

(12) NACH DEM VERTRAG ÜBER DIE INTERNATIONALE ZUSAMMENARBEIT AUF DEM GEBIET DES
PATENTWESENS (PCT) VERÖFFENTLICHTE INTERNATIONALE ANMELDUNG

(19) Weltorganisation für geistiges
Eigentum

Internationales Büro

(43) Internationales
Veröffentlichungsdatum

27. August 2015 (27.08.2015)



(10) Internationale Veröffentlichungsnummer

WO 2015/124555 A1

(51) Internationale Patentklassifikation:
G03F 7/20 (2006.01) *G02B 5/09* (2006.01)

(74) Anwalt: RAU, SCHNECK & HÜBNER
PATENTANWÄLTE RECHTSANWÄLTE
PARTGMBB; Königstrasse 2, 90402 Nürnberg (DE).

(21) Internationales Aktenzeichen: PCT/EP2015/053287

(81) Bestimmungsstaaten (soweit nicht anders angegeben, für jede verfügbare nationale Schutzrechtsart): AE, AG, AL,

(22) Internationales Anmeldedatum: 17. Februar 2015 (17.02.2015)

AM, AO, AT, AU, AZ, BA, BB, BG, BH, BN, BR, BW,
BY, BZ, CA, CH, CL, CN, CO, CR, CU, CZ, DE, DK,
DM, DO, DZ, EC, EE, EG, ES, FI, GB, GD, GE, GH, GM,
GT, HN, HR, HU, ID, IL, IN, IR, IS, JP, KE, KG, KN, KP,
KR, KZ, LA, LC, LK, LR, LS, LU, LY, MA, MD, ME,
MG, MK, MN, MW, MX, MY, MZ, NA, NG, NI, NO, NZ,
OM, PA, PE, PG, PH, PL, PT, QA, RO, RS, RU, RW, SA,
SC, SD, SE, SG, SK, SL, SM, ST, SV, SY, TH, TJ, TM,
TN, TR, TT, TZ, UA, UG, US, UZ, VC, VN, ZA, ZM,
ZW.

(25) Einreichungssprache: Deutsch

(84) Bestimmungsstaaten (soweit nicht anders angegeben, für jede verfügbare regionale Schutzrechtsart): ARIPO (BW,
GH, GM, KE, LR, LS, MW, MZ, NA, RW, SD, SL, ST,
SZ, TZ, UG, ZM, ZW), eurasisches (AM, AZ, BY, KG,
KZ, RU, TJ, TM), europäisches (AL, AT, BE, BG, CH,
CY, CZ, DE, DK, EE, ES, FI, FR, GB, GR, HR, HU, IE,
IS, IT, LT, LU, LV, MC, MK, MT, NL, NO, PL, PT, RO,

(26) Veröffentlichungssprache: Deutsch

(30) Angaben zur Priorität:
10 2014 203 189.3
21. Februar 2014 (21.02.2014) DE

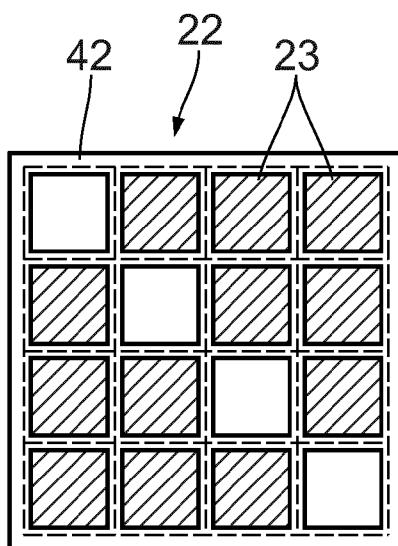
(71) Anmelder: CARL ZEISS SMT GMBH [DE/DE];
Rudolf-Eber-Strasse 2, 73447 Oberkochen (DE).

(72) Erfinder: BIELING, Stig; Im Unterfeld 18, 73434 Aalen (DE). HAUF, Markus; Hafenberg 4, 89075 Ulm (DE). WISCHMEIER, Lars; Hegelstrasse 88, 73431 Aalen (DE). ZIMMER, Fabian; Biberweg 7, 73434 Aalen (DE). ENDRES, Martin; Goethestrasse 3, 89551 Königsbronn (DE). EISENMENGER, Johannes; Virchowstrasse 14/6, 89075 Ulm (DE).

[Fortsetzung auf der nächsten Seite]

(54) Title: MIRROR ARRAY

(54) Bezeichnung : SPIEGEL-ARRAY



(57) Abstract: A mirror array (22) comprises a plurality of movable individual mirrors (23) which are subdivided into at least two groups, the individual mirrors (23) that are part of the first group being movable with great accuracy and the individual mirrors (23) that are part of the second group being movable very quickly.

(57) Zusammenfassung: Ein Spiegel-Array (22) umfasst eine Vielzahl von verlagerbaren Einzelspiegeln (23), welche in mindestens zwei Gruppen aufgeteilt sind, wobei die Einzelspiegel (23) der ersten Gruppe sehr präzise und die Einzelspiegel (23) der zweiten Gruppe sehr schnell verlagerbar sind.

Fig. 12



RS, SE, SI, SK, SM, TR), OAPI (BF, BJ, CF, CG, CI, **Veröffentlicht:**
CM, GA, GN, GQ, GW, KM, ML, MR, NE, SN, TD, — *mit internationalem Recherchenbericht (Artikel 21 Absatz
3)*
TG).

Erklärungen gemäß Regel 4.17:

- *Erfindererklärung (Regel 4.17 Ziffer iv)*

Spiegel-Array

Der Inhalt der deutschen Patentanmeldung DE 10 2014 203 189.3 wird durch Bezugnahme hierin aufgenommen.

5

Die Erfindung betrifft ein Spiegel-Array für eine Beleuchtungsoptik einer Projektionsbelichtungsanlage. Die Erfindung betrifft weiterhin ein optisches Bauelement mit einer Vielzahl derartiger Spiegel-Arrays und einen Facettenspiegel mit einem derartigen optischen Bauelement. Weiterhin betrifft die Erfindung ein Verfahren zur Auslegung eines Facettenspiegels. Außerdem betrifft die Erfindung eine Beleuchtungsoptik und ein Beleuchtungssystem für eine Projektionsbelichtungsanlage sowie ein Verfahren zur Beleuchtung eines Objektfeldes mit Hilfe eines derartigen Beleuchtungssystems und eine Projektionsbelichtungsanlage für die Mikrolithographie. Schließlich betrifft die Erfindung ein Verfahren zur Herstellung eines mikro- oder nanostrukturierten Bauelements und ein verfahrensgemäß hergestelltes Bauelement.

10

Ein Spiegel-Array für eine Beleuchtungsoptik einer Projektionsbelichtungsanlage ist beispielsweise aus der WO 2012/130768 A2 bekannt.

Es ist eine Aufgabe der vorliegenden Erfindung, ein derartiges Spiegel-Array zu verbessern.

15

Diese Aufgabe wird dadurch gelöst, dass die Einzelspiegel des Spiegel-Arrays in mindestens zwei Gruppen eingeteilt sind, wobei die Einzelspiegel der ersten Gruppe sehr präzise positionierbar sind und die Einzelspiegel der zweiten Gruppe mit einer sehr kurzen Schaltzeit verlagerbar sind.

20

Erfindungsgemäß wurde erkannt, dass die Einzelspiegel des Spiegel-Arrays unterschiedliche Aufgaben übernehmen können, und dass diese Aufgaben mit unterschiedlichen Anforderungen, insbesondere an die Verlagerbarkeit der Einzelspiegel, verbunden sind. Diese Anforderungen können zumindest teilweise zueinander inkompatibel sein. Beispielsweise führt eine höhere relative Genauigkeit der Positionierung in der Regel zu einer längeren Schaltzeit. Umgekehrt führt eine Reduzierung der Schaltzeit in der Regel zu einer Reduzierung der Genauigkeit der Positionierung. Erfindungsgemäß wurde erkannt, dass es sinnvoll und vorteilhaft sein kann, die Einzel-

30

- 2 -

spiegel des Spiegel-Arrays in unterschiedliche Gruppen einzuteilen, wobei die Einzelspiegel der unterschiedlichen Gruppen unterschiedlichen Anforderungen genügen sowie insbesondere unterschiedliche Funktionen übernehmen.

- 5 Es kann insbesondere vorteilhaft sein, eine Teilmenge der Einzelspiegel des Spiegel-Arrays derart auszubilden und/oder anzusteuern, dass sie sehr präzise positionierbar sind. Sie können 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 sein. Hierbei bezeichnet die relative Genauigkeit das Verhältnis einer maximal erlaubten Abweichung von einer definierten Endposition bei einer Verlagerung zum Gesamtumfang der Verlagerung.
- 10

Vorzugsweise sind die Einzelspiegel der ersten Gruppe auch mit einer hohen absoluten Genauigkeit verlagerbar. Sie sind insbesondere derart verlagerbar, dass sie eine vorgegebene Position 15 mit einer Genauigkeit von besser als 1 mrad, insbesondere besser als 500 µrad, insbesondere besser als 200 µrad, insbesondere besser als 100 µrad, insbesondere besser als 50 µrad einnehmen können. Sie weisen insbesondere eine Stabilität auf, welche diese Positionierung mit der entsprechenden absoluten Genauigkeit über einen Zeitraum von mindestens 5 min, insbesondere mindestens 10 min, insbesondere mindestens 15 min, insbesondere mindestens 30 min garantiert.

- 20
- Die Einzelspiegel der zweiten Gruppe sind insbesondere mit einer Schaltzeit von weniger als 100 ms von einer Ausgangsposition in eine definierte Endposition verlagerbar. Die Schaltzeit ist insbesondere kleiner als 50 ms, insbesondere kleiner als 20 ms, insbesondere kleiner als 10 ms, insbesondere kleiner als 5 ms, insbesondere kleiner als 2 ms, insbesondere kleiner als 1 ms, insbesondere kleiner als 500 µs, insbesondere kleiner als 200 µs.
- 25

Die Einzelspiegel der zweiten Gruppe werden auch als schnelle Spiegel bezeichnet.

- 30
- Die Einzelspiegel des Spiegel-Arrays können auch in mehr als zwei unterschiedliche Gruppen eingeteilt werden. Hierbei können für jede Gruppe maximale Schaltzeiten der Einzelspiegel gemäß der vorhergehenden Beschreibung und/oder Mindestgenauigkeiten der Verlagerung gemäß der vorhergehenden Beschreibung vorgegeben sein.

Die Gruppierung kann durch die konstruktiven Details, insbesondere die mechanischen Details der Einzelspiegel und/oder die elektronischen Details ihrer Verlagerung vorgegeben sein. Die Gruppierung kann auch flexibel durch eine entsprechende Ansteuerung mittels einer Steuereinrichtung bestimmt werden.

Bei den Spiegeln handelt es sich insbesondere um Mikrospiegel, d. h. um Spiegel mit einer Reflexionsfläche, deren Seitenlänge weniger als 5mm, insbesondere weniger als 1,5 mm, insbesondere weniger als 0,8 mm, insbesondere weniger als 0,5 mm beträgt. Es handelt sich insbesondere um EUV-Spiegel.

Gemäß einem Aspekt dieser Erfindung sind die beiden Gruppen disjunkt. Dies bedeutet, dass jeder der Einzelspiegel genau einer der beiden Gruppen, jedoch nicht beiden Gruppen, angehört. Hierdurch kann die Herstellung des Spiegel-Arrays vereinfacht werden.

Gemäß einer anderen Alternative kann auch vorgesehen sein, dass die unterschiedlichen Gruppen eine nicht leere Schnittmenge an Einzelspiegeln aufweisen. In diesem Fall gibt es mindestens einen, insbesondere mindestens zehn, insbesondere mindestens 100 Einzelspiegel in jedem Spiegel-Array, welche sowohl der ersten Gruppe als auch der zweiten Gruppe angehören.

Gemäß einem weiteren Aspekt der Erfindung werden die Einzelspiegel der zweiten Gruppe mittels einer reinen vorwärts gekoppelten Steuerung (Feed-Forward-Steuerung) verlagert. Die Verlagerung der Einzelspiegel der zweiten Gruppe kann insbesondere rückkopplungsfrei sein. Hierdurch lässt sich die Schaltzeit für die Verlagerung der Einzelspiegel von einer Ausgangsposition in eine definierte Endposition stark verkürzen. Hat man eine Regelschleife zur Regelung der Verlagerung der Einzelspiegel zur Verfügung, kann diese während des Belichtungsvorganges eines Dies benutzt werden, um die schnellen Spiegel wieder genauer zu stellen.

Die Verlagerung der Einzelspiegel der ersten Gruppe kann mittels einer Regelung erfolgen. Sie kann insbesondere eine Rückkopplung, insbesondere eine Regelschleife, aufweisen. Hierdurch kann die Genauigkeit der Verlagerung, insbesondere die Genauigkeit der Positionierung, sowie deren Stabilität verbessert werden.

Die Einteilung der Einzelspiegel in unterschiedliche Gruppen kann durch konstruktive Unterschiede fest vorgegeben sein. Dies vereinfacht die Herstellung des Spiegel-Arrays. Gemäß einer Alternative ist vorgesehen, die Einteilung der Einzelspiegel in Gruppen über deren Ansteuerung zu wählen. Dies erhöht die Flexibilität der Gruppierung. Die Gruppierung ist insbesondere veränderbar. Es handelt sich um eine virtuelle Gruppierung.

Gemäß einem Aspekt der Erfindung kann vorgesehen sein, sämtliche der Einzelspiegel identisch auszubilden. Es ist insbesondere möglich, sämtliche der Einzelspiegel des Spiegel-Arrays mit identischen Aktuator-Einrichtungen, insbesondere mit identischen Steuer- oder Regel-Einrichtungen auszubilden. Hierbei ist es möglich, je nach Bedarf zu entscheiden, ob die Verlagerung der Einzelspiegel rückgekoppelt, d. h. mit einer Regelschleife, oder rein vorwärts gekoppelt, d. h. rückkopplungsfrei, erfolgen soll.

Gemäß einem weiteren Aspekt der Erfindung sind die Einzelspiegel der zweiten Gruppe entlang einer oder zweier gerader Linien angeordnet. Sie sind insbesondere in einer Zeile und/oder einer Spalte des Spiegel-Arrays angeordnet. Sie können auch entlang einer oder beider der Diagonalen des Spiegel-Arrays angeordnet sein. Es ist auch möglich, die Einzelspiegel aus zwei oder mehr Zeilen und/oder Spalten der zweiten Gruppe zuzuordnen. Es ist insbesondere möglich, für die Anordnung der Einzelspiegel der zweiten Gruppe eine Liniendichte zu bestimmen und/oder vorzugeben.

Prinzipiell lassen sich beliebige diskrete Anordnungen von schnellen Spiegeln auf dem Brick definieren, solange die Anforderungen an die lokale Dosisvariation der Belichtung gegeben sind.

Durch eine derartige Anordnung lässt sich die Ansteuerung der Einzelspiegel vereinfachen. Außerdem wird hierdurch insbesondere die Funktionalität der Einzelspiegel zur Beeinflussung vorgegebener Beleuchtungsparameter bei der Beleuchtung eines Objektfeldes vereinfacht und verbessert.

