



(10) **DE 10 2011 076 752 A1** 2012.12.06

(12) **Offenlegungsschrift**

(21) Aktenzeichen: **10 2011 076 752.5**

(22) Anmeldetag: **31.05.2011**

(43) Offenlegungstag: **06.12.2012**

(51) Int Cl.: **G02B 13/14 (2011.01)**
G03F 7/20 (2011.01)

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

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

(72) Erfinder:
Wolf, Alexander, 73447, Oberkochen, DE

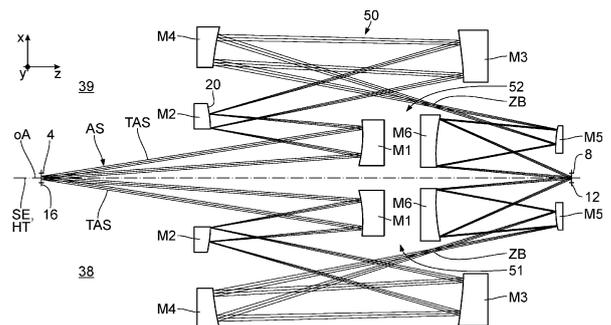
US 2008 / 0 246 932 A1
US 4 861 148 A

Prüfungsantrag gemäß § 44 PatG ist gestellt.

Die folgenden Angaben sind den vom Anmelder eingereichten Unterlagen entnommen

(54) Bezeichnung: **Abbildende Optik**

(57) Zusammenfassung: Eine abbildende Optik (50) dient zur Abbildung eines Objektfeldes (4) in ein Bildfeld (8). Ein Abbildungsstrahlengang (AS) zwischen dem Objektfeld (4) und dem Bildfeld (8) ist unterteilt in eine Mehrzahl von Teil-Abbildungsstrahlengängen (TAS). Die abbildende Optik (50) ist so ausgeführt, dass die Teil-Abbildungsstrahlengänge (TAS) zwischen dem Objektfeld (4) und dem Bildfeld (8) voneinander komplett separiert durch optische Komponenten (M1 bis M6) der abbildenden Optik (50) geführt verlaufen, die Teil-Abbildungsstrahlengänge (TAS) also an keiner Stelle im Strahlengang zwischen dem Objektfeld (4) und dem Bildfeld (8) gleiche Bereiche bündelführender Oberflächen (20) der abbildenden Optik (50) beaufschlagen. Es resultiert eine abbildende Optik, bei der ein Auflösungsvermögen, insbesondere bei der Herstellung von mikro- bzw. nanostrukturierten Halbleiter-Bauelementen, erhöht ist.



Beschreibung

[0001] Die Erfindung betrifft eine abbildende Optik zur Abbildung eines Objektfeldes in ein Bildfeld. Ferner betrifft die Erfindung ein optisches System mit einer derartigen abbildenden Optik und einer Beleuchtungsoptik zur Beleuchtung des Objektfeldes, eine Projektionsbelichtungsanlage mit einem derartigen optischen System und einer Lichtquelle, ein Verfahren zur Herstellung eines mikro- bzw. nanostrukturierten Bauteils mithilfe einer derartigen Projektionsbelichtungsanlage sowie ein strukturiertes Bauteil, hergestellt nach einem derartigen Verfahren.

[0002] Abbildende Optiken der eingangs genannten Art sind bekannt aus der US 2010/0231885 A1 und der US 7,414,781 B2.

[0003] Es ist eine Aufgabe der vorliegenden Erfindung, eine abbildende Optik der eingangs genannten Art derart weiterzubilden, dass ein Auflösungsvermögen der abbildenden Optik, insbesondere zur Nutzung bei der Herstellung von mikro- bzw. nanostrukturierten Halbleiter-Bauelementen, erhöht ist.

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

[0005] Durch die erfindungsgemäße Führung voneinander separierter Teil-Abbildungsstrahlengänge zwischen dem Objektfeld und dem Bildfeld ergibt sich eine gesamte numerische Apertur der abbildenden Optik, insbesondere eine gesamte bildseitige numerische Apertur, die sich aus den numerischen Aperturen von Teil-Optiken zusammensetzt, die jeweils die Teil-Abbildungsstrahlengänge führen. Effektiv ergibt sich hierdurch eine Vergrößerung einer feldseitigen, gesamten numerischen Apertur. Diese gesamte numerische Apertur kann durch die numerischen Aperturen der Teil-Optiken aufgespannt werden, sodass die gesamte numerische Apertur größer sein kann als eine Summe der numerischen Aperturen der Teil-Optiken. Eine Pupille der abbildenden Optiken kann sich aus Teil-Pupillen der Teil-Optiken zusammensetzen, die einander in einer Pupillenebene nicht überlappen. Eine Pupillenobskuration der abbildenden Optik kann geringer sein als 50 %, kann geringer sein als 40 %, kann geringer sein als 35 % und kann insbesondere 31 % betragen. Der Zahlenwert der Pupillenobskuration in Prozent ist definiert als ein Verhältnis der aufgrund der Pupillenobskuration ausgeblendeten Fläche innerhalb einer Pupille relativ zu einer Gesamtfläche der Pupille der abbildenden Optik.

[0006] Mindestens zwei voneinander getrennte Teil-Pupillen nach Anspruch 2 ermöglichen einerseits eine getrennte Führung der Teil-Abbildungsstrahlengänge und ergeben zudem eine Beleuchtung aus unterschiedlichen Beleuchtungswinkeln. Auch mehr als

zwei voneinander getrennte Teil-Pupillen sind möglich, beispielsweise drei oder vier voneinander getrennte Teil-Pupillen von die Teil-Abbildungsstrahlengänge führenden Teil-Optiken. Auch eine noch größere Anzahl von Teil-Pupillen, die voneinander getrennt sind, ist möglich, beispielsweise fünf, sechs, sieben, acht oder auch neun Teil-Pupillen.

[0007] Eine mehrzählige symmetrische Anordnung der Teil-Pupillen nach Anspruch 3 ist gut an die Symmetrie von typischerweise abzubildenden Objektstrukturen angepasst. Bei der mehrzähligen Symmetrie kann es sich um eine zweizählige, dreizählige, vierzählige oder generell um eine n-zählige Symmetrie handeln.

[0008] Eine mehrzählige symmetrische Anordnung von Teil-Optiken, die die abbildende Optik aufbauen, nach Anspruch 4 hat Vorteile, die denen der mehrzählige symmetrisch angeordneten Teil-Pupillen entsprechen.

[0009] Eine Spiegelsymmetrie der optischen Komponente nach Anspruch 5 verringert den Herstellungsaufwand der abbildenden Optik.

[0010] Eine Halbraum-Trennung der optischen Komponente nach Anspruch 6 erleichtert ein Design der abbildenden Optik. Die Halbraum-Trennebene kann mit der Spiegel-Symmetrie zusammenfallen. Da eine Halbraum-Trennung auch dann erfolgen kann, wenn die Teil-Optiken nicht spiegelsymmetrisch zueinander angeordnet sind, ist dies nicht zwingend.

[0011] Bei einer Anordnung nach Anspruch 7 ist zumindest eine optische Komponente einer der Teil-Optiken in einem Halbraum und zumindest eine andere optische Komponente dieser Teil-Optik im anderen Halbraum angeordnet. Auf diese Weise sind einander durchdringende Designs der Teil-Optiken möglich, was die Design-Freiheitsgrade erhöht.

[0012] Bei einer Anordnung nach Anspruch 8 können insbesondere auch reflektierende Objekte, die abgebildet werden, zum Einsatz kommen. Es ist eine schiefe Beleuchtung möglich.

[0013] Eine bildseitige numerische Apertur der Teil-Optiken nach Anspruch 9 hat sich als vorteilhaft herausgestellt. Eine bildseitige gesamte numerische Apertur kann dann beispielsweise 0,5 betragen.

[0014] Eine katoptrische Ausführung nach Anspruch 10 hat sich als vorteilhaft herausgestellt. Es können z. B. sechs Spiegel pro Teil-Optik eingesetzt sein. Auch eine andere Zahl von Spiegeln, insbesondere eine ungerade Anzahl, ist möglich.

[0015] Eine monolithische Ausführung zumindest einer der optischen Komponenten nach Anspruch 11 erhöht die Stabilität der abbildenden Optik.

[0016] Die Vorteile eines optischen Systems nach Anspruch 12, einer Projektionsbelichtungsanlage nach Anspruch 13, eines Herstellungsverfahrens für ein mikro- bzw. nanostrukturiertes Bauelement nach Anspruch 14 und eines strukturierten Bauelements nach Anspruch 15, beispielsweise eines integrierten Halbleiterschaltkreises, beispielsweise eines Speicherchips, entsprechen denjenigen, die vorstehend unter Bezugnahme auf die erfindungsgemäße abbildende Optik bereits erläutert wurden. Bei der Lichtquelle kann es sich insbesondere um eine EUV-Lichtquelle handeln, was zu einer hohen Strukturauflösung der Projektionsbelichtungsanlage führt.

