



(10) **DE 10 2014 203 188 A1** 2015.08.27

(12)

Offenlegungsschrift

(21) Aktenzeichen: **10 2014 203 188.5**

(22) Anmeldetag: **21.02.2014**

(43) Offenlegungstag: **27.08.2015**

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

G02B 5/09 (2006.01)

G02B 17/00 (2006.01)

(71) Anmelder:

Carl Zeiss SMT GmbH, 73447 Oberkochen, DE

(74) Vertreter:

**Rau, Schneck & Hübner Patentanwälte
Rechtsanwälte PartGmbH, 90402 Nürnberg, DE**

(72) Erfinder:

**Endres, Martin, Dr., 89551 Königsbrunn, DE;
Eisenmenger, Johannes, Dr., 89075 Ulm, DE;
Bieling, Stig, 73434 Aalen, DE; Hauf, Markus,
89075 Ulm, DE; Wischmeier, Lars, 73434 Aalen,
DE; Zimmer, Fabian, Dr., 73434 Aalen, DE**

(56) Ermittelter Stand der Technik:

DE 10 2011 076 145 A1

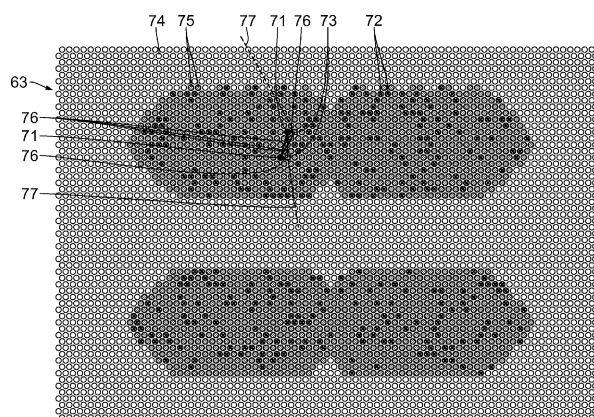
DE 10 2012 207 572 A1

Prüfungsantrag gemäß § 44 PatG ist gestellt.

Die folgenden Angaben sind den vom Anmelder eingereichten Unterlagen entnommen

(54) Bezeichnung: **Verfahren zur Beleuchtung eines Objektfeldes einer Projektionsbelichtungsanlage**

(57) Zusammenfassung: Bei einem Verfahren zur Beleuchtung eines Objektfeldes (5) einer Projektionsbelichtungsanlage (1) ist vorgesehen, eine Teilmenge erster Facetten (68) in Parkpositionen zu positionieren, welche jeweils von einer zugehörigen Zielposition beabstandet sind, jedoch höchstens um einen Maximalabstand $d_{\max}$.



Beschreibung

[0001] Die Erfindung betrifft ein Verfahren zur Beleuchtung eines Objektfeldes einer Projektionsbelichtungsanlage. Die Erfindung betrifft weiterhin eine Beleuchtungsoptik zur Durchführung des Verfahrens. Außerdem betrifft die Erfindung ein Beleuchtungssystem und eine Projektionsbelichtungsanlage mit einer derartigen Beleuchtungsoptik, ein Verfahren zur lithografischen Strukturierung eines Wafers, ein Verfahren zur Herstellung eines mikro- oder nanostrukturierten Bauelements und ein verfahrensgemäß hergestelltes Bauelement.

[0002] Aus der DE 10 2011 076 145 A1 ist ein Verfahren zur Beleuchtung eines Objektfeldes einer Projektionsbelichtungsanlage bekannt, bei welchem Pupillenfacetten und Feldfacetten zur Ausbildung von Ausleuchtungskanälen einander zugeordnet werden. Es ist eine Aufgabe der vorliegenden Erfindung, ein derartiges Verfahren zu verbessern.

[0003] Diese Aufgabe wird durch die Merkmale des Anspruchs 1 gelöst. Erfindungsgemäß ist vorgesehen, für die Facetten eines ersten Facettenspiegels Zielpositionen zu bestimmen, um eine vorgegebene Soll-Ausleuchtung eines Objektfeldes zu ermöglichen. Ein Kern der Erfindung besteht darin, die Facetten des ersten Facettenspiegels durch eine Vielzahl von verlagerbaren Einzelspiegeln auszubilden und eine Teilmenge dieser Einzelspiegel in Parkpositionen beabstandet zu einer jeweils zugehörigen Zielposition zu positionieren. Hierbei sind die Parkpositionen insbesondere derart gewählt, dass sie von den jeweils zugehörigen Zielpositionen beabstandet sind, jedoch höchstens um einen Maximalabstand $d_{\max}$. Durch Vorgabe eines derartigen Maximalabstandes $d_{\max}$ kann der Schaltweg sowie insbesondere die zur Verlagerung der Einzelspiegel aus der Parkposition in die zugehörige Zielposition benötigte Schaltzeit begrenzt werden. Die Bereitstellung derartiger Parkpositionen für die Einzelspiegel der ersten Facetten ermöglicht ein schnelles Zu- und/oder Abschalten derselben.

[0004] Die Einzelspiegel sind insbesondere verkippbar. Bei dem Schaltweg handelt es sich insbesondere um einen Kippwinkel.

[0005] Die Einzelspiegel sind insbesondere derart gruppiert, dass die einzelnen Gruppen die Facetten des ersten Facettenspiegels bilden. Hierbei ist diese Gruppierung flexibel veränderbar. Die Facetten werden daher auch als virtuelle Facetten bezeichnet.

[0006] Ist der zweite Facettenspiegel im Bereich einer Pupillenebene angeordnet, sind die virtuellen ersten Facetten im Wesentlichen unabhängig von der Position der zweiten Facetten. Eine derartige Ausführungsform wird auch als Wabenkondensor bezeichnet.

ungsform wird auch als Wabenkondensor bezeichnet.

[0007] Ist der zweite Facettenspiegel beabstandet zu einer Pupillenebene angeordnet, sind die Form und/oder Größe der virtuellen ersten Facetten in der Regel abhängig von der Position der zweiten Facette und/oder der Pupillenform. Eine derartige Ausführungsform wird auch als spekulärer Reflektor bezeichnet.

[0008] Die Gruppen der Einzelspiegel, welche die virtuellen ersten Facetten bilden, müssen nicht notwendigerweise einfach zusammenhängend sein.

[0009] Die vorliegende Erfindung ist gleichermaßen auf das Konzept des Wabenkondensors und das Konzept des spekulären Reflektors anwendbar.

[0010] Die Zielpositionen werden auch als Nutzstellungen bezeichnet. Sie geben diejenigen Positionierungen an, in welchen die von den jeweiligen ersten Facetten, insbesondere von den Einzelspiegeln der ersten Facetten, reflektierte Beleuchtungsstrahlung mit einer vorbestimmten zweiten Facette auf dem zweiten Facettenspiegel einen Beleuchtungskanal zur Beleuchtung des Objektfeldes ausbildet. Hierbei können die ersten Facetten jeweils das gesamte Objektfeld ausleuchten. Es ist auch möglich, dass die ersten Facetten jeweils nur einen Teilbereich des Objektfeldes, insbesondere im Bereich von 1% bis 80%, insbesondere im Bereich von 10% bis 50%, insbesondere im Bereich von 20% bis 30% des Objektfeldes ausleuchten.

[0011] Die ersten Facetten umfassen insbesondere eine Vielzahl von verlagerbaren Einzelspiegeln. Sie sind insbesondere durch Spiegel-Arrays mit einer Vielzahl von verlagerbaren Einzelspiegel, insbesondere Mikrospiegeln, gebildet. Die Bilder der Einzelspiegel weisen im Bereich der Objektebene jeweils eine Ausdehnung auf, welche im Bereich von 0,1% bis 10%, insbesondere im Bereich von 0,2% bis 5%, insbesondere im Bereich von 0,3% bis 3%, insbesondere im Bereich von 0,5% bis 2% der Breite des Objektfeldes senkrecht zur Scanrichtung liegt. In Scanrichtung werden insbesondere zwei bis 50, insbesondere 3 bis 30, insbesondere 5 bis 15 Einzelspiegel benötigt, um das Objektfeld abzudecken.

[0012] Die zweiten Facetten können monolithisch ausgebildet sein. Sie können auch durch eine Vielzahl von Einzelspiegeln, insbesondere durch eine Vielzahl von Mikrospiegeln, ausgebildet sein, welche Gruppen bilden, die dann wirken wie eine physische Facette. Diese Mikrospiegelgruppen werden auch als virtuelle zweite Facetten bezeichnet. Sie können Pupillenfacetten oder Facetten eines spekulären Reflektors bilden.

[0013] Die Parkpositionen sind derart gewählt, dass die Einzelspiegel der ersten Facetten in den Parkpositionen nicht zur Beleuchtung des Objektfeldes beitragen. Sie sind insbesondere derart gewählt, dass die Einzelspiegel der ersten Facetten in den Parkpositionen nicht zur Beleuchtung der zweiten Facette beitragen, mit welcher die jeweiligen ersten Facetten in der vorgegebenen Zielposition einen Beleuchtungskanal bilden.

[0014] Die Einzelspiegel der ersten Facetten können vorgegebene diskrete Verlagerungspositionierungen aufweisen. Sie können auch kontinuierlich verlagerbar sein.

[0015] Gemäß einer vorteilhaften Ausführungsform sind auch die zweiten Facetten verlagerbar.

[0016] Vereinfachend können die Verlagerungspositionen der ersten Facette durch die Lage ihres Abbildes im Bereich des zweiten Facettenspiegels beschrieben werden. Es besteht insbesondere eine eindeutige Zuordnung zwischen der Verkippung eines Einzelspiegels der ersten Facette und der Lage seines Abbildes im Bereich des zweiten Facettenspiegels. Mit dieser Bezeichnung stimmen die Zielpositionen der ersten Facetten insbesondere jeweils gerade mit der Lage einer oder mehrerer der zweiten Facetten überein. Die Parkposition ist von der Zielposition beabstandet. Als Parkposition kann eine benachbarte zweite Facette dienen. Es kann sich insbesondere um den nächsten Nachbarn der Zielposition-Facette handeln. Hierbei sind alle nächsten Nachbarn insbesondere derart verkipppt, dass das Licht der ersten Facette, welches auf ihnen „geparkt“ wird, nicht ins oder in die Nähe des Objektfeldes gelangen kann. Dies gilt auch dann, wenn diese Nachbarn selbst zusammen mit anderen ersten Facetten zur Ausleuchtung des Objektfeldes beitragen.

[0017] Die Parkposition kann auch weiter beabstandet von der Zielposition sein. Sie kann insbesondere zwei, drei oder mehr Facettendurchmesser beabstandet von der Zielposition sein. Je nach Bedarf und/oder Lage der Zielposition ist es auch möglich, die Parkposition außerhalb eines zur Beleuchtung des Objektfeldes genutzten Bereichs auf dem zweiten Facettenspiegel anzuordnen.

[0018] Die Zielpositionen für die ersten Facetten werden in Abhängigkeit von der vorgegebenen Soll-Ausleuchtung derart bestimmt, dass die Gesamtheit der derartig definierten Beleuchtungskanäle gerade zur vorgegebenen Soll-Ausleuchtung des Objektfeldes führt.

[0019] Gemäß einem Aspekt der Erfindung sind die in den Parkpositionen positionierten Einzelspiegel der ersten Facetten in einer Schaltzeit von höchstens 200 ms aus der Parkposition in die zugehörige Ziel-

position verlagerbar. Die Schaltzeit beträgt insbesondere höchstens 50 ms, insbesondere höchstens 20 ms, insbesondere höchstens 10 ms, insbesondere höchstens 5 ms, insbesondere höchstens 2 ms, insbesondere höchstens 1 ms, insbesondere höchstens 500 μ s, insbesondere höchstens 200 μ s, insbesondere höchstens 100 μ s.

[0020] Die in den Parkpositionen positionierten Einzelspiegel der ersten Facetten werden insbesondere auch als schnelle Einzelspiegel bezeichnet. Sie ermöglichen eine Veränderung des Intensitätsprofils der Beleuchtung des Objektfeldes, insbesondere eine Modulation der Dosis der Beleuchtung des Wafers im Bildfeld zwischen der Beleuchtung zweier Dies. In diesem Fall ist die Schaltzeit vorteilhafterweise kürzer als die Zeit, welche benötigt wird, um den Wafer von einem gerade belichteten Feld zum nächsten zu fahren.

[0021] Schaltzeiten im Bereich von wenigen Millisekunden oder darunter ermöglichen eine Anpassung der lokalen Dosis während der Belichtung des Wafers.

[0022] Schaltzeiten von weniger als 1 ms eröffnen eine y-ReMa-Funktionalität. Hierfür ist insbesondere vorgesehen, dass alle Einzelspiegel der ersten Facetten sehr schnell aus- und/oder angeschaltet werden können.

[0023] Durch die kurzen Schaltzeiten wird die Flexibilität der Beleuchtung des Objektfeldes vergrößert. Es wird insbesondere die Beleuchtung des Objektfeldes verbessert und es ermöglicht, bekannte Heterogenität nachfolgender Prozessschritte, insbesondere eine im Voraus bestimmte oder anderweitig bekannte Heterogenität des Wafers, insbesondere unterschiedliche Felder (Dies) auf dem Wafer, durch vorausschauendes Belichten zu kompensieren.

[0024] Es ist möglich, unterschiedliche Teilmengen der Einzelspiegel der ersten Facetten derart auszubilden, dass sie unterschiedliche Schaltzeiten aufweisen. Je nach Bedarf können dann die jeweils geeigneten Einzelspiegel der ersten Facetten in Parkpositionen positioniert werden.

[0025] Es ist auch möglich, die in den Parkpositionen positionierten Einzelspiegel der ersten Facetten derart auszubilden, dass sie alle eine identische Schaltzeit aufweisen.

[0026] Die Einzelspiegel der ersten Facetten können insbesondere als Dosismanipulatoren dienen.

[0027] Gemäß einem weiteren Aspekt der Erfindung macht die Teilmenge der ersten Facetten, welche in Parkpositionen positioniert werden, höchstens 10%, insbesondere 0,1% bis 10%, insbesondere 1% bis

10% einer Gesamtzahl der ersten Facetten aus. Die Teilmenge macht insbesondere 3% bis 5% der Gesamtzahl der ersten Facetten aus.

[0028] Erfindungsgemäß wurde erkannt, dass ein derartig geringer Anteil der Einzelspiegel der ersten Facetten ausreichend ist, um Abweichungen des Intensitätsprofils von einer vorgegebenen Soll-Ausleuchtung des Objektfeldes und/oder eine Heterogenität unterschiedlicher Felder auf einem Wafer und/oder zwischen unterschiedlichen Wafers zu kompensieren oder korrigieren.

[0029] Gemäß einem weiteren Aspekt der Erfindung ist jede der Zielpositionen vollständig von Parkpositionen umgeben. Die Parkpositionen bilden mit anderen Worten einen Ring, welcher die zugehörige Zielposition umgibt. Hierdurch wird insbesondere die Verlagerung der Einzelspiegel der entsprechenden Facette aus der Zielposition in die Parkposition vereinfacht.

[0030] Gemäß einem weiteren Aspekt der Erfindung werden für eine Teilmenge der ersten Facetten, insbesondere für sämtliche der ersten Facetten, insbesondere für die jeweiligen Einzelspiegel der ersten Facetten, verbotene Positionen bestimmt, in welche diese nicht verlagert werden dürfen. Derartige verbotene Positionen werden auch als Ausnahmepositionen bezeichnet. Sie werden von der Gesamtheit der erlaubten Positionen ausgenommen. Entsprechend kann eine Anzahl möglicher Verlagerungswege, entlang welcher die Einzelspiegel der ersten Facetten jeweils verlagert werden dürfen, vorgegeben werden. Diese Verlagerungswege können in einem Speicher, insbesondere einer Steuereinheit, abgelegt sein. Es kann insbesondere vorgesehen sein, zu jedem Spiegel, d. h. zu jeder Facette, eine Gesamtheit möglicher Verlagerungswege zu bestimmen und in einem derartigen Speicher abzulegen. Hierdurch ist es möglich, Einzelspiegel der ersten Facetten auch während der Belichtung zu schalten. Solche Schaltvorgänge sind dann nicht mehr auf die kurzen Totzeiten zwischen der Belichtung zweier Felder (Dies) beschränkt.

[0031] Als verbotene Positionen werden beispielsweise Positionierungen der Einzelspiegel der ersten Facetten bezeichnet, in welchen es zu Streulicht und/oder Falschlicht im Objektfeld kommt. Befindet sich ein Einzelspiegel einer ersten Facette in einer verbotenen Position, trifft die von ihr reflektierte Beleuchtungsstrahlung insbesondere auf eine zweite Facette, von wo aus sie in einem falschen Bereich im Objektfeld oder nahe dazu abgebildet wird.

[0032] Gemäß einem weiteren Aspekt der Erfindung werden die Zielpositionen derart bestimmt, dass jede der Zielpositionen einen Mindestabstand zur nächstliegenden verbotenen Position aufweist. Bei dem Abstand handelt es sich um eine Verlagerung. Diese

kann durch eine hierzu korrespondierende Trajektorie des Abbildes der jeweiligen ersten Facette im Bereich des zweiten Facettenspiegels ausgedrückt werden. Der Begriff Mindestabstand ist entsprechend der vorhergehend beschriebenen Vereinfachung zu verstehen. Er gibt den Abstand der zur Verlagerung korrespondierenden Trajektorie des Abbildes des jeweils verlagerten Einzelspiegels der ersten Facette im Bereich des zweiten Facettenspiegels zur nächstliegenden verbotenen Position wieder. Der Mindestabstand, $d_{\min}$, zwischen einer Zielposition und der nächstliegenden verbotenen Position kann insbesondere mindestens einen Spiegeldurchmesser, insbesondere mindestens zwei Spiegeldurchmesser, insbesondere mindestens drei Spiegeldurchmesser, insbesondere mindestens fünf Spiegeldurchmesser betragen. Es ist insbesondere vorgesehen, die Zielpositionen nicht benachbart zu einer verbotenen Position anzuordnen bzw. derartige Zielpositionen nicht auszuwählen. Hierdurch kann die Bestrahlung des Objektfeldes insbesondere die Beleuchtung des Wafers, mit Falschlicht vermieden werden.

[0033] Gemäß einem weiteren Aspekt der Erfindung wird nur eine Teilmenge der Einzelspiegel der ersten Facetten während der Beleuchtung des Objektfeldes verlagert. Es werden insbesondere bis zu 10% der Einzelspiegel der ersten Facetten, insbesondere mindestens 0,1%, insbesondere mindestens 1%, insbesondere 3% bis 5% der Einzelspiegel der ersten Facetten, während der Beleuchtung des Objektfeldes verlagert. Die Einzelspiegel der Facetten können hierbei aus einer Parkposition in eine Zielposition verlagert, d. h. zugeschaltet, werden. Sie können auch aus einer Zielposition in eine Parkposition, d. h. ausgeschaltet, werden. Sie können auch aus einer Zielposition in eine andere Zielposition, d. h. umgeschaltet, werden. Die Einzelspiegel der ersten Facetten können insbesondere zwischen zwei Beleuchtungen des Objektfeldes verlagert, d. h. geschaltet, werden. Sie können insbesondere zwischen der Beleuchtung zweier Dies (Inter-Die) oder während der Beleuchtung eines einzigen Dies (Intra-Die) verlagert werden.

[0034] Sie werden insbesondere schnell, d. h. innerhalb der oben angegebenen Schaltzeiten, verlagert.

[0035] Es ist auch möglich, eine Teilmenge der Einzelspiegel der ersten Facetten während der Beleuchtung des Objektfeldes und/oder zwischen zwei Beleuchtungen des Objektfeldes langsam zu verlagern. Es kann insbesondere vorgesehen sein, die bei einer Beleuchtung des Objektfeldes mit einem bestimmten Beleuchtungssetting nicht genutzten Einzelspiegel der ersten Facetten während dieser Beleuchtung in eine neue Parkposition zu verlagern. Hierdurch kann ein nachfolgender schneller Verlagerungsvorgang ermöglicht werden. Die Verlagerung der Einzelspiegel der ersten Facetten erfolgt insbesondere ent-

lang eines der oben beschriebenen erlaubten Verlagerungswege.

[0036] Gemäß einem weiteren Aspekt der Erfindung ist vorgesehen, die Beleuchtungseigenschaften der Beleuchtung des Objektfeldes zu vermessen. Es ist insbesondere vorgesehen, eine Ist-Ausleuchtung des Objektfeldes zu bestimmen und im Falle einer Abweichung der ermittelten Ist-Ausleuchtung von einer vorgegebenen Soll-Ausleuchtung diese Abweichung durch eine Verlagerung einer Teilmenge der Einzelspiegel der ersten Facetten zu verringern.

[0037] Die Ermittlung der Ist-Ausleuchtung kann kontinuierlich oder zu vorbestimmten Zeitpunkten stattfinden.

[0038] Mittels eines schnellen Zu-, Ab- oder Umschalten von Einzelspiegel der ersten Facetten kann insbesondere das Intensitätsprofil der Beleuchtung des Objektfeldes, insbesondere während der Beleuchtung desselben, korrigiert werden.

[0039] Hierbei ist es insbesondere möglich, unterschiedliche Parameter, beispielsweise die Gesamtintensität, ein bestimmtes Intensitätsprofil, eine bestimmte Winkelverteilung, die Uniformität der Beleuchtung oder andere Parameter, zu korrigieren.

[0040] Es kann insbesondere vorgesehen sein, die Dosis der Beleuchtungsstrahlung im Bereich des Bildfeldes durch ein schnelles Zu-, Ab- oder Umschalten von Einzelspiegeln der ersten Facetten zu modulieren. Eine derartige Modulation kann insbesondere zwischen der Belichtung zweier aufeinanderfolgender Felder (Inter-Die-Korrektur) oder während der Belichtung eines Feldes (Intra-Die-Korrektur) vorgesehen sein.

[0041] Gemäß einem Aspekt der Erfindung ist vorgesehen, die Beleuchtungseigenschaften während der Belichtung des Wafers gemäß einem im Voraus bestimmten Korrektur-Protokolls zu verändern. Hierbei ist vorgesehen, das Korrektur-Protokoll in Abhängigkeit von einer im Voraus bestimmten oder anderweitig bekannten Heterogenität des Wafers, insbesondere in Abhängigkeit von Variationen zwischen den unterschiedlichen zu belichtenden Feldern auf dem Wafer und/oder in Abhängigkeit einer Heterogenität unterschiedlicher zu belichtender Wafer, zu bestimmen.

[0042] Es kann weiterhin vorgesehen sein, die Komponenten der Projektionsbelichtungsanlage, insbesondere die Komponenten der Beleuchtungseinrichtung und/oder der Beleuchtungsoptik und/oder der Projektionsoptik zu vorgegebenen Zeitpunkten oder kontinuierlich zu vermessen. Es kann insbesondere vorgesehen sein, die Einzelspiegel eines oder beider der Facettenspiegel zu vermessen. Hierbei können insbesondere die Kippwinkel und/oder die Re-

flektivitäten der einzelnen Einzelspiegel erfasst werden. Allgemein ist es möglich, die Eigenschaften des Fernfeldes zu vermessen. Hierdurch kann ein Modell des Gesamtsystems aktualisiert werden. Dies erlaubt es, bessere Vorhersagen über die Beleuchtungseigenschaften machen zu können. Diese Vorhersagen können bei der Ermittlung und/oder Anpassung bei einer Anpassung des Korrektur-Protokolls berücksichtigt werden.