Gemäß einem weiteren Aspekt der Erfindung beträgt der Anteil der Einzelspiegel der zweiten Gruppe an der Gesamtzahl der Einzelspiegel höchstens 10%; er liegt insbesondere zwischen

- 5 -

0,1% und 10%, insbesondere zwischen 1% und 10%. Der Anteil der Einzelspiegel der zweiten Gruppe an der Gesamtzahl der Einzelspiegel liegt insbesondere im Bereich von 3% bis 5%.

Es wurde gefunden, dass dies für die gegebenen Aufgaben, insbesondere zur Korrektur der Intensitätsverteilung der Beleuchtung des Objektfeldes, ausreichend ist. Eine Modifikation der Dosis in Scanrichtung kann auch durch eine Regelung der Lichtquelle erzeugt werden.

Mittels der schnellen Spiegel kann insbesondere eine vorab berechnete Modifikation der scanintegrierten Dosis für einzelnen Felder (Dies) auf dem Wafer erzeugt werden. Es ist insbesondere möglich, die schnellen Spiegel zwischen der Belichtung unterschiedlicher Dies auf dem Wafer zu verstehen. Hierdurch kann eine im Voraus bestimmte Variation der Eigenschaften des zu belichtenden Wafers, insbesondere eine Variation der Eigenschaften der einzelnen Dies berücksichtigt werden. Durch das schnelle Verstellen von Einzelspiegeln während der Belichtung des Wafers, insbesondere zwischen der Belichtung zweier Dies (Inter-Die-Verstellung) und/oder während der Belichtung eines einzelnen Dies (Intra-Die-Verstellung), lässt sich die Strukturierung des Wafers verbessern.

Eine weitere Aufgabe der Erfindung besteht darin, ein optisches Bauelement zu verbessern.

Diese Aufgabe wird durch ein optisches Bauelement mit einer Vielzahl von Spiegel-Arrays gemäß der vorhergehenden Erfindung gelöst. Die Vorteile ergeben sich aus denen des Spiegel-Arrays.

Gemäß einem Aspekt der Erfindung sind die Gruppierungen der Einzelspiegel auf jedem der Spiegel-Arrays des optischen Bauelements identisch. Hierunter sei insbesondere verstanden, dass die Anordnung der schnellen Spiegel in den unterschiedlichen Spiegel-Arrays identisch ist. Dies erleichtert die Ansteuerung der Einzelspiegel. Außerdem wird hierdurch die Austauschbarkeit der Spiegel-Arrays des optischen Bauelements erleichtert. Die Spiegel-Arrays des optischen Bauelements sind insbesondere modular, insbesondere als Bausteine (Bricks) ausgebildet. Sie können prinzipiell beliebig wechselweise ausgetauscht werden. Es ist insbesondere möglich, defekte Spiegel-Arrays auszutauschen.

- 6 -

Eine weitere Aufgabe der Erfindung besteht darin, einen Facettenspiegel für eine Beleuchtungs-optik einer Projektionsbelichtungsanlage zu verbessern. Diese Aufgabe wird durch einen Facettenspiegel mit mindestens einem optischen Bauelement gemäß der vorhergehenden Beschreibung gelöst. Die Vorteile ergeben sich aus denen des Spiegel-Arrays.

5

Das vorhergehend beschriebene optische Bauelement kann insbesondere den Facettenspiegel, insbesondere den Feldfacettenspiegel bilden. Prinzipiell kann der Feldfacettenspiegel auch mehrere derartige optische Bauelemente umfassen.

- 10 10 Eine weitere Aufgabe der Erfindung besteht darin, ein Verfahren zur Auslegung eines Facetten-spiegels anzugeben.

Gemäß diesem Verfahren ist vorgesehen, die Einzelspiegel der zweiten Gruppe unter Beachtung vorgegebener Randbedingungen gezielt auf dem Spiegel-Array anzuordnen.

15

Die der zweiten Gruppe zuzuordnenden Einzelspiegel werden insbesondere derart ausgewählt, dass einerseits eine vorgegebene Auswahl an Teilenbereichen des Objektfeldes, insbesondere jeder Bereich des Objektfeldes, um einen Mindestbetrag in der scanintegrierten Intensität moduliert werden kann, andererseits jedoch die technologische Realisierung des Spiegel-Arrays profitieren kann.

20

Die Teilmenge der Einzelspiegel des Spiegel-Arrays, welche der zweiten Gruppe zugeordnet wird, kann in Abhängigkeit von einem oder mehreren vorgegebenen Korrekturprofilen bestimmt werden. Hierbei geben die Korrekturprofile insbesondere Variationen über die Oberfläche des zu belichtenden Wafers, insbesondere Abweichungen zwischen den einzelnen Feldern (Dies) auf den Wafer wieder. Dies wird nachfolgend noch näher erläutert.

25

Bei der Auslegung des Spiegel-Arrays könne insbesondere mehrere vorgegebene Beleuchtungs-settings zur Beleuchtung des Objektfeldes berücksichtig werden. Es wird insbesondere mindes-tens ein vorgegebenes Beleuchtungssetting berücksichtigt. In Abhängigkeit von dem oder den vorgegebenen Beleuchtungssettings werden die Positionierungen der Einzelspiegel des Spiegel-Arrays bestimmt. Außerdem wird für jedes der vorgegebenen Beleuchtungssettings eine Teil-

30

menge der Einzelspiegel des Spiegel-Arrays bestimmt, welche zur Korrektur des Beleuchtungsobjektfeldes der zweiten Kuppe zugeordnet werden soll. Anschließend erfolgt eine Zuordnung einer Teilmenge der Einzelspiegel des Spiegel-Arrays zu der zweiten Gruppe.

- 5 Die Zuordnung kann insbesondere derart erfolgen, dass die Anordnung der schnellen Einzelspiegel auch dem Spiegel-Array robust gegenüber den Anordnungen der im Allgemeinen Setting-abhängigen ersten Facetten auch dem ersten Facettenspiegel, insbesondere dem Feldfacettenspiegel, ist.
- 10 Die Anordnung der schnellen Spiegel kann vor Betrieb der Projektionsbelichtungsanlage, insbesondere vor der Belichtung eines Wafers, bestimmt werden.

Es kann vorgesehen sein, die Zuordnung der Teilmenge der Einzelspiegel des Spiegel Arrays zu der zweiten Gruppe mit einem oder mehreren Beleuchtungssettings zu testen. Hierbei können 15 Korrekturen an der Zuordnung der Einzelspiegel zur zweiten Gruppe vorgenommen werden. Die Abfolge umfassend die beiden Schritte, nämlich Zuordnung testen - gegebenenfalls Korrektur vornehmen, kann iterativ durchlaufen werden.

Es ist möglich, die Liniendichte der schnellen Spiegel des Spiegel-Arrays und/oder die Orientierung der Linien, in welchen die schnellen Spiegel auf dem Spiegel-Array angeordnet sind, oder 20 allgemein die Anordnung der schnellen Spiegel auf dem Spiegel-Array vorab zu bestimmen.

Die Anordnung der Einzelspiegel des Spiegel-Arrays, welche der zweiten Gruppe zugeordnet 25 werden, kann insbesondere global, d. h. an die Gesamtheit sämtlicher vorgesehener Beleuchtungssettings angepasst, insbesondere in Abhängigkeit hiervon optimiert werden.

Weitere Aufgaben der Erfindung bestehen darin, eine Beleuchtungsoptik und ein Beleuchtungssystem für eine Projektionsbelichtungsanlage zu verbessern. Diese Aufgaben werden durch eine Beleuchtungsoptik und ein Beleuchtungssystem mit mindestens einem optischen Bauelement 30 gemäß der vorhergehenden Beschreibung gelöst. Die Vorteile ergeben sich wiederum aus denen des Spiegel-Arrays.

- 8 -

Bei der Strahlungsquelle handelt es sich insbesondere um eine EUV-Strahlungsquelle, d. h. um eine Strahlungsquelle zur Erzeugung von EUV-Strahlung.

Eine weitere Aufgabe der Erfindung besteht darin, ein Verfahren zur Beleuchtung eines Objekt-

5 feldes zu verbessern. Diese Aufgabe wird durch ein Verfahren mit den folgenden Schritten gelöst:

- Bereitstellen eines Beleuchtungssystems,
- Beleuchten des Objektfeldes mit Beleuchtungsstrahlung mittels des Beleuchtungssystems,
- Vorgabe einer Soll-Intensitätsverteilung der Beleuchtungsstrahlung in einem vorgegebenen
- 10 Bereich des Objektfeldes,
- Ermitteln einer Abweichung einer Ist-Intensitätsverteilung der Beleuchtungsstrahlung von der Soll-Intensitätsverteilung in dem vorgegebenen Bereich des Objektfeldes,
- Anpassen der Verlagerungspositionen der Einzelspiegel der zweiten Gruppe in Abhängigkeit von der Abweichung.

15

Der Kern der Erfindung besteht darin, dass die Verlagerungsposition der Einzelspiegel der zweiten Gruppe zur Korrektur der Ist-Intensitätsverteilung der Beleuchtungsstrahlung verwendet werden. Aufgrund der kurzen Schaltzeiten ist eine derartige Korrektur sehr schnell möglich. Die Korrektur kann insbesondere innerhalb einer Korrekturzeit von weniger als 100 ms, insbesondere weniger als 30 ms, insbesondere weniger als 10 ms, insbesondere weniger als 3 ms, insbesondere weniger als 1 ms durchgeführt werden. Sie kann während der Beleuchtung des Retikels durchgeführt werden. Sie kann insbesondere während des Scavorgangs durchgeführt werden. Sie kann auch insbesondere zwischen zwei Verschiebungsschritten des Retikels durchgeführt werden.

25

Durch eine derartige Korrektur kann auch eine Feldausleuchtung senkrecht zur Scanrichtung und/oder in Scanrichtung verändert werden. Die Einzelspiegel der zweiten Gruppe können insbesondere die Funktion einer Retikel-Maskierungs-Blende senkrecht zur Scanrichtung (X-ReMa-Blende) und/oder in Scanrichtung (Y-ReMa-Blende) übernehmen.

30

Die Verlagerungspositionen der Einzelspiegel können insbesondere während des Scavorgangs, d. h. während das Retikel durch den Scanschlitz verschoben wird, angepasst werden.

Die Anpassung der Verlagerungspositionen kann insbesondere automatisiert, insbesondere mit Hilfe einer Regelschleife, erfolgen.

- 5 Die Regelschleife umfasst insbesondere Sensoren, welche beispielsweise in der Objektebene oder beabstandet hierzu angeordnet sind. Die Sensoren dienen insbesondere der Erfassung einer Intensitätsverteilung der Beleuchtungsstrahlung im Bereich des Objektfeldes. Die Sensoren zur Regelung der Positionierung der Einzelspiegel können auch in das Spiegel-Array integriert sein.
- 10 Eine weitere Aufgabe der Erfindung besteht darin, eine Projektionsbelichtungsanlage für die Mikrolithographie, insbesondere für die EUV-Lithographie, zu verbessern. Diese Aufgabe wird durch eine Projektionsbelichtungsanlage mit einer Beleuchtungsoptik gemäß der vorhergehenden Beschreibung gelöst. Die Vorteile ergeben sich aus denen des Spiegel-Arrays.
- 15 Weitere Aufgaben der Erfindung bestehen darin, ein Verfahren zur Herstellung eines mikro- oder nanostrukturierten Bauelements und ein verfahrensgemäß hergestelltes Bauelement zu verbessern.

- Hierzu ist vorgesehen, während der Belichtung eines Wafers, insbesondere zwischen der Belichtung zweier aufeinanderfolgender Felder (Dies) auf dem Wafer, zumindest eine Teil der schnellen Spiegel in Abhängigkeit von einem im Voraus bestimmten Korrekturprofil zu verlagern.

- Durch eine derartige Korrektur, d. h. durch ein Anpassen der Verlagerungsposition der Einzelspiegel der zweiten Gruppe, kann beispielsweise die lokale Dosis von Feld zu Feld (Die zu Die) verändert werden, insbesondere um systematische Fehler zu kompensieren.

- Üblicherweise wird auf einem einzelnen Wafer eine Vielzahl unterschiedlicher Felder, welche auch als Dies bezeichnet werden, belichtet. Unterschiede zwischen den einzelnen Dies können zu Problemen bei der Strukturierung des Wafers führen. Beispielsweise kann die zur Strukturierung benötigte Belichtungszeit des Wafers von der Dicke der auf diesem aufgebrachten lichtempfindlichen Schichten abhängen. Es ist möglich, die Eigenschaften des Wafers, insbesondere die Variation dessen Eigenschaften über dessen Oberfläche, insbesondere Unterschiede zwischen unter-

schiedlichen Feldern eines oder mehrerer Wafer, vorab zu bestimmen. Derartige Daten lassen sich beispielsweise durch Vermessen des Wafers ermitteln. Gemäß einem vorteilhaften Aspekt der Erfindung ist vorgesehen, die Einzelspiegel in Abhängigkeit von derartigen Informationen über die Eigenschaften des Wafers zu verlagern. Es ist insbesondere möglich, aus dem im Vor-

5 aus bestimmten Korrekturprofil des Wafers zu ermitteln, welche Einzelspiegel der zweiten Gruppe zwischen der Belichtung zweier unterschiedlicher Dies auf dem Wafer verlagert, d. h. geschaltet, werden sollen. Die Verlagerung, d. h. das Schalten dieser Einzelspiegel kann dann während der Belichtung des Wafers, insbesondere zwischen der Belichtung der entsprechenden Dies und/oder zwischen der Belichtung zweier Wafer, automatisiert erfolgen. Aufgrund der kur-

10 zen Schaltzeiten der schnellen Einzelspiegel ist es möglich, den Schaltvorgang nach Belichtung eines Dies auf dem Wafer zu beginnen und abzuschließen, bevor die Belichtung des nächsten Dies begonnen wird.

Das Korrekturprofil spiegelt insbesondere Variationen, welche über die Oberfläche des Wafers auftreten können, insbesondere Unterschiede zwischen den einzelnen zu belichtenden Feldern auf einem Wafer und/oder auf unterschiedlichen Wafers wieder. Derartige Variationen können durch eine Justierung der Belichtung, insbesondere durch eine Justierung der Belichtung zwischen zwei aufeinanderfolgenden Feldern, zumindest teilweise, insbesondere vollständig kompensiert werden. Hierdurch wird die Strukturierung des Wafers verbessert.

20 Die Korrekturen an der Belichtung des Wafers können durch eine Schaltung der Einzelspiegel mit einer kurzen Schaltzeit, wie vorhergehend beschrieben, erreicht werden.

Die Korrekturen können im Voraus, d. h. vor Beginn der eigentlichen Belichtung des Wafers, berechnet werden. Sie können beispielsweise in einem Speicher einer Steuereinrichtung abgelegt werden. Sie können während der Belichtung des Wafers vorgenommen werden, sie können insbesondere automatisiert vorgenommen werden.

30 Sie können insbesondere ohne zusätzliche Messschritte vorgenommen werden. Es ist jedoch auch möglich, zu vorgegebenen Zeitpunkten, beispielsweise alle 15 Minuten, die Belichtungseigenschaften, insbesondere im Bereich des Bildfeldes, zu vermessen und gegebenenfalls geeignete Anpassungen vorzunehmen.

Die Wafer-spezifischen Korrekturprofile können durch eine Vermessung des Wafers ermittelt werden. Sie können auch extern vorgegeben werden.

