

(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
20. Januar 2011 (20.01.2011)

(10) Internationale Veröffentlichungsnummer
WO 2011/006710 A2

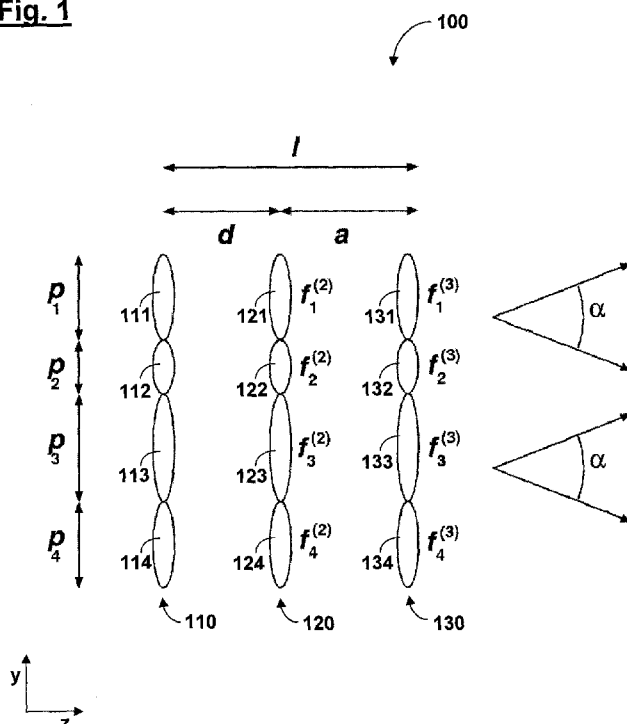
- (51) Internationale Patentklassifikation: Nicht klassifiziert
- (21) Internationales Aktenzeichen: PCT/EP2010/057934
- (22) Internationales Anmeldedatum:
7. Juni 2010 (07.06.2010)
- (25) Einreichungssprache: Deutsch
- (26) Veröffentlichungssprache: Deutsch
- (30) Angaben zur Priorität:
102009032939.0 14. Juli 2009 (14.07.2009) DE
- (71) Anmelder (für alle Bestimmungsstaaten mit Ausnahme von US): **CARL ZEISS SMT GMBH** [DE/DE]; Rudolf-Eber-Strasse 2, 73447 Oberkochen (DE).
- (72) Erfinder; und
- (75) Erfinder/Anmelder (nur für US): **PATRA, Michael** [DE/DE]; Schubartweg 41, 73447 Oberkochen (DE). **SCHWAB, Markus** [DE/DE]; Limesstrasse 47/2, 73434 Aalen (DE).
- (74) Anwälte: **FRANK, Hartmut** et al.; c/o Demski, Frank & Nobbe Patentanwälte, Reichspräsidentenstr. 21-25, 45470 Mülheim (DE).
- (81) Bestimmungsstaaten (soweit nicht anders angegeben, für jede verfügbare nationale Schutzrechtsart): AE, AG, AL, AM, AO, AT, AU, AZ, BA, BB, BG, BH, 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, IS, JP, KE, KG, KM, KN, KP, KR, KZ, LA, LC, LK, LR, LS, LT, LU, LY, MA, MD, ME, MG, MK, MN, MW, MX, MY, MZ, NA, NG, NI, NO, NZ, OM, PE, PG, PH, PL, PT, RO, RS, RU, 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.
- (84) Bestimmungsstaaten (soweit nicht anders angegeben, für jede verfügbare regionale Schutzrechtsart): ARIPO (BW, GH, GM, KE, LR, LS, MW, NA, SD, SL, SZ, TZ, UG, ZM, ZW), eurasisches (AM, AZ, BY, KG, KZ, MD, 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, SE, SI, SK, SM, TR), OAPI (BF, BJ, CF, CG, CI, CM, GA, GN, GQ, GW, ML, MR, NE, SN, TD, TG).

[Fortsetzung auf der nächsten Seite]

(54) Title: HONEYCOMB CONDENSER, PARTICULARLY FOR A MICROLITHOGRAPHIC PROJECTION EXPOSURE SYSTEM

(54) Bezeichnung : WABENKONDENSOR, INSBESONDERE FÜR EINE MIKROLITHOGRAPHISCHE PROJEKTIONSBELEUCHTUNGSANLAGE

Fig. 1



(57) Abstract: The invention relates to a honeycomb condenser (5, 12, 15, 100, 200, 300, 400, 500, 550), particularly for a microlithographic projection exposure system, comprising at least three arrangements (110-130, 310-340, 410-440) of beam-deflecting optical elements (111, 112,...; 121, 122,...; 131, 132,...; 311, 312,...; 411, 412,...) for producing a plurality of optical channels, said arrangements being provided successively in the light-propagation direction, wherein at least two of the aforementioned optical channels have a different cross-section in at least one of the aforementioned arrangements.

