



(10) **DE 10 2014 217 620 A1** 2016.03.03

(12) **Offenlegungsschrift**

(21) Aktenzeichen: **10 2014 217 620.4**

(22) Anmeldetag: **03.09.2014**

(43) Offenlegungstag: **03.03.2016**

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

(71) Anmelder:

Carl Zeiss SMT GmbH, 73447 Oberkochen, DE

(72) Erfinder:

**Endres, Martin, 89551 Königsbrunn, DE; Bieling,
Stig, 73434 Aalen, DE**

(56) Ermittelter Stand der Technik:

DE 10 2012 201 235 A1

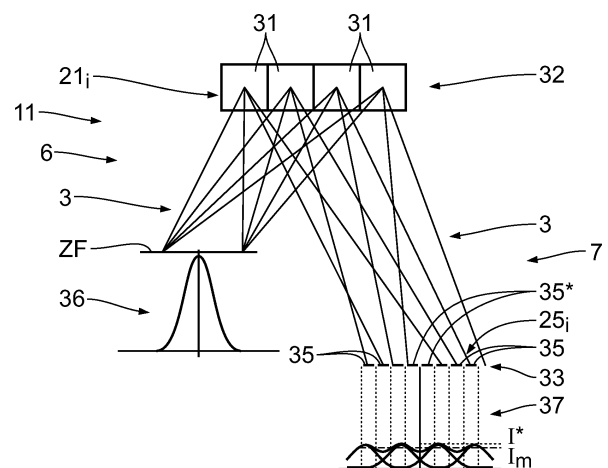
DE 10 2012 212 453 A1

Prüfungsantrag gemäß § 44 PatG ist gestellt.

Die folgenden Angaben sind den vom Anmelder eingereichten Unterlagen entnommen

(54) Bezeichnung: **Beleuchtungsoptik für eine Projektionsbelichtungsanlage**

(57) Zusammenfassung: Eine Beleuchtungsoptik (11) für eine Projektionsbelichtungsanlage umfasst ein erstes Facetten-Element (6) mit einer Vielzahl von ersten Facetten (21_i), welche jeweils durch eine Vielzahl von verlagerbaren Einzelspiegeln (31) gebildet sind, und ein zweites Facetten-Element (7) mit einer Vielzahl von zweiten Facetten (25_i). Hierbei sind die Verlagerungspositionen der Einzelspiegeln (31) der ersten Facetten (21_i) jeweils derart gewählt, dass bei einer vorgegebenen Intensitätsverteilung (36) einer Beleuchtungsstrahlung (3) in einem Zwischenfokus (ZF) die Beleuchtungsstrahlung (3) im Bereich der Facetten (25_i) des zweiten Facetten-Elements (7) eine Intensitätsverteilung (37) aufweist, mit einem Maximum, welches höchstens so groß ist wie eine vorgegebene maximale Intensität (I^*), oder welches um höchstens einen vorgegebenen Faktor oder Betrag größer ist als ein Mittelwert der Intensitätsverteilung (37).



Beschreibung

[0001] Die Erfindung betrifft eine Beleuchtungsoptik für eine Projektionsbelichtungsanlage. Die Erfindung betrifft weiterhin ein Verfahren zur Einstellung einer derartigen Beleuchtungsoptik. Ferner betrifft die Erfindung einen Facettenspiegel für eine Beleuchtungsoptik einer Projektionsbelichtungsanlage. Außerdem betrifft die Erfindung ein Beleuchtungssystem mit einer derartigen Beleuchtungsoptik, ein optisches System mit einer derartigen Beleuchtungsoptik und eine Projektionsbelichtungsanlage mit einem derartigen optischen System. Schließlich betrifft die Erfindung ein Verfahren zur Herstellung eines mikro- oder nanostrukturierten Bauelements sowie ein nach diesem Verfahren hergestelltes Bauelement.

[0002] Eine Beleuchtungsoptik für eine Projektionsbelichtungsanlage ist aus der WO 2010/099807 A1 bekannt.

[0003] Es wurde erkannt, dass die Spiegel einer derartigen Beleuchtungsoptik beim Betrieb der Projektionsbelichtungsanlage einer großen thermischen Last ausgesetzt sind.

[0004] Eine Aufgabe der Erfindung besteht darin, eine Beleuchtungsoptik für eine Projektionsbelichtungsanlage zu verbessern, insbesondere im Hinblick auf die thermische Last, welcher die einzelnen Bestandteile der Beleuchtungsoptik beim Betrieb der Projektionsbelichtungsanlage ausgesetzt sind.

[0005] Diese Aufgabe wird durch die Merkmale des Anspruchs 1 gelöst. Der Kern der Erfindung besteht darin, die Verlagerungspositionen der Einzelspiegel, welche die ersten Facetten bilden, derart zu wählen, dass die Intensitätsverteilung der Beleuchtungsstrahlung im Bereich des zweiten Facettenelements einen vorgegebenen Maximalwert nicht überschreitet. Der Maximalwert kann hierbei absolut als maximal zulässige Intensität I_{max} vorgegeben werden. Er kann auch relativ zu einem Mittelwert der Intensitätsverteilung vorgegeben sein. Der Mittelwert der Intensitätsverteilung kann hierbei insbesondere als Integral der Intensitätsverteilung über die Fläche der jeweiligen zweiten Facette geteilt durch den Flächeninhalt dieser Facetten gegeben sein.

[0006] Das Maximum der Intensitätsverteilung im Bereich dieser Facette kann beispielsweise höchstens um einen Faktor 32, insbesondere um einen Faktor 16, insbesondere höchstens 8, insbesondere höchstens 4, insbesondere höchstens 2, insbesondere höchstens 1,5 größer sein als der Mittelwert.

[0007] Das Maximum der Intensitätsverteilung kann auch um höchstens 100 kW/m², insbesondere höchstens 50 kW/m², insbesondere höchstens 30 kW/m², insbesondere höchstens 20 kW/m², insbesondere

höchstens 10 kW/m² größer sein als der Mittelwert der Intensitätsverteilung.

[0008] Die vorgegebene maximale Intensität I_{max} kann insbesondere höchstens 500 kW/m², insbesondere höchstens 300 kW/m², insbesondere höchstens 200 kW/m², insbesondere höchstens 100 kW/m², insbesondere höchstens 50 kW/m², insbesondere höchstens 30 kW/m², insbesondere höchstens 20 kW/m², insbesondere höchstens 10 kW/m², insbesondere höchstens 5 kW/m², insbesondere höchstens 2 kW/m² betragen.

[0009] Erfindungsgemäß wurde erkannt, dass es der Aufbau des ersten Facettenelements mit einer Vielzahl von Einzelspiegeln, welche individuell verlagerbar sind, ermöglicht, die Bilder des Zwischenfokus, welche jeder dieser Einzelspiegel auf der jeweils zugeordneten zweiten Facette erzeugt, gegeneinander zu verschieben. Hierdurch kann die Intensitätsverteilung im Bereich des zweiten Facettenelements beeinflusst werden. Es ist insbesondere möglich, die Intensitätsverteilung im Bereich des zweiten Facettenelements, insbesondere im Bereich jeder dieser zweiten Facetten, durch eine Verlagerung einer Teilmenge der Einzelspiegel derart zu beeinflussen, dass ihr Maximum mindestens eines der vorgenannten Kriterien erfüllt.

[0010] Die Anzahl der Bilder des Zwischenfokus auf einer gegebenen der zweiten Facetten kann insbesondere so groß sein wie die Anzahl der Einzelspiegel, welche die zugehörige erste Facette bilden. Diese Anzahl kann im Bereich von 1 bis 10000, insbesondere im Bereich von 1 bis 3000, insbesondere im Bereich von 1 bis 1000 liegen.

[0011] Bei den Angaben zur Intensität bzw. zur Intensitätsverteilung handelt es sich insbesondere um zeitlich gemittelte Werte. Prinzipiell ist es auch möglich, dass die angegebenen Werte die zeitlichen Spitzenwerte der Intensität angeben.

[0012] Bei den Einzelspiegeln handelt es sich insbesondere um Mikrospiegel. Die Einzelspiegel des ersten Facettenelements weisen insbesondere Seitenlängen von weniger als 1 cm, insbesondere weniger als 5 mm, insbesondere weniger als 2 mm, insbesondere weniger als 1 mm, insbesondere weniger als 700 µm, insbesondere weniger als 500 µm auf.

[0013] Gemäß einem weiteren Aspekt der Erfindung umfasst das zweite Facettenelement eine Spiegel-Anordnung mit einer Mehrzahl von modularen Vielspiegel-Elementen, wobei die Vielspiegel-Elemente jeweils Abmessungen aufweisen, welche mindestens so groß sind wie die der Bilder des Zwischenfokus im Bereich des zweiten Facettenelements. Die modularen Vielspiegel-Elemente werden auch als Baustein oder Bricks bezeichnet. Die Bricks weisen jeweils Ab-

messungen auf, welche mindestens so groß sind wie das Quellbild, insbesondere das Bild des Zwischenfokus im Bereich des zweiten Facettenelements.

[0014] Die zweiten Facetten werden insbesondere durch eine Vielzahl von Einzelspiegeln, insbesondere eine Vielzahl von Mikrospiegeln, gebildet. Die modularen Vielspiegel-Elemente sind insbesondere als Vielspiegelanordnung (Multi Mirror Array, MMA), insbesondere als mikroelektromechanisches System (MEMS), insbesondere als MEMS-MMA, ausgebildet. Für Details derartiger MEMS-MMA sei beispielsweise auf die DE 10 2011 006 100 A1 verwiesen. Durch eine Ausbildung des zweiten Facettenelements, insbesondere der zweiten Facetten, durch derartige MEMS-MMA wird die Flexibilität der Beleuchtungsoptik, insbesondere bei der Ausbildung von Beleuchtungskanälen zur Beleuchtung des Beleuchtungsfeldes sowie zur Einstellung eines vorgegebenen Beleuchtungssettings erheblich erweitert.

[0015] Bei den zweiten Facetten handelt es sich insbesondere um virtuelle Facetten. Es kann sich insbesondere um Pupillenfacetten handeln. Es kann sich auch allgemein um Facetten eines spekularen Reflektors handeln.

[0016] Die zweiten Facetten können insbesondere flexibel in Größe und/oder Form und/oder Anordnung verändert, insbesondere an vorgegebene Randbedingungen angepasst werden.

[0017] Gemäß einem Aspekt der Erfindung sind die Verlagerungspositionen einer Mehrzahl der Einzelspiegel einer gegebenen ersten Facette derart gewählt, dass sie Bilder des Zwischenfokus auf der jeweils zugeordneten zweiten Facette erzeugen, deren Maxima um einen Mindestbetrag gegeneinander versetzt sind. Es gibt insbesondere zu einer gegebenen ersten Facette mindestens zwei Einzelspiegel, deren Verlagerungspositionen derart gewählt sind, dass sie Bilder des Zwischenfokus auf der jeweils zugeordneten zweiten Facette erzeugen, deren Maxima um einen Mindestbetrag gegeneinander versetzt sind.

[0018] Hierdurch kann das Maximum der Intensitätsverteilung auf der entsprechenden zweiten Facette verringert werden. Der Mindestbetrag des Versatzes der Bilder des Zwischenfokus ist insbesondere mindestens so groß wie die Breite eines der Einzelspiegel, welche die zweiten Facetten bilden. Er kann auch doppelt so groß sein wie diese Breite. Der Versatz, insbesondere der Mindestbetrag desselben, kann auch in Abhängigkeit von der Halbwertsbreite der Intensitätsverteilung des Bildes des Zwischenfokus auf der jeweiligen zweiten Facette definiert sein. Der Mindestbetrag kann insbesondere so groß sein wie die halbe, die einfache, die doppelte oder die dreifache Halbwertsbreite.

[0019] Die Verlagerungspositionen der Einzelspiegel sind insbesondere derart gewählt, dass höchstens 20 %, insbesondere höchstens 10 %, insbesondere höchstens 5 %, insbesondere höchstens 1 % der Energie eines Plasmabildes jenseits der jeweils zugeordneten zweiten Facette liegt, das heißt von dieser zweiten Facette nicht reflektiert werden kann.

[0020] Durch die maximal mögliche Verschiebung wird ein Gebiet definiert, innerhalb dessen die Verschiebungen vorzugsweise möglichst gleichmäßig verteilt sind. Die Verlagerungspositionen sind insbesondere derart gewählt, dass die Intensitätsverteilung auf der zweiten Facette möglichst homogen ist.

[0021] Der oben genannte Mindestbetrag des Versatzes der Bilder des Zwischenfokus auf der zweiten Facette kann eine untere Schranke für den maximalen Abstand zweiter Zwischenfokusbilder auf derselben virtuellen zweiten Facette bilden.

[0022] Durch einen Versatz der Bilder des Zwischenfokus gegeneinander kann die Intensitätsverteilung auf den zweiten Facetten gezielt verbreitert werden. Es ist insbesondere möglich, Intensität von einem Zentralbereich einer zweiten Facette in einen Randbereich zu verschieben. Es ist insbesondere möglich, die Ausleuchtung der zweiten Facetten homogener zu machen.

[0023] Gemäß einem weiteren Aspekt der Erfindung sind die Einzelspiegel mindestens einer der ersten Facetten derart verlagert, dass bei einer gegebenen Intensitätsverteilung im Zwischenfokus die Intensitätsverteilung des Bildes des Zwischenfokus auf der entsprechenden zweiten Facette eine Halbwertsbreite aufweist, welche um mindestens 10%, insbesondere mindestens 20%, insbesondere mindestens 30%, insbesondere mindestens 50%, insbesondere mindestens 70%, insbesondere mindestens 100%, insbesondere mindestens 150%, insbesondere mindestens 200%, insbesondere mindestens 300% größer ist als die um einen Abbildungsmaßstab der Beleuchtungsoptik skalierte Halbwertsbreite der Intensitätsverteilung im Zwischenfokus.

[0024] Durch eine Verbreiterung der Intensitätsverteilung des Bildes des Zwischenfokus auf den zweiten Facetten lässt sich der Maximalwert der Intensität auf den zweiten Facetten verringern. Erfindungsgemäß wurde erkannt, dass es im vorliegenden Zusammenhang von nebengeordneter Bedeutung ist, dass hierbei im Allgemeinen auch die Form der Intensitätsverteilung auf den zweiten Facetten verändert wird.

[0025] Gemäß einem weiteren Aspekt der Erfindung weisen mindestens zwei der zweiten Facetten unterschiedliche Abmessungen auf.

[0026] Es ist insbesondere möglich, diejenigen der zweiten Facetten, welche zur Ausleuchtung besonders großer Teilfelder dienen, größer auszubilden als diejenigen der zweiten Facetten, welche kleinere Teilfelder ausleuchten. Die Größe der virtuellen zweiten Facetten kann insbesondere in Abhängigkeit der Größe der auszuleuchtenden Teilfelder gewählt werden. Eine größere Größe der zweiten Facetten ermöglicht eine größere Verschiebung der Bilder des Zwischenfokus. Die Strahlungsleistung kann somit auf einen größeren Bereich verteilt werden, das heißt die Intensität, insbesondere die maximale Intensität der Beleuchtungsstrahlung auf den zweiten Facetten, kann verringert werden.

[0027] Vorzugsweise weisen die Facetten, welche Teilfelder beleuchten, die bezüglich der Scanrichtung auf einer gemeinsamen Höhe angeordnet sind, das heißt die mit dem nachfolgend noch eingeführten Koordinatensystem dieselbe y-Koordinate aufweisen, eine identische Form auf. Hierdurch können Feldabhängigkeiten in der Pupille vermieden werden.

[0028] Andererseits können die Facetten in Abhängigkeit von der y-Koordinate unterschiedliche Gitterkonstanten in x-Richtung der Pupille aufweisen. Es kann insbesondere vorgesehen sein, dass mindestens zwei Facetten, welche unterschiedliche y-Koordinaten aufweisen, unterschiedliche Abmessungen in x-Richtung aufweisen.

