



(19)
Bundesrepublik Deutschland
Deutsches Patent- und Markenamt

(10) **DE 10 2008 009 600 A1** 2009.08.20

(12)

Offenlegungsschrift

(21) Aktenzeichen: **10 2008 009 600.8**

(22) Anmeldetag: **15.02.2008**

(43) Offenlegungstag: **20.08.2009**

(51) Int Cl.⁸: **G02B 5/09** (2006.01)

G02B 27/18 (2006.01)

G02B 26/08 (2006.01)

G03F 7/20 (2006.01)

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

(72) Erfinder:
Dinger, Udo, Dr., 73447 Oberkochen, DE

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

US 69 77 718 B1

US 2003/00 38 225 A1

DE 100 53 587 A1

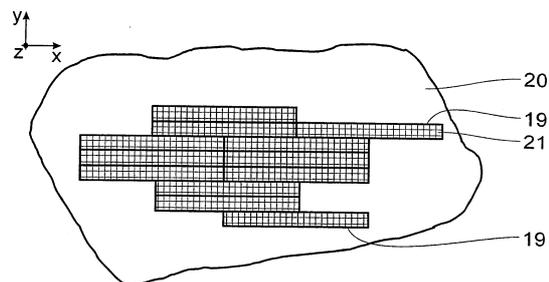
US 2005/02 70 513 A1

Die folgenden Angaben sind den vom Anmelder eingereichten Unterlagen entnommen

Prüfungsantrag gemäß § 44 PatG ist gestellt.

(54) Bezeichnung: **Facettenspiegel zum Einsatz in einer Projektionsbelichtungsanlage für die Mikro-Lithographie**

(57) Zusammenfassung: Ein Facettenspiegel dient zum Einsatz als bündelführende optische Komponente in einer Projektionsbelichtungsanlage für die Mikro-Lithographie. Der Facettenspiegel hat eine Vielzahl von Einzelspiegeln (21). Diese sind zu individueller Ablenkung auftreffenden Beleuchtungslichts jeweils mit einem Aktuator derart verbunden, dass sie separat voneinander um mindestens eine Kippachse (x, y) verkippbar sind. Eine Steuereinrichtung, die mit den Aktuatoren verbunden ist, ist so ausgestaltet, dass eine vorgegebene Gruppierung der Einzelspiegel (21) in Einzelspiegel-Gruppen (19) aus je mindestens zwei Einzelspiegeln (21) einstellbar ist. Es resultiert ein Facettenspiegel, durch dessen Einsatz in der Projektionsbelichtungsanlage die Variabilität bei der Einstellung verschiedener Beleuchtungsgeometrien eines mit der Projektionsbelichtungsanlage zu belichtenden Objektfeldes erhöht ist.



Beschreibung

[0001] Die Erfindung betrifft einen Facettenspiegel zum Einsatz als bündelführende optische Komponente in einer Projektionsbelichtungsanlage für die Mikro-Lithographie.

[0002] Derartige Facettenspiegel sind bekannt aus der US 6,438,199 B1 und der US 6,658,084 B2.

[0003] Es ist eine Aufgabe der vorliegenden Erfindung, einen Facettenspiegel der eingangs genannten Art weiterzubilden, dass durch den Einsatz dieses Facettenspiegels in der Projektionsbelichtungsanlage die Variabilität bei der Einstellung verschiedener Beleuchtungsgeometrien eines mit der Projektionsbelichtungsanlage zu belichtenden Objektfeldes erhöht ist.

[0004] Diese Aufgabe ist erfindungsgemäß gelöst durch einen Facettenspiegel mit den im Anspruch 1 oder mit den im Anspruch 4 angegebenen Merkmalen.

[0005] Die erfindungsgemäße Unterteilung des Facettenspiegels in eine Vielzahl von Einzelspiegeln, die unabhängig voneinander verkippt werden können, ermöglicht eine variable Vorgabe von Unterteilungen des Facettenspiegels in Einzelspiegel-Gruppen. Dies kann dazu genutzt werden, Gruppierungen mit verschiedenen Berandungen zu erzeugen, um auf diese Weise beispielsweise eine Anpassung an die Form eines auszuleuchtenden Objektfeldes zu gewährleisten. Die individuelle Ansteuerbarkeit der Einzelspiegel gewährleistet, dass eine Vielzahl verschiedener Beleuchtungen des Objektfeldes möglich wird, ohne hierbei Licht durch Abschattungen zu verlieren. Insbesondere ist eine Anpassung einer Beleuchtungsoptik, innerhalb der der Facettenspiegel einsetzbar ist, an optische Parameter einer Strahlungsquelle möglich, beispielsweise an eine Strahldivergenz oder an eine Intensitätsverteilung über den Strahlquerschnitt. Der Facettenspiegel kann so ausgeführt sein, dass mehrere Einzelspiegel-Gruppen jeweils für sich das gesamte Objektfeld ausleuchten. Es können mehr als zehn, mehr als 50 oder auch mehr als 100 derartiger Einzelspiegel-Gruppen beim erfindungsgemäßen Facettenspiegel vorgesehen sein.

[0006] Bei Einzelspiegeln nach Anspruch 2 können die zugeordneten Einzelspiegel-Ausleuchtungskanäle das Objektfeld getrennt voneinander ausleuchten oder es kann eine gezielte Überlappung zwischen den Einzelspiegel-Ausleuchtungskanälen bereitgestellt werden. Das Objektfeld kann von mehr als zwei Einzelspiegel-Ausleuchtungskanälen ausgeleuchtet werden, beispielsweise von mehr als zehn Einzelspiegel-Ausleuchtungskanälen.

[0007] Die Vorteile eines Facettenspiegels nach Anspruch 4 entsprechen denen, die vorstehend im Zusammenhang mit dem Facettenspiegel nach Anspruch 1 erläutert wurden.

[0008] Ein Facettenspiegel nach Anspruch 5 wird insbesondere als Feldfacettenspiegel in einer Beleuchtungsoptik der Projektionsbelichtungsanlage eingesetzt. Je nach Größe und Form der Einzelspiegel-Gruppen kann eine entsprechende Größe und Form des auszuleuchtenden Objektfeldes resultieren. Bei rechteckigem Objektfeld stimmt dann das Facetten-Aspektverhältnis der Einzelfacetten mit dem Feld-Aspektverhältnis überein.

[0009] Anstelle von Einzelfacetten, deren Form der vollen Form des Objektfeldes entspricht, können auch Einzelfacetten bzw. Einzelspiegel-Gruppierungen realisiert werden, die Halbfeldern entsprechen, also einem Feld mit halber Erstreckung längs einer Objektfelddimension. Je zwei solcher Halbfelder werden dann zur Beleuchtung des gesamten Objektfeldes zusammengesetzt.

[0010] Gruppenformen nach den Ansprüchen 6 und 7 sind gut an derzeitige Objektfeldgeometrien angepasst. Eine bogenförmige, ringförmige oder kreisförmige Einhüllende kann dabei auch durch pixelweise Annäherung erfolgen, indem aus einer rasterartigen Einzelspiegel-Anordnung eine Einzelspiegel-Gruppe ausgewählt wird, deren Berandung der gewünschten Einhüllenden angenähert ist.

[0011] Ein Facettenspiegel nach Anspruch 8 kommt insbesondere als Pupillenfacettenspiegel in einer Beleuchtungsoptik der Projektionsbelichtungsanlage zum Einsatz.

[0012] Bevorzugt werden innerhalb der Beleuchtungsoptik sowohl ein erfindungsgemäß in Einzelspiegel unterteilter Feldfacettenspiegel als auch ein erfindungsgemäß in Einzelspiegel unterteilter Pupillenfacettenspiegel eingesetzt. Es kann dann eine bestimmte Beleuchtungswinkelverteilung, also ein Beleuchtungssetting, durch entsprechende Gruppierung der Einzelspiegel-Gruppen auf dem Feldfacettenspiegel und den Pupillenfacettenspiegeln praktisch ohne Lichtverlust realisiert werden. Erfindungsgemäß in Einzelspiegel unterteilt sein kann auch ein spekulärer Reflektor nach Art desjenigen, der beispielsweise in der US 2006/0132747 A1 beschrieben ist. Da mit dem spekulären Reflektor sowohl die Intensitäts- als auch die Beleuchtungswinkelverteilung im Objektfeld eingestellt wird, kommt hier die zusätzliche Variabilität aufgrund der Unterteilung in Einzelspiegel besonders gut zum Tragen.

[0013] Eine Ausführung nach Anspruch 9 kann auf der Basis konstruktiver Lösungen realisiert werden, die aus dem Bereich von Mikrospiegel-Arrays bereits

bekannt sind. Ein Mikrospiegel-Array ist beispielsweise beschrieben in der US 7,061,582 B2. Die Art der Parkettierung wird je nach den geforderten Formen der Einzelspiegel-Gruppen gewählt. Es kann insbesondere eine Parkettierung zum Einsatz kommen, die bekannt ist aus Istvan Reimann: „Parkette, geometrisch betrachtet“, in „Mathematisches Mosaik“, Köln (1977), und Jan Gulberg: „Mathematics-From the birth of numbers“, New York/London (1997).

[0014] Ein Einzelspiegel nach Anspruch 10 ist konstruktiv mit vergleichsweise geringem Aufwand realisierbar. Auch mit derart plan ausgeführten Einzelspiegeln lassen sich Einzelspiegel-Gruppen mit insgesamt angenähert gekrümmten Reflexionsflächen realisieren. Alternativ ist es möglich, die Einzelspiegel des Facettenspiegels gekrümmt, insbesondere elliptisch gekrümmt, auszuführen, sodass die Einzelspiegel für das Beleuchtungs- beziehungsweise Abbildungslicht eine bündelformende Wirkung haben. Die Einzelspiegel sind dabei insbesondere konkav gekrümmt. Der Facettenspiegel kann insbesondere als Multiellipsoidspiegel ausgeführt sein. Anstelle von gekrümmten Einzelspiegeln können derartige gekrümmte Einzelspiegel wiederum durch Einzelspiegel-Gruppen mit planen Reflexionsflächen ersetzt werden, wobei die nichtplanen Oberflächen eines derart ersetzten gekrümmten Einzelspiegels durch ein Polyeder von Mikrofacetten approximiert werden.

[0015] Eine Verlagerbarkeit nach Anspruch 11 erhöht die Variabilität bei der Vorgabe bestimmter Topographien der Reflexionsfläche des Facettenspiegels. Es ist dann nicht nur eine Gruppierung möglich, sondern auch innerhalb der jeweiligen Gruppierungen die Vorgabe bestimmter Reflexionsflächenkrümmungen und -freiformen, die eine gewünschte abbildende oder in sonstiger Weise bündelformende Wirkung haben.

[0016] Eine Anordnung nach Anspruch 12 kann ebenfalls auf der Basis von konstruktiven Lösungen, die aus dem Bereich der Mikrospiegel-Arrays bekannt sind, realisiert werden.

[0017] Eine Ansteuerung nach Anspruch 13 gewährleistet eine schnelle und je nach Vorgabe individuelle Ansteuerung der Einzelspiegel.

[0018] Eine reihenweise, also insbesondere zeilen- oder spaltenweise Ansteuerung nach Anspruch 14 ermöglicht eine unaufwändige gemeinsame Ansteuerung von Einzelspiegeln, falls dies, beispielsweise zur Gruppierung oder zur gemeinsamen Ausblendung von Einzelspiegeln, erforderlich ist.

[0019] Eine Ausgestaltung nach Anspruch 15 ermöglicht eine Korrektur einer Homogenität der Objektfeldausleuchtung, was die Intensität der Ausleuchtung über das Objektfeld angeht. Alternativ oder

zusätzlich ist möglich, eine Pupillenausleuchtung über die individuelle Ansteuerung der Einzelspiegel vorzugeben, sodass eine Intensitätsverteilung der Ausleuchtung einer Pupillenebene über die Ansteuerung der Einzelspiegel vorgegeben werden kann.

[0020] Ein planer Träger nach Anspruch 16 vereinfacht die Herstellung des Facettenspiegels. Eine plane Anordnung des Trägers des Facettenspiegels kann durch eine entsprechende Formung von Beleuchtungs- oder Abbildungslicht vor dem Facettenspiegel erreicht werden.

[0021] Die Vorteile einer Beleuchtungsoptik nach Anspruch 17 entsprechen denen, die vorstehend unter Bezugnahme auf den erfindungsgemäßen Facettenspiegel bereits ausgeführt wurden.

[0022] Eine Beleuchtungsoptik nach Anspruch 18 kann beispielsweise die Vorteile eines aus Einzelspiegeln aufgebauten Feldfacettenspiegels mit denen eines aus Einzelspiegeln aufgebauten Pupillenfacettenspiegels vereinen. Die Einstellung verschiedenster Beleuchtungssettings praktisch ohne Lichtverlust ist möglich. Der Pupillenfacettenspiegel kann eine größere Anzahl von Einzelspiegeln aufweisen als der vorgelagerte Feldfacettenspiegel. Mit dem vorgelagerten Feldfacettenspiegel lassen sich dann verschiedene Ausleuchtungsformen des Pupillenfacettenspiegels und damit verschiedene Beleuchtungssettings der Beleuchtungsoptik realisieren, soweit die Facetten zur Umstellung entsprechend aktorisch verlagert, insbesondere verkippt, werden können.

[0023] Eine abschnittsweise Objektfeldbeleuchtung nach Anspruch 19 führt zu einer nochmals vergrößerten Flexibilität bei der Objektfeldausleuchtung, die zu einem weiteren Korrektur-Freiheitsgrad führt. Durch relative Verschiebung der ausgeleuchteten Objektfeldabschnitte innerhalb des Objektfeldes kann entsprechend eine Korrektur der Objektfeldausleuchtung erzielt werden.

[0024] Die Vorteile einer Beleuchtungsoptik mit einem Feldfacettenspiegel nach Anspruch 20 entsprechen denen, die vorstehend im Zusammenhang mit der Beleuchtungsoptik nach Anspruch 18 bereits erläutert wurden.

[0025] Die Vorteile einer Projektionsbelichtungsanlage nach Anspruch 21 entsprechen denen, die vorstehend bereits diskutiert wurden.

[0026] Eine Projektionsbelichtungsanlage nach Anspruch 22 ermöglicht eine hohe Strukturauflösung.

[0027] Ein spekulärer Reflektor nach Anspruch 23 vermindert die Anzahl der innerhalb einer Beleuchtungsoptik notwendigen Reflexionen des Beleuch-

tungslichts. Dies erhöht die Gesamttransmission der Beleuchtungsoptik.

[0028] Eine diskrete Ausleuchtung nach Anspruch 24 ermöglicht es, die Einzelspiegel des spekularen Reflektors beabstandet zueinander anzuordnen. Zwischen den Einzelspiegeln ist dann Platz beispielsweise für Aufhänge- und Verlagerungsmechaniken sowie für Verlagerungsaktoren der Einzelspiegel.

[0029] Ein Facettenspiegel nach Anspruch 25 kann beispielsweise als Kollektor-Facettenspiegel ausgeführt sein. Ein derartiger Kollektor-Facettenspiegel, der insbesondere Ellipsoid-Einzelspiegel aufweisen kann, ist auch prinzipiell bei nicht mit einem spekularen Reflektor arbeitenden Beleuchtungsoptiken einsetzbar.

[0030] Wenn der spekulare Reflektor nach Anspruch 26 mehr Einzelspiegel aufweist als der vorgelagerte Facettenspiegel, lassen sich mit dem vorgelagerten Facettenspiegel verschiedene Ausleuchtungsformen des spekularen Reflektors und damit verschiedene Beleuchtungssettings der Beleuchtungsoptik realisieren.

[0031] Ein Kollektor nach Anspruch 27 vermindert die Anforderungen an die Bündelformung des Beleuchtungslichts durch den nachgeordneten Facettenspiegel.

[0032] Ein Kollektor nach Anspruch 28 ist im Vergleich zu einem Facettenspiegel in seiner Herstellung unaufwändiger.

[0033] Ein Winkel zwischen der Scanrichtung und der langen Feldachse nach Anspruch 29 vermeidet bzw. vermindert Beleuchtungsinhomogenitäten bei einer abschnittswise Ausleuchtung des Objektfeldes. Dieser Winkel liegt beispielsweise bei 10° . Auch andere Winkel, beispielsweise im Bereich zwischen 1 und 3° , im Bereich von 3 und 5° , im Bereich zwischen 5 und 7° oder im Bereich zwischen 7 und 9° , sind möglich. Prinzipiell sind auch Winkel möglich, die größer sind als 10° . Alternativ ist es möglich, die Objektfeldabschnitte so anzuordnen, dass längs einer Scanrichtung keine durchgehenden Begrenzungen zwischen den Objektfeldabschnitten vorliegen.

[0034] Die Vorteile eines Herstellungsverfahrens nach Anspruch 30 und eines mikrostrukturierten Bauteils nach Anspruch 31 entsprechen denen, die vorstehend unter Bezugnahme auf die Ansprüche 1 bis 29 bereits erläutert wurden. Es lassen sich mikrostrukturierte Bauteile mit hohen Integrationsdichten bis hin in den Sub-Mikrometer-Bereich realisieren.