(57) Zusammenfassung: Die Erfindung betrifft einen Wabenkondensor (5, 12, 15, 100, 200, 300, 400, 500, 550), insbesondere für eine mikrolithographische Projektionsbeleuchtungsanlage, mit wenigstens drei in Lichtausbreitungsrichtung aufeinander folgenden Anordnungen (110-130, 310-340, 410-440) aus strahlablenkenden optischen Elementen (111, 112,...; 121, 122,...; 131, 132,...; 311, 312,...; 411, 412,...) zur Erzeugung einer Vielzahl optischer Kanäle, wobei in wenigstens einer dieser Anordnungen wenigstens zwei dieser optischen Kanäle einen unterschiedlichen Querschnitt aufweisen.

WO 2011/006710 A2

Veröffentlicht:

- *ohne internationalen Recherchenbericht und erneut zu veröffentlichen nach Erhalt des Berichts (Regel 48 Absatz 2 Buchstabe g)*

5 Wabenkondensator, insbesondere für eine mikrolithographische
Projektionsbelichtungsanlage

HINTERGRUND DER ERFINDUNG

10 Gebiet der Erfindung

Die Erfindung betrifft einen Wabenkondensator, insbesondere für eine mikrolithographische Projektionsbelichtungsanlage.

15

Stand der Technik

Mikrolithographische Projektionsbelichtungsanlagen werden zur Herstellung mikrostrukturierter Bauelemente, wie beispielsweise integrierter Schaltkreise oder
20 LCD's, angewendet. Eine solche Projektionsbelichtungsanlage weist eine Beleuchtungseinrichtung und ein Projektionsobjektiv auf. Im Mikrolithographieprozess wird das Bild einer mit Hilfe der Beleuchtungseinrichtung beleuchteten Maske (= Retikel) mittels des Projektionsobjektivs auf ein mit einer lichtempfindlichen Schicht (Photoresist) beschichtetes und in der Bildebene des Projektionsobjektivs
25 angeordnetes Substrat (z.B. ein Siliziumwafer) projiziert, um die Maskenstruktur auf die lichtempfindliche Schicht zu übertragen.

In der Beleuchtungseinrichtung ist zur Erzielung einer Lichtdurchmischung der Einsatz sogenannter Wabenkondensoren gebräuchlich, welche Rasteranordnungen aus einer Vielzahl strahlablenkender Elemente (z.B. Linsen mit Abmessungen
30 im Millimeterbereich) umfassen. Der Wabenkondensator kann sowohl zur Feldhomogenisierung als auch zur Pupillenhomogenisierung eingesetzt werden. Über die Homogenisierung des Laserlichtes hinaus besteht dabei eine weitere wichtige

Aufgabe des Wabenkondensors in der Stabilisierung, was bedeutet, dass die Lage der Ausleuchtung in einer bestimmten Ebene der Beleuchtungseinrichtung gegenüber Variationen von Ort und insbesondere Richtung der von der Laserlichtquelle ausgehenden Strahlenbündel unverändert bleibt.

5

Hierbei tritt nun bei herkömmlichen Wabenkondensoren, welche aus zwei Rasteranordnungen von strahlableitenden Linsen aufgebaut sind, das Problem auf, dass zur Erzielung der vorstehend beschriebenen Stabilisierung die in Lichtausbreitungsrichtung erste Rasteranordnung notwendigerweise in einem Abstand von
10 der in Lichtausbreitungsrichtung zweiten Rasteranordnung angeordnet sein muss, welcher der Brennweite der strahlableitenden Elemente bzw. Linsen der zweiten Rasteranordnung entspricht.

Diese Situation ist in Fig. 8 dargestellt, wobei jede der beiden Rasteranordnungen
15 810 und 820 durch nur zwei Linsen 811, 812 bzw. 821, 822 symbolisiert ist und wobei der der Baulänge des Wabenkondensors entsprechende Abstand mit l , die Brennweite der Linsen 811, 812 der ersten Rasteranordnung 810 mit f_1 und die Brennweite der Linsen 821, 822 der zweiten Rasteranordnung 820 mit f_3 bezeichnet ist. Mit p ist der sogenannte Pitch (d.h. die Periodenlänge der periodischen
20 bzw. matrixförmigen Rasteranordnungen 810 bzw. 820) bezeichnet, und α bezeichnet den durch den Wabenkondensor 800 im Fernfeld erzeugten Divergenzwinkel, wobei die numerische Apertur (NA) im Fernfeld des Wabenkondensors 800 durch den halben Divergenzwinkel $NA = \alpha/2$ gegeben ist.