[0029] Dies führt zu einer sehr charakteristischen Pupille. Diese hat abhängig von der Pupillenkoordinaten in y-Richtung einen variablen Abstand der Beleuchtungskanäle in x-Richtung. Diese Eigenschaft der Pupille ist sehr markant und muss beim Auslegen der Maske berücksichtigt werden.

[0030] Eine weitere Aufgabe der Erfindung besteht darin, ein Verfahren zur Einstellung einer Beleuchtungsoptik zu verbessern.

[0031] Diese Aufgabe wird gelöst durch ein Verfahren mit den folgenden Schritten:

- Bereitstellen einer Beleuchtungsoptik gemäß der vorherigen Beschreibung,
- Vorgabe einer Intensitätsverteilung im Zwischenfokus,
- Vorgabe einer Zuordnung zumindest einer Teilmenge der ersten Facetten zu zumindest einer Teilmenge der zweiten Facetten zur Ausbildung von Beleuchtungskanälen,
- Vorgabe einer maximalen Intensität (I_{\max}), mit welcher die zweiten Facetten beaufschlagt werden dürfen,
- Ermittlung einer Verteilung der Intensität ($I(\sigma)$), mit welcher die zweiten Facetten bei der gegebenen Zuordnung beaufschlagt werden,

– Verlagerung einer Teilmenge der Einzelspiegel der ersten Facetten so, dass die Intensität ($I(\sigma)$) auf den zweiten Facetten höchstens so groß ist wie I_{\max} .

[0032] Der Kern der Erfindung besteht darin, eine Teilmenge der Einzelspiegel der ersten Facetten derart zu verlagern, dass die Intensitätsverteilung auf den zweiten Facetten bestimmte Randbedingungen erfüllt. Durch eine Verlagerung der Einzelspiegel der ersten Facetten kann insbesondere sichergestellt werden, dass die maximale Intensität auf den zweiten Facetten höchstens so groß ist wie ein vorgegebener Maximalwert I_{\max} . Eine Verlagerung einer Teilmenge der Einzelspiegel der ersten Facetten ist insbesondere dann vorgesehen, sofern die Intensitätsverteilung $I(\sigma)$ auf mindestens einer der zweiten Facetten ein Maximum aufweist, welches größer ist als der vorgegebene zulässige Maximalwert I_{\max} , $\max(I(\sigma)) > I_{\max}$.

[0033] Wie bereits vorhergehend beschrieben wurde, ist es möglich, durch eine Verlagerung einer Teilmenge der Einzelspiegel die Intensitätsverteilung auf den zweiten Facetten zu verbreitern. Es ist insbesondere möglich, die Intensitätsverteilung über die zweiten Facetten homogener zu machen.

[0034] Gemäß einem weiteren Aspekt der Erfindung wird ein Mindesttransmissionsgrad T_{\min} vorgegeben, welcher nach der Verlagerung der Einzelspiegel von den zweiten Facetten erreicht wird.

[0035] Hierbei handelt es sich um eine Randbedingung, welche bei der Verlagerung der Einzelspiegel der ersten Facetten zu berücksichtigen ist. Diesbezüglich wurde erkannt, dass eine zu große Verlagerung der Einzelspiegel dazu führt, dass die von diesen reflektierte Beleuchtungsstrahlung nicht mehr auf die entsprechende zugehörige der zweiten Facetten fällt und somit zur Beleuchtung des Beleuchtungsfeldes verloren geht. Anschaulich wird dies vereinfachend dahingehend ausgedrückt, dass die Beleuchtungsstrahlung von den zweiten Facetten herunterfällt. Dies soll vorteilhafterweise vermieden werden.

[0036] Der Begriff Transmissionsgrad sei in diesem Zusammenhang geometrisch verstanden. Er sei insbesondere dahingehend verstanden, dass er das Verhältnis der von einer der zweiten Facetten nach der Verlagerung der Einzelspiegel der ersten Facetten tatsächlich reflektierten Leistung der Beleuchtungsstrahlung zu der theoretisch möglichen reflektierten Leistung der Beleuchtungsstrahlung im Falle, dass sämtliche Bilder des Zwischenfokus auf der zweiten Facette zentriert sind und die zweite Facette eine einfach zusammenhängende, insbesondere eine lückenlose Reflexionsfläche aufweist, angibt.

[0037] Der Transmissionsgrad dient mit dieser Definition insbesondere zur Charakterisierung des An-

teils der Beleuchtungsstrahlung, welche durch die Verlagerung der Einzelspiegel der ersten Facetten von den zweiten Facetten herunterfällt.

[0038] Mit der Randbedingung eines vorgegebenen Mindesttransmissionsgrades kann erreicht werden, dass die maximale Intensität auf den zweiten Facetten reduziert wird, während der Mittelwert der Intensität auf den zweiten Facetten sowie insbesondere das Flächenintegral der Intensitätsverteilung über die zweiten Facetten, das heißt die von den zweiten Facetten jeweils reflektierte Leistung, höchstens bis zu einem vorgegebenen Wert abfällt, insbesondere im Wesentlichen konstant bleibt.

[0039] Gemäß einem weiteren Aspekt der Erfindung wird die Größe der zweiten Facetten in Abhängigkeit von einer zu reflektierenden Leistung und/oder einer zu erwartenden Thermallast und/oder einem vorgegebenen Mindesttransmissionswert gewählt wird.

[0040] Es ist insbesondere möglich, die Größe der zweiten Facetten, welche insbesondere durch eine Vielzahl von Einzelspiegeln gebildet sind, das heißt welche als virtuelle zweite Facetten ausgebildet sind, je nach Bedarf flexibel zu wählen. Diesbezüglich ist es möglich, dass sämtliche der zweiten Facetten eine identische Form und/oder eine identische Größe aufweisen. Es ist jedoch auch möglich, dass mindestens zwei der zweiten Facetten eine unterschiedliche Form und/oder eine unterschiedliche Größe aufweisen. Die Größe der zweiten Facetten kann insbesondere auch in Abhängigkeit des zu beleuchtenden Teilfeldes gewählt werden. Allgemein können die zweiten Facetten, welche zur Ausleuchtung größerer Teilfelder dienen, größer ausgebildet sein als diejenigen der zweiten Facetten, welche zur Ausleuchtung kleinerer Teilfelder dienen.

[0041] Eine weitere Aufgabe der Erfindung besteht darin, einen Facettenspiegel für eine Beleuchtungsoptik zu verbessern.

[0042] Diese Aufgabe wird durch einen Facettenspiegel mit einer Vielspiegel-Anordnung mit einer Vielzahl von verlagerbaren Einzelspiegeln gelöst, wobei die Anzahl und Anordnung der Einzelspiegel der Vielspiegel-Anordnung derart gelöst ist, dass die Möglichkeiten einer Gruppierung derselben zu virtuellen Facetten eine reduzierbare Darstellung aufweist.

[0043] Die Vielspiegel-Anordnung kann insbesondere als Matrix, insbesondere als quadratische Matrix, ausgebildet sein. Sie weist insbesondere n Zeilen und m Spalten auf. Hierbei kann gelten: $n = m$ oder $n \neq m$. Hierbei sind n und m insbesondere derart gewählt, dass sie jeweils mindestens zwei unterschiedliche Primfaktoren aufweisen; n und m sind insbesondere derart gewählt, dass sie eine besonders hohe Anzahl Teiler aufweisen. Hierdurch wird die Flexibi-

lität bei der lückenlosen Aufteilung der Vielspiegel-Anordnung, insbesondere bei der Aufteilung in identische Teilfelder, vergrößert. Bei einem Spiegelarray mit bis zu 100 Zeilen und/oder Spalten beträgt die Zeilen- und/oder Spaltenanzahl insbesondere 12, 18, 20, 24, 28, 30, 32, 36, 40, 42, 44, 45, 48 oder 60. Besonders bevorzugt sind die Werte 12, 24, 36, 48 oder 60. Dies sind jeweils die kleinsten ganzen Zahlen, welche mindestens 6, 8, 9, 10 bzw. 12 Teiler aufweisen.

[0044] Der Facettenspiegel ist insbesondere Bestandteil des zweiten Facettenelements. Er kann insbesondere Bestandteil eines spekularen Reflektors sein. Bei Anordnung desselben in einer Pupillenebene der Beleuchtungsoptik wird dieser auch als Pupillenfacettenspiegel bezeichnet.

[0045] Weitere Aufgaben der Erfindung bestehen darin, ein Beleuchtungssystem für eine Projektionsbelichtungsanlage, ein optisches System für eine Projektionsbelichtungsanlage und eine Projektionsbelichtungsanlage zu verbessern. Diese Aufgaben werden jeweils durch ein entsprechendes System bzw. eine entsprechende Anlage mit einer Beleuchtungsoptik gemäß der vorhergehenden Beschreibung gelöst. Die Vorteile ergeben sich aus denen, welche für die Beleuchtungsoptik beschrieben wurden.

[0046] Bei einem Beleuchtungssystem mit einer gegebenen Strahlungsquelle lässt sich insbesondere die Intensitätsverteilung der Beleuchtungsstrahlung im Zwischenfokus explizit ermitteln. Die Beleuchtungsoptik gemäß der vorhergehenden Beschreibung, insbesondere die Einstellung derselben, insbesondere die Einstellung der Verlagerung der Einzelspiegel des ersten Facettenelements, kann in diesem Fall an die konkreten Details der Strahlungsquelle angepasst werden.

[0047] Weitere Aufgaben der Erfindung bestehen darin, ein Verfahren zur Herstellung eines mikro- oder nanostrukturierten Bauelements sowie ein derartig hergestelltes Bauelement zu verbessern. Auch diese Aufgaben werden dadurch gelöst, dass hierbei eine Beleuchtungsoptik gemäß der vorhergehenden Beschreibung vorgesehen ist. Die Vorteile ergeben sich wiederum aus den bereits beschriebenen.

[0048] Weitere Vorteile, Details und Einzelheiten der Erfindung ergeben sich aus der Beschreibung von Ausführungsbeispielen anhand der Zeichnungen. Es zeigen:

[0049] Fig. 1 stark schematisch im Meridionalschnitt eine Projektionsbelichtungsanlage für EUV-Mikrolithographie mit einer Strahlungsquelle, einer Beleuchtungsoptik und einer Projektionsoptik,

[0050] Fig. 2 schematisch und ebenfalls im Meridionalschnitt einen Strahlengang ausgewählter Einzelstrahlen von Beleuchtungsstrahlung innerhalb der Beleuchtungsoptik nach Fig. 1, ausgehend von einem Zwischenfokus bis hin zu einem in einer Objektebene angeordneten Retikel,

[0051] Fig. 3 schematisch eine Ausschnittsvergrößerung des Strahlengangs eines der Beleuchtungskanäle gemäß Fig. 2,

[0052] Fig. 4 eine Darstellung gemäß Fig. 3 nach einer Verlagerung der Einzelspiegel der ersten Facette,

[0053] Fig. 5 eine schematische Darstellung der Intensitätsverteilung im Bereich einer der zweiten Facetten beim Strahlengang gemäß Fig. 3,

[0054] Fig. 6 eine entsprechende Darstellung für den Strahlengang gemäß Fig. 4,

[0055] Fig. 7 eine Darstellung der normierten gemittelten Leistungsdichte für jeden der Einzelspiegel einer zweiten Facette bei einer Intensitätsverteilung gemäß Fig. 5,

[0056] Fig. 8 eine entsprechende Darstellung für eine Intensitätsverteilung gemäß Fig. 6,

[0057] Fig. 9 schematisch eine Darstellung zur exemplarischen Verdeutlichung des Zusammenhangs zwischen der erzielbaren Reduktion der absorbierten Leistungsdichte in Abhängigkeit von einer vorgegebenen Transmission (y-Achse) und Plasmabildgröße (x-Achse),

[0058] Fig. 10 eine Darstellung gemäß Fig. 9 im Falle von größeren virtuellen zweiten Facetten,

[0059] Fig. 11 schematisch eine Unterteilung eines modularen Vielspiegel-Elements mit 24×24 Mikrospeiegeln in virtuelle zweite Facetten, wobei die einzelnen Facetten unterschiedliche Formen aufweisen,

[0060] Fig. 12 eine schematische Darstellung eines der Pole eines y-Dipol-Beleuchtungssettings für eine Einteilung der virtuellen zweiten Facetten gemäß Fig. 11, und

[0061] Fig. 13 eine schematische Darstellung entsprechend der Fig. 4 zur Erläuterung einer vorteilhaften Verkipfung der Einzelspiegel der ersten Facette.

[0062] Eine in der Fig. 1 stark schematisch und im Meridionalschnitt dargestellte Projektionsbelichtungsanlage 1 für die Mikrolithographie hat eine Strahlungsquelle 2 für Beleuchtungsstrahlung 3. Bei der Strahlungsquelle handelt es sich um eine EUV-Lichtquelle, die Licht in einem Wellenlängenbereich zwischen 5 nm und 30 nm erzeugt. Hierbei kann

es sich um eine LPP-(Laser Produced Plasma, lasererzeugtes Plasma)Lichtquelle, um eine DPP-(Discharge Produced Plasma, Plasmaerzeugung mittels Gasentladung)Lichtquelle oder um eine synchrotronstrahlungs-basierte Lichtquelle, beispielsweise um einen Freie-Elektronen-Laser (FEL), handeln.

[0063] Zur Führung der Beleuchtungsstrahlung 3, ausgehend von der Strahlungsquelle 2, dient eine Übertragungsoptik 4. Diese hat einen in der Fig. 1 lediglich hinsichtlich seiner reflektierenden Wirkung dargestellten Kollektor 5, und einen ersten Facettenspiegel 6, der auch als Übertragungs-Facettenspiegel oder als Feldfacettenspiegel oder allgemein als erstes Facettenelement bezeichnet ist. Zwischen dem Kollektor 5 und dem Übertragungs-Facettenspiegel 6 ist ein Zwischenfokus ZF der Beleuchtungsstrahlung 3 angeordnet. Eine numerische Apertur der Beleuchtungsstrahlung 3 im Bereich des Zwischenfokus ZF beträgt beispielsweise $NA = 0,182$. Dem ersten Facettenspiegel 6 und damit der Übertragungsoptik 4 nachgeordnet ist ein zweiter Facettenspiegel 7, der auch als zweites Facettenelement bezeichnet wird. Die optischen Komponenten 5 bis 7 sind Bestandteile einer Beleuchtungsoptik 11 der Projektionsbelichtungsanlage 1.

[0064] Die Beleuchtungsoptik 11 bildet zusammen mit der Strahlungsquelle 2 Bestandteile eines Beleuchtungssystems 20.

[0065] Der erste Facettenspiegel 6 ist in einer Fellebene der Beleuchtungsoptik 11 angeordnet.

[0066] Der zweite Facettenspiegel 7 kann in einer Ausführung der Beleuchtungsoptik 11 in oder im Bereich einer Pupillenebene der Beleuchtungsoptik 11 angeordnet sein und wird dann auch als Pupillenfacettenspiegel bezeichnet. In einer weiteren Ausführung kann der Beleuchtungsoptik 11 auch beabstandet zu der Pupillenebene oder den Pupillenebenen der Beleuchtungsoptik 11 angeordnet sein. Eine derartige Ausführung wird auch als spekulärer Reflektor bezeichnet. Grundsätzlich ist die Anordnung des zweiten Facettenspiegels 7 in einer Pupillenebene ein Spezialfall des spekulären Reflektors. Zur besseren begrifflichen Abgrenzung wird der Begriff spekulärer Reflektor im Folgenden jedoch ausschließlich für eine Anordnung des zweiten Facettenspiegels 7 beabstandet zu der oder den Pupillenebenen der Beleuchtungsoptik 11 bezeichnet. Der allgemeine Fall, welcher nicht auf eine bestimmte Anordnung innerhalb der Beleuchtungsoptik 11 beschränkt ist, wird der Einfachheit halber als zweiter Facettenspiegel 7 bezeichnet.