5 Weitere Vorteile und Einzelheiten der Erfindung ergeben sich aus der Beschreibung von Ausführungsbeispielen anhand der Zeichnungen. Es zeigen:

- Fig. 1 10 eine schematische Darstellung einer Projektionsbelichtungsanlage für die Mikrolithographie mit einem Beleuchtungssystem und einer Projektionsoptik im Meridionalschnitt,
- Fig. 2 15 eine Ausführung eines Beleuchtungssystems einer Projektionsbelichtungsanlage mit einem Spiegel-Array (MMA) und einem von diesem beleuchteten Pupillenfacettenspiegel,
- Fig. 3 20 schematisch eine exemplarische Ansicht auf den Pupillenfacettenspiegel nach Fig. 2 mit einer Pupillenfacetten-Ausleuchtung, die einem Beleuchtungssetting entspricht,
- Fig. 4 25 schematisch das Beleuchtungssystem gemäß Fig. 2 mit einer durch Verlagerung der Spiegel-Elemente erzeugbaren Kanalzuordnung des Spiegel-Arrays zum Pupillenfacettenspiegel,
- Fig. 5 30 eine schematische Ansicht auf den Pupillenfacettenspiegel gemäß Fig. 3 mit einer Pupillenfacetten-Ausleuchtung, die einem annularen Beleuchtungssetting entspricht,
- Fig. 6 eine schematische Darstellung zweier nebeneinander liegender Spiegel-Elemente des Spiegel-Arrays gemäß den Fig. 2 und 4,
- Fig. 7 einen schematischen Querschnitt durch eine Ausführungsform des optischen Bauelements mit einem Spiegel-Array (MMA),

- 12 -

Fig. 8

eine schematische Darstellung eines exemplarischen Strahlengangs in einer Projektionsbelichtungsanlage,

5 Fig. 9

eine Ausschnittsvergrößerung des Bereichs IX mit dem ersten Facetten-
spiegel der Beleuchtungsoptik der Projektionsbelichtungsanlage gemäß
Fig. 8,

Fig. 10

10

eine Ausschnittsvergrößerung des Bereichs X mit dem zweiten Facetten-
spiegel der Beleuchtungsoptik der Projektionsbelichtungsanlage gemäß
Fig. 8,

Fig. 11

15

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

Fig. 12

eine Darstellung des Spiegel-Arrays gemäß Fig. 11, bei welchen die Ein-
zelspiegel in zwei unterschiedliche Gruppen eingeteilt sind,

Fig. 13 und Fig. 14

20

schematische Darstellungen unterschiedlicher Anordnungen von Feldfacet-
ten auf dem Feldfacettenspiegel, welcher durch eine Vielzahl von Spiegel-
Arrays gebildet ist,

Fig. 13a und Fig. 14a Ausschnittsvergrößerungen aus den Fig. 13 und 14,

25 Fig. 15

eine schematische Darstellung eines Ausschnitts des Strahlengangs einer
Projektionsbelichtungsanlage gemäß Fig. 8 mit einem Facettenspiegel ge-
mäß einer der Fig. 13 oder 14,

Fig. 16

30

eine schematische Darstellung der Ausrichtung eines zweiten Facetten-
spiegels, wobei eine Zielposition, eine zugehörige Parkposition und eine
Vielzahl verbotener Positionen gekennzeichnet sind,

- 13 -

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

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

Fig. 20 schematisch einen Ablauf eines Verfahrens zur Auslegung eines Facettenspiegels.

10 Im Folgenden wird zunächst der prinzipielle Aufbau einer Projektionsbelichtungsanlage 1 anhand der Figuren beschrieben.

15 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 Halbleiterbauelemente zu projizierende Struktur trägt. Eine Projektionsoptik 7 dient zur Abbildung des 20 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.

25 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.

30 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 Halbleiterbauele-

ments, 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.

5

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.

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.

20

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

Nach dem Feldfacettenspiegel 13 wird die EUV-Strahlung 10 von einem Pupillenfacettenspiegel 25 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 30 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

- 15 -

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.

- 5 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 10 eine Pupillenebene der Projektionsoptik 7 darstellt beziehungsweise zu einer Pupillenebene der Projektionsoptik 7 optisch konjugiert ist. Mithilfe 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 15 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 Ausleuch- 20 tungskanäle ist eine Feldfazette 13a des Feldfacettenspiegels 13 und eine dieser nachgeordnete Pupillenfazette 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 einer 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.

- 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.

- 16 -

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.

- 5 Fig. 2 zeigt eine alternative Ausgestaltung eines Beleuchtungssystems 19 für die Projektionsbelichtungsanlage 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.
- 10 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 15 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.
- 20 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 25 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 etwa 100000 der Spiegel-Elemente 23 auf. Je nach Größe der Spiegel-Elemente 23 kann der Feldfacettenspiegel 21 auch beispielsweise 1000, 30 5000, 7000 oder auch mehrere hunderttausend, beispielsweise 500000 Spiegel-Elemente 23 aufweisen.

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.

- 5 Der Feldfacettenspiegel 21 wird mit Nutzstrahlung 10 mit einer Leistung von 840 W und einer Leistungsdichte von 6,5 kW/m² beaufschlagt. Die Nutzstrahlung 10 kann auch eine andere Leistung und/oder Leistungsdichte aufweisen.

Das gesamte Einzelspiegel-Array des Facettenspiegels 21 hat einen Durchmesser von 500 mm
10 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
15 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 x 20-Arrays von Spiegel-Elementen 23 der Dimension 5 mm x 5 mm bis hin zu einem 10 x 200-Array von Spiegel-Elementen 23 mit den Dimensionen 0,5 mm x 0,5 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.
20
25

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
30

- 18 -

des Pupillenfacettenspiegels 14 können in jedem der Ringe 12 Pupillenfacetten 14a nebeneinander vorliegen. Jede der Pupillenfacetten 14a kann als Spiegel-Array 22 ausgebildet sein.

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.

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

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.

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 aktuatorisch 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 Verkippung der Spiegel-Elemente 23 zur Erzeugung dieser Beleuchtung ist in der Fig. 4 am Beispiel eines der Spiegel-Elemente 23 beispielhaft angedeutet.

Zum Umstellen der Beleuchtungssettings entsprechend den Fig. 2 bis 5 können die Spiegel-Elemente 23 um einen Kippwinkel verschwenkt werden. Sie sind insbesondere um einen Kippwinkel im Bereich von mindestens ± 50 mrad, insbesondere mindestens ± 80 mrad, insbesondere

± 100 mrad, verschwenkbar. Die jeweilige Kipposition kann hierbei mit einer Genauigkeit von mindestens 0,2 mrad, insbesondere mindestens 0,1 mrad, insbesondere mindestens 0,05 mrad, insbesondere mindestens 0,03mrad, eingehalten werden.

- 5 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 1 425 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 H₂). Alle anderen Partialdrücke liegen deutlich unterhalb von 10⁻⁷ mbar.
- 10

- 15 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 Verkippung des Spiegelkörpers 32 relativ zum Substrat 30 zulässt. Der Gelenkkörper 33 kann als Festkörpergelenk ausgebildet sein, das eine 20 Verkippung 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.
- 25

- 30 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/m², insbesondere mindestens 30 kW/m², insbesondere

- 20 -

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 aufgenommenen Leistung von mindestens 0,25 mW auf das Substrat 30 ausgebildet.

Bei der aufgenommenen Leistung kann es sich neben absorbiertener Leistung der Nutzstrahlung 10 von der Strahlungsquelle 3 auch beispielsweise um aufgenommene elektrische Leistung handeln.

- 10 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.
- 15 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 Gegen-elektroden zum bei dieser Ausführungsform als Elektrodenstift ausgebildeten Aktuatorstift 38 dar. Der Aktuatorstift 38 kann hierbei insbesondere als Hohlzylinder ausgebildet sein. Prinzipiell
- 20 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 mehrerer 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-
- 25 Elements 23 führen kann.

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

- 30 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 neben-

einander 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

- 5 Verhältnis aus der Aktuatkraft zu derjenigen Fläche des Aktuators, über die die Aktuatkraft wirkt. Als Maß für die an sich zu betrachtende Seitenfläche des Aktuators, über die die Aktuatkraft wirkt, kann der Querschnitt des Aktuatorstifts 38 dienen.

Alternativ zur Ausführung als Lorentz-Aktuatoren können die Aktuatoren zur Verkippung der

- 10 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.

- 15 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.

Das Spiegel-Array 22 weist insbesondere mindestens 4, insbesondere mindestens 16, insbeson-

- 20 dere 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 Tesselation. 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
25 Verhältnis der Gesamt-Reflexionsfläche, das heißt der Summe der Reflexionsflächen 36 aller Spiegel-Elemente 23 des Spiegel-Arrays 22 zur Gesamtfläche des Arrays 22.
30

- 22 -

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

Die Reflexionsfläche 36 der Spiegel-Elemente 23 ist insbesondere mit einer (Multilayer-

5)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.

Das Spiegel-Array 22 ist modular ausgebildet. Es ist insbesondere derart als Kachel-Element

10 ausgebildet, dass die Parkettierung der Gesamt-Reflexionsfläche 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
15 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.

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

25 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 höchsten 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.

Die Gesamtfläche des Spiegel-Arrays 22 liegt im Bereich von 1 mm x 1 mm bis 50 mm x 50 mm, insbesondere im Bereich von 10 mm x 10 mm bis 25 mm x 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 höchsten 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.

- 10 Das optische Bauelement 40 umfasst neben dem Spiegel-Array 22 eine Tragestruktur 43. Die Tragestruktur 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.
- 15
- 20

- 25 Die Tragestruktur 43 ist aus einem keramik- und/oder siliziumenthaltenden und/oder aluminium-enthaltenden 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 Al₂O₃-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.

30

Die Tragestruktur 43 weist eine einseitig offene Aussparung 44 auf. Die Aussparung 44 bildet einen einseitig offenen Aufnahmeraum 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 5 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, $b = b_C$.

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 10 46 der Tragestruktur 43 angeordneter Dichtungsring ausgebildet sein. Der von der Aussparung 44 gebildete Aufnahmeraum ist somit zumindest während der Herstellung des Bauelements 40 gekapselt, das heißt flüssigkeitsdicht, insbesondere gasdicht abgeschlossen. Prinzipiell ist es 15 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.

In die Tragestruktur 43 ist eine Vielzahl von Signalleitungen 47 integriert. Die Signalleitungen 20 47 sind als elektrische Durchkontakteierungen, 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. Dies 25 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. 30 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

- 25 -

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.

- 5 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 10 Rückseite 48 der Spiegel-Arrays 22 geführt. Eine auf dem ASIC 52 generierte Steuerspannung 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 der 15 selben 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 20 Reduktion der Herstellungskosten.

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.

Auf der Rückseite 49 der Tragestruktur 43 weist das Bauelement 40 eine elektrische Schnittstelle 30 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

- 26 -

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.

- 5 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.
- 10 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 15 der Tragestruktur 43 erreicht werden. Das freigelegte Teilstück der Durchkontaktierungen bildet nun das Kontakt-Element 50.

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 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 25 Tragestruktur 43 möglich.

30

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.

5

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.

10

15 Im Folgenden werden weitere Aspekte der Erfindung anhand der Fig. 8 bis 15 beschrieben.

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.

20 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 anzutragen. Er wird in diesem Fall allgemein als spekularer Reflektor bezeichnet.

25 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.

- 28 -

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.

5

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 10 zu mehrere Tausend betragen.

Die Spiegel-Arrays 22 sind in parallelen Zeilen angeordnet.

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.

20 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.

25

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

Im Folgenden werden bevorzugte Ausführungsformen des Spiegel-Arrays 22 beschrieben.

30

Erfnungsgemäß 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

- 5 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.

Die Einzelspiegel 23 der ersten Gruppe und die Einzelspiegel 23 der zweiten Gruppe können

- 10 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
15 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.

- 20 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
25 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.

Die Einzelspiegel 23 der ersten Gruppe sind mit einer Genauigkeit von mindestens 1 mrad, insbesondere mindestens 500 µrad, insbesondere mindestens 200 µrad, insbesondere mindestens

- 30 100 µrad, insbesondere mindestens 50 µrad 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.

- 30 -

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, 5 insbesondere mindestens 20 mrad, insbesondere mindestens 30 mrad, insbesondere mindestens 50 mrad betragen.

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 10 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 µs, insbesondere weniger als 200 µs. Die Einzelspiegel 23 der zweiten Gruppe werden im Folgenden auch als schnelle Einzelspiegel 23 bezeichnet.

15 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.

20 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.

25 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, er- 30 heblich reduziert.

- 31 -

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 5 möglich, die Zuordnung der Einzelspiegel 23 zu den beiden Gruppen flexibel zu wählen, insbesondere zu verändern, insbesondere beim Betrieb der Projektionsbelichtungsanlage 1 zu verändern.

Durch eine Reduzierung der maximal möglichen oder maximal vorgesehenen Schaltwege der 10 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 15 besser als 10 mrad, insbesondere besser als 5 mrad, insbesondere besser als 2 mrad, insbesondere besser als 1 mrad positionierbar sind.

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

20 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 Ruheströme zu reduzieren. Hierdurch kann die Leistungsdissertation und damit insbesondere die Wärmedissertation reduziert werden.

25 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.

30 Im Folgenden wird unter Bezugnahme auf die Fig. 20 ein Verfahren zur Auslegung des Facetenspiegels 62 beschrieben.

Zunächst wird in einem Bereitstellungsschritt 90 der Facettenspiegel 62 bereitgestellt. Sodann wird in einem Auswahlschritt 91 mindestens ein Beleuchtungssetting zur Beleuchtung des Objektfeldes 5 vorgegeben.

5

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.

- 10 10 In einem zweiten Bestimmungsschritt werden daraufhin die Geometrie- und/oder die Teilstellenausleuchtung am Retikel 29 bestimmt.

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

15

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.

- 20 20 In einem nachfolgenden vierten Bestimmungsschritt 96 wird der Anteil der der zweiten Gruppe zugeordneten schnellen Einzelspiegel 23 bestimmt.

In einem Testschritt 97 wird die Beleuchtung des Retikels 24 getestet (sampling).

- 25 25 Sodann wird in einem Entscheidungsschritt 98 entscheiden, 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.

- 30 30 Beim Anordnungsschritt 95 könne auch unterschiedliche Beleuchtungssettings berücksichtigt werden. In diesem Fall werden im Auswahlschritt 91 mehrere Beleuchtungssettings ausgewählt. Die nachfolgenden Schritte werden entsprechend angepasst.

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
5 in Fig. 20 schematisch dargestellten Verfahrens gefunden werden.

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 darge-
10 stellt 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.

Die schnellen Spiegel können insbesondere entlang gerader Linien im Spiegel-Array 22 ange-
15 ordnet 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 ersten Facettenspiegels 62 bekannt, lässt sich eine Liniendichte der schnellen Einzelspiegel 23 im Spiegel-Array 22 bestimmen.

