M1 bis M6) angeordnet ist.

5. Abbildende Optik nach einem der Ansprüche 1 bis 4, gekennzeichnet durch eine Pupillenobskuration, die höchstens 15% beträgt.

6. Abbildende Optik nach einem der Ansprüche 1 bis 5, gekennzeichnet durch einen maximalen Einfallswinkel des Abbildungslights (3) auf allen Spiegeln (M1 bis M6), der kleiner ist als 25°.

7. Abbildende Optik nach Anspruch 6, gekennzeichnet durch einen maximalen Einfallswinkel des Abbildungslights (3) auf den ersten vier Spiegeln (M1 bis M4) im Abbildungslicht-Strahlengang nach dem Objektfeld (4), der kleiner ist als 20°.

8. Abbildende Optik nach einem der Ansprüche 1 bis 7, dadurch gekennzeichnet, dass die Objektebene (5) relativ zur Bildebene (9) um einen Winkel (T) verkippt ist, der größer ist als 0°.

9. Abbildende Optik nach einem der Ansprüche 1 bis 8, dadurch gekennzeichnet, dass mindestens einer der Spiegel (M6) eine Durchtrittsöffnung (17) zum Durchtritt des Abbildungslights (3) aufweist und um die Durchtrittsöffnung (17) herum zur Reflexion des Abbildungslights (3) ausgeführt ist, wobei mindestens ein Zwischenbild (18, 20) im Bereich der Durchtrittsöffnung (17) liegt.

10. Abbildende Optik nach Anspruch 9, dadurch gekennzeichnet, dass sowohl eines der Erstebenen-Zwischenbilder (18) als auch eines der Zweitebenen-Zwischenbilder (20) im Bereich der Durchtrittsöffnung (17) liegt.

11. Optisches System

- mit einer abbildenden Optik nach einem der Ansprüche 1 bis 10,
- mit einer Hilfseinrichtung (18a, 19a, 20a) angeordnet in einer Zwischenbildebene eines der Zwischenbilder (18; 19, 20).

12. Optisches System

- mit einer abbildenden Optik nach einem der Ansprüche 1 bis 10,
- mit einer Beleuchtungsoptik (**6**) zur Beleuchtung des Objektfeldes (**4**) mit Beleuchtungslicht (**3**) einer Lichtquelle (**2**).

13. Projektionsbelichtungsanlage mit einem optischen System nach Anspruch 11 oder 12 und mit einer Lichtquelle (**2**) zur Erzeugung des Beleuchtungslichts (**3**).

14. 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 13,
- Erzeugen einer Mikro- beziehungsweise Nanostruktur auf dem Wafer (**11**).