[0035] Ausführungsbeispiele der Erfindung werden nachfolgend anhand der Zeichnung näher erläutert. Es zeigen:

[0036] [Fig. 1](#) schematisch einen Meridionalschnitt durch eine Projektionsbelichtungsanlage für die EUV-Projektions-Lithographie;

[0037] [Fig. 2](#) schematisch eine Aufsicht auf einen aus Einzelspiegel aufgebauten Feldfacettenspiegel zum Einsatz in der Projektionsbelichtungsanlage nach [Fig. 1](#);

[0038] [Fig. 3](#) eine Ansicht eines Ausschnitts einer Einzelspiegel-Zeile des Facettenspiegels nach [Fig. 2](#) aus Blickrichtung III in [Fig. 2](#);

[0039] [Fig. 4](#) bis [Fig. 6](#) stark schematisch verschiedene Formen einer aus den Einzelspiegeln der in der [Fig. 3](#) dargestellten Einzelspiegel-Zeile gebildeten Zeilen-Reflexionsfläche in drei verschiedenen Konfigurationen;

[0040] [Fig. 7](#) einen Ausschnitt einer weiteren Ausführung eines aus Einzelfacetten aufgebauten Feldfacettenspiegels mit einer beispielhaften Gruppierung der Einzelspiegel in eine Anordnung von Einzelfacetten vorgebenden Einzelspiegel-Gruppen in einer Aufsicht;

[0041] [Fig. 8](#) schematisch einen aus Einzelspiegeln aufgebauten Pupillenfacettenspiegel zum Einsatz in der Projektionsbelichtungsanlage nach [Fig. 1](#) beispielsweise zur Vergabe verschiedener annularer bzw. ringförmiger Beleuchtungssettings in einer Aufsicht;

[0042] [Fig. 9](#) bis [Fig. 13](#) Beispiele verschiedener Gruppierungen der Einzelspiegel des Facettenspiegels nach [Fig. 2](#) in Einzelfacetten vorgebende Einzelspiegel-Gruppen;

[0043] [Fig. 14](#) einen zu [Fig. 8](#) ähnlichen, ebenfalls aus einer Mehrzahl von Einzelspiegeln aufgebauten Pupillenfacettenspiegel, wobei eine Mehrzahl kreisförmig ausgeleuchteter Einzelspiegel-Gruppen zur Vorgabe eines ersten, angenähert konventionellen Beleuchtungssettings ausgeleuchtet sind;

[0044] [Fig. 15](#) den Pupillenfacettenspiegel nach [Fig. 14](#), wobei die gleiche Anzahl von Einzelspiegel-Gruppen ebenfalls kreisförmig zur Vorgabe eines weiteren, angenähert ringförmigen Beleuchtungssettings ausgeleuchtet ist;

[0045] [Fig. 16](#) eine weitere Variante einer Gruppierung der Einzelspiegel des Feldfacettenspiegels nach [Fig. 2](#) zur Ausleuchtung eines Ring- bzw. Bogenfeldes;

[0046] [Fig. 17](#) bis [Fig. 20](#) weitere Beispiele von Gruppierungen von Einzelspiegeln eines Feldfacettenspiegels in Einzelspiegel-Gruppen;

[0047] [Fig. 21](#) und [Fig. 22](#) weitere Beispiele von Gruppierungen von Einzelspiegeln eines Pupillenfacettenspiegels in Einzelspiegel-Gruppen;

[0048] [Fig. 23](#) eine weitere Ausführung einer Belegung einer Reflexionsfläche eines aus Einzelspiegeln aufgebauten Facettenspiegels mit Einzelspiegeln;

[0049] [Fig. 24](#) schematisch im Meridionalschnitt eine weitere Ausführung eines optischen Designs einer Projektionsbelichtungsanlage für die EUV-Projektions-Lithographie, wobei eine Beleuchtungsoptik der Projektionsbelichtungsanlage einen spekularen Reflektor aufweist;

[0050] [Fig. 25](#) schematisch im Meridionalschnitt einen Ausschnitt einer weiteren Ausführung eines Beleuchtungssystems für eine Projektionsbelichtungsanlage für die EUV-Projektions-Lithographie;

[0051] [Fig. 26](#) in einer zu [Fig. 24](#) ähnlichen Darstellung eine weitere Ausführung eines optischen Designs einer Beleuchtungsoptik einer Projektionsbelichtungsanlage für die EUV-Projektions-Lithographie mit einem spekularen Reflektor;

[0052] [Fig. 27](#) in einer zu [Fig. 26](#) ähnlichen Darstellung eine Variante einer Zuordnung von Ellipsoid-Einzelspiegeln eines Kollektorfacettenspiegels der Beleuchtungsoptik zu Einzelspiegeln des spekularen Reflektors;

[0053] [Fig. 28](#) eine Aufsicht auf eine Quellbilder-Beaufschlagung des spekularen Reflektors nach den [Fig. 26](#) und [Fig. 27](#); und

[0054] [Fig. 29](#) eine Aufsicht auf ein abschnittsweise beleuchtetes Objektfeld einer Variante der Projektionsbelichtungsanlage.

[0055] [Fig. 1](#) zeigt schematisch in einem Meridionalschnitt eine Projektionsbelichtungsanlage **1** für die Mikro-Lithographie. Ein Beleuchtungssystem **2** der Projektionsbelichtungsanlage **1** hat neben einer Strahlungsquelle **3** eine Beleuchtungsoptik **4** zur Belichtung eines Objektfeldes **5** in einer Objektebene **6**. Belichtet wird hierbei ein im Objektfeld **5** angeordnetes und in der Zeichnung nicht dargestelltes Retikel, das von einem ebenfalls nicht dargestellten Retikelhalter gehalten ist. Eine Projektionsoptik **7** dient zur Abbildung des Objektfeldes **5** in ein Bildfeld **8** in einer Bildebene **9**. Abgebildet wird eine Struktur auf dem Retikel auf eine lichtempfindliche Schicht eines im Bereich des Bildfeldes **8** in der Bildebene **9** angeordneten Wafers, der in der Zeichnung ebenfalls nicht dargestellt ist und von einem ebenfalls nicht dargestellten Waferhalter gehalten ist.

[0056] Bei der Strahlungsquelle **3** handelt es sich

um eine EUV-Strahlungsquelle mit einer emittierten Nutzstrahlung im Bereich zwischen 5 nm und 30 nm. Es kann sich dabei um eine Plasmaquelle, beispielsweise um eine GDPP-Quelle (Plasmaerzeugung durch Gasentladung, gasdischargeproduced plasma) oder um eine LPP-Quelle (Plasmaerzeugung durch Laser, laser-produced plasma) handeln. Auch eine Strahlungsquelle, die auf einem Synchrotron basiert, ist für die Strahlungsquelle **3** einsetzbar. Informationen zu einer derartigen Strahlungsquelle findet der Fachmann beispielsweise aus der US 6,859,515 B2. EUV-Strahlung **10**, die von der Strahlungsquelle **3** ausgeht, wird von einem Kollektor **11** gebündelt. Ein entsprechender Kollektor ist aus der EP 1 225 481 A bekannt. Nach dem Kollektor **11** propagiert die EUV-Strahlung **10** durch eine Zwischenfokusebene **12**, bevor sie auf einen Feldfacettenspiegel **13** trifft. Der Feldfacettenspiegel **13** ist in einer Ebene der Beleuchtungsoptik **4** angeordnet, die zur Objektebene **6** optisch konjugiert ist.

[0057] Die EUV-Strahlung **10** wird nachfolgend auch als Beleuchtungslicht oder als Abbildungslicht bezeichnet.

[0058] Nach dem Feldfacettenspiegel **13** wird die EUV-Strahlung **10** von einem Pupillenfacettenspiegel **14** reflektiert. Der Pupillenfacettenspiegel **14** ist in einer Pupillenebene der Beleuchtungsoptik **4** angeordnet, die zu einer Pupillenebene der Projektionsoptik **7** optisch konjugiert ist. Mit Hilfe des Pupillenfacettenspiegels **14** und einer abbildenden optischen Baugruppe in Form einer Übertragungsoptik **15** mit in der Reihenfolge des Strahlengangs bezeichneten Spiegeln **16**, **17** und **18** werden nachfolgend noch näher beschriebene Feld-Einzelfacetten **19**, die auch als Subfelder oder als Einzelspiegel-Gruppen bezeichnet werden, des Feldfacettenspiegels **13** in das Objektfeld **5** abgebildet. Der letzte Spiegel **18** der Übertragungsoptik **15** ist ein Spiegel für streifenden Einfall („Grazing Incidence-Spiegel“).

[0059] [Fig. 2](#) zeigt Details des Aufbaus des Feldfacettenspiegels **13** in einer stark schematischen Darstellung. Eine gesamte Reflexionsfläche **20** des Feldfacettenspiegels **13** ist zeilen- und spaltenweise unterteilt in ein Raster aus Einzelspiegeln **21**. Die Einzelreflexions-Flächen der individuellen Einzelspiegel **21** sind plan. Eine Einzelspiegel-Zeile **22** weist eine Mehrzahl der direkt nebeneinander liegenden Einzelspiegel **21** auf. In einer Einzelspiegel-Zeile **22** können mehrere zehn bis mehrere hundert der Einzelspiegel **21** vorgesehen sein. Im Beispiel nach [Fig. 2](#) sind die Einzelspiegel **21** quadratisch. Auch andere Formen von Einzelspiegeln, die eine möglichst lückenlose Belegung der Reflexionsfläche **20** ermöglichen, können eingesetzt sein. Derartige alternative Einzelspiegel-Formen sind aus der mathematischen Theorie der Parkettierung bekannt. In diesem Zusammenhang sei verwiesen auf Istvan Reimann: "Parkette,

geometrisch betrachtet", in „Mathematisches Mosaik“, Köln (1977), sowie auf Jan Gulberg: „Mathematics-From the birth of numbers“, New York/London (1997).

[0060] Der Feldfacettenspiegel **13** kann beispielsweise so ausgeführt sein, wie in der DE 10 2006 036 064 A1 beschrieben.

[0061] Eine Einzelspiegel-Spalte **23** hat, je nach Ausführung des Feldfacettenspiegels **13**, ebenfalls eine Mehrzahl von Einzelspiegeln **21**. Pro Einzelspiegel-Spalte **23** sind beispielsweise einige zehn Einzelspiegel **21** vorgesehen.

[0062] Zur Erleichterung der Beschreibung von Lagebeziehungen ist in der [Fig. 2](#) ein kartesisches xyz-Koordinatensystem als lokales Koordinatensystem des Feldfacettenspiegels **13** eingezeichnet. Entsprechende lokale xyz-Koordinatensysteme finden sich auch in den nachfolgenden Figuren, die Facettenspiegel oder einen Ausschnitt hiervon in Aufsicht zeigen. In der [Fig. 2](#) verläuft die x-Achse horizontal nach rechts parallel zu den Einzelspiegel-Zeilen **22**. Die y-Achse läuft in der [Fig. 2](#) nach oben parallel zu den Einzelspiegel-Spalten **23**. Die z-Achse steht senkrecht auf der Zeichenebene der [Fig. 2](#) und läuft aus dieser heraus.

[0063] Bei der Projektionsbelichtung werden der Retikelhalter und der Waferhalter synchronisiert zueinander in y-Richtung gescannt. Auch ein kleiner Winkel zwischen der Scanrichtung und der y-Richtung ist möglich, wie noch erläutert wird.

[0064] In x-Richtung hat die Reflexionsfläche **20** des Feldfacettenspiegels **13** eine Erstreckung von x_0 . In y-Richtung hat die Reflexionsfläche **20** des Feldfacettenspiegels **13** eine Erstreckung von y_0 .

[0065] Je nach Ausführung des Feldfacettenspiegels **13** haben die Einzelspiegel **21** x/y-Erstreckungen im Bereich beispielsweise von $600\ \mu\text{m} \times 600\ \mu\text{m}$ bis beispielsweise $2\ \text{mm} \times 2\ \text{mm}$. Der gesamte Feldfacettenspiegel **13** hat eine x_0/y_0 -Erstreckung, die je nach Ausführung beispielsweise $300\ \text{mm} \times 300\ \text{mm}$ oder $600\ \text{mm} \times 600\ \text{mm}$ beträgt. Die Feld-Einzelfacetten **19** haben typische x/y-Erstreckungen von $25\ \text{mm} \times 4\ \text{mm}$ oder von $104\ \text{mm} \times 8\ \text{mm}$. Je nach dem Verhältnis zwischen der Größe der jeweiligen Feld-Einzelfacetten **19** und der Größe der Einzelspiegel **21**, die diese Feld-Einzelfacetten **19** aufbauen, weist jede der Feld-Einzelfacetten **19** eine entsprechende Anzahl von Einzelspiegeln **21** auf.

[0066] Jeder der Einzelspiegel **21** ist zur individuellen Ablenkung von auftreffendem Beleuchtungslicht **10** jeweils mit einem Aktor bzw. Aktuator **24** verbunden, wie in der [Fig. 2](#) anhand zweier in einer Ecke links unten der Reflexionsfläche **20** angeordneten

Einzelspiegel **21** gestrichelt angedeutet und näher in der [Fig. 3](#) anhand eines Ausschnitts einer Einzelfacetten-Zeile **22** dargestellt. Die Aktuatoren **24** sind auf der einer reflektierenden Seite der Einzelspiegel **21** abgewandten Seite jedes der Einzelspiegel **21** angeordnet. Die Aktuatoren **24** können beispielsweise als Piezo-Aktuatoren ausgeführt sein. Ausgestaltungen derartiger Aktuatoren sind vom Aufbau von Mikrospiegel-Arrays her bekannt.

[0067] Die Aktuatoren **24** einer Einzelspiegel-Zeile **22** sind jeweils über Signalleitungen **25** mit einem Zeilen-Signalbus **26** verbunden. Jeweils einem der Zeilen-Signalbusse **26** ist einer Einzelspiegel-Zeile **22** zugeordnet. Die Zeilen-Signalbusse **26** der Einzelspiegel-Zeilen **22** sind ihrerseits mit einem Haupt-Signalbus **27** verbunden. Letzterer steht mit einer Steuereinrichtung **28** des Feldfacettenspiegels **13** in Signalverbindung. Die Steuereinrichtung **28** ist insbesondere zur reihenweise, also zeilen- oder spaltenweise, gemeinsamen Ansteuerung der Einzelspiegel **21** ausgeführt.

[0068] Jeder der Einzelspiegel **21** ist individuell unabhängig um zwei senkrecht aufeinander stehende Kippachsen verkippbar, wobei eine erste dieser Kippachsen parallel zur x-Achse und die zweite dieser beiden Kippachsen parallel zur y-Achse verläuft. Die beiden Kippachsen liegen in den Einzel-Reflexionsflächen der jeweiligen Einzelspiegel **21**.

[0069] Zusätzlich ist mittels der Aktuatoren **24** noch eine individuelle Verlagerung der Einzelspiegel **21** in z-Richtung möglich. Die Einzelspiegel **21** sind also separat voneinander ansteuerbar längs einer Normalen auf die Reflexionsfläche **20** verlagerbar. Hierdurch kann die Topographie der Reflexionsfläche **20** insgesamt verändert werden. Dies ist stark schematisch beispielhaft anhand der [Fig. 4](#) bis [Fig. 6](#) dargestellt. Dadurch können auch Konturen der Reflexionsfläche mit großen Pfeilhöhen, also großen Variationen in der Topografie der Reflexionsfläche, in Form von insgesamt in einer Ebene angeordneten Spiegelabschnitten nach Art von Fresnel-Linsen gefertigt werden. Eine Grundkrümmung einer derartigen Spiegelflächentopografie mit großer Pfeilhöhe wird durch eine solche Unterteilung in Abschnitte nach Art von Fresnel-Zonen eliminiert.

[0070] [Fig. 4](#) zeigt Einzel-Reflexionsflächen der Einzelspiegel **21** eines Ausschnitts einer Einzelspiegel-Zeile **22**, wobei alle Einzelspiegel **21** dieser Einzelspiegel-Zeile **22** über die Steuereinrichtung **28** und die Aktuatoren **24** in die gleiche absolute z-Position gestellt sind. Es resultiert eine plane Zeilen-Reflexionsfläche der Einzelspiegel-Zeile **22**. Wenn alle Einzelspiegel **21** des Feldfacettenspiegels **13** entsprechend der [Fig. 4](#) ausgerichtet sind, ist die gesamte Reflexionsfläche **20** des Feldfacettenspiegels **13** plan.

[0071] [Fig. 5](#) zeigt eine Ansteuerung der Einzelspiegel **21** der Einzelspiegel-Zeile **22**, bei der der mittige Einzelspiegel 21_m gegenüber benachbarten Einzelspiegeln 21_{r1} , 21_{r2} , 21_{r3} in negativer z-Richtung versetzt eingestellt ist. Hierdurch ergibt sich eine Stufenanordnung, die zu einem entsprechenden Phasenversatz der auf die Einzelspiegel-Zeile **22** nach [Fig. 5](#) auftreffenden EUV-Strahlung **10** führt. Die von den beiden mittigen Einzelspiegeln 21_m reflektierte EUV-Strahlung **10** wird dabei am stärksten phasenverzögert. Die randseitigen Einzelspiegel 21_{r3} erzeugen die geringste Phasenverzögerung. Die zwischenliegenden Einzelspiegel 21_{r1} , 21_{r2} erzeugen entsprechend stufenweise eine, ausgehend von der Phasenverzögerung durch die mittigen Einzelspiegel 21_m zunehmend geringere Phasenverzögerung.

[0072] [Fig. 6](#) zeigt eine Ansteuerung der Einzelspiegel **21** des dargestellten Ausschnitts der Einzelspiegel-Zeile **22** derart, dass insgesamt eine konvex geformte Einzelspiegel-Zeile **22** resultiert. Dies kann zur Erzeugung einer abbildenden Wirkung von Einzelspiegel-Gruppen des Feldfacettenspiegels **13** genutzt werden. In gleicher Weise ist natürlich auch beispielsweise eine konkave Anordnung von Gruppen der Einzelspiegel **21** möglich.

[0073] Entsprechende Formgestaltungen, wie vorstehend unter Bezugnahme auf die [Fig. 5](#) und [Fig. 6](#) erläutert, sind nicht auf die x-Dimension beschränkt, sondern können, je nach Ansteuerung über die Steuereinrichtung **28**, auch über die y-Dimension des Feldfacettenspiegels **13** fortgesetzt werden.

[0074] Durch die individuelle Ansteuerung der Aktuatoren **24** über die Steuereinrichtung **28** ist eine vorgegebene Gruppierung der Einzelspiegel **21** in die vorstehend schon erwähnten Einzelspiegel-Gruppen aus je mindestens zwei Einzelspiegeln **21** einstellbar, wobei jeweils eine Einzelspiegel-Gruppe eine Feld-Einzelfacetten **19** des Feldfacettenspiegels **13** vorgibt. Diese, aus mehreren Einzelspiegeln **21** zusammengesetzten Feld-Einzelfacetten **19** haben die gleiche Wirkung wie die beispielsweise aus der US 6,438,199 B1 oder der US 6,658,084 B2 bekannten Feldfacetten.

[0075] [Fig. 7](#) verdeutlicht eine derartige Gruppierung. Dargestellt ist ein Ausschnitt aus der Reflexionsfläche **20** einer Feldfacettenplatte einer Variante des Feldfacettenspiegels **13** mit einer im Vergleich zur Darstellung nach [Fig. 2](#) größeren Anzahl von Einzelspiegeln **21**. Komponenten, die denjenigen entsprechen, die vorstehend schon unter Bezugnahme auf die [Fig. 2](#) bis [Fig. 6](#) erläutert wurden, tragen die gleichen Bezugsziffern und werden nicht nochmals im Einzelnen diskutiert.

[0076] Durch entsprechende Zusammenfassung der Ansteuerungen durch die Steuereinrichtung **28**

sind innerhalb der Reflexionsfläche **20** beim Beispiel der [Fig. 7](#) insgesamt 12 Einzelspiegel-Gruppen **19** gebildet. Jede der Einzelspiegel-Gruppen **19** besteht aus einem 24×3 -Array von Einzelspiegeln **21**, hat also drei Einzelspiegel-Zeilen zu je vierundzwanzig Einzelspiegeln **21**. Jede der Einzelspiegel-Gruppen **19**, also jede der durch diese Gruppierung gebildeten Feld-Einzelfacetten, hat also ein Aspektverhältnis von 8 zu 1. Dieses Aspektverhältnis entspricht dem Aspektverhältnis des auszuleuchtenden Objektfeldes **5**.