Bei einem spekularen Reflektor ändert sich die Anordnung der Facetten 68 des ersten Facetten-
20 spiegels 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 Optimierungsver- fahrens bestimmt. Alternativ hierzu kann die Anordnung der Facetten 68 auf dem ersten Facettenspiegel 62 für jedes Setting neu definiert werden.
25

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

In den Fig. 13 und 14 sind exemplarisch Teilstücke 66 auf dem ersten Facettenspiegel 62 darge-
30 stellt. Jedes der exemplarisch dargestellten Teilstücke 66 entspricht einer Feldfacette 13a. Die Teilstücke 66 sind jeweils aus in den Figuren nicht einzeln dargestellten Einzelspiegeln 23 der Spiegel-Arrays 22 zusammengesetzt. In den Fig. 13 bis 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.

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

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

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°, ins-
15 besondere 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.

20 In der Fig. 15 ist exemplarisch eine Ausschnittsvergrößerung aus einem Teilbereich des ersten Facettenspiegels 62 sowie exemplarisch ein Strahlengang von einer Facette 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
25 des Objektfeldes 5 welches kleiner ist als die Abmessungen des Retikels 24.

Die Facette 68 definiert zusammen mit der Facette 69 einen Beleuchtungskanal.

Wie in der Fig. 15 exemplarisch dargestellt ist, sind die schnellen Einzelspiegel 23 derart ange-
30 ordnet, 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

5 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 Wafern, insbesondere damit verbundenen systematische Fehler, 10 zumindest teilweise, insbesondere vollständig, kompensiert werden.

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 Kanalzuordnung, d. h. eine Zuordnung der Facetten 68 des ersten Facettenspiegels 62 zu den 15 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.

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, insbesondere moduliert werden. Dies betrifft insbesondere die scanintegrierte Intensität.

25

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.

30 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

- 5 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.

Im Folgenden werden weitere Aspekte der Erfindung anhand der Fig. 16 bis 19 beschrieben.

- 10 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.

- 15 Zur Verdeutlichung sind nachfolgend noch näher beschriebene Zielfacetten 71 in den Figuren 16 bis 18 durch ausgefüllte Symbole dargestellt. Das quadratische Symbol gibt exemplarisch eine nachfolgend noch näher beschriebene Parkfassette 73 wieder.

- 20 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.

- 25 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, insbesondere 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 Beleuchtung des Wafers 64 zwischen derartigen Positionierungen hin- und hergeschaltet werden.

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.

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.

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

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.

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.

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 18 exemplarisch durch gefüllte Kreise dargestellt.

Die Positionierung der Facetten 68 auf dem ersten Facettenspiegel 62, welche zu einer entsprechenden Kanalzuordnung, 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.

5 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.

10 15 Für eine vorgegebene Soll-Ausleuchtung des Objektfeldes 5 werden derartige Zielpositionen, d. h. Verlagerungsstellungen, für die Facetten 68 des ersten Facettenspiegels 62 bestimmt.

20 25 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.

30 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.

- 5 Prinzipiell können sämtliche Einzelspiegel 23, welche eine gegebene Facette 68 bilden, in die-selbe 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
10 73 zu verteilen.

- 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
15 Einzelspiegel 23 mit einem sehr kurzen Schaltweg zugeschaltet, das heißt in die jeweilige Ziel-position verlagert werden. Sie können insbesondere mit einer sehr kurzen Schaltzeit zugeschaltet werden.

- Die Schaltzeit zur Verlagerung einer der Einzelspiegel 23 der ersten Facetten 68 des ersten Fa-
20 cettenspiegels 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 1ms, insbesondere höchstens 500 μ s, insbesondere höchstens 200 μ s, insbesondere
25 höchstens 100 μ s.

- 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 18 als durchgezogene Linie gekennzeichnet.

30

Exemplarisch sind Verlagerungswege 77 für langsamere Verlagerungen in den Figuren gestrichelt dargestellt.

- 40 -

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 µrad, insbesondere besser als 200 µrad, insbesondere besser als 100 µrad, insbesondere besser als 50 µrad sein. Dies gilt insbesondere für die langsame Positionierung.

- 5 5 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.

- 10 15 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 20 sie bei einer derartigen Verlagerung einen Mindestabstand d_{min} zu den verbotenen Positionen 72 einhalten.

- 25 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.

- 30 Es existieren zu jeder Zielposition ausreichend viele, insbesondere mindestens 1, insbesondere mindestens 2, insbesondere mindestens 3, insbesondere mindestens 6, nahegelegene Parkfacetten 73.

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.

5

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.

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 Parkfacette 73 der einen Zielfacette 71 zur anderen Zielfacette 71 oder andersrum zu schalten.

15

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.

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.

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.

30

Zunächst wird in einem ersten Bereitstellungsschritt 78 ein abzubildendes Retikel 24 bereitgestellt.

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.

15

Sodann wird ein neuer Wafer 64 in einem zweiten Bereitstellungsschritt 81 bereitgestellt.

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.

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.

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.

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

- 5 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 10 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.

- 15 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 20 tatsächlichen System zu verifizieren.

Sodann wird in einem Belichtungsschritt 84 ein Feld auf dem Wafer 64 belichtet.

- 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 30 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 insbe-

sondere 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 µs, insbesondere höchstens 200 µs, insbesondere höchstens 100 µs.

5

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

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.

15

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 20 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 anzugeleichen.

Nach der Belichtung des Wafers 64 kann das Retikel 24 auf einem weiteren Wafer 64 abgebildet 25 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.

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

Patentansprüche:

1. Spiegel-Array (22) für eine Beleuchtungsoptik (4) einer Projektionsbelichtungsanlage (1) umfassend eine Vielzahl von verlagerbaren Einzelspiegeln (23), welche in mindestens zwei Gruppen eingeteilt sind, derart dass
 - 1.1. die Einzelspiegel (23) der ersten Gruppe mit einer relativen Genauigkeit von besser als 1 : 100 verlagerbar sind und
 - 1.2. die Einzelspiegel (23) der zweiten Gruppe mit einer Schaltzeit von weniger als 100 ms verlagerbar sind.
- 10 2. Spiegel-Array (22) gemäß Anspruch 1, **dadurch gekennzeichnet, dass** die beiden Gruppen disjunkt sind.
- 15 3. Spiegel-Array (22) gemäß einem der vorhergehenden Ansprüche, **dadurch gekennzeichnet, dass** die Einzelspiegel (23) der zweiten Gruppe mittels einer reinen vorwärtsgekoppelten Steuerung (Feed-Forward-Steuerung) verlagert werden.
- 20 4. Spiegel-Array (22) gemäß einem der vorhergehenden Ansprüche, **dadurch gekennzeichnet, dass** die Einzelspiegel der zweiten Gruppe entlang einer oder zweier gerader Linien angeordnet sind.
- 25 5. Spiegel-Array (22) gemäß einem der vorhergehenden Ansprüche, **dadurch gekennzeichnet, dass** ein Anteil der Einzelspiegel (23) der zweiten Gruppe an einer Gesamtzahl der Einzelspiegel (23) liegt im Bereich von 0,1% bis 10 %.
6. Optisches Bauelement mit einer Vielzahl von Spiegel-Arrays (22) gemäß einem der Ansprüche 1 bis 5.
- 30 7. Optisches Bauelement gemäß Anspruch 6, **dadurch gekennzeichnet, dass** die Gruppierungen der Einzelspiegel (23) auf jedem der Spiegel-Arrays (22) gleich sind.

- 46 -

8. Facettenspiegel (13, 14) für eine Projektionsbelichtungsanlage (1) mit mindestens einem optischen Bauelement gemäß einem der Ansprüche 6 bis 7.
9. Verfahren zur Auslegung eines Facettenspiegels (62) einer Beleuchtungsoptik (4), umfassend die folgenden Schritte:
 - Bereitstellen eines Facettenspiegels (62) gemäß Anspruch 8,
 - Vorgeben mindestens eines Beleuchtungssettings zur Beleuchtung eines Objektfeldes (5),
 - Bestimmen von Positionierung der Einzelspiegel (23) des Spiegel-Arrays (22) in Abhängigkeit von dem mindestens einen vorgegebenen Beleuchtungssetting,
 - Bestimmen von Teilmengen der Einzelspiegel (23) des Spiegel-Arrays (22), welche für jedes der vorgegebenen Beleuchtungssettings jeweils zur Korrektur der Beleuchtung des Objektfeldes (5) der zweiten Gruppe zugeordnet werden sollen,
 - Zuordnen einer Teilmenge der Einzelspiegel (23) des Spiegel-Arrays (22) zu der zweiten Gruppe.
10. Beleuchtungsoptik (4) für eine Projektionsbelichtungsanlage (1) mit mindestens einem optischen Bauelement gemäß einem der Ansprüche 7 bis 8.
11. Beleuchtungssystem (2) für eine Projektionsbelichtungsanlage (1) umfassend eine Beleuchtungsoptik (4) gemäß Anspruch 10 und eine Strahlungsquelle (3).
12. Verfahren zur Beleuchtung eines Objektfeldes (5) umfassend die folgenden Schritte:
 - Bereitstellen eines Beleuchtungssystems (2) gemäß Anspruch 11,
 - Vorgabe einer Soll-Intensitätsverteilung der Beleuchtungsstrahlung (10) in einem vorgegebenen Bereich des Objektfeldes (5),
 - Beleuchten des Objektfeldes (5) mit Beleuchtungsstrahlung (10) mittels des Beleuchtungssystems (2),
 - Ermitteln einer Abweichung einer Ist-Intensitätsverteilung der Beleuchtungsstrahlung (10) von der Soll-Intensitätsverteilung in dem vorgegebenen Bereich des Objektfeldes (5),
 - Anpassen der Verlagerungspositionen der Einzelspiegel (23) der zweiten Gruppe in Abhängigkeit von der Abweichung.

13. Projektionsbelichtungsanlage (1) für die Mikrolithographie umfassend

- 13.1. eine Beleuchtungsoptik (4) gemäß Anspruch 10 und
- 13.2. eine Projektionsoptik (7).

5

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

- Bereitstellen einer Projektionsbelichtungsanlage (1) gemäß Anspruch 13,
 - Bereitstellen eines Substrats (64) mit einer Mehrzahl von zu belichtenden Feldern, auf die jeweils eine Schicht aus einem lichtempfindlichen Material aufgebracht ist,
 - Bereitstellen eines Retikels (24), das abzubildende Strukturen aufweist,
 - Vorgeben mindestens eines Korrekturprofils mit Daten zu den Abweichungen der individuellen, zu belichtenden Felder voneinander,
 - Bestimmen einer Zuordnung der Einzelspiegel (23) zu der zweiten Gruppe in Abhängigkeit von dem mindestens eine Korrekturprofil,
 - Projizieren wenigstens eines Teils des Retikels (24) auf einen Bereich der lichtempfindlichen Schicht des Substrats mit Hilfe der Projektionsbelichtungsanlage (1),
 - wobei zumindest ein Teil der Einzelspiegel (23) der zweiten Gruppe zwischen der Belichtung zweier aufeinanderfolgender Felder in Abhängigkeit von dem Korrekturprofil verlagert werden.
- 10
- 15
- 20
15. Bauelement hergestellt nach einem Verfahren gemäß Anspruch 14.