25 Aus DE 10 2007 026 730 A1 ist eine Vorrichtung zur Erzeugung einer homogenen Winkelverteilung einer Laserstrahlung bekannt, welche zusätzlich zu einer ersten Homogenisierungsstufe mit einem ein erstes Linsenarray aufweisenden ersten Substrat und einem ein zweites Linsenarray aufweisenden zweiten Substrat ein
30 drittes Substrat mit einem dritten Linsenarray aufweist, wobei insbesondere auch der Abstand zwischen dem ersten Substrat und dem zweiten und/oder dritten Substrat veränderbar ist, um bei Bedarf die Winkelverteilung bzw. die Größe des ausgeleuchteten Bereichs in der sogenannten Arbeitsebene zu verändern.

Aus JP 2285628 A ist u.a. ebenfalls der Aufbau eines optischen Integrators aus drei aufeinander folgenden Linsenarrays bekannt.

Wie im Weiteren noch detaillierter erläutert, ermöglicht es der Einsatz von Wabenkondensoren, welche aus wenigstens drei Arrays von strahlablenkenden Elementen aufgebaut sind, die vorstehend erläuterte Einschränkung hinsichtlich der Übereinstimmung des Bauraums mit der Brennweite der Linsen der in Lichtausbreitungsrichtung letzten Rasteranordnung zu umgehen und damit die gewünschte Stabilisierungswirkung auch bei vergleichsweise geringem Bauraum des Wabenkondensors zu erzielen.

Ein weiteres, beim Einsatz von Wabenkondensoren in der Beleuchtungseinrichtung einer mikrolithographischen Projektionsbelichtungsanlage auftretendes Problem besteht in unerwünschten Interferenzeffekten, die durch die periodischen Strukturen der strahlablenkenden Elemente der jeweiligen Arrays gerade bei geringen Divergenzwinkeln bzw. Lichtleitwerten hervorgerufen werden. Von besonderer Bedeutung ist hierbei der Umstand, dass in der Eintrittsebene des in der Beleuchtungseinrichtung eingesetzten Wabenkondensors üblicherweise geringe Divergenzwinkel von nur wenigen Millirad (mrad) vorliegen, was dazu führt, dass eine nur geringe Anzahl diskreter, gut unterscheidbarer Beugungsordnungen erzeugt wird (z.B. können bei einem Divergenzwinkel von 1.5 mrad fünf Beugungsordnungen um jeweils 0.3 mrad voneinander entfernt sein). Während das Problem des Auftretens diskreter Beugungsordnungen bei höheren Divergenzwinkeln (z.B. 50 mrad) infolge der größeren Anzahl von Beugungsordnungen wegen der dann praktisch vorliegenden Homogenität nicht mehr störend ist, ergeben sich somit signifikante störende Effekte gerade in Systemen, bei denen durch den Wabenkondensor nur ein geringer Lichtleitwert eingeführt werden darf.

Ein in der Praxis relevantes Beispiel hierfür bilden Systeme, die mit sogenannten MMA's (kurz: „micro mirror array“ = Mikrospiegelarray) ausgestattet sind und eine Vielzahl unabhängig voneinander einstellbarer Mikrospiegel aufweisen. Ein weiteres relevantes Anwendungsbeispiel sind Systeme zur LCD-Herstellung, bei denen zur Verbesserung der optischen Eigenschaften des erzeugten LCD's eine kurzzei-

tige Glasaufschmelzung erfolgt, bei welcher sich wiederum die vorstehend erläuterten Beugungseffekte durch Auftreten unerwünschter diskreter Linien bemerkbar machen.

5

ZUSAMMENFASSUNG DER ERFINDUNG

Es ist eine Aufgabe der vorliegenden Erfindung, einen Wabenkondensator, insbesondere für eine mikrolithographische Projektionsbelichtungsanlage, bereitzustellen, welcher die vorstehend erläuterten Nachteile zumindest weitgehend vermeidet und insbesondere eine verbesserte Homogenisierung und Stabilisierung des Laserlichtes auch beim Einsatz in Bereichen geringer Divergenzwinkel ermöglicht.