[0077] Innerhalb jeder der Einzelspiegel-Gruppen **19** sind die Einzelspiegel **21** derart zueinander ausgerichtet, dass die Form jeder der Einzelspiegel-Gruppen **19** der Form einer Einzelfacetten eines konventionellen Feldfacettenspiegels entspricht. Daher gibt jede der Einzelspiegel-Gruppen **19** eine Einzelfacetten vor.

[0078] [Fig. 8](#) zeigt Details des Pupillenfacettenspiegels **14**, der in der Projektionsbelichtungsanlage **1** eingesetzt ist. Der Pupillenfacettenspiegel **14** weist eine runde Pupillenfacettenplatte **29** auf, auf der eine Vielzahl von Einzelspiegeln **21** angeordnet ist. Bei der Ausführung nach [Fig. 8](#) sind die nutzbaren Einzelspiegel **21** in einer ringförmigen Konfiguration um ein Zentrum **30** der Pupillenfacettenplatte **29** angeordnet. Eine Ringbreite dieser Konfiguration entspricht etwa der Breite von elf nebeneinander liegenden Einzelspiegeln **21**. Auch im Zentrum **30** der Pupillenfacettenplatte **29** liegen entsprechend gerastert angeordnete Einzelspiegel **21** vor, die jedoch, da sie beim annularen, also ringförmigen, Setting nach [Fig. 8](#) nicht genutzt werden, nicht dargestellt sind.

[0079] Die Einzelspiegel **21** sind innerhalb dieser ringförmigen Konfiguration zeilen- und spaltenweise rasterartig angeordnet, entsprechend dem, was vorstehend im Zusammenhang mit dem Feldfacettenspiegel **13** nach den [Fig. 2](#) bis [Fig. 7](#) erläutert wurde. Die Einzelspiegel **21** des Pupillenfacettenspiegels **14** haben ebenfalls Aktuatoren und eine Ansteuerung über der Steuereinrichtung **28**. Diese Aktuatoren sowie die Art der Signalverbindung der Ansteuerung entsprechen dem, was vorstehend im Zusammenhang mit dem Feldfacettenspiegel **13** erläutert wurde.

[0080] Auch die Einzelspiegel **21** des Pupillenfacettenspiegels **14** können zu Einzelspiegel-Gruppen zusammengefasst werden. Dies wird nachfolgend anhand der [Fig. 14](#) und [Fig. 15](#) noch erläutert werden.

[0081] Die [Fig. 9](#) bis [Fig. 13](#) zeigen verschiedene Beispiele von Gruppierungen der Einzelspiegel **21** des Feldfacettenspiegels **13** in Einzelspiegel-Gruppen.

[0082] [Fig. 9](#) zeigt den Fall, bei dem alle Einzelspiegel **21** des Feldfacettenspiegels **13** zu einer einzigen

Einzelspiegel-Gruppe **31** zusammengefasst sind. Alle Einzelspiegel **21** des Feldfacettenspiegels **13** werden dann in gleicher Weise von der Steuereinrichtung **28** angesteuert, werden also beispielsweise bei gleicher z-Lage jeweils um den gleichen Kippwinkel um die x-Achse und um die y-Achse verkippt. Für den Fall, dass diese beiden Kippwinkel jeweils Null sind, stellt der Feldfacettenspiegel **13** einfach einen aus den Einzelspiegeln **21** zusammengesetzten Planspiegel dar. Das Aspektverhältnis des Feldfacettenspiegels **13** insgesamt beträgt x_0/y_0 .

[0083] **Fig. 10** zeigt eine Gruppierung des Feldfacettenspiegels **13** in zwei Einzelspiegel-Gruppen **32**, **33**. Die in der **Fig. 10** obere Einzelspiegel-Gruppe **32** umfasst die obere Hälfte des Feldfacettenspiegels **13** und die Einzelspiegel-Gruppe **33** die untere Hälfte des Feldfacettenspiegels **13**. Innerhalb der beiden Gruppen **32**, **33** werden die Einzelspiegel **21** wiederum von der Steuereinrichtung **28** in gleicher Weise angesteuert. Auf diese Weise ist es möglich, einen Feldfacettenspiegel mit zwei Einzelfacetten vorzugeben, die den Einzelspiegel-Gruppen **32**, **33** entsprechen. Das Aspektverhältnis dieser Einzelfacetten **32**, **33** ist $2 x_0/y_0$.

[0084] **Fig. 11** zeigt eine Unterteilung des Feldfacettenspiegels **13** in insgesamt vier jeweils die gesamte Zeilenbreite der Reflexionsfläche **20** überstreichende Einzelspiegel-Gruppen **34** bis **37** mit einem Aspektverhältnis von $4 x_0/y_0$. Diese vier Einzelspiegel-Gruppen **34** bis **37** geben daher vier Einzelfacetten mit diesem Aspektverhältnis vor.

[0085] **Fig. 12** zeigt eine Gruppierung der Einzelspiegel **21** des Feldfacettenspiegels **13** in insgesamt acht Einzelspiegel-Gruppen **38** bis **45**, die jeweils einer Zeile des Feldfacettenspiegels **13** entsprechen und ein Aspektverhältnis von $8 x_0/y_0$ haben. Bei dieser Gruppierung kann also ein Feldfacettenspiegel mit insgesamt acht Einzelfacetten erzeugt werden.

[0086] **Fig. 13** zeigt eine Gruppierung der Einzelfacetten **21** des Feldfacettenspiegels **13**, bei der innerhalb jeder Zeile des Feldfacettenspiegels **13** acht benachbarte Einzelspiegel **21** zu jeweils einer Einzelspiegel-Gruppe **46** zusammengefasst sind. Jede dieser Einzelspiegel-Gruppen **46** hat ein Aspektverhältnis von 8:1. Wenn jede Einzelspiegel-Zeile **22** des Feldfacettenspiegels **13** beispielsweise 80 Einzelspiegel **21** aufweist, liegen pro Zeile **22** bei der Gruppierung nach **Fig. 13** zehn Einzelspiegel-Gruppen **46**, insgesamt also 80 Einzelspiegel-Gruppen **46** vor. Bei der Ausführung nach **Fig. 13** kann also ein Feldfacettenspiegel **13** mit 80 Einzelfacetten **46** vorgegeben werden.

[0087] **Fig. 14** und **Fig. 15** zeigen eine Ausleuchtung eines Pupillenfacettenspiegels **47**, der dem Pupillenfacettenspiegel **14** ähnlich ist, durch einen Feld-

facettenspiegel, der insgesamt neunzehn Einzelspiegel-Gruppen aufweist, die entsprechend dem gruppiert wurden, was vorstehend im Zusammenhang mit den **Fig. 2** bis **Fig. 7** sowie 9 bis 13 erläutert wurde. Die runde Pupillenfacettenplatte **29** des Pupillenfacettenspiegels **47** ist wie beim Pupillenfacettenspiegel **14** nach **Fig. 8** insgesamt zeilen- und spaltenweise rasterartig mit den Einzelspiegeln **21** belegt. Beleuchtet dieser Einzelspiegel **21** des Pupillenfacettenspiegels **47** sind durch eine Schraffur hervorgehoben. Beleuchtet werden dabei jeweils kreisförmig berandete Einzelspiegel-Gruppen **48**. Innerhalb der kreisförmigen Berandungen der Einzelspiegel-Gruppen **48** liegen die vom im Strahlengang des Beleuchtungslichts vorgeordneten Feldfacettenspiegel erzeugten multiplen Bilder einer beispielsweise als kreisförmig angenommenen Strahlungsquelle beziehungsweise die multiplen Bilder eines Bildes dieser als kreisförmig angenommenen Strahlungsquelle in einem Zwischenfokus des Strahlengangs des Beleuchtungs- und Abbildungslichts. Diese multiplen Bilder werden auch als Quellbilder bezeichnet. Wenn das Bild der Quelle im Zwischenfokus des Pupillenfacettenspiegels **47** von einer Kreisform abweicht, können die Einzelspiegel-Gruppen in ihrer Form an die Form der Quellbilder entsprechend angepasst werden. Falls das Bild der Strahlungsquelle beispielsweise elliptisch ist, können die Einzel-Spiegelgruppen **48** auf dem Pupillenfacettenspiegel **47** entsprechend elliptisch berandet sein. Auch andere Formen der Bilder der Strahlungsquelle bzw. der Quellbilder sind möglich, beispielsweise hexagonale oder rechteckige Formen, die auf dem Pupillenfacettenspiegel **47** beispielsweise eine optimale Parkettierung ergeben. Derartige Formen des Bildes der Strahlungsquelle können durch eine entsprechende Blendenanordnung in der Zwischenfokusebene erreicht werden. Durch entsprechende Umgruppierung von Einzelspiegel-Gruppen **48** des Pupillenfacettenspiegels **47** kann eine Anpassung der Beleuchtungsoptik **4** an beispielsweise durch Blendenaustausch im Zwischenfokus sich ändernde Formen des Bildes der Strahlungsquelle erreicht werden. Auch einem Wechsel des Strahlungsquellentyps, beispielsweise einem Wechsel zwischen einer GDPP- hin zu einer LPP-Strahlungsquelle, kann auf diese Weise Rechnung getragen werden.

[0088] Jede der Einzelspiegel-Gruppen **48** des Pupillenfacettenspiegels **47** wird von genau einer Einzelspiegel-Gruppe, also beispielsweise von den Einzelspiegel-Gruppen **19** (vergleiche **Fig. 7**), des Feldfacettenspiegels **13** beleuchtet. Insgesamt liegen neunzehn beleuchtete Einzelspiegel-Gruppen **48** auf dem Pupillenfacettenspiegel **47** vor. Der vorgelagerte Feldfacettenspiegel **13** ist, wie schon erwähnt, in neunzehn zugeordnete Einzelspiegel-Gruppen **19** unterteilt. Durch die Zuordnung der neunzehn Einzelspiegel-Gruppen **19** des Feldfacettenspiegels **13** zu den neunzehn Einzelspiegel-Gruppen **48** auf dem

Pupillenfacettenspiegel **47** ergeben sich insgesamt neunzehn Kanäle für den Lichtweg der EUV-Strahlung **10** vom Feldfacettenspiegel **13** bis hin zum Objektfeld **5**.

[0089] Innerhalb jeder der Einzelspiegel-Gruppen **48** des Pupillenfacettenspiegels **47** werden typischerweise neun zentrale Einzelspiegel **21** voll und um die zentralen Einzelspiegel **21** herum weitere Einzelspiegel **21** teilweise ausgeleuchtet. Diese mindestens teilweise ausgeleuchteten Einzelspiegel **21** bilden die mit Hilfe der Steuereinrichtung **28** jeweils gruppiert anzusteuernde Einzelspiegel-Gruppe **48**. Diese Ansteuerung der Einzelspiegel **21** jeder der Einzelspiegel-Gruppen **48** ist so, dass eine Abbildung der zugehörigen Einzelspiegel-Gruppe des Feldfacettenspiegels **13**, also beispielsweise der zugehörigen Einzelspiegel-Gruppe **19** bei der Ausführung nach **Fig. 7**, über diese Einzelspiegel-Gruppe **48** des Pupillenfacettenspiegels **47** und die nachgelagerte Übertragungsoptik **16** in das Objektfeld **5** abgebildet wird. Mit dem Feldfacettenspiegel **13** werden am Ort der Einzelspiegel-Gruppen **48** sekundäre Lichtquellen erzeugt, die in eine Pupillenebene der Projektionsebene **7** abgebildet werden. Die Intensitätsverteilung der EUV-Strahlung **10** auf dem Pupillenfacettenspiegel **47** ist daher direkt korreliert mit einer Beleuchtungswinkelverteilung der Beleuchtung des Objektfeldes **5** in der Objektebene **6**.

[0090] Die Einzelspiegel-Gruppen **48** sind beim Beleuchtungsbeispiel nach **Fig. 14** über die Pupillenfacettenteile **29** in etwa gleich verteilt angeordnet. Entsprechend resultiert eine Beleuchtung des Objektfeldes **5** aus über die gesamte Apertur der Pupillenfacettenplatte **29** verteilten Beleuchtungswinkeln. Es resultiert also eine angenähert konventionelle Beleuchtung des Objektfeldes **5** aus allen Richtungen, die durch die bildseitige numerische Apertur der Projektionsoptik **7** vorgegeben sind.

[0091] **Fig. 15** zeigt eine gegenüber **Fig. 14** geänderte Ausleuchtung des Pupillenfacettenspiegels **47**, also ein gewechseltes Beleuchtungssetting der Projektionsbelichtungsanlage **1**. Durch entsprechende gruppenweise Ansteuerung der zugehörigen Einzelspiegel-Gruppen des Feldfacettenspiegels **13**, beispielsweise der Einzelspiegel-Gruppen **19** nach **Fig. 7**, werden nun am Rand der Pupillenfacettenplatte **29** angeordnete Einzelspiegel-Gruppen **49** ausgeleuchtet. Es resultiert eine angenähert annuläre Beleuchtungswinkelverteilung der Beleuchtung des Objektfeldes **5** in der Objektebene **6**.

[0092] Eine minimale Breite eines Rings einer solcherart einstellbaren Beleuchtungsverteilung ist vorgegeben durch die Breite der Einzelspiegel-Gruppen **49**.

[0093] Damit die Abbildung der Feld-Einzelfacetten

in das Objektfeld **5** auch bei dem geänderten Beleuchtungssetting nach **Fig. 15** gewährleistet ist, müssen nicht nur die Feld-Einzelfacetten, also beispielsweise die Einzelspiegel-Gruppen **19** der Ausführung nach **Fig. 7**, sondern auch die Einzelspiegel **21** der Einzelspiegel-Gruppen **49** durch über die Steuereinrichtung **28** angesteuerte gruppenweise Verkippung entsprechend nachjustiert werden. Es muss also eine synchronisierte Ansteuerung der Einzelspiegel-Gruppen des Feldfacettenspiegels **13** einerseits und des Pupillenfacettenspiegels andererseits beim Wechsel des Beleuchtungssettings über die Steuereinrichtung **28** erfolgen.

[0094] Eine Ausleuchtung nach **Fig. 15** ist auch beim Einsatz des Pupillenfacettenspiegels **14** nach **Fig. 8** möglich. Letzterer kann zur Ausleuchtung des Objektfeldes **5** mit verschiedenen annulären Beleuchtungssettings, die sich durch die minimalen und maximalen Beleuchtungswinkel im Objektfeld unterscheiden, genutzt werden.

[0095] **Fig. 16** zeigt eine weitere Variante einer Gruppierung der Einzelspiegel **21** des Feldfacettenspiegels **13**. Eine Einzelspiegel-Gruppe **50** des Feldfacettenspiegels **13** ist nach **Fig. 16** so gruppiert, dass diese Einzelspiegel-Gruppe **50** eine bogenförmige Einhüllende **51** hat. Die Einhüllende **51** wird durch Auswahl entsprechender Einzelspiegel **21** nachgebildet. Die Einzelspiegel-Gruppe **50** umfasst diejenigen Einzelspiegel **21**, die in der **Fig. 16** schraffiert dargestellt sind. Entsprechend wird durch die Einzelspiegel-Gruppe **50** eine bogenförmige Einzelfacetten zur Ausleuchtung eines entsprechend bogen- oder ringförmigen Objektfeldes **5** in der Objektebene **6** gebildet. Genauso kann natürlich auch eine Mehrzahl derartiger Einzelspiegel-Gruppen **50** mit bogen- oder ringförmigen Einhüllenden **51** zur Ausleuchtung entsprechend geformter Objektfelder gebildet werden. Die Anzahl der Einzelfacetten **21**, die hierfür beim Feldfacettenspiegel **13** benötigt werden, richtet sich, wie auch bei den sonstigen vorstehend erläuterten Gruppierungen in Einzelspiegel-Gruppen einerseits nach der gewünschten Anzahl der Einzelspiegel-Gruppen und andererseits nach der geforderten Auflösung, mit der eine gewünschte Einhüllende, beispielsweise die Einhüllende **51**, durch das Raster oder die Parkettierung der Einzelspiegel **21** nachgebildet werden soll.

[0096] **Fig. 17** bis **Fig. 20** zeigen verschiedene Beispiele von Anordnungen bzw. Konfigurationen von Einzelspiegel-Gruppen bzw. Einzelfacetten **19** des Feldfacettenspiegels **13**. Jede dieser Einzelspiegel-Gruppen **19** ist ihrerseits, wie vorstehend im Zusammenhang mit den **Fig. 2** bis **Fig. 16** erläutert, in eine Mehrzahl von nicht im Einzelnen dargestellten Einzelspiegeln **21** unterteilt. Jede der Gruppierungen, die in den **Fig. 17** bis **Fig. 20** dargestellt sind, kann mit ein und demselben Feldfacettenspiegel **13**

realisiert werden. Dargestellt sind jeweils nur die Einzelspiegel-Gruppen **19**, nicht aber die zwischen diesen Gruppen ebenfalls vorhandenen, aber nicht genutzten Einzelspiegel.

[0097] Bei der Gruppierung der Feldfacettenspiegels **13** nach [Fig. 17](#) liegen insgesamt vier Spalten **52** von Einzelspiegel-Gruppen **19** vor. Dort, wo in einem zentral kreuzförmigen Abschnitt **53** eine Abschattung des Feldfacettenspiegels **13** durch vorgelegerte Komponenten stattfindet, sind benachbarte Einzelspiegel-Gruppen **19** entsprechend stärker voneinander beabstandet, sodass im Abschnitt **53** keine gruppierten Einzelspiegel vorliegen.

[0098] Bei der Gruppierung des Feldfacettenspiegels **13** nach [Fig. 18](#) sind die Einzelspiegel-Gruppen **19**, die ihrerseits wiederum aus einer Mehrzahl nicht dargestellter Einzelspiegel aufgebaut sind, nach Art des in der [Fig. 7](#) dargestellten Ausschnitts spaltenweise zueinander versetzt angeordnet. Bei dieser Konfiguration der Einzelspiegel-Gruppen **19** ist ein horizontal verlaufender zentraler Abschnitt **54** des Feldfacettenspiegels **13**, der sich im Zentrum erweitert, nicht mit gruppierten Einzelspiegeln **21** belegt. Auch der Abschnitt **54** wird durch dem Feldfacettenspiegel **13** nach [Fig. 18](#) vorgelagerte Komponenten abgeschattet.

[0099] Die Einzelspiegel-Gruppen **19** sind beim Feldfacettenspiegel **13** nach [Fig. 18](#) in Übergruppen **55** angeordnet. Manche der benachbarten Übergruppen-Zeilen sind zur Erzeugung einer kreisförmigen Einhüllenden des Feldfacettenspiegels **13** nach [Fig. 18](#) zueinander versetzt angeordnet.

[0100] Die Einzelspiegel-Gruppen **19** der Feldfacettenspiegel **13** nach den [Fig. 17](#) und [Fig. 18](#) haben ein Aspektverhältnis x/y von 13:1. Diese Einzelspiegel-Gruppen **19** können also jeweils durch 13 nebeneinander angeordnete quadratische Einzelspiegel **21** erzeugt werden.