[0017] Ausführungsbeispiele der Erfindung werden nachfolgend anhand der Zeichnungen näher erläutert. In diesen zeigen:

[0018] [Fig. 1](#) schematisch eine Projektionsbelichtungsanlage für die EUV-Mikrolithografie;

[0019] [Fig. 2](#) in einer Seitenansicht (Zeichenebene senkrecht zu einer Objektebene und zu einer Bildebene) eine Ausführung einer Projektionsoptik der Projektionsbelichtungsanlage;

[0020] [Fig. 3](#) in einer Aufsicht eine Transmissionsmaske, die bei der Verwendung der Projektionsoptik nach [Fig. 2](#) anstelle einer in der [Fig. 1](#) gezeigten Reflexionsmaske zur Abbildung genutzt wird;

[0021] [Fig. 4](#) eine Aufsicht auf eine Eintrittspupille der Projektionsoptik nach [Fig. 2](#);

[0022] [Fig. 5](#) in einer zu [Fig. 2](#) ähnlichen Darstellung eine weitere Ausführung einer Projektionsoptik zum Einsatz in der Projektionsbelichtungsanlage anstelle der Projektionsoptik nach [Fig. 2](#);

[0023] [Fig. 6](#) in einer zu [Fig. 4](#) ähnlichen Darstellung eine Eintrittspupille der Projektionsoptik nach [Fig. 5](#);

[0024] [Fig. 7](#) in einer zu [Fig. 6](#) ähnlichen Darstellung eine Eintrittspupille einer weiteren Ausführung der Projektionsoptik;

[0025] [Fig. 8](#) in einem Meridionalschnitt eine weitere Ausführung der Projektionsoptik;

[0026] [Fig. 9](#) in einer zu [Fig. 6](#) ähnlichen Darstellung eine Eintrittspupille der Projektionsoptik nach [Fig. 8](#);

[0027] [Fig. 10](#) in einem Meridionalschnitt eine weitere Ausführung der Projektionsoptik;

[0028] [Fig. 11](#) in einer zu [Fig. 6](#) ähnlichen Darstellung eine Eintrittspupille der Projektionsoptik nach [Fig. 10](#);

[0029] [Fig. 12](#) in einem Meridionalschnitt eine weitere Ausführung der Projektionsoptik;

[0030] [Fig. 13](#) in einer zu [Fig. 6](#) ähnlichen Darstellung eine Eintrittspupille der Projektionsoptik nach [Fig. 12](#);

[0031] [Fig. 14](#) in einem Meridionalschnitt eine weitere Ausführung der Projektionsoptik;

[0032] [Fig. 15](#) in einer zu [Fig. 6](#) ähnlichen Darstellung eine Eintrittspupille der Projektionsoptik nach [Fig. 14](#).

[0033] Eine Projektionsbelichtungsanlage **1** für die Mikrolithographie hat eine Lichtquelle **2** für Beleuchtungslicht bzw. 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 insbesondere um eine Lichtquelle mit einer Wellenlänge von 13,5 nm oder 6,9 nm handeln. Es kann sich um eine LPP-(Laser Produced Plasma, lasererzeugtes Plasma)Lichtquelle oder um eine GDP-(Gas Discharge Produced Plasma, gasentladungserzeugtes Plasma)Lichtquelle 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 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 bzw. abbildenden Optik **7** wird das Objektfeld **4** in ein Bildfeld **8** in einer Bildebene **9** mit einem vorgegebenen Verkleinerungsmaßstab abgebildet. Die Beleuchtungsoptik **6** und die Projektionsoptik **7** stellen ein optisches System der Projektionsbelichtungsanlage **1** dar. Für die Projektionsoptik **7** kann eines der in den [Fig. 2](#) ff. dargestellten Ausführungsbeispiele eingesetzt werden. Die Projektionsoptik **7** nach [Fig. 1](#) verkleinert um einen Faktor **8**. Auch andere Verkleinerungsmaßstäbe sind möglich, zum Beispiel 4x, 5x oder auch Verkleinerungsmaßstäbe, die größer sind als 8x. Für das Beleuchtungslicht **3** mit EUV-Wellenlänge eignet sich insbesondere ein Abbildungsmaßstab von 8x, da hierdurch

ein objektseitiger Einfallswinkel auf einer Reflexionsmaske als Beispiel für ein abzubildendes Retikel **10** klein gehalten werden kann. Das Retikel **10** trägt die mit der Projektionsbelichtungsanlage **1** abzubildenden Strukturen. Ein Abbildungsmaßstab von 8x führt zudem nicht zur Notwendigkeit, unnötig große Masken einzusetzen. Die Bildebene **9** ist bei der Projektionsoptik **7** in den Ausführungen nach den **Fig. 2** ff. parallel zur Objektebene **5** angeordnet. Abgebildet wird hierbei ein mit dem Objektfeld **4** zusammenfallender Ausschnitt der Reflexionsmaske **10**, die auch als Retikel bezeichnet wird. Die Reflexionsmaske **10** wird von einem Retikel- bzw. Maskenhalter **11** getragen.

[0035] Die Abbildung durch die Projektionsoptik **7** erfolgt auf die Oberfläche eines Substrats **12** in Form eines Wafers, der von einem Substrat- bzw. Waferhalter **13** getragen wird. In der **Fig. 1** ist schematisch zwischen dem Retikel **10** und der Projektionsoptik **7** ein in diese einlaufendes Strahlenbündel **14** des Beleuchtungslichts **3** und zwischen der Projektionsoptik **7** und dem Substrat **12** ein aus der Projektionsoptik **7** auslaufendes Strahlenbündel **15** des Beleuchtungslichts **3** dargestellt. Eine bildfeldseitige numerische Apertur der Projektionsoptik **7** in der Ausführung nach **Fig. 2** kann 0,4 betragen oder noch größer sein. Dies ist in der **Fig. 1** nicht maßstäblich wiedergegeben.

[0036] 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 rechts und die z-Richtung nach unten.

[0037] Die Projektionsbelichtungsanlage **1** ist vom Scannertyp. Sowohl das Retikel **10** als auch das Substrat **12** werden beim Betrieb der Projektionsbelichtungsanlage **1** in der y-Richtung gescannt. Auch ein Steppertyp der Projektionsbelichtungsanlage **1**, bei dem zwischen einzelnen Belichtungen des Substrats **12** eine schrittweise Verlagerung des Retikels **10** und des Substrats **12** in der y-Richtung erfolgt, ist möglich.

[0038] Konkrete Beispiele zur Ausgestaltung der Projektionsoptik **7** werden nachfolgend noch anhand der **Fig. 8** ff. und insbesondere anhand der **Fig. 12** und **Fig. 13** erläutert werden.

[0039] Anstelle einer Reflexionsmaske wie beim Retikel **10** der Ausführung nach **Fig. 1** kann als Retikel **10** auch eine Transmissionsmaske in Form einer Phasenmaske eingesetzt werden, die in der **Fig. 2** in einer Aufsicht dargestellt ist.

[0040] Zur Abbildung der Phasenmaske **16** ist in der **Fig. 2** eine Projektionsoptik **17** dargestellt, die anstelle der Projektionsoptik **7** der Anordnung nach **Fig. 1** zum Einsatz kommen kann. Komponenten, die denjenigen entsprechen, die vorstehend unter Bezugnahme auf die schematische Darstellung nach **Fig. 1** bereits erläutert wurden, tragen die gleichen Bezugsziffern und werden nicht nochmals im Einzelnen diskutiert.

[0041] Die Projektionsoptik **17** bildet das Objektfeld **4** in das Bildfeld **8** mit einem Abbildungsmaßstab von 1x ab.

[0042] Die Projektionsoptik **17** weist zwei Planspiegel **18**, **19** auf, deren Reflexionsflächen **20** einander zugewandt sind und parallel zueinander jeweils in einer Ebene parallel zur yz-Ebene verlaufen. Die Projektionsoptik **17** ist nach Art eines Mach-Zender-Interferometers aufgebaut. Die Spiegel **18**, **19** stellen Teil-Optiken der Projektionsoptik **17** dar.

[0043] Die Phasenmaske **16** hat parallel zur y-Richtung verlaufende Linienstrukturen **21**. Die Beleuchtungsoptik **6** zur Beleuchtung der Phasenmaske **16** ist so ausgeführt, dass das Beleuchtungslicht **3** kollimiert auf die Phasenmaske **16** auftrifft. Aufgrund der linienhaften Strukturierung der Phasenmaske **16** ergibt sich eine Beugung des Beleuchtungslichts **3**. Der Pitch der Linienstrukturen **21** ist auf eine Wellenlänge des Beleuchtungslichts **3** so abgestimmt, dass das Beleuchtungslicht **3**, welches in der z-Richtung auf die Phasenmaske **16** auftrifft, aufgeteilt wird in eine -1. Beugungsordnung **22** und in eine +1. Beugungsordnung **23**. Die an der Phasenmaske **16** gebeugten Strahlen des Beleuchtungslichts **3** der -1. Beugungsordnung **22** einerseits und der +1. Beugungsordnung **23** andererseits verlassen die Phasenmaske **16** alle unter exakt dem gleichen -1. bzw. +1. Beugungswinkel und treten unter diesem -1. bzw. +1. Beugungswinkel in die Projektionsoptik **17** ein. Eine Eintrittspupille **24**, die in einer Aufsicht in der **Fig. 4** dargestellt ist, wird vom Beleuchtungslicht **3** daher an exakt zwei diskreten Pupillenorten **25** und **26** durchtreten. Der Pupillenort **25** repräsentiert dabei den Beleuchtungswinkel der -1. Beugungsordnung **22**. Der Pupillenort **26** repräsentiert den Beleuchtungswinkel der +1. Beugungsordnung **23**.

[0044] Die beiden Beugungsordnungen **22**, **23** stellen Teil-Abbildungsstrahlengänge eines gesamten Abbildungsstrahlengangs **27** des Beleuchtungslichts **3** in der Beleuchtungsoptik **17** zwischen dem Objektfeld **4** und dem Bildfeld **8** dar. Die beiden Teil-Abbildungsstrahlengänge **22**, **23** verlaufen zwischen dem Objektfeld **4** und dem Bildfeld **8** voneinander komplett separiert durch die optischen Komponenten der Projektionsoptik **17**, also durch die Planspiegel **18**, **19** geführt. Die -1. Beugungsordnung **22** wird ausschließlich vom in der **Fig. 2** rechten Planspiegel **19** reflek-

tiert. Die +1. Beugungsordnung **23** wird ausschließlich vom in der **Fig. 2** linken Planspiegel **18** reflektiert. An keiner Stelle im Abbildungsstrahlengang **27** zwischen dem Objektfeld **4** und dem Bildfeld **8** beaufschlagen die beiden Teil-Abbildungsstrahlengänge **22, 23** gleiche Bereiche bündelführender Oberflächen der Projektionsoptik **17**, also gleiche Bereiche auf den Reflexionsflächen **20** der Planspiegel **18, 19**.

[0045] Der in der **Fig. 4** mit NA bezeichnete Durchmesser der Eintrittspupille **24** repräsentiert eine effektive numerische Apertur der Projektionsoptik **17**. Aufgrund des Abbildungsmaßstabes von 1x ist die objektseitige numerische Apertur NA genauso groß wie die bildseitige numerische Apertur NA. Ein Durchmesser SNA der Pupillenorte **25, 26** repräsentiert eine Subapertur der Beugungsordnungen **22, 23**. Im Idealfall einer perfekt kollimierten Beleuchtung der Phasenmaske **16** beträgt die Subapertur SNA praktisch Null. Generell gilt: $SNA \ll NA$. Für das Verhältnis kann beispielsweise gelten $2 < NA/SNA < 100$.