15. Strukturiertes Bauteil, hergestellt nach einem Verfahren nach Anspruch 14.

Es folgen 5 Seiten Zeichnungen

Anhängende Zeichnungen

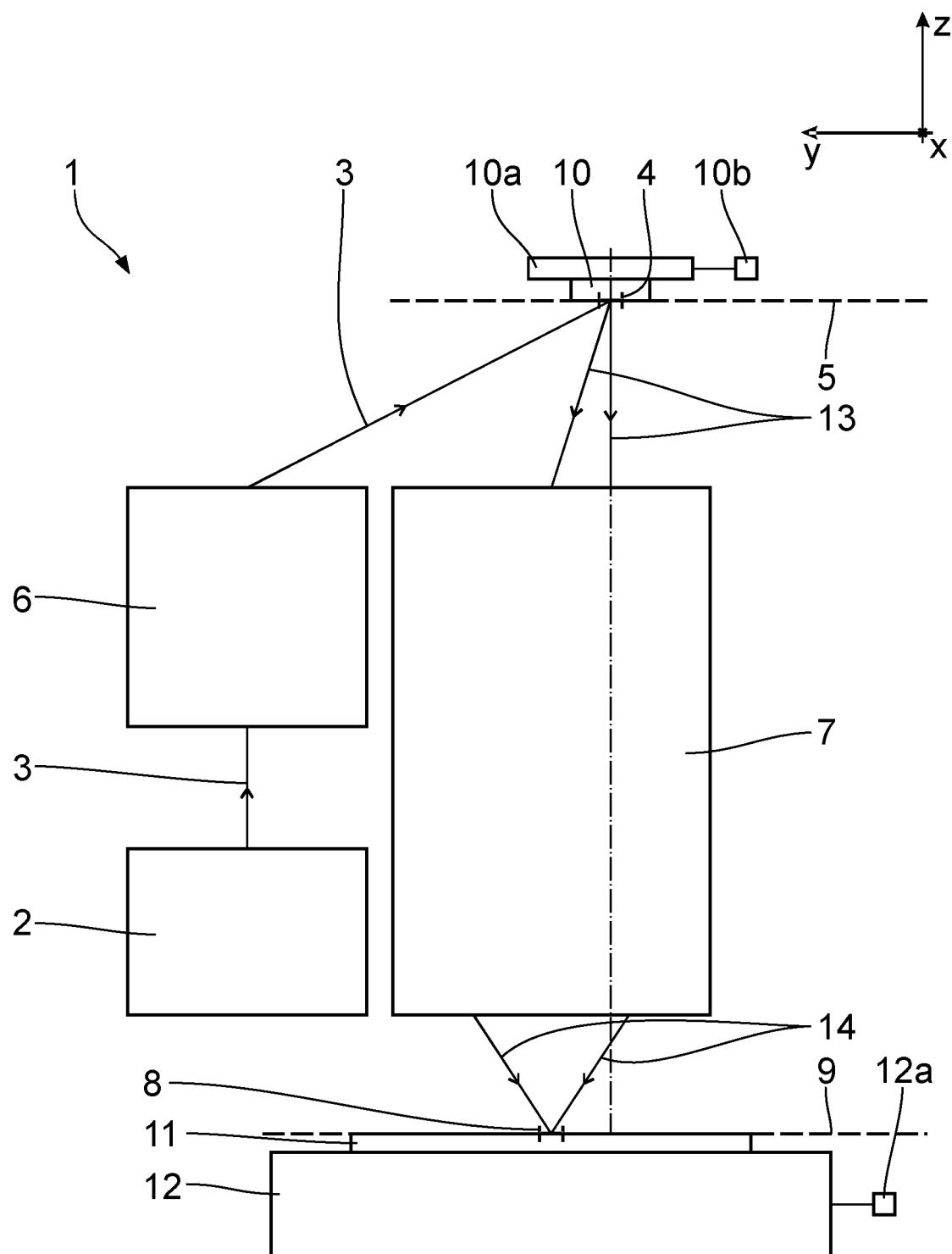


Fig. 1