[0067] Dem zweiten Facettenspiegel 7 im Strahlengang der Beleuchtungsstrahlung 3 nachgeordnet ist ein Retikel 12, das in einer Objektebene 9 einer nachgelagerten Projektionsoptik 10 der Projektionsbelich-

tungsanlage **1** angeordnet ist. Bei der Projektionsoptik **10** und bei den nachfolgend beschriebenen Projektionsoptiken der weiteren Ausführungen handelt es sich jeweils um ein Projektionsobjektiv. Mit der Beleuchtungsoptik **11** wird ein Objektfeld **8** auf dem Retikel **12** in der Objektebene **9** definiert ausgeleuchtet. Das Objektfeld **8** stellt gleichzeitig ein Beleuchtungsfeld der Beleuchtungsoptik **11** dar. Generell gilt, dass das Beleuchtungsfeld so ausgebildet ist, dass das Objektfeld **8** im Beleuchtungsfeld angeordnet werden kann.

[0068] Der zweite Facettenspiegel **7** ist wie auch der erste Facettenspiegel **6** Teil einer Pupillen-Beleuchtungseinheit der Beleuchtungsoptik und dient zur Beleuchtung einer Eintrittspupille der Projektionsoptik **10** mit der Beleuchtungsstrahlung **3** mit vorgegebener Pupillen-Intensitätsverteilung. Die Eintrittspupille der Projektionsoptik **10** kann im Beleuchtungsstrahlengang vor dem Objektfeld **8** oder auch nach dem Objektfeld **8** angeordnet sein.

[0069] Bei der Ausführung der Beleuchtungsoptik **11** mit in einer Pupillenebene angeordnetem Pupillen-Facettenspiegel **7** kann diese Pupillenebene über eine nachfolgende Transferoptik in die Eintrittspupille der Projektionsoptik **10** abgebildet werden. Alternativ kann der Beleuchtungsvorgabe-Facettenspiegel **10** auch in der Pupillenebene der Eintrittspupille der Projektionsoptik **10** angeordnet sein. Bei der Ausführung als spekulärer Reflektor ist keine solche Transferoptik notwendig und es spielt prinzipiell keine Rolle, ob die Eintrittspupille der Projektionsoptik **10** im Beleuchtungsstrahlengang vor dem Objektfeld **8** oder nach dem Objektfeld **8** angeordnet ist.

[0070] Zur Erleichterung der Darstellung von Lagebeziehungen wird nachfolgend ein kartesisches xyz-Koordinatensystem verwendet. Die x-Richtung verläuft in der **Fig. 1** senkrecht zur Zeichenebene in diese hinein. Die y-Richtung verläuft in die **Fig. 1** nach rechts. Die z-Richtung verläuft in die **Fig. 1** nach unten. In der Zeichnung verwendete Koordinatensysteme haben jeweils parallel zueinander verlaufende x-Achsen. Der Verlauf einer z-Achse dieser Koordinatensysteme folgt einer jeweiligen Hauptrichtung der Strahlung **3** innerhalb der jeweils betrachteten Figur. Die y-Richtung ist parallel zur Scanrichtung, in welcher das Retikel **12** gescannt wird.

[0071] Das Objektfeld **8** hat eine bogenförmige bzw. teilkreisförmige Form und ist begrenzt von zwei zueinander parallelen Kreisbögen und zwei geraden Seitenkanten, die in y-Richtung mit einer Länge y_0 verlaufen und in x-Richtung einen Abstand x_0 zueinander haben. Das Aspektverhältnis x_0/y_0 beträgt 13 zu 1. Ein Insert der **Fig. 1** zeigt eine nicht maßstabsgerechte Draufsicht des Objektfeldes **8**. Eine Berandungsform **8a** ist bogenförmig. Bei einem alternativen und ebenfalls möglichen Objektfelds **8** ist dessen

Berandungsform rechteckig, ebenfalls mit Aspektverhältnis x_0/y_0 .

[0072] Die Projektionsoptik **10** ist in der **Fig. 1** lediglich teilweise und stark schematisch angedeutet. Dargestellt ist eine objektfeldseitige numerische Apertur **13** und eine bildfeldseitige numerische Apertur **14** der Projektionsoptik **10**. Zwischen angedeuteten optischen Komponenten **15**, **16** der Projektionsoptik **10**, die beispielsweise als für die Beleuchtungsstrahlung **3** reflektierende Spiegel ausgeführt sein können, liegen weitere, in der **Fig. 1** nicht dargestellte optische Komponenten der Projektionsoptik **10** zur Führung der Beleuchtungsstrahlung **3** zwischen diesen optischen Komponenten **15**, **16**.

[0073] Die Projektionsoptik **10** bildet das Objektfeld **8** in ein Bildfeld **17** in einer Bildebene **18** auf einem Wafer **19** ab, der, wie auch das Retikel **12**, von einem nicht näher dargestellten Halter getragen wird. Sowohl der Retikelhalter als auch der Waferhalter sind über entsprechende Verlagerungsantriebe sowohl in der x-Richtung als auch in der y-Richtung verlagerbar.

[0074] Die y-Richtung ist insbesondere parallel zur Scanrichtung.

[0075] Der erste Facettenspiegel **6** hat eine Vielzahl von ersten Facetten **21_i**. Die ersten Facetten **21_i** sind in unterschiedliche Verlagerungspositionen verlagerbar. Sie werden auch als schaltbare erste Facetten **21_i** bezeichnet.

[0076] Die ersten Facetten **21_i** sind jeweils durch eine Vielzahl von verlagerbaren Einzelspiegeln **31** gebildet. Bei den Einzelspiegeln **31** handelt es sich insbesondere um Mikrospiegel, das heißt um Spiegel mit einer Kantenlänge im Mikrometerbereich. Die Einzelspiegel **31** können jedoch auch eine Kantenlänge von bis zu einigen Millimetern aufweisen.

[0077] Die Einzelspiegel **31** sind insbesondere als mikroelektromechanisches System (MEMS) ausgebildet. Sie sind als Vielspiegel-Anordnung (MMA, Multi Mirror Array) **32** ausgebildet.

[0078] Der erste Facettenspiegel **6** kann insbesondere eine Vielzahl modularer MMAs **32** umfassen.

[0079] Die einzelnen Einzelspiegel **31** sind jeweils verlagerbar. Sie weisen insbesondere mindestens zwei Freiheitsgrade, insbesondere mindestens zwei Kippfreiheitsgrade, auf. Für Details der Einzelspiegel **31** sowie insbesondere deren Anordnung in der Vielspiegelanordnung **32** sei auf die DE 10 2011 006 100 A1 verwiesen.

[0080] Die ersten Facetten **21** werden durch eine Vielzahl der Einzelspiegel **31** gebildet. Es handelt

sich insbesondere um virtuelle erste Facetten. Die Gruppierung der Einzelspiegel **31** zu einzelnen ersten Facetten **21** ist flexibel veränderbar.

[0081] Von den ersten Facetten **21_i** ist im yz-Schnitt nach **Fig. 2** schematisch eine Zeile mit insgesamt neun ersten Facetten **21_i** dargestellt, die in der **Fig. 2** von links nach rechts mit **21₁** bis **21₉** bezeichnet sind. Tatsächlich weist der erste Facettenspiegel **6** eine wesentlich größere Zahl an Facetten **21_i** auf.

[0082] Bei einer Ausführung der Beleuchtungsoptik mit einem in einer Pupillenebene angeordneten zweiten Facettenspiegel **7** ist ein x/y-Aspektverhältnis der ersten Facetten **6** mindestens so groß wie das x/y-Aspektverhältnis des Objektfeldes **8**.

[0083] Die ersten Facetten **6** können eine Ausdehnung von 70 mm in der x-Richtung und von etwa 4 mm in der y-Richtung haben.

[0084] Die ersten Facetten **6** führen jeweils einen Anteil der Beleuchtungsstrahlung **3** über einen Ausleuchtungs- oder Beleuchtungskanal zur teilweisen oder kompletten Ausleuchtung des Objektfeldes **8**.

[0085] Der zweite Facettenspiegel **7** umfasst eine Vielzahl zweiter Facetten **25**. Die zweiten Facetten **25** sind verlagerbar. Sie weisen insbesondere mindestens zwei Verlagerungsfreiheitsgrade, insbesondere mindestens zwei Kipp-Freiheitsgrade auf.

[0086] Der zweite Facettenspiegel **7** umfasst eine Vielspiegel-Anordnung **33** mit einer Mehrzahl von modularen Vielspiegel-Elementen **34**, welche auch als Bricks bezeichnet werden.

[0087] Die Vielspiegelemente **34** sind insbesondere als MEMS, insbesondere als MEMS-MMA ausgebildet. Ihr konstruktiver Aufbau kann dem der Vielspiegelemente des ersten Facettenspiegels **6** entsprechen, auf dessen Beschreibung verwiesen wird. Für Details sei insbesondere wiederum auf die DE 10 2011 006 100 A1 verwiesen.

[0088] Bei den zweiten Facetten **25** handelt es sich insbesondere um virtuelle Facetten, welche durch eine Vielzahl von Einzelspiegeln **35** der Vielspiegel-Elemente **34** gebildet sind.

[0089] Hierbei können auf einem einzigen der Vielspiegel-Elemente **34** mehrere der zweiten Facetten **25** ausgebildet sein. Die zweiten Facetten **25** erstrecken sich insbesondere nicht über den Rand eines der Vielspiegelemente **34** hinaus. Die Vielspiegel-Elemente **34** umfassen insbesondere jeweils eine ganze Anzahl an Facetten **25_i**. Die Unterteilung der Vielspiegelemente **34** zur Ausbildung der zweiten Facetten **25** wird nachfolgend noch näher beschrieben.

[0090] Zur Ausbildung von Beleuchtungskanälen, welche auch als Ausleuchtungskanäle bezeichnet werden, wird jeweils eine der ersten Facetten **21_i**, jeweils einer der zweiten Facetten **25_i** zugeordnet. Die gewünschte Zuordnung der ersten Facetten **21_i** zu den zweiten Facetten **25_i** zur Definition der Beleuchtungskanäle wird insbesondere vor der Belichtung des Wafers **19** vorgegeben.

[0091] Die ersten Facetten **21_i** sind bei der Beleuchtungsoptik-Variante mit nicht in einer Pupillenebene angeordnetem zweiten Facettenspiegel **7** (spekularer Reflektor) so ausgerichtet, dass der zweite Facettenspiegel **7** mit einer vorgegebenen Berandungsform und einer vorgegebenen Zuordnung der ersten Facetten **21_i** zu zweiten Facetten **25_i** des zweiten Facettenspiegels **7** ausgeleuchtet wird. Zu weiteren Details der Ausführung des zweiten Facettenspiegels **7** und der Projektionsoptik **10** wird verwiesen auf die WO 2010/099 807 A.

[0092] Ein Beispiel für eine vorgegebene Zuordnung der ersten Facetten **21_i** zu den zweiten Facetten **25_i** ist in der **Fig. 2** dargestellt. Die jeweils den ersten Facetten **21₁** bis **21₉** zugeordneten zweiten Facetten **25_i** sind entsprechend dieser Zuordnung indiziert. Die zweiten Facetten **25_i** werden von links nach rechts aufgrund dieser Zuordnung in der Reihenfolge **25₆**, **25₈**, **25₃**, **25₄**, **25₁**, **25₇**, **25₅**, **25₂** und **25₉** ausgeleuchtet.

[0093] Die Facetten **21_i**, **25_i** mit den Indizes 6, 8 und 3 bilden drei Ausleuchtungskanäle **VI**, **VIII** und **III**. Die Indizes 4, 1 und 7 der Facetten **21_i**, **25_i** gehören zu drei weiteren Ausleuchtungskanälen **IV**, **I**, **VII**. Die Indizes 5, 2 und 9 der Facetten **21**, **25** gehören zu drei weiteren Ausleuchtungskanälen **V**, **II**, **IX**.

[0094] Die Beleuchtung des Objektfeldes **8** über den ersten Facettenspiegel **6** und den zweiten Facettenspiegel **7** kann nach Art eines spekularen Reflektors erfolgen. Das Prinzip des spekularen Reflektors ist bekannt aus der US 2006/0132747 A1.

[0095] Im Folgenden werden einige Aspekte der Beleuchtungsoptik **11**, insbesondere der Facettenspiegel **6**, **7** bzw. der Facetten **21_i**, **25_i** noch einmal mit anderen Worten beschrieben.

[0096] Bei der Beleuchtungsoptik **11** handelt es sich insbesondere um eine facettierte Beleuchtungsoptik **11**, insbesondere um eine doppelt facettierte Beleuchtungsoptik **11**. Sie dient zur Ausleuchtung des Objektfeldes **8** mit Beleuchtungsstrahlung **3** von der Strahlungsquelle **2**.

[0097] Der erste Facettenspiegel **6** kann in einer Feldebene, das heißt in einer zum zu beleuchtenden Objektfeld **8** konjugierten Ebene der Beleuchtungsoptik **11** angeordnet sein. Er wird daher auch als Feld-

facettenspiegel bezeichnet. Die ersten Facetten **21_i** werden entsprechend auch als Feldfacetten bezeichnet. Die Feldfacetten **21** dienen der Abbildung des Zwischenfokus ZF auf die jeweils zugeordneten zweiten Facetten **25_i**. Die zweiten Facetten **25_i** dienen wiederum der Abbildung der jeweiligen ersten Facetten **21_i** auf das Retikel **12**.

[0098] Der zweite Facettenspiegel **7** kann in einer Pupillenebene der Beleuchtungsoptik **11** angeordnet sein. Er bildet in diesem Fall zusammen mit dem ersten Facettenspiegel **6** einen Wabenkondensor.

[0099] Allgemein müssen die beiden Facettenspiegel **6**, **7** nicht notwendigerweise in Ebenen stehen, welche zu einer Feld- bzw. Pupillenebene der Projektionsoptik **10** konjugiert sind. Die allgemeine Anordnung der beiden Facettenspiegel **6**, **7** wird auch als spekulärer Reflektor bezeichnet. Der Begriff spekulärer Reflektor bezeichnet im Folgenden insbesondere die Anordnung, in welcher der erste Facettenspiegel **6** in einer Feldebene, der zweite Facettenspiegel **7** jedoch nicht in einer Pupillenebene, sondern hierzu beabstandet angeordnet ist.

[0100] Vorzugsweise umfasst der erste Facettenspiegel **6** eine Vielzahl von Einzelspiegeln **31** in Form einer Vielspiegelanordnung **32**. Die Einzelspiegel **31** sind insbesondere verlagerbar. Dies ermöglicht eine flexible Zuordnung der ersten Facetten **21_i** zu den zweiten Facetten **25_i** zur Ausbildung von Beleuchtungskanälen, insbesondere zur Einstellung eines vorgegebenen Beleuchtungssettings. Unter einem Beleuchtungssetting sei hierbei insbesondere die Vorgabe einer Beleuchtungswinkelverteilung am Retikel **12**, das heißt die Vorgabe einer Beleuchtungspupille, bezeichnet.

[0101] Die zweiten Facetten **25_i** bilden jeweils die ersten Facetten **21_i** ins Retikel **12** ab. Die zweiten Facetten **25_i** sind vorzugsweise schaltbar. Der zweite Facettenspiegel **7** umfasst insbesondere eine Vielzahl von Einzelspiegeln **35**. Die Einzelspiegel **35** sind insbesondere verlagerbar. Sie weisen insbesondere mindestens zwei Verlagerungs-Freiheitsgrade, insbesondere mindestens zwei Kippfreiheitsgrade, auf.