1/15

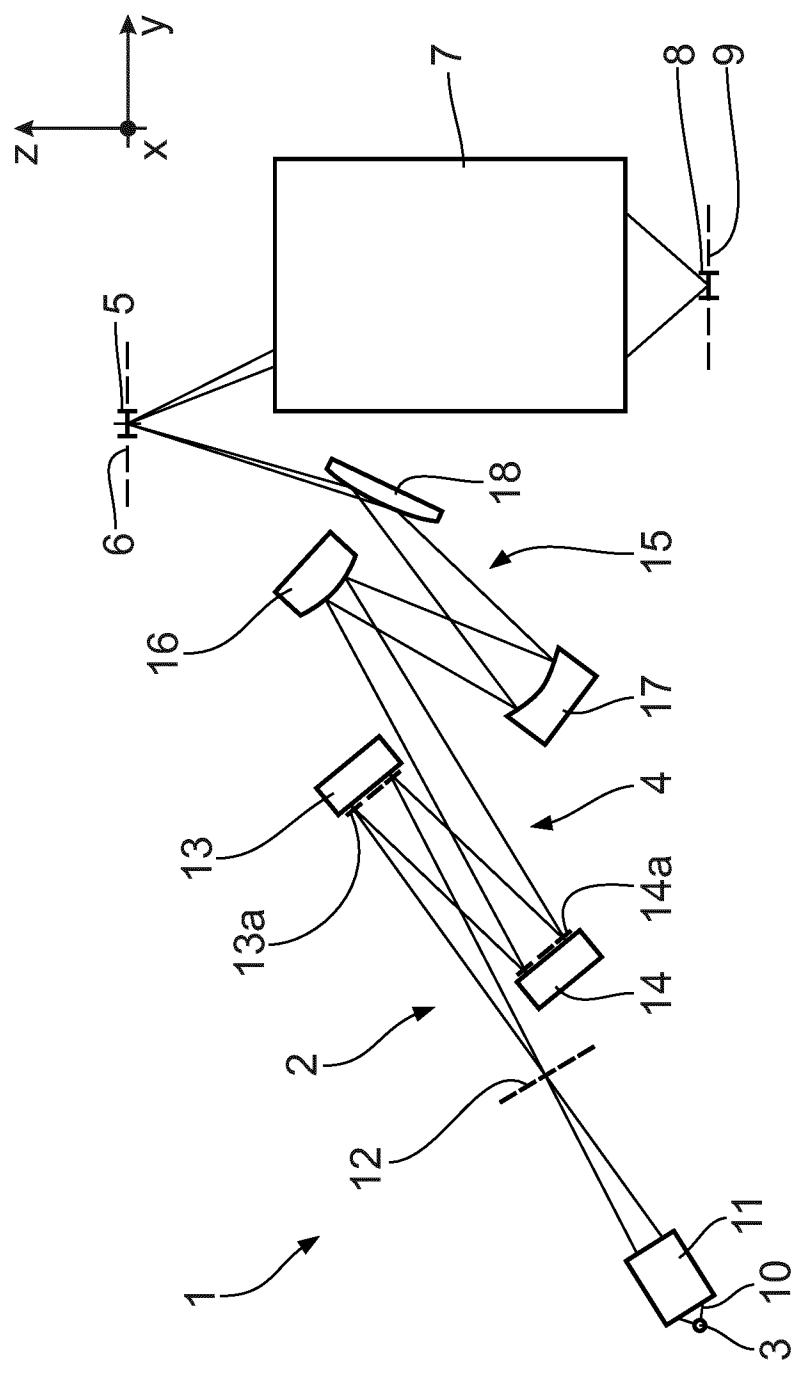


Fig. 1

2/15

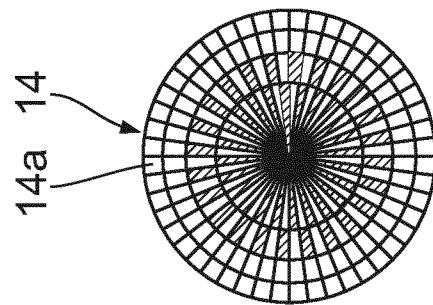


Fig. 3

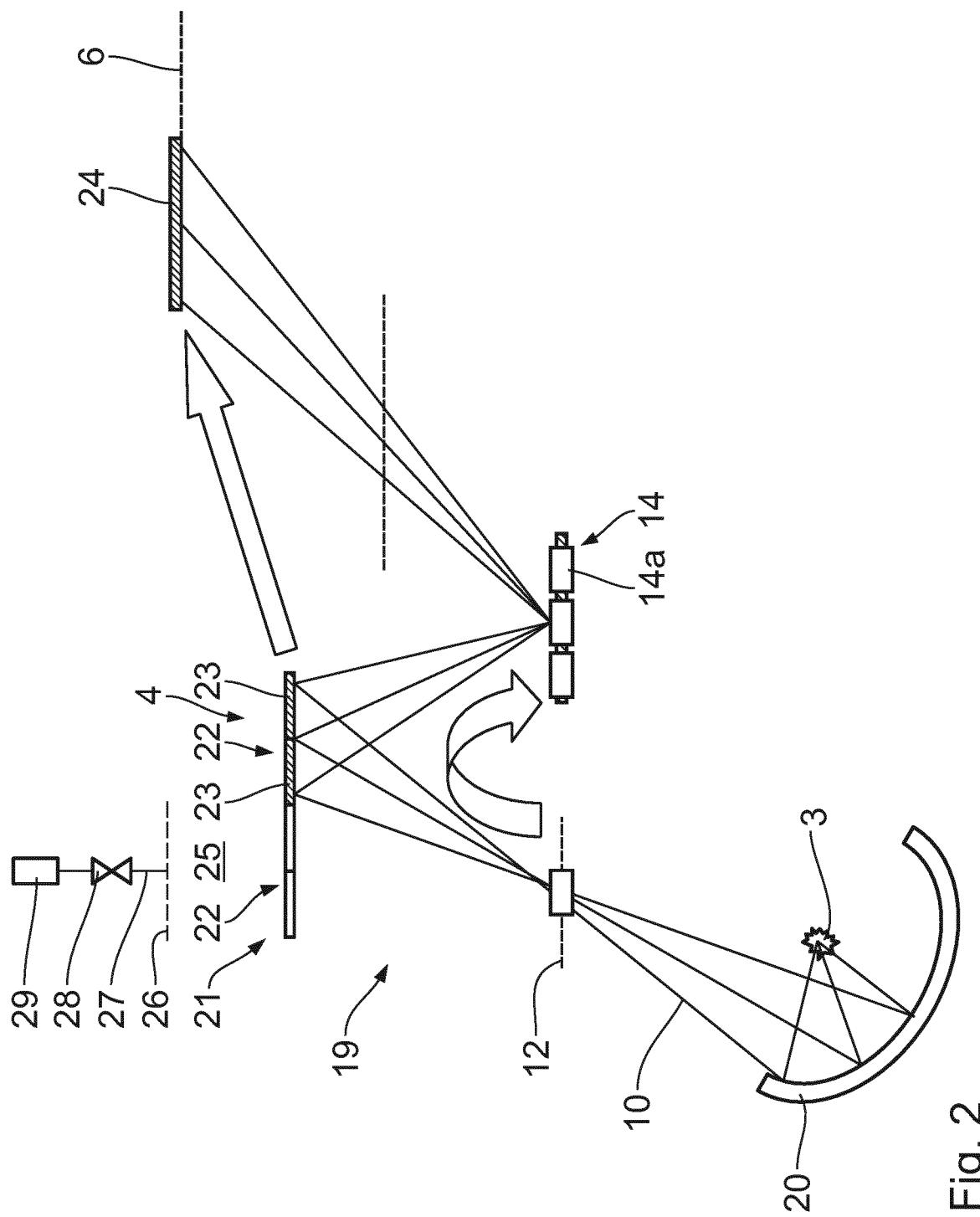


Fig. 2

3/15

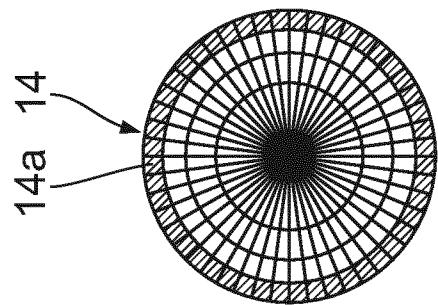


Fig. 5

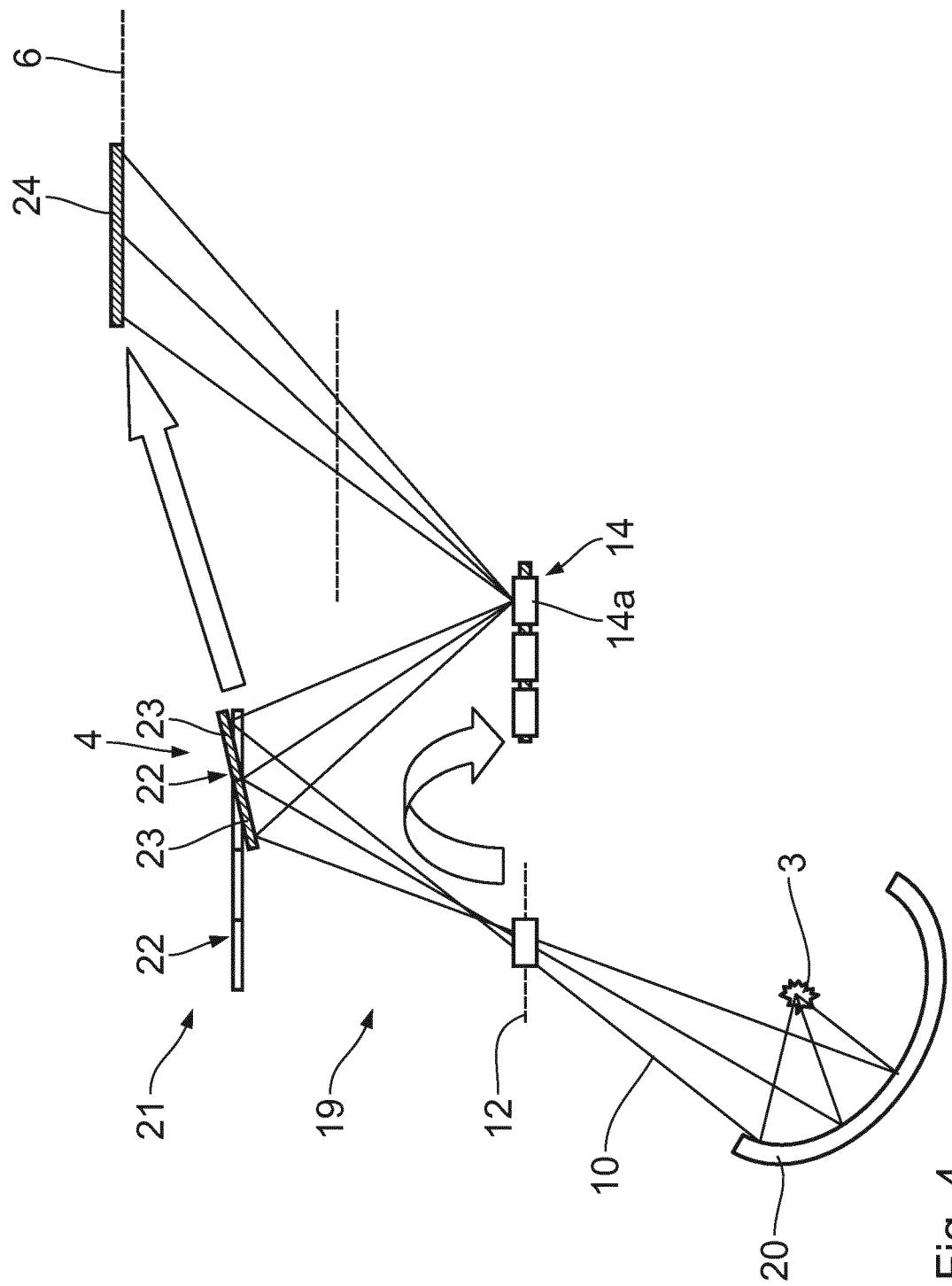


Fig. 4

4/15

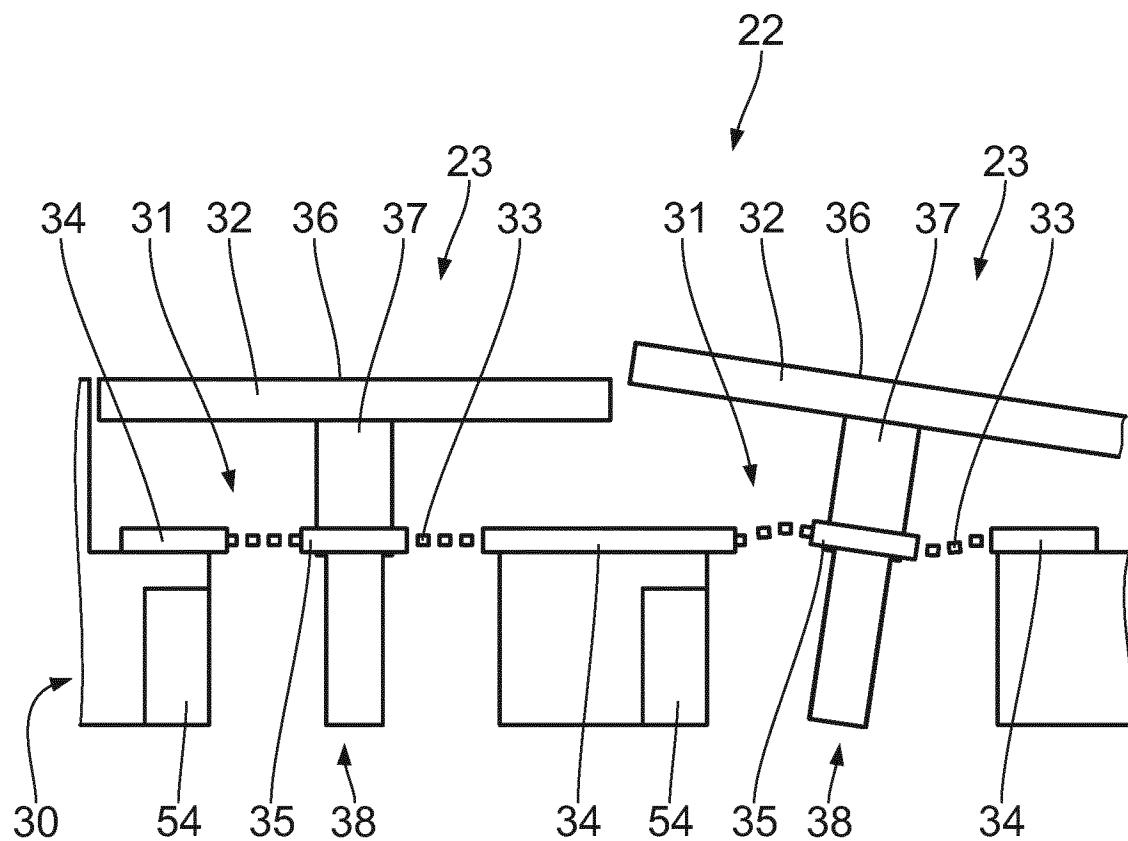


Fig. 6

5/15

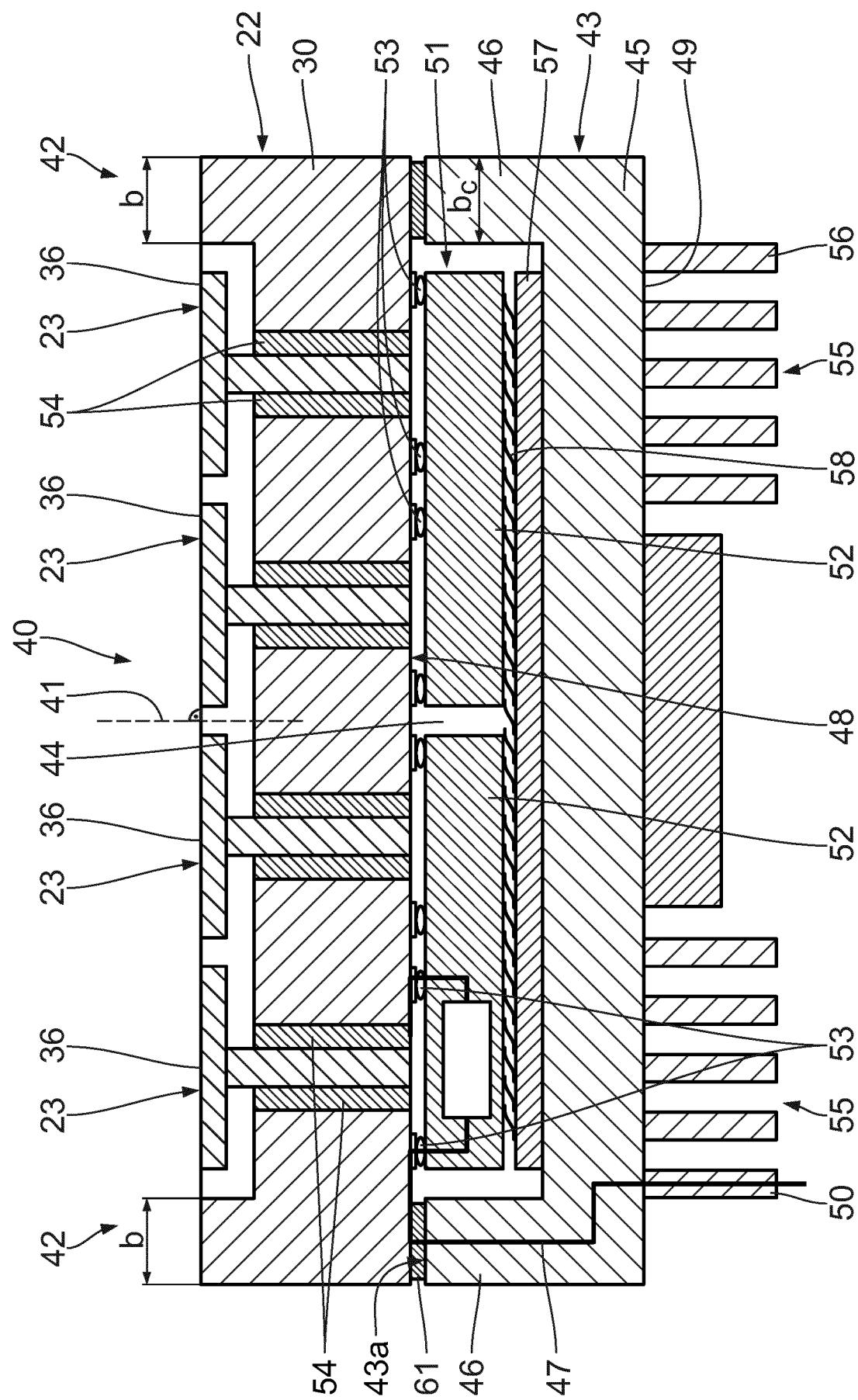