[0043] Vorteilhafterweise kann zur Vermessung der Komponenten der Projektionsbelichtungsanlage eine separate Strahlungsquelle vorgesehen sein. Die Vermessung erfolgt insbesondere nicht mit Nutzlicht. Sie kann jedoch prinzipiell auch mit Nutzlicht durchgeführt werden.

[0044] Die Vermessung der Komponenten der Projektionsbelichtungsanlage kann jeweils zu einem Zeitpunkt erfolgen, wenn die jeweilige Komponente gerade nicht zur Beleuchtung des Retikels, oder zur Abbildung des Retikels in das Bildfeld, das heißt zur Belichtung des Wafers beiträgt.

[0045] Es ist insbesondere möglich, die Beleuchtungseigenschaften zu vermessen, während das zu belichtende Substrat, das heißt der Wafer, ausgetauscht wird. Prinzipiell ist es auch möglich, die Beleuchtungseigenschaften in der Totzeit zwischen der Belichtung zweier aufeinanderfolgender Felder (Dies) auf dem Wafer zu vermessen. Grundsätzlich ist es auch möglich, die Beleuchtungseigenschaften während der Belichtung des Wafers zu vermessen.

[0046] Außerdem ist es möglich, die genaue Positionierung der Einzelspiegel der ersten Facetten während der Beleuchtung des Objektfeldes nachzuregeln. Dies kann insbesondere auch bei den geschalteten Facetten vorgesehen sein. Hierdurch kann die Präzision der Positionierung derselben verbessert werden.

[0047] Eine weitere Aufgabe der Erfindung besteht darin, eine Beleuchtungsoptik zur Durchführung des Verfahrens bereitzustellen. Diese Aufgabe wird durch eine Beleuchtungsoptik mit einem ersten Facettenspiegel mit einer Vielzahl erster Facetten und einem zweiten Facettenspiegel mit einer Vielzahl zweiter Facetten gelöst, wobei die ersten Facetten jeweils derart in Zielpositionen verlagerbar sind, dass sie zur Ausbildung unterschiedlicher Beleuchtungskanäle in unterschiedlichen Zielpositionen jeweils unterschiedlichen zweiten Facetten zugeordnet sind, und wobei zumindest eine Teilmenge der Einzelspiegel der ersten Facetten in Parkpositionen verlagerbar ist, welche jeweils von einer zugehörigen Zielposition beabstandet sind, jedoch höchstens um einen Maximalabstand $d_{\max}$.

[0048] Weitere Details und Einzelheiten der Beleuchtungsoptik ergeben sich aus der vorhergehenden Beschreibung. Die Einzelspiegel der ersten Facetten sind insbesondere mit den vorhergehend beschriebenen kurzen Schaltzeiten aus den Parkpositionen in die zugehörige Zielposition und/oder aus einer Zielposition in eine zugehörige Parkposition und/oder aus einer Zielposition in eine andere Zielposition verlagerbar.

[0049] Die Verlagerung kann insbesondere während der Belichtung des Objektfeldes, insbesondere während der Belichtung des Wafers, stattfinden.

[0050] Weitere Aspekte der Erfindung bestehen darin, ein Beleuchtungssystem für eine Projektionsbelichtungsanlage und eine Projektionsbelichtungsanlage für die Mikrolithographie zu verbessern. Diese Aufgaben werden durch ein Beleuchtungssystem bzw. eine Projektionsbelichtungsanlage mit einer Beleuchtungsoptik gemäß der vorhergehenden Beschreibung gelöst.

[0051] Die Vorteile ergeben sich aus denen der Beleuchtungsoptik.

[0052] Eine weitere Aufgabe der Erfindung besteht darin, ein Verfahren zur lithografischen Strukturierung eines Wafers zu verbessern. Diese Aufgabe wird durch das erfindungsgemäße Verfahren zur lithografischen Strukturierung eines Wafers gelöst. Der Kern der Erfindung besteht darin, eine Teilmenge der Einzelspiegel der ersten Facetten während der Strukturierung des Wafers aus einer Parkposition in eine zugehörige Zielposition oder aus einer Zielposition in eine zugehörige Parkposition oder aus einer Zielposition in eine andere Zielposition zu verlagern.

[0053] Die Vorteile ergeben sich aus den vorhergehend beschriebenen.

[0054] Gemäß einem Aspekt der Erfindung ist vorgesehen, die Teilmenge der Einzelspiegel der ersten Facetten in einem Zeitraum zwischen der Belichtung zweier aufeinanderfolgender Felder auf dem Wafer aus einer Parkposition in eine zugehörige Zielposition oder aus einer Zielposition in eine zugehörige Parkposition oder aus einer Zielposition in eine andere Zielposition zu verlagern.

[0055] Die Verlagerung geschieht insbesondere gemäß einem im Voraus, insbesondere vor der Belichtung des Wafers, bestimmten Korrektur-Protokoll.

[0056] Zur Bestimmung des Korrektur-Protokoll kann insbesondere vorgesehen sein, vor der Belichtung des Wafers, die Heterogenität desselben, insbesondere Variationen zwischen den einzelnen, zu belichtenden Feldern des Wafers, zu ermitteln. Derartige Daten können auch anderweitig vorgegeben sein.

[0057] Weitere Aufgaben der Erfindung bestehen darin, ein Verfahren zur Herstellung eines mikro- oder nanostrukturierten Bauelements und ein verfahrensgemäß hergestelltes Bauelement zu verbessern.

[0058] Diese Aufgaben werden durch das erfindungsgemäße Verfahren zur Herstellung eines mikro- oder nanostrukturierten Bauelements bzw. das entsprechend hergestellte Bauelement gelöst.

[0059] Die Vorteile ergeben sich aus den vorhergehend beschriebenen.

[0060] Weitere Merkmale und Einzelheiten der Erfindung ergeben sich aus der Beschreibung von Ausführungsbeispielen anhand der Figuren. Es zeigen:

Ab hier auch in P130137DE!

[0061] Fig. 1 eine schematische Darstellung einer Projektionsbelichtungsanlage für die Mikrolithographie mit einem Beleuchtungssystem und einer Projektionsoptik im Meridionalschnitt,

[0062] Fig. 2 eine Ausführung eines Beleuchtungssystems einer Projektionsbelichtungsanlage mit einem Spiegel-Array (MMA) und einem von diesem beleuchteten Pupillenfacettenspiegel,

[0063] Fig. 3 schematisch eine exemplarische Aufsicht auf den Pupillenfacettenspiegel nach Fig. 2 mit einer Pupillenfacetten-Ausleuchtung, die einem Beleuchtungssetting entspricht,

[0064] Fig. 4 schematisch das Beleuchtungssystem gemäß Fig. 2 mit einer durch Verlagerung der Spiegel-Elemente erzeugbaren Kanalzuordnung des Spiegel-Arrays zum Pupillenfacettenspiegel,

[0065] Fig. 5 eine schematische Aufsicht auf den Pupillenfacettenspiegel gemäß Fig. 3 mit einer Pupillenfacetten-Ausleuchtung, die einem annularen Beleuchtungssetting entspricht,

[0066] Fig. 6 eine schematische Darstellung zweier nebeneinander liegender Spiegel-Elemente des Spiegel-Arrays gemäß den Fig. 2 und Fig. 4,

[0067] Fig. 7 einen schematischen Querschnitt durch eine Ausführungsform des optischen Bauelements mit einem Spiegel-Array (MMA),

[0068] Fig. 8 eine schematische Darstellung eines exemplarischen Strahlengangs in einer Projektionsbelichtungsanlage,

[0069] Fig. 9 eine Ausschnittsvergrößerung des Bereichs IX mit dem ersten Facettenspiegel der Beleuchtungsoptik der Projektionsbelichtungsanlage gemäß Fig. 8,

[0070] Fig. 10 eine Ausschnittsvergrößerung des Bereichs X mit dem zweiten Facettenspiegel der Beleuchtungsoptik der Projektionsbelichtungsanlage gemäß Fig. 8,

[0071] Fig. 11 eine Ausschnittsvergrößerung des Bereichs XI eines der Mikrospiegel-Arrays des Facettenspiegels gemäß Fig. 9,

[0072] Fig. 12 eine Darstellung des Spiegel-Arrays gemäß Fig. 11, bei welchen die Einzelspiegel in zwei unterschiedliche Gruppen eingeteilt sind,

[0073] Fig. 13 und Fig. 14 schematische Darstellungen unterschiedlicher Anordnungen von Feldfacetten auf dem Feldfacettenspiegel, welcher durch eine Vielzahl von Spiegel-Arrays gebildet ist,

[0074] Fig. 13a und Fig. 14a Ausschnittsvergrößerungen aus den Fig. 13 und Fig. 14,

[0075] Fig. 15 eine schematische Darstellung eines Ausschnitts des Strahlengangs einer Projektionsbelichtungsanlage gemäß Fig. 8 mit einem Facettenspiegel gemäß einer der Fig. 13 oder Fig. 14,

[0076] Fig. 16 eine schematische Darstellung der Ausrichtung eines zweiten Facettenspiegels, wobei eine Zielposition, eine zugehörige Parkposition und eine Vielzahl verbotener Positionen gekennzeichnet sind,

[0077] Fig. 17 und Fig. 18 schematische Darstellungen gemäß Fig. 16 mit zwei Zielpositionen, zwei Parkpositionen und einer Vielzahl von verbotenen Positionen,

[0078] Fig. 19 schematisch einen zeitlichen Ablauf eines Verfahrens zur Beleuchtung eines Objektfeldes einer Projektionsbelichtungsanlage, und

[0079] Fig. 20 schematisch einen Ablauf eines Verfahrens zur Auslegung eines Facettenspiegels.

[0080] Im Folgenden wird zunächst der prinzipielle Aufbau einer Projektionsbelichtungsanlage 1 anhand der Figuren beschrieben.

[0081] Fig. 1 zeigt schematisch in einem Meridionalschnitt eine Projektionsbelichtungsanlage 1 für die Mikrolithografie. Ein Beleuchtungssystem 2 der Projektionsbelichtungsanlage 1 hat neben einer Strahlungsquelle 3 eine Beleuchtungsoptik 4 zur Belichtung eines Objektfeldes 5 in einer Objektebene 6. Das Objektfeld 5 kann rechteckig oder bogenförmig mit einem x/y-Aspektverhältnis von beispielsweise 13/1 gestaltet sein. Belichtet wird hierbei ein im Objektfeld 5 angeordnetes und in der Fig. 1 nicht dargestelltes reflektierendes Retikel, das eine mit der Projektionsbelichtungsanlage 1 zur Herstellung mikro-

beziehungsweise nanostrukturierter Halbleiter-Bau-elemente zu projizierende Struktur trägt. Eine Projektionsoptik 7 dient zur Abbildung des Objektfeldes 5 in ein Bildfeld 8 in einer Bildebene 9. Abgebildet wird die Struktur auf dem Retikel auf eine lichtempfindliche Schicht eines im Bereich des Bildfeldes 8 in der Bildebene 9 angeordneten Wafers, der in der Zeichnung nicht dargestellt ist.

[0082] Das Retikel, das von einem nicht dargestellten Retikelhalter gehalten ist, und der Wafer, der von einem nicht dargestellten Waferhalter gehalten ist, werden beim Betrieb der Projektionsbelichtungsanlage 1 synchron in der y-Richtung gescannt. Wafer und Retikel können sich mit unterschiedlicher Geschwindigkeit bewegen. Abhängig vom Abbildungsmaßstab der Projektionsoptik 7 kann auch ein gegenläufiges Scannen des Retikels relativ zum Wafer stattfinden.

[0083] Mit Hilfe der Projektionsbelichtungsanlage 1 wird wenigstens ein Teil des Retikels auf einen Bereich einer lichtempfindlichen Schicht auf dem Wafer zur lithographischen Herstellung eines mikro- beziehungsweise nanostrukturierten Bauelements, insbesondere eines Halbleiterbauelements, zum Beispiel eines Mikrochips abgebildet. Je nach Ausführung der Projektionsbelichtungsanlage 1 als Scanner oder als Stepper werden das Retikel und der Wafer zeitlich synchronisiert in der y-Richtung kontinuierlich im Scannerbetrieb oder schrittweise im Stepperbetrieb verfahren.

[0084] 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, Gas Discharge Produced Plasma), oder um eine LPP-Quelle (Plasmaerzeugung durch Laser, Laser Produced Plasma) handeln. Auch andere EUV-Strahlungsquellen, beispielsweise solche, die auf einem Synchrotron oder auf einem Free Electron Laser (Freie Elektronenlaser, FEL) basieren, sind möglich.

[0085] EUV-Strahlung 10, die von der Strahlungsquelle 3 ausgeht, wird von einem Kollektor 11 gebündelt. Ein entsprechender Kollektor ist beispielsweise 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 mit einer Vielzahl von Feldfacetten 13a trifft. Der Feldfacettenspiegel 13 ist in einer Ebene der Beleuchtungsoptik 4 angeordnet, die zur Objektebene 6 optisch konjugiert ist.

[0086] Die EUV-Strahlung 10 wird nachfolgend auch als Nutzstrahlung, Beleuchtungslicht oder als Abbildungslicht bezeichnet.

[0087] Nach dem Feldfacettenspiegel **13** wird die EUV-Strahlung **10** von einem Pupillenfacettenspiegel **14** mit einer Vielzahl von Pupillenfacetten **14a** reflektiert. Der Pupillenfacettenspiegel **14** liegt entweder in der Eintrittspupillenebene der Projektionsoptik **7** oder in einer hierzu optisch konjugierten Ebene. Der Feldfacettenspiegel **13** und der Pupillenfacettenspiegel **14** sind aus einer Vielzahl von Einzelspiegeln aufgebaut, die nachfolgend noch näher beschrieben werden. Dabei kann die Unterteilung des Feldfacettenspiegels **13** in Einzelspiegel derart sein, dass jede der Feldfacetten **13a**, die für sich das gesamte Objektfeld **5** ausleuchten, durch genau einen der Einzelspiegel repräsentiert wird. Alternativ ist es möglich, zumindest einige oder alle der Feldfacetten **13a** durch eine Mehrzahl derartiger Einzelspiegel aufzubauen. Entsprechendes gilt für die Ausgestaltung der den Feldfacetten **13a** jeweils zugeordneten Pupillenfacetten **14a** des Pupillenfacettenspiegels **14**, die jeweils durch einen einzigen Einzelspiegel oder durch eine Mehrzahl derartiger Einzelspiegel gebildet sein können.

[0088] Die EUV-Strahlung **10** trifft auf die beiden Facettenspiegel **13**, **14** unter einem Einfallswinkel, gemessen normal zur Spiegelfläche, auf, der kleiner oder gleich 25° ist. Die beiden Facettenspiegel **13**, **14** werden also im Bereich eines normal incidence-Betriebs mit der EUV-Strahlung **10** beaufschlagt. Auch eine Beaufschlagung unter streifendem Einfall (grazing incidence) ist möglich. Der Pupillenfacettenspiegel **14** ist in einer Ebene der Beleuchtungsoptik **4** angeordnet, die eine Pupillenebene der Projektionsoptik **7** darstellt beziehungsweise 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 für die EUV-Strahlung **10** bezeichneten Spiegeln **16**, **17** und **18** werden die Feldfacetten des Feldfacettenspiegels **13** einander überlagernd in das Objektfeld **5** abgebildet. Der letzte Spiegel **18** der Übertragungsoptik **15** ist ein Spiegel für streifenden Einfall („Grazing incidence Spiegel“). Die Übertragungsoptik **15** wird zusammen mit dem Pupillenfacettenspiegel **14** auch als Folgeoptik zur Überführung der EUV-Strahlung **10** vom Feldfacettenspiegel **13** hin zum Objektfeld **5** bezeichnet. Das Beleuchtungslicht **10** wird von der Strahlungsquelle **3** hin zum Objektfeld **5** über eine Mehrzahl von Ausleuchtungskanälen geführt. Jedem dieser Ausleuchtungskanäle ist eine Feldfacette **13a** des Feldfacettenspiegels **13** und eine dieser nachgeordnete Pupillenfacette **14a** des Pupillenfacettenspiegels **14** zugeordnet. Die Einzelspiegel des Feldfacettenspiegels **13** und des Pupillenfacettenspiegels **14** können aktuatorisch verkippbar sein, sodass ein Wechsel der Zuordnung der Pupillenfacetten **14a** zu den Feldfacetten **13a** entsprechend eine geänderte Konfiguration der Ausleuchtungskanäle erreicht werden kann. Es resultieren unterschiedliche

Beleuchtungssettings, die sich in der Verteilung der Beleuchtungswinkel des Beleuchtungslichts **10** über das Objektfeld **5** unterscheiden.

[0089] Zur Erleichterung der Erläuterung von Lagebeziehungen wird nachfolgend unter anderem ein globales kartesisches xyz-Koordinatensystem verwendet. Die x-Achse verläuft in der **Fig. 1** senkrecht zur Zeichenebene auf den Betrachter zu. Die y-Achse verläuft in der **Fig. 1** nach rechts. Die z-Achse verläuft in der **Fig. 1** nach oben.

[0090] In ausgewählten der nachfolgenden Figuren ist ein lokales kartesisches xyz-Koordinatensystem eingezeichnet, wobei die x-Achse parallel zur x-Achse nach der **Fig. 1** verläuft und die y-Achse mit dieser x-Achse die optische Fläche des jeweiligen optischen Elements aufspannt.

[0091] **Fig. 2** zeigt eine alternative Ausgestaltung eines Beleuchtungssystems **19** für die Projektionsbeleuchtungsanlage **1**. Komponenten, die denjenigen entsprechen, die vorstehend unter Bezugnahme auf die **Fig. 1** bereits erläutert wurden, tragen die gleichen Bezugsziffern und werden nicht nochmals im Einzelnen diskutiert.

[0092] Von der Strahlungsquelle **3**, die als LPP-Quelle ausgebildet sein kann, ausgehende Nutzstrahlung **10** wird zunächst von einem ersten Kollektor **20** gesammelt. Bei dem Kollektor **20** kann es sich um einen Ellipsoidspiegel handeln, der die Strahlungsquelle **3** in die Zwischenfokusebene **12** abbildet beziehungsweise das Licht der Strahlungsquelle **3** auf den Zwischenfokus in der Zwischenfokusebene **12** fokussiert. Der Kollektor **20** kann so betrieben werden, dass er vor der Nutzstrahlung **10** mit Einfallswinkeln nahe 0° beaufschlagt wird. Der Kollektor **20** wird dann nahe der senkrechten Inzidenz (normal incidence) betrieben und daher auch als normal incidence (NI-)Spiegel bezeichnet. Auch ein unter streifendem Einfall betriebener Kollektor kann anstelle des Kollektors **20** zum Einsatz kommen.

[0093] Der Zwischenfokusebene **12** ist ein Feldfacettenspiegel **21** in Form eines Multi- beziehungsweise Mikrospiegel-Arrays (MMA) als Beispiel für eine optische Baugruppe zur Führung der Nutzstrahlung **10**, also des EUV-Strahlungsbündels, nachgeordnet. Das Multi- beziehungsweise Mikrospiegel-Array (MMA) wird im Folgenden auch lediglich als Spiegel-Array **22** bezeichnet. Der Feldfacettenspiegel **21** ist als mikroelektromechanisches System (MEMS) ausgebildet. Er weist eine Vielzahl von matrixartig zeilen- und spaltenweise in einem Array angeordneten Einzelspiegeln auf. Die Einzelspiegel werden im Folgenden auch als Spiegel-Elemente **23** bezeichnet. Die Spiegel-Elemente **23** sind aktuatorisch verkippbar ausgelegt, wie nachfolgend noch erläutert wird. Insgesamt weist der Feldfacettenspiegel **21** et-

wa 100000 der Spiegel-Elemente **23** auf. Je nach Größe der Spiegel-Elemente **23** kann der Feldfacettenspiegel **21** auch beispielsweise 1000, 5000, 7000 oder auch mehrere hunderttausend, beispielsweise 500000 Spiegel-Elemente **23** aufweisen.

[0094] Vor dem Feldfacettenspiegel **21** kann ein Spektralfilter angeordnet sein, der die Nutzstrahlung **10** von anderen, nicht für die Projektionsbelichtung nutzbaren Wellenlängenkomponenten der Emission der Strahlungsquelle **3** trennt. Der Spektralfilter ist nicht dargestellt.

[0095] Der Feldfacettenspiegel **21** wird mit Nutzstrahlung **10** mit einer Leistung von 840 W und einer Leistungsdichte von $6,5 \text{ kW/m}^2$ beaufschlagt. Die Nutzstrahlung **10** kann auch eine andere Leistung und/oder Leistungsdichte aufweisen.

[0096] Das gesamte Einzelspiegel-Array des Facettenspiegels **21** hat einen Durchmesser von 500 mm und ist dicht gepackt mit den Spiegel-Elementen **23** ausgelegt. Die Flächenabdeckung, auch als Füllgrad oder Integrationsdichte bezeichnet, des kompletten Feldfacetten-Arrays durch die Spiegel-Elemente **23** beträgt mindestens 70%, insbesondere mindestens 80%, insbesondere mindestens 85%, insbesondere mindestens 90%, insbesondere mindestens 95%. Die Spiegel-Elemente **23** repräsentieren, soweit eine Feldfacette **21a** durch jeweils genau ein Spiegel-Element **23** realisiert ist, bis auf einen Skalierungsfaktor die Form des Objektfeldes **5**. Der Facettenspiegel **21** kann aus 500 jeweils eine Feldfacette **21a** repräsentierenden Spiegel-Elementen **23** mit einer Dimension von etwa 5 mm in der y-Richtung und 100 mm in der x-Richtung gebildet sein. Alternativ zur Realisierung jeder Feldfacette **21a** durch genau ein Spiegel-Element **23** kann jede der Feldfacetten **21a** durch Gruppen von kleineren Spiegel-Elementen **23** gebildet werden. Eine Feldfacette **21a** mit Dimensionen von 5 mm in der y-Richtung und von 100 mm in der x-Richtung kann z. B. mittels eines 1×20 -Arrays von Spiegel-Elementen **23** der Dimension $5 \text{ mm} \times 5 \text{ mm}$ bis hin zu einem 10×200 -Array von Spiegel-Elementen **23** mit den Dimensionen $0,5 \text{ mm} \times 0,5 \text{ mm}$ aufgebaut sein. Gemäß der Erfindung ist die Zuordnung der Spiegel-Elemente **23** zu einer Feldfacette **21a** flexibel. Die Feldfacetten **21a** werden insbesondere erst durch eine geeignete Ansteuerung der Spiegel-Elemente **23** definiert. Die Form der Spiegel-Elemente **23** kann insbesondere unabhängig von der Form der makroskopischen Feldfacetten sein.

[0097] Von den Spiegel-Elementen **23** des Facettenspiegels **21** wird das Nutzlicht **10** hin zum Pupillenfacettenspiegel **14** reflektiert. Der Pupillenfacettenspiegel **14** hat etwa 2000 statische Pupillenfacetten **14a**. Diese sind in einer Mehrzahl konzentrischer Ringe nebeneinander angeordnet, sodass die Pupillenfacette **14a** des innersten Rings sektorförmig

und die Pupillenfacetten **14a** der sich hieran unmittelbar anschließenden Ringe ringsektorförmig gestaltet sind. In einem Quadranten des Pupillenfacettenspiegels **14** können in jedem der Ringe **12** Pupillenfacetten **14a** nebeneinander vorliegen. Jede der Pupillenfacetten **14a** kann als Spiegel-Array **22** ausgebildet sein.