[0101] [Fig. 19](#) zeigt ein Beispiel einer Konfiguration einer Mehrzahl bogen- bzw. ringförmiger Einzelspiegel-Gruppen **50**, wobei jede Einzelspiegel-Gruppe **50** derjenigen entspricht, die vorstehend unter Bezugnahme auf [Fig. 16](#) erläutert wurde. Die Einzelspiegel-Gruppen **50**, also die Einzelfacetten des Feldfacettenspiegels **13** nach [Fig. 19](#), sind in Übergruppen **56** zu je zehn in der [Fig. 19](#) übereinander angeordneten Einzelspiegel-Gruppen **50** angeordnet. Die Übergruppen **56** sind wiederum spaltenweise in fünf Übergruppen-Spalten angeordnet. Die Übergruppen **56** sind derart symmetrisch angeordnet, dass sie in eine kreisförmige Einhüllende **57** eingeschrieben sind.

[0102] [Fig. 20](#) zeigt eine weitere Konfiguration des Feldfacettenspiegels **13** in bogen- oder ringförmige Einzelspiegel-Gruppen **50**. Die Einzelspiegel-Grup-

pen **50** sind wiederum in Übergruppen **58** gruppiert, die sich in der Anzahl der Einzelspiegel-Gruppen **50** unterscheiden. Die in der [Fig. 20](#) links unten dargestellte Übergruppe **58a** ist beispielsweise in neun Einzelspiegel-Gruppen **50** unterteilt. Andere Übergruppen **58** haben mehr oder weniger Einzelspiegel-Gruppen **50**. Aufgrund einer durch den Kollektor **11** erzeugten Mittenabschattung weist einer zentraler Abschnitt **59** des Feldfacettenspiegels **13** keine Einzelspiegel-Gruppen **13** auf.

[0103] Das Aspektverhältnis der Einzelspiegel-Gruppen **50** der Ausführungen nach den [Fig. 19](#) und [Fig. 20](#) beträgt ebenfalls $x/y = 13:1$. x bezeichnet dabei die Breite einer der Einzelspiegel-Gruppen **50** in x -Richtung und y deren Erstreckung in y -Richtung.

[0104] [Fig. 21](#) und [Fig. 22](#) zeigen verschiedene Unterteilungen des Pupillenfacettenspiegels **47** in Einzelspiegel-Gruppen **60**, **61**. Dargestellt sind auch hier wiederum nur die Einzelspiegel-Gruppen, nicht aber die zwischen den so gruppierten Einzelspiegeln ebenfalls noch vorhandenen Einzelspiegel. Die Unterteilungen nach den [Fig. 21](#) und [Fig. 22](#) können mit ein und demselben Pupillenfacettenspiegel **47** erzeugt werden.

[0105] Der Pupillenfacettenspiegel **47** ist bei der Ausführung nach [Fig. 21](#) in Einzelspiegel-Gruppen **60** unterteilt, die eine Mehrzahl konzentrischer Kreise um einen Zentralbereich **62** herum bilden. Jede einzelne der Einzelspiegel-Gruppen **61** ist ihrerseits aus einer Mehrzahl von Einzelspiegeln **21** des Pupillenfacettenspiegels **47** aufgebaut, wie vorstehend unter Bezugnahme auf die [Fig. 8](#) sowie [Fig. 14](#) und [Fig. 15](#) erläutert. Es liegen insgesamt mehr als 100 Einzelspiegel-Gruppen **60** vor, sodass der Pupillenfacettenspiegel **47** beispielsweise bei der Ausführung nach [Fig. 21](#) mehr als 1.000 Einzelspiegel **21** aufweist.

[0106] Bei der Gruppierung der Einzelspiegel **21** nach [Fig. 22](#) liegen die Einzelspiegel-Gruppen **61** angenähert in einer hexagonal dichtesten Packung der wiederum runden Einzelspiegel-Gruppen **61** vor.

[0107] Die Gruppierungen nach den [Fig. 21](#) und [Fig. 22](#) haben sich zur variablen Herstellung von Beleuchtungssettings mit vorgegebener Beleuchtungswinkelverteilung als besonders geeignet herausgestellt. Nach Bedarf können einzelne der Einzelspiegel-Gruppen **60**, **61** oder auch Übergruppen hiervon, beispielsweise durch Verkippen der ihnen vorgeordneten Einzelspiegel-Gruppen **19** des Feldfacettenspiegels **13**, auch zur Vorgabe eines bestimmten Beleuchtungssettings ausgeblendet werden.

[0108] [Fig. 23](#) zeigt eine zur [Fig. 2](#) alternative Parkettierung der Reflexionsfläche **20** eines der vorstehend beschriebenen Facettenspiegel mit Einzelspiegeln **21**. Die Einzelspiegel **21** sind auch bei der Par-

kettierung nach [Fig. 23](#) quadratisch ausgeführt. Die Einzelspiegel **21** sind nicht zeilen- und spaltenweise rasterartig zueinander angeordnet, sondern benachbarte Spalten sind jeweils um eine halbe Kantenlänge der Einzelspiegel **21** zueinander versetzt.

[0109] Mit der Parkettierung nach [Fig. 23](#) können bogen- oder ringförmige Einzelspiegel-Gruppen, beispielsweise die Einzelspiegel-Gruppen **50** nach den [Fig. 19](#) und [Fig. 20](#), mit geringeren Verlusten benachbart zur Einhüllenden **51** erzeugt werden, wobei hierzu im Vergleich zu einer zeilen- und spaltenweise rasterartigen Parkettierung eine geringere Einzelspiegel- oder Pixelauflösung bei gegebenem maximal tolerierbarem Verlust erforderlich ist.

[0110] [Fig. 24](#) zeigt eine Projektionsbelichtungsanlage mit einer alternativen Beleuchtungsoptik. Komponenten, die denjenigen entsprechen, die vorstehend schon unter Bezugnahme auf die [Fig. 1](#) bis [Fig. 23](#) erläutert wurden, tragen die gleichen Bezugsziffern und werden nicht nochmals im Einzelnen diskutiert.

[0111] Der Strahlungsquelle **3** nachgeordnet ist zunächst ein bündelformender Kollektor **63**, der ansonsten die Funktion des Kollektors **11** bei der Anordnung nach [Fig. 1](#) hat. Dem Kollektor **63** nachgeordnet ist ein spekulärer Reflektor **64**. Dieser formt die einfallende EUV-Strahlung **10** so, dass die EUV-Strahlung **10** in der Objektebene **6** das Objektfeld **5** ausleuchtet, wobei in einer dem Retikel nachgeordneten Pupillenebene **65** der in der [Fig. 24](#) nicht dargestellten Projektionsoptik eine vorgegebene, beispielsweise homogen ausgeleuchtete, kreisförmig berandete Pupillen-Beleuchtungsverteilung, also ein entsprechendes Beleuchtungssetting, resultiert. Die Wirkung des spekulären Reflektors **64** ist beschrieben in der US 2006/0132747 A1. Eine Reflexionsfläche des spekulären Reflektors **64** ist wie die vorstehend beschriebenen Facettenspiegel in Einzelspiegel **21** unterteilt. Je nach den Beleuchtungsanforderungen werden diese Einzelspiegel des spekulären Reflektors **64** zu Einzelspiegel-Gruppen, also zu Facetten des spekulären Reflektors **64**, gruppiert.

[0112] [Fig. 25](#) zeigt eine zur Ausleuchtung nach [Fig. 1](#) alternative Ausleuchtung des Pupillenfacettenspiegels **14**. Komponenten, die denjenigen entsprechen, die vorstehend unter Bezugnahme auf die [Fig. 1](#) bis [Fig. 23](#) erläutert wurden, tragen die gleichen Bezugszeichen und werden nicht nochmals im Einzelnen diskutiert. Dargestellt ist das Beleuchtungssystem **2** in der [Fig. 25](#) bis einschließlich des Pupillenfacettenspiegels **14**.

[0113] Im Unterschied zum Beleuchtungssystem **2** nach [Fig. 1](#) liegt beim Beleuchtungssystem **2** nach [Fig. 25](#) zwischen dem Kollektor **11** und dem Feldfacettenspiegel **13** keine Zwischenfokusebene vor. Die

Reflexionsflächen der Einzelspiegel-Gruppen des Feldfacettenspiegels **13** können als plane Flächen ausgestaltet sein.

[0114] Innerhalb einer der vorstehend beschriebenen Einzelspiegel-Gruppen des Feldfacettenspiegels **13** können einzelne der Einzelspiegel **21** definiert anders als die anderen Einzelspiegel **21** dieser Gruppe angesteuert, also aus der Einzelspiegel-Gruppe herausgenommen werden. Die verschiedenen erzeugten Einzelfacetten des Feldfacettenspiegels **13** können also mit gezielten Ablendungen individuell ausgestattet werden, was zur Korrektur der Intensitäts-Homogenität der Ausleuchtung des Objektfeldes **5** genutzt werden kann.

[0115] Entsprechend können auch innerhalb einer der vorstehend beschriebenen Einzelspiegel-Gruppen des Pupillenfacettenspiegels **14**, **47** einzelne der Einzelspiegel **21** definiert anders als die anderen Einzelspiegel **21** dieser Gruppe angesteuert, also aus der Einzelspiegel-Gruppe herausgenommen werden. Die verschiedenen Quellbilder (vergleiche **48** in den [Fig. 14](#) und [Fig. 15](#)) auf dem Pupillenfacettenspiegel können also mit gezielten Ablendungen individuell ausgeschaltet werden, was zur Korrektur beziehungsweise zur Vorgabe bestimmter Intensitätsverteilungen über die Beleuchtungswinkel des Objektfeldes **5** genutzt werden kann.

[0116] Entsprechend können auch Einzelfacetten von auf den spekulären Reflektor **64** zusammengefassten Einzelspiegel-Gruppen individuell aus der Einzelspiegel-Gruppe herausgenommen werden.

[0117] [Fig. 26](#) zeigt eine weitere Variante einer Beleuchtungsoptik. Komponenten und Funktionen, die denjenigen entsprechen, die vorstehend schon unter Bezugnahme auf die [Fig. 1](#) bis [Fig. 25](#) erläutert wurden, tragen die gleichen Bezugsziffern und werden nicht nochmals im Einzelnen diskutiert.

[0118] Der Strahlungsquelle **3** ist zunächst ein Kollektor **66** mit einer durchgehenden, also nicht facettierten, Spiegelfläche nachgeordnet. Hierbei kann es sich beispielsweise um eine elliptische Spiegelfläche handeln. Anstelle des Kollektors **66** kann auch ein genesteter Kollektor eingesetzt sein.

[0119] Nach der Zwischenfokusebene **12** trifft die EUV-Strahlung **10** auf einen Kollektorfacettenspiegel **67**. Letzterer hat eine plane Trägerplatte **68**, mit der ein hierauf angebrachtes x/y-Array aus Ellipsoid-Einzelspiegeln **69** verbunden ist. Die Ellipsoid-Einzelspiegel **69** haben dicht aneinander angrenzende Reflexionsflächen, sodass der größte Anteil der EUV-Strahlung **10** von den Ellipsoid-Einzelspiegeln **69** des Kollektorfacettenspiegels **67** reflektiert wird. Die Ellipsoid-Einzelspiegel **69** sind mit nicht dargestellten Aktoren verbunden, über die sich die Ellipso-

id-Einzelspiegel **69** individuell verkappen lassen. Die Ellipsoid-Einzelspiegel **69** sind so geformt, dass sie alle den gleichen Raumwinkel der EUV-Strahlung **10** aufnehmen.

[0120] Die Strahlungsquelle **3** liegt in einem und der Zwischenfokus in der Zwischenfokusebene **12** liegt im anderen Brennpunkt des elliptischen Kollektors **66**.

[0121] Dem Kollektorfacettenspiegel **67** ist im Strahlengang der EUV-Strahlung **10** nachgeordnet ein spekulärer Reflektor **70** mit einem x/y-Array aus Einzelspiegeln **21**. Jedem Ellipsoid-Einzelspiegel **69**, der mit der EUV-Strahlung **10** beaufschlagt ist, ist im nachfolgenden Strahlengang einer der Einzelspiegel **21** des spekulären Reflektors **70** zugeordnet, sodass die EUV-Strahlung **10** entsprechend der Anzahl der beaufschlagten Ellipsoid-Einzelspiegel **69** in eine Anzahl von Strahlungskanälen aufgeteilt wird, wobei jeder dieser Strahlungskanäle zunächst einen der Ellipsoid-Einzelspiegel **69** und dann den diesem zugeordneten Einzelspiegel **21** des spekulären Reflektors **70** beaufschlagt.

[0122] In jeweils einem der Brennpunkte eines der Ellipsoid-Einzelspiegel **69** liegt der Zwischenfokus der Zwischenfokusebene **12** und im anderen Brennpunkt des Ellipsoid-Einzelspiegels **69** liegt der Einzelspiegel **21** des spekulären Reflektors **70**, der diesem Ellipsoid-Einzelspiegel **69** zugeordnet ist. Der spekuläre Reflektor **70** liegt also in einer Bildebene **71** für Quellbilder **72** der Strahlungsquelle **3**. Diese Quellbilder **72** liegen in der Bildebene **71** diskret, also voneinander beabstandet vor. Dies ist in der [Fig. 28](#) dargestellt, die eine Aufsicht auf die Quellbilder **72** am Ort des spekulären Reflektors **70** darstellt. Insgesamt liegen, entsprechend der Anzahl der beleuchteten Einzelfacetten **21** des spekulären Reflektors **70**, mehrere hundert derartiger Quellbilder **72** vor, die in einem äquidistanten x/y-Raster angeordnet sind. Eine Einhüllende der Gesamtheit der Quellbilder **72** hat eine in etwa nieren- oder bohnenförmige Form.

[0123] Ausgehend von den Quellbildern **72** auf dem spekulären Reflektor **70** werden über die individuellen Strahlungskanäle Objektfeldabschnitte **73** des Objektfeldes **5** in der Objektebene **6**, in der das Retikel angeordnet ist, ausgeleuchtet. Die Objektfeldabschnitte **73** bedecken das Objektfeld **5** nach Art eines in der Regel verzerrten rechteckigen x/y-Rasters.

[0124] Die Objektfeldabschnitte **73** werden, da sie jeweils einem Quellbild **72** zugeordnet sind, auch als Quellsots bezeichnet.

[0125] Der spekuläre Reflektor **70** ist nicht in einer Pupillenebene der Beleuchtungsoptik nach [Fig. 26](#) angeordnet.

[0126] Das Objektfeld **5** hat eine Teilring-Form beispielsweise mit einer Schlitzweite von 2 mm in y-Richtung und einer Breite von 26 mm in x-Richtung. Die Einzelspiegel **21** des spekulären Reflektors **70** formen die Strahlungskanäle der EUV-Strahlung derart, dass in der Objektebene **6** das Objektfeld, zusammengesetzt über die Objektfeldabschnitte **73**, ausgeleuchtet und dass in einer nachgeordneten Pupillenebene der Beleuchtungsoptik, die mit einer Pupillenebene der nachgeschalteten Projektionsoptik zusammenfällt, eine gewünschte Intensitätsverteilung vorliegt, sodass sichergestellt ist, dass eine gewünschte Beleuchtungswinkelverteilung auf dem Retikel vorliegt.

[0127] In der [Fig. 26](#) ist eine kanalweise Beleuchtung schematisch angedeutet, bei der benachbarte Ellipsoid-Einzelspiegel **69** für die Beaufschlagung benachbarter Einzelspiegel **21** des spekulären Reflektors **70** mit der EUV-Strahlung **10** sorgen. Eine derartige benachbarte Zuordnung ist nicht zwingend. Vielmehr kann es gewünscht sein, eine derartige Nachbarschaftszuordnung aufzuheben, sodass sich beispielsweise die Nachbarschaftsbeziehungen der Ellipsoid-Einzelspiegel **69** einerseits und der Einzelspiegel **21** des spekulären Reflektors **70** andererseits nicht durch eine Punktinversion, eine Spiegelung oder durch eine identische Abbildung ineinander überführen lassen. Dies wird nachfolgend auch als Mischen von Nachbarschaftsbeziehungen bezeichnet und ist bei der Zuordnungsvariante der Ellipsoid-Einzelspiegel **69** zu den Einzelspiegeln **21** des spekulären Reflektors **70** nach [Fig. 27](#) dargestellt.

[0128] Durch diese Mischung der Nachbarschaftsbeziehungen nach [Fig. 27](#) wird erreicht, dass über den spekulären Reflektor **70** die Objektfeldabschnitte **73** mit entsprechender Mischung ausgeleuchtet werden, was zu einer guten Homogenität der Ausleuchtung des Objektfeldes **5** führt. Veränderungen der Abstrahlcharakteristik der Strahlungsquelle **3** oder Änderungen, insbesondere über die Fläche, der Reflektivitäten von dem spekulären Reflektor **70** vorgeschalteten Optiken beispielsweise durch selektive Kontamination der Spiegelflächen, haben dann weniger starke Auswirkungen auf die Homogenität der Objektfeldausleuchtung.

[0129] Eine Mischzuordnung der Ellipsoid-Einzelspiegel **69** zu den Einzelspiegeln **21** des spekulären Reflektors **70** kann beispielsweise mit Hilfe von Algorithmen erfolgen, die aus der US 6,438,199 B1 bekannt sind.

[0130] Die Anzahl der Einzelspiegel **21** des spekulären Reflektors **70** ist größer als die Anzahl der Ellipsoid-Einzelspiegel **69** des Kollektorfacettenspiegels **67**. Auf diese Weise lassen sich durch entsprechende Ansteuerung der Aktoren der Ellipsoid-Einzelspiegel **69** verschiedene Untergruppen der Einzelspiegel

21 des spekularen Reflektors **70** zur Vorgabe verschiedener gewünschter Beleuchtungen des Objektfeldes **5** verstellen.

[0131] Auch die Einzelspiegel **21** des spekularen Reflektors **70** sind jeweils mit Aktoren verbunden, so dass sie sich individuell gegenüber der Bildebene **71** verkippen lassen. Hierdurch ist es möglich, nach einer Umstellung der Ellipsoid-Einzelspiegel **69** eine entsprechende Nachstellung der Einzelspiegel **21** des spekularen Reflektors **70** zu erreichen.

[0132] In den [Fig. 26](#) und [Fig. 27](#) schematisch dargestellt ist eine längs der y-Richtung verlaufende Gruppe **74** von Ellipsoid-Einzelspiegeln **69**, die einer ebenfalls längs der y-Richtung verlaufenden Gruppe **75** von Einzelspiegeln **21** des spekularen Reflektors **70** sowie einer ebenfalls in y-Richtung verlaufenden Gruppe von Objektfeldabschnitten **73** zugeordnet sind.