[0046] Mit der sehr einfach aufgebauten Projektionsoptik **17** lässt sich eine sehr hohe effektive NA und damit ein entsprechend hohes Auflösungsvermögen realisieren, was zur Projektions-Abbildung auch sehr kleiner Strukturen, also feiner Linienstrukturen **21**, genutzt werden kann.

[0047] Anhand der **Fig. 5** und **Fig. 6** wird nachfolgend eine weitere Ausführung einer Projektionsoptik **28** erläutert, die anstelle der Projektionsoptik **17** nach **Fig. 2** zum Einsatz kommen kann. Komponenten, die denjenigen entsprechen, die vorstehend unter Bezugnahme auf die **Fig. 1** bis **Fig. 4** bereits erläutert wurden, tragen die gleichen Bezugsziffern und werden nicht nochmals im Einzelnen diskutiert.

[0048] Die Projektionsoptik **28** setzt keine perfekt oder nahezu perfekt kollimierte Beleuchtung voraus. Die Projektionsoptik **28** umfasst insgesamt vier Teil-Objektive, von denen in der längs einer xz-Mittelebene geschnittenen Darstellung nach **Fig. 5** zwei Teil-Objektive, nämlich die Teil-Objektive **29** und **30**, dargestellt sind. Ein gesamter Abbildungsstrahlengang der Projektionsoptik **28** ist mit AS bezeichnet. Ein lediglich durch eines der Teil-Objektive geführter Abbildungs-Strahlengang ist mit TAS bezeichnet.

[0049] Eine im Wesentlichen in der xz-Ebene oder benachbart hierzu verlaufende erste Beugungsordnung **31** stellt einen Teil-Abbildungsstrahlengang zwischen dem Objektfeld **4** und dem Bildfeld **8** dar, der vom Teil-Objektiv **29** geführt ist.

[0050] Eine im Wesentlichen in der xz-Ebene oder benachbart hierzu verlaufende -1. Beugungsordnung **31a** stellt einen Teil-Abbildungsstrahlengang zwischen dem Objektfeld **4** und dem Bildfeld **8** dar, der vom Teil-Objektiv **30** geführt ist.

[0051] **Fig. 6** zeigt eine Eintrittspupille **32** der Projektionsoptik **28**. Innerhalb eines Durchmessers der Eintrittspupille **32**, also innerhalb der effektiven numerischen Apertur NA, sind in vier Quadranten Teil-Pupillen **33** bis **36** angeordnet. Die Teil-Pupille **33**, angeordnet im in der **Fig. 6** linken Quadranten der Eintrittspupille **32**, ist der ersten Beugungsordnung **31** zugeordnet. Die Teil-Pupille **34**, angeordnet im in der **Fig. 6** rechten Quadranten, ist der -1. Beugungsordnung **31a** zugeordnet. Entsprechend sind die beiden weiteren Teil-Pupillen **35, 36**, die in dem in der **Fig. 6** oberen bzw. unteren Quadranten angeordnet sind, den +/-1. Beugungsordnungen der beiden weiteren, nicht dargestellten Teil-Objektive zugeordnet, die in der yz-Ebene abgelenkt werden.

[0052] Die Teil-Pupillen **33** bis **36** sind jeweils kreisförmig berandet. Die Teil-Pupillen **33** bis **36** haben jeweils in der Eintrittspupille **32** den gleichen Durchmesser SNA. Bei der Ausführung nach **Fig. 6** gilt: $SNA = NA/(1 + \sqrt{2})$.

[0053] Die Teil-Pupillen **33** bis **36** sind in der Eintrittspupille **32** vollkommen getrennt voneinander, überlappen also nicht. Außerhalb der vier Teil-Pupillen **33** bis **36** liegt in der Eintrittspupille **32** eine Obskurationsfläche **37** vor, die nicht für den Durchtritt von Abblende-licht benutzt wird. Die Projektionsoptik **28** hat eine Pupillenobskuration von 31 %. Die Pupillenobskuration stellt dabei das Verhältnis der Obskurationsfläche **37**, also der aufgrund einer Pupillenobskuration ausgeblendeten Fläche innerhalb der Eintrittspupille **32**, relativ zur Gesamtfläche der Eintrittspupille **32** dar.

[0054] Die Teil-Pupillen **33** bis **36** sind in einer von der Eintrittspupille **32** vorgegebenen Pupillenebene, die parallel zur xy-Ebene verläuft, in vierzähliger Symmetrie um eine zentrale optische Achse oA angeordnet. Die optische Achse oA verläuft senkrecht zur Pupillenebene der Eintrittspupille **32**. Die optische Achse oA verläuft senkrecht zur Objektebene **5**. Die optische Achse oA verläuft senkrecht zur Bildebene **9**.

[0055] Entsprechend der mehrzähligen Symmetrie der Anordnung der Teil-Pupillen **33** bis **36** um die optische Achse oA sind auch die Teil-Objektive **29, 30** sowie die beiden weiteren, in der **Fig. 5** nicht dargestellten Teil-Objektive der Projektionsoptik **28** mehrzählig symmetrisch um die optische Achse oA angeordnet. Die Teil-Optiken der Projektionsoptik **28**, also beispielsweise die Teil-Optiken **29** und **30**, gehen durch Spiegelung um eine Spiegel-Symmetrieebene SE, in der die optische Achse oA verläuft, ineinander über. Die Spiegel-Symmetrieebene SE verläuft im Falle der beiden Teil-Optiken **29, 30** senkrecht zur Bildebene der **Fig. 5**, ist also eine zur yz-Ebene parallele Ebene. Eine weitere Spiegel-Symmetrieebene für die beiden anderen, nicht dargestellten Teil-Ob-

jektive der Projektionsoptik **28** fällt mit der Zeichenebene der **Fig. 5** zusammen.

[0056] Die optischen Komponenten der beiden Teil-Optiken **29, 30** verlaufen vollständig in jeweils einem von zwei Halbräumen **38, 39**, die durch eine Halbraum-Trennebene HT, in der die optische Achse oA verläuft, voneinander getrennt sind. Bei der Ausführung nach **Fig. 5** fällt die Halbraum-Trennebene HT mit der Spiegel-Symmetrieebene SE zusammen.

[0057] Die Teil-Pupillen **33 bis 36** sind so angeordnet, dass auf der Phasenmaske **16** in x-Richtung und/oder in y-Richtung verlaufende Strukturen bevorzugt und mit guter, hoch auflösender Abbildungsqualität mit der Projektionsoptik **28** abgebildet werden können.

[0058] **Fig. 7** zeigt in einer zu **Fig. 6** ähnlichen Darstellung eine Eintrittspupille **40** einer weiteren Ausführung einer ansonsten nicht dargestellten Projektionsoptik mit insgesamt neun Teil-Pupillen **41 bis 49**. Komponenten, die denjenigen entsprechen, die vorstehend unter Bezugnahme auf die Ausführungen nach den **Fig. 1 bis Fig. 6** bereits erläutert wurden, tragen die gleichen Bezugsziffern und werden nicht nochmals im Einzelnen diskutiert.

[0059] Die Teil-Pupille **41** liegt zentral in der Eintrittspupille **40** und hat einen Durchmesser SNA1 in der Eintrittspupille **40**. Die vier weiteren Teil-Pupillen **42 bis 45** sind vergleichbar wie die Teil-Pupillen **33 bis 36** der Ausführung nach den **Fig. 5** und **Fig. 6** in den vier Quadranten der Eintrittspupille **40** angeordnet. Auch die Teil-Pupillen **42 bis 45** haben den Durchmesser SNA1 in der Eintrittspupille **40**. Ein Verhältnis SNA1/NA ist bei der Anordnung nach **Fig. 7** kleiner als bei derjenigen nach **Fig. 6**. Jeweils in Umfangsrichtung zwischen benachbarten der Teil-Pupillen **42 bis 45** liegen in der Eintrittspupille **40** die restlichen vier Teil-Pupillen **46 bis 49**, die in der Eintrittspupille **40** einen Durchmesser von SNA2 haben. Es gilt $SNA1 > SNA2$. Auch die Teil-Pupillen **41 bis 49** überlappen nicht in der Eintrittspupille **40**. Alle Teil-Pupillen **41 bis 49** sind räumlich voneinander getrennt.

[0060] Die Teil-Pupillen **42 bis 49** sind so in die Eintrittspupille **40** eingeschrieben, dass die Umfangslinien um die Teil-Pupillen **42 bis 49** die Umfangslinie um die besagte Eintrittspupille **40** berühren.

[0061] Mit einer Konfiguration einer Projektionsoptik mit Teil-Objektiven bzw. Teil-Optiken, die die Teil-Pupillen **41 bis 49** aufweisen, lassen sich auch kompliziertere Strukturen auf dem Retikel, also der Reflexionsmaske **10** und/oder der Phasenmaske **16**, abbilden.

[0062] Auch die Teil-Optiken, denen die Teil-Pupillen **41 bis 49** zugeordnet sind, sind räumlich voneinander getrennt.

[0063] Anhand der **Fig. 8** und **Fig. 9** wird nachfolgend eine weitere Ausführung einer Projektionsoptik **50** beschrieben, die anstelle der Projektionsoptiken **7, 17** und **28** zum Einsatz kommen kann. Komponenten und Funktionen, die vorstehend unter Bezugnahme auf die **Fig. 1 bis Fig. 7** bereits erläutert wurden, tragen die gleichen Bezugsziffern und werden nicht nochmals im Einzelnen diskutiert. Die Projektionsoptik **50** hat insgesamt, vergleichbar zur Projektionsoptik **28** nach **Fig. 5**, vier Teil-Objektive bzw. Teil-Optiken, von denen in der **Fig. 8** zwei Teil-Objektive **51, 52** dargestellt sind. Die Projektionsoptik **50** ist insgesamt als reine Spiegeloptik, also als katoptrische Optik, ausgeführt. Die Spiegel M1 bis M6 der Teil-Objektive **51, 52** sind in der Reihenfolge ihrer Reflexion des Abbildungslichts **3** ab dem Objektfeld **4** durchnummeriert.