[0098] Von den Pupillenfacetten **14a** wird das Nutzlicht **10** hin zu einem reflektierenden Retikel **24** reflektiert, das in der Objektebene **6** angeordnet ist. Es schließt sich dann die Projektionsoptik **7** an, wie vorstehend im Zusammenhang mit der Projektionsbelichtungsanlage nach **Fig. 1** erläutert.

[0099] Zwischen dem Facettenspiegel **14** und dem Retikel **24** kann wiederum eine Übertragungsoptik **15** vorgesehen sein, wie vorstehend im Zusammenhang mit der Beleuchtungsoptik **4** nach **Fig. 1** erläutert.

[0100] **Fig. 3** zeigt beispielhaft eine Ausleuchtung der Pupillenfacetten **14a** des Pupillenfacettenspiegels **14**, mit der angenähert das konventionelle Beleuchtungssetting nach **Fig. 2** erreicht werden kann. In den beiden inneren Pupillenfacettenringen des Pupillenfacettenspiegels **14** wird in Umfangsrichtung jede zweite der Pupillenfacetten **14a** beleuchtet. Diese alternierende Beleuchtungsdarstellung in der **Fig. 3** soll symbolisieren, dass die bei diesem Beleuchtungssetting realisierte Füllungsdichte um einen Faktor 2 geringer ist als bei einem annularen Beleuchtungssetting. Angestrebt wird in den beiden inneren Pupillenfacettenringen ebenfalls eine homogene Beleuchtungsverteilung, allerdings mit um einen Faktor 2 geringerer Belegungsdichte. Die beiden äußeren in **Fig. 3** dargestellten Pupillenfacettenringe werden nicht beleuchtet.

[0101] **Fig. 4** zeigt schematisch die Verhältnisse bei der Beleuchtungsoptik **4**, soweit dort ein annulares Beleuchtungssetting eingestellt ist. Die Spiegel-Elemente **23** des Feldfacettenspiegels **21** sind derart akuatorisch mit Hilfe nachfolgend noch erläuterter Aktuatoren verkippt, dass auf dem Pupillenfacettenspiegel **14** ein äußerer Ring der ringsektorförmigen Pupillenfacette **14a** mit dem Nutzlicht **10** beleuchtet ist. Diese exemplarische Beleuchtung des Pupillenfacettenspiegels **14** ist in der **Fig. 5** dargestellt. Die Verkipfung der Spiegel-Elemente **23** zur Erzeugung dieser Beleuchtung ist in der **Fig. 4** am Beispiel eines der Spiegel-Elemente **23** beispielhaft angedeutet.

[0102] Zum Umstellen der Beleuchtungssettings entsprechend den **Fig. 2** bis **Fig. 5** können die Spiegel-Elemente **23** um einen Kippwinkel verschwenkt werden. Sie sind insbesondere um einen Kippwinkel im Bereich von mindestens $\pm 50 \text{ mrad}$, insbesondere mindestens $\pm 80 \text{ mrad}$, insbesondere $\pm 100 \text{ mrad}$, verschwenkbar. Die jeweilige Kippposition kann hierbei mit einer Genauigkeit von mindestens $0,2 \text{ mrad}$, ins-

besondere mindestens 0,1 mrad, insbesondere mindestens 0,05 mrad, insbesondere mindestens 0,03 mrad, eingehalten werden.

[0103] Die Spiegel-Elemente **23** tragen Multilayer-Beschichtungen zur Optimierung ihrer Reflektivität bei der Wellenlänge der Nutzstrahlung **10**. Die Temperatur der Multilayer-Beschichtungen sollte beim Betrieb der Projektionsbelichtungsanlage 1425 K nicht überschreiten. Dies wird durch einen Aufbau der Spiegel-Elemente **23** erreicht, der nachfolgend beispielhaft erläutert wird. Die Spiegel-Elemente **23** der Beleuchtungsoptik **4** sind wie in **Fig. 2** schematisch angedeutet in einer evakuierbaren Kammer **25** untergebracht. Von der evakuierbaren Kammer **25** ist in der **Fig. 2** lediglich schematisch eine Begrenzungswand **26** angedeutet. Die Kammer **25** kommuniziert über eine Fluidleitung **27**, in der ein Absperrventil **28** untergebracht ist, mit einer Vakuumpumpe **29**. Der Betriebsdruck in der evakuierbaren Kammer **25** beträgt einige Pa (Partialdruck H_2). Alle anderen Partialdrücke liegen deutlich unterhalb von 10^{-7} mbar.

[0104] Die Spiegel-Elemente **23** sind in einem Substrat **30** angeordnet. Dieses ist über einen Wärmeleitungsabschnitt **31** mit einem Spiegelkörper **32** mechanisch verbunden. Teil des Wärmeleitungsabschnitts **31** ist ein Gelenkkörper **33**, der eine Verkipfung des Spiegelkörpers **32** relativ zum Substrat **30** zulässt. Der Gelenkkörper **33** kann als Festkörpergelenk ausgebildet sein, das eine Verkipfung des Spiegelkörpers **32** um definierte Kipp-Freiheitsgrade, beispielsweise um eine oder um zwei, insbesondere senkrecht zueinander angeordnete, Kippachsen zulässt. Der Gelenkkörper **33** hat einen äußeren Haltering **34**, der am Substrat **30** festgelegt ist. Weiterhin hat der Gelenkkörper **33** einen gelenkig mit dem äußeren Haltering **34** verbundenen inneren Haltekörper **35**. Dieser ist zentral unter einer Reflexionsfläche **36** des Spiegel-Elements **23** angeordnet. Zwischen dem zentralen Haltekörper **35** und der Reflexionsfläche **36** ist ein Abstandshalter **37** angeordnet.

[0105] Im Spiegelkörper **32** deponierte Wärme, insbesondere durch Absorption der auftreffenden Nutzstrahlung **10** erzeugte Wärme, wird über den Wärmeleitungsabschnitt **31**, nämlich über den Abstandshalter **37**, den zentralen Haltekörper **35** und den Gelenkkörper **33** sowie den äußeren Haltering **34** hin zum Substrat **30** abgeführt. Über den Wärmeleitungsabschnitt **31** kann eine Wärmeleistungsdichte von mindestens 10 kW/m^2 , insbesondere mindestens 30 kW/m^2 , insbesondere mindestens 50 kW/m^2 an das Substrat **30** abgeführt werden. Die an das Substrat **30** abgeführte Wärmeleistung kann je Spiegel-Element **23** mindestens 2,5 mW, insbesondere mindestens 7,5 mW, insbesondere mindestens 12,5 mW betragen. Der Wärmeleitungsabschnitt **31** ist alternativ zur Abführung einer Wärmeleistungsdichte von mindestens 1 kW/m^2 oder einer vom Spiegelkörper **32** auf-

genommenen Leistung von mindestens 0,25 mW auf das Substrat **30** ausgebildet. Bei der aufgenommenen Leistung kann es sich neben absorbierte Leistung der Nutzstrahlung **10** von der Strahlungsquelle **3** auch beispielsweise um aufgenommene elektrische Leistung handeln.

[0106] Auf der dem Abstandshalter **37** gegenüberliegenden Seite des Haltekörpers **35** ist an diesem ein Aktuatorstift **38** angeordnet. Der Aktuatorstift **38** kann einen kleineren Außendurchmesser als der Abstandshalter **37** aufweisen. Der Aktuatorstift **38** kann auch denselben oder einen größeren Durchmesser aufweisen als der Abstandshalter **37**.

[0107] Das Substrat **30** bildet eine den Aktuatorstift **38** umgebende Hülse. In der Hülse sind jeweils insgesamt drei Elektroden **54** integriert, die in Umfangsrichtung jeweils etwa knapp 120° überstreckend gegeneinander elektrisch isoliert angeordnet sind. Die Elektroden **54** stellen Gegenelektroden zum bei dieser Ausführungsform als Elektrodenstift ausgebildeten Aktuatorstift **38** dar. Der Aktuatorstift **38** kann hierbei insbesondere als Hohlzylinder ausgebildet sein. Prinzipiell ist es auch möglich, eine andere Anzahl an Elektroden **54** je Aktuatorstift **38** vorzusehen. Es können insbesondere vier oder mehr Elektroden **54** je Aktuatorstift **38** vorgesehen sein. Durch Erzeugen einer Potentialdifferenz zwischen einer oder mehreren der Elektroden **54** und dem Aktuatorstift **38** lässt sich eine elektrostatische Kraft auf den Aktuatorstift **38** erzeugen, welche, wie in der rechten Hälfte der **Fig. 6** exemplarisch dargestellt, zu einer Auslenkung des Spiegel-Elements **23** führen kann.

[0108] Das Substrat **30** kann insbesondere aus einem Silizium-Wafer ausgebildet sein, auf dem ein ganzes Array von Spiegel-Elementen **23** angeordnet ist.

[0109] Der Aktuatorstift **38** kann auch Teil eines Lorentz-Aktuators sein. In diesem Fall ist am freien Ende des Aktuatorstifts **38** ein Permanentmagnet angeordnet. Der Permanentmagnet kann derart ausgerichtet sein, dass ein Nordpol und ein Südpol desselben längs des Aktuatorstifts **38** nebeneinander angeordnet sind. Ein derartiger Lorentz-Aktuator ist beispielsweise aus der US 7 145 269 B2 bekannt. Er lässt sich in einem Batch-Prozess als mikroelektromechanisches System (micro electromechanical system, MEMS) herstellen. Mit einem derartigen Lorentz-Aktuator lässt sich eine Kraftdichte von 20 kPa erreichen. Die Kraftdichte ist definiert als das Verhältnis aus der Aktuatorkraft zu derjenigen Fläche des Aktuators, über die die Aktuatorkraft wirkt. Als Maß für die an sich zu betrachtende Seitenfläche des Aktuators, über die die Aktuatorkraft wirkt, kann der Querschnitt des Aktuatorstifts **38** dienen.

[0110] Alternativ zur Ausführung als Lorentz-Aktuatoren können die Aktuatoren zur Verkipfung der Spiegel-Elemente **23** als Reluktanz-Aktuatoren, beispielsweise nach Art der WO 2007/134 574 A, oder als Piezo-Aktuatoren ausgebildet sein. Mit einem Reluktanz-Aktuator lässt sich eine Kraftdichte von 50 kPa erreichen. Je nach Ausgestaltung lässt sich mit einem Piezo-Aktuator eine Kraftdichte von 50 kPa bis 1 MPa erreichen.

[0111] Für weitere Details insbesondere der Anordnung der Einzelspiegel **23** im Substrat **30** und deren Verschwenkbarkeit mittels der Aktuatoren sowie die Ausbildung der Gelenkkörper und Wärmeleitungsabschnitte **31** sei auf die WO 2010/049 076 A2 verwiesen.

[0112] Das Spiegel-Array **22** weist insbesondere mindestens 4, insbesondere mindestens 16, insbesondere mindestens 64, insbesondere mindestens 256, insbesondere mindestens 1024, insbesondere mindestens 1296, insbesondere mindestens 1600 Spiegel-Elemente **23** auf. Diese sind vorzugsweise in einer rechteckigen, insbesondere einer quadratischen Matrix angeordnet. Die Spiegel-Elemente **23** weisen einen quadratischen Querschnitt auf. Sie können prinzipiell auch dreieckig, rechteckig oder sechseckig ausgebildet sein. Sie sind als Parkett-Elemente ausgebildet. Die Gesamtheit der Spiegel-Elemente **23** bildet eine Parkettierung einer Gesamt-Reflexionsfläche des Spiegel-Arrays **22**. Bei der Parkettierung handelt es sich insbesondere um eine Tessellation. Die Spiegel-Elemente **23** sind insbesondere dicht gepackt angeordnet. Das Spiegel-Array hat insbesondere einen Füllgrad von mindestens 0,85, insbesondere mindestens 0,9, insbesondere mindestens 0,95. Hierbei bezeichnet der Füllgrad, teilweise auch als Integrationsdichte bezeichnet, das Verhältnis der Gesamt-Reflexionsfläche, das heißt der Summe der Reflexionsflächen **36** aller Spiegel-Elemente **23** des Spiegel-Arrays **22** zur Gesamtfläche des Arrays **22**.

[0113] Die Reflexionsfläche **36** der Spiegel-Elemente **23** ist eben ausgebildet. Sie kann prinzipiell auch konkav oder konvex oder als Freiformfläche ausgebildet sein.

[0114] Die Reflexionsfläche **36** der Spiegel-Elemente **23** ist insbesondere mit einer (Multilayer-)Beschichtung zur Optimierung ihrer Reflektivität bei der Wellenlänge der Nutzstrahlung **10** versehen. Die Multilayer-Beschichtung ermöglicht insbesondere die Reflexion von Nutzstrahlung **10** mit einer Wellenlänge im EUV-Bereich, insbesondere im Bereich von 5 nm bis 30 nm.

[0115] Das Spiegel-Array **22** ist modular ausgebildet. Es ist insbesondere derart als Kachel-Element ausgebildet, dass die Parkettierung der Gesamt-Re-

flexionsfläche des Spiegel-Arrays **22** durch eine Kachelung mehrerer derartiger Kachel-Elemente, das heißt mehrerer identisch ausgebildeter Spiegel-Arrays **22**, beliebig erweiterbar ist. Hierbei werden die unterschiedlichen Begriffe „Parkettierung“ und „Kachelung“ lediglich verwendet, um zwischen der Parkettierung der Gesamt-Reflexionsfläche eines einzelnen Spiegel-Arrays **22** durch die Spiegel-Elemente **23** und der eines Multi-Spiegel-Arrays durch die mehrerer Spiegel-Arrays **22** zu unterscheiden. Sie bezeichnen beide eine lückenlose und überlappungsfreie Überdeckung eines einfach zusammenhängenden Bereichs in einer Ebene. Auch wenn die Überdeckung der Gesamt-Reflexionsfläche vorliegend nicht perfekt lückenlos ist, was sich in einem Füllgrad < 1 widerspiegelt, wird im Folgenden von einer Parkettierung oder Kachelung gesprochen, sofern der Füllgrad den vorhergehend angegebenen Wert, insbesondere mindestens 0,85, aufweist.

[0116] Die Spiegel-Elemente **23** sind von dem Substrat **30** gehalten. Das Substrat **30** weist einen sich in Richtung senkrecht zur Flächennormalen **41** erstreckenden Randbereich **42** auf. Der Randbereich **42** ist insbesondere um die Spiegel-Elemente **23** umlaufend angeordnet. Er weist in Richtung senkrecht zur Flächennormalen **41** eine Breite b , insbesondere eine maximale Breite b , von höchstens 5 mm, insbesondere höchstens 3 mm, insbesondere höchstens 1 mm, insbesondere höchstens 0,5 mm, insbesondere höchstens 0,3 mm, insbesondere höchstens 0,2 mm auf. Die Gesamtfläche des Spiegel-Arrays **22** steht somit in Richtung senkrecht zur Flächennormalen **41** um höchstens 5 mm, insbesondere höchstens 3 mm, insbesondere höchstens 1 mm, insbesondere höchstens 0,5 mm, insbesondere höchstens 0,3 mm, insbesondere höchstens 0,2 mm über die Gesamt-Reflexionsfläche, das heißt über deren äußeren Rand, über.

[0117] Die Gesamtfläche des Spiegel-Arrays **22** liegt im Bereich von 1 mm $\times$ 1 mm bis 50 mm $\times$ 50 mm, insbesondere im Bereich von 10 mm $\times$ 10 mm bis 25 mm $\times$ 25 mm. Andere Abmessungen sind prinzipiell ebenfalls möglich. Sie kann insbesondere auch von der quadratischen Form abweichen. Der Überstand der Gesamtfläche des Spiegel-Arrays **22** über dessen Gesamt-Reflexionsfläche wird auch als seitlicher oder lateraler Overhead bezeichnet. Das Verhältnis von lateralem Overhead zu Gesamterstreckung in derselben Richtung beträgt höchstens 0,1, insbesondere höchstens 0,05, insbesondere höchstens 0,03, insbesondere höchstens 0,02, insbesondere höchstens 0,01. Der seitliche Überstand ist somit um mindestens eine Größenordnung kleiner als die Gesamterstreckung der Gesamt-Reflexionsfläche des Spiegel-Arrays **22**.

[0118] Das optische Bauelement **40** umfasst neben dem Spiegel-Array **22** eine Tragestruktur **43**. Die Tra-

gestruktur **43** ist in Richtung der Flächennormalen **41** versetzt, insbesondere benachbart, zum Spiegel-Array **22** angeordnet. Sie weist vorzugsweise einen Querschnitt auf, welcher zu dem des Substrats **30** des Spiegel-Arrays **22** identisch ist. Sie steht allgemein in Richtung senkrecht zur Flächennormalen **41** um höchstens 5 mm, insbesondere höchstens 3 mm, insbesondere höchstens 1 mm, insbesondere höchstens 0,5 mm, insbesondere höchstens 0,1 mm, insbesondere höchstens 0,05 mm, insbesondere überhaupt nicht über das Substrat **30** und damit über die Gesamtfläche des Spiegel-Arrays **22** über. Eine derartige Anordnung wird auch als Anordnung nach dem „Schattenwurf-Prinzip“ bezeichnet. Hierunter wird insbesondere verstanden, dass die Tragestruktur **43** vollständig innerhalb einer Parallelprojektion der Gesamtfläche des Spiegel-Arrays **22** in Richtung der Flächennormalen **41** angeordnet ist.

[0119] Die Tragestruktur **43** ist aus einem keramik- und/oder siliziumenthaltenden und/oder aluminiumenthaltenden Material. Dies ermöglicht eine Wärmeabfuhr vom Spiegel-Array **22** bei gleichzeitig hoher mechanischer Stabilität. Beispiele für das Material der Tragestruktur **43** sind keramische Werkstoffe, Silizium, Siliziumdioxid, Aluminium-Nitrit und Aluminium-Oxid, beispielsweise Al_2O_3 -Keramik. Die Tragestruktur **43** kann insbesondere aus einem Wafer hergestellt sein. Die Tragestruktur **43** kann auch aus Quarz oder einem Glas-Wafer, welcher mit sogenannten thermischen Vias versehen ist, hergestellt sein.

[0120] Die Tragestruktur **43** weist eine einseitig offene Aussparung **44** auf. Die Aussparung **44** bildet einen einseitig offenen Aufnahmebereich zur Aufnahme weiterer funktioneller Bestandteile. Die Aussparung **44** wird auf ihrer dem Spiegel-Array **22** entgegengesetzten Seite in Richtung der Flächennormalen **41** von einem Boden **45** der Tragestruktur begrenzt. Sie wird seitlich, das heißt in Richtung senkrecht zur Flächennormalen **41** von einem Randbereich **46** der Tragestruktur **43** begrenzt. Der Randbereich **46** weist in Richtung senkrecht zur Flächennormalen **41** eine Breite b_C auf. Hierbei gilt $0,5 \times b \leq b_C \leq 2 \times b$. Der Randbereich **46** der Tragestruktur **43** kann insbesondere gerade so breit wie der Randbereich **42** des Substrats **30** sein, $b = b_C$.

[0121] Die Tragestruktur **43** ist ausschließlich in diesem Randbereich **46** mit dem Spiegel-Array **22** mechanisch verbunden. Zwischen der Tragestruktur **43** und dem Spiegel-Array **22** ist ein Dichtungs-Element **61** angeordnet. Das Dichtungselement **61** ist in eine Metallisierung auf der Rückseite **48** des Substrats **30** des Spiegel-Arrays **22** integriert. Es kann auch als auf dem Randbereich **46** der Tragestruktur **43** angeordneter Dichtungsring ausgebildet sein. Der von der Aussparung **44** gebildete Aufnahmebereich ist somit zumindest während der Herstellung des

Bauelements **40** gekapselt, das heißt flüssigkeitsdicht, insbesondere gasdicht abgeschlossen. Prinzipiell ist es möglich, die ASICs **52** gekapselt, das heißt flüssigkeitsdicht, insbesondere gasdicht abgeschlossen anzuordnen. Hierfür ist noch eine in den Figuren nicht dargestellte, durchgehende Zwischenschicht zwischen dem Spiegel-Array **22** und den ASICs **52** notwendig.

[0122] In die Tragestruktur **43** ist eine Vielzahl von Signalleitungen **47** integriert. Die Signalleitungen **47** sind als elektrische Durchkontaktierungen, sogenannte „Vias“, ausgebildet. Sie sind direkt an die den Reflexionsflächen **36** entgegengesetzte Rückseite **48** des Spiegel-Arrays **22** gebondet. Sie sind außerdem auf der dem Spiegel-Array **22** entgegengesetzten Seite, das heißt der Rückseite **49** der Tragestruktur **43** mit Kontakt-Elementen **50** versehen. Jedes Bauelement **40** kann mehr als 30, insbesondere mehr als 50, insbesondere mehr als 70 Signalleitungen **47** aufweisen. Die Signalleitungen **47** dienen unter anderem der Stromversorgung einer Steuer-Einrichtung **51** zur Steuerung der Verlagerung der Spiegel-Elemente **23**. Die Steuer-Einrichtung **51** zur Steuerung der Verlagerung der Spiegel-Elemente **23** ist in die Tragestruktur **43** integriert. Sie ist insbesondere als anwendungsspezifische integrierte Schaltung **52** (englisch: application specific integrated circuit, ASIC) ausgebildet. Das Bauelement **40** kann eine Mehrzahl von ASICs **52** aufweisen. Es umfasst mindestens ein ASIC **52**, insbesondere mindestens zwei, insbesondere mindestens vier, insbesondere mindestens neun, insbesondere mindestens 16, insbesondere mindestens 25, insbesondere mindestens 100 ASICs **52**. Hierbei steht jedes der ASICs **52** mit mindestens einem Spiegelement **23**, insbesondere mit einer Mehrzahl von Spiegel-Elementen **23**, insbesondere mit mindestens zwei, insbesondere mindestens vier, insbesondere mindestens acht Spiegel-Elementen **23** in Signalverbindung. Für Details der Steuerung der Aktuatoren zur Verlagerung der Spiegel-Elemente **23** sei auf die WO 2010/049 076 A2 verwiesen.

[0123] Die Signalleitungen **47** zu den ASICs **52** verlaufen von der Rückseite **49** der Tragestruktur **43** durch die Tragestruktur **43** hindurch auf die Rückseite **48** des Spiegel-Arrays **22**, von dort auf der Rückseite **48** des Spiegel-Arrays **22** entlang und über einen Flip-Chip-Kontakt **53** auf die ASICs **52**. Die Signalleitungen zur integrierten oder lokalen Treiberelektronik sind somit auf der Rückseite **48** der Spiegel-Arrays **22** geführt. Eine auf dem ASIC **52** generierte Steuerungsspannung zur Steuerung der Verlagerung eines der Spiegel-Elemente **23** wird über einen weiteren Flip-Chip-Kontakt **53** auf die Rückseite **48** des Spiegel-Arrays **22** zu einer entsprechenden Elektrode **54** gebracht. Somit befinden sich alle elektrischen Kontaktierungen eines der ASICs **52** auf derselben Seite des ASIC **52**. Sie befinden sich insbesondere auf der dem

Spiegel-Array **22** zugewandten Seite des ASIC **52**. Eine zweiseitige Kontaktierung sowie eine Durchkontaktierung des ASIC **52**, welche prinzipiell ebenfalls möglich ist, wird hierdurch vermieden. Ein weiterer Vorteil einer derartigen Anordnung der Signalleitungen **47** besteht darin, dass sämtliche Signalleitungen **47** auf der Rückseite **48** des Spiegel-Arrays **22** in einer einzigen Metallschicht verlegt sein können. Dies führt zu einer Vereinfachung des Herstellungsprozesses und damit zu einer Reduktion der Herstellungskosten.