[0133] Die Aktuatoren des Kollektorfacettenspiegels **67** einerseits und des spekularen Reflektors **70** andererseits können so angesteuert werden, dass eine gruppenweise Ansteuerung der Ellipsoid-Einzelspiegel **69** beziehungsweise der Einzelspiegel **21** des spekularen Reflektors **70** möglich ist. Eine derartige gruppenweise Ansteuerung ist allerdings nicht zwingend.

[0134] Der Kollektorfacettenspiegel **67** kann aus vorher separat gefertigten Ellipsoid-Einzelspiegeln **69** montiert werden. Bei einer weiteren Herstellungsvariante für den Kollektorfacettenspiegel **67** wird dieser monolithisch, beispielsweise durch Einzeldiamantbearbeitung geformt. Der Kollektorfacettenspiegel **67** wird dann mit Hilfe von HSQ- oder mit Hilfe von Polyimid-Spincoating geglättet. Das HSQ-Verfahren ist beschrieben in Farhad Salmassi et al., Applied Optics, Volume 45, Nr. 11, S. 2404 bis 2408.

[0135] Bei einer weiteren Herstellungsvariante ist es möglich, den Kollektorfacettenspiegel **67** von einem Mutterkörper beispielsweise galvanisch abzuformen.

[0136] Die Strahlungsquelle **3**, der Kollektor **66** und der Kollektorfacettenspiegel **67** können in ein Mehrquellen-Array (Multisource-Array) integriert sein. Ein derartiges Multisource-Array ist beschrieben in der deutschen Patentanmeldung 10 2007 008 702.2, die vollumfänglich Bestandteil dieser Anmeldung sein soll. Jede Lichtquelle des Multisource-Arrays kann im auszuleuchtenden Bereich, also im Objektfeld, nur einen Teilbereich, also einen Objektfeldabschnitt, ausleuchten.

[0137] Die Ellipsoid-Einzelspiegel **69** oder auch die Einzelspiegel **21** der vorstehend erläuterten Ausführungsbeispiele, soweit diese Einzelspiegel **21** ge-

krümmt ausgeführt sind, können ihrerseits aus einer Mehrzahl von planen Mikrosiegeln ausgeführt sein, wobei diese Mehrzahl an Planflächen die jeweilige gekrümmte Fläche des Ellipsoid-Einzelspiegels **69** oder des gekrümmten Einzelspiegels **21** nach Art eines Polyeders approximiert.

[0138] Prinzipiell können die Mikrospiegel, die die gekrümmten Flächen der Ellipsoid-Einzelspiegel **69** oder der gekrümmten Einzelspiegel **21** approximieren, wiederum aktuatorisch verlagerbar ausgeführt sein. In diesem Falle ist es möglich, über die Mikrospiegel eine Beeinflussung der Abbildungseigenschaften der Einzelspiegel **69**, **21** herbeizuführen.

[0139] Derartige Mikrospiegel können beispielsweise nach Art eines Mikrospiegel-Arrays (MMA-Arrays) realisiert werden, bei dem die einzelnen Spiegel mittels seitlich angebrachter Federgelenke beweglich gelagert sind und elektrostatisch aktuiert werden können. Derartige Mikrospiegelanordnungen sind dem Fachmann unter dem Stichwort „MEMS“ (mikroelektromechanische Systeme) beispielsweise aus der EP 1 289 273 A1 bekannt.

[0140] Bei den vorstehend beschriebenen Ausführungsbeispielen stellen die Einzelspiegel **21** bzw. **69** Ausleuchtungskanäle zur Überlagerung der EUV-Strahlung **10**, also der Beleuchtungsstrahlung, im Objektfeld **5** der Projektionsbelichtungsanlage **1** bereit. Derartige Ausleuchtungskanäle AK sind in den [Fig. 26](#) und [Fig. 27](#) schematisch dargestellt. Entsprechende Ausleuchtungskanäle liegen auch bei den Varianten nach den [Fig. 1](#) bis [Fig. 25](#) vor. Die Einzelspiegel **21** bzw. **69** haben Spiegelflächen mit einer derartigen Ausdehnung, dass diese Einzelspiegel-Ausleuchtungskanäle im Objektfeld **5** Objektabschnitte beleuchten, die kleiner als das Objektfeld **5** sind. Dies ist in den [Fig. 26](#) und [Fig. 27](#) schematisch für das Beispiel mit dem spekularen Reflektor **70** dargestellt. Prinzipiell gilt diese Beleuchtung des Objektfeldes **5** durch Zusammensetzung von Objektabschnitten, die verschiedenen Einzelspiegel-Ausleuchtungskanälen zugeordnet sind, jedoch genauso für die Ausführungsvarianten der [Fig. 1](#) bis [Fig. 25](#).

[0141] [Fig. 29](#) zeigt schematisch ein mit beispielhaft insgesamt zweiundzwanzig Ausleuchtungskanälen beleuchtetes Objektfeld **5**, wobei diese Einzelspiegel-Ausleuchtungskanäle entsprechend zweiundzwanzig Objektabschnitte **76** beleuchten. Grenzen **77**, **78** zwischen den Objektabschnitten **76** verlaufen in der x-Richtung bzw. in der y-Richtung.

[0142] Eine Scanrichtung y_{scan} , mit der der Waferhalter und der Retikelhalter bei der Projektionsbelichtung mit der Projektionsbelichtungsanlage **1** mit der Objektfeldausleuchtung nach [Fig. 29](#) synchronisiert zueinander verlagert werden, verläuft nicht exakt pa-

rallel zur y-Richtung, also nicht senkrecht zur langen Feldachse x des Objektfeldes **5**, sondern zu dieser um einen Winkel α verkippt. Dies führt dazu, dass ein Punkt auf dem Retikel eine der in y-Richtung verlaufenden Grenzen **78** zwischen zwei Objektfeldabschnitten **76** nur längs eines Teils seines Scans durch das Objektfeld **5** sieht, falls überhaupt. Es ist verhindert, dass abzubildende Punkte auf dem Retikel während des gesamten Scans durch das Objektfeld **5** ständig längs einer der Grenzen **78** verlaufen. Dies verbessert die Homogenität der Intensitätsbeaufschlagung der abzubildenden Punkte auf dem Retikel bei einer abschnittswisen Objektfeldausleuchtung.

[0143] Alternativ ist es möglich, die Objektfeldabschnitte so anzuordnen, dass längs einer Scanrichtung keine durchgehenden Begrenzungen zwischen den Objektfeldabschnitten vorliegen. Eine derartig Anordnung gegeneinander versetzt sich überlagernder Objektfeldabschnitte ergibt sich beispielsweise, wenn das Objektfeld **5** nach Art einer um 90° gedrehten Anordnung nach [Fig. 23](#) mit Objektfeldabschnitten ausgeleuchtet wird, die den Einzelfacetten **21** nach [Fig. 23](#) entsprechen. In diesem Fall liegen senkrecht zur Scanrichtung gegeneinander versetzte Reihen von Objektfeldabschnitten vor, so dass auch dann, wenn die Scanrichtung y_{scan} exakt in der y-Richtung verläuft, kein Punkt auf dem Retikel durchgehend längs einer Begrenzung zwischen Objektfeldabschnitten durch das Objektfeld **5** gescannt wird. Auch eine derartige versetzte Anordnung vermeidet daher unerwünschte Inhomogenitäten bei der Intensitätsbeaufschlagung der Feldpunkte während des Scannens.

[0144] Eine entsprechende Homogenisierung kann auch erreicht werden, wenn die Objektfeldabschnitte Berandungsformen mit nicht zur Scanrichtung parallelen Kanten aufweisen. Dies kann beispielsweise durch trapezförmige oder rautenförmige Einzelspiegel **21** erzeugt werden, deren Gestalt formgebend für die Objektfeldabschnitte ist.

[0145] Die Einzelspiegel **21**, **69** können eine Multilager-Beschichtung mit Einzellagen aus Molybdän und Silizium aufweisen, so dass die Reflektivität der Einzelspiegel **21**, **69** für die verwendete EUV-Wellenlänge optimiert ist.

[0146] Die Einzelspiegel-Ausleuchtungskanäle können im Falle eines Pupillenfacettenspiegels mit nicht in Einzelspiegeln unterteilten Pupillenfacetten gruppenweise von ein und derselben Pupillenfacette zum Objektfeld **5** weitergeführt werden. Jede dieser Pupillenfacette gibt dann einen Gruppen-Ausleuchtungskanal vor, der die dieser Pupillenfacette zugeordneten Einzelspiegel-Ausleuchtungskanäle zusammenfasst. Die Anzahl der Gruppen-Ausleuchtungskanäle entspricht dann der Anzahl der nicht in Einzelspiegel

unterteilten Pupillenfacetten. Jeder dieser Pupillenfacetten und jedem Gruppen-Ausleuchtungskanal ist dann eine Anzahl von Einzelspiegeln des Feldfacettenspiegels entsprechend der Unterteilung des Gruppen-Ausleuchtungskanals in Einzelspiegel-Ausleuchtungskanäle zugeordnet.

[0147] Bei den Ausführungen, bei denen sowohl der Feldfacettenspiegel als auch der Pupillenfacettenspiegel in Einzelspiegel **21** unterteilt sind, müssen, ähnlich wie dies vorstehend bei den Ausführungen zum spekularen Reflektor nach den [Fig. 26](#) und [Fig. 27](#) erläutert wurde, benachbarte Einzelspiegel **21** des Feldfacettenspiegels nicht über benachbarte Pupillenfacetten-Einzelspiegel weitergeleitet werden, sondern es kann eine beliebige räumliche Durchmischung von gemeinsam die Ausleuchtung des gesamten Objektfeldes **5** bewerkstelligenden Gruppen aus Feldfacetten-Einzelspiegeln und Pupillenfacetten-Einzelspiegeln vorgesehen sein.

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 6438199 B1 [[0002](#), [0074](#), [0129](#)]
- US 6658084 B2 [[0002](#), [0074](#)]
- US 2006/0132747 A1 [[0012](#), [0111](#)]
- US 7061582 B2 [[0013](#)]
- US 6859515 B2 [[0056](#)]
- EP 1225481 A [[0056](#)]
- DE 102006036064 A1 [[0060](#)]
- DE 102007008702 [[0136](#)]
- EP 1289273 A1 [[0139](#)]

Zitierte Nicht-Patentliteratur

- Istvan Reimann: „Parkette, geometrisch betrachtet“, in „Mathematisches Mosaik“, Köln (1977) [[0013](#)]
- Jan Gulberg: „Mathematics-From the birth of numbers“, New York/London (1997) [[0013](#)]
- Istvan Reimann: "Parkette, geometrisch betrachtet", in „Mathematisches Mosaik“, Köln (1977) [[0059](#)]
- Jan Gulberg: „Mathematics-From the birth of numbers“, New York/London (1997) [[0059](#)]
- Farhad Salmassi et al., Applied Optics, Volume 45, Nr. 11, S. 2404 bis 2408 [[0134](#)]

Patentansprüche

1. Facettenspiegel (**13, 14; 47; 64; 67, 70**) zum Einsatz als optische Komponente in einer Projektionsbelichtungsanlage (**1**) für die EUV-Mikrolithografie,

– wobei der Facettenspiegel (**13, 14; 47; 64; 67, 70**) Einzelspiegel (**21; 69**) aufweist, die Einzelspiegel-Ausleuchtungskanäle (AK) zur Führung von Beleuchtungsstrahlung (**10**) hin zu einem Objektfeld (**5**) der Projektionsbelichtungsanlage (**1**) bereitstellen,
 – wobei die Einzelspiegel (**21; 69**) eine Spiegelfläche derart aufweisen, dass die Einzelspiegel-Ausleuchtungskanäle (AK) im Objektfeld (**5**) Objektfeldabschnitte (**73; 76**) beleuchten, die kleiner als das Objektfeld (**5**) sind, und
 – wobei die Einzelspiegel (**21; 69**) über Aktuatoren (**24**) verkippar sind.

2. Facettenspiegel nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, dass die Einzelspiegel (**21; 69**) eine Spiegelfläche derart aufweisen, dass mindestens zwei Einzelspiegel-Ausleuchtungskanäle (AK) zur Ausleuchtung des gesamten Objektfeldes (**5**) erforderlich sind.

3. Facettenspiegel nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, dass mindestens eine Einzelspiegel-Gruppe (**19; 31; 32, 33; 34 bis 37; 38 bis 45; 46; 48; 49; 50; 60; 61**) zur Ausleuchtung des gesamten Objektfeldes (**5**) ausgeführt ist.

4. Facettenspiegel (**13, 14; 47; 64; 67, 70**) zum Einsatz als optische Komponente in einer Projektionsbelichtungsanlage (**1**) für die Mikro-Lithographie
 – mit einer Vielzahl von Einzelspiegeln (**21; 69**),
 – die zur individuellen Ablenkung auftreffenden Beleuchtungslichts (**10**) jeweils mit mindestens einem Aktuator (**24**) derart verbunden sind,
 – dass sie separat voneinander ansteuerbar um mindestens eine Kippachse (x, y) verkippar sind,
 – wobei eine Steuereinrichtung (**28**), die mit den Aktuatoren (**24**) verbunden ist, so ausgestaltet ist, dass eine vorgegebene Gruppierung der Einzelspiegel (**21; 69**) in Einzelspiegel-Gruppen (**19; 31; 32, 33; 34 bis 37; 38 bis 45; 46; 48; 49; 50; 60; 61**) aus je mindestens zwei Einzelspiegeln (**21**) einstellbar ist.

5. Facettenspiegel nach einem der Ansprüche 3 bis 4, dadurch gekennzeichnet, dass die Einzelspiegel-Gruppen Einzelfacetten (**19; 31; 32, 33; 34 bis 37; 38 bis 45; 46; 50**) bilden mit einer Facettenform, welche einer Feldform eines in der Projektionsbelichtungsanlage (**1**) auszuleuchtenden Objektfeldes (**5**) entspricht.

6. Facettenspiegel nach einem der Ansprüche 3 bis 5, dadurch gekennzeichnet, dass die Einzelspiegel-Gruppen (**19; 31; 32, 33; 34 bis 37; 38 bis 45; 46**) eine rechteckige Einhüllende haben.

7. Facettenspiegel nach einem der Ansprüche 3 bis 6, dadurch gekennzeichnet, dass die Einzelspiegel-Gruppen (**48; 49; 50**) eine bogenförmige, ringförmige oder kreisförmige Einhüllende (**51**) haben.

8. Facettenspiegel nach einem der Ansprüche 3 bis 7, dadurch gekennzeichnet, dass die Einzelspiegel-Gruppen Spiegelbereiche (**48; 49; 60; 61**) bilden, die eine Anordnung haben, die einer Beleuchtungswinkelverteilung in einem in der Projektionsbelichtungsanlage (**1**) auszuleuchtenden Objektfeld (**5**) entspricht.

9. Facettenspiegel nach einem der Ansprüche 1 bis 8, dadurch gekennzeichnet, dass die Einzelspiegel (**21**) mehreckig ausgeführt sind und die Einzelfacetten oder Spiegelbereiche nach Art einer Parkettierung abdecken.

10. Facettenspiegel nach einem der Ansprüche 1 bis 9, dadurch gekennzeichnet, dass jeder der Einzelspiegel (**21**) eine plane Reflexionsfläche hat.

11. Facettenspiegel nach einem der Ansprüche 1 bis 10, dadurch gekennzeichnet, dass die Einzelspiegel (**21**) separat voneinander ansteuerbar längs einer Normalen (z) auf die Reflexionsfläche (**20**) des Facettenspiegels verlagerbar sind.

12. Facettenspiegel nach einem der Ansprüche 1 bis 11, gekennzeichnet durch eine zeilen- und spaltenweise Anordnung der Einzelspiegel innerhalb einer Einzelfacetten (**19; 31; 32, 33; 34 bis 37; 38 bis 45; 46; 50**) oder eines Spiegelbereichs (**48; 49; 60; 61**).

13. Facettenspiegel nach einem der Ansprüche 1 bis 12, dadurch gekennzeichnet, dass die Steuereinrichtung (**28**) mit den Aktuatoren (**24**) über einen Signalbus (**26, 27**) verbunden ist.

14. Facettenspiegel nach Anspruch 13, dadurch gekennzeichnet, dass die Steuereinrichtung (**28**) zur reihenweise gemeinsamen Ansteuerung der Einzelspiegel (**21**) ausgeführt ist.

15. Facettenspiegel nach einem der Ansprüche 3 bis 14, dadurch gekennzeichnet, dass die Steuereinrichtung (**28**) derart ausgeführt ist, dass innerhalb einer Einzelspiegel-Gruppe (**19; 31; 32, 33; 34 bis 37; 38 bis 45; 46; 48; 49; 50; 60; 61**) einzelne Einzelspiegel (**21**) individuell anders als die restlichen Einzelspiegel (**21**) der Einzelspiegel-Gruppe angesteuert werden können.

16. Facettenspiegel nach einem der Ansprüche 1 bis 15, dadurch gekennzeichnet, dass alle Einzelspiegel (**21; 69**) auf einem gemeinsamen planen Träger (**68**) angeordnet sind.

17. Beleuchtungsoptik (**4**) für eine Projektionsbe-

lichtungsanlage (1) für die Mikro-Lithographie mit mindestens einem Facettenspiegel nach einem der Ansprüche 1 bis 16.

18. Beleuchtungsoptik nach Anspruch 17, gekennzeichnet durch zwei Facettenspiegel (13, 14) nach einem der Ansprüche 1 bis 16.

19. Beleuchtungsoptik nach Anspruch 17 oder 18, dadurch gekennzeichnet, dass die Einzelspiegel-Gruppen (74, 75) Einzelspiegel-Ausleuchtungskanälen zugeordnet sind, die in einem Objektfeld (5) benachbarte Objektfeldabschnitte (73; 76) ausleuchten und sich zum gesamten Objektfeld ergänzen.

20. Beleuchtungsoptik nach einem der Ansprüche 17 bis 19, dadurch gekennzeichnet, dass der Facettenspiegel (13) in einer Feldebene der Beleuchtungsoptik (4) angeordnet ist.

21. Projektionsbelichtungsanlage mit einer Beleuchtungsoptik (4) nach einem der Ansprüche 17 bis 20, einer Strahlungsquelle (3) zur Erzeugung des Beleuchtungs- und Abbildungslichts (10) und mit einer Projektionsoptik (7) zur Abbildung eines Objektfeldes (5) der Projektionsbelichtungsanlage in ein Bildfeld (8).

22. Projektionsbelichtungsanlage nach Anspruch 21, dadurch gekennzeichnet, dass die Strahlungsquelle (3) als EUV-Strahlungsquelle ausgeführt ist.

23. Projektionsbelichtungsanlage nach Anspruch 21 oder 22, dadurch gekennzeichnet, dass der Facettenspiegel als spekulärer Reflektor (64; 70) im Strahlengang des Beleuchtungslichts (10) zwischen der Strahlungsquelle (3) und dem Objektfeld (5) angeordnet ist.