[0102] Die Einzelspiegel **35** des zweiten Facettenspiegels **7** sind insbesondere als Vielspiegelelement **34**, welches auch als Brick bezeichnet wird, ausgebildet. Das Vielspiegelelement **34** umfasst eine Vielzahl von Einzelspiegeln **35**, insbesondere in Form von Mikrospiegeln. Diese können flexibel zu zweiten Facetten **25_i** gruppiert werden, welche ihrerseits daher auch als virtuelle Facetten bezeichnet werden.

[0103] Vorzugsweise werden die Bilder des Zwischenfokus ZF auf dem zweiten Facettenspiegel **7** derart gewählt, dass sie nicht oder jedenfalls nur geringfügig über den Rand der zugeordneten virtuel-

len zweiten Facette **25_i**, insbesondere über den Rand des Vielspiegelelements **34** herausreichen. Diesbezüglich kann vorgegeben werden, um wie viel die Bilder des Zwischenfokus ZF maximal über die virtuellen zweiten Facetten, insbesondere über den Rand des jeweiligen Vielspiegelelements **34** herausragen dürfen. Es kann beispielsweise vorgegeben sein, dass die Bilder des Zwischenfokus ZF maximal so weit über die jeweiligen zweiten Facetten **25_i**, insbesondere über den Rand des jeweiligen Vielspiegelelements **34** herausragen dürfen, dass höchstens 30%, insbesondere höchstens 20%, insbesondere höchstens 10%, insbesondere höchstens 5%, insbesondere höchstens 1% der Beleuchtungsstrahlung **3** außerhalb der virtuellen zweiten Facette, insbesondere außerhalb der Einhüllenden des Vielspiegelelements **34** zu liegen kommt und damit nicht zur Beleuchtung des Objektfeldes **8** beiträgt.

[0104] Die Strahlungsquelle **2** kann eine sehr hohe Ausgangsleistung aufweisen. Die Ausgangsleistung der Strahlungsquelle **2** kann insbesondere mindestens 100 W, insbesondere mindestens 300 W, insbesondere mindestens 500 W, insbesondere mindestens 1000 W, insbesondere mindestens 2000 W, insbesondere mindestens 3000 W aufweisen. Dies kann dazu führen, dass die optischen Komponenten des Beleuchtungssystems **20** thermal stark belastet werden. Dies ist insbesondere der Fall, sofern die Strahlungsquelle **2** eine große spektrale Bandbreite aufweist, wie es beispielsweise bei LPP- und DPP-Strahlungsquellen der Fall ist.

[0105] Es kann insbesondere im Bereich der zweiten Facetten **25_i**, insbesondere im Bereich der Einzelspiegel **35**, welche die zweiten Facetten **25_i** bilden, zu einer hohen Thermallast kommen, welche von den jeweiligen Facetten **25_i**, insbesondere den Einzelspiegeln **35** derselben, abgeführt werden müssen.

[0106] Erfindungsgemäß wurde erkannt, dass es vorteilhaft ist, sicherzustellen, dass die thermische Belastung, insbesondere die mittlere thermische Belastung und/oder die maximale thermische Belastung der Einzelspiegel **35** einen vorgegebenen Maximalwert nicht überschreitet. Hierdurch kann insbesondere das Risiko dauerhafter Beschädigungen reduziert werden.

[0107] Erfindungsgemäß wurde weiter erkannt, dass es im Falle einer inhomogenen Ausleuchtung der zweiten Facetten **25** zu einer inhomogenen thermischen Belastung der Einzelspiegel **35**, welche die jeweilige zweite Facette **25_i** bilden, kommt. Dies ist exemplarisch in der **Fig. 3** verdeutlicht. Wie in **Fig. 3** exemplarisch dargestellt ist, wird eine gegebene Intensitätsverteilung **36** im Zwischenfokus ZF von den Einzelspiegeln **31** einer der ersten Facetten **21_i** auf die zugehörige zweite Facette **25_i**, insbesondere auf die Einzelspiegel **35** derselben, abgebildet. Hierbei

bildet jeder der Einzelspiegel **31** der ersten Facette **21_i** die Intensitätsverteilung **36** des Zwischenfokus ZF auf die zweite Facette **25_i** ab. Sind sämtliche Bilder des Zwischenfokus ZF im Bereich der zweiten Facette **25_i** perfekt überlagert, so führt dies zu einer Intensitätsverteilung **37**, welche im Wesentlichen dieselbe Form aufweist wie die Intensitätsverteilung **36**. Die Intensitätsverteilung **37** weist ein Maximum I^* auf. Die mittlere Intensität der Beleuchtungsstrahlung **3** im Bereich der zweiten Facette **25_i** ist schematisch angedeutet und mit I_m bezeichnet.

[0108] Dies führt dazu, dass der bzw. die Einzelspiegel **35***, welche gerade im Bereich des Maximums I^* der Intensitätsverteilung **37** liegen, mit einer wesentlich höheren Intensität und damit verbunden mit einer wesentlich höheren thermischen Last beaufschlagt werden als die übrigen Einzelspiegel **35**, insbesondere die Einzelspiegel **35** am Rand der zweiten Facette **25_i**.

[0109] Erfindungsgemäß wurde erkannt, dass die Tatsache, dass das Abbild des Zwischenfokus ZF, das heißt das Abbild der Strahlungsquelle **2**, auf den zweiten Facetten **25_i** aus vielen Einzelbildern zusammengesetzt ist, vorteilhaft genutzt werden kann, um die maximale Intensität der Beleuchtungsstrahlung **3** im Bereich der zweiten Facetten **25_i**, insbesondere über die Einzelspiegel **35** derselben zu reduzieren. Das erfindungsgemäße Prinzip ist schematisch in der **Fig. 4** dargestellt. Die in **Fig. 4** schematisch dargestellte Ausgangssituation entspricht der in **Fig. 3** dargestellten. Wie in der **Fig. 4** exemplarisch dargestellt ist, ist vorgesehen, die einzelnen Einzelspiegel **31** der ersten Facette **21_i** zwar noch auf der jeweils vorgegebenen der zweiten Facetten **25_i** zu liegen kommen, jedoch gegeneinander verschoben sind. Hierdurch kann erreicht werden, dass die maximale Intensität I^* der Intensitätsverteilung **37** der Beleuchtungsstrahlung **3** im Bereich der zweiten Facette **25_i** erheblich reduziert wird, während die mittlere Intensität I_m im Wesentlichen konstant bleibt.

[0110] Mit anderen Worten lässt sich das Maximum der Leistungsdichte der Beleuchtungsstrahlung **3** auf den virtuellen zweiten Facetten **25_i** stark reduzieren, ohne dass dabei mehr als ein vorgegebener maximal zulässiger Anteil der Beleuchtungsstrahlung **3** über den Rand der virtuellen zweiten Facette **25_i**, insbesondere über den Rand der Gruppe der Einzelspiegel **35**, welche die zweite Facette **25_i** bilden, insbesondere über den Rand des Vielspiegelelements **34**, verloren wird.

[0111] Im Folgenden wird das erfindungsgemäße Verfahren zur Einstellung der Beleuchtungsoptik **11**, insbesondere zur Einstellung der Einzelspiegel **31** der ersten Facetten **21_i**, noch einmal anhand der **Fig. 5** bis **Fig. 8** erläutert.

[0112] In der **Fig. 5** ist schematisch die Aufsicht auf eine Gruppe von Einzelspiegeln **35** gezeigt, welche eine der zweiten Facetten **25_i** bilden. Die Einzelspiegel **35** sind Bestandteile eines der Vielspiegelelemente **34**. Die Anordnung der zweiten Facetten **25_i** auf den Vielspiegelelementen **34** wird nachfolgend noch näher beschrieben. In der **Fig. 5** sind schematisch Isointensitätslinien **38** eingezeichnet, welche die Intensitätsverteilung **37** charakterisieren. Hierbei ist für jede der Isointensitätslinien **38** numerisch das Verhältnis zum Maximum der Intensität I^* im Bereich der jeweiligen zweiten Facette **25_i** in Prozent angegeben.

[0113] Eine nach Einzelspiegeln **35** diskretisierte Darstellung der Intensitätsverteilung gemäß **Fig. 5** ist in **Fig. 7** wiedergegeben. Hierbei geben die Zahlenwerte die jeweilige gemittelte Intensität I auf dem jeweiligen Einzelspiegel **35** wieder, wobei die Werte auf die maximale Intensität $I^* = 100$ normiert wurden.

[0114] Die insgesamt von der zweiten Facetten **25_i** reflektierte Strahlungsleistung ist proportional zur Summe der in der **Fig. 7** angegebenen Intensitätswerte.

[0115] In den **Fig. 6** und **Fig. 8** sind entsprechende Darstellungen wie in den **Fig. 5** und **Fig. 7** für die in **Fig. 4** schematisch dargestellte Situation wiedergegeben. Hierbei entspricht die Normierung in **Fig. 6** gerade der in **Fig. 5** und die in **Fig. 8** gerade der in **Fig. 7**. Wie aus der **Fig. 8** exemplarisch ersichtlich ist, konnte die maximale, über die Einzelspiegel **35** gemittelte Intensität durch eine Verkippung der Einzelspiegel **31** der ersten Facette **21_i** und eine daraus resultierende Verschiebung der Bilder des Zwischenfokus ZF im Bereich der zweiten Facette **25_i** gegeneinander um 37% reduziert werden. Der damit verbundene Verlust an Strahlungsleistung konnte auf weniger als 10% begrenzt werden.

[0116] Das Potenzial dieses Verfahrens sei im Folgenden exemplarisch anhand zweier konkreter Auslegungen des zweiten Facettenspiegels **7** unter Bezugnahme auf die **Fig. 9** und **Fig. 10** erläutert. In diesen Figuren ist exemplarisch die maximale Intensität im Bereich der Einzelspiegel **35** der zweiten Facetten **25_i** in Abhängigkeit von der maximal möglichen geometrischen Transmission T_{geom} (y-Achse) und der Halbwertsbreite σ der Intensitätsverteilung **37** im Bereich der zweiten Facetten **25_i** dargestellt.

[0117] Unter der geometrischen Transmission T_{geom} sei hierbei das Verhältnis aus der Energie, welche auf die zweiten Facetten **25_i** trifft, und der Gesamtenergie der zugeordneten Zwischenfokusbilder verstanden. Aufgrund der Abstände zwischen den Einzelspiegeln **35** ist der maximal mögliche Wert von T_{geom} stets kleiner als 1. Eine weitere Reduzierung dieses Wertes ergibt sich bei einer Verschiebung der Bilder des Zwischenfokus ZF, da hierdurch ein Teil der Be-

leuchtungsstrahlung **3** seitlich am Rand der zweiten Facette **25_i** herunterfällt.

[0118] In der **Fig. 9** ist exemplarisch der Fall dargestellt, dass die zweite Facette **25_i** durch eine Gruppierung von 8×8 Einzelspiegeln **35** auf dem Vielspiegelelement **34** gebildet ist. Die virtuelle zweite Facette **25_i** weist eine Größe von $5,5 \times 5,5 \text{ mm}^2$ auf.

[0119] In dem in **Fig. 10** dargestellten Fall wurde die virtuelle zweite Facette **25_i** durch eine Gruppierung von 12×12 Einzelspiegeln **35** auf dem Vielspiegelelement **34** gebildet. Sie wies eine Fläche von $7 \times 7 \text{ mm}^2$ auf.

[0120] Bezüglich der Skalierung der Figuren sei angemerkt, dass am oberen Rand der Figuren der Fall, bei welchem sämtliche Bilder des Zwischenfokus ZF exakt überlagert sind, manuell entfernt wurde, um die Darstellung übersichtlicher zu gestalten. Dieser Fall tritt in der Praxis aufgrund von stets vorhandenen Unschärfen ohnehin nicht auf.

[0121] Der jeweils obere Rand der Figuren gibt den Fall wieder, dass sämtliche Bilder des Zwischenfokus ZF auf der jeweiligen zweiten Facette **25_i** zentriert angeordnet sind. Die oberen rechten Ecken sind weiß, weil es für gegebene Quellgröße keine Realisierung mit entsprechend großer Transmission gibt, da bereits zuviel Energie zwischen die Mikrospiegel fällt oder jenseits der virtuellen Facetten **25** liegt.

[0122] Eine Verschiebung der Bilder des Zwischenfokus ZF auf den zweiten Facetten **25_i** aufgrund einer Überstrahlung der virtuellen Facetten **25_i** führt stets zu einem Strahlungsverlust, das heißt zu einer Reduzierung der geometrischen Transmission T_{geom} . Dieser Effekt ist in den **Fig. 9** und **Fig. 10** als Bewegung parallel zur y-Achse in Richtung absteigender Werte nachvollziehbar.

[0123] Wie aus den **Fig. 9** und **Fig. 10** qualitativ ersichtlich ist, ist das Potenzial des erfindungsgemäßen Verfahrens abhängig von der Größe der Bilder des Zwischenfokus ZF im Bereich der zweiten Facetten **25_i**, insbesondere von der Halbwertsbreite σ der Intensitätsverteilung **37**.

[0124] Je kleiner das Bild der Strahlungsquelle **2** im Zwischenfokus ZF ist, umso besser lässt sich die maximale Intensität im Bereich der zweiten Facetten **25_i** reduzieren, ohne dass dies zu einer großen Reduzierung der geometrischen Transmission T_{geom} , insbesondere zu einem großen Verlust der reflektierten Beleuchtungsstrahlung **3**, führt. Größere Strahlungsquellen hingegen zeigen weniger Potenzial, sofern der Strahlungsverlust klein gehalten werden soll.

[0125] Betrachtet man beispielsweise eine Strahlungsquelle, deren Bild im Zwischenfokus ZF eine

Halbwertsbreite $\sigma = 0,7 \text{ mm}$ besitzt, ist bei der in **Fig. 9** dargestellten Variante eine Reduktion der Leistungsdichte um 50% mit einem Strahlungsverlust von etwa 10% verbunden, während der Strahlungsverlust bei der Variante gemäß **Fig. 10** in diesem Fall bei einer Reduzierung der maximalen Intensität um 50% nur bei etwa 1% liegt.

[0126] Es sei darauf hingewiesen, dass die Verschiebung der Bilder des Zwischenfokus ZF auf den zweiten Facetten **25_i** zu einer Bewegung der Pupillenausleuchtung, das heißt zu einer Bewegung der Pupillenkoordinaten der Plasmabilder als Funktion der Feldkoordinate führt. Da die Pupillenspotspots jedoch konzeptbedingt ohnehin eine Bewegung mit der Feldkoordinate durchführen, ist dies im vorliegenden Zusammenhang unproblematisch.

[0127] Weiterhin sei angemerkt, dass eine Verschiebung der Bilder des Zwischenfokus ZF auf den virtuellen zweiten Facetten **25_i** nicht notwendigerweise für sämtliche Beleuchtungskanäle vorgesehen ist. Eine derartige Verschiebung ist insbesondere nur für die Beleuchtungskanäle vorgesehen, welche zu einer Maximalintensität auf mindestens einem der Einzelspiegel **35** führen, welche oberhalb eines vorgegebenen zulässigen Maximalwerts I_{max} , das heißt zu einer unzulässig hohen thermischen Belastung dieser Einzelspiegel **35** führt. Es wurde insbesondere erkannt, dass eine Verschiebung nicht für alle Beleuchtungssettings in gleicher Weise stattzufinden hat. Weiter wurde erkannt, dass es von daher vorteilhaft ist, die Größe der virtuellen zweiten Facetten **25_i** möglichst flexibel zu gestalten. Dies wird im Folgenden näher beschrieben.