Fig. 7

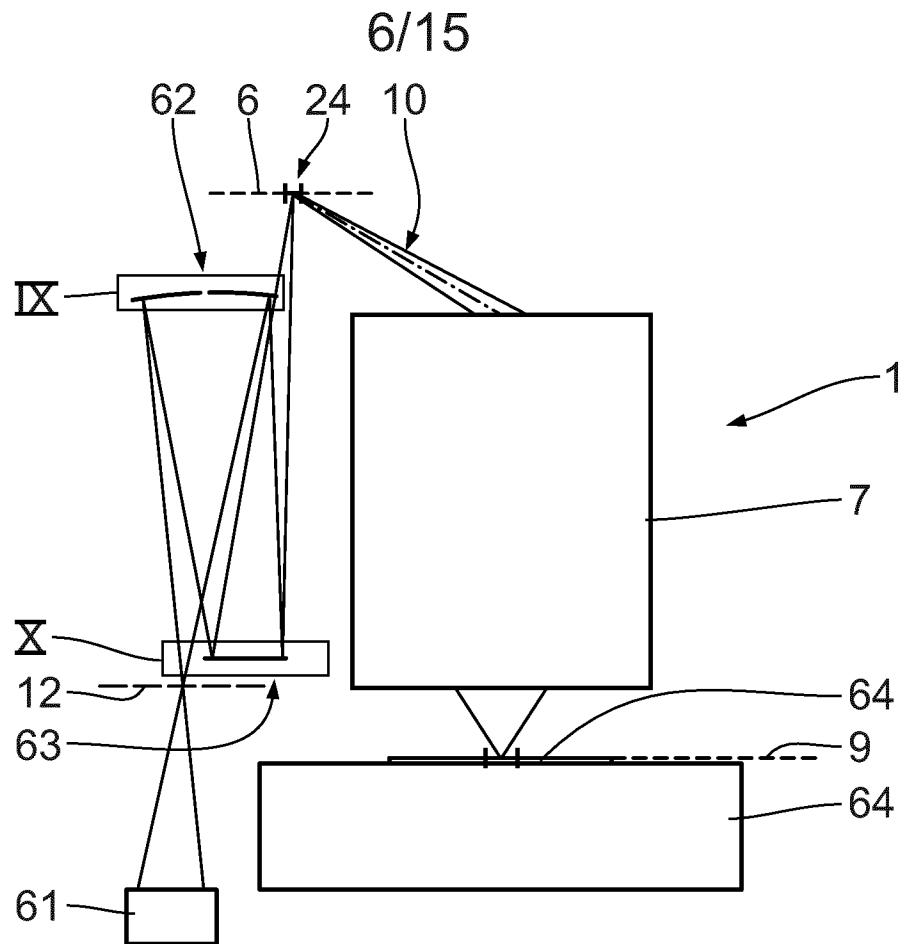


Fig. 8

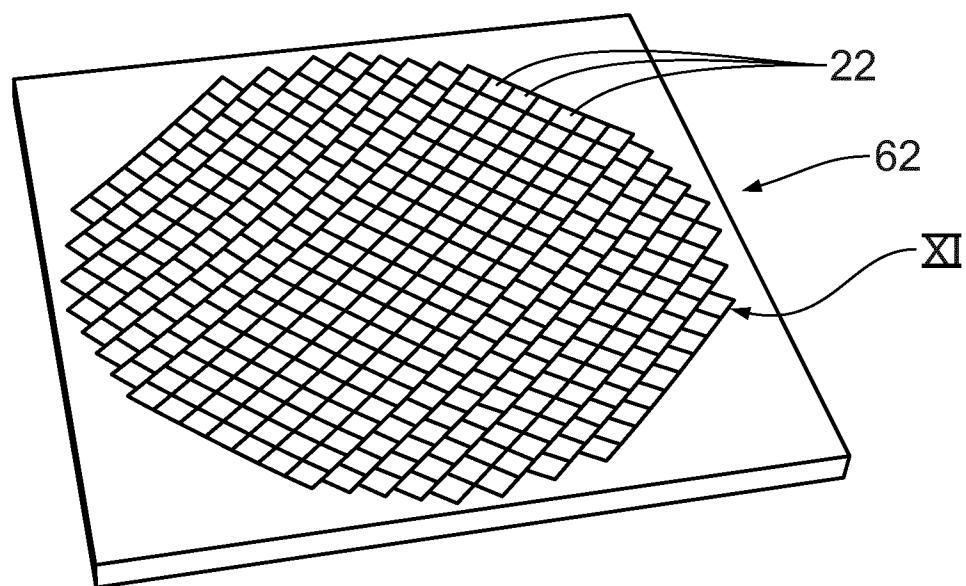


Fig. 9

7/15

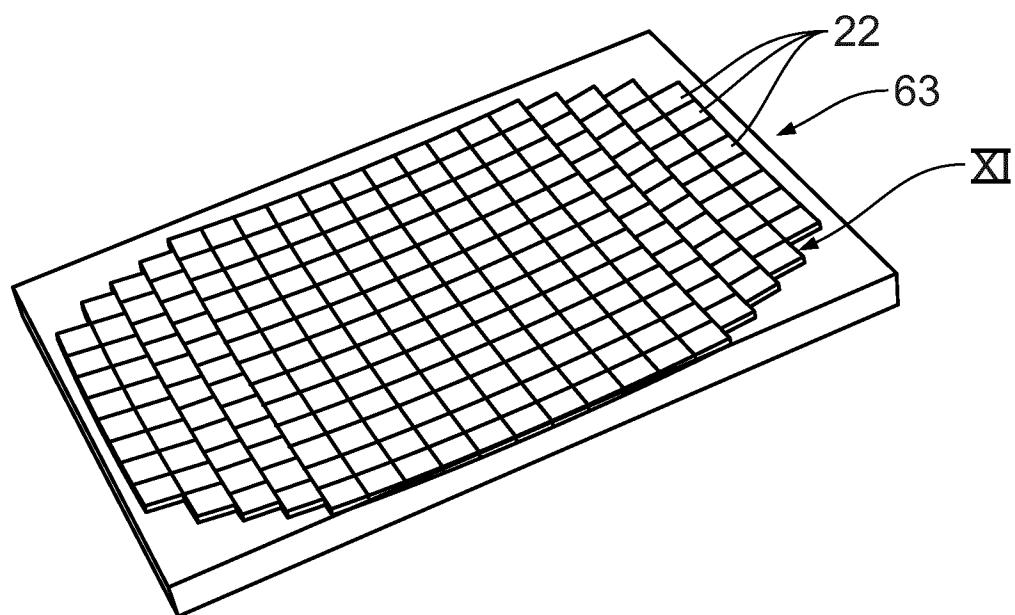


Fig. 10

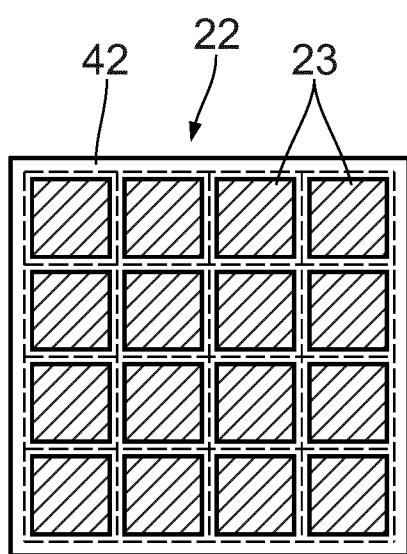


Fig. 11

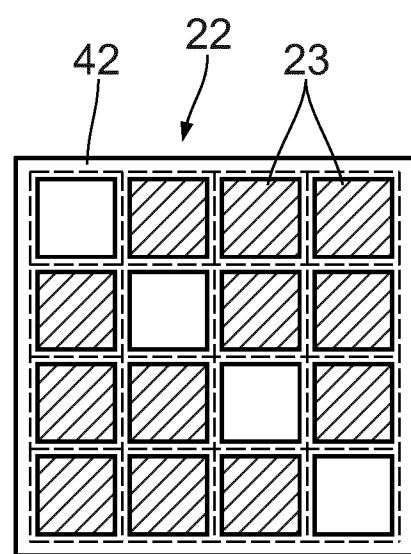
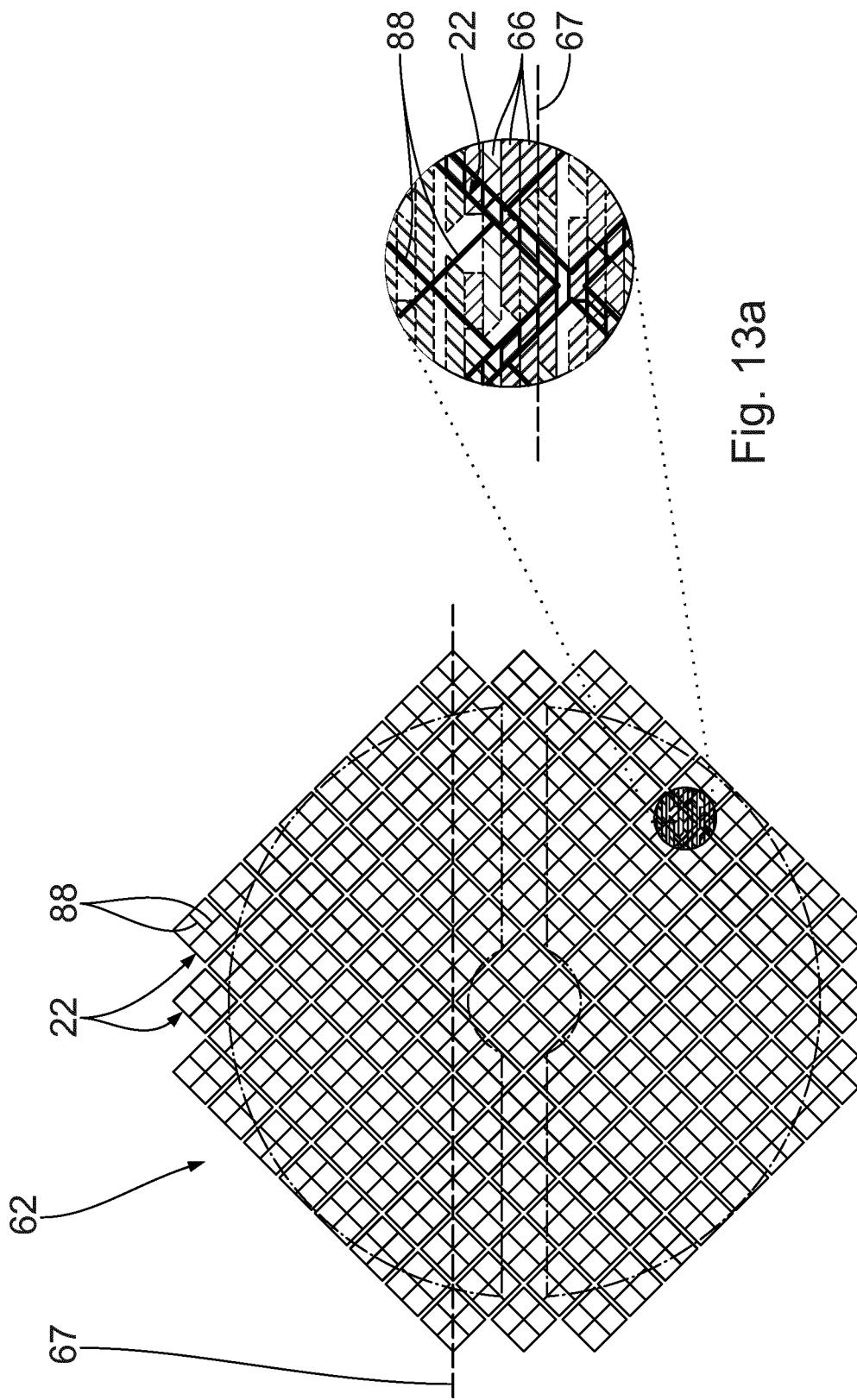
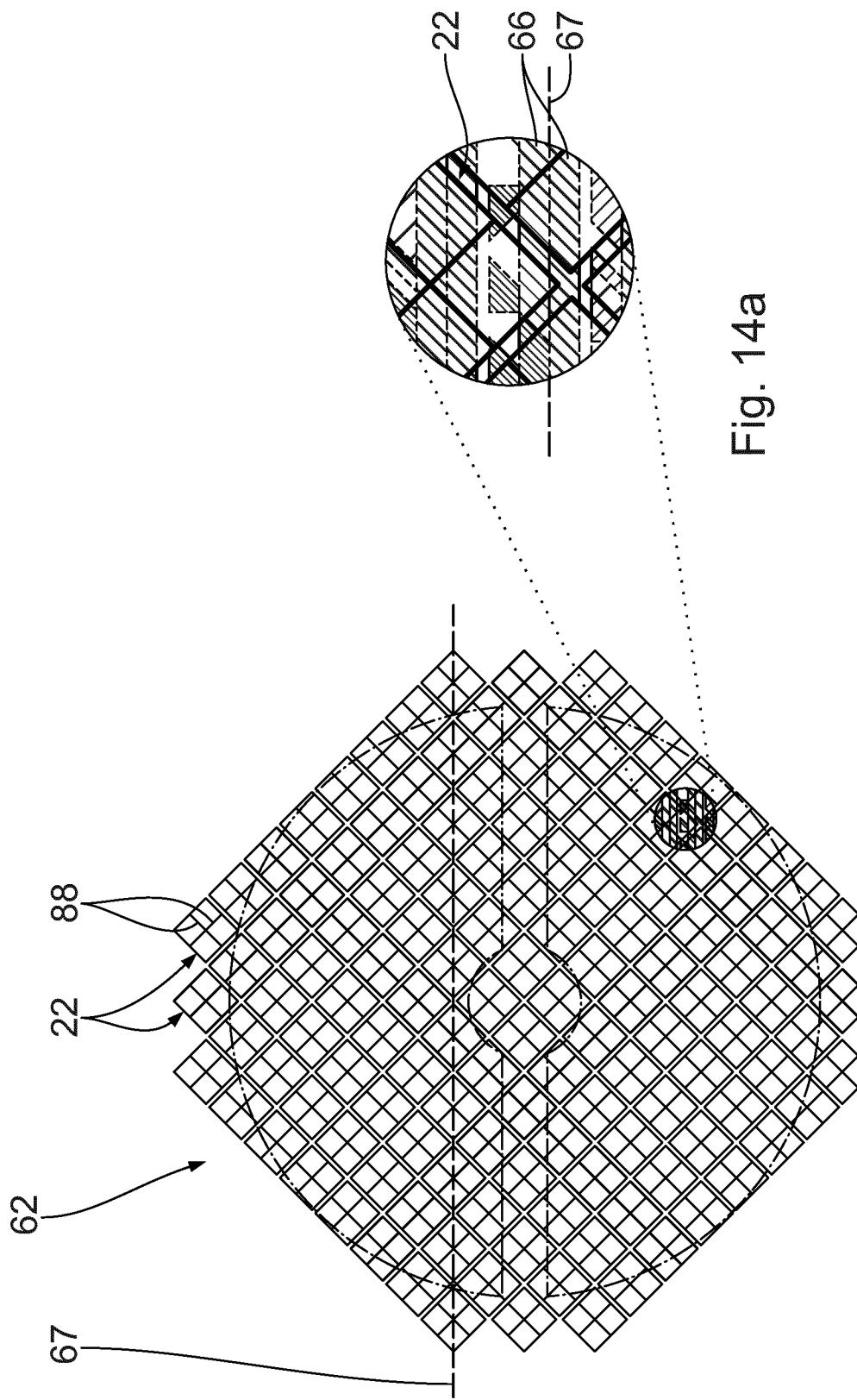