[0064] Vergleichbar zu den Teil-Objektiven **29, 30** der Projektionsoptik **28** sind auch die Teil-Objektive **51, 52** spiegelsymmetrisch zur Spiegel-Symmetrieebene SE und durch die Halbraum-Trennebene HT voneinander getrennt. Entsprechendes gilt für die beiden in der **Fig. 8** nicht dargestellten Teil-Objektive der Projektionsoptik **50**.

[0065] Das Teil-Objektiv **51** entspricht hinsichtlich des optischen Designs derjenigen abbildenden Optik, die in der **Fig. 12** der US 7,414,781 B2 gezeigt ist.

[0066] Die Anordnung der Teil-Pupillen in der Eintrittspupille entspricht bei der Projektionsoptik **50** derjenigen der Projektionsoptik **28**. **Fig. 9** zeigt nochmals die Anordnung dieser Teil-Pupillen für die Projektionsoptik **50**. Die Teil-Pupille **33** entspricht der Eintrittspupille des Teil-Objektivs **51**. Die Teil-Pupille **34** entspricht der Eintrittspupille des Teil-Objektivs **52**. Entsprechend aufgebaut und in +/-y-Richtung beabstandet von der xz-Ebene (Zeichenebene der **Fig. 8**) sind die jeweiligen Spiegel M1 bis M6 der beiden weiteren, in der **Fig. 8** nicht dargestellten Teil-Objektive mit den Teil-Pupillen **35** und **36** nach **Fig. 9** angeordnet. Für diese beiden nicht dargestellten Teil-Objektive stellt die Zeichenebene nach **Fig. 8** einerseits die Spiegel-Symmetrieebene und andererseits die Halbraum-Trennebene dar. Diese weiteren Teil-Objektive sind genauso aufgebaut wie die Teil-Objektive **51, 52**.

[0067] Die Teil-Objektive **51, 52** haben im jeweiligen Teil-Abbildungsstrahlengang zwischen den Spiegeln M4 und M5 jeweils ein Zwischenbild ZB. Die beiden Zwischenbilder ZB der Teil-Objektive **51, 52** sind vollständig voneinander räumlich getrennt angeordnet.

[0068] Anhand der **Fig. 10** und **Fig. 11** wird nachfolgend eine weitere Ausführung einer Projektionsop-

tik **53** erläutert, die anstelle der Projektionsoptik **50** zum Einsatz kommen kann. Komponenten und Funktionen, die denjenigen entsprechen, die vorstehend unter Bezugnahme auf die [Fig. 1](#) bis [Fig. 9](#) und insbesondere unter Bezugnahme auf die [Fig. 8](#) und [Fig. 9](#) bereits erläutert wurden, tragen die gleichen Bezugsziffern und werden nicht nochmals im Einzelnen diskutiert.

[0069] Im Unterschied zur vollständig durch die Halbraum-Trennebene HT voneinander getrennten Anordnung der Teil-Objektive **51**, **52** der Projektionsoptik **50** ist die Anordnung von Teil-Objektiven **54**, **55** der Projektionsoptik **53** so, dass die Spiegel M1 bis M4 der Teil-Objektive **54**, **55** jeweils in einem der beiden Halbräume **38**, **39** angeordnet sind, während die Spiegel M5, M6 im anderen der beiden Halbräume **38**, **39** angeordnet sind. Bei dem Teil-Objektiv **54** sind die Spiegel M1 bis M4 im Halbraum **38** und die Spiegel M5 und M6 im Halbraum **39** angeordnet. Beim Teil-Objektiv **55** sind die Spiegel M1 bis M4 im Halbraum **39** und die Spiegel M5 und M6 im Halbraum **38** angeordnet. Die Teil-Objektive **54**, **55** haben also einander durchdringende Designs. Trotz dieser Anordnung in beiden Halbräumen gehen die beiden Teil-Objektive **54**, **55** durch Spiegelung um die Spiegelsymmetrieebene SE ineinander über.

[0070] Entsprechend angeordnet mit in zwei durch die Zeichenebene der [Fig. 10](#) voneinander getrennten Halbräumen verteilt angeordneten Spiegeln M1 bis M6 sind die beiden weiteren, in der [Fig. 10](#) nicht dargestellten Teil-Objektive, die zu den Teil-Pupillen **35** und **36** nach [Fig. 11](#) gehören.

[0071] Anhand der [Fig. 12](#) und [Fig. 13](#) wird nachfolgend eine weitere Ausführung einer Projektionsoptik **56** beschrieben. Komponenten, die denjenigen entsprechen, die vorstehend unter Bezugnahme auf die [Fig. 1](#) bis [Fig. 11](#) bereits erläutert wurden, tragen die gleichen Bezugsziffern und werden nicht nochmals im Einzelnen diskutiert.

[0072] Im Unterschied beispielsweise zu den Darstellungen nach den [Fig. 8](#) und [Fig. 10](#) ist in der [Fig. 12](#) ein parallel zu der yz-Ebene geführter Meridionalschnitt dargestellt.

[0073] Ein Teil-Objektiv **57** der Projektionsoptik **56** gehört zur Teil-Pupille **35** nach [Fig. 13](#). Ein Teil-Objektiv **58** gehört zur Teil-Pupille **36** nach [Fig. 13](#). Derjenige Teil-Abbildungsstrahlengang des Teil-Objektivs **57**, der also zur Teil-Pupille **35** gehört, hat einen Hauptstrahl HS1, der von einem zentralen Punkt des Objektfeldes **4**, also von einem zentralen Objektfeldpunkt, ausgeht. Entsprechend hat das Teil-Objektiv **58** einen, ebenfalls vom zentralen Objektfeldpunkt ausgehenden Hauptstrahl HS2. Die beiden Hauptstrahlen HS1, HS2 der beiden Teil-Objektive **57**, **58** verlaufen in der yz-Ebene, also in einer Ebene,

die senkrecht zur parallel zur xz-Ebene verlaufenden Haupt-Trennebene HT zwischen den beiden Halbräumen **38**, **39** verläuft. Beide Hauptstrahlen HS1, HS2 verlaufen, ausgehend vom Objektfeld **4**, im gleichen Halbraum **38**. Dies unterscheidet die Projektionsoptik **56** beispielsweise von den Projektionsoptiken **50**, **53**, wo die von dem zentralen Objektfeldpunkt ausgehenden Hauptstrahlen der beiden jeweils zueinander spiegelsymmetrischen Teil-Optiken in verschiedenen Halbräumen **38**, **39** verlaufen.

[0074] Der Verlauf der beiden Hauptstrahlen HS1, HS2 der Projektionsoptik **56** ausgehend vom gleichen Halbraum ermöglicht den Einsatz einer Reflexionsmaske **10**, die dann von der Projektionsoptik **56** abgebildet wird. Ein Beleuchtungsstrahlengang BS für die Beleuchtung eines solchen reflektierenden Retikels **10** ist in der [Fig. 12](#) durch einen Pfeil angedeutet. Eine solche Beleuchtung, die unter einem Winkel zur optischen Achse oA auf das Objektfeld **4** auftrifft, wird auch als schiefe Beleuchtung bezeichnet. Diese ist definiert dadurch, dass das Zentrum einer Beleuchtungs-Pupille nicht auf der optischen Achse oA der Projektionsoptik **56** liegt. Dies verdeutlicht die Koordinaten-Darstellung der Eintrittspupille **32** in der [Fig. 13](#). Die optische Achse durchstößt eine Pupillenebene, in der die Eintrittspupille **32** liegt, bei der Koordinate (0,0). Ein Zentrum der Eintrittspupille **32** liegt bei den Koordinaten (0,NA/2).

[0075] Die beiden Teil-Objektive **57**, **58** gehen nicht durch Spiegelung an einer die optische Achse enthaltenden Ebene, die senkrecht auf der Zeichenebene der [Fig. 12](#) liegt, ineinander über. Zwischen dem Objektfeld **4** und einem ersten Normal Incidence Spiegel M1 hat das Teil-Objektiv **58** einen Grazing Incidence Spiegel GI, also einen Spiegel für streifenden Einfall. Ein Normal Incidence Spiegel ist für die Zwecke dieser Anmeldung ein Spiegel mit einem Einfallswinkel von höchstens 30°. Ein Grazing Incidence Spiegel ist ein Spiegel mit einem Einfallswinkel, der mindestens 60° beträgt.

[0076] Neben dem Grazing Incidence Spiegel GI hat das Teil-Objektiv **58** im weiteren Verlauf des Teil-Abbildungsstrahlengangs sechs Spiegel M1 bis M6. Das Teil-Objektiv **57** hat zwischen dem Objektfeld **4** und dem Bildfeld **8** sechs Spiegel M1 bis M6. Die beiden Teil-Objektive **57**, **58** haben also eine unterschiedliche Anzahl von Spiegeln.

[0077] Anhand der [Fig. 14](#) und [Fig. 15](#) wird nachfolgend eine weitere Ausführung einer Projektionsoptik **59** beschrieben, die anstelle der vorstehend erläuterten Projektionsoptiken zum Einsatz kommen kann. Komponenten und Funktionen, die denjenigen entsprechen, die vorstehend unter Bezugnahme auf die [Fig. 1](#) bis [Fig. 13](#) bereits erläutert wurden, tragen die gleichen Bezugsziffern und werden nicht nochmals im Einzelnen diskutiert.

[0078] Im Unterschied zur Projektionsoptik **50** nach **Fig. 8** hat die Projektionsoptik **59** anstelle der voneinander getrennt ausgeführten Spiegel M6 der beiden Teil-Objektive **51**, **52** eine monolithisch ausgeführte Spiegel-Komponente **60**. Diese hat zwei voneinander separierte Bündelführungsbereiche **61**, **62** zur reflektierenden Führung jeweils des Abbildungslichts einerseits des Teil-Objektivs **51** und andererseits des Teil-Objektivs **52** der Projektionsoptik **59**, also zur Führung jeweils eines Teil-Abbildungsstrahlenganges der Projektionsoptik **59**, geführt über die beiden Teil-Objektive **51**, **52**.