[0128] Das vorhergehend beschriebene Potenzial zur Reduktion der thermalen Last der Einzelspiegel **35**, welche die virtuellen zweiten Facetten **25_i** bilden, ist, wie exemplarisch anhand der **Fig. 9** und **Fig. 10** dargelegt wurde, abhängig von der Größe der virtuellen zweiten Facetten **25_i**, das heißt abhängig von der Aufteilung der Vielspiegelelemente **34** in Gruppen der Einzelspiegel **35**, welche die virtuellen zweiten Facetten **25_i** bilden. Hierbei ist zu beachten, dass die virtuellen zweiten Facetten **25_i** nicht über den Rand eines der Vielspiegelelemente **34** herausstehen sollen. Außerdem sollen die Vielspiegelelemente **34** möglichst lückenlos mit virtuellen zweiten Facetten **25_i** überdeckt werden. Anders ausgedrückt dürfen innerhalb eines der Vielspiegelelemente **34** aufgrund von Transmission und Streulichtgefahr nur ganze Plasmabilder liegen, und das möglichst dicht gepackt. Um die Flexibilität der Aufteilung der Vielspiegelelemente **34** in virtuelle zweite Facetten **25_i** zu vergrößern, ist es daher wünschenswert, die Vielspiegelelemente **34** derart zu dimensionieren, dass es möglichst viele unterschiedliche Möglichkeiten dieser Aufteilung gibt. Geht man hierbei davon aus, dass sämtliche der virtuellen zweiten Facetten **25_i** identische Abmessungen

gen aufweisen, ist die Anzahl der unterschiedlichen Möglichkeiten, wie das Vielspiegelelement **34** in virtuelle Facetten **25_i** aufgeteilt werden kann, jeweils eindeutig vorgegeben. Ist die Anzahl der Einzelspiegel **35** je Vielspiegelelement **34** beispielsweise gerade $2^n \times 2^n$, so kann man die Möglichkeiten der darstellbaren virtuellen zweiten Facetten **25_i** in Anlehnung zur Darstellungstheorie endlich dimensionaler Gruppen als irreduzibel bezeichnen. Vorteilhafterweise ist die Anzahl der Zeilen und/oder Spalten der Einzelspiegel **35** des Vielspiegelelements **34** derart gewählt, dass dies nicht der Fall ist, das heißt, dass die Möglichkeiten der Gruppierung der Einzelspiegel **35** zu virtuellen Facetten **25_i** eine reduzierbare Darstellung aufweist.

[0129] Es ist insbesondere vorteilhaft, die Anzahl der Zeilen und/oder Spalten der Einzelspiegel **35** des Vielspiegelelements **34** derart zu wählen, dass sie mindestens zwei unterschiedliche Primfaktoren, insbesondere zwei und drei aufweisen. Es sind Zeilen- und Spaltenzahlen vorteilhaft, für welche es möglichst viele Teiler gibt, insbesondere möglichst viele Teiler deren Verhältnis nahe eins liegt.

[0130] Die Anzahl der Zeilen und/oder Spalten ist insbesondere derart gewählt, dass sie eine besonders hohe Anzahl Teiler aufweisen. Hierdurch wird die Flexibilität bei der lückenlosen Aufteilung der Vielspiegel-Anordnung, insbesondere bei der Aufteilung in identische Teilfelder, vergrößert. Bei einem Spiegelarray mit bis zu 100 Zeilen und/oder Spalten beträgt die Zeilen- und/oder Spaltenanzahl insbesondere 12, 18, 20, 24, 28, 30, 32, 36, 40, 42, 44, 45, 48 oder 60. Besonders bevorzugt sind die Werte 12, 24, 36, 48 oder 60. Dies sind jeweils die kleinsten ganzen Zahlen, welche mindestens 6, 8, 9, 10 bzw. 12 Teiler aufweisen.

[0131] Eine feinere Abstimmung der Größe der virtuellen zweiten Facetten **25_i** kann erreicht werden, indem man nicht-quadratische Formen derselben zulässt.

[0132] Im Falle rechteckiger, nicht-quadratischer zweiten Facetten **25_i** ist es vorteilhaft, diese derart anzuordnen, dass ihre größere Ausdehnung senkrecht zur Scanrichtung verläuft. Es wurde nämlich erkannt, dass das Problem großer Thermallasten insbesondere dann auftritt, wenn die gewünschte Pupillenform aus Teilgebieten mit einer großen Ausdehnung in x-Richtung besteht, beispielsweise bei einem Beleuchtungssetting in Form eines y-Dipols. In diesem Fall können sich die Beleuchtungsspot ohne große Nachteile in x-Richtung ausbreiten. Außerdem haben die Beleuchtungskanäle im Falle eines spekularen Reflektors aufgrund des Scanvorgangs ohnehin eine größere Pupillenausdehnung in Scanrichtung. Sie werden daher auch als Stäbchenpupillen bezeichnet.

[0133] Im Folgenden wird unter Bezugnahme auf die **Fig. 11** und **Fig. 12** ein Beispiel einer Unterteilung eines der Vielspiegelelemente **34** in virtuelle Facetten **25_i** beschrieben. Bei dem Vielspiegelelement **34** gemäß **Fig. 11** handelt es sich um einen Brick mit 24×24 Einzelspiegeln **35** in Form von Mikrospiegeln. Die Einzelspiegel **35** können jeweils Abmessungen von $0,6 \times 0,6 \text{ mm}^2$ aufweisen. Der Abstand benachbarter Einzelspiegel **35** beträgt 0,04 mm.

[0134] Das Vielspiegelelement **34** umfasst vier Zeilen mit jeweils sechs quadratischen virtuellen zweiten Facetten **25_i**, welche jeweils aus 4×4 Einzelspiegeln **35** gebildet sind.

[0135] In der Mitte zwischen jeweils zwei Zeilen mit den quadratischen Facetten **25_i** sind zwei Zeilen mit rechteckigen, nicht-quadratischen virtuellen Facetten **25_i** der Größe 4×6 Einzelspiegel **35** angeordnet.

[0136] Eine derartige Aufteilung ist insbesondere dann vorteilhaft, wenn gerade die mittleren virtuellen Facetten **25_i** aufgrund ihrer Position auf dem zweiten Facettenspiegel **7** eines spekularen Reflektors besonders große Teilfelder im Objektfeld **8** ausleuchten müssen und daher thermal stark belastet sind. Aufgrund der größeren Ausdehnung in x-Richtung ist eine größere Verschiebung und damit eine stärkere Verschmierung der Intensitätsverteilung **37** auf diesen Facetten **25_i** möglich.

[0137] Allgemein können die Facetten **25_i** in einem Mittenbereich des zweiten Facettenspiegels **7**, insbesondere in einem Mittenbereich der Pupille, größer sein als in einem Randbereich.

[0138] In der **Fig. 12** ist exemplarisch das Bild der Pupille im Objektfeld **8** dargestellt. Die einzelnen Pupillenspot **39** sind länglich, stäbchenförmig ausgebildet. Die Pupillenspot **39** sitzen nicht auf einem regulären Gitter.

[0139] Erfindungsgemäß ist vorgesehen, sämtliche der virtuellen Facetten **25_i** mit im Wesentlichen gleicher y-Koordinate im Wesentlichen identisch einzuteilen. Hierdurch lässt sich eine Feldabhängigkeit der Pupille vermeiden.

[0140] Exemplarisch ist in den **Fig. 11** und **Fig. 12** eine Beleuchtung jeder der virtuellen zweiten Facetten **25_i** durch jeweils drei Bilder des Zwischenfokus ZF dargestellt. Die tatsächliche Anzahl der Bilder des Zwischenfokus ZF auf jeder der virtuellen zweiten Facetten **25_i** kann wesentlich höher sein.

[0141] Zur Reduzierung der Thermallast sind die Bilder des Zwischenfokus ZF in x-Richtung gegeneinander verschoben, das heißt gegeneinander versetzt. Im Falle der kleineren quadratischen zweiten Facetten **25_i** ist der Versatz weniger stark als im Falle

der zentralen, größeren, rechteckigen, nicht-quadratischen Facetten **25_i**.

[0142] Zur Verdeutlichung der Bilder des Zwischenfokus ZF sind wiederum Isointensitätslinien **38** eingezeichnet. Die in der **Fig. 11** wiedergegebenen Zahlenwerte geben jeweils die Intensität in Prozent der maximalen Intensität an.

[0143] Eine zusätzliche Verschiebung in y-Richtung, welche ebenfalls möglich ist, ist aus Gründen der Übersichtlichkeit nicht dargestellt.

[0144] In **Fig. 12** ist einer der Pole eines y-Dipols für eine Einteilung des Vielspiegelelements **34** in virtuelle Facetten **25_i** gemäß **Fig. 11** dargestellt.

[0145] Die rechteckigen Facetten **25_i** in der Mitte des Vielspiegelelements **34** führen dazu, dass die stäbchenförmigen Pupillenspots **39** in einem Mittenbereich des Pols, insbesondere dort, wo seine x-Ausdehnung am größten ist, weiter auseinander sitzen. Damit ist auch dort die Intensität reduziert.

[0146] Da die zu den Bildern des Zwischenfokus ZF in **Fig. 11** gehörenden Einzelspiegel **31** der ersten Facette **21_i** in Scanrichtung an unterschiedlichen y-Positionen liegen, sind die zu den jeweiligen Einzelspiegeln **31** gehörenden Pupillenspots **39** in y-Richtung gegeneinander verschoben. Anstelle eines einzigen, langen, vertikalen, stäbchenförmigen Pupillenspots, welcher durch drei überlappende Pupillenspots **39** gebildet wird, ergeben sich in x-Richtung versetzte Pupillenspots **39**, die zusammen wie ein gedrehtes Stäbchen wirken, das heißt eine stäbchenförmige, gedrehte Einhüllende aufweisen.

[0147] Die Drehrichtung wurde dabei so angepasst, dass sie sich an der Form des Pols orientiert. Hierdurch war es möglich, die Füllung des Pols zu verbessern. Die mittleren Stäbchen sind insbesondere stärker verdreht, da die zugehörigen Bilder des Zwischenfokus ZF auf den virtuellen zweiten Facetten **25_i** stärker in x-Richtung verschoben sind.

[0148] Die Verschiebung in y-Richtung und die Form der einzelnen Pupillenspots **39** sind überall gleich. Es sind insbesondere die Bilder des Zwischenfokus ZF auf den virtuellen zweiten Facetten **25_i** jeweils gleich. Auch die Größe der ersten Facetten **21_i** sowie deren Einzelspiegel **31** ist jeweils identisch. Es handelt sich um eine homozentrische Pupille.

[0149] Im Folgenden werden unter Bezugnahme auf die **Fig. 13** weitere Aspekte der Erfindung beschrieben. Es kann insbesondere vorgesehen sein, die von den Einzelspiegeln **31** der ersten Facette **21_i** erzeugten Bilder auf der zweiten Facette **25_i** diametral anzuordnen.

[0150] Hierdurch kann die Stabilität des Beleuchtungssystems **20** gegenüber einer Störung der Strahlungsquelle **2**, insbesondere in Form einer Drift oder einem Wackeln, stabilisiert werden. Bewegt sich beispielsweise die Strahlungsquelle **2** derart, dass das äußerste der Bilder des Zwischenfokus ZF auf einer Seite der virtuellen zweiten Facette **25_i** weiter über den Rand derselben rutscht und dadurch Beleuchtungsstrahlung **3** zur Beleuchtung des Objektfeldes **8** verloren geht, so wird gleichzeitig das Bild des Zwischenfokus ZF auf der gegenüberliegenden Seite der zweiten Facette **25_i** stärker eingefangen. Ist die Krümmung des lokalen Bildes des Zwischenfokus ZF klein, kann hierdurch erreicht werden, dass das Scanintegral im Objektfeld **8** zumindest nahezu invariant bleibt.

[0151] Vorzugsweise ist die von zwei Einzelspiegeln **31** einer der ersten Facetten **21_i**, welche benachbart ins Retikel **12** abgebildet werden, reflektierte Leistung der Beleuchtungsstrahlung **3** im Wesentlichen identisch. Sie werden insbesondere derart einer der zweiten Facetten **25_i** zugeordnet, insbesondere verschwenkt, dass sich die jeweiligen Änderungen der Intensität im Bereich dieser zweiten Facette **25_i** bei einer Bewegung der Strahlungsquelle **2** im Wesentlichen gegeneinander aufheben. Hierdurch kann ein besonders glatter Verlauf des Intensitätsprofils, insbesondere eine besonders homogene Beleuchtung des Retikels **12**, erreicht werden.

[0152] Mit anderen Worten kann durch eine gezielte Anordnung der Bilder des Zwischenfokus ZF auf den zweiten Facetten **25_i** der Effekt eines unerwünschten, sehr störenden lokalen Dosisfehlers verringert, insbesondere vermieden werden.

[0153] Eine weitere Möglichkeit wäre, die Verschiebung der einzelnen Bilder des Zwischenfokus ZF auf den virtuellen zweiten Facetten **25_i** derart zu wählen, dass die Länge der stäbchenförmigen Pupillenspots **39** verringert wird. Außerdem können die resultierenden stäbchenförmigen Pupillenspots derart gedreht werden, dass sie zumindest am Rand der Pupille eine Orientierung tangential zur Pupillengrenze aufweisen.

[0154] Gemäß einem weiteren Aspekt der Erfindung ist vorgesehen, den Betrag der Verschiebung der Bilder des Zwischenfokus ZF auf den zweiten Facetten **25_i**, das heißt den Grad der Verschmierung der jeweiligen Intensitätsverteilungen **37**, jeweils an die Thermallast des jeweiligen Beleuchtungskanal anzupassen. Für virtuelle zweite Facetten **25_i** mit einer geringen thermalen Last werden die einzelnen Bilder nur wenig gegeneinander verschoben. Es kann sogar möglich sein, auf eine Verschiebung ganz zu verzichten. Andererseits werden die Bilder für die zweiten Facetten **25_i**, die von sehr vielen und/oder sehr intensitätsreichen ersten Einzelspiegeln **31** ausgeleucht

tet werden, entsprechend stärker gegeneinander verschoben.

[0155] Die hierbei entstehenden, systematischen, langwelligen Veränderungen im Objektfeld **8** bzw. in der Pupille, insbesondere eine Erhöhung der Energie am Rand des Objektfeldes **8** bzw. der Pupille, können beispielsweise durch Zu- oder Abschalten, das heißt Verschwenken, der Einzelspiegel **31** der ersten Facetten **21_i** und/oder durch eine angepasste Kanaluordnung kompensiert werden.

[0156] Bezüglich Stabilität und Homogenität der Abbildungseigenschaften kann es vorteilhaft sein, statt einer statischen Positionierung der Zwischenfokusbilder auf den zweiten Facetten diese dynamisch zu gestalten. Dabei sollten innerhalb der Zeitdauer der Belichtung eines Punktes im Blickfeld **17**, das heißt eines Punktes auf dem Wafer **19**, gegeben durch den Quotienten aus Scanlänge (Ausdehnung des Beleuchtungsfeldes in Scanrichtung) und Scangeschwindigkeit, alle Zwischenfokusbildpositionen mindestens einmal überstrichen werden. Für Details der dynamischen Positionierung der Zwischenfokusbilder auf den zweiten Facetten sei auf die WO 2010/037 437 A1 verwiesen.

ZITATE ENTHALTEN IN DER BESCHREIBUNG

Diese Liste der vom Anmelder aufgeführten Dokumente wurde automatisiert erzeugt und ist ausschließlich zur besseren Information des Lesers aufgenommen. Die Liste ist nicht Bestandteil der deutschen Patent- bzw. Gebrauchsmusteranmeldung. Das DPMA übernimmt keinerlei Haftung für etwaige Fehler oder Auslassungen.