Fig. 12

8/15



9/15



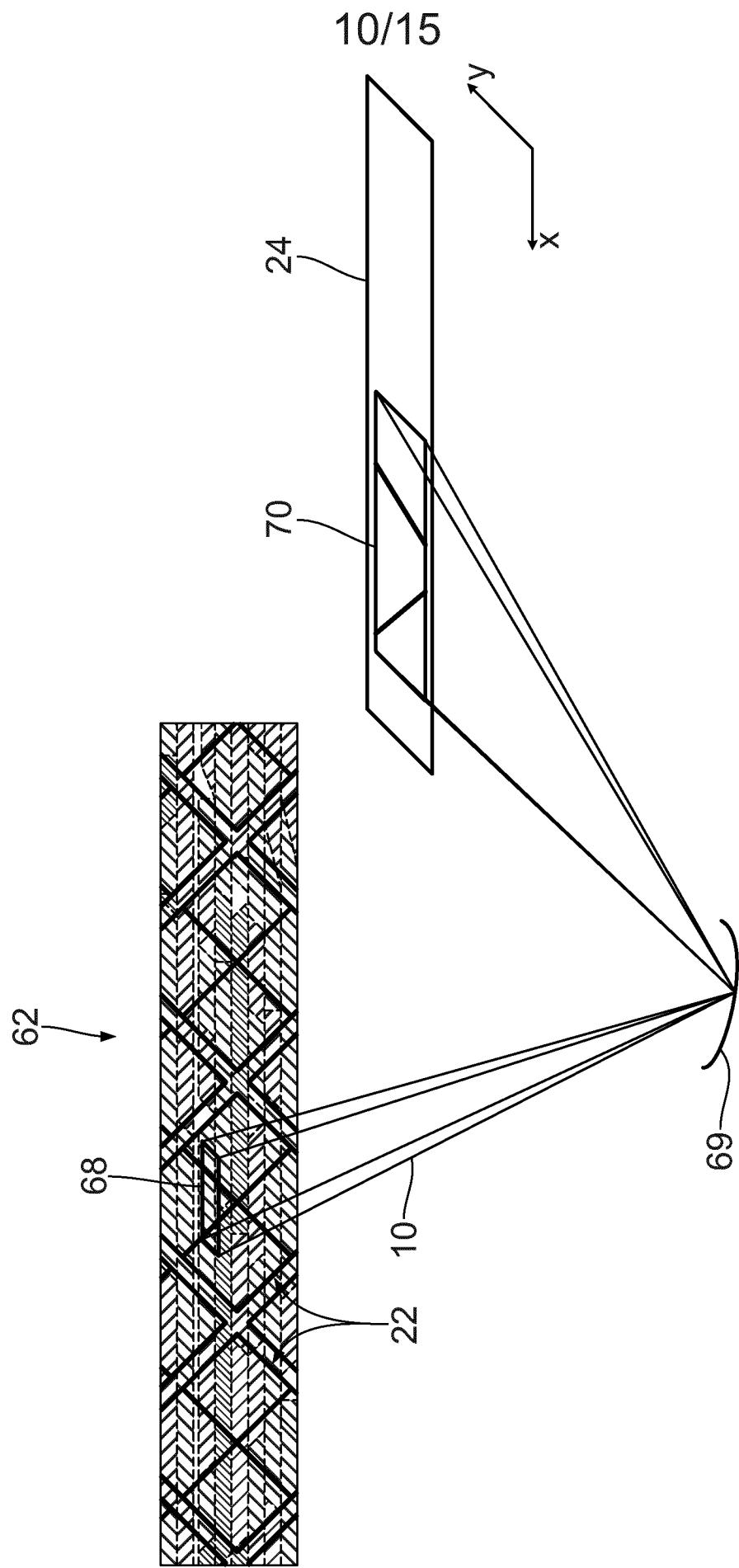


Fig. 15

11/15

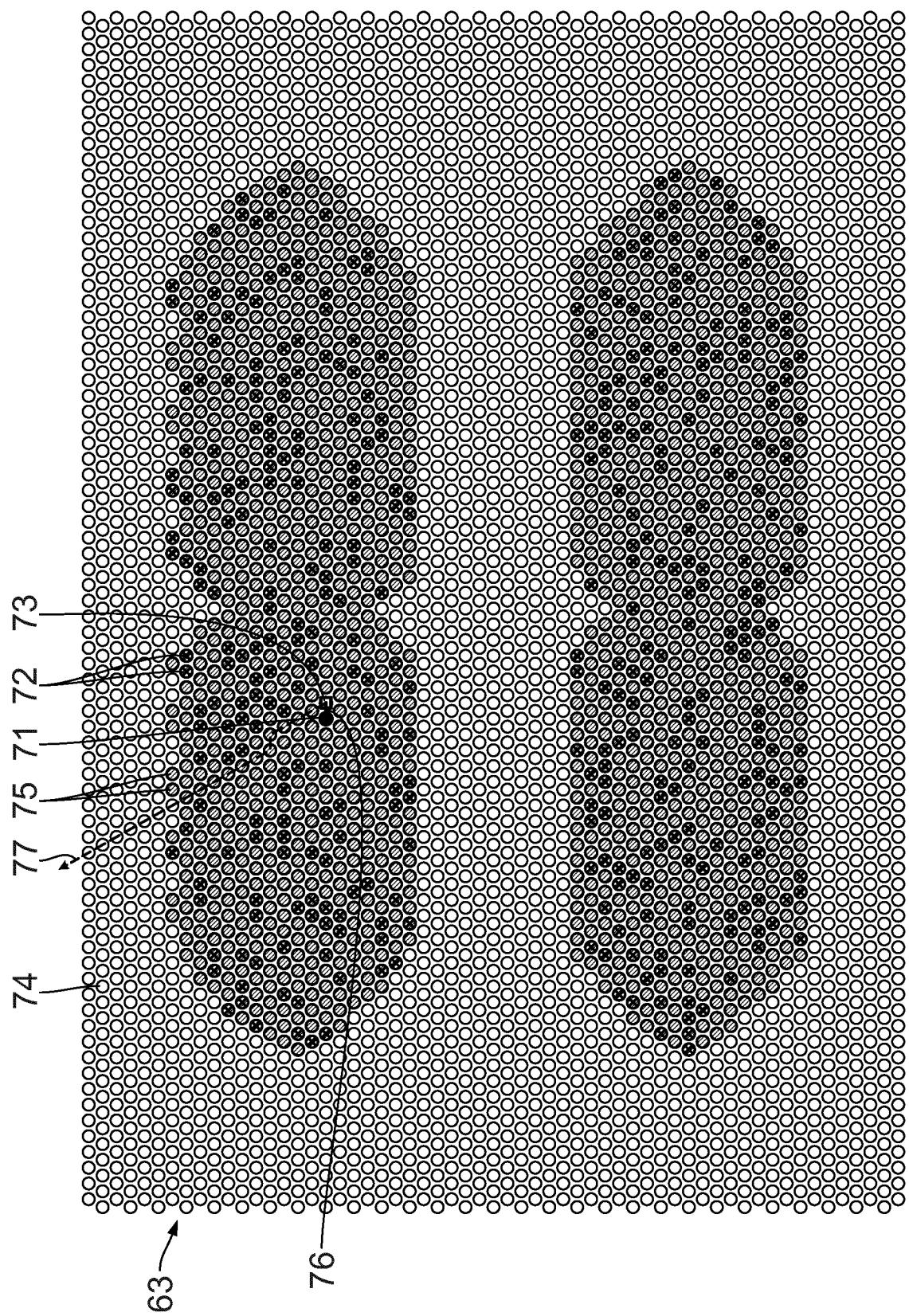


Fig. 16

12/15

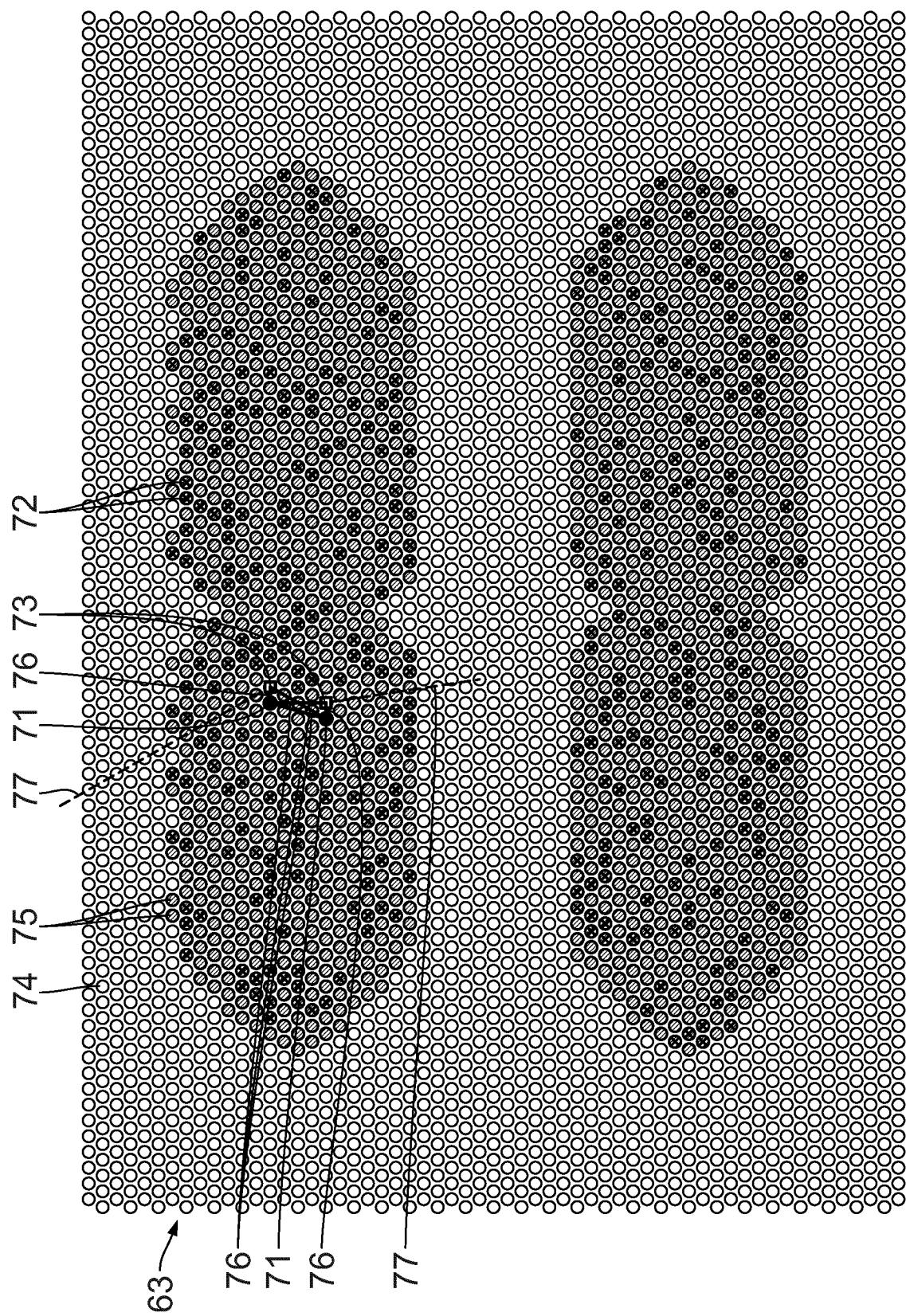


Fig. 17

13/15

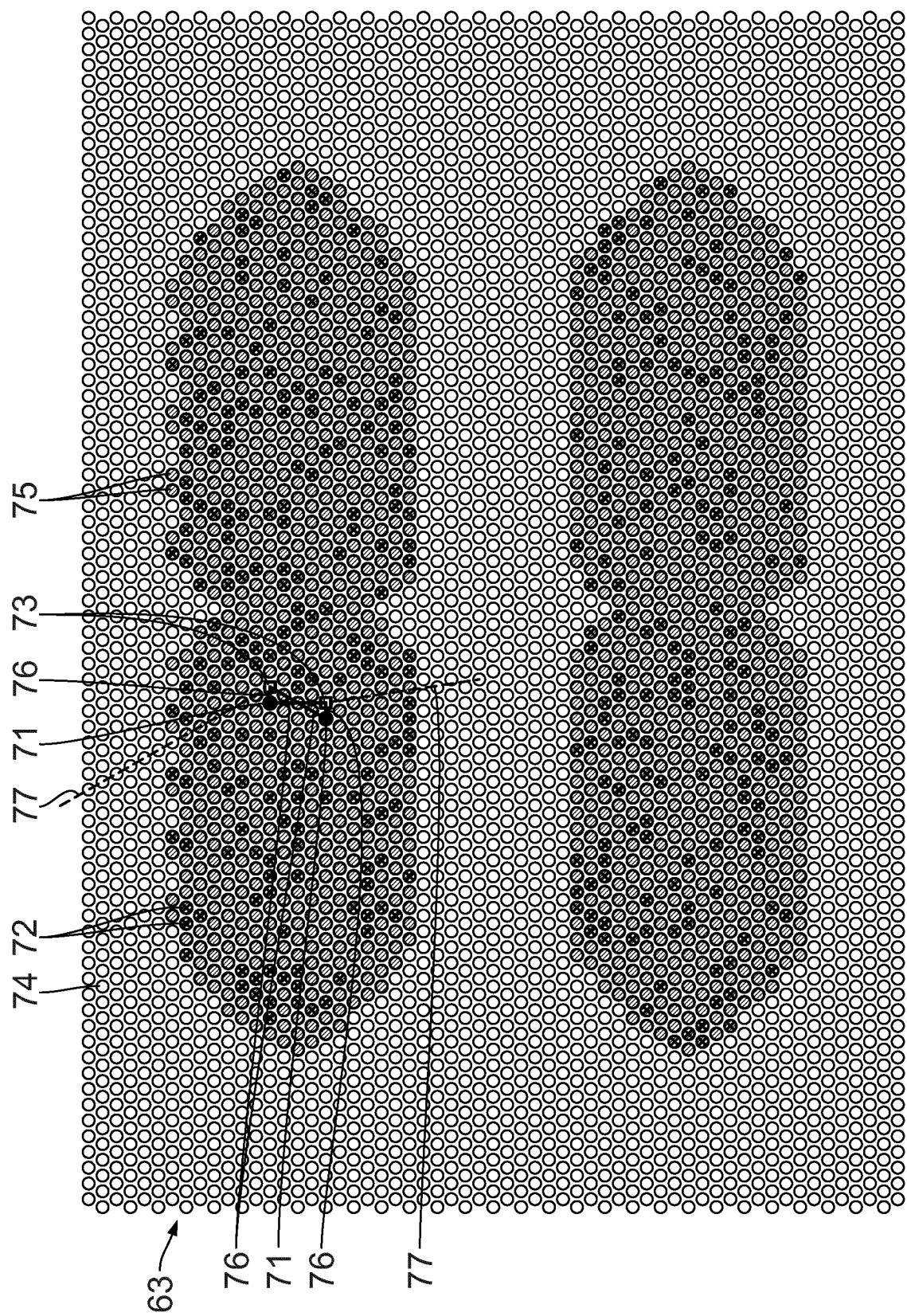


Fig. 18

14/15

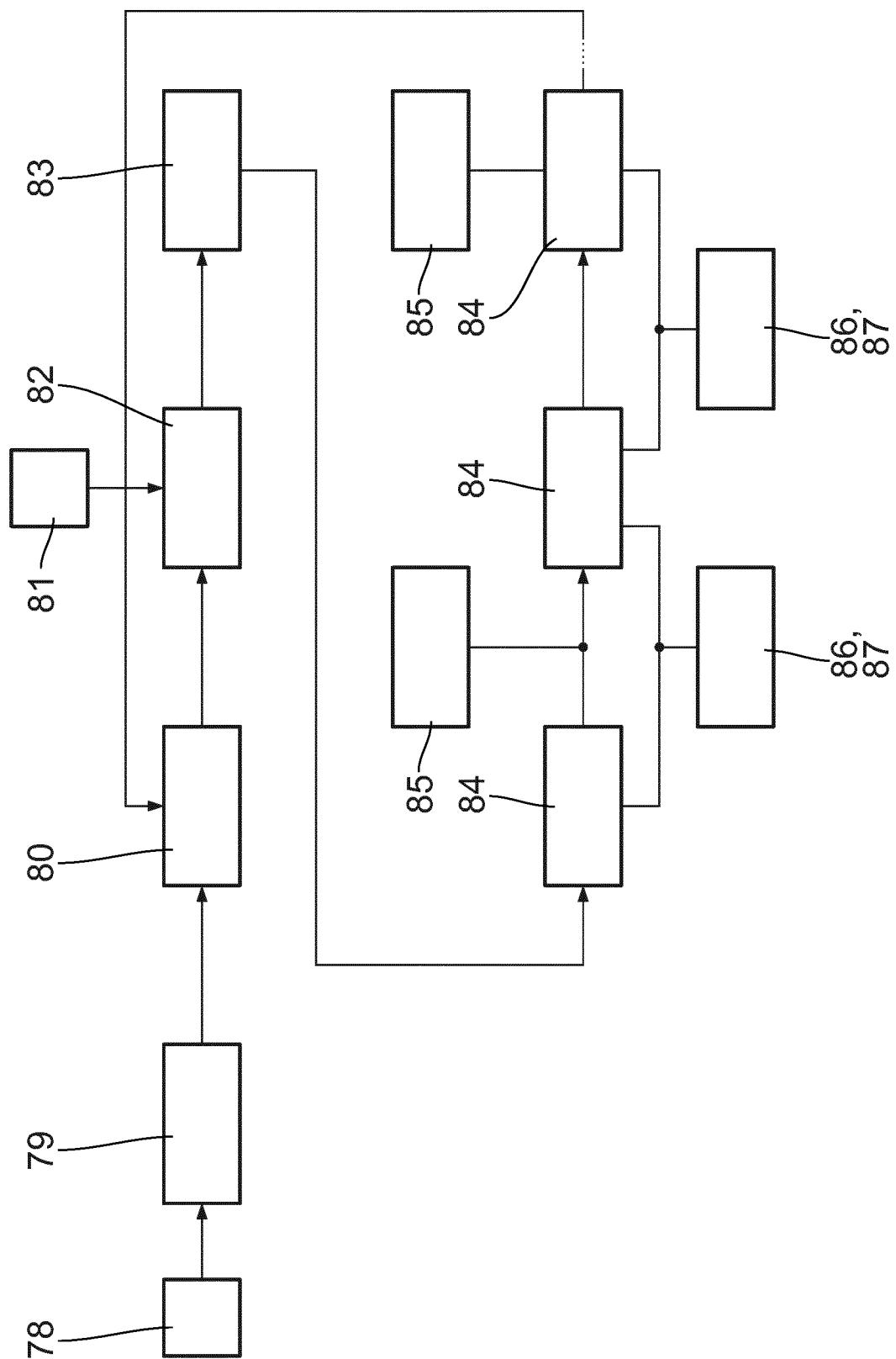


Fig. 19

15/15

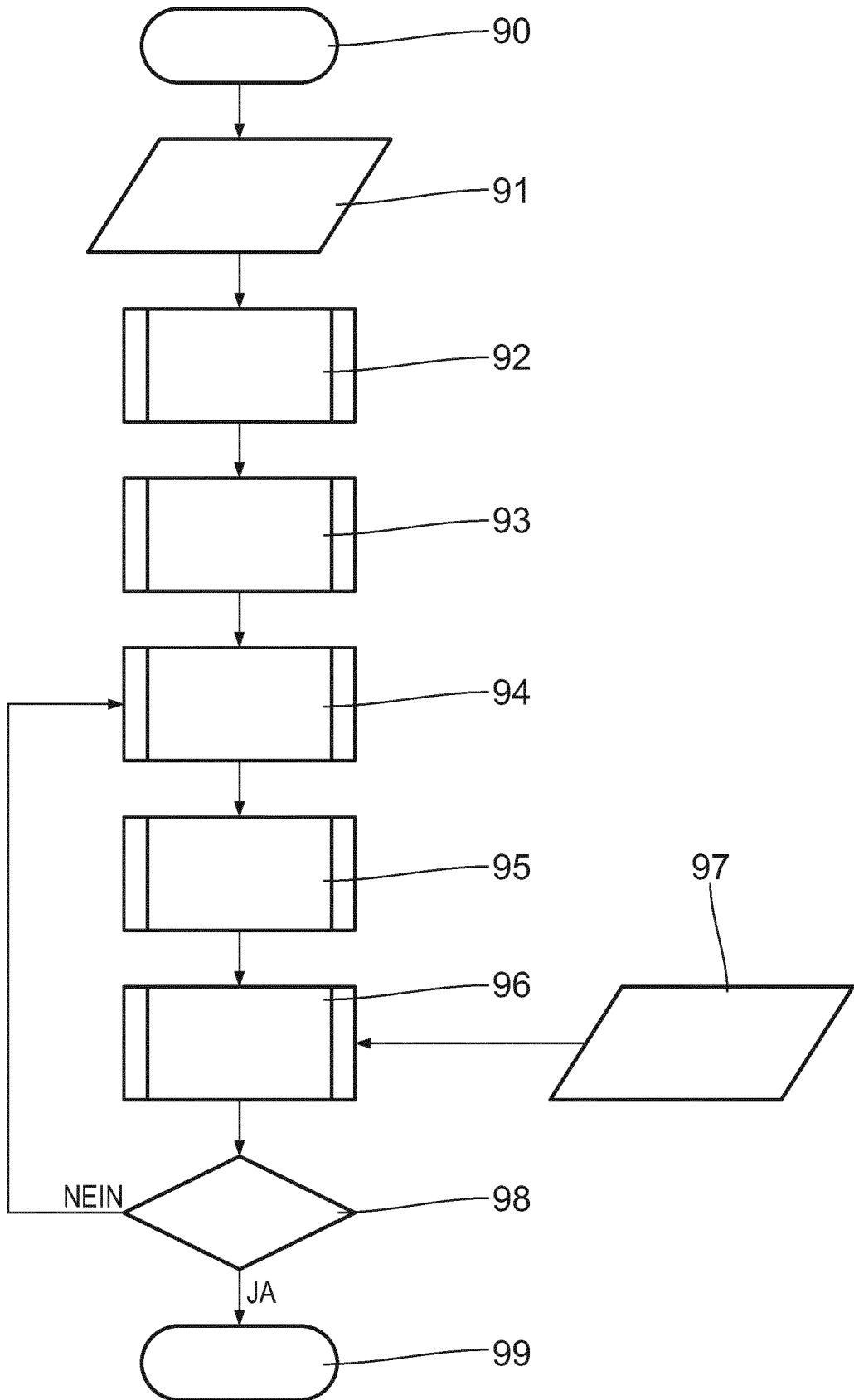


Fig. 20

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No
PCT/EP2015/053287

A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER
 INV. G03F7/20 G02B5/09
 ADD.

According to International Patent Classification (IPC) or to both national classification and IPC

B. FIELDS SEARCHED

Minimum documentation searched (classification system followed by classification symbols)
G03F G02B

Documentation searched other than minimum documentation to the extent that such documents are included in the fields searched

Electronic data base consulted during the international search (name of data base and, where practicable, search terms used)

EPO-Internal, WPI Data, INSPEC

C. DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
X	DE 10 2009 045694 A1 (ZEISS CARL SMT GMBH [DE]) 28 April 2011 (2011-04-28) paragraphs [0019] - [0024], [0039], [0047], [0051] - [0054]; claims 11,14; figures 1,2	15
Y	----- paragraph [0116]	1-14
X	EP 2 511 765 A2 (ZEISS CARL SMT GMBH [DE]) 17 October 2012 (2012-10-17)	15
Y	-----	1-14



Further documents are listed in the continuation of Box C.



See patent family annex.

* Special categories of cited documents :

- "A" document defining the general state of the art which is not considered to be of particular relevance
- "E" earlier application or patent but published on or after the international filing date
- "L" document which may throw doubts on priority claim(s) or which is cited to establish the publication date of another citation or other special reason (as specified)
- "O" document referring to an oral disclosure, use, exhibition or other means
- "P" document published prior to the international filing date but later than the priority date claimed

"T" later document published after the international filing date or priority date and not in conflict with the application but cited to understand the principle or theory underlying the invention

"X" document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered novel or cannot be considered to involve an inventive step when the document is taken alone

"Y" document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered to involve an inventive step when the document is combined with one or more other such documents, such combination being obvious to a person skilled in the art

"&" document member of the same patent family

Date of the actual completion of the international search 5 May 2015	Date of mailing of the international search report 03/06/2015
Name and mailing address of the ISA/ European Patent Office, P.B. 5818 Patentlaan 2 NL - 2280 HV Rijswijk Tel. (+31-70) 340-2040, Fax: (+31-70) 340-3016	Authorized officer Eisner, Klaus

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

Information on patent family members

International application No

PCT/EP2015/053287

Patent document cited in search report	Publication date	Patent family member(s)	Publication date	
DE 102009045694 A1	28-04-2011	DE 102009045694 A1 US 2011085151 A1	28-04-2011 14-04-2011	
EP 2511765	A2	17-10-2012	CN 103345128 A EP 2115535 A2 EP 2511765 A2 JP 5194030 B2 JP 2010518595 A KR 20090116731 A KR 20140054461 A TW 200900673 A US 2010039629 A1 US 2012293784 A1 US 2014226141 A1 US 2014233006 A1 WO 2008095695 A2	09-10-2013 11-11-2009 17-10-2012 08-05-2013 27-05-2010 11-11-2009 08-05-2014 01-01-2009 18-02-2010 22-11-2012 14-08-2014 21-08-2014 14-08-2008

INTERNATIONALER RECHERCHENBERICHT

Internationales Aktenzeichen

PCT/EP2015/053287

A. KLASIFIZIERUNG DES ANMELDUNGSGEGENSTANDES
INV. G03F7/20 G02B5/09
ADD.