[0124] Des Weiteren sind die Signalleitungen **47** derart ausgebildet und angeordnet, dass auf der dem Spiegel-Array **22** zugewandten Vorderseite **43a** der Tragestruktur **43** und/oder auf der Rückseite **49** derselben bestimmte Signalleitungen **47** zusammengelegt sind. Beispielsweise sind die Signalleitungen **47** für die Speisespannungen der ASICs **52** zusammengeschlossen. Dies führt zu einer Signalreduktion im Bereich der Tragestruktur **43**. Die Signalreduktion im Bereich der Tragestruktur **43** beträgt insbesondere mindestens 10:1.

[0125] Auf der Rückseite **49** der Tragestruktur **43** weist das Bauelement **40** eine elektrische Schnittstelle **55** auf. Die Schnittstelle **55** ist insbesondere vollständig auf der dem Spiegel-Array **22** gegenüberliegenden Rückseite **49** der Tragestruktur **43** angeordnet. Auf seitliche Kontakte, welche prinzipiell möglich sind, kann vollständig verzichtet werden. Das „Schattenwurf-Prinzip“ ist somit auch beim Signalfluss eingehalten (vergleiche **Fig. 25**). Somit sind sowohl die Komponenten des Bauelements **40** als auch der Signal- und Wärmefluss in diesem in Richtung der Flächennormalen **41** ausgerichtet. Das Bauelement **40** weist daher eine vertikale Integration auf.

[0126] Bei der in **Fig. 7** dargestellten Ausführungsform weist die elektrische Schnittstelle **55** eine Vielzahl von auf die Rückseite **49** der Tragestruktur **43** aufgebrachter Kontaktstifte, Kontaktpins **56** auf. Alternativ hierzu können die Kontakt-Elemente **50** der elektrischen Schnittstelle **55** auch flächig ausgebildet sein.

[0127] Alternativ hierzu können die Kontakt-Elemente **50** der elektrischen Schnittstelle **55** auch als integrierte Pins in der Tragestruktur **43** ausgebildet sein. Hierbei sind Durchkontaktierungen (Vias) in der Tragestruktur **43**, welche beispielsweise als mit Gold gefüllte Durchgangsbohrungen ausgebildet sind, im Bereich der Rückseite **49** der Tragestruktur **43** teilweise freigelegt. Dies kann insbesondere durch Wegätzen eines Teils des die Durchkontaktierungen umgebenden Materials der Tragestruktur **43** erreicht werden. Das freigelegte Teilstück der Durchkontaktierungen bildet nun das Kontakt-Element **50**.

[0128] Des Weiteren umfasst die Tragestruktur **43** ein ferromagnetisches Element **57**. Sie umfasst insbesondere mindestens ein ferromagnetisches Element **57**. Es können auch mehrere ferromagnetische Elemente **57** vorgesehen sein. Das ferromagnetische Element **57** ist als Metallplatte oder als Metallfolie ausgebildet. Das ferromagnetische Element **57** kann auch als permanentmagnetisches Element ausgeführt sein. Gemäß den beispielsweise in den **Fig. 7** und **Fig. 9** dargestellten Ausführungsformen ist die Metallfolie **57** in der Aussparung **44** der Tragestruktur **43** angeordnet. Sie ist insbesondere fest mit der Tragestruktur **43** verbunden. Sie kann beispielsweise auf die Tragestruktur **43** aufgebondet sein. Sie kann auch aufgeklebt sein. Eine direkte galvanische Abscheidung einer ferromagnetischen Metallschicht auf die Tragestruktur **43** als ferromagnetisches Element **57** ist ebenfalls möglich. Die Metallfolie **57** kann, wie exemplarisch in **Fig. 10** dargestellt, auch auf der Rückseite **49** der Tragestruktur **43** angeordnet sein. Prinzipiell ist auch eine Kombination der Anordnung der Metallfolie **57** in der Aussparung **44** und auf der Rückseite **49** der Tragestruktur **43** möglich.

[0129] Die Metallfolie **57** kann insbesondere zwischen den ASICs **52** und dem Boden **45** der Tragestruktur **43** angeordnet sein. Sie kann hierbei auch eine thermische Schnittstelle zwischen den ASICs **52** und der Tragestruktur **43** bilden. Hierbei ist es vorteilhaft, die Metallfolie **57** als weiche, gewellte Metallfolie, das heißt als sogenannte Federfolie, auszubilden.

[0130] Außerdem kann ein zusätzliches Wärmeleitelement **58** zwischen den ASICs **52** und dem Boden **45** der Tragestruktur **43**, insbesondere zwischen den ASICs **52** und der Metallfolie **57** angeordnet sein. Es können auch mehrere Wärmeleitelemente vorgesehen sein. Die ASICs **52** können insbesondere innerhalb der Aussparung **44** zumindest teilweise in das Wärmeleitelement eingebettet sein. Eine derartige thermische Schnittstelle zwischen den ASICs **52** und dem Boden **45** der Tragestruktur **43** verbessert die vertikale Integration des Wärmeflusses durch das Bauelement **40**. Wärme von dem Spiegel-Array **22** sowie insbesondere von den ASICs **52** kann hierbei direkt, das heißt im Wesentlichen in Richtung der Flächennormalen **41**, zum Boden **45** der Tragestruktur **43** und durch diesen abgeleitet werden.

[0131] Im Folgenden werden weitere Aspekte der Erfindung anhand der **Fig. 8** bis **Fig. 15** beschrieben.

[0132] In **Fig. 8** ist noch einmal schematisch ein Strahlengang der Beleuchtungsstrahlung **10** der Projektionsbelichtungsanlage **1** dargestellt. In der **Fig. 8** ist die Strahlungsquelle **3** und der Kollektor **11** zusammengefasst als Beleuchtungseinrichtung **61** dargestellt.

[0133] Von der Beleuchtungsoptik sind lediglich exemplarisch ein erster Facettenspiegel **62** und ein zweiter Facettenspiegel **63** dargestellt. Beim ersten Facettenspiegel **62** kann es sich insbesondere um den Feldfacettenspiegel **13** handeln. Beim zweiten Facettenspiegel **63** kann es sich insbesondere um den Pupillenfacettenspiegel **14** handeln. Es ist jedoch auch möglich, dem zweiten Facettenspiegel **63** beabstandet zu einer Pupillenebene der Beleuchtungsoptik anzuordnen. Er wird in diesem Fall allgemein als spekulärer Reflektor bezeichnet.

[0134] In der **Fig. 8** ist schematisch die Projektionsoptik **7** dargestellt. Die Projektionsoptik **7** kann sechs Spiegel M_1 bis M_6 umfassen. Die Projektionsoptik **7** kann auch eine andere Anzahl an Spiegeln M_i umfassen. Sie kann insbesondere zwei, drei, vier, fünf, sechs, sieben, acht oder mehr Spiegel umfassen.

[0135] Weiterhin ist in der **Fig. 8** schematisch ein in der Bildebene **9** angeordneter Wafer **64** dargestellt. Der Wafer **64** ist von einem Waferhalter **65** gehalten. Er ist insbesondere mittels des Waferhalters **65** verlagerbar.

[0136] In der **Fig. 9** ist schematisch eine exemplarische Ausbildung des ersten Facettenspiegels **62** dargestellt. Der erste Facettenspiegel **62** umfasst eine Vielzahl von Spiegel-Arrays **22**. Die dargestellte Anordnung der Spiegel-Arrays **22** ist exemplarisch zu verstehen. Die tatsächliche Anzahl der Spiegel-Arrays **22** des ersten Facettenspiegels **62** kann wesentlich größer sein. Sie kann bis zu mehrere Tausend betragen.

[0137] Die Spiegel-Arrays **22** sind in parallelen Zeilen angeordnet.

[0138] Entsprechend ist in der **Fig. 10** schematisch eine exemplarische Ausbildung des zweiten Facettenspiegels **63** dargestellt. Der zweite Facettenspiegel **63** umfasst eine Vielzahl von Spiegel-Arrays **22**. Die Spiegel-Arrays **22** sind in parallelen Zeilen angeordnet. Die tatsächliche Anzahl der Spiegel-Arrays **22** des ersten Facettenspiegels **62** kann wesentlich größer sein. Sie kann bis zu mehrere Tausend betragen.

[0139] In der **Fig. 11** ist noch einmal schematisch eines der Spiegel-Arrays **22** vergrößert dargestellt. Für die konstruktiven Details des Spiegel-Arrays **22** sei auf die in **Fig. 7** dargestellte und vorhergehend beschriebene Ausführungsform verwiesen. Es sei jedoch noch einmal angemerkt, dass die Anzahl der Mikrospiegel **23** des Spiegel-Arrays **22** auch wesentlich größer sein kann als in der **Fig. 11** dargestellt ist.

[0140] Die Spiegel-Arrays **22** sind modular, insbesondere bausteinartig, ausgebildet. Sie werden auch als Bricks bezeichnet.

[0141] Im Folgenden werden bevorzugte Ausführungsformen des Spiegel-Arrays **22** beschrieben.

[0142] Erfindungsgemäß wurde erkannt, dass nicht alle Einzelspiegel **23** des Spiegel-Arrays **22** denselben Anforderungen genügen müssen. Es kann insbesondere vorteilhaft sein, die Einzelspiegel **23** des Spiegel-Arrays **22** in zwei Gruppen einzuteilen, wobei die Einzelspiegel **23** der unterschiedlichen Gruppen unterschiedliche Funktionen erfüllen. Zur Verdeutlichung sind die Einzelspiegel **23** der ersten Gruppe in der **Fig. 12** schraffiert dargestellt, während die Einzelspiegel **23** der zweiten Gruppe unschraffiert dargestellt sind. Bei dem in der **Fig. 12** exemplarisch dargestellten Ausführungsbeispiel sind die Einzelspiegel **23** der zweiten Gruppe entlang einer der Diagonalen des Spiegel-Arrays **22** angeordnet. Sie sind allgemein entlang einer oder zweier oder mehr gerader Linien angeordnet.

[0143] Die Einzelspiegel **23** der ersten Gruppe und die Einzelspiegel **23** der zweiten Gruppe können konstruktiv identisch sein. Die Gruppen der Einzelspiegel **23** können disjunkt sein. Es ist jedoch auch möglich, dass einer oder mehrere der Einzelspiegel **23** zu beiden Gruppen gehören. Sie können insbesondere sowohl präzise als auch schnell verlagerbar sein. Es ist insbesondere möglich, die Zuordnung der Einzelspiegel **23** zu den unterschiedlichen Gruppen dynamisch festzulegen. Hierbei kann es insbesondere vorteilhaft sein, eine Teilmenge der Einzelspiegel **23** zunächst der zweiten Gruppe zuzuordnen, so dass sie mit einer sehr kurzen Schaltzeit verlagerbar sind, nach einer erfolgten Verlagerung diese Einzelspiegel **23** jedoch wieder der ersten Gruppe zuzuordnen, so dass ihre Positionierung sehr präzise und stabil gesteuert, insbesondere geregelt werden kann.

[0144] Die Darstellung der Einzelspiegel **23** in **Fig. 12** ist exemplarisch zu verstehen. Die tatsächliche Anzahl der Einzelspiegel **23** des Spiegel-Arrays **22** kann wesentlich höher sein. Der Anteil der Einzelspiegel **23** der zweiten Gruppe an der Gesamtzahl der Einzelspiegel **23** des Spiegel-Arrays **22** beträgt höchstens 10%, er liegt insbesondere im Bereich von 0,1% bis 10%, insbesondere im Bereich von 1% bis 10%, insbesondere im Bereich von 3% bis 5%. Je nach Anforderung kann der Anteil der Einzelspiegel **23** der zweiten Gruppe an der Anzahl der Einzelspiegel **23** des Spiegel-Arrays **22** auch höher sein. Er kann prinzipiell bis zu 100% betragen.

[0145] Die Einzelspiegel **23** der ersten Gruppe sind mit einer Genauigkeit von mindestens 1 mrad, insbesondere mindestens 500 μ rad, insbesondere mindestens 200 μ rad, insbesondere mindestens 100 μ rad, insbesondere mindestens 50 μ rad positionierbar. Sie sind insbesondere mit einer relativen Genauigkeit von besser als 1:100, insbesondere besser als 1:300, insbesondere besser als 1:500, insbesondere besser

als 1:1000, insbesondere besser als 1:2000 verlagerbar.

[0146] Sie weisen einen Gesamtverlagerungsumfang von bis zu 100 mrad, insbesondere bis zu 200 mrad, insbesondere bis zu 300 mrad, insbesondere bis zu 500 mrad auf. Der Gesamtverlagerungsumfang der Einzelspiegel **23** der ersten Gruppe kann insbesondere mindestens 10 mrad, insbesondere mindestens 20 mrad, insbesondere mindestens 30 mrad, insbesondere mindestens 50 mrad betragen.

[0147] Die Einzelspiegel **23** der zweiten Gruppe sind mit einer sehr kurzen Schaltzeit verlagerbar. Die Schaltzeit zur Verlagerung der Einzelspiegel **23** der zweiten Gruppe von einer Ausgangsposition in eine definierte Endposition beträgt insbesondere weniger als 100 ms, insbesondere weniger als 5 ms, insbesondere weniger als 2 ms, insbesondere weniger als 1 ms, insbesondere weniger als 500 μ s, insbesondere weniger als 200 μ s. Die Einzelspiegel **23** der zweiten Gruppe werden im Folgenden auch als schnelle Einzelspiegel **23** bezeichnet.

[0148] Die Einzelspiegel **23** der zweiten Gruppe können einen kleineren Gesamtverlagerungsumfang aufweisen als die Einzelspiegel **23** der ersten Gruppe. Der Gesamtverlagerungsumfang der Einzelspiegel **23** der zweiten Gruppe kann insbesondere kleiner als 50 mrad, insbesondere kleiner als 30 mrad, insbesondere kleiner als 20 mrad, insbesondere kleiner als 10 mrad sein. Hierdurch wird die schnelle Verlagerung der Einzelspiegel **23** der zweiten Gruppe unterstützt.

[0149] Zur Verlagerung und/oder Positionierung der Einzelspiegel **23** der ersten Gruppe ist eine Ansteuerung mit einer Regelschleife vorgesehen. Die Positionierung der Einzelspiegel **23** der ersten Gruppe erfolgt insbesondere rückgekoppelt. Hierbei können insbesondere Ungenauigkeiten der Positionierung mittels der Regelschleife korrigiert werden.

[0150] Die Verlagerung der Einzelspiegel **23** der zweiten Gruppe erfolgt mittels einer reinen vorwärts gekoppelten Steuerung (Feed-Forward-Steuerung). Die Positionierung und/oder Verlagerung der Einzelspiegel **23** der zweiten Gruppe erfolgt insbesondere rückkopplungsfrei. Hierdurch wird die Schaltzeit, welche zur Verlagerung der Einzelspiegel **23** der zweiten Gruppe benötigt wird, erheblich reduziert.

[0151] Die Einzelspiegel **23** der beiden Gruppen können identische Schaltkreise zur Verlagerung aufweisen. Es ist insbesondere möglich, dass sämtliche Einzelspiegel **23** des Spiegel-Arrays **22** eine Regelschleife, d. h. eine Rückkopplung, für ihre Positionierung und/oder Verlagerung aufweisen. Diese Regelschleifen können jeweils flexibel aktivierbar und inaktivierbar sein. Hierdurch ist es möglich, die Zuord-

nung der Einzelspiegel **23** zu den beiden Gruppen flexibel zu wählen, insbesondere zu verändern, insbesondere beim Betrieb der Projektionsbelichtungsanlage **1** zu verändern.

[0152] Durch eine Reduzierung der maximal möglichen oder maximal vorgesehenen Schaltwege der Einzelspiegel **23** der zweiten Gruppe lässt sich zum einen die Schaltzeit weiter verkürzen, zum anderen lässt sich hierdurch die absolute Genauigkeit der Positionierung der Einzelspiegel **23** der zweiten Gruppe innerhalb vorgegebener Grenzen halten. Es kann insbesondere sichergestellt werden, dass auch die Einzelspiegel **23** der zweiten Gruppe mit einer absoluten Genauigkeit von besser als 10 mrad, insbesondere besser als 5 mrad, insbesondere besser als 2 mrad, insbesondere besser als 1 mrad positionierbar sind.

[0153] Außerdem kann durch die reduzierten Schaltwege der Eintrag großer Wärmelasten von der Elektronik in das System vermieden werden.

[0154] Durch eine Reduzierung des Gesamtverlagerungsumfangs der Einzelspiegel **23** der zweiten Gruppe kann deren Wärmehaushalt verbessert werden. Eine Reduzierung des Gesamtverlagerungsumfangs ermöglicht es insbesondere, die zur schnellen Verlagerung erforderlichen Spannungsanstiegsraten (slew rates) und somit die Ruhestrome zu reduzieren. Hierdurch kann die Leistungsdissipation und damit insbesondere die Wärmedissipation reduziert werden.

[0155] Die Anordnung der schnellen Mikrospiegel **23** im Spiegel-Array **22** kann insbesondere derart gewählt werden, dass einerseits jeder Bereich des Objektfeldes **5** ausreichend in der scanintegrierten Intensität der Beleuchtungsstrahlung **10** modulierbar ist, andererseits die konstruktive, technologische Realisierung des Spiegel-Arrays **22** vereinfacht wird.

[0156] Im Folgenden wird unter Bezugnahme auf die Fig. 20 ein Verfahren zur Auslegung des Facettenspiegels **62** beschrieben.

[0157] Zunächst wird in einem Bereitstellungsschritt **90** der Facettenspiegel **62** bereitgestellt. Sodann wird in einem Auswahlsschritt **91** mindestens ein Beleuchtungssetting zur Beleuchtung des Objektfeldes **5** vorgegeben.

[0158] In einem ersten Bestimmungsschritt **92** werden die zur Einstellung der Beleuchtungssettings benötigten Beleuchtungskanäle, d. h. die Zuordnung der ersten Facetten **68** zu den zweiten Facetten **69** bestimmt.

[0159] In einem zweiten Bestimmungsschritt werden daraufhin die Geometrie- und/oder die Teilfeldausleuchtung am Retikel **29** bestimmt.

[0160] In einem nachfolgenden dritten Bestimmungsschritt wird die Geometrie der entsprechenden Urbilder auf den Facettenspiegel **62** bestimmt.

[0161] Sodann werden diese Urbilder in einem Anordnungsschritt **95** auf dem Facettenspiegel **62** angeordnet. Sie werden insbesondere darin angeordnet, dass eine möglichst hohe Packungsdichte und/oder Packungseffizienz der Ausleuchtung auf dem Facettenspiegel **62** resultiert.

[0162] In einem nachfolgenden vierten Bestimmungsschritt **96** wird der Anteil der der zweiten Gruppe zugeordneten schnellen Einzelspiegel **23** bestimmt.

[0163] In einem Testschritt **97** wird die Beleuchtung des Retikels **24** getestet (sampling).

[0164] Sodann wird in einem Entscheidungsschritt **98** entschieden, ob der Anteil an schnellen Spiegeln **23** ausreichend ist. Ist dies nicht der Fall, wird das Verfahren mit einem erneuten Anordnungsschritt **95** fortgesetzt. Ist der Anteil der schnellen Einzelspiegel **23** ausreichend, kann mit der Beleuchtung **99** des Objektfeldes **5** begonnen werden.

[0165] Beim Anordnungsschritt **95** könne auch unterschiedliche Beleuchtungssettings berücksichtigt werden. In diesem Fall werden im Auswahlsschritt **91** mehrere Beleuchtungssettings ausgewählt. Die nachfolgenden Schritte werden entsprechend angepasst.

[0166] Vorzugsweise werden die schnellen Einzelspiegel **23** derart im Spiegel-Array **22** angeordnet, dass die Anordnung robust gegenüber den Anordnungen der im Allgemeinen Setting-abhängigen Facetten **68** auf dem ersten Facettenspiegel **62** ist. eine derartige Anordnung kann mit Hilfe des in **Fig. 20** schematisch dargestellten Verfahrens gefunden werden.

[0167] Sofern es sich beim zweiten Facettenspiegel **63** um einen Pupillenfacettenspiegel handelt, ist die Kanalzahl Setting-unabhängig, insbesondere sofern die Facette **69** des zweiten Facettenspiegels **63** nicht geschaltet werden sollen. In diesem Fall genügt es, den in **Fig. 20** schematisch dargestellten Prozess ein einziges Mal zu durchlaufen. Allgemein kann der Prozess auch mehrfach durchlaufen werden. Die ist insbesondere bei der Auslegung des ersten Facettenspiegels in Kombination mit einem spekularen Reflektor vorteilhaft.

[0168] Die schnellen Spiegel können insbesondere entlang gerader Linien im Spiegel-Array **22** angeordnet werden. Ist ein Anteil a an schnellen Spiegeln **23** vorgegeben und ist die Gesamtzahl der Einzelspiegel **23** sowie die Anzahl der ersten Facetten **68** des ers-

ten Facettenspiegels **62** bekannt, lässt sich eine Liniendichte der schnellen Einzelspiegel **23** im Spiegel-Array **22** bestimmen.

[0169] Bei einem spekularen Reflektor ändert sich die Anordnung der Facetten **68** des ersten Facettenspiegels **62** für jedes Beleuchtungssetting. Das vorhergehend beschriebene Verfahren wird in diesem Fall für jedes einzelne Beleuchtungssetting durchlaufen. In diesem Fall wird die Anordnung der schnellen Einzelspiegel **23** vorteilhafter Weise mittels eines globalen Optimierungsverfahrens bestimmt. Alternativ hierzu kann die Anordnung der Facetten **68** auf dem ersten Facettenspiegel **62** für jedes Setting neu definiert werden.

[0170] Eine vorteilhafte Anordnung der schnellen Einzelspiegel **23** wird im Folgenden anhand der **Fig. 13** bis **Fig. 15** beschrieben.

[0171] In den **Fig. 13** und **Fig. 14** sind exemplarisch Teilfelder **66** auf dem ersten Facettenspiegel **62** dargestellt. Jedes der exemplarisch dargestellten Teilfelder **66** entspricht einer Feldfacette **13a**. Die Teilfelder **66** sind jeweils aus in den Figuren nicht einzeln dargestellten Einzelspiegeln **23** der Spiegel-Arrays **22** zusammengesetzt. In den **Fig. 13** bis **Fig. 15** ist schematisch die Überdeckung der Feldfacetten **13a** mit den Spiegel-Arrays **22** dargestellt. Hierbei kennzeichnen die Linien **88** auf den Spiegel-Arrays **22** die Anordnung der schnellen Einzelspiegel **23**, d. h. die Anordnung der Einzelspiegel **23** der zweiten Gruppe der Spiegel-Arrays **22**.

[0172] Die beiden Abbildungen zeigen exemplarisch Anordnungen der Feldfacetten für zwei unterschiedliche Beleuchtungssettings im Spekularen Reflektor. Die Puzzlung ist für jedes Setting anders.

[0173] Bei dem in den **Fig. 13** und **Fig. 14** dargestellten Beispiel sind die schnellen Einzelspiegel **23** jeweils in einer Zeile und einer Spalte entlang der Seitenhalbierenden des Spiegel-Arrays **22** angeordnet.