24. Projektionsbelichtungsanlage nach Anspruch 23, gekennzeichnet durch eine Bündelformung des Beleuchtungslichts (10) vor dem spekulären Reflektor (70) derart, dass der spekuläre Reflektor (70) mit einer den Einzelspiegeln (21) des spekulären Reflektors (70) zugeordneten Mehrzahl von Bildern (72) der Strahlungsquelle (3) diskret ausgeleuchtet wird.

25. Projektionsbelichtungsanlage nach einem der Ansprüche 21 bis 24, dadurch gekennzeichnet, dass der Facettenspiegel (67) zwischen der Strahlungsquelle (3) und einem spekulären Reflektor (64; 70) angeordnet ist.

26. Projektionsbelichtungsanlage nach Anspruch 24 und 25, dadurch gekennzeichnet, dass der zwischen der Strahlungsquelle (3) und dem spekulären Reflektor (70) angeordnete Facettenspiegel (67) eine kleinere Anzahl von Einzelspiegeln (69) aufweist als der spekuläre Reflektor (70).

27. Projektionsbelichtungsanlage nach einem der Ansprüche 21 bis 26, dadurch gekennzeichnet, dass zwischen der Strahlungsquelle (3) und dem mindestens einen Facettenspiegel (67) ein Kollektor (66) für das Beleuchtungslicht (10) angeordnet ist.

28. Projektionsbelichtungsanlage nach Anspruch 27, dadurch gekennzeichnet, dass der Kollektor (66) eine durchgehende, also nicht facettierte, Spiegelfläche aufweist.

29. Projektionsbelichtungsanlage nach einem der Ansprüche 18 bis 25, wobei eine Scanrichtung (y_{scan}), längs der ein Waferhalter zum Halten eines Wafers, auf dem projiziert werden soll, während der Projektionsbelichtung synchronisiert zu einem Retikelhalter zum Halten eines Retikels, welches das zu projizierende Muster aufweist, verlagert wird, unter einem Winkel (α) zu einer Senkrechten (y) auf eine lange Feldachse (x) eines Objektfeldes (5) und eines Bildfeldes (8) der Projektionsbelichtungsanlage (1) verläuft.

30. Verfahren zur Herstellung eines mikro- oder nanostrukturierten Bauteils mit folgenden Verfahrensschritten:

- Bereitstellen eines Wafers, auf den zumindest teilweise eine Schicht aus einem lichtempfindlichen Material aufgebracht ist,
- Bereitstellen eines Retikels, das abzubildende Strukturen aufweist,
- Bereitstellen einer Projektionsbelichtungsanlage (1) nach einem der Ansprüche 21 bis 29,
- Projizieren wenigstens eines Teils des Retikels auf einen Bereich der Schicht mit Hilfe einer Projektionsoptik (7) der Projektionsbelichtungsanlage (1).

31. Mikrostrukturiertes Bauteil, hergestellt durch ein Verfahren nach Anspruch 30.

Es folgen 15 Blatt Zeichnungen

Anhängende Zeichnungen

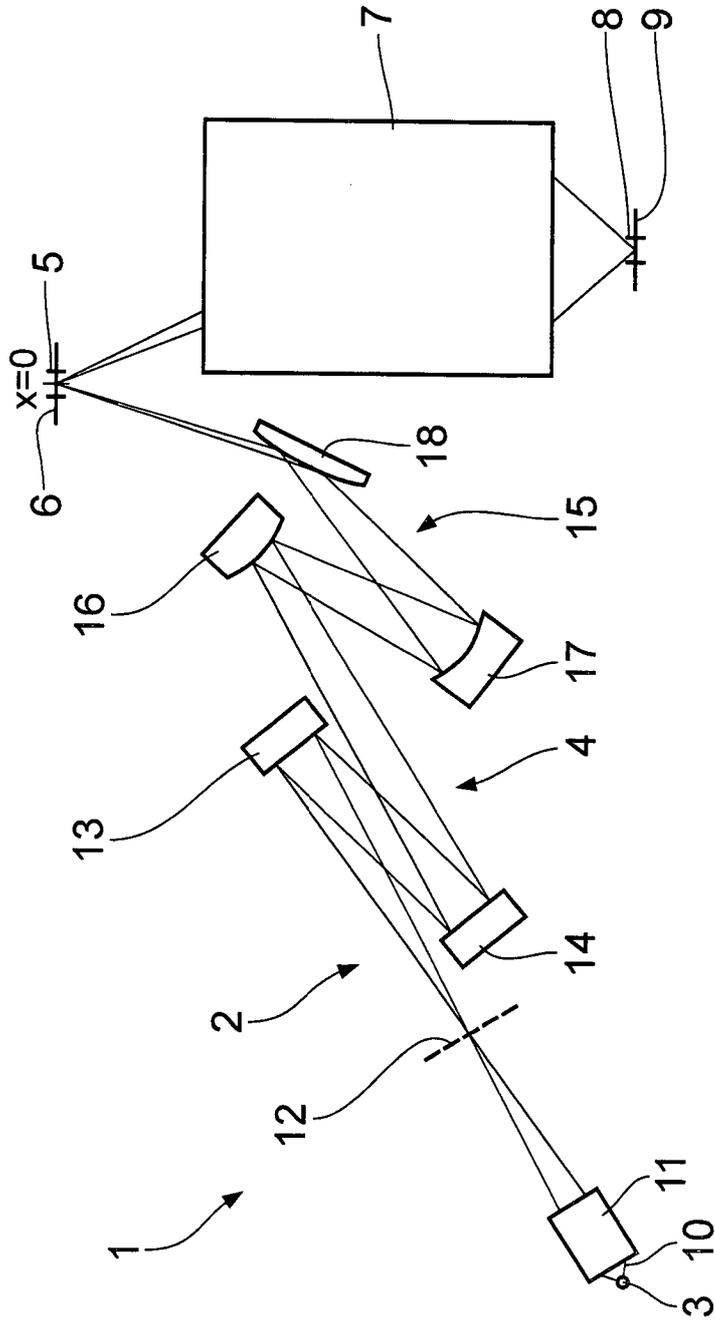


Fig. 1

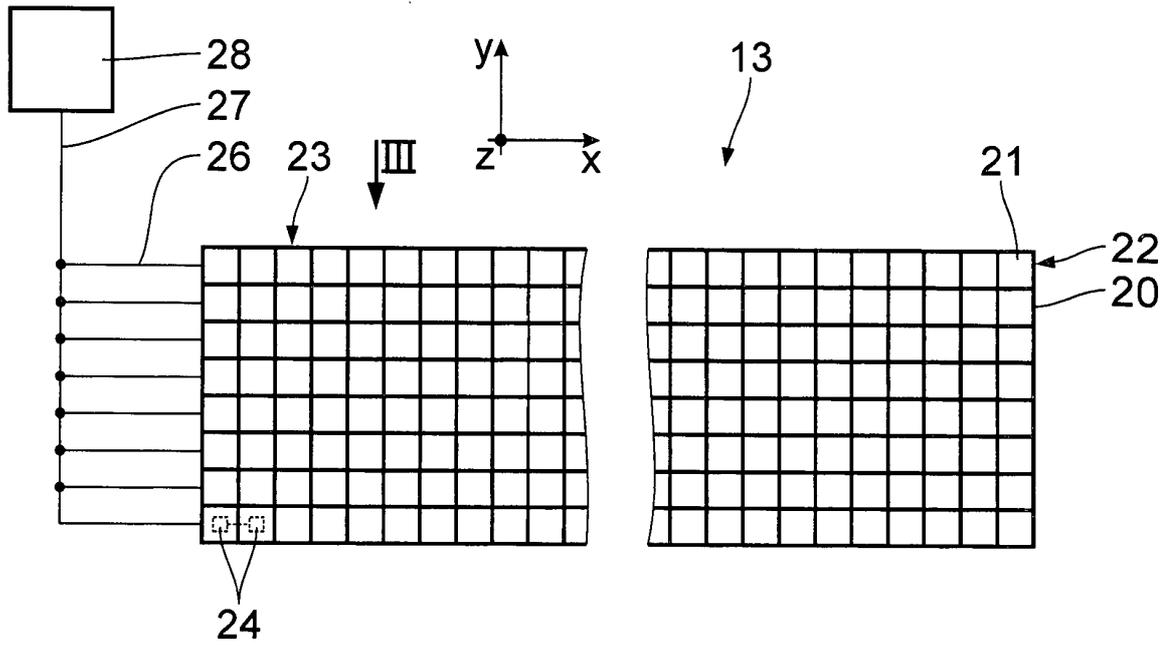


Fig. 2

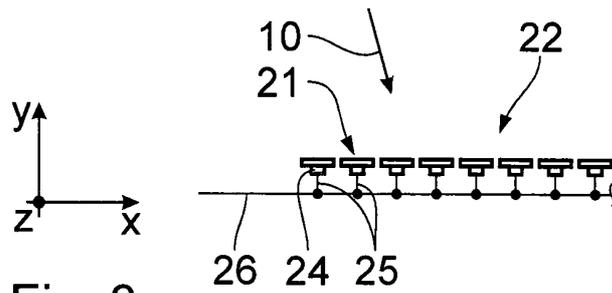


Fig. 3

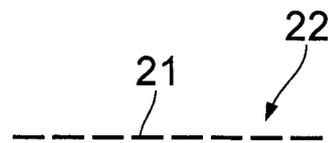


Fig. 4

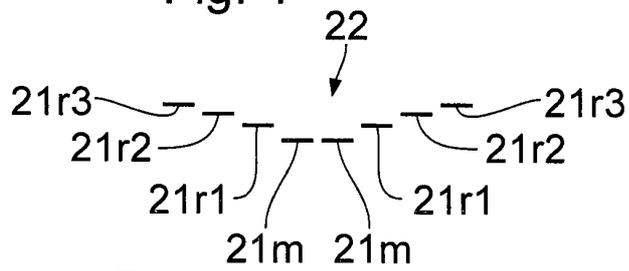


Fig. 5

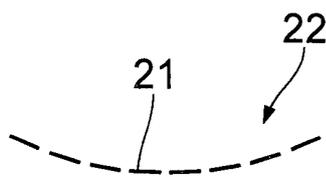


Fig. 6

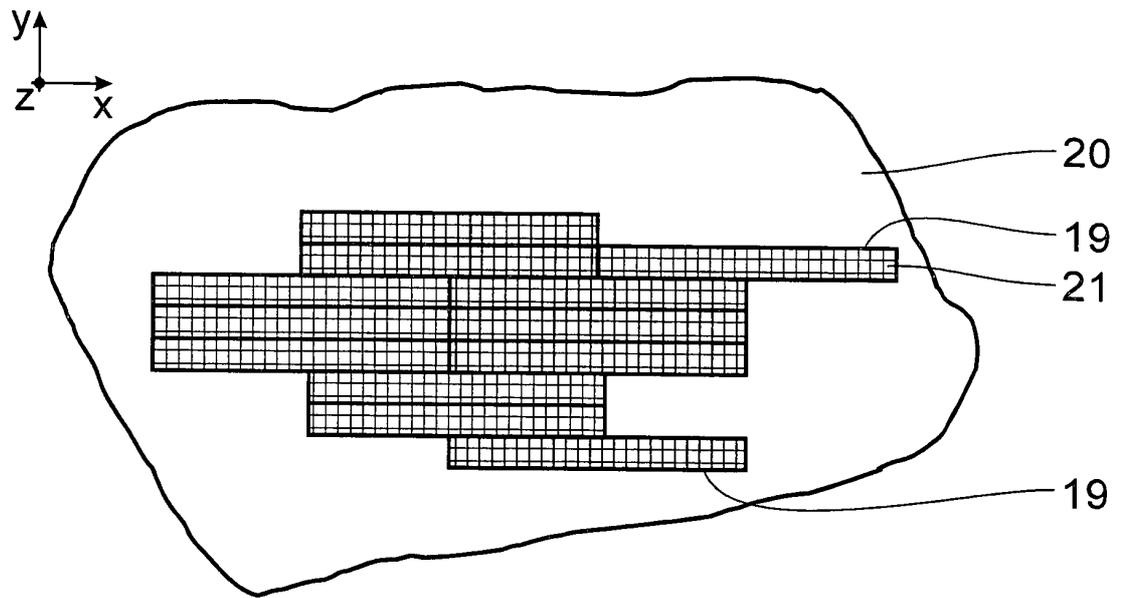


Fig. 7

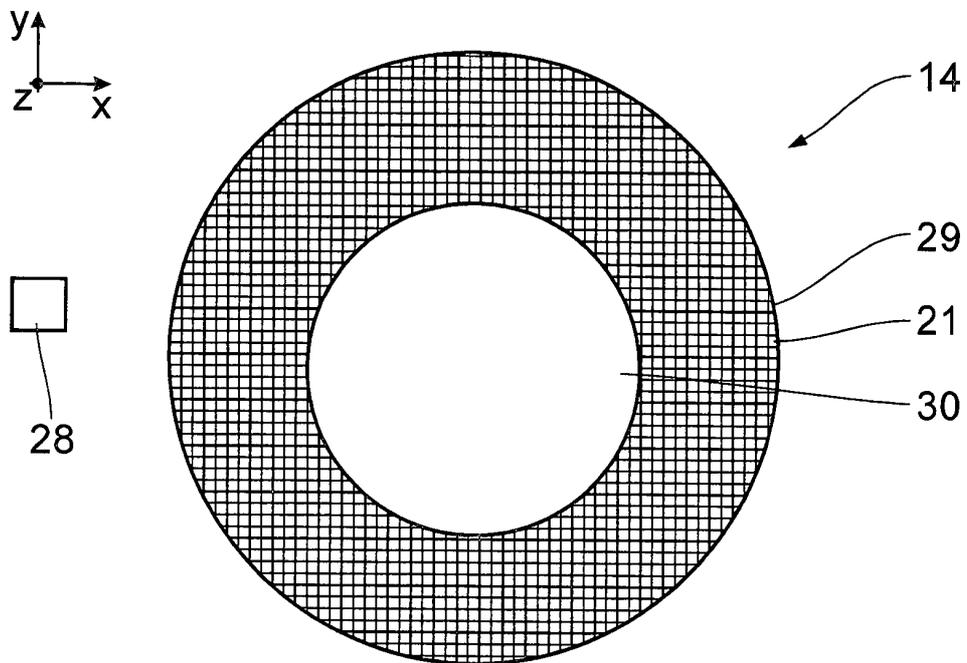
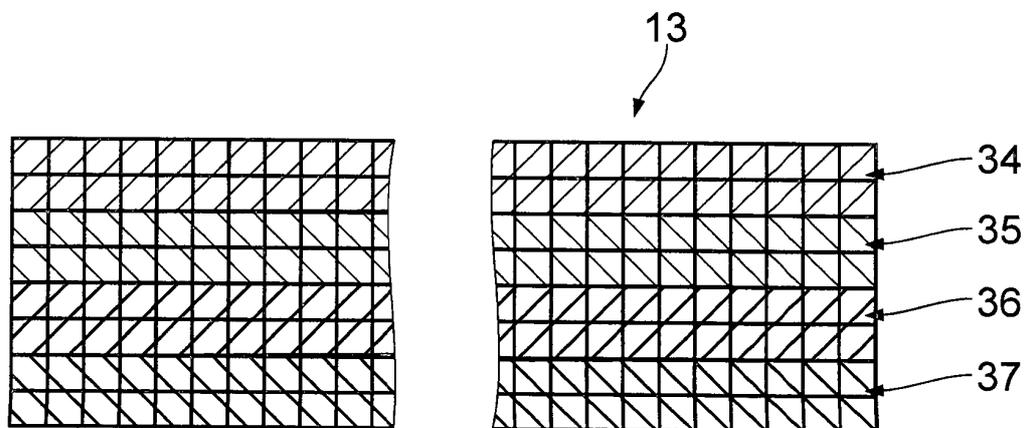
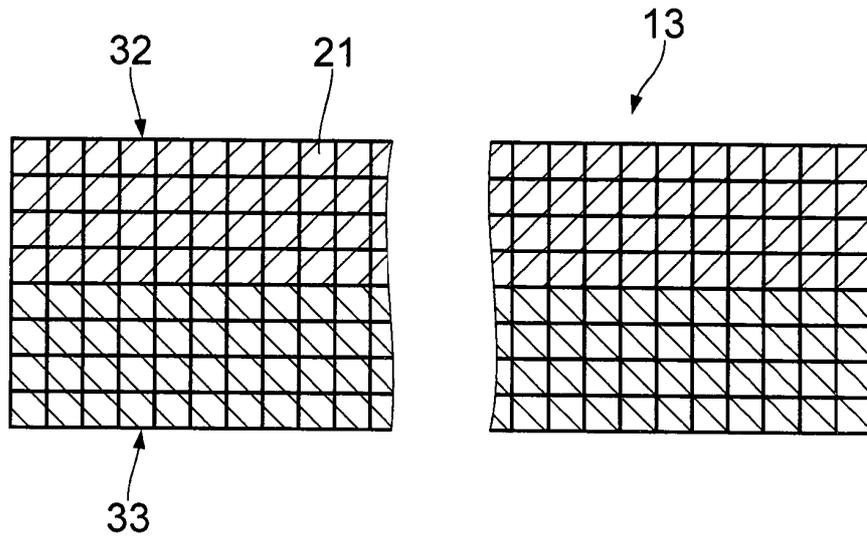
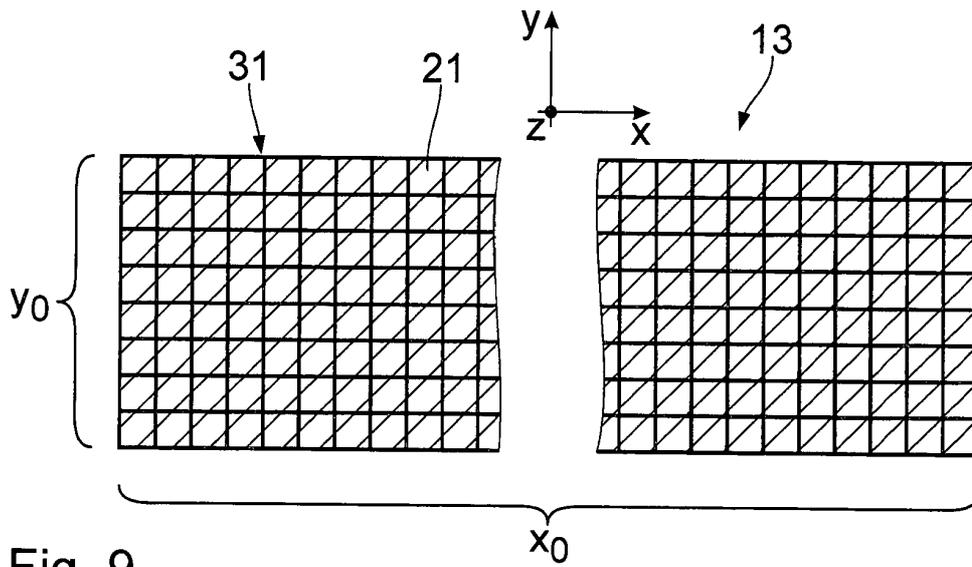