Diese Aufgabe wird durch die Merkmale des unabhängigen Patentanspruchs 1 gelöst.

Ein Wabenkondensator weist gemäß einem Aspekt der Erfindung wenigstens drei in Lichtausbreitungsrichtung aufeinander folgende Anordnungen aus strahlableitenden optischen Elementen zur Erzeugung einer Vielzahl optischer Kanäle auf, wobei in wenigstens einer dieser Anordnungen wenigstens zwei dieser optischen Kanäle einen unterschiedlichen Querschnitt aufweisen.

Infolge des unterschiedlichen Querschnitts von wenigstens zwei optischen Kanälen im Bereich wenigstens einer der Anordnungen wird für diese Anordnung insbesondere keine regelmäßige Rasteranordnung mit konstantem Rastermaß („Pitch“) bzw. konstanter Periodenlänge geschaffen, so dass der vorstehend beschriebene unerwünschte Effekt einer an der betreffenden Anordnung stattfindenden Gitterbeugung, also die Erzeugung von diskreten, das Abbildungsergebnis störenden Beugungsordnungen zumindest reduziert wird.

30

Als einen unterschiedlichen Querschnitt aufweisend werden hier und im Folgenden optische Kanäle angesehen, sofern diese eine unterschiedliche Fläche, eine unterschiedliche Form und/oder eine unterschiedliche Orientierung aufweisen.

Hierbei sind die Begriffe Querschnitt, Form, Fläche und Orientierung jeweils auf die Hauptebene der betreffenden strahlableitenden Elemente in der Anordnung bezogen. Bei Vorhandensein von zwei Hauptebenen (als bei Ausgestaltung der strahlableitenden optischen Elemente als „dicke Linsen“) können der Mittelwert
5 der Flächen auf der vorderen und der hinteren Hauptebene herangezogen werden oder es können die Form bzw. Orientierung nur auf der vorderen Hauptebene oder nur auf der hinteren Hauptebene zum Vergleich herangezogen werden.

Der unterschiedliche Querschnitt kann beispielsweise dadurch bewirkt werden,
10 dass die optisch wirksamen Flächen von wenigstens zwei strahlableitenden optischen Elementen unterschiedlich groß sind oder dass diese – bei gleicher Fläche – eine unterschiedliche Geometrie (z.B. Rechteckformen mit unterschiedlichem Aspektverhältnis) aufweisen. Des Weiteren können auch wenigstens zwei strahlableitende optische Elemente mit übereinstimmender Fläche und Form unter-
15 schiedlich orientiert sein (durch unterschiedliche Ausrichtung von z.B. quadratischen oder hexagonalen strahlableitenden optischen Elementen).

Die Kombination des nicht streng rasterförmigen Aufbaus aus den strahlableitenden optischen Elementen mit dem weiteren Merkmal, wonach wenigstens drei An-
20 ordnungen aus solchen strahlableitenden Elementen vorgesehen sind, hat hierbei weiter zur Folge, dass auch bei nicht konstantem Querschnitt der durch einander zugeordnete strahlableitende Elemente dieser Anordnungen gebildeten optischen Kanäle für hindurchtretendes Licht die Baubarkeit des durch die Anordnungen gebildeten Wabenkondensors weiter gewährleistet bleibt. Hierbei wird ausge-
25 nutzt, dass ein dreistufiger Wabenkondensator im Gegensatz zu einem zweistufigen Wabenkondensator nicht der Einschränkung einer periodischen Auslegung sämtlicher Anordnungen aus strahlableitenden Elementen mit konstantem Pitch unterliegt.

30 Ein solcher „dreistufiger Wabenkondensator“ 600 ist schematisch in Fig. 6 dargestellt, wobei in der (in z-Richtung im eingezeichneten Koordinatensystem) verlaufenden Lichtausbreitungsrichtung drei Anordnungen 610, 620 und 630 aus strahlableitenden Elementen 611, 612,... vorgesehen sind. Wenngleich in der schema-

tischen Darstellung lediglich zwei Elemente (refraktive Linsen) für jede der Anordnungen in der Seitenansicht dargestellt sind, ist deren Anzahl typischerweise wesentlich größer. Mit „d“ ist der Abstand zwischen der ersten Anordnung 610 und der zweiten Anordnung 620, und mit „a“ ist der Abstand zwischen der zweiten Anordnung 620 und der dritten Anordnung 630 bezeichnet.