[0174] Die Spiegel-Arrays **22** sind derart angeordnet, dass ihre Zeilen und Spalten relativ zu einer Längsrichtung **67** der Feldfacetten **13a** verdreht sind. Die Zeilen und Spalten der Einzelspiegel **23** des Spiegel-Arrays **22** schließen insbesondere einen Winkel im Bereich von 10° bis 80° , insbesondere im Bereich von 30° bis 60° mit der Längsrichtung **67** der Feldfacetten **13a** ein. Die Zeilen und/oder Spalten der Einzelspiegel **23** des Spiegel-Arrays **22** können insbesondere einen Winkel von 37° oder einen Winkel von 45° mit der Längsrichtung **67** der Feldfacetten **13a** einschließen.

[0175] In der **Fig. 15** ist exemplarisch eine Ausschnittsvergrößerung aus einem Teilbereich des ersten Facettenspiegels **62** sowie exemplarisch ein

Strahlengang von einer Facetten **68** zum Retikel **24** dargestellt. Die Facette **68** des ersten Facettenspiegels **62** wird über eine Facette **69** des zweiten Facettenspiegels **63**, welcher der Einfachheit halber in der **Fig. 15** nicht weiter dargestellt ist, in ein Bild **70** in der Objektebene **6** abgebildet. Die Facette **68** führt zu einem Bild **70** im Bereich des Objektfeldes **5** welches kleiner ist als die Abmessungen des Retikels **24**.

[0176] Die Facette **68** definiert zusammen mit der Facette **69** einen Beleuchtungskanal.

[0177] Wie in der **Fig. 15** exemplarisch dargestellt ist, sind die schnellen Einzelspiegel **23** derart angeordnet, dass ihr Bild in der Objektebene **6** schräg zur y-Richtung, d. h. schräg zur Scanrichtung, verläuft. Hierdurch kann erreicht werden, dass die schnellen Einzelspiegel **23** zur Korrektur einer Intensitätsverteilung der Beleuchtungsstrahlung **10** im Bereich des Objektfeldes **5** und/oder zu einer Änderung der Dosis im Bildfeld **8**, insbesondere einer Anpassung der Strahlungsdosis zur Belichtung des Wafers **64** genutzt werden können. Die schnellen Einzelspiegel **23** können insbesondere zur Korrektur der scanintegrierten Intensität im Bereich des Objektfeldes **5** genutzt werden. Durch ein schnelles Verlagern der Einzelspiegel **23** der zweiten Gruppe kann insbesondere ein Soll-Profil zur Belichtung eines Feldes (Dies) auf dem Wafer **64** eingestellt und/oder angepasst werden. Es ist insbesondere möglich, die Einzelspiegel **23** der zweiten Gruppe zwischen der Belichtung zweier unterschiedlicher Felder auf dem Wafer **64** zu verlagern (Inter-Die-Verlagerung). Hierdurch können vorab bestimmte Unterscheide zwischen den unterschiedlichen, zu belichtenden Feldern auf den Wafer, insbesondere damit verbundenen systematische Fehler, zumindest teilweise, insbesondere vollständig, kompensiert werden.

[0178] Durch eine gezielte Anordnung der schnellen Einzelspiegel **23** im Spiegel-Array **22** und/oder die Ausrichtung der Spiegel-Arrays **22** auf dem ersten Facettenspiegel **62** sowie durch eine gezielte Kanaluordnung, d. h. eine Zuordnung der Facetten **68** des ersten Facettenspiegels **62** zu den Facetten **69** des zweiten Facettenspiegels **63**, kann die Modulierbarkeit der Beleuchtungsstrahlung **10** im Bereich des Objektfeldes **5**, insbesondere im Bereich des Retikels **24**, gezielt beeinflusst, insbesondere optimiert werden.

[0179] Durch ein Verlagern der schnellen Einzelspiegel **23** ist es insbesondere möglich, Beleuchtungsstrahlung **10** aus dem zum Objektfeld **5**, insbesondere zum Retikel **24**, gerichteten Strahlengang aus- und/oder einzukoppeln. Durch ein Verkippen der schnellen Einzelspiegel **23** kann mit anderen Worten die Intensitätsverteilung der Beleuchtungsstrahlung **10** im Bereich des Objektfeldes **5**, insbesondere im Bereich des Retikels **24**, gezielt beeinflusst, insbe-

sondere moduliert werden. Dies betrifft insbesondere die scanintegrierte Intensität.

[0180] Durch ein Verkippen, insbesondere ein Schalten der schnellen Einzelspiegel **23** kann somit insbesondere die Dosis der Beleuchtungsstrahlung **10** im Bereich des Bildfeldes **8** moduliert werden.

[0181] Beim Einsatz der Projektionsbelichtungsanlage **1** mit einer der vorstehend beschriebenen Kollektorvarianten werden das Retikel **24** und der Wafer, der eine für das Beleuchtungslicht **10** lichtempfindliche Beschichtung trägt, bereitgestellt. Anschließend wird zumindest ein Abschnitt des Retikels **24** mit Hilfe der Projektionsbelichtungsanlage **1** auf den Wafer projiziert. Bei der Projektion des Retikels **24** auf den Wafer kann der Retikelhalter und/oder der Waferhalter in Richtung parallel zur Objektebene **6** bzw. parallel zur Bildebene **9** verlagert werden. Die Verlagerung des Retikels **24** und des Wafers kann vorzugsweise synchron zueinander erfolgen. Schließlich wird die mit dem Beleuchtungslicht **10** belichtete lichtempfindliche Schicht auf dem Wafer entwickelt. Auf diese Weise wird ein mikro- beziehungsweise nanostrukturiertes Bauelement, insbesondere ein Halbleiterchip, hergestellt.

[0182] Im Folgenden werden weitere Aspekte der Erfindung anhand der **Fig. 16** bis **Fig. 19** beschrieben.

[0183] In den Figuren sind exemplarisch die Facetten **69** eines Ausschnitts des zweiten Facettenspiegels **63** dargestellt. Mit offenen Kreisringen **74** sind exemplarisch die bei einem bestimmten Beleuchtungssetting nicht benutzten Facetten **69** dargestellt. Die bei dem Beleuchtungssetting genutzten Facetten **69** sind als schraffierte Kreise **75** dargestellt.

[0184] Zur Verdeutlichung sind nachfolgend noch näher beschriebene Zielfacetten **71** in den **Fig. 16** bis **Fig. 18** durch ausgefüllte Symbole dargestellt. Das quadratische Symbol gibt exemplarisch eine nachfolgend noch näher beschriebene Parkfacette **73** wieder.

[0185] Da eine Verlagerung der ersten Facetten **68**, insbesondere ihrer Einzelspiegel, zu einer entsprechenden Trajektorie ihres Abbildes auf dem zweiten Facettenspiegel **63** führt, wird im Folgenden die Position des Abbildes einer Facette **68** des ersten Facettenspiegels **62** im Bereich des zweiten Facettenspiegels **63** vereinfachend auch als Position der jeweiligen Facette **68**, insbesondere ihrer Einzelspiegel, bezeichnet.

[0186] Gemäß einem Aspekt der Erfindung ist vorgesehen, die schnellen Einzelspiegel **23** zur Dosis-Kontrolle, insbesondere zur schnellen Dosis-Kontrolle, d. h. zu einer schnellen Veränderung, insbeson-

dere Korrektur, der Beleuchtung, insbesondere der Intensitätsverteilung, des Objektfeldes **5** zu verwenden. Hierzu wird ausgenutzt, dass die Einzelspiegel **23** einerseits derart positioniert werden können, dass sie zur Beleuchtung des Objektfeldes **5** beitragen, andererseits auch derart, dass sie nicht zur Beleuchtung des Objektfeldes **5** beitragen, insbesondere auch nicht im Wege von Streulicht oder Falschlicht. Die schnellen Einzelspiegel **23** können während der Belichtung des Wafers **64** zwischen derartigen Positionierungen hin- und hergeschaltet werden.

[0187] Es wurde insbesondere erkannt, dass die Tatsache, dass der erste Facettenspiegel **62** eine Vielzahl von Einzelspiegeln **23**, insbesondere Mikrospiegel, umfasst, es erlaubt, diese Einzelspiegel **23** als Dosismanipulatoren zu benutzen. Auf ein sogenanntes Finger-UNICOM kann verzichtet werden.

[0188] Eine Veränderung des Intensitätsprofils der Beleuchtungsstrahlung **10** im Objektfeld **5** zwischen der Beleuchtung zweier Felder (Dies) erfordert Schaltzeiten von wenigen 10 ms. Eine derartig schnelle Schaltbarkeit ist mit den erfindungsgemäßen schnellen Spiegeln **23** möglich. Die Schaltzeit der schnellen Einzelspiegel **23** ist insbesondere kürzer als die Zeit, welche benötigt wird, um den Wafer **64** von einem gerade belichteten Feld zum nächsten zu fahren.

[0189] Mit den schnellen Einzelspiegeln **23** ist es auch möglich, die lokale Dosis während der Belichtung anzupassen. Auch eine y-ReMa-Funktionalität ist möglich.

[0190] Bei der Verlagerung der Einzelspiegel **23** wird jeweils sichergestellt, dass auf der Schalttrajektorie nicht Facetten **69** des zweiten Facettenspiegels **63** getroffen werden, die den zu schaltenden Einzelspiegel **23** der Facette **68** des ersten Facettenspiegels **62** unerwünschterweise ins Objektfeld **5** oder nahe hierzu abbilden. Es wird insbesondere sichergestellt, dass die Einzelspiegel **23** auf ihrer Schalttrajektorie nicht zu einer Belichtung des Wafers **64** im Bildfeld beitragen.

[0191] Im Folgenden werden exemplarisch einige Varianten dargestellt, wie die Schaltzeit für die Schaltvorgänge reduziert und/oder die Beleuchtung unerwünschter Facetten **69** des zweiten Facettenspiegels **63** verhindert werden kann.

[0192] Bei der Beleuchtung des Objektfeldes **5**, d. h. bei der Abbildung des Retikels **24** auf den Wafer **64**, ist vorgesehen, zu jeder Facette **68** des ersten Facettenspiegels **62** ein oder mehrere Zielfacetten **71** auf dem zweiten Facettenspiegel **63** zu bestimmen, über welche die von der Facette **68** jeweils reflektierte Beleuchtungsstrahlung **10** zum Objektfeld **5** geleitet werden soll. Derartige Zielfacetten **71** sind in den

Fig. 16 bis Fig. 18 exemplarisch durch gefüllte Kreise dargestellt.

[0193] Die Positionierung der Facetten **68** auf dem ersten Facettenspiegel **62**, welche zu einer entsprechenden Kanaluordnung, d. h. zu einer Führung von Beleuchtungsstrahlung **10** von dem Einzelspiegel **23** bzw. der Facette **68** zur Zielfacette **71** führt, wird auch als Zielposition bezeichnet.

[0194] Es sei daran erinnert, dass die Facetten **68** durch eine Vielzahl von Einzelspiegeln **23** gebildet werden. Wenn im Folgenden von einer Positionierung der Facetten **68** die Rede ist, sei hierunter jeweils die Positionierung der Einzelspiegel **23**, welche diese Facette **68** bilden, verstanden. Insbesondere seien unter den Zielpositionen der Facetten **68** jeweils die Zielpositionen der Einzelspiegel **23**, welche die jeweiligen Facetten **68** bilden, verstanden. Zur schnellen Feinabstimmung der Beleuchtungseigenschaften können dann einzelne der Einzelspiegel **23**, welche eine gegebene Facette **68** bilden, individuell an-, aus- oder umgeschaltet werden. Sie können insbesondere in eine Zielposition hinein oder aus einer Zielposition hinaus oder zwischen zwei Zielpositionen verlagert werden.

[0195] Für eine vorgegebene Soll-Ausleuchtung des Objektfeldes **5** werden derartige Zielpositionen, d. h. Verlagerungsstellungen, für die Facetten **68** des ersten Facettenspiegels **62** bestimmt.

[0196] Außerdem können zu den Facetten **68** des ersten Facettenspiegels **62** jeweils verbotene Positionen bestimmt werden, in welche die Facetten **68** nicht verlagert werden dürfen. Für die Facette **68**, deren Zielfacette(n) **71** exemplarisch hervorgehoben ist, sind die zugehörigen verbotenen Positionen **72** auf dem zweiten Facettenspiegel **63** jeweils durch ein kleines x exemplarisch gekennzeichnet. Auch die verbotenen Positionen beziehen sich jeweils auf sämtliche der Einzelspiegel **23** der jeweiligen Facette **68**.

[0197] Außerdem ist in den Figuren zu jeder Zielfacette **61** jeweils eine sogenannte Parkfacette **73** durch ein quadratisches Symbol gekennzeichnet. Allgemein ist vorgesehen, zumindest für eine Teilmenge der ersten Facetten **68** jeweils mindestens eine Parkposition zu bestimmen, welche jeweils von der zugehörigen Zielposition beabstandet ist, jedoch höchstens um einen Maximalabstand $d_{\max}$. In den dargestellten Beispielen beträgt der Abstand d zwischen der Parkposition und der zugehörigen Zielposition gerade einen Facettendurchmesser. Bei der Parkfacette **73** handelt es sich mit anderen Worten gerade um eine der Zielfacette **71** benachbarte Facette **69**. Auch die Parkpositionen beziehen sich jeweils auf sämtliche der Einzelspiegel **23** einer gegebenen Facette **68**. Üblicherweise wird jedoch nur eine Teilmenge der

Einzelspiegel **23**, welche eine gegebene Facette **68** bilden, in eine Parkposition verlagert.

[0198] Prinzipiell können sämtliche Einzelspiegel **23**, welche eine gegebene Facette **68** bilden, in dieselbe Parkposition verlagert werden. Vorteilhafterweise ist vorgesehen, die Einzelspiegel **23**, welche eine gegebene Facette **68** bilden, zum Ausschalten auf unterschiedliche Parkpositionen zu verteilen. Hierdurch kann die thermische Last der Parkfacetten **73** reduziert werden. Es ist insbesondere möglich, die Wärmelast möglichst gleichmäßig auf unterschiedliche Parkfacetten **73** zu verteilen.

[0199] Bei der Beleuchtung des Objektfeldes **5** ist vorgesehen, eine Teilmenge der Einzelspiegel **23** der ersten Facetten **68** in Parkpositionen zu positionieren. Da die Parkpositionen jeweils höchstens um den Maximalabstand $d_{\max}$ von einer gegebenen Zielposition beabstandet sind, können diese Einzelspiegel **23** mit einem sehr kurzen Schaltweg zugeschaltet, das heißt in die jeweilige Zielposition verlagert werden. Sie können insbesondere mit einer sehr kurzen Schaltzeit zugeschaltet werden.

[0200] Die Schaltzeit zur Verlagerung einer der Einzelspiegel **23** der ersten Facetten **68** des ersten Facettenspiegels **62**, von einer Parkposition in die zugehörige Zielposition bzw. umgekehrt von einer Zielposition in eine Parkposition, beträgt insbesondere höchstens 200 ms, insbesondere höchstens 100 ms, insbesondere höchstens 50 ms, insbesondere höchstens 20 ms, insbesondere höchstens 10 ms, insbesondere höchstens 5 ms, insbesondere höchstens 2 ms, insbesondere höchstens 1 ms, insbesondere höchstens 500 μ s, insbesondere höchstens 200 μ s, insbesondere höchstens 100 μ s.

[0201] Der Verlagerungsweg **76** für eine derartige, schnelle Verlagerung der Einzelspiegel **23** der ersten Facetten **68** von einer Parkposition in eine Zielposition oder andersrum ist in den **Fig. 16** bis **Fig. 18** als durchgezogene Linie gekennzeichnet.

[0202] Exemplarisch sind Verlagerungswege **77** für langsamere Verlagerungen in den Figuren gestrichelt dargestellt.

[0203] Die langsamen Verlagerungen können mit einer Schaltzeit von mehr als 200 ms, insbesondere mit einer Schaltzeit von bis zu 1 s, insbesondere bis zu 2 s, insbesondere bis zu 5 s, durchgeführt werden. Sie können sehr präzise durchgeführt werden. Sie können insbesondere mit einer relativen Genauigkeit von besser als 1:1000 durchgeführt werden. Die absolute Genauigkeit bei der Verlagerung der ersten Facetten kann besser als 1 mrad, insbesondere besser als 500 μ rad, insbesondere besser als 200 μ rad, insbesondere besser als 100 μ rad, insbesondere besser

als 50 μ rad sein. Dies gilt insbesondere für die langsame Positionierung.

[0204] Aufgrund des kurzen Abstandes ist für die schnelle Verlagerung der Einzelspiegel **23** eine relative Genauigkeit im Bereich von 1% bis 10% ausreichend. Hierdurch wird die Realisierung einer sehr kurzen Schaltzeit deutlich vereinfacht.

[0205] Die Einzelspiegel **23**, insbesondere die Einzelspiegel **23**, welche zur Dosiseinstellung vorgesehen sind, können insbesondere in einer Phase, in welcher der Wafer **64** nicht belichtet wird, in eine der vorgesehenen Parkpositionen verlagert werden. Sie können auch in einer Phase, in welcher der Wafer **64** zwar belichtet wird, sie jedoch nicht zu dieser Belichtung beitragen, in eine der Parkpositionen verlagert werden. Hierbei wird sichergestellt, dass sie bei der Verlagerung keine der verbotenen Positionen **72** einnehmen. Es kann insbesondere sichergestellt werden, dass sie bei einer derartigen Verlagerung einen Mindestabstand $d_{\min}$ zu den verbotenen Positionen **72** einhalten.

[0206] Die Zielpositionen sämtlicher Einzelspiegel **23** sind derart ausgewählt und/oder konstruiert, dass sie jeweils um einen Mindestabstand $d_{\min}$ von mindestens einem Facettendurchmesser, insbesondere um mindestens zwei oder drei Facettendurchmessern von der nächstliegenden verbotenen Position **72** beabstandet sind.

[0207] Es existieren zu jeder Zielposition ausreichend viele, insbesondere mindestens 1, insbesondere mindestens 2, insbesondere mindestens 3, insbesondere mindestens 6, nahegelegene Parkfacetten **73**.

[0208] Die Zielfacetten **71** sind insbesondere vollständig von Parkfacetten **73** umgeben. Sie sind insbesondere beabstandet zur nächstliegenden verbotenen Position **72** angeordnet. Sie weisen insbesondere einen Mindestabstand $d_{\min}$ von mindestens einem Facettendurchmesser, insbesondere zwei oder drei Facettendurchmessern zur nächstliegenden verbotenen Position **72** auf.

[0209] In der **Fig. 17** ist exemplarisch eine Variante dargestellt, bei welcher eine der ersten Facetten **68** zwei unterschiedliche Zielfacetten **71** mit zugehörigen Parkfacetten **73** zugeordnet sind.

[0210] Mit durchgezogenen Linien sind wiederum die Verlagerungswege **76** für die schnellen Verlagerungen dargestellt. Wie exemplarisch dargestellt ist, können die Einzelspiegel **23** der entsprechenden ersten Facette **68** nicht nur schnell zu- oder abgeschaltet werden, sie kann auch schnell zwischen den beiden Zielfacetten **71** umgeschaltet werden. Ebenso ist es möglich die Einzelspiegel **23**, schnell von der Parkfa-

cette **73** der einen Zielfacetten **71** zur anderen Zielfacetten **71** oder andersrum zu schalten.

[0211] In **Fig. 18** ist schematisch ein Fall dargestellt, bei welchem die Verlagerungsgeschwindigkeit der Einzelspiegel **23** des ersten Facettenspiegels **62** langsamer ist als bei dem in **Fig. 17** dargestellten Ausführungsbeispiel. Bei dem in **Fig. 18** dargestellten Fall können die Einzelspiegel **23** der entsprechenden ersten Facette **68**, insbesondere die Einzelspiegel **23** derselben, zwar schnell zwischen den Parkpositionen und den zugehörigen Zielpositionen hin- und hergeschaltet werden, ein schnelles Umschalten zwischen den beiden Zielpositionen ist jedoch nicht vorgesehen.

[0212] Bei dem in **Fig. 18** dargestellten Ausführungsbeispiel ist ein direktes Umschalten zwischen den beiden Zielfacetten **71** nicht vorgesehen. Dies kann zugunsten einer erhöhten Präzision vorteilhaft sein.

[0213] Im Folgenden wird noch einmal exemplarisch anhand des Ablaufschemas gemäß **Fig. 19** der zeitliche Ablauf der Einstellung der ersten Facetten **68**, insbesondere der Einzelspiegel **23** derselben, dargestellt.

[0214] Zunächst wird in einem ersten Bereitstellungsschritt **78** ein abzubildendes Retikel **24** bereitgestellt.

[0215] Sodann wird in einem Vorgabeschritt **79** eine Soll-Ausleuchtung des Objektfeldes **5**, insbesondere des Retikels **24**, vorgegeben. Die Soll-Ausleuchtung, welche auch als nominelle Ausleuchtung des Retikels **24** bezeichnet wird, bestimmt insbesondere die Feldgröße, Feldform und Winkelverteilung der Beleuchtungsstrahlung **10**. Sie wird unter Berücksichtigung der aktuell besten Kenntnis der Eigenschaften der Projektionsbelichtungsanlage **1**, insbesondere der Eigenschaften des Beleuchtungssystems **2** und/oder der Projektionsoptik **7**, berechnet und eingestellt. Hierfür ist ein Berechnungs- und Einstellungsschritt **80** vorgesehen. Der Berechnungs- und Einstellungsschritt **80** umfasst die Bestimmung der Zielpositionen für die ersten Facetten **68**, insbesondere deren Einzelspiegel **23**, in Abhängigkeit von der vorgegebenen Soll-Ausleuchtung. Der Einstellungsschritt **80** umfasst außerdem die Verlagerung der ersten Facetten **68**, insbesondere deren Einzelspiegel **23** in die entsprechenden Zielpositionen. Handelt es sich bei den zweiten Facetten **69** um schaltbare Facetten, so werden auch deren Normalen so berechnet und eingestellt, dass die Bilder der ersten Facetten im Objektfeld **5** landen.

[0216] Sodann wird ein neuer Wafer **64** in einem zweiten Bereitstellungsschritt **81** bereitgestellt.

[0217] Sodann wird in einem Messschritt **82** die Verteilung der Beleuchtungsstrahlung **10** im Bereich des Retikels **24** und/oder im Bereich des Wafers **64** bestimmt. Hierfür sind geeignete Sensoren vorgesehen. Der Messschritt **82** kann vor dem zweiten Bereitstellungsschritt **81** durchgeführt werden.

[0218] Im Messschritt **82** können insbesondere Eigenschaften wie das Intensitätsprofil, die Uniformität, die Elliptizität, die Telezentrie oder die Winkelverteilung der Beleuchtungsstrahlung **10** am Wafer **64** gemessen werden.

[0219] In der Regel weicht die im Messschritt **82** ermittelte Ist-Ausleuchtung von der vorgegebenen Soll-Ausleuchtung um eine bestimmte Abweichung ab. Diese Abweichung kann durch Schalten einer Teilmenge der ersten Facetten **68** bzw. deren Einzelspiegel **23** korrigiert werden. Hierzu werden zunächst in einem Bestimmungsschritt **83** diejenigen der Einzelspiegel **23** bestimmt, welche als Korrekturspiegel dienen sollen. Als Korrekturspiegel dienen insbesondere die vorhergehend beschriebenen schnellen Einzelspiegel **23**.