[0079] Die monolithische Spiegel-Komponente **60** kann insgesamt sogar vier voneinander separierte Bündelführungsbereiche zur Führung der Teil-Abbildungsstrahlengänge aufweisen, die den Teil-Pupillen **33** bis **36** der Projektionsoptik **59** zugeordnet sind. Die beiden weiteren Bündelführungsbereiche dieser zusätzlichen und in der **Fig. 14** nicht dargestellten Teil-Objektive sind in +/-y-Richtung von der Zeichenebene der **Fig. 14** beabstandet angeordnet und gehören zu den beiden in der **Fig. 14** nicht dargestellten Teil-Objektiven der Projektionsoptik **59**.

[0080] Zur Herstellung eines strukturierten Bauteils, also beispielsweise eines Halbleiter-Bauelements in Form eines integrierten Schaltkreises, z. B. in Form eines Speicherchips, werden zunächst das Retikel **10** und der Wafer **12** bereitgestellt. Anschließend wird eine Struktur auf dem Retikel **10** auf eine lichtempfindliche Schicht des Wafers **12** mithilfe der Projektionsbelichtungsanlage **1** projiziert. Durch Entwickeln der lichtempfindlichen Schicht wird dann auf dem Wafer **12** eine Mikro- bzw. Nanostruktur erzeugt. Aufgrund der Führung des Abbildungslichts **3** über die voneinander getrennt verlaufenden Teil-Abbildungsstrahlengänge ist eine Abbildung des Objektfeldes mit hoher numerischer Apertur und damit entsprechend hoher Strukturauflösung gewährleistet.

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

- US 2010/0231885 A1 [0002]
- US 7414781 B2 [0002, 0065]

Patentansprüche

1. Abbildende Optik (**7; 17; 28; 50; 53; 56; 59**) zur Abbildung eines Objektfeldes (**4**) in ein Bildfeld (**8**),
 – wobei ein Abbildungsstrahlengang (**27; AS**) zwischen dem Objektfeld (**4**) und dem Bildfeld (**8**) unterteilt ist in eine Mehrzahl von Teil-Abbildungsstrahlengängen (**22, 23; TAS**),

– wobei die abbildende Optik (**7; 17; 28; 50; 53; 56; 59**) so ausgeführt ist, dass die Teil-Abbildungsstrahlengänge (**22, 23; TAS**) zwischen dem Objektfeld (**4**) und dem Bildfeld (**8**) voneinander komplett separiert durch optische Komponenten (**18, 19; M1 bis M6; GI, M1 bis M6**) der abbildenden Optik (**7; 17; 28; 50; 53; 56; 59**) geführt verlaufen, die Teil-Abbildungsstrahlengänge (**22, 23, TAS**) also an keiner Stelle im Strahlengang zwischen dem Objektfeld (**4**) und dem Bildfeld (**8**) gleiche Bereiche bündelführender Oberflächen (**20**) der abbildenden Optik (**7; 17; 28; 50; 53; 56; 59**) beaufschlagen.

2. Abbildende Optik nach Anspruch 1, gekennzeichnet durch mindestens zwei voneinander getrennte Teil-Pupillen (**33 bis 36; 41 bis 49**) von Teil-Optiken (**29, 30; 51, 52; 54, 55; 57, 58**), die die Teil-Abbildungsstrahlengänge (**22, 23; TAS**) führen.

3. Abbildende Optik nach den Ansprüchen 1 und 2, dadurch gekennzeichnet, dass die Teil-Pupillen (**33 bis 36; 41 bis 49**) von den die Teil-Abbildungsstrahlengänge (**TAS**) führenden Teil-Optiken (**29, 30; 51, 52; 54, 55; 57, 58**) der abbildenden Optik in einer Pupille (**32; 40**) der abbildenden Optik in mehrzähliger Symmetrie um eine zentrale optische Achse (**oA**), die senkrecht zur Pupille (**32; 40**) verläuft, angeordnet sind.

4. Abbildende Optik nach Anspruch 3, dadurch gekennzeichnet, dass die Teil-Optiken (**29, 30; 51, 52; 54, 55; 57, 58**) in mehrzähliger Symmetrie um die optische Achse (**oA**) angeordnet sind.

5. Abbildende Optik nach einem der Ansprüche 1 bis 4, dadurch gekennzeichnet, dass die optischen Komponenten (**18, 19; M1 bis M6**) der abbildenden Optik durch Spiegelung um eine Spiegel-Symmetrieebene (**SE**), in der die optische Achse (**oA**) verläuft, ineinander übergehen.

6. Abbildende Optik nach einem der Ansprüche 1 bis 5, dadurch gekennzeichnet, dass die optischen Komponenten (**18, 19; M1 bis M6**) zweier Teil-Optiken (**18, 19; 29, 30; 51, 52**) vollständig in jeweils einem von zwei Halbräumen (**38, 39**) angeordnet sind, die durch eine Halbraum-Trennebene (**HT**), in der die optische Achse (**oA**) verläuft, voneinander getrennt sind.

7. Abbildende Optik nach einem der Ansprüche 1 bis 5, dadurch gekennzeichnet, dass die optischen

Komponenten (**M1 bis M6; GI, M1 bis M6**) zumindest einer der Teil-Optiken (**53, 54; 57, 58**) in beiden Halbräumen (**38, 39**) verteilt angeordnet sind, die durch die Halbraum-Trennebene (**HT**) voneinander getrennt sind.

8. Abbildende Optik nach einem der Ansprüche 1 bis 7, dadurch gekennzeichnet, dass objektseitig die Teil-Abbildungsstrahlengänge (**TAS**) von mindestens zwei Teil-Optiken (**57, 58**) der abbildenden Optik (**56**) Hauptstrahlen (**HS1, HS2**) aufweisen,
 – die von einem zentralen Objektfeldpunkt ausgehen,
 – die in einer Meridionalebene (**yz**) verlaufen, die senkrecht zu einer Halbraum-Trennebene (**HT**) verläuft,
 – die im gleichen Halbraum (**38**) verlaufen.

9. Abbildende Optik nach einem der Ansprüche 2 bis 8, dadurch gekennzeichnet, dass mindestens eine der Teil-Optiken (**29, 30; 51, 52; 54, 55; 57, 58**) eine bildseitige numerische Apertur von 0,2 hat.

10. Abbildende Optik nach einem der Ansprüche 1 bis 9, dadurch gekennzeichnet, dass die abbildende Optik als katoptrische Optik ausgeführt ist.

11. Abbildende Optik nach einem der Ansprüche 1 bis 10, dadurch gekennzeichnet, dass mindestens eine der optischen Komponenten (**60**) monolithisch ausgeführt ist und mindestens zwei voneinander separierte Bündelführungsbereiche (**61, 62**) zur Führung jeweils eines Teil-Abbildungsstrahlengangs (**TAS**) aufweist.

12. Optisches System
 – mit einer Beleuchtungsoptik (**6**) zur Beleuchtung des Objektfeldes (**4**),
 – mit einer abbildenden Optik nach einem der Ansprüche 1 bis 11.

13. Projektionsbelichtungsanlage (**1**)
 – mit einem optischen System nach Anspruch 12,
 – mit einer Lichtquelle (**2**),
 – mit einem Objekthalter (**11**),
 – mit einem Bildhalter (**13**).

14. Verfahren zur Herstellung eines strukturierten Bauteils mit folgenden Verfahrensschritten:
 – Bereitstellen eines Retikels (**10**) und eines Wafers (**12**),
 – Projizieren einer Struktur auf dem Retikel (**10**) auf eine lichtempfindliche Schicht des Wafers (**12**) mithilfe der Projektionsbelichtungsanlage nach Anspruch 13,
 – Erzeugen einer Mikro- bzw. Nanostruktur auf dem Wafer (**12**).