Zitierte Patentliteratur

- WO 2010/099807 A1 [0002]
- DE 102011006100 A1 [0014, 0079, 0087]
- WO 2010/099807 A [0091]
- US 2006/0132747 A1 [0094]
- WO 2010/037437 A1 [0156]

Patentansprüche

1. Beleuchtungsoptik (11) für eine Projektionsbeleuchtungsanlage (1) umfassend ein erstes Facetten-Element (6) mit einer Vielzahl von ersten Facetten (21_i), welche in unterschiedliche Verlagerungspositionen verlagerbar sind, und ein zweites Facetten-Element (7) mit einer Vielzahl von zweiten Facetten (25_i), wobei durch eine Zuordnung jeweils einer der ersten Facetten (21_i) zu jeweils einer der zweiten Facetten (25_i) Beleuchtungskanäle zur Beleuchtung eines Objektfeldes (8) mit Beleuchtungsstrahlung (3) definiert werden, wobei die ersten Facetten (21_i) jeweils durch eine Vielzahl von verlagerbaren Einzelspiegeln (31) gebildet sind, wobei jeder der Einzelspiegel (31) der ersten Facetten (21_i) derart verlagerbar ist, dass er jeweils ein Bild des Zwischenfokus (ZF) auf der jeweils zugeordneten zweiten Facette (25_i) erzeugt, wobei die Verlagerungspositionen der Einzelspiegel (31) der ersten Facetten (21_i) derart gewählt sind, dass bei einer vorgegebenen Intensitätsverteilung (36) der Beleuchtungsstrahlung (2) im Zwischenfokus (ZF) die Beleuchtungsstrahlung (2) im Bereich der Facetten (25_i) des zweiten Facetten-Elements (7) eine Intensitätsverteilung (37) aufweist, mit einem Maximum, welches höchstens so groß ist wie eine vorgegebene maximale Intensität (I_{\max}) oder welches um höchstens einen vorgegebenen Faktor oder Betrag größer ist als ein Mittelwert (M) der Intensitätsverteilung (37).

2. Beleuchtungsoptik (11) gemäß einem der vorhergehenden Ansprüche, **dadurch gekennzeichnet**, dass das zweite Facetten-Element (7) eine Vielspiegel-Anordnung (33) mit einer Mehrzahl von modularen Vielspiegel-Elementen (34) umfasst, wobei die Vielspiegel-Elemente (34) jeweils Abmessungen aufweisen, welche mindestens so groß sind wie die der Bilder des Zwischenfokus (ZF) im Bereich des zweiten Facettenelements (7).

3. Beleuchtungsoptik (11) gemäß Anspruch 2, **dadurch gekennzeichnet**, dass die Verlagerungspositionen einer Mehrzahl der Einzelspiegel (31) einer gegebenen ersten Facette (21_i) derart gewählt sind, dass sie Bilder des Zwischenfokus (ZF) auf der jeweils zugeordneten zweiten Facette (25_i) erzeugen, deren Maxima um einen Mindestbetrag gegeneinander versetzt sind.

4. Beleuchtungsoptik (11) gemäß einem der vorhergehenden Ansprüche, **dadurch gekennzeichnet**, dass die Einzelspiegel (31) mindestens einer der ersten Facetten (21_i) derart verlagerbar sind, dass bei einer gegebenen Intensitätsverteilung im Zwischenfokus (ZF) die Intensitätsverteilung (36) des Bil-

des des Zwischenfokus (ZF) auf der entsprechenden zweiten Facette (25_i) eine Halbwertsbreite aufweist, welche um mindestens 10 % größer ist als die um einen Abbildungsmaßstab der Beleuchtungsoptik (11) skalierte Halbwertsbreite der Intensitätsverteilung (37) im Zwischenfokus (ZF).

5. Beleuchtungsoptik (11) gemäß einem der vorhergehenden Ansprüche **dadurch gekennzeichnet**, dass die Einzelspiegel (31) der ersten Facetten (21_i) derart verlagerbar sind, dass Beleuchtungskanäle im Bereich einer Pupille einen Abstand in Richtung senkrecht zu einer Scanrichtung aufweisen, welcher abhängig ist von ihrer Position in Scanrichtung.

6. Verfahren zur Einstellung einer Beleuchtungsoptik (11) gemäß einem der Ansprüche 1 bis 5 umfassend die folgenden Schritte:
Bereitstellen einer Beleuchtungsoptik (11) gemäß einem der Ansprüche 1 bis 5,
Vorgabe einer Intensitätsverteilung (36) im Zwischenfokus (ZF),
Vorgabe einer Zuordnung zumindest einer Teilmenge der ersten Facetten (21_i) zu zumindest einer Teilmenge der zweiten Facetten (25_i) zur Ausbildung von Beleuchtungskanälen,
Vorgabe einer maximalen Intensität (I_{\max}), mit welcher die zweiten Facetten (25_i) beaufschlagt werden dürfen,
Ermittlung einer Verteilung der Intensität ($I(\sigma)$), mit welcher die zweiten Facetten (25_i) bei der gegebenen Zuordnung beaufschlagt werden,
Verlagerung einer Teilmenge der Einzelspiegel (31) der ersten Facetten (21_i) so, dass die Intensität ($I(\sigma)$) auf den zweiten Facetten (25_i) höchstens so groß ist wie I_{\max} .

7. Verfahren gemäß Anspruch 6, **dadurch gekennzeichnet**, dass ein Mindesttransmissionsgrad (T_{\min}) vorgegeben wird, welcher nach der Verlagerung der Einzelspiegel (31) von den zweiten Facetten (25_i) erreicht wird.

8. Verfahren gemäß einem der Ansprüche 6 bis 7, **dadurch gekennzeichnet**, dass die Größe der zweiten Facetten (25_i) in Abhängigkeit von einer zu reflektierenden Leistung und/oder Thermallast und/oder einem vorgegebenen Mindesttransmissionsgrad (T_{\min}) gewählt wird.

9. Facettenspiegel (7) für eine Beleuchtungsoptik (11) einer Projektionsbeleuchtungsanlage (1) umfassend eine Vielspiegel-Anordnung (MMA) mit einer Vielzahl von verlagerbaren Einzelspiegeln (35), wobei die Anzahl und Anordnung der Einzelspiegel (35) der Vielspiegel-Anordnung (33) derart gewählt ist, dass die Möglichkeiten einer Gruppierung derselben zu virtuellen Facetten (25_i) eine reduzierbare Darstellung aufweist.

10. Beleuchtungssystem **(20)** mit einer Beleuchtungsoptik **(11)** gemäß einem der Ansprüche 1 bis 5 und einer Strahlungsquelle **(2)**.

11. Optisches System mit einer Beleuchtungsoptik **(11)** gemäß einem der Ansprüche 1 bis 5 und einer Projektionsoptik **(10)**.

12. Projektionsbelichtungsanlage **(1)** mit einem optischen System gemäß Anspruch 11 und einer Strahlungsquelle **(2)**.

13. Verfahren zur Herstellung Verfahren zur Herstellung eines mikrostrukturierten Bauteils mit folgenden Verfahrensschritten:

- Bereitstellung eines Retikels **(12)**,
- Bereitstellung eines Wafers **(19)** mit einer für die Beleuchtungsstrahlung **(3)** empfindlichen Beschichtung,
- Projizieren zumindest eines Abschnitts des Retikels **(12)** auf den Wafer **(19)** mit Hilfe der Projektionsbelichtungsanlage **(1)** nach Anspruch 12,
- Entwickeln der mit der Beleuchtungsstrahlung **(3)** belichteten lichtempfindlichen Schicht auf dem Wafer **(19)**.