Fig. 8



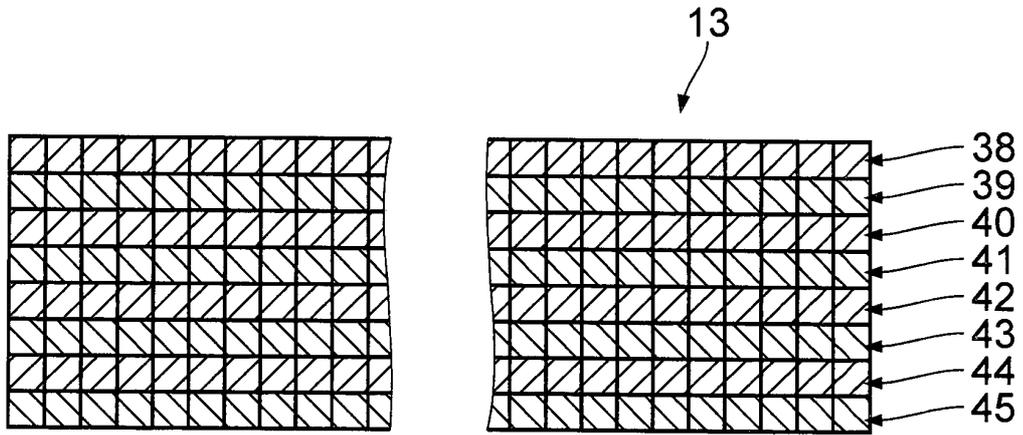


Fig. 12

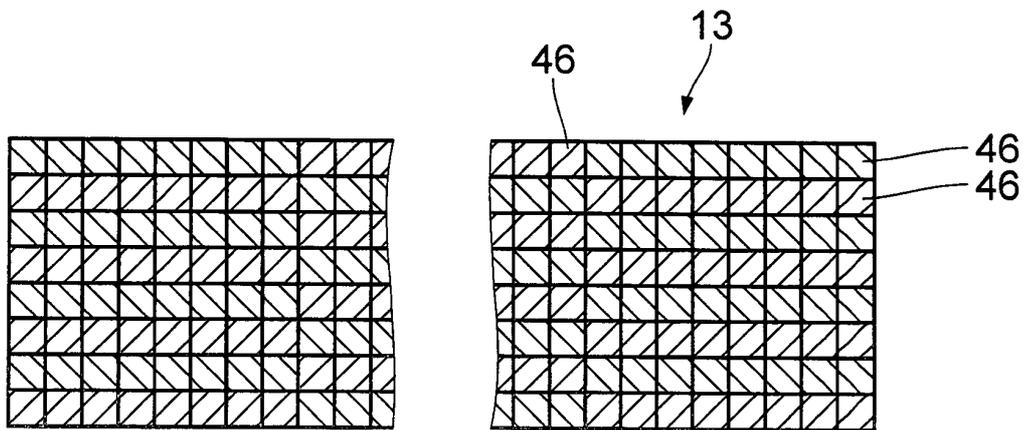


Fig. 13

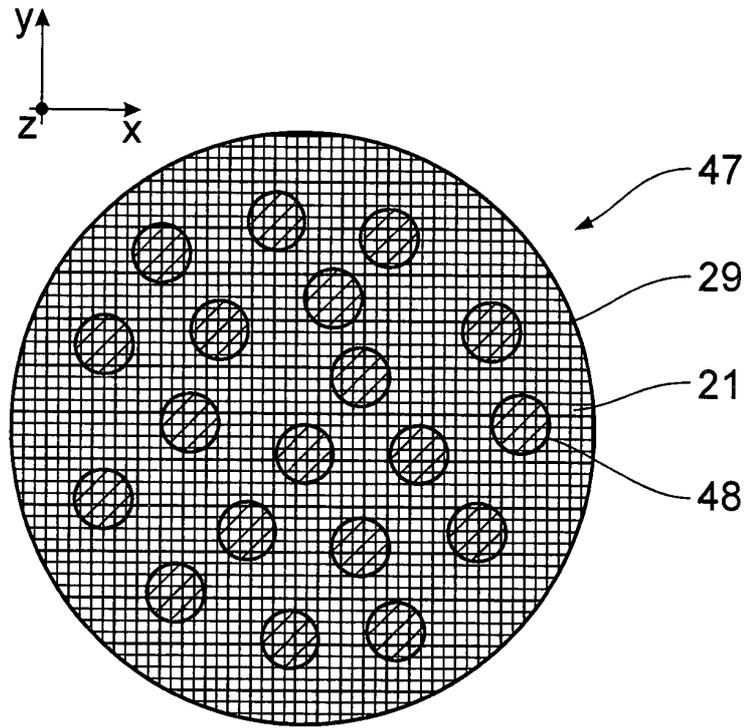


Fig. 14

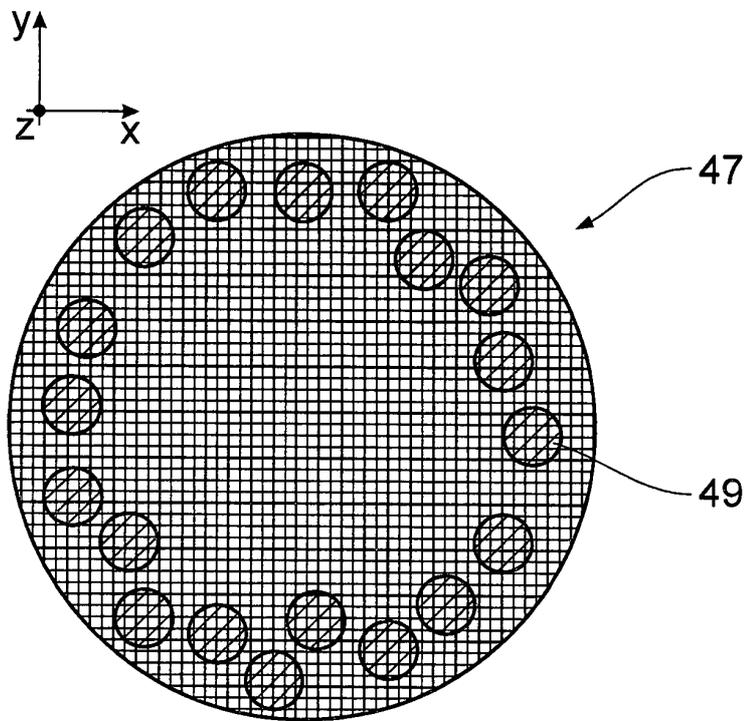


Fig. 15

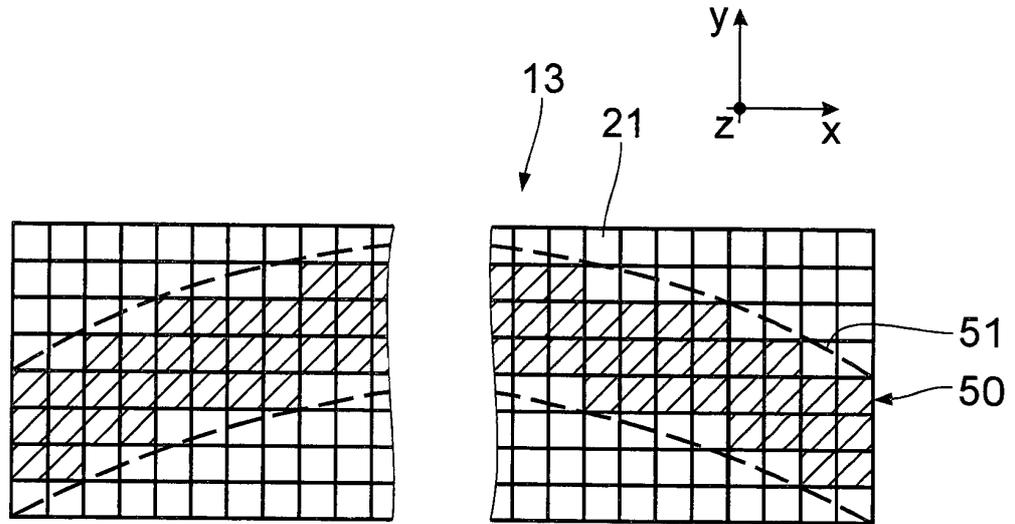


Fig. 16

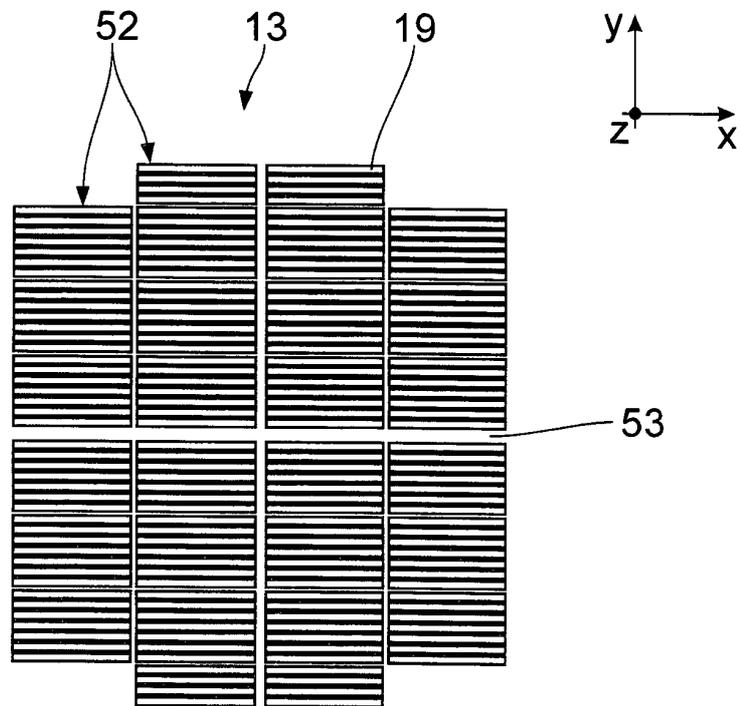


Fig. 17

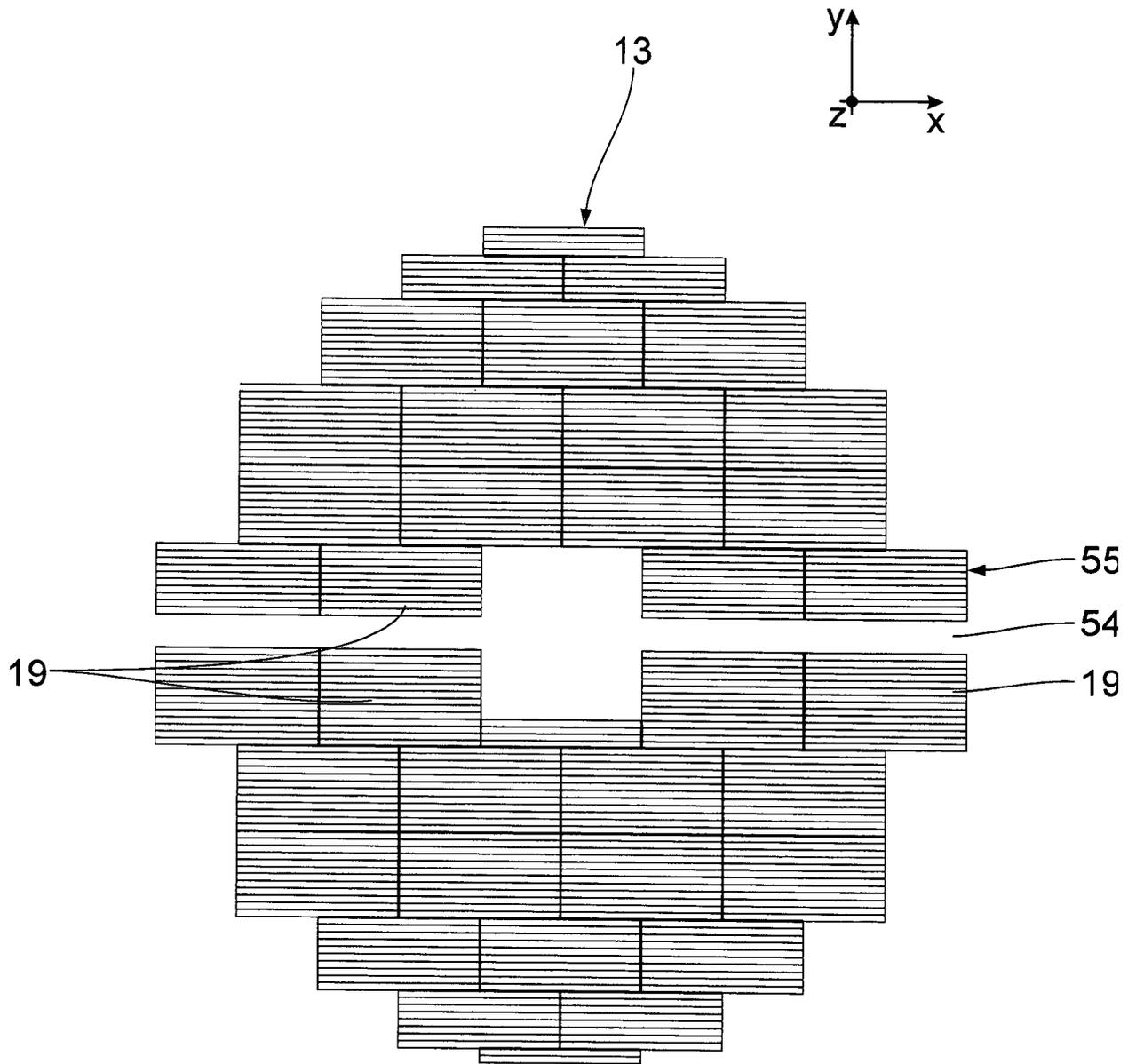


Fig. 18

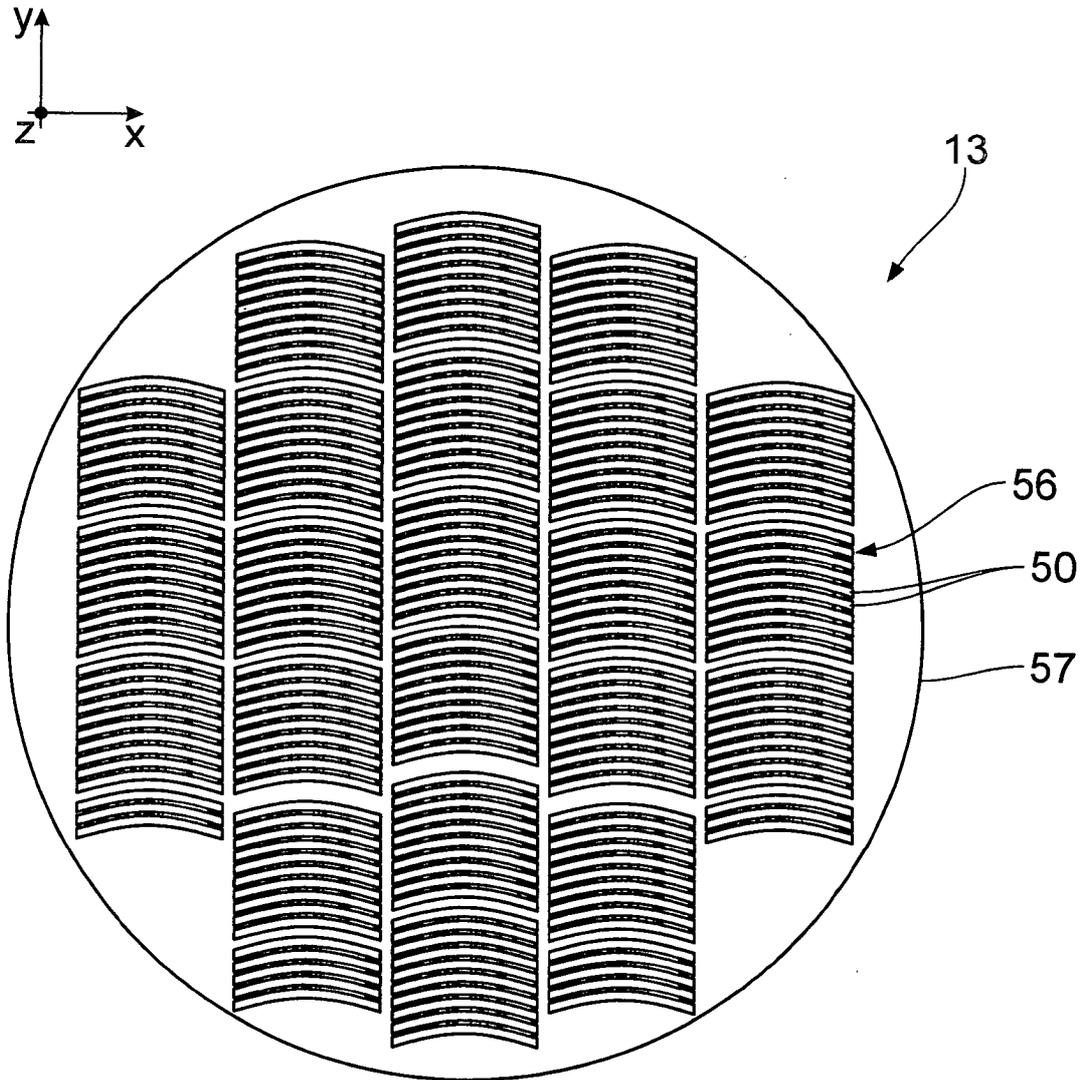


Fig. 19

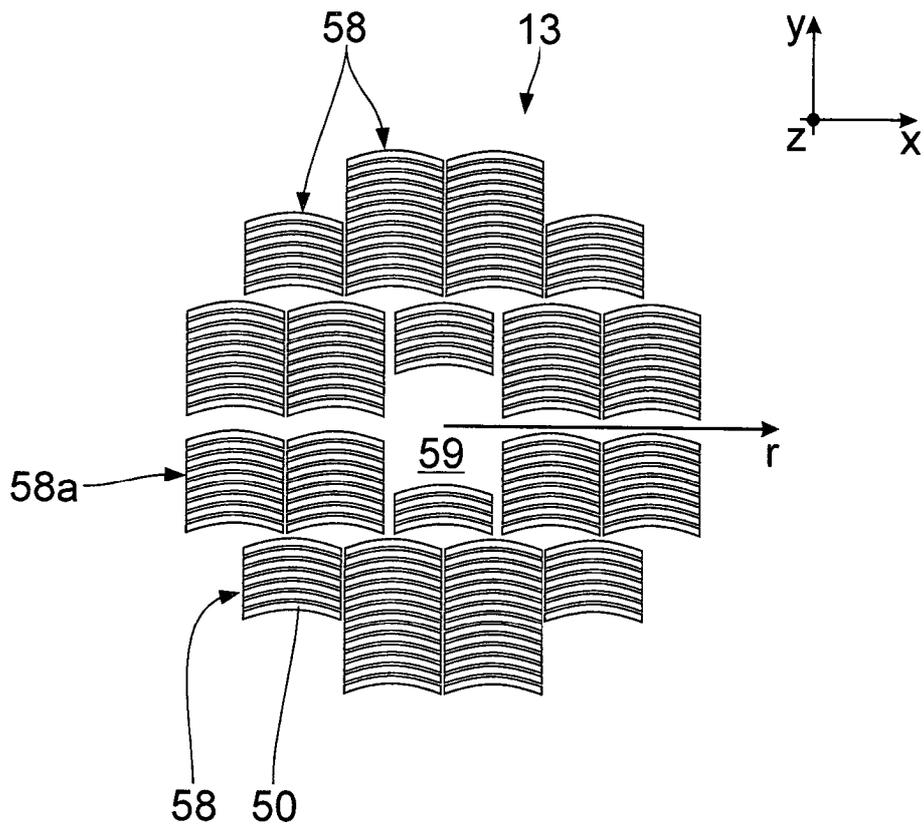