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

Es folgen 9 Blatt Zeichnungen

Anhängende Zeichnungen

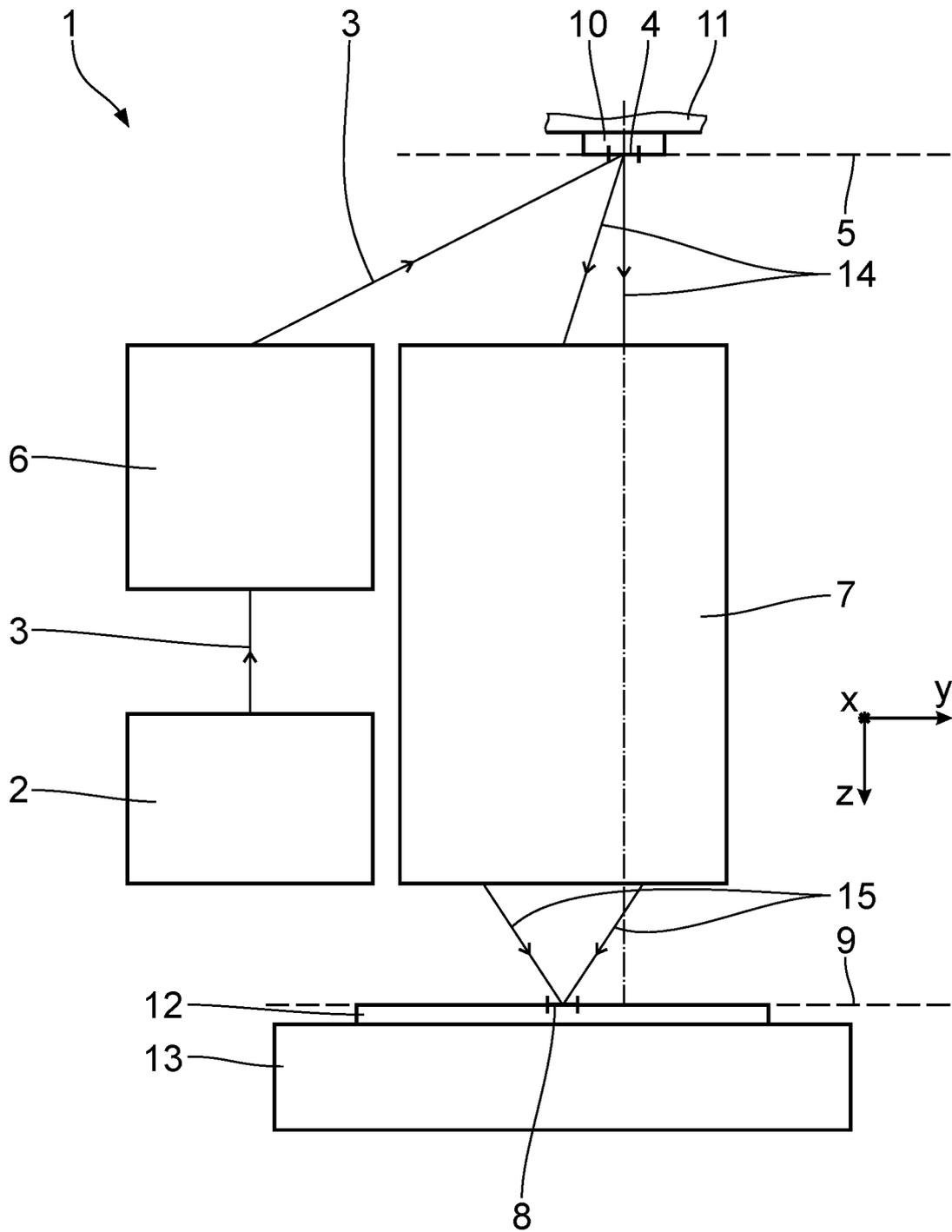


Fig. 1

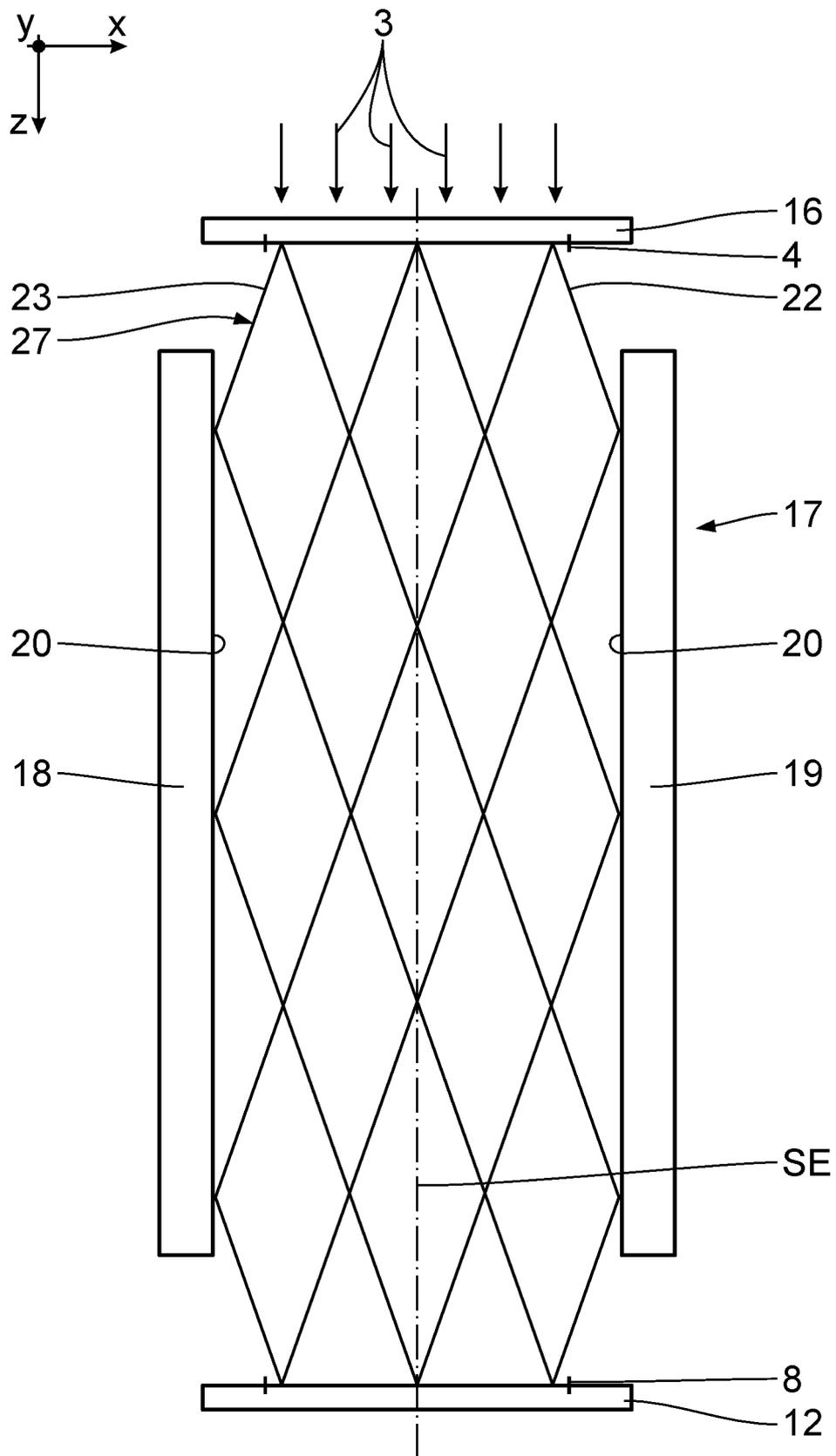


Fig. 2

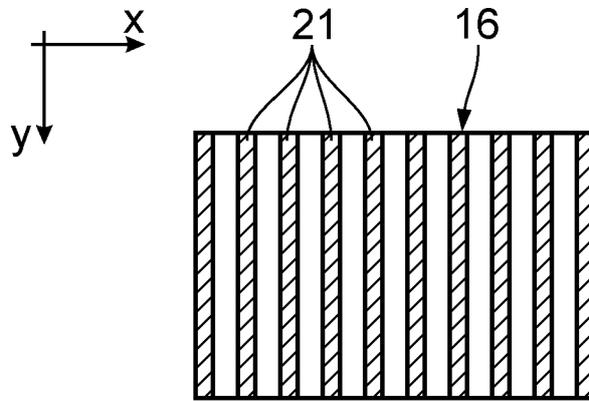


Fig. 3

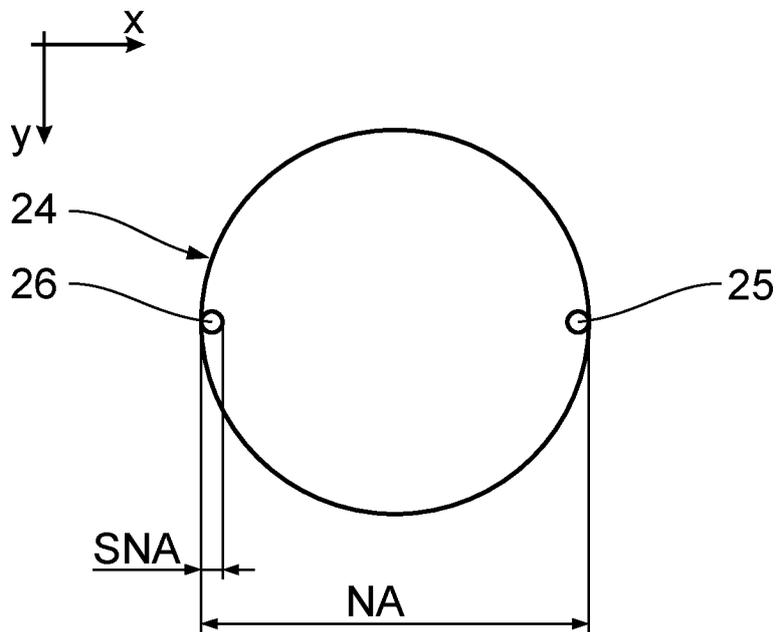