14. Bauelement, hergestellt nach einem Verfahren gemäß Anspruch 13.

Es folgen 11 Seiten Zeichnungen

Anhängende Zeichnungen

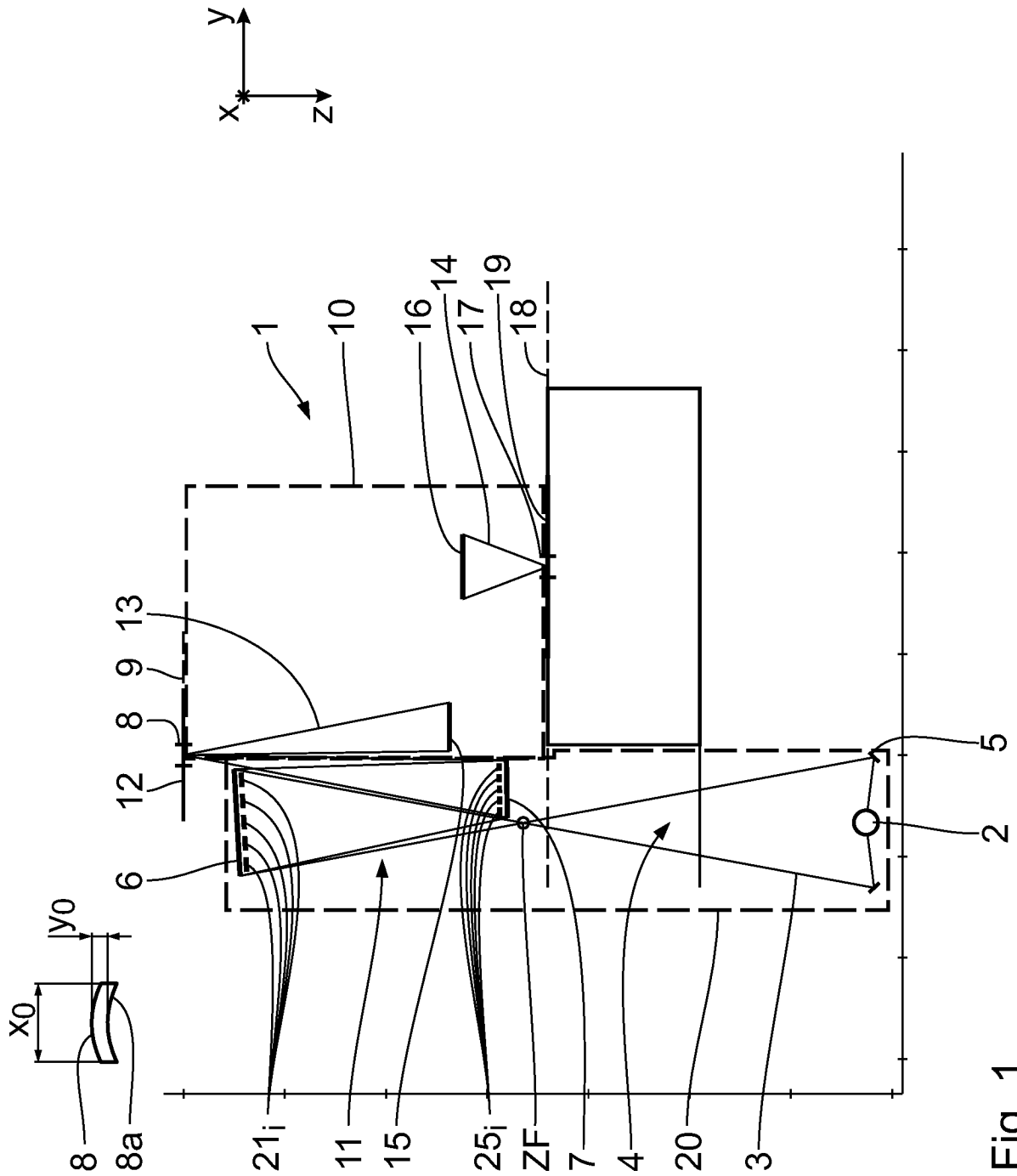


Fig. 1

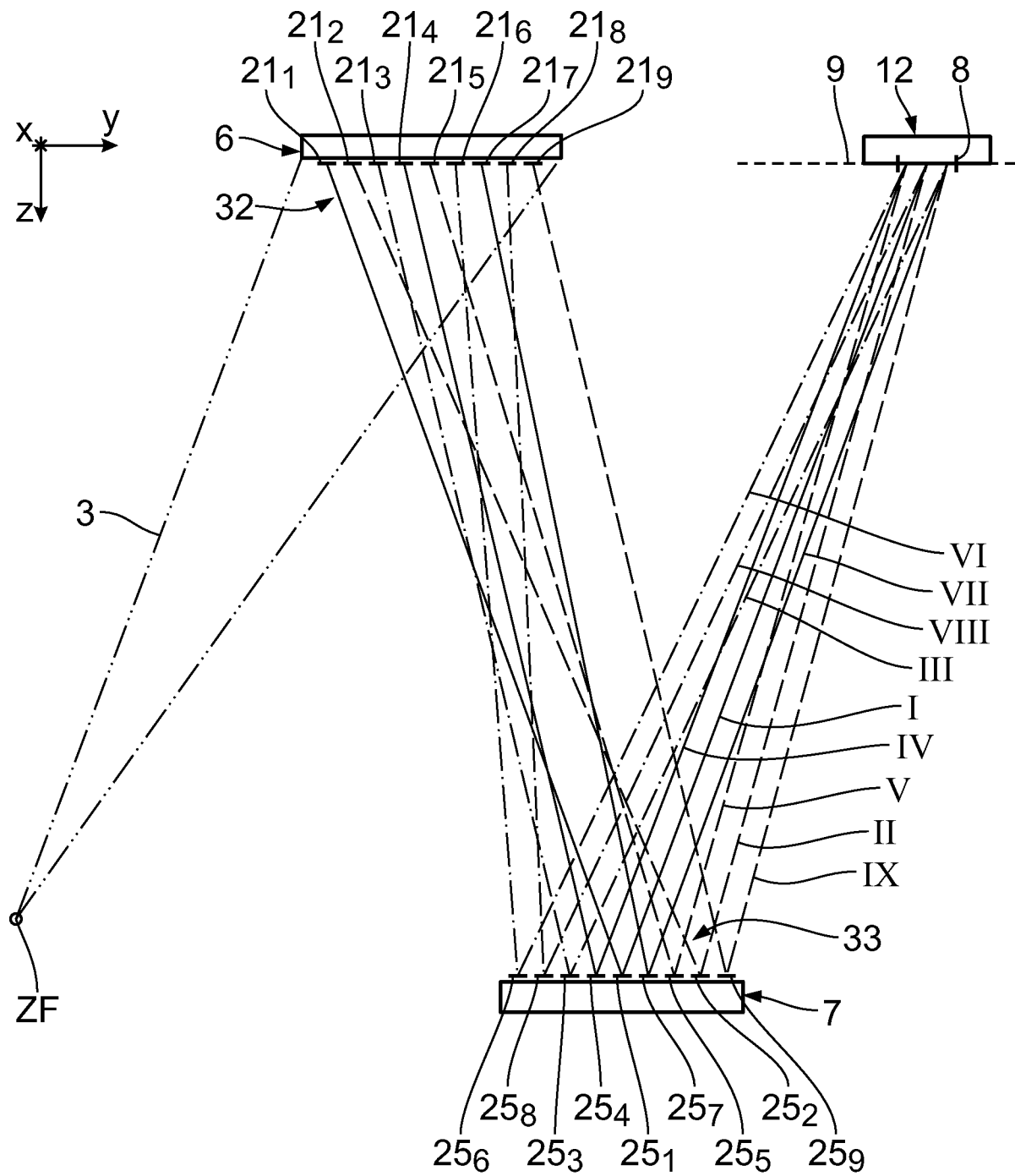


Fig. 2

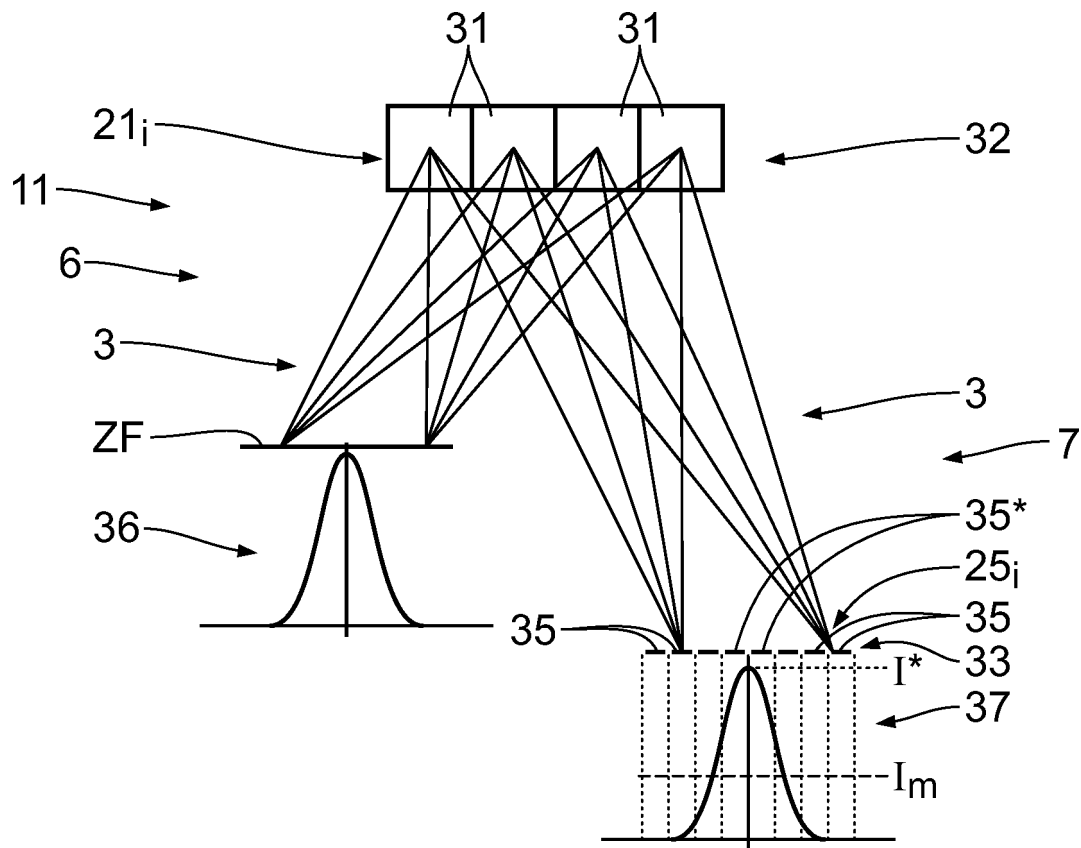


Fig. 3

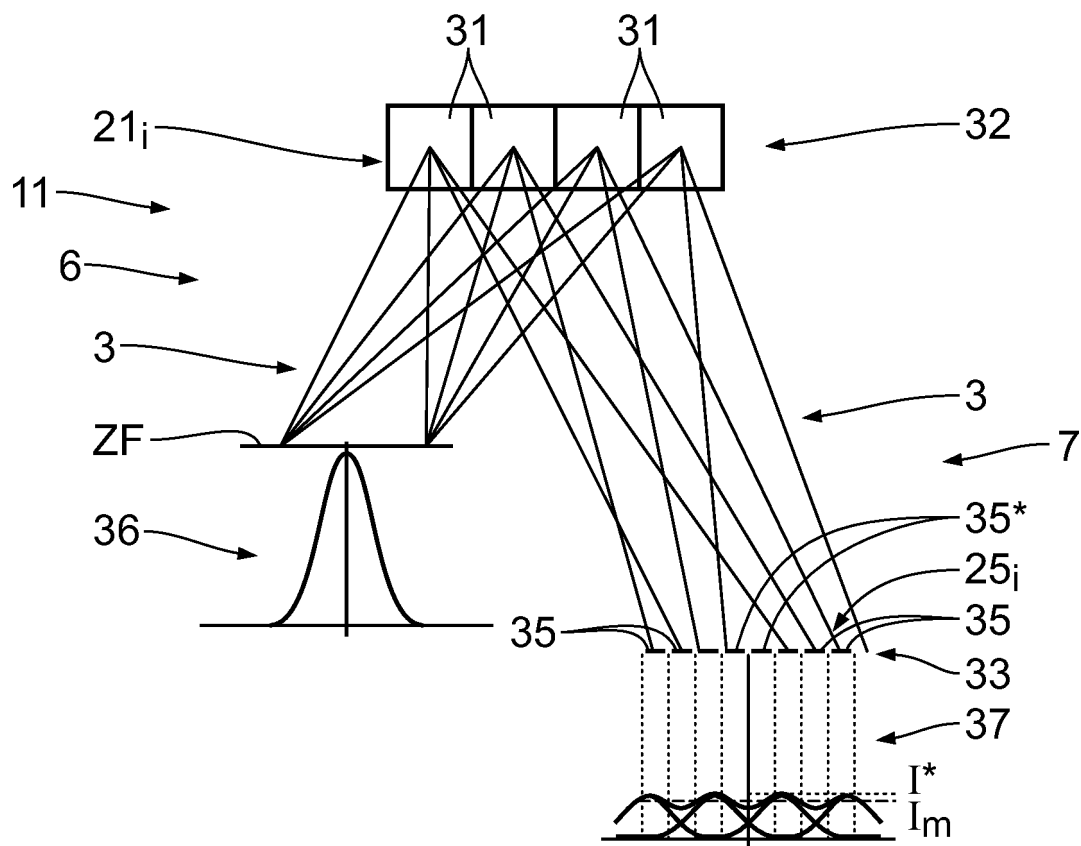


Fig. 4

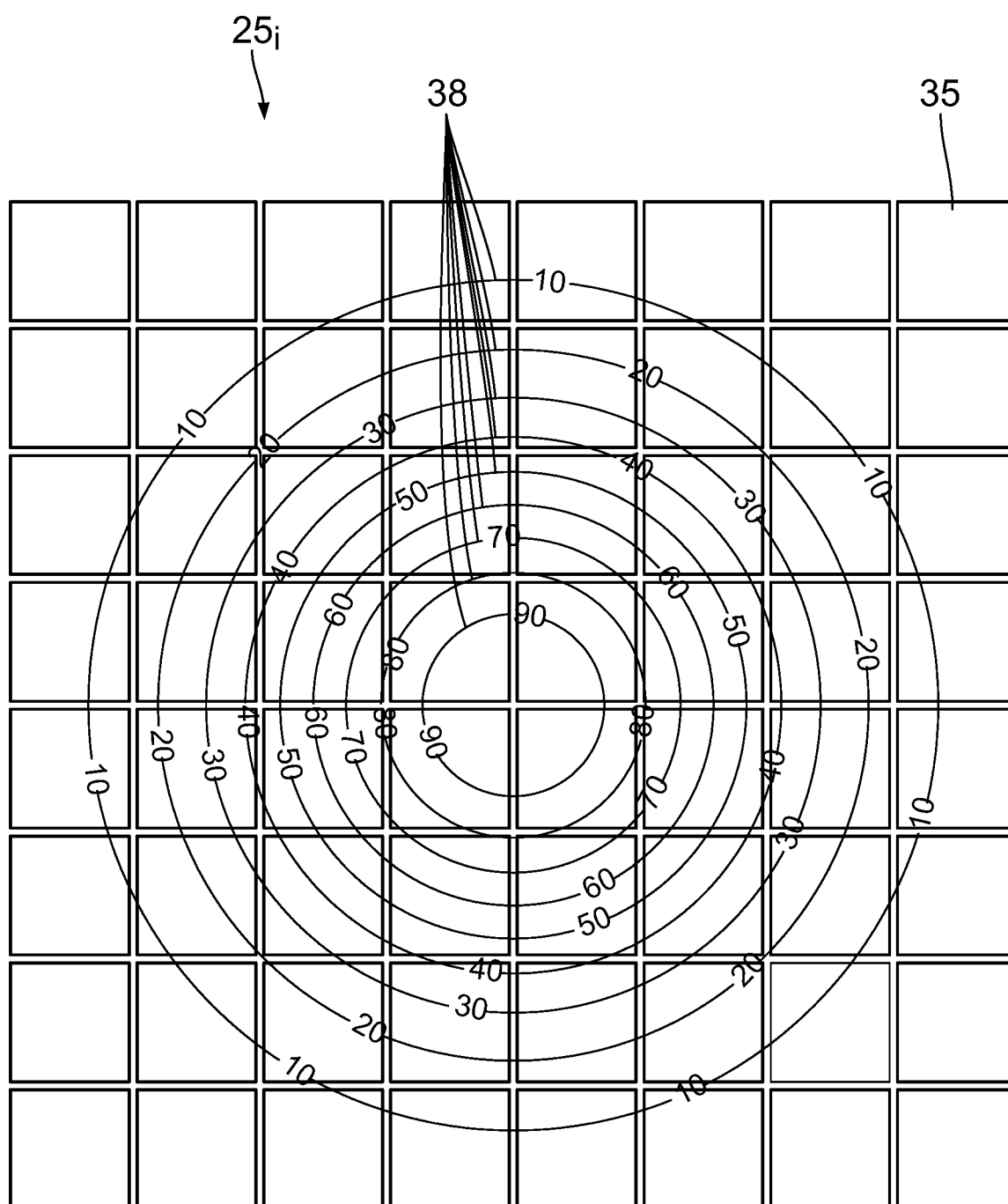


Fig. 5

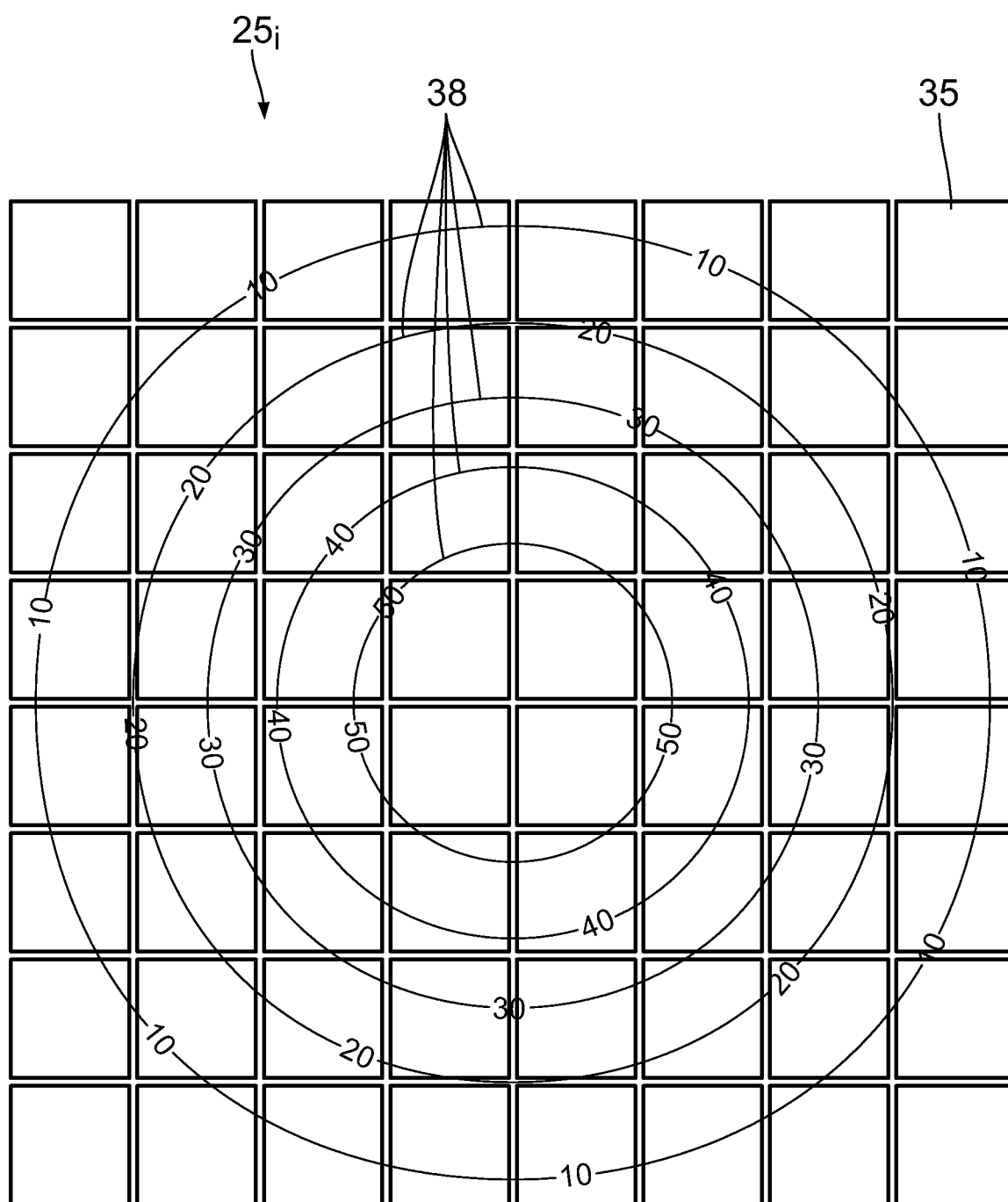


Fig. 6

25_i

35

| | | | | | | | |
|---|----|----|-----|-----|----|----|---|
| 1 | 3 | 6 | 9 | 9 | 6 | 3 | 1 |
| 3 | 9 | 20 | 30 | 30 | 20 | 9 | 3 |
| 6 | 20 | 45 | 67 | 67 | 45 | 20 | 6 |
| 9 | 30 | 67 | 100 | 100 | 67 | 30 | 9 |
| 9 | 30 | 67 | 100 | 100 | 67 | 30 | 9 |
| 6 | 20 | 45 | 67 | 67 | 45 | 20 | 6 |
| 3 | 9 | 20 | 30 | 30 | 20 | 9 | 3 |
| 1 | 3 | 6 | 9 | 9 | 6 | 3 | 1 |

Fig. 7

25_i

35

| | | | | | | | |
|----|----|----|----|----|----|----|----|
| 3 | 7 | 12 | 15 | 15 | 12 | 7 | 3 |
| 7 | 16 | 25 | 31 | 31 | 25 | 16 | 7 |
| 12 | 25 | 40 | 51 | 51 | 40 | 25 | 12 |
| 15 | 31 | 51 | 63 | 63 | 51 | 31 | 15 |
| 15 | 31 | 51 | 63 | 63 | 51 | 31 | 15 |
| 12 | 25 | 40 | 51 | 51 | 40 | 25 | 12 |
| 7 | 16 | 25 | 31 | 31 | 25 | 16 | 7 |
| 3 | 7 | 12 | 15 | 15 | 12 | 7 | 3 |