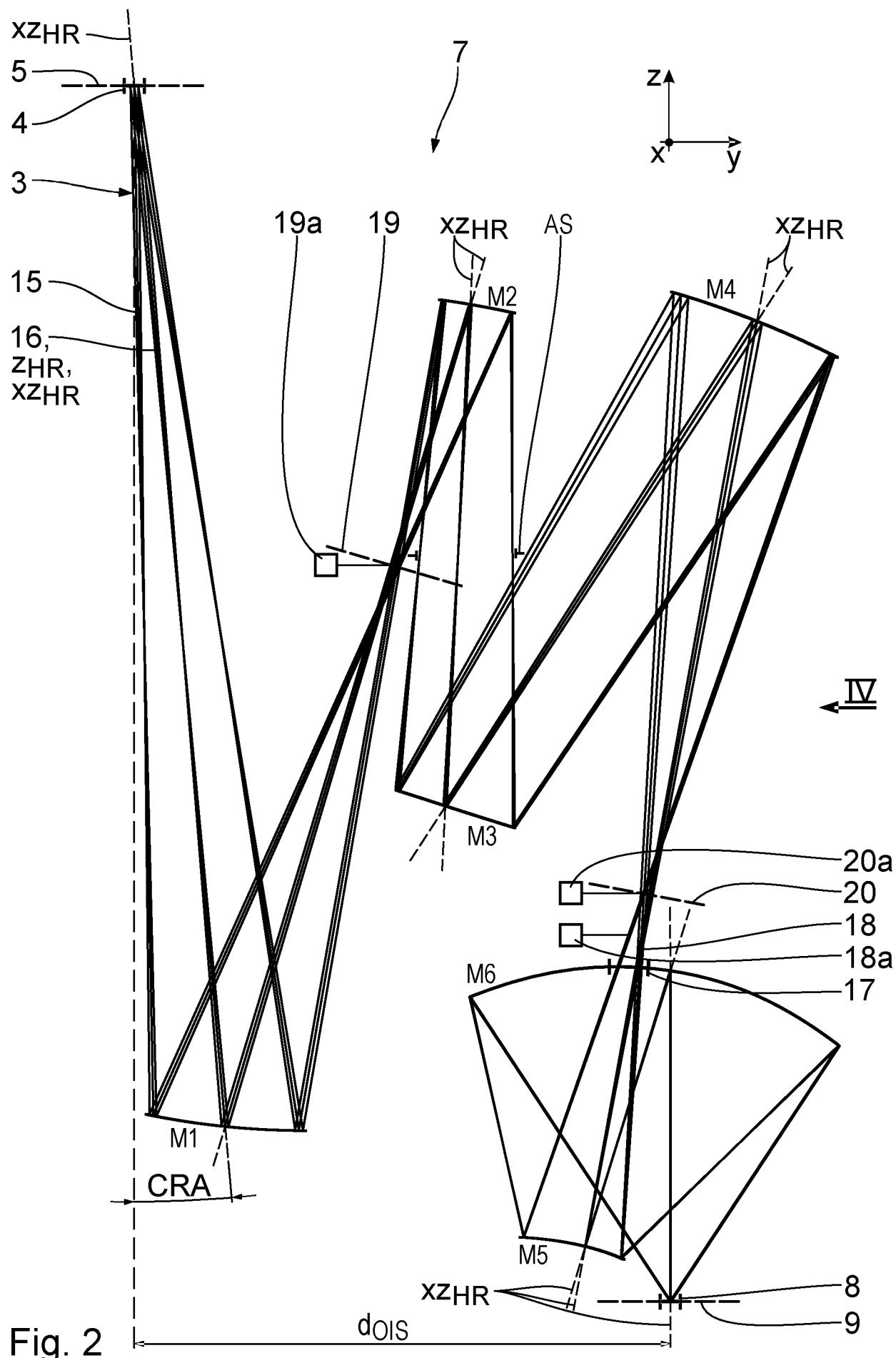


Fig. 2

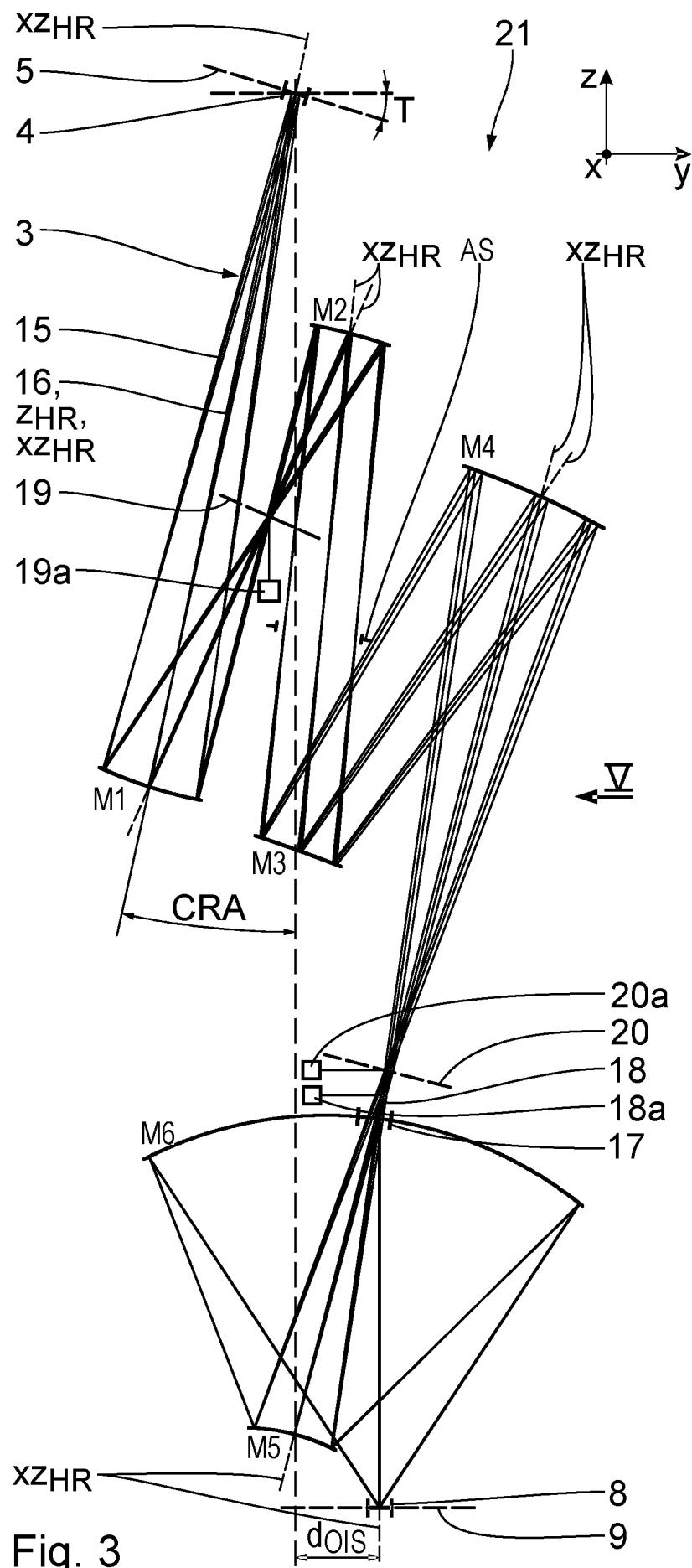


Fig. 3