Fig. 4

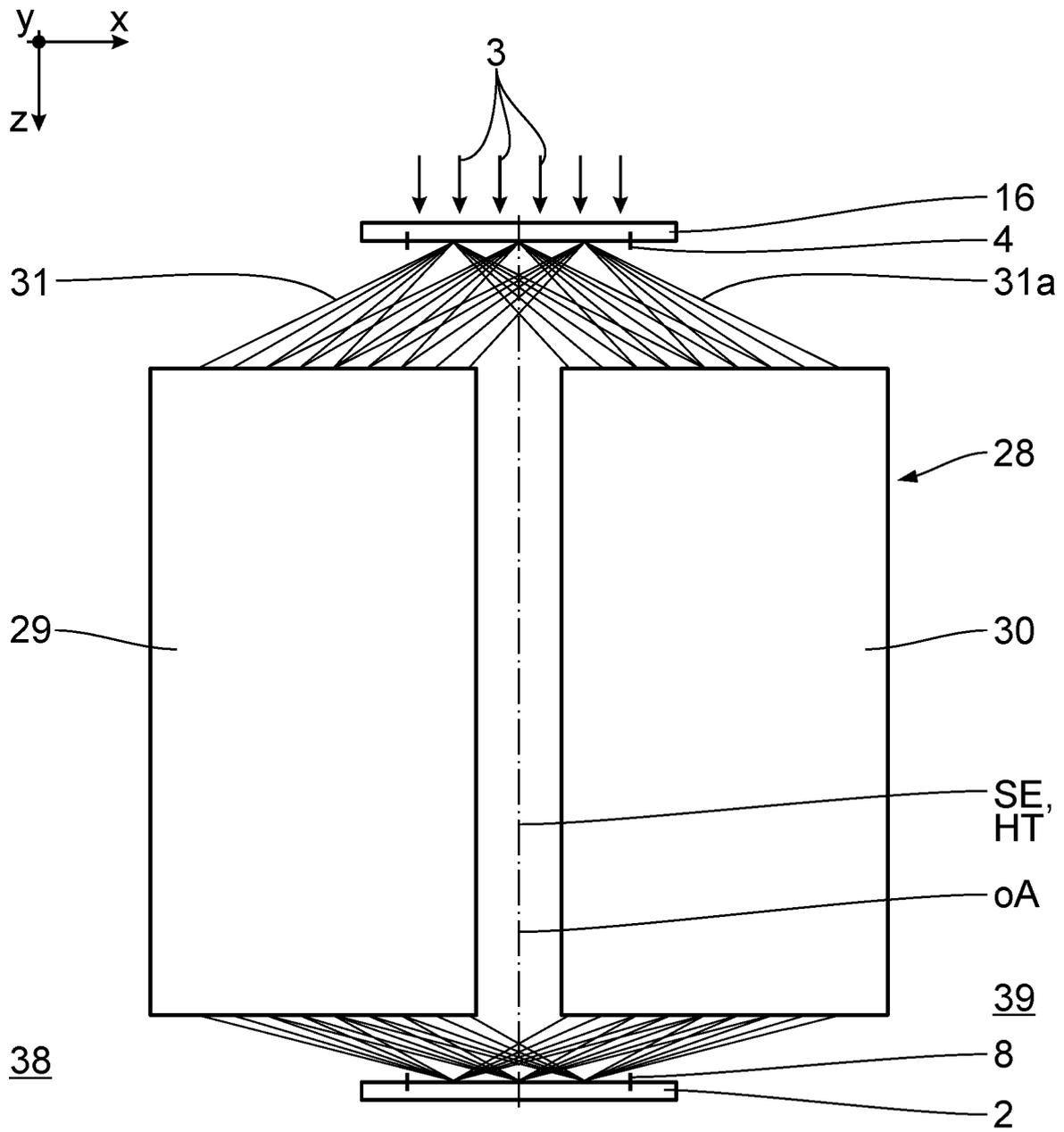


Fig. 5

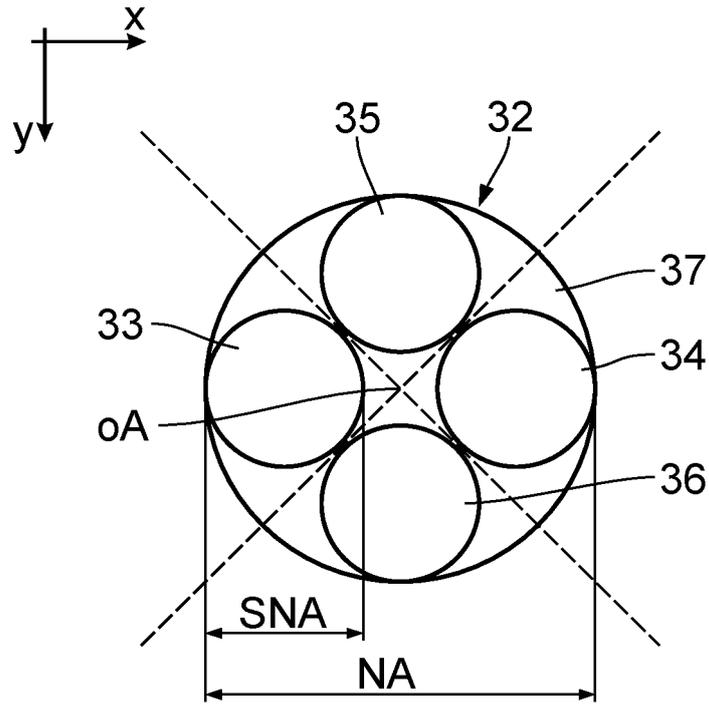


Fig. 6

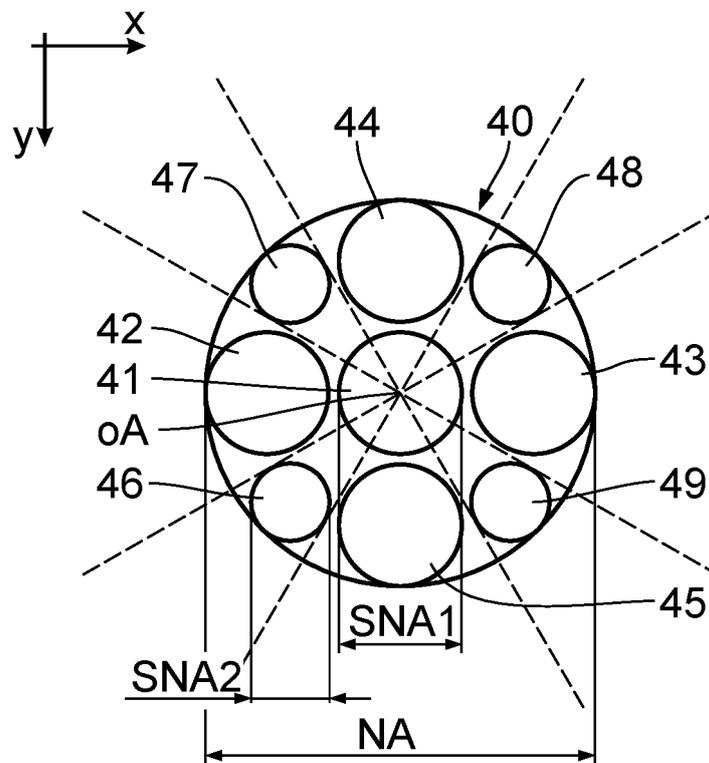


Fig. 7

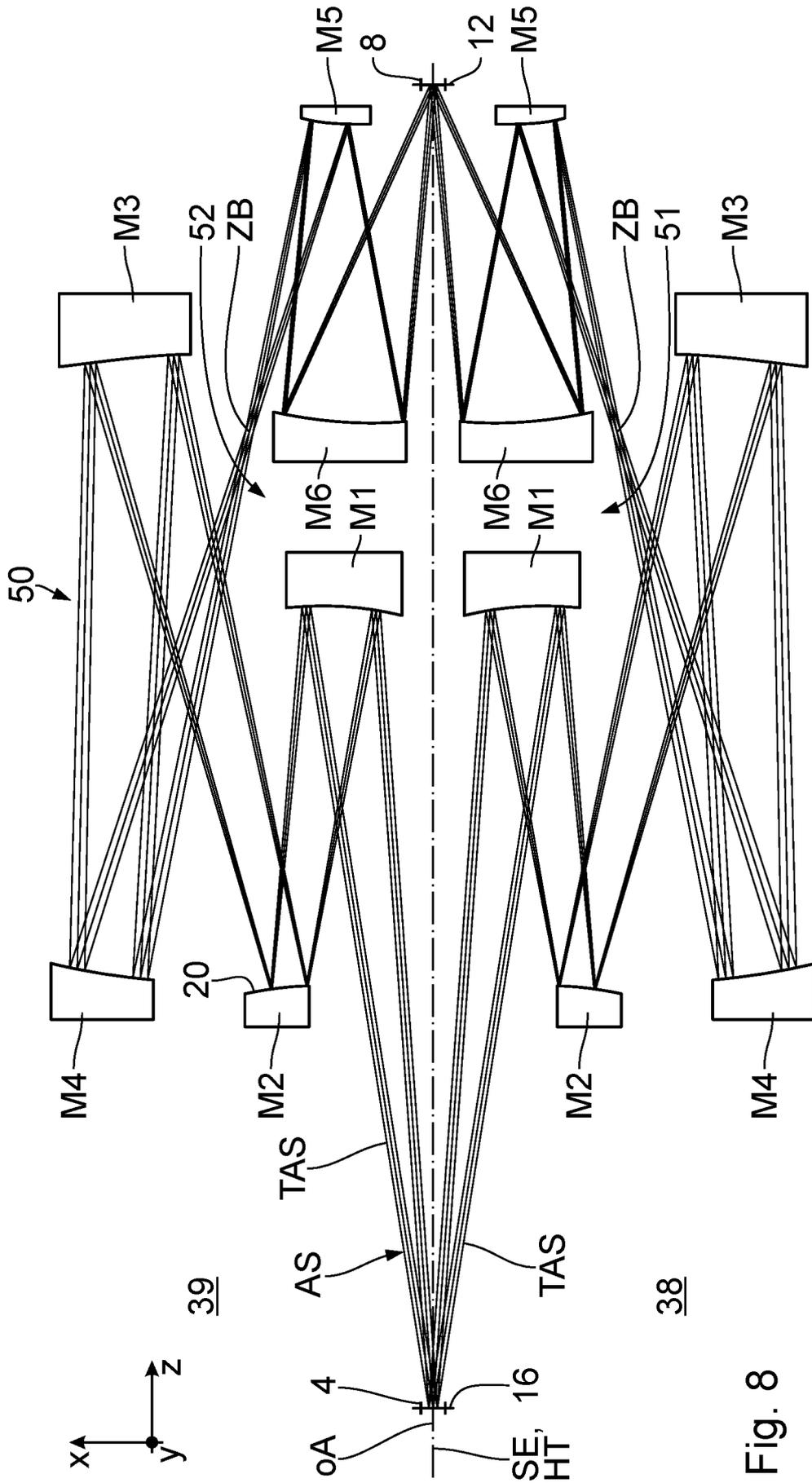


Fig. 8

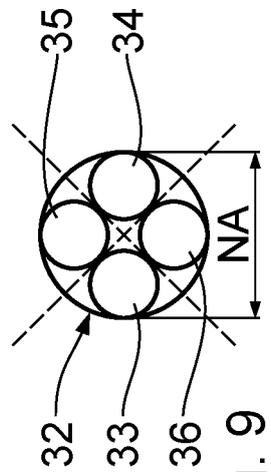


Fig. 9