Fig. 8

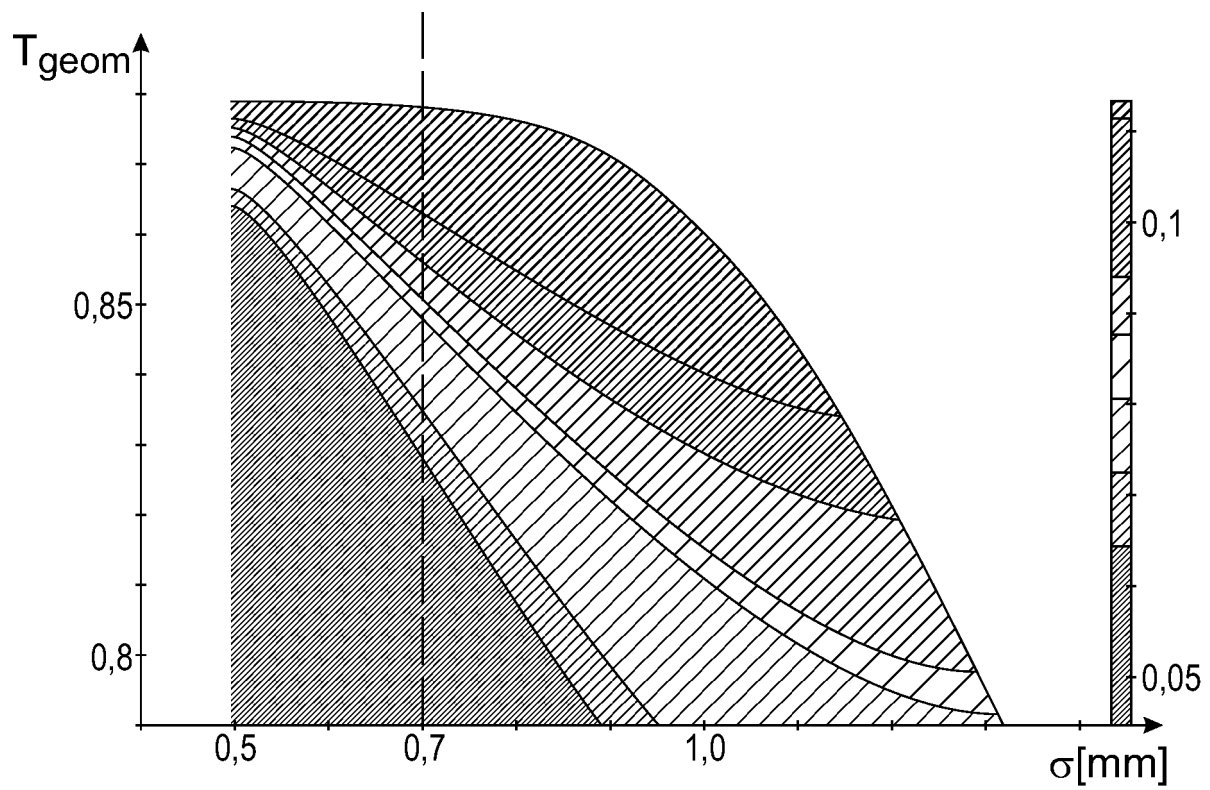


Fig. 9

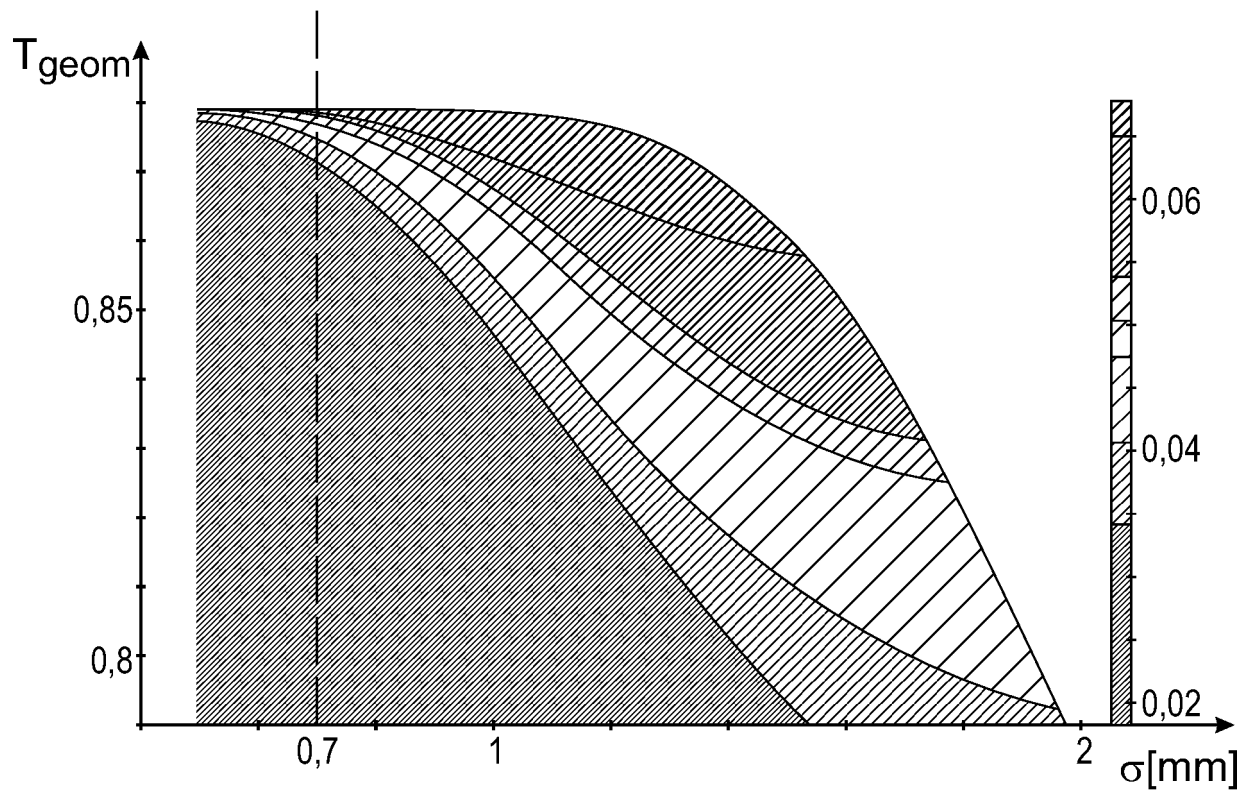


Fig. 10

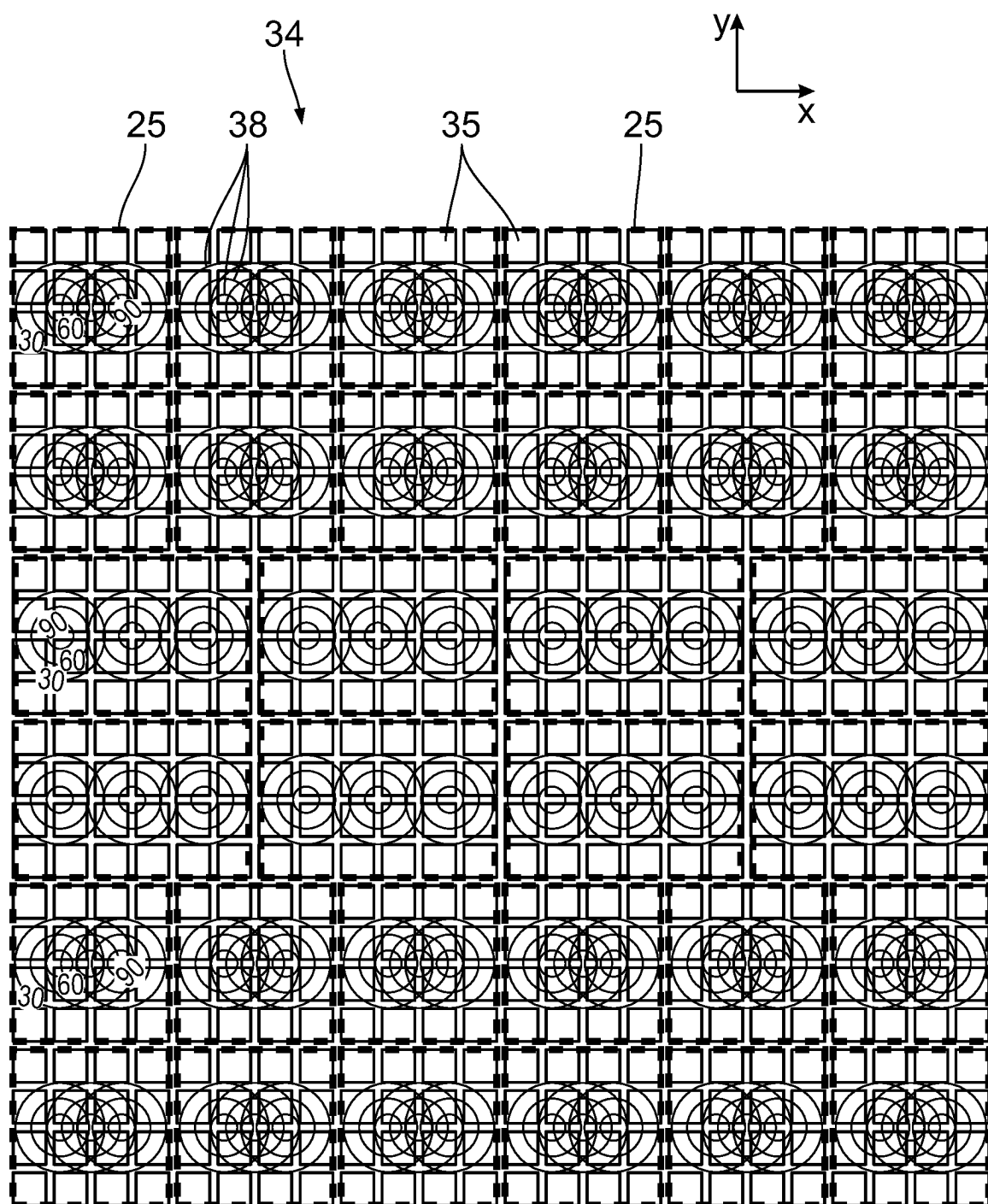


Fig. 11

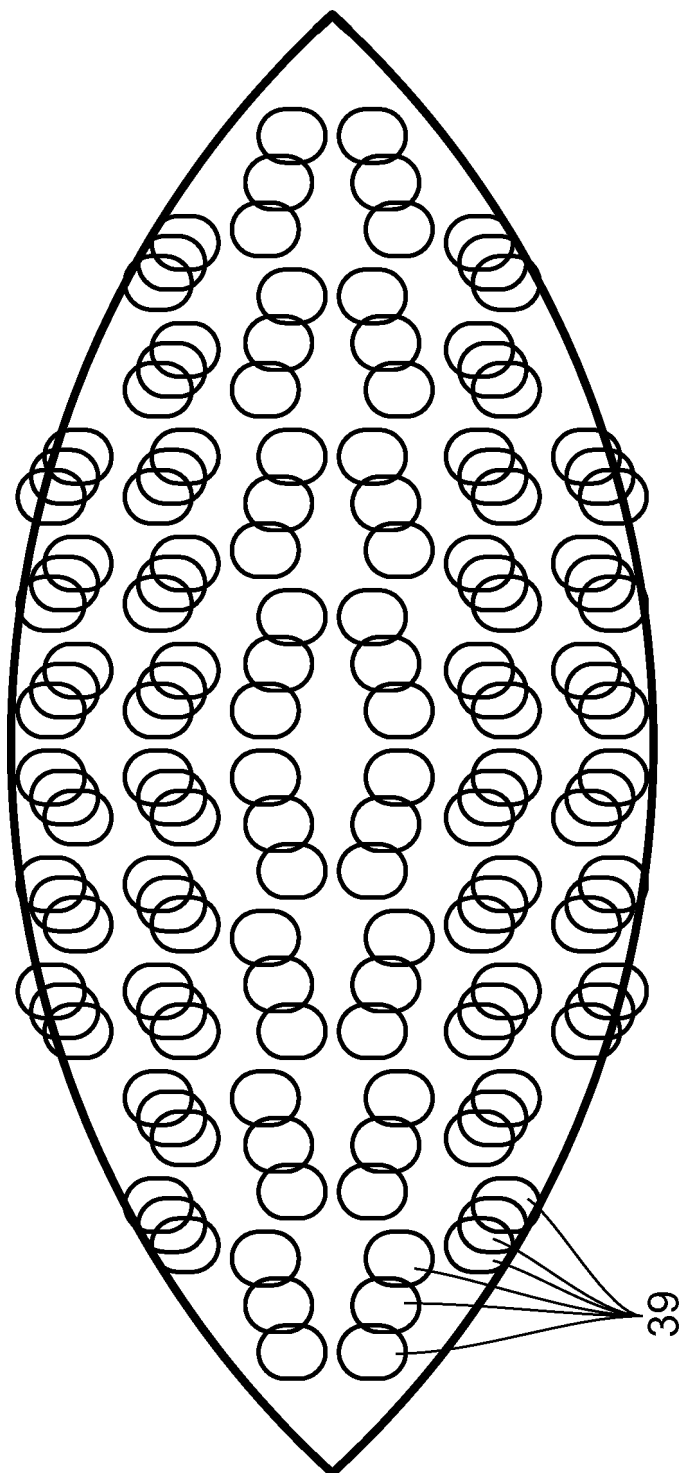


Fig. 12

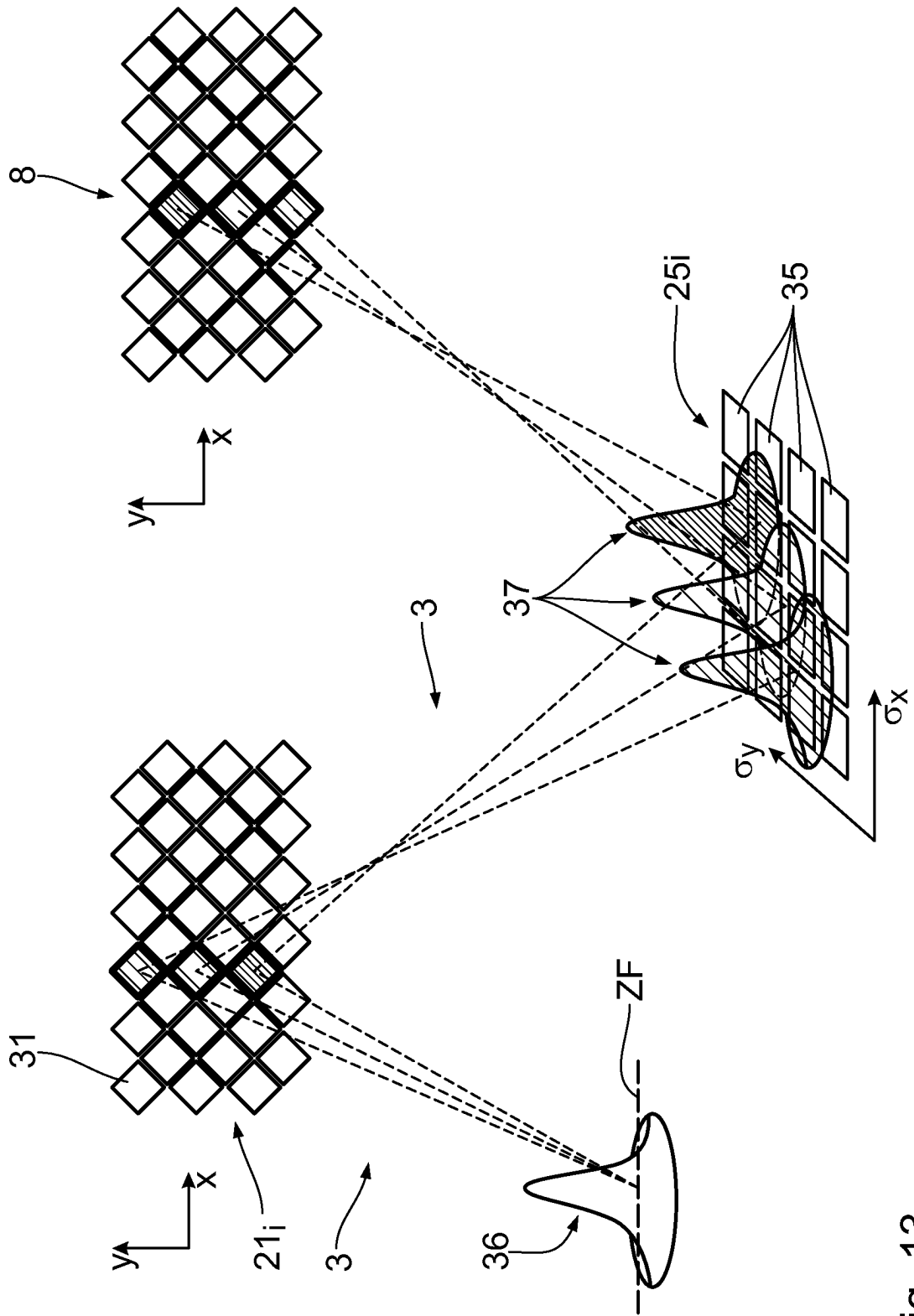


Fig. 13