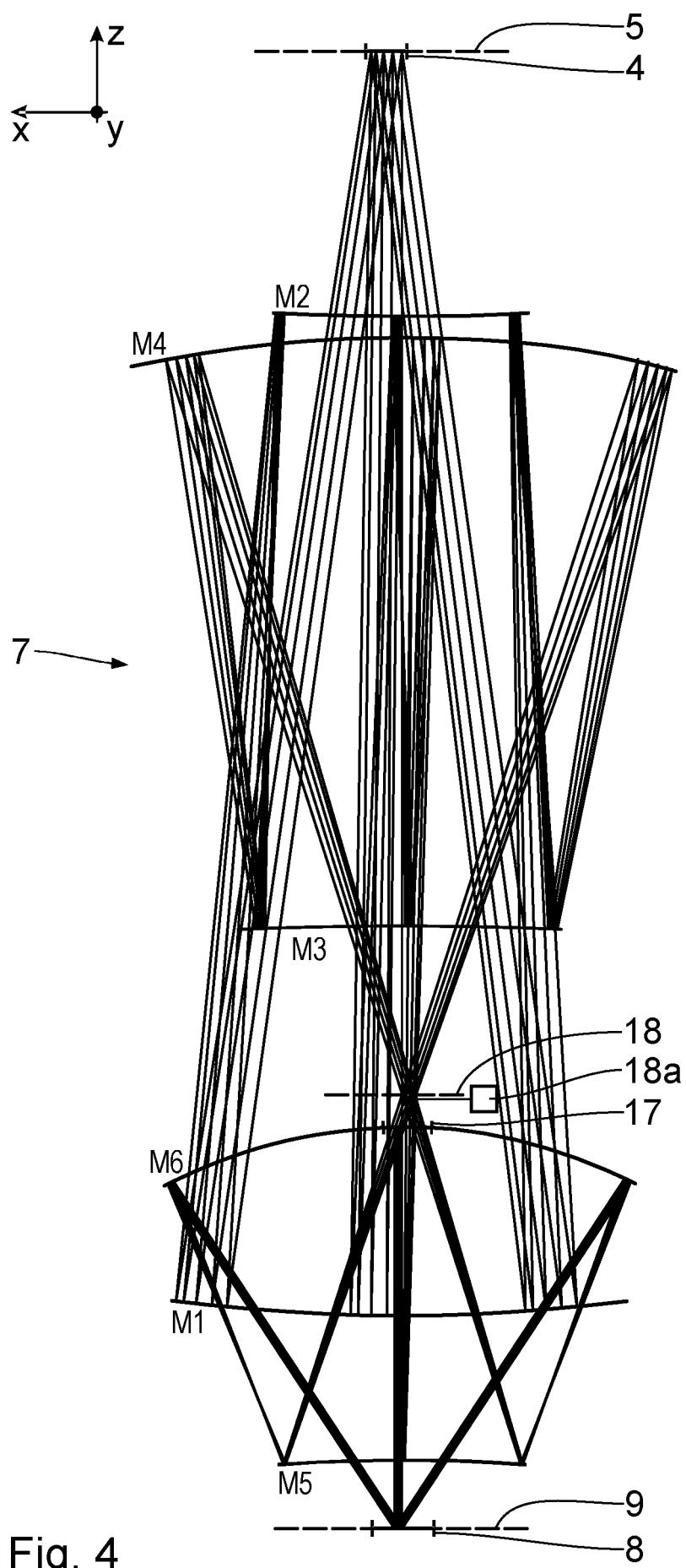


Fig. 4

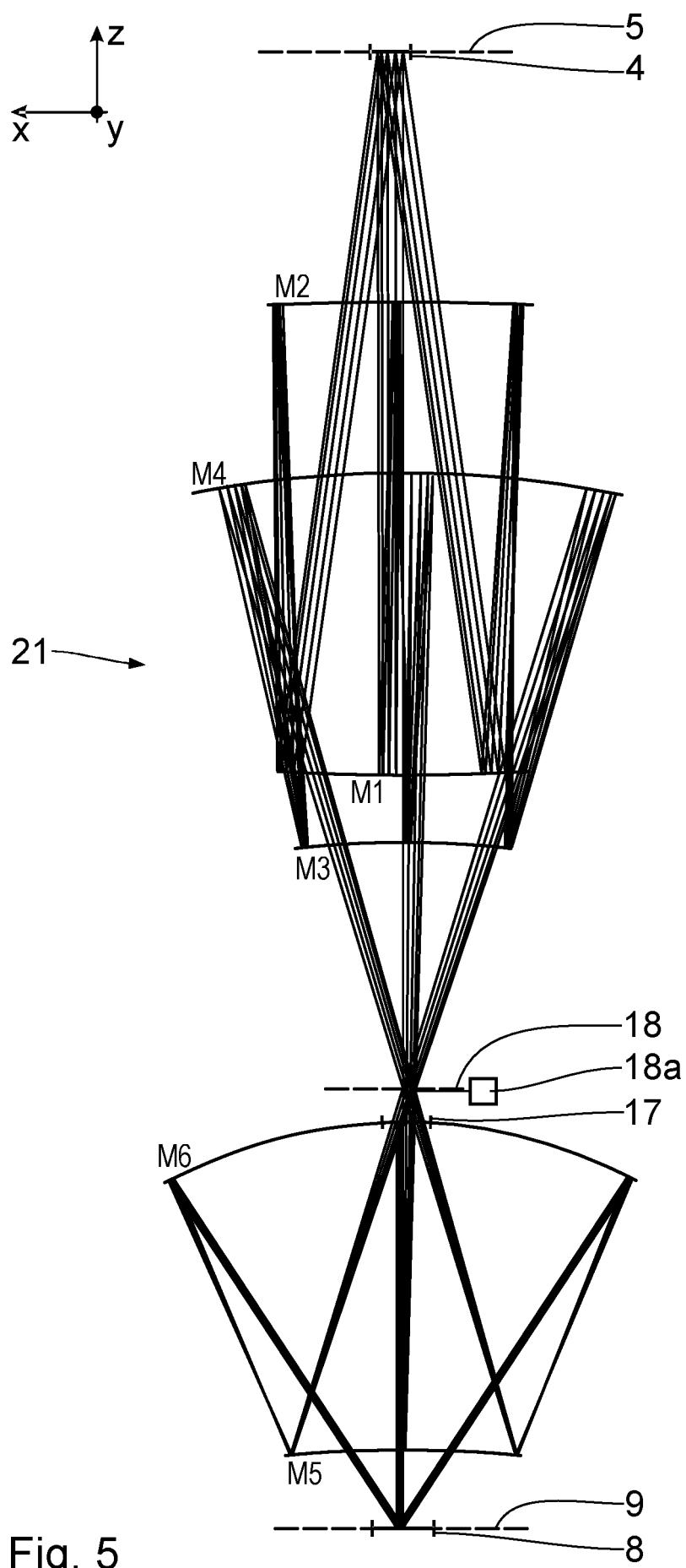


Fig. 5