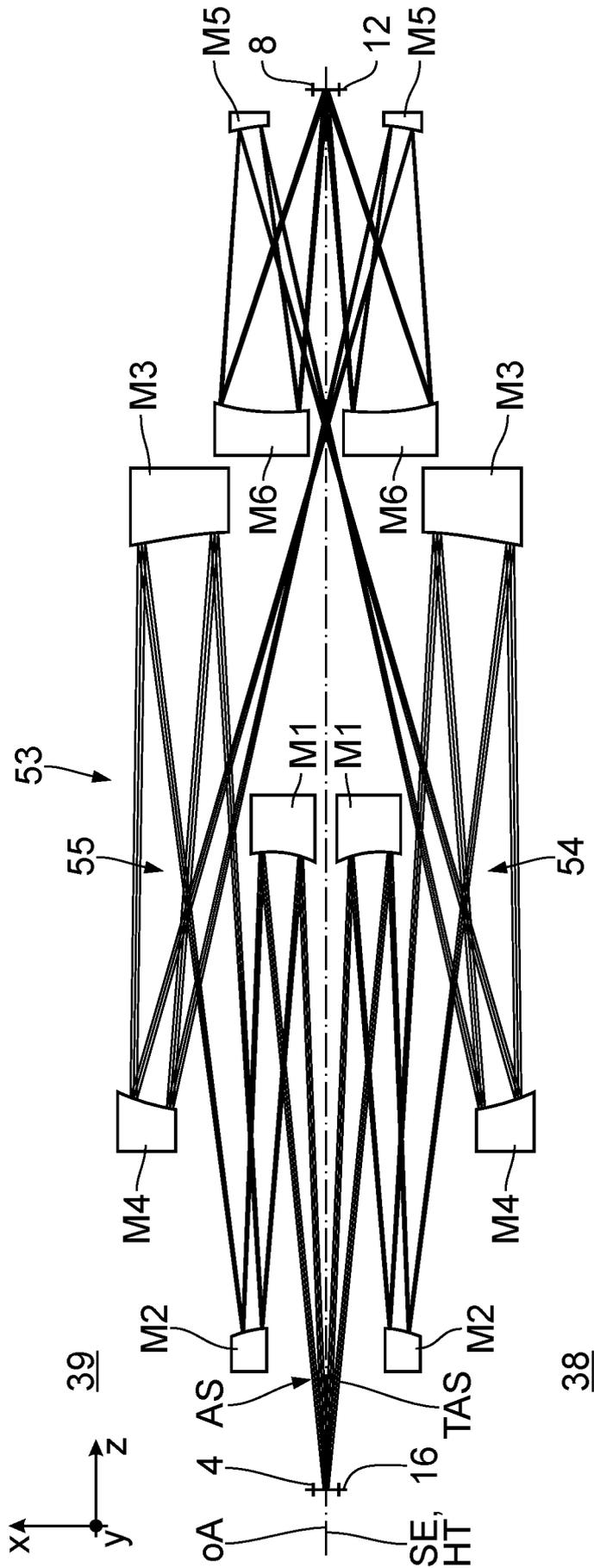


Fig. 10

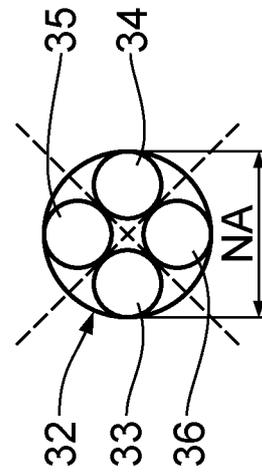


Fig. 11

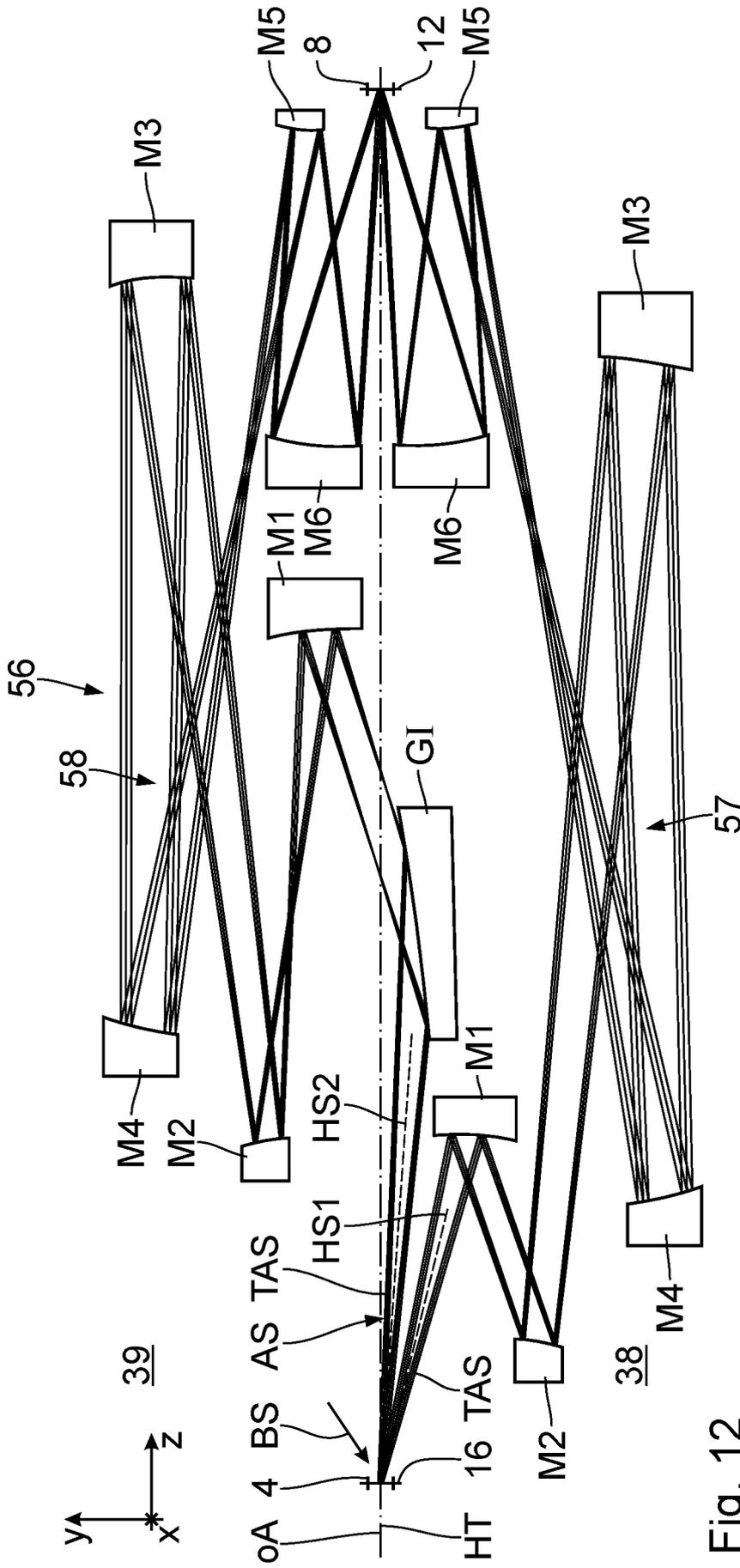


Fig. 12

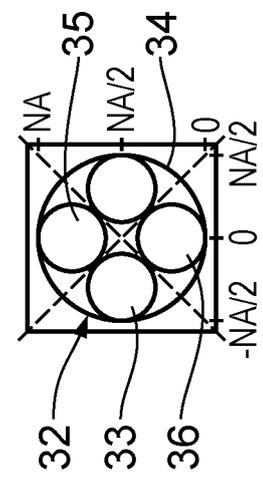


Fig. 13

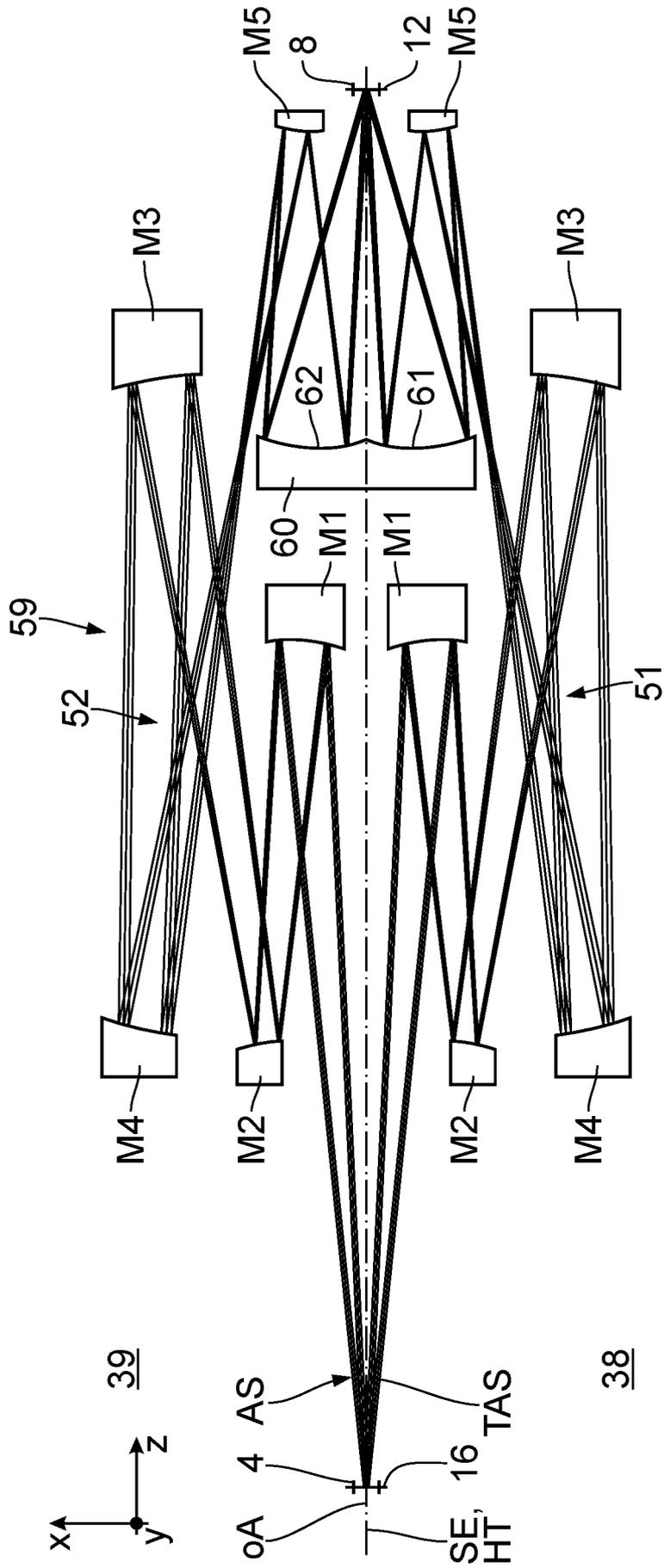


Fig. 14

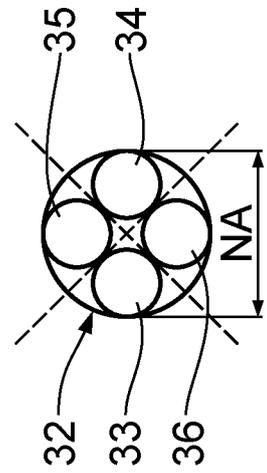


Fig. 15