[0220] Bei der Bestimmung der Korrekturspiegel wird außerdem berücksichtigt, dass jedes Feld auf dem Wafer **64** ein individuelles Intensitätsprofil benötigt. Der Bestimmungsschritt **83** umfasst die Bestimmung der hierfür zu schaltenden ersten Facetten **68**, insbesondere deren Einzelspiegel **23**. Hierbei können insbesondere im Voraus ermittelte oder bereitgestellte Informationen über den Wafer, insbesondere über die Variation dessen Eigenschaften über seine Oberfläche, insbesondere über die Variation zwischen unterschiedlichen zu belichtenden Feldern des Wafers **64** berücksichtigt werden. Es kann insbesondere vorgesehen sein, für jedes der zu belichtenden Felder auf dem Wafer **64** Korrekturspiegel zu bestimmen, welche insbesondere während der Totzeit zwischen der aufeinanderfolgenden Belichtung zweier Felder an-, aus- oder umgeschaltet werden sollen (Inter-Die-Verlagerung). Ein entsprechendes Schaltprotokoll kann in einer Steuereinrichtung, insbesondere in einem Speicher eine Steuereinrichtung abgelegt werden. Ein entsprechendes Steuerprotokoll kann während der Belichtung des Wafers **64** automatisiert abgerufen werden und ablaufen.

[0221] Außerdem kann der Bestimmungsschritt **83** die Ermittlung der verbotenen Positionen **72** für die zu schaltenden ersten Facetten **68**, insbesondere deren Einzelspiegel **23**, umfassen. Dies kann prinzipiell auch bereits vor dem Berechnungs- und Einstellungsschritt **80** vorgegeben werden. Es kann jedoch vorteilhaft sein, die erlaubten sowie insbesondere die verbotenen Positionen **72** im tatsächlichen System zu verifizieren.

[0222] Sodann wird in einem Belichtungsschritt **84** ein Feld auf dem Wafer **64** belichtet.

[0223] Zur Belichtung des gesamten Wafers **64** ist eine Vielzahl von Belichtungsschritten **84** vorgesehen. Hierbei wird jeweils ein Feld (Die) auf dem Wafer **64** scannend oder step-weise belichtet. Während der Belichtung eines Feldes oder in den Pausen zwischen der Belichtung zweier Felder können schnelle Schaltvorgänge **85** stattfinden. Hierbei werden vorbestimmte Einzelspiegel **23** der ersten Facetten **68** auf vorbestimmte zweite Facetten **69** geschaltet oder von diesen weg. Es ist auch möglich, vorbestimmte Einzelspiegel **23** der ersten Facetten zwischen unterschiedlichen zweiten Facetten **69** umzuschalten. Ausgangspunkt oder Zielpunkt für die schnellen Schaltvorgänge **85** ist jeweils die vorbestimmte Parkposition, d. h. eine Parkfacette **73**, oder eine andere Zielposition, d. h. eine andere Zielfacette **71**. Die schnellen Schaltvorgänge **85** benötigen insbesondere eine Schaltzeit von höchstens 200 ms, insbesondere höchstens 100 ms, insbesondere höchstens 50 ms, insbesondere höchstens 20 ms, insbesondere höchstens 10 ms, insbesondere höchstens 5 ms, insbesondere höchstens 2 ms, insbesondere höchstens 1 ms, insbesondere höchstens 500 μ s, insbesondere höchstens 200 μ s, insbesondere höchstens 100 μ s.

[0224] Der Schaltweg ist sehr kurz. Er beträgt insbesondere höchstens 30 mrad, insbesondere höchstens 10 mrad, insbesondere höchstens 3 mrad.

[0225] Damit die kurzen Schaltwege realisiert werden können, werden die zuzuschaltenden ersten Facetten **68**, insbesondere deren Einzelspiegel **23**, in den Zeiten, in welchen sie nicht benutzt werden, in die jeweiligen Parkpositionen verlagert. Hierfür ist ein weiterer Schaltvorgang **86** vorgesehen. Falls bei diesem Schaltvorgang **86** geeignete Verlagerungstrajektorien gewählt werden, insbesondere Verlagerungstrajektorien, welche sämtliche verbotenen Positionen **72** vermeiden, kann der Schaltvorgang **86** ebenfalls während der Belichtung des Wafers **64** stattfinden.

[0226] Außerdem können die Facetten **68**, insbesondere deren Einzelspiegel **23**, insbesondere deren Position, in einem Mess- und Regelvorgang **87** vermessen werden. Dies ist insbesondere bei den Facetten **68**, insbesondere deren Einzelspiegeln **23**, welche verlagert wurden, vorgesehen. Der Mess- und Regelvorgang **87** kann insbesondere eine Regelschleife verwenden. Die Regelschleife kann insbesondere iterativ durchlaufen werden. Hierdurch ist es möglich, die Genauigkeit der geschalteten Facetten **68** über einen längeren Zeitraum wieder sukzessive an die Genauigkeit der übrigen Facetten **68** anzugleichen.

[0227] Nach der Belichtung des Wafers **64** kann das Retikel **24** auf einem weiteren Wafer **64** abgebildet werden. Hierzu ist vorgesehen, den Messschritt **82** und den nachfolgenden Bestimmungsschritt **83** zur Bestimmung der Korrekturspiegel zu wiederholen. Dabei können kleine Korrekturen des Feldes des nächsten Wafers **64** berechnet und die Positionierung der Facetten **68**, insbesondere deren Einzelspiegel **23**, entsprechend angepasst werden.

[0228] Sofern die Soll-Ausleuchtung des Retikels **24** grundlegend geändert wird, beispielsweise weil ein neues Retikel **24** verwendet werden soll, wird der Ablauf neu gestartet.

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

- DE 102011076145 A1 [0002]
- EP 1225481 A [0085]
- US 7145269 B2 [0109]
- WO 2007/134574 A [0110]
- WO 2010/049076 A2 [0111, 0122]

Patentansprüche

1. Verfahren zur Beleuchtung eines Objektfeldes (5) einer Projektionsbelichtungsanlage (1) umfassend die folgenden Schritte:

- Bereitstellen einer Beleuchtungseinrichtung (61) zur Erzeugung von Beleuchtungsstrahlung (10),
 - Bereitstellen einer Beleuchtungsoptik (4) zur Führung der Beleuchtungsstrahlung (10) von der Beleuchtungseinrichtung (61) zu einem Objektfeld (5) mit
 - einem ersten Facettenspiegel (62; 13) mit einer Vielzahl erster Facetten (68; 13a) und
 - einem zweiten Facettenspiegel (63; 14) mit einer Vielzahl zweiter Facetten (69; 14a),
 - wobei die ersten Facetten (68; 13a) jeweils aus einer Vielzahl von verlagerbaren Einzelspiegeln (23) gebildet sind, und
 - wobei die ersten Facetten (68; 13a) zur Ausbildung mindestens eines Beleuchtungskanals jeweils mindestens einer der zweiten Facetten (69; 14a) zugeordnet werden können,
 - Vorgeben einer Soll-Ausleuchtung des Objektfeldes (5),
 - Bestimmen von Zielpositionen für die Einzelspiegel (23) der ersten Facetten (68; 13a) in Abhängigkeit von der vorgegebenen Soll-Ausleuchtung,
 - Bestimmen von jeweils mindestens einer Parkposition für die Einzelspiegel (23) der ersten Facetten (68; 13a),
- wobei die Parkpositionen jeweils von einer zugehörigen Zielposition beabstandet sind, jedoch höchstens um einen Maximalabstand ($d_{\max}$),
- Positionieren der Einzelspiegel (23) der ersten Facetten (68; 13a), wobei eine Teilmenge der Einzelspiegel (23) der ersten Facetten (68; 13a) in den Parkpositionen positioniert werden.

2. Verfahren gemäß Anspruch 1, **dadurch gekennzeichnet**, dass die in den Parkpositionen positionierten Einzelspiegel (23) der ersten Facetten (68; 13a) in einer Schaltzeit von höchstens 200 ms aus der Parkposition in die zugehörige Zielposition verlagerbar sind.

3. Verfahren gemäß einem der vorhergehenden Ansprüche, **dadurch gekennzeichnet**, dass die Teilmenge der Einzelspiegel (23) der ersten Facetten (68; 13a), welche in Parkpositionen positioniert werden 0,1% bis 10% einer Gesamtzahl der Einzelspiegel (23) der ersten Facetten (68; 13a) ausmacht.

4. Verfahren gemäß einem der vorhergehenden Ansprüche, **dadurch gekennzeichnet**, dass jede der Zielpositionen vollständig von Parkpositionen umgeben ist.

5. Verfahren gemäß einem der vorhergehenden Ansprüche, **dadurch gekennzeichnet**, dass zumindest für eine Teilmenge der ersten Facetten (68; 13a)

verbotene Positionen bestimmt werden, in welche die Einzelspiegel (23) der ersten Facetten (68; 13a) nicht verlagerbar werden dürfen.

6. Verfahren gemäß Anspruch 5, **dadurch gekennzeichnet**, dass die Zielpositionen derart bestimmt werden, dass jede der Zielpositionen einen Mindestabstand ($d_{\max}$) zur nächstliegenden verbotenen Position aufweist.

7. Verfahren gemäß einem der vorhergehenden Ansprüche, **dadurch gekennzeichnet**, dass eine Teilmenge der Einzelspiegel (23) der ersten Facetten (68; 13a) während der Beleuchtung des Objektfeldes (5) verlagerbar werden.

8. Verfahren gemäß einem der vorhergehenden Ansprüche, **dadurch gekennzeichnet**, dass während der Beleuchtung des Objektfeldes (5) eine Ist-Ausleuchtung des Objektfeldes (5) bestimmt wird und dass im Falle einer Abweichung der ermittelten Ist-Ausleuchtung von der Soll-Ausleuchtung diese Abweichung durch eine Verlagerung von ersten Facetten (68; 13a) verringert wird.

9. Beleuchtungsoptik (5) zur Durchführung des Verfahrens gemäß einem der vorhergehenden Ansprüche umfassend

9.1. einen ersten Facettenspiegel (62) mit einer Vielzahl erster Facetten (68; 13a) und

9.2. einen zweiten Facettenspiegel (63; 14) mit einer Vielzahl zweiter Facetten (69; 14a),

9.3. wobei die ersten Facetten (68; 13a) jeweils aus einer Vielzahl von verlagerbaren Einzelspiegeln (23) gebildet sind,

9.4. wobei die ersten Facetten (68; 13a) jeweils in mindestens eine Zielposition verlagerbar sind, in welcher sie jeweils zur Ausbildung eines Beleuchtungskanals einer der zweiten Facetten (69; 14a) zugeordnet sind, und

9.5. wobei zumindest eine Teilmenge der Einzelspiegel (23) der ersten Facetten (68; 13a) jeweils in eine oder mehrere Parkpositionen verlagerbar ist, welche jeweils von einer zugehörigen Zielposition beabstandet sind jedoch höchstens um einen Maximalabstand ($d_{\max}$)

10. Beleuchtungssystem (2) für eine Projektionsbelichtungsanlage für die Mikrolithographie umfassend eine Beleuchtungsoptik (4) und eine Beleuchtungseinrichtung (61).

11. Projektionsbelichtungsanlage (1) umfassend

- eine Beleuchtungsoptik (4) gemäß Anspruch 9 und
- eine Projektionsoptik (7).

12. Verfahren zur lithographischen Strukturierung eines Wafers (64) umfassend die folgenden Schritte:

- Bereitstellen einer Projektionsbelichtungsanlage (1) gemäß Anspruch 11,

- Anordnen eines Retikels (24) mit abzubildenden Strukturen in der Objektebene (5),
- Anordnen eines Wafers in der Bildebene,
- Beleuchten des Retikels (24) mittels des Beleuchtungssystems (2),
- Projizieren des Retikels (24) auf den Wafer (64) mittels der Projektionsbelichtungsanlage (1),
- wobei eine Teilmenge der Einzelspiegel (23) der ersten Facetten (68; 13a) während der Strukturierung des Wafers (64) aus einer Parkposition in eine zugehörige Zielposition oder aus einer Zielposition in eine zugehörige Parkposition oder aus einer Zielposition in eine andere Zielposition verlagert wird.

13. Verfahren gemäß Anspruch 12, **dadurch gekennzeichnet**, dass die Teilmenge der Einzelspiegel (23) der ersten Facetten (68; 13a) in einem Zeitraum zwischen der Belichtung zweier aufeinanderfolgender Felder auf dem Wafer (64) aus einer Parkposition in eine zugehörige Zielposition oder aus einer Zielposition in eine zugehörige Parkposition oder aus einer Zielposition in eine andere Zielposition verlagert wird.

14. Verfahren zur Herstellung eines mikro- oder nanostrukturierten Bauelements umfassend die folgenden Schritte:

- Bereitstellen eines Substrats, auf das zumindest teilweise eine Schicht aus einem lichtempfindlichen Material aufgebracht ist,
- Bereitstellen eines Retikels (24), das abzubildende Strukturen aufweist,
- Bereitstellen einer Projektionsbelichtungsanlage (1) gemäß Anspruch 11,
- Projizieren wenigstens eines Teils des Retikels (24) auf einen Bereich der lichtempfindlichen Schicht des Substrats mit Hilfe der Projektionsbelichtungsanlage (1).

15. Bauelement hergestellt nach einem Verfahren gemäß Anspruch 14.

Es folgen 15 Seiten Zeichnungen

Anhängende Zeichnungen

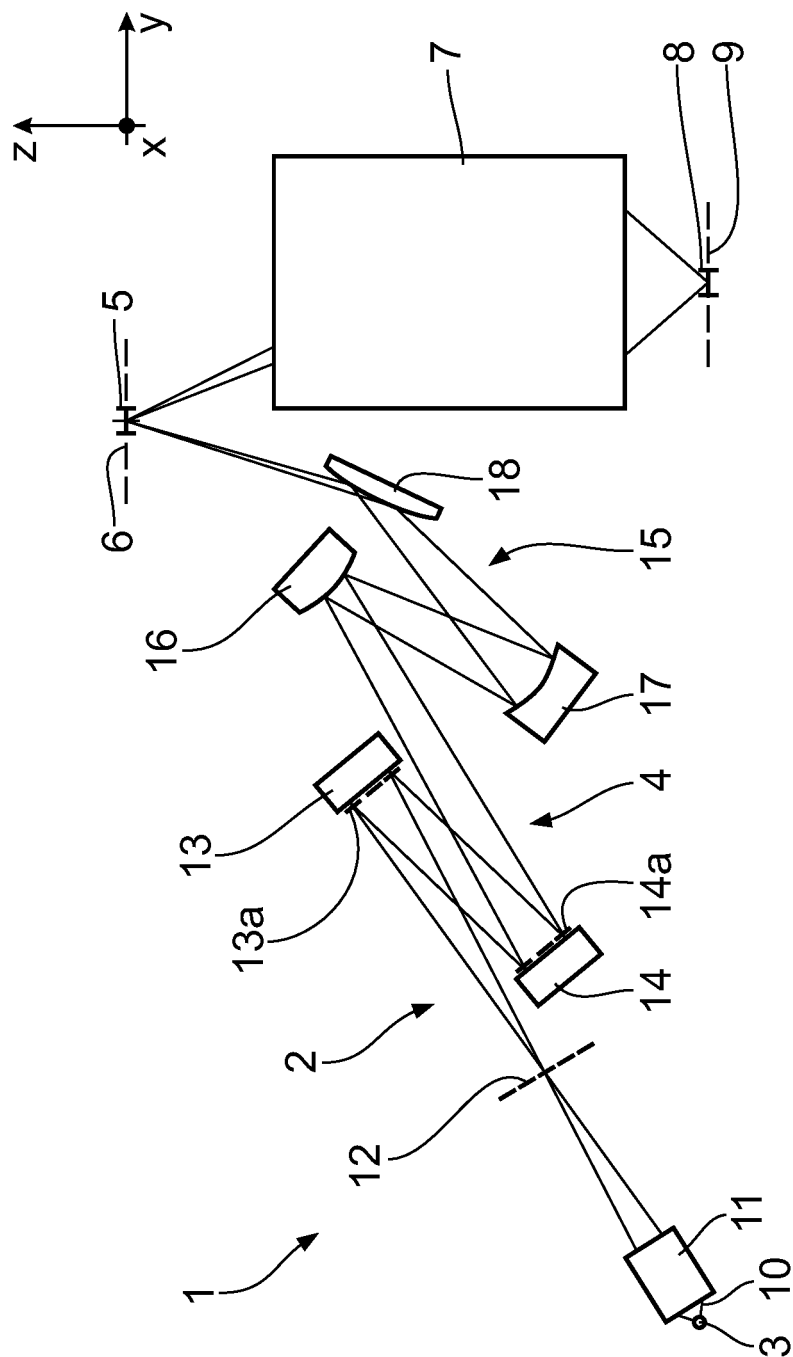


Fig. 1

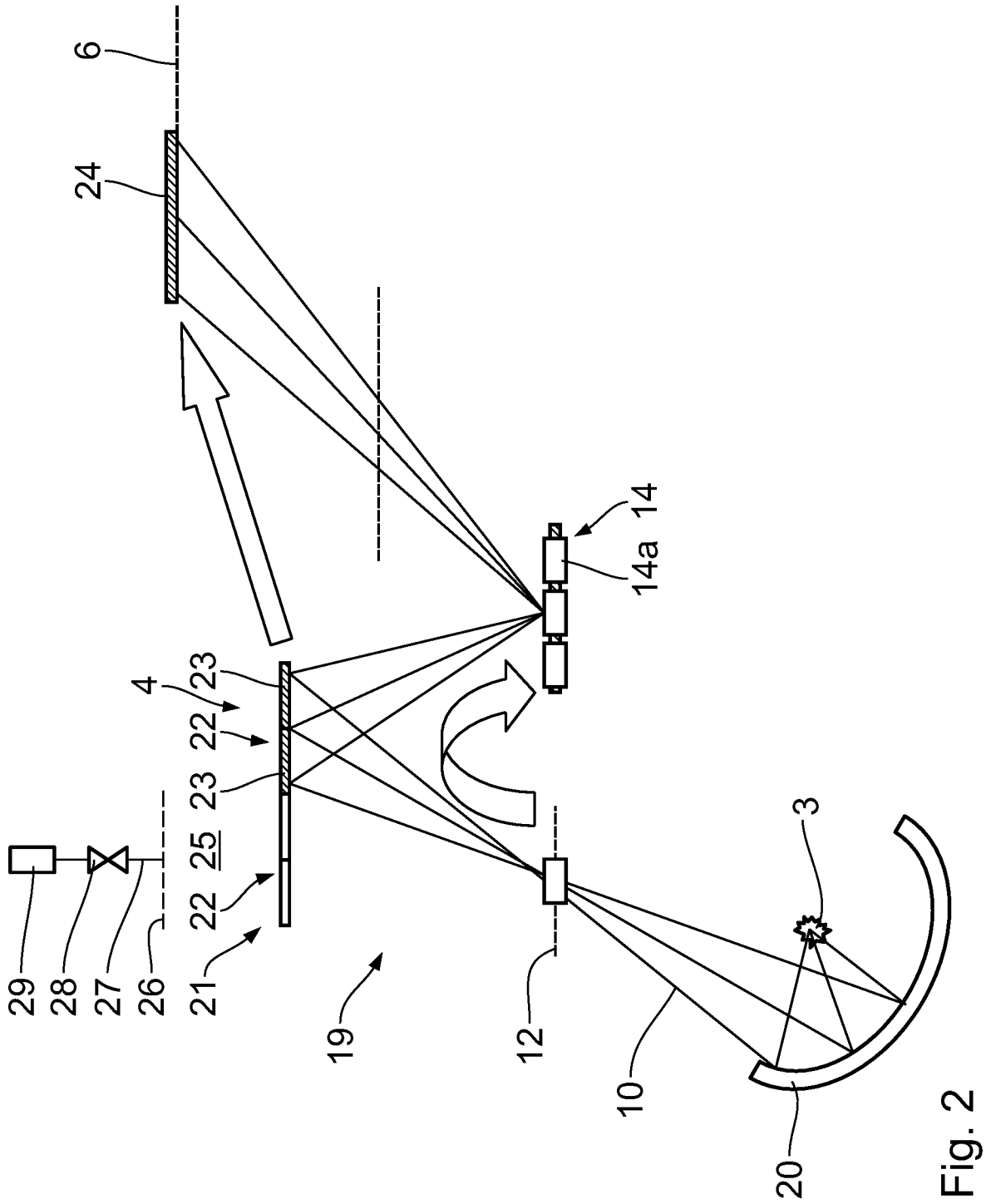


Fig. 2

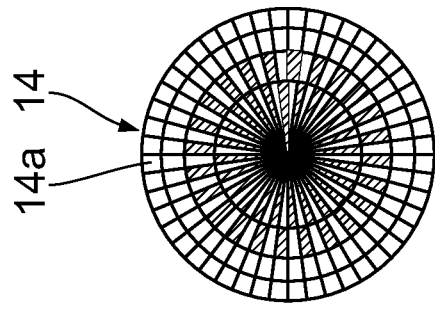
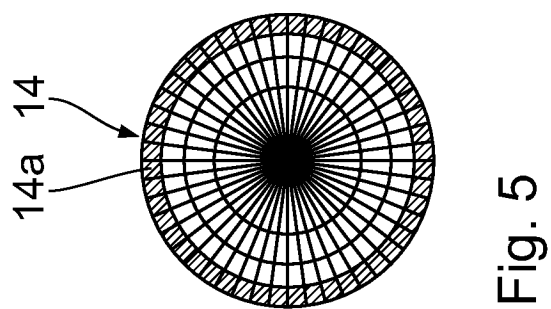
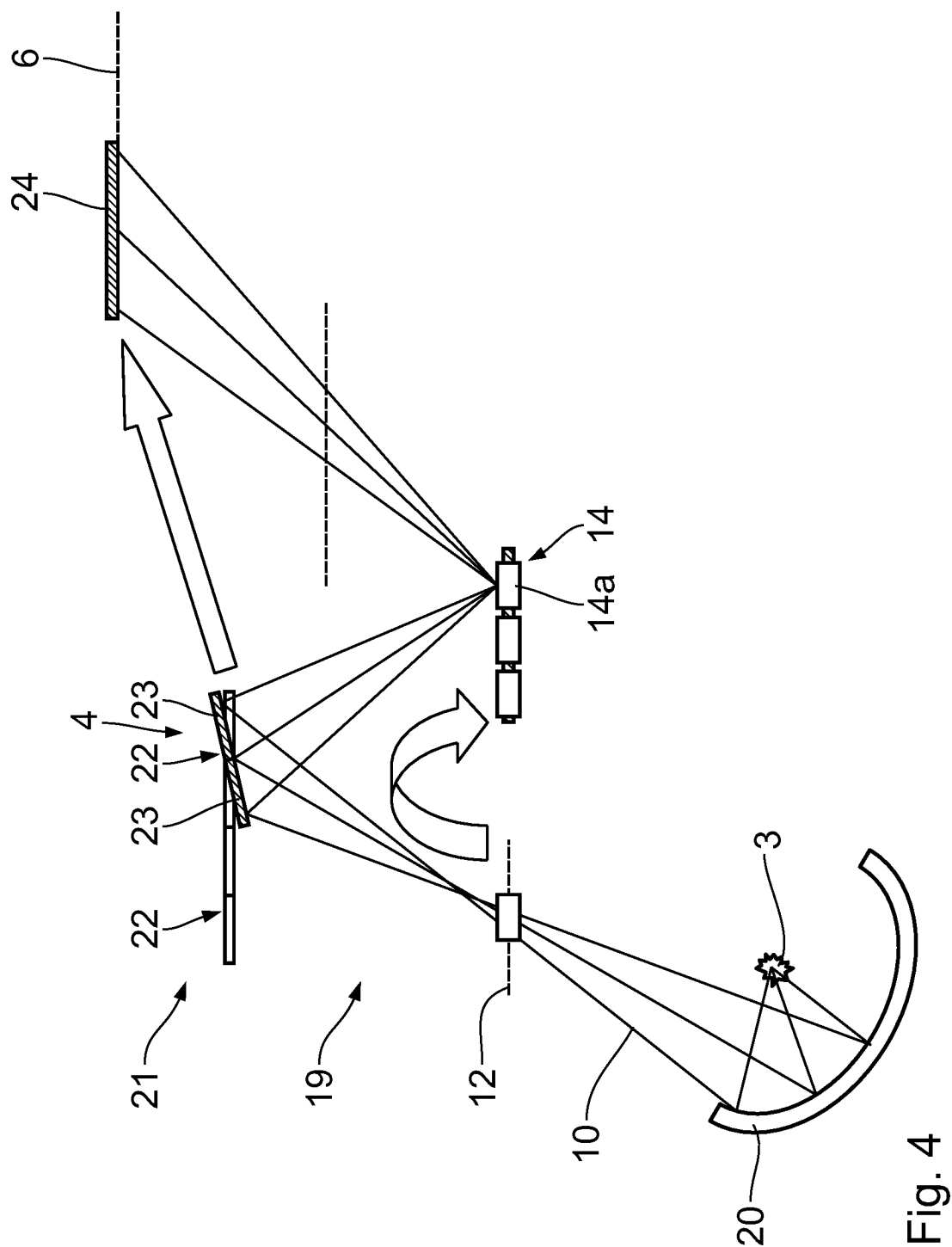


Fig. 3



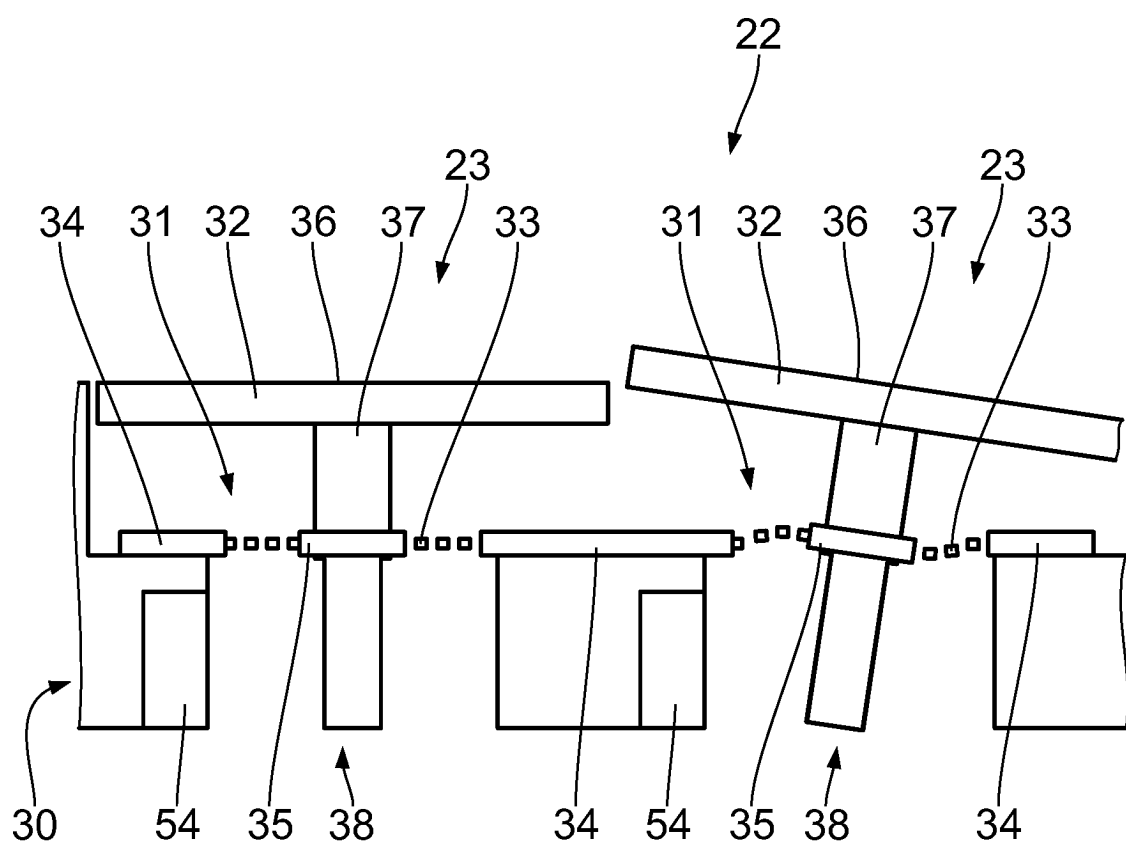


Fig. 6

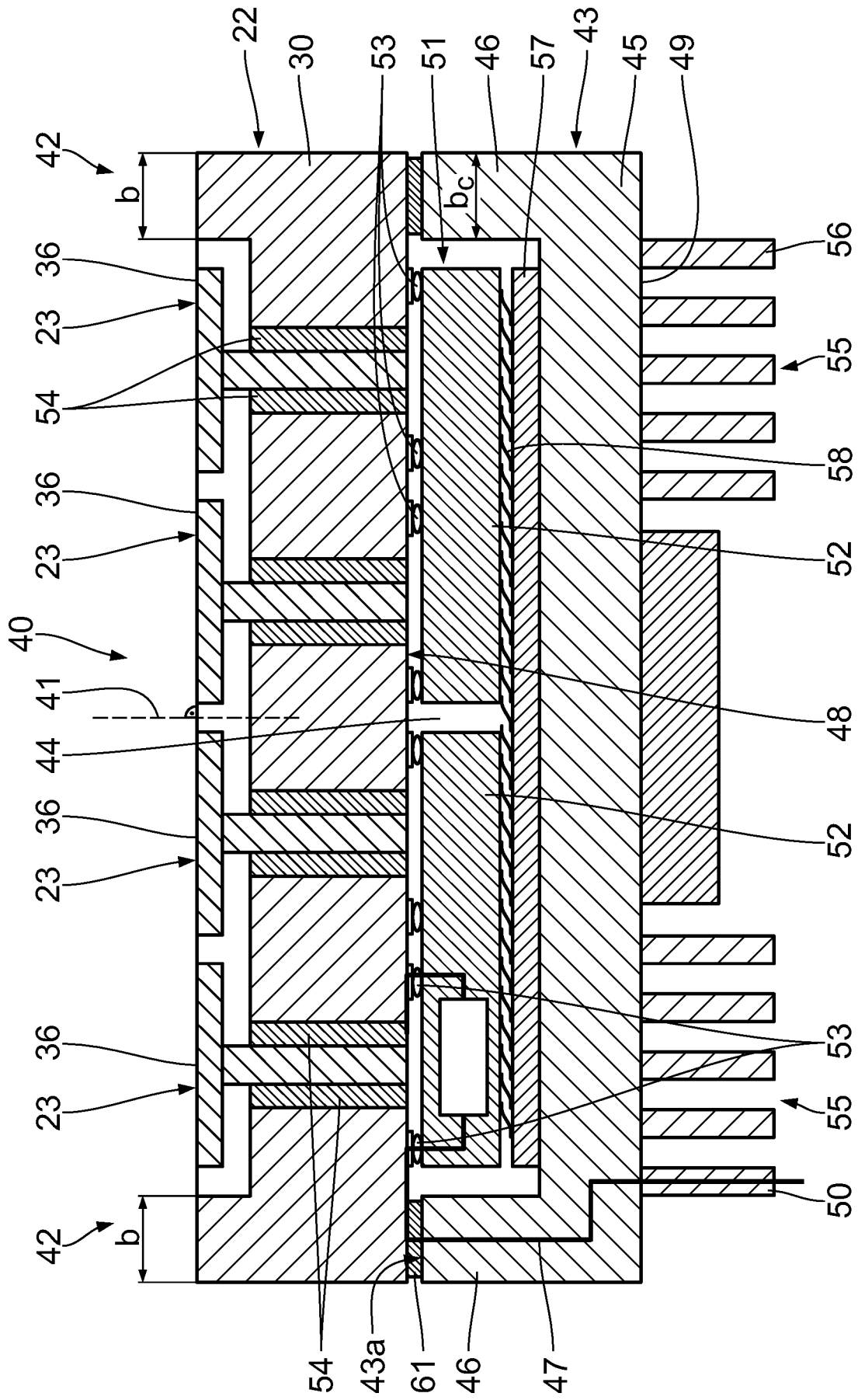


Fig. 7

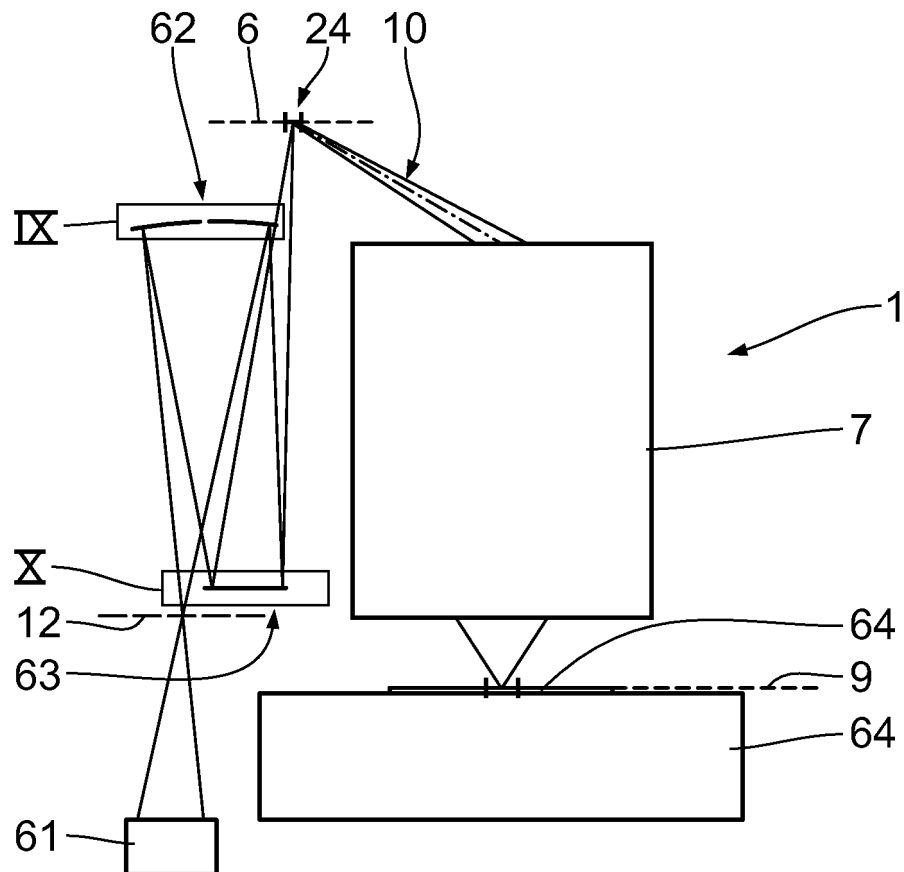


Fig. 8

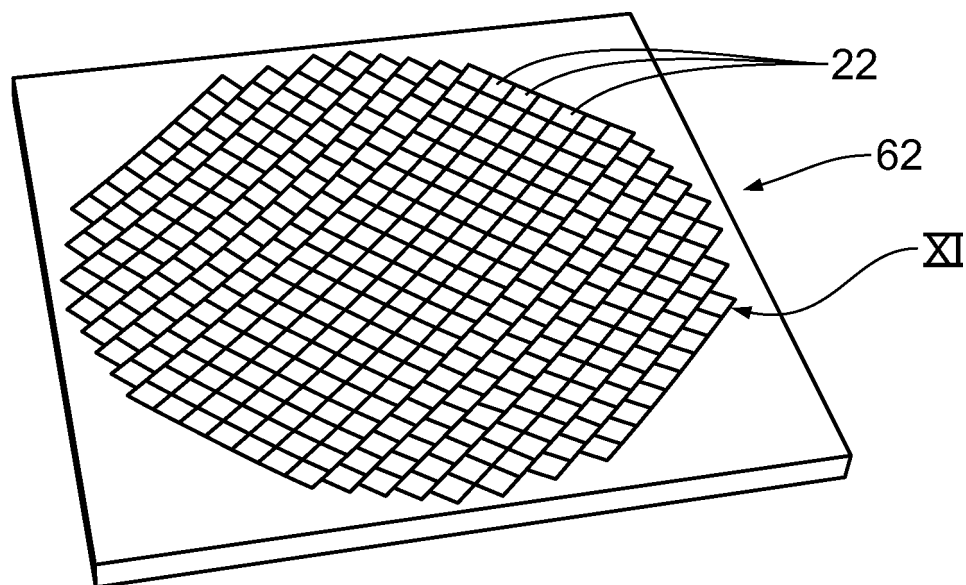


Fig. 9

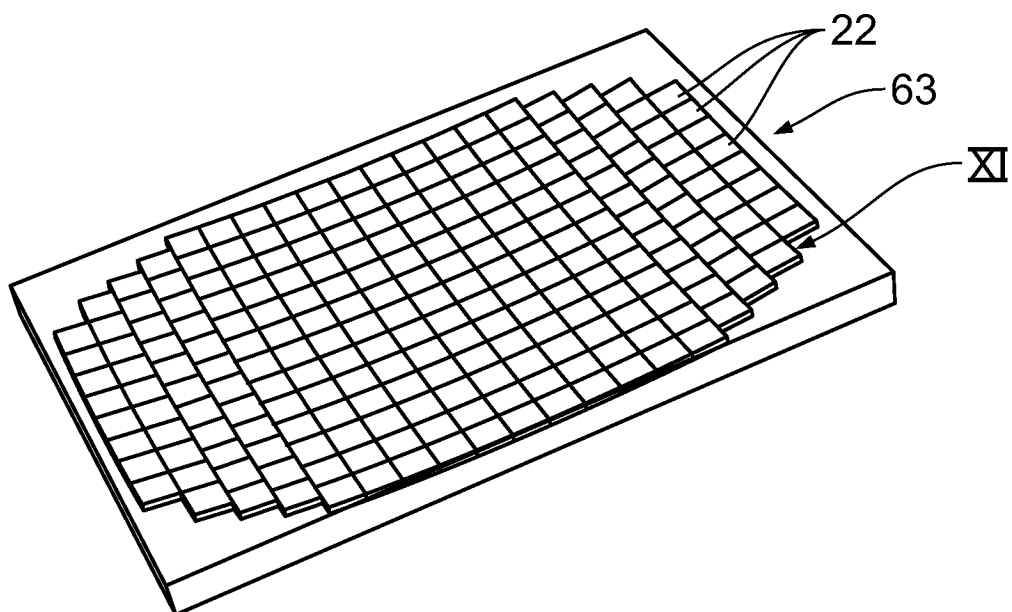


Fig. 10

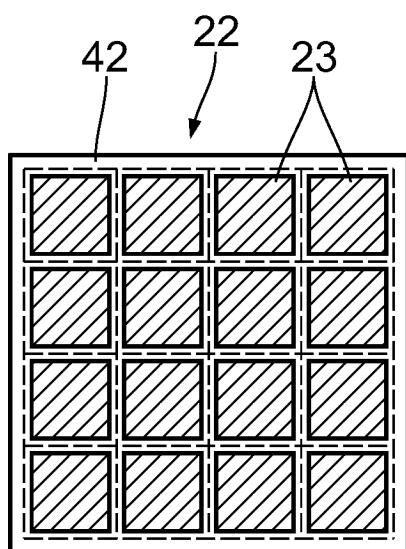


Fig. 11

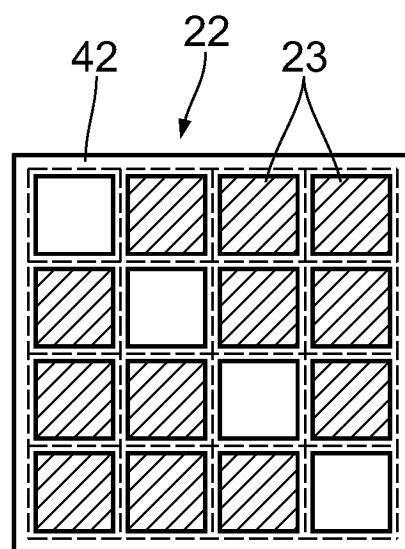


Fig. 12

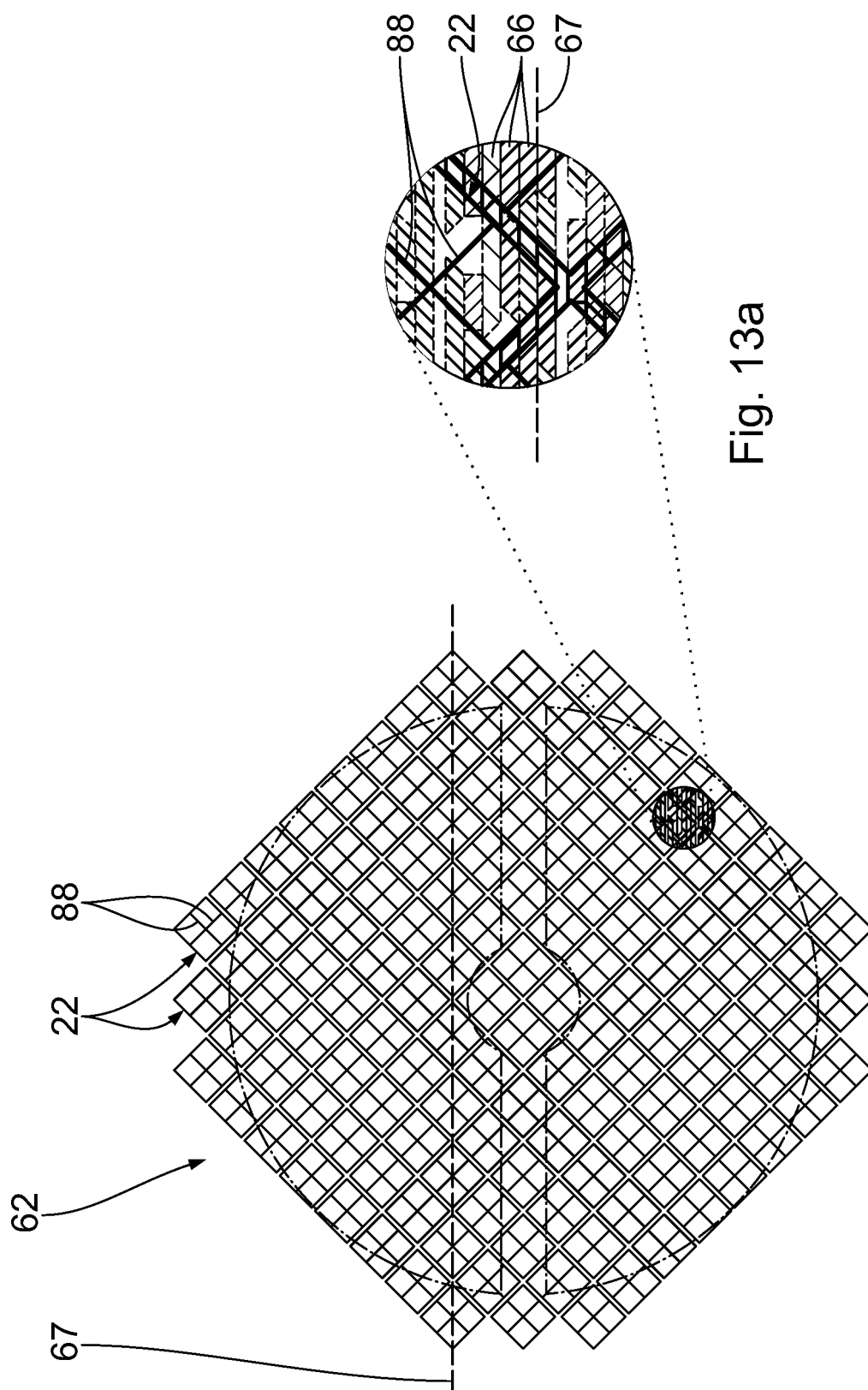


Fig. 13a

Fig. 13

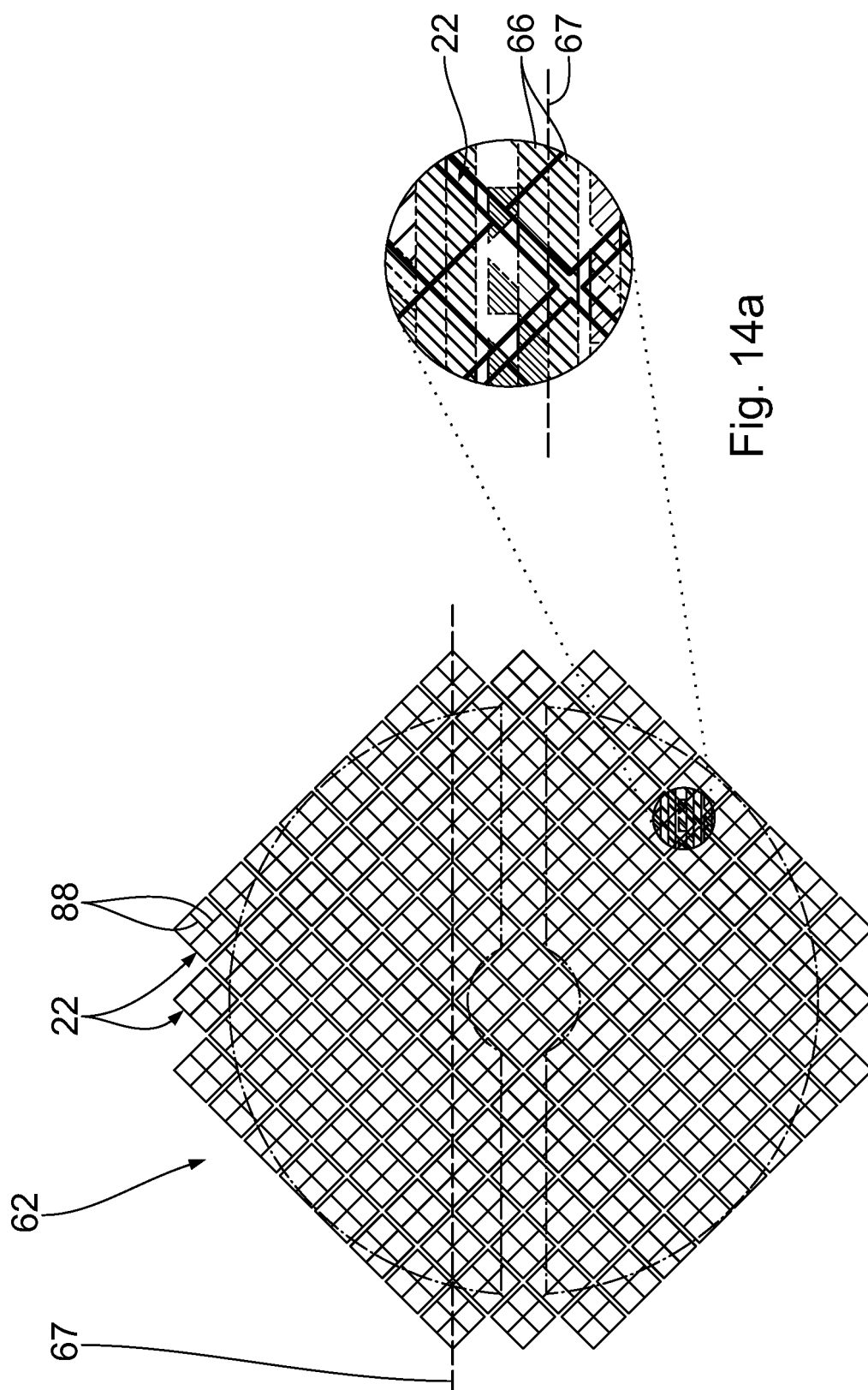


Fig. 14

Fig. 14a

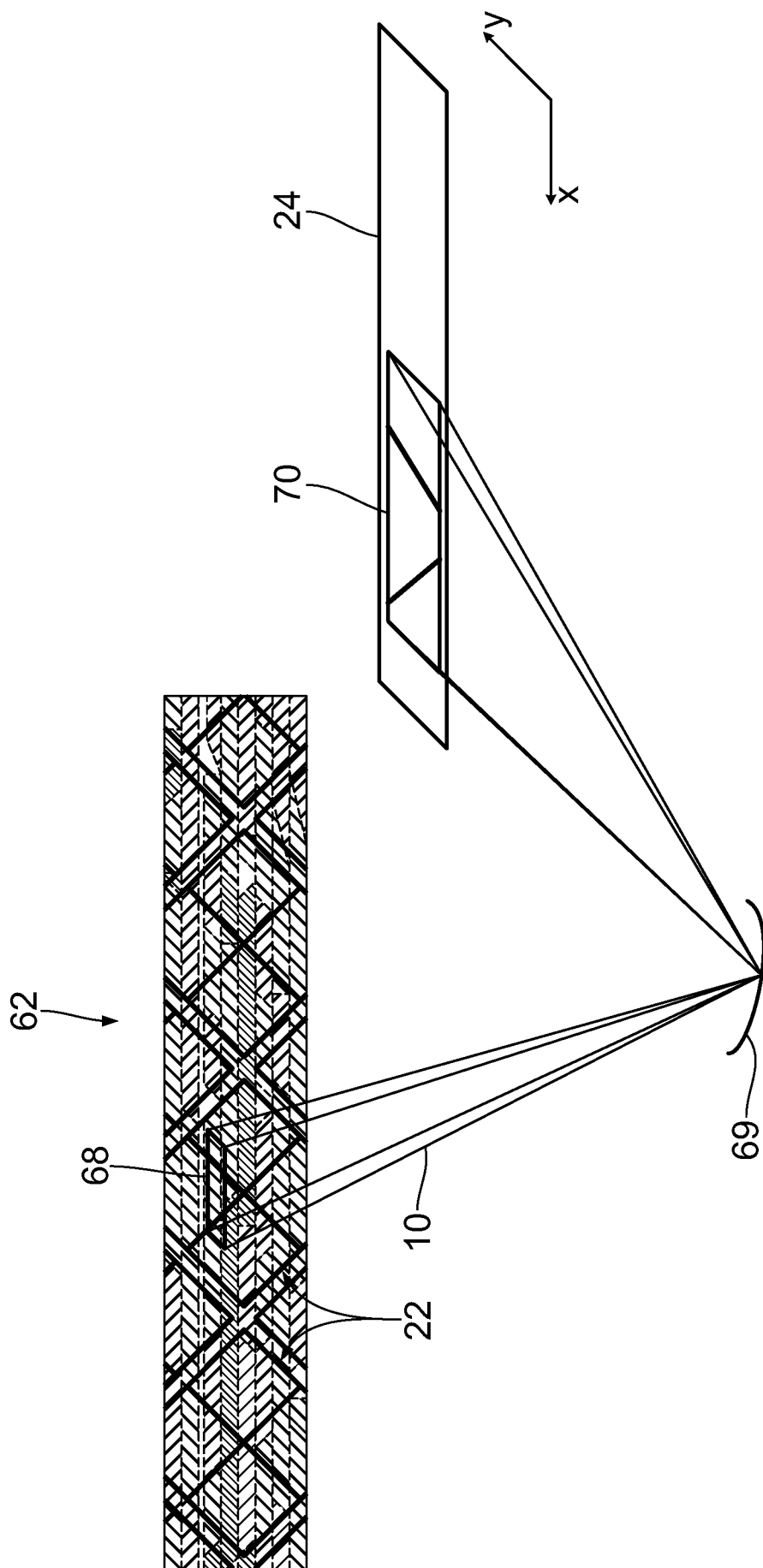


Fig. 15

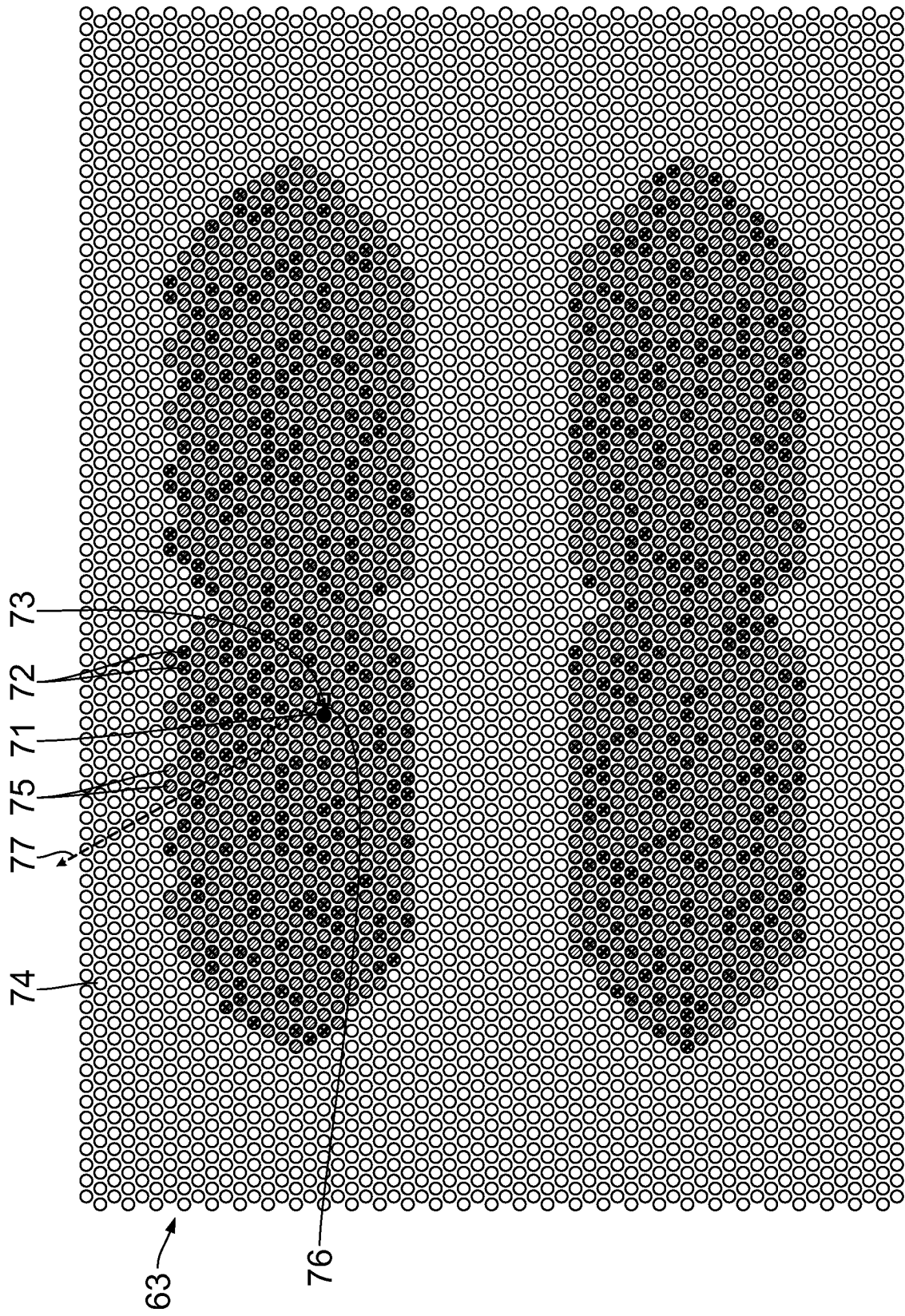


Fig. 16

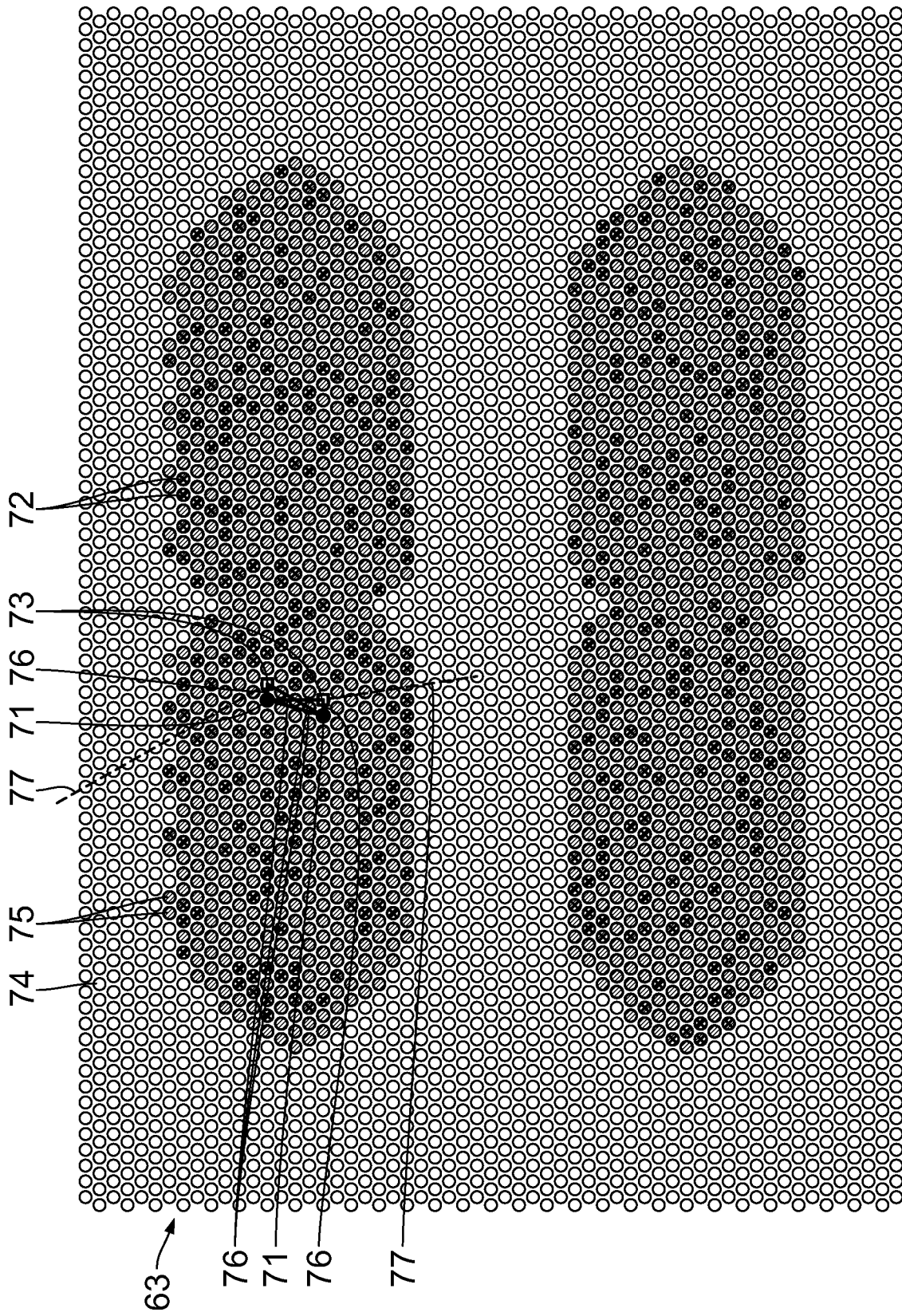


Fig. 17

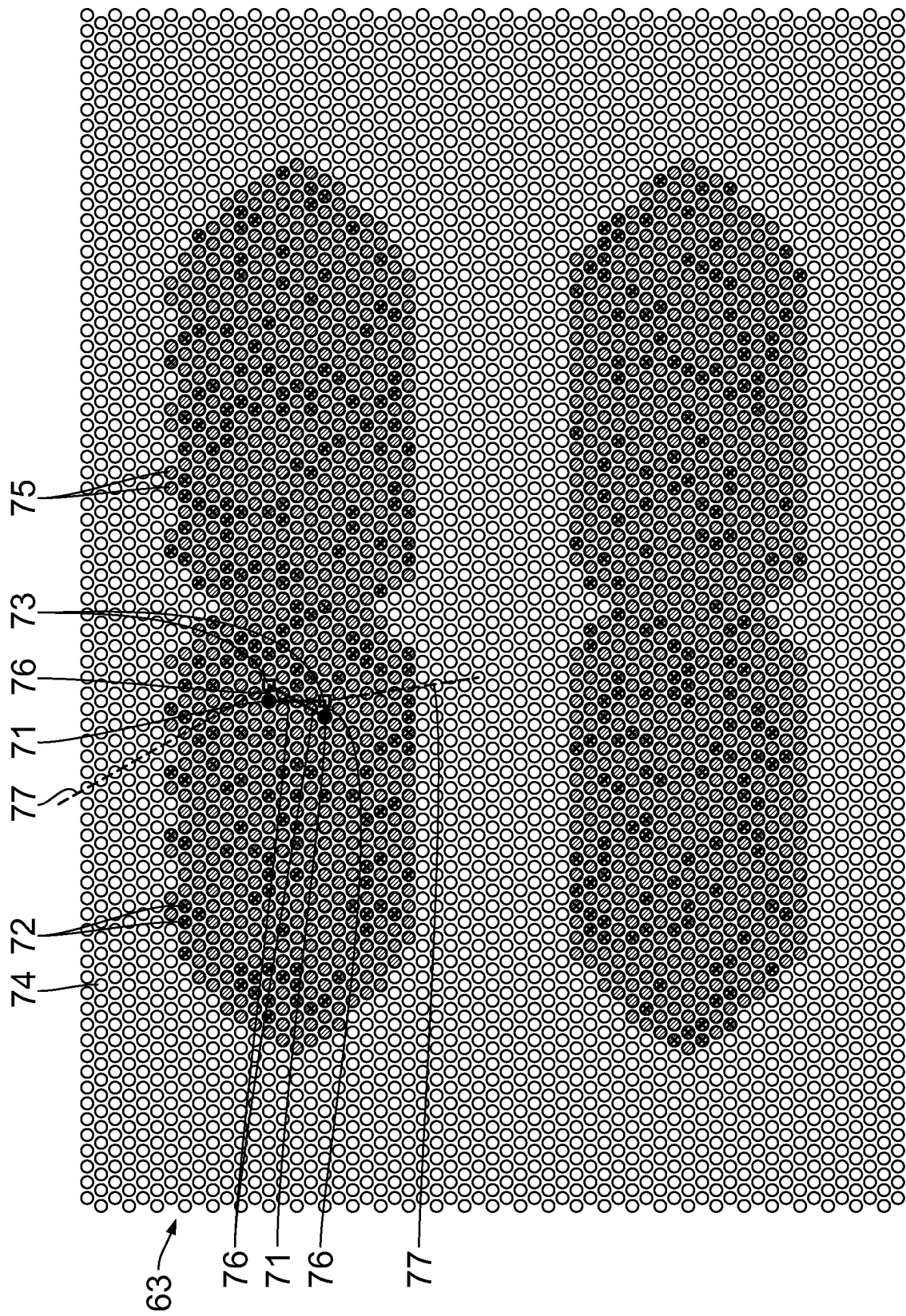


Fig. 18

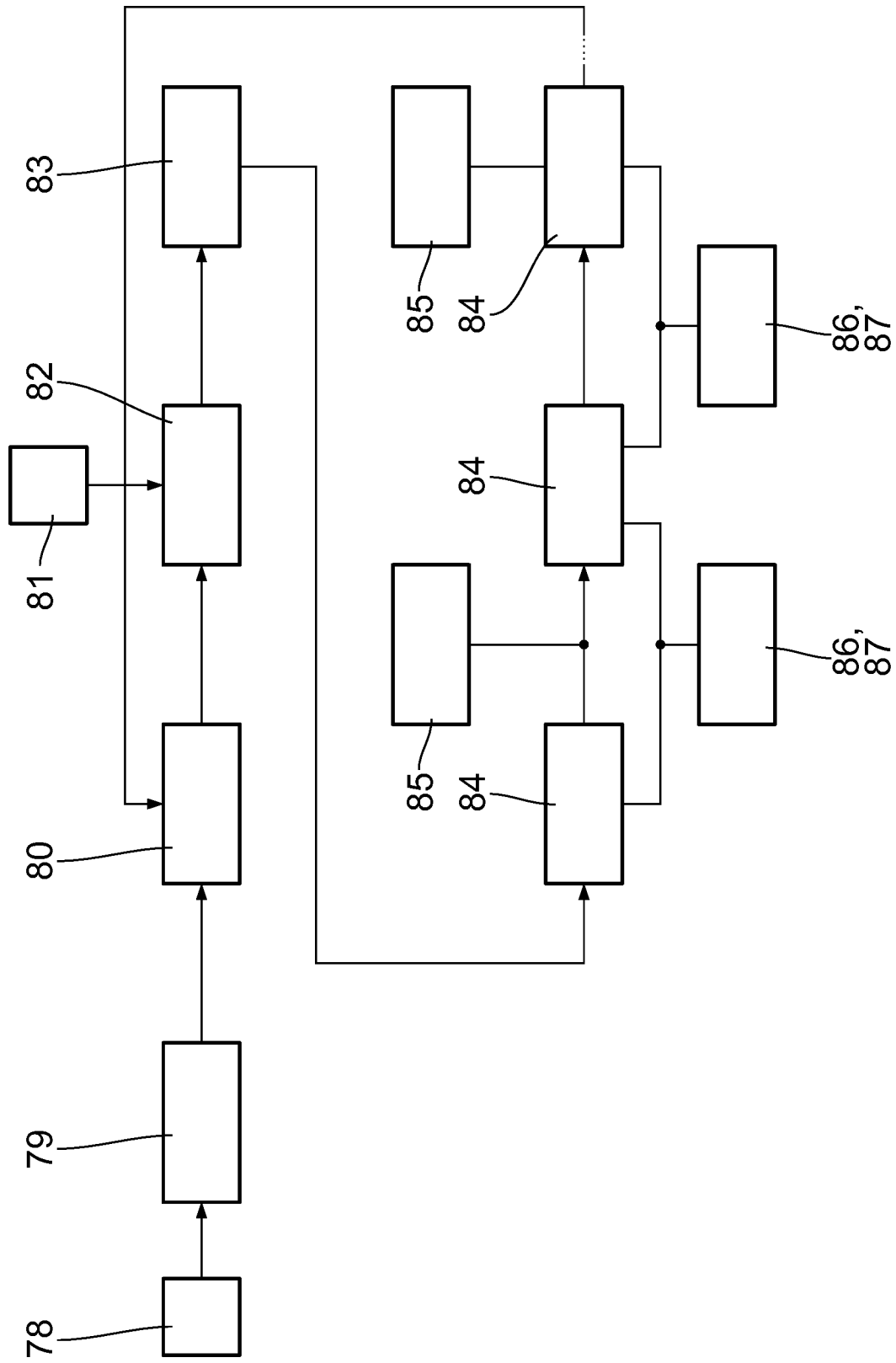


Fig. 19

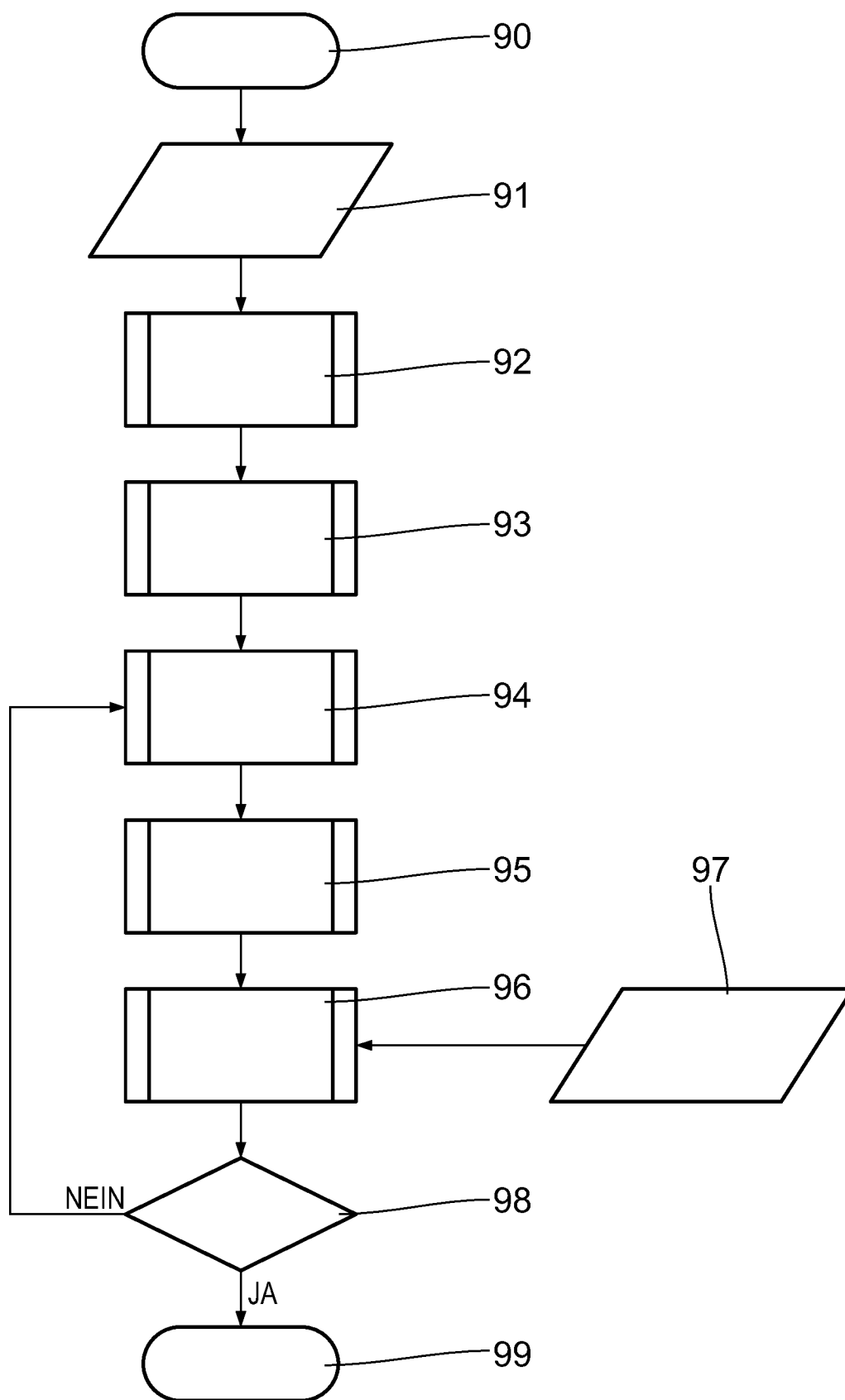


Fig. 20