Die zweite Anordnung 620 und die dritte Anordnung 630 bilden ein optisches System, in dessen vorderer Brennebene die erste Anordnung 610 liegt und das eine effektive Brennweite F besitzt. Für die Wirkung zweier Linsen bezüglich Gesamtbrennweite F und Abstand d der vorderen Brennebene gilt:

$$d = \frac{(f_3 - a)f_2}{f_3 - a + f_2} \quad (1)$$

$$F = \frac{f_2 f_3}{f_2 f_3 - a} \quad (2)$$

Für eine vorgegebene Lage der Anordnungen 610-630, also für konstante Werte von „a“ und „d“ sowie für einen vorgegebenen Wert von F (da dieser zusammen mit dem Pitch „p“ die Fernfeldverteilung α bestimmt), ergeben sich eindeutig die notwendigen Brennweiten f_2 und f_3 der zweiten und der dritten Anordnung 620, 630:

$$f_2 = \frac{ad}{a + d - F} \quad (3)$$

$$f_3 = \frac{aF}{F - d} \quad (4)$$

Beide Abstände „a“ und „d“, und damit auch die Gesamtbaulänge $l=a+d$ können hierbei frei gewählt werden. Damit ist es insbesondere möglich, die Baulänge des Wabenkondensators 600 bei gegebener Winkelverteilung und gegebenem Pitch

(letzterer ist für Beugungsverluste relevant und kann daher nicht beliebig gewählt werden) zu verkleinern.

Fig. 7 zeigt ein Diagramm zur Erläuterung des Einflusses des Pitch auf die im Fernfeld erzielte Intensitätsverteilung. Es zeigt sich, dass eine für einen vergleichsweise kleinen Pitch von im Beispiel 0.1 mm bis 0.25 mm gaussförmige Intensitätsverteilung in eine in ihrem Maximum abgeflachte Verteilung durch Einstellung eines größeren Pitch von im Beispiel 1 mm bis 5 mm umgewandelt werden kann. Des Weiteren kann dies, wie im Weiteren noch detaillierter erläutert, ohne Erfordernis einer Vergrößerung des Wabenkondensors, d.h. bei gegebenem Bau-
raum, erfolgen.

Gemäß einer Ausgestaltung der Erfindung sind in wenigstens einer der Anordnungen aus strahlablenkenden optischen Elementen, insbesondere in sämtlichen dieser Anordnungen, die optisch wirksamen Flächen der strahlablenkenden optischen Elemente unterschiedlich groß.

Gemäß einer Ausführungsform variiert die Größe der optisch wirksamen Fläche in wenigstens einer Anordnung um wenigstens 10 %, insbesondere um wenigstens 20 %, weiter insbesondere um wenigstens 30 %.

Gemäß einer Ausführungsform ist wenigstens eine der Anordnungen in ihrem Aufbau aus den strahlablenkenden optischen Elementen wenigstens bereichsweise aperiodisch. Hierdurch kann eine weitere Reduzierung der vorstehend beschriebenen unerwünschten Interferenzeffekte bis hin zu deren vollständiger Eliminierung erreicht werden. Insbesondere kann die jeweilige Anordnung auch über ihre gesamte optisch wirksame Fläche aperiodisch sein.

Die Erfindung ist jedoch nicht auf eine nicht-periodische Auslegung einer oder mehrerer der Anordnungen aus strahlablenkenden optischen Elementen beschränkt, da der erfindungsgemäße Aufbau mit optischen Kanälen von innerhalb der gleichen Anordnung unterschiedlichem Querschnitt auch noch bei Einhaltung

einer gewissen Periodizität des Gesamtaufbaus (z.B. in einer Abfolge „A-B-A-B-...“) realisierbar ist.

5 Gemäß einer Ausführungsform bildet wenigstens eine der Anordnungen eine nicht-ebene Anordnung aus strahlablenkenden optischen Elementen. Insbesondere kann die betreffende Anordnung über die gesamte optisch wirksame Fläche eine konkave Krümmung oder über die gesamte optisch wirksame Fläche eine konvexe Krümmung aufweisen. Auf diese Weise kann erreicht werden, dass die optischen Kanäle über die strahlablenkenden Elemente in eine Anordnung hinweg in
10 gleichmäßiger Weise breiter bzw. schmaler werden.

Gemäß einer Ausführungsform weist wenigstens einer der optischen Kanäle einen entlang der Lichtausbreitungsrichtung variierenden Querschnitt (bzw. eine variierende Ausdehnung senkrecht zur Lichtausbreitungsrichtung) auf