Fig. 20

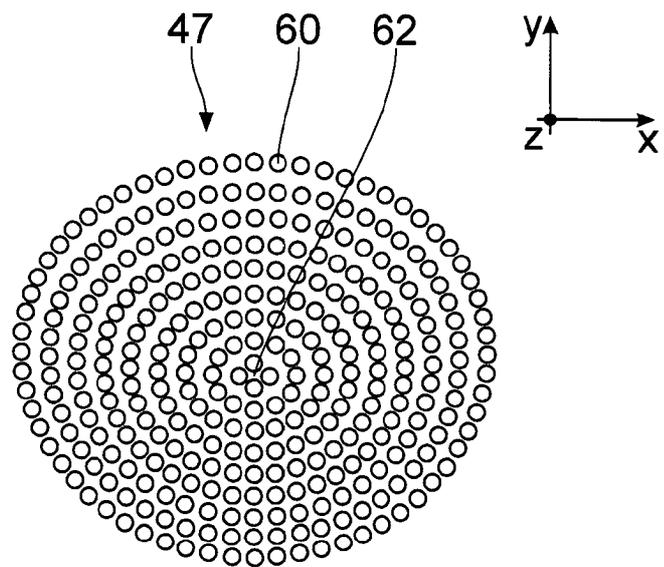


Fig. 21

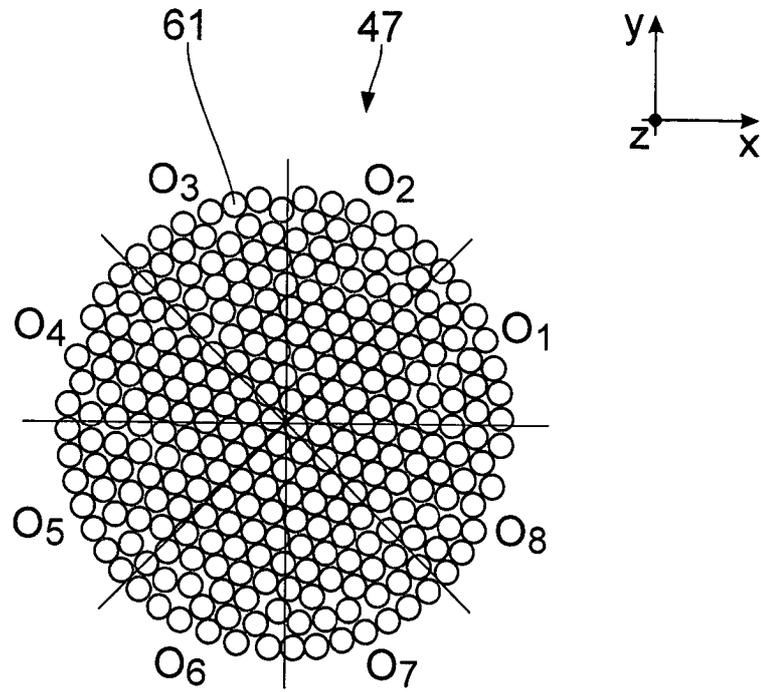


Fig. 22

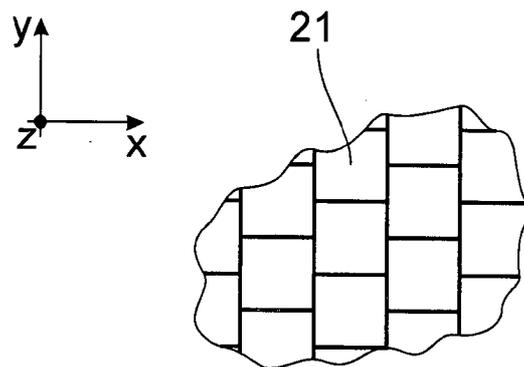


Fig. 23

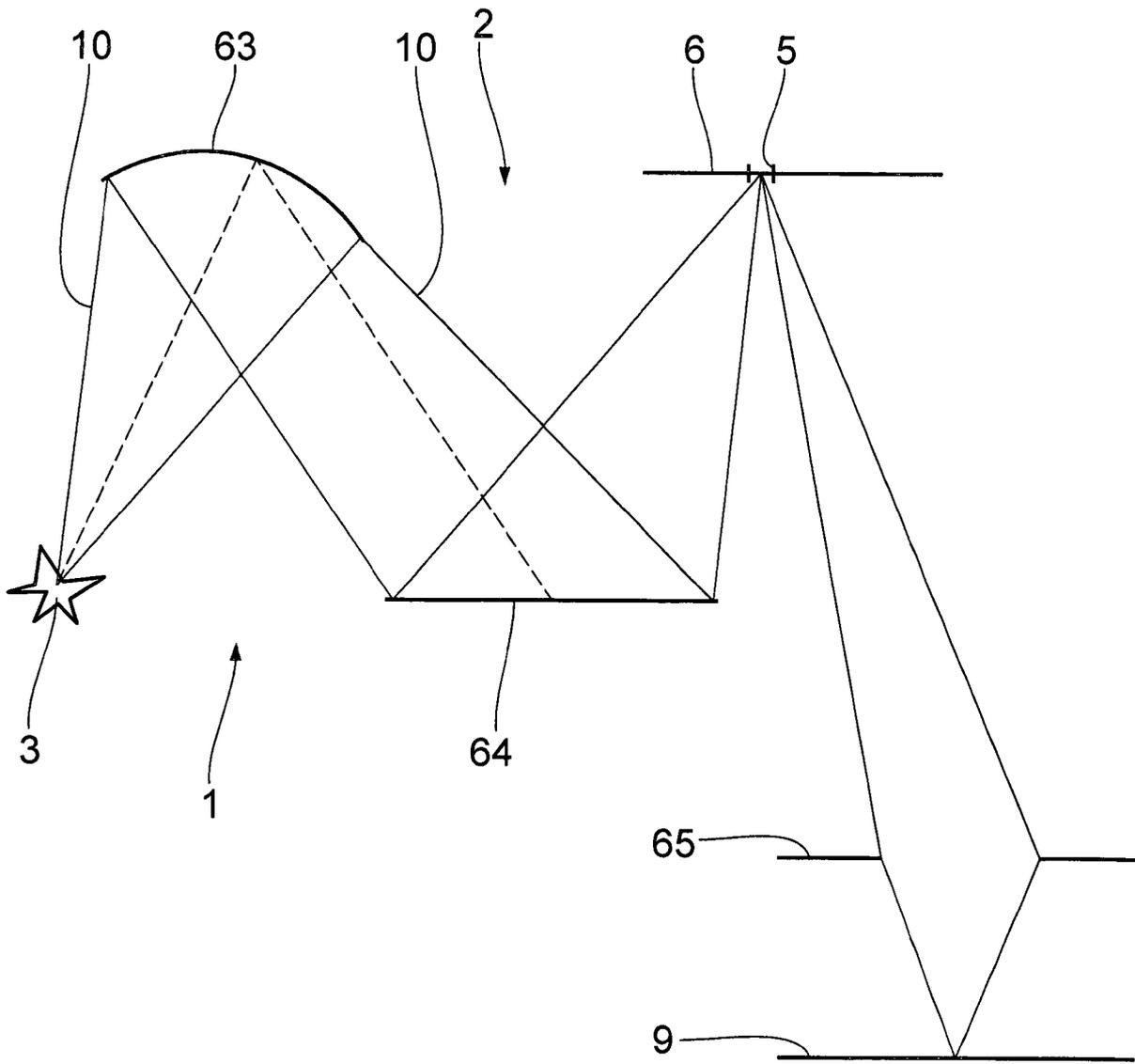


Fig. 24

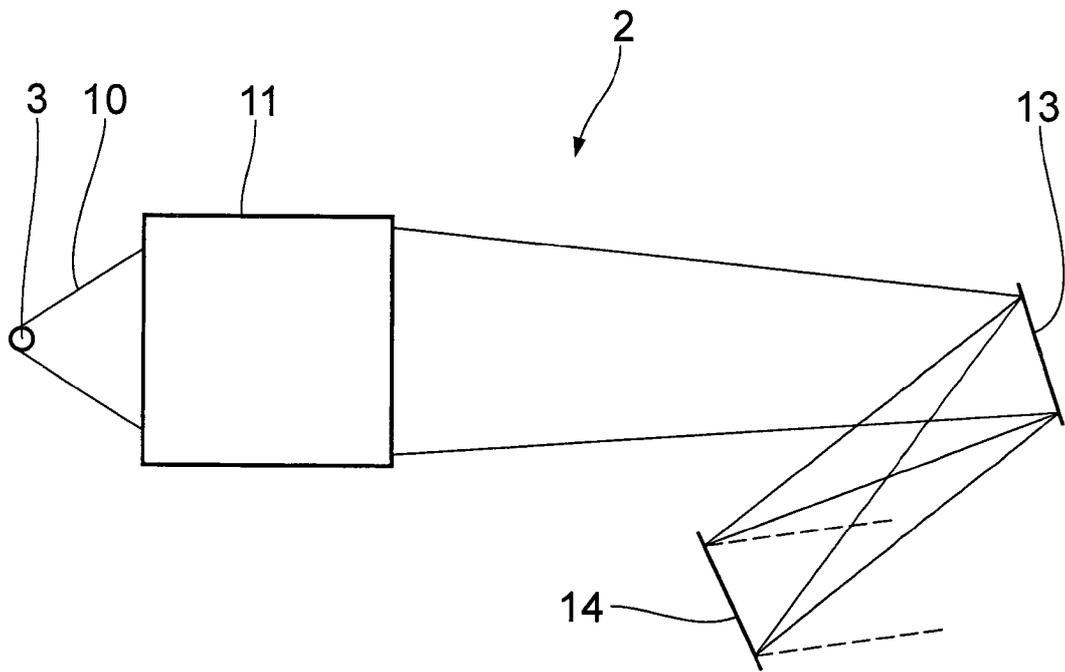


Fig. 25

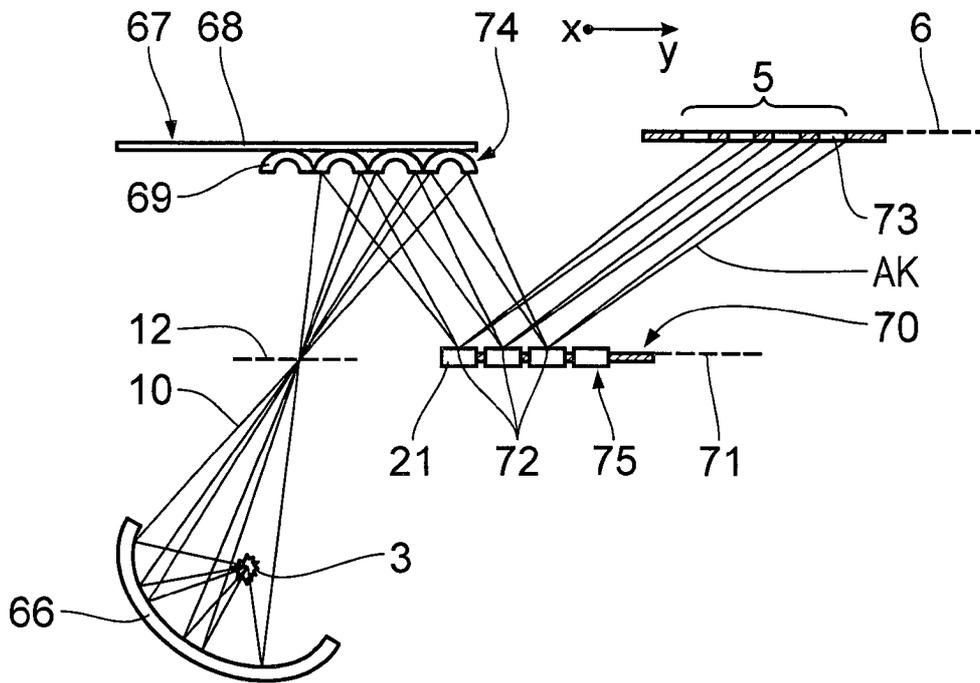


Fig. 26

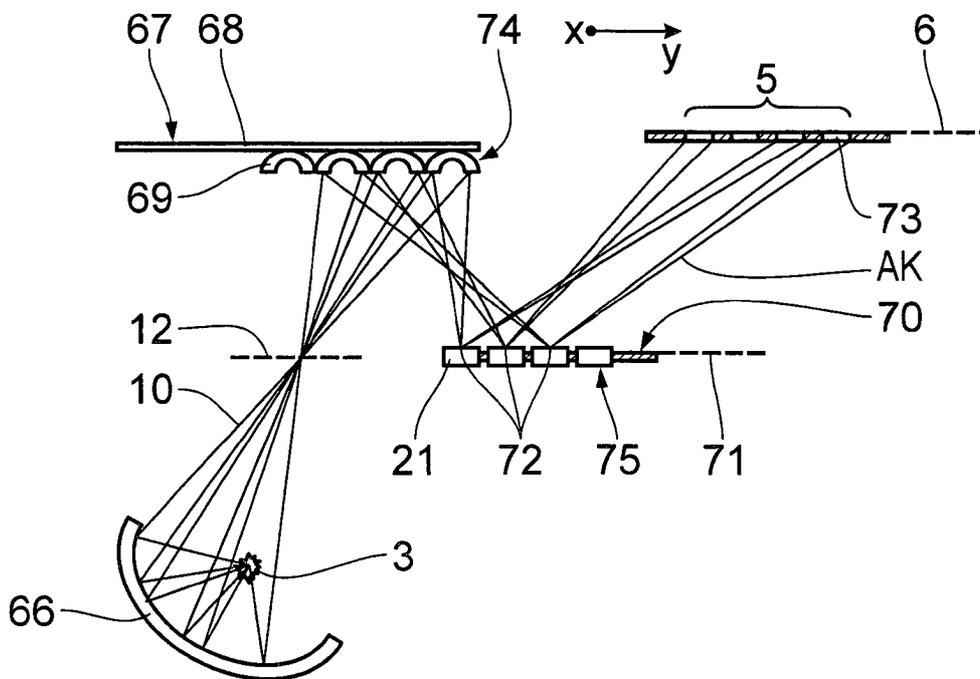


Fig. 27

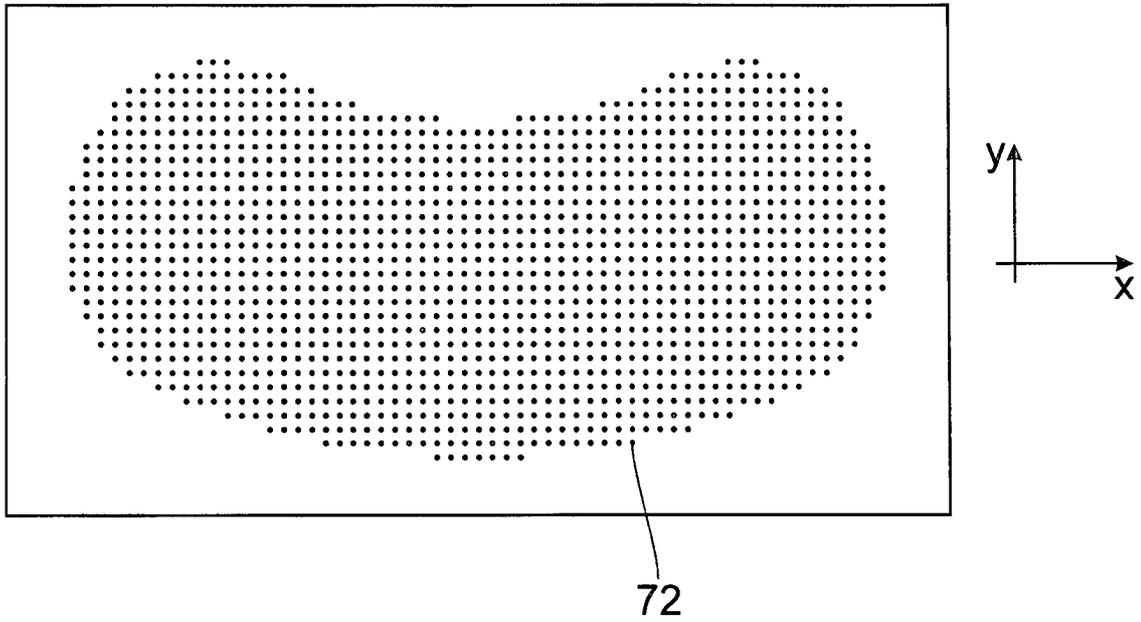


Fig. 28

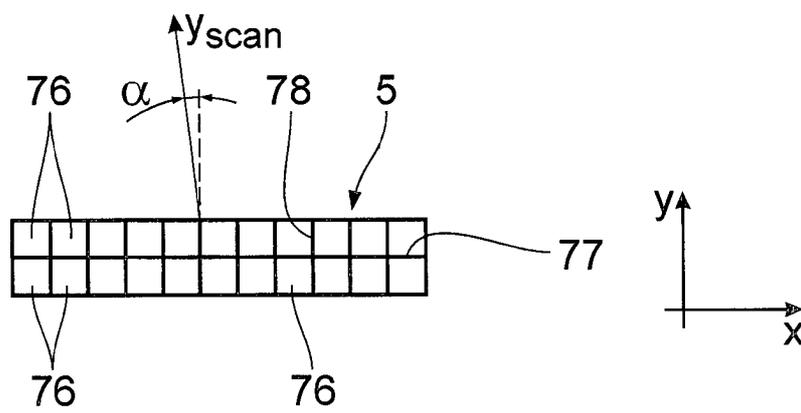


Fig. 29