Nach der Internationalen Patentklassifikation (IPC) oder nach der nationalen Klassifikation und der IPC

B. RECHERCHIERTE GEBIETE

Recherchierte Mindestprüfstoff (Klassifikationssystem und Klassifikationssymbole)
G03F G02B

Recherchierte, aber nicht zum Mindestprüfstoff gehörende Veröffentlichungen, soweit diese unter die recherchierten Gebiete fallen

Während der internationalen Recherche konsultierte elektronische Datenbank (Name der Datenbank und evtl. verwendete Suchbegriffe)

EPO-Internal, WPI Data, INSPEC

C. ALS WESENTLICH ANGESEHENE UNTERLAGEN

Kategorie*	Bezeichnung der Veröffentlichung, soweit erforderlich unter Angabe der in Betracht kommenden Teile	Betr. Anspruch Nr.
X	DE 10 2009 045694 A1 (ZEISS CARL SMT GMBH [DE]) 28. April 2011 (2011-04-28)	15
Y	Absätze [0019] - [0024], [0039], [0047], [0051] - [0054]; Ansprüche 11,14; Abbildungen 1,2 -----	1-14
X	EP 2 511 765 A2 (ZEISS CARL SMT GMBH [DE]) 17. Oktober 2012 (2012-10-17)	15
Y	Absatz [0116] -----	1-14

Weitere Veröffentlichungen sind der Fortsetzung von Feld C zu entnehmen Siehe Anhang Patentfamilie

* Besondere Kategorien von angegebenen Veröffentlichungen :

"A" Veröffentlichung, die den allgemeinen Stand der Technik definiert, aber nicht als besonders bedeutsam anzusehen ist

"E" frühere Anmeldung oder Patent, die bzw. das jedoch erst am oder nach dem internationalen Anmeldedatum veröffentlicht worden ist

"L" Veröffentlichung, die geeignet ist, einen Prioritätsanspruch zweifelhaft erscheinen zu lassen, oder durch die das Veröffentlichungsdatum einer anderen im Recherchenbericht genannten Veröffentlichung belegt werden soll oder die aus einem anderen besonderen Grund angegeben ist (wie ausgeführt)

"O" Veröffentlichung, die sich auf eine mündliche Offenbarung, eine Benutzung, eine Ausstellung oder andere Maßnahmen bezieht

"P" Veröffentlichung, die vor dem internationalen Anmeldedatum, aber nach dem beanspruchten Prioritätsdatum veröffentlicht worden ist

"T" Spätere Veröffentlichung, die nach dem internationalen Anmeldedatum oder dem Prioritätsdatum veröffentlicht worden ist und mit der Anmeldung nicht kollidiert, sondern nur zum Verständnis des der Erfindung zugrundeliegenden Prinzips oder der ihr zugrundeliegenden Theorie angegeben ist

"X" Veröffentlichung von besonderer Bedeutung; die beanspruchte Erfindung kann allein aufgrund dieser Veröffentlichung nicht als neu oder auf erforderlicher Tätigkeit beruhend betrachtet werden

"Y" Veröffentlichung von besonderer Bedeutung; die beanspruchte Erfindung kann nicht als auf erforderlicher Tätigkeit beruhend betrachtet werden, wenn die Veröffentlichung mit einer oder mehreren Veröffentlichungen dieser Kategorie in Verbindung gebracht wird und diese Verbindung für einen Fachmann naheliegend ist

"&" Veröffentlichung, die Mitglied derselben Patentfamilie ist

Datum des Abschlusses der internationalen Recherche	Absendedatum des internationalen Recherchenberichts
5. Mai 2015	03/06/2015

Name und Postanschrift der Internationalen Recherchenbehörde

Europäisches Patentamt, P.B. 5818 Patentlaan 2
NL - 2280 HV Rijswijk
Tel. (+31-70) 340-2040,
Fax: (+31-70) 340-3016

Bevollmächtigter Bediensteter

Eisner, Klaus

INTERNATIONALER RECHERCHENBERICHT

Angaben zu Veröffentlichungen, die zur selben Patentfamilie gehören

Internationales Aktenzeichen

PCT/EP2015/053287

Im Recherchenbericht angeführtes Patentdokument	Datum der Veröffentlichung	Mitglied(er) der Patentfamilie	Datum der Veröffentlichung
DE 102009045694 A1	28-04-2011	DE 102009045694 A1 US 2011085151 A1	28-04-2011 14-04-2011

EP 2511765	A2	17-10-2012	CN 103345128 A EP 2115535 A2 EP 2511765 A2 JP 5194030 B2 JP 2010518595 A KR 20090116731 A KR 20140054461 A TW 200900673 A US 2010039629 A1 US 2012293784 A1 US 2014226141 A1 US 2014233006 A1 WO 2008095695 A2
			09-10-2013 11-11-2009 17-10-2012 08-05-2013 27-05-2010 11-11-2009 08-05-2014 01-01-2009 18-02-2010 22-11-2012 14-08-2014 21-08-2014 14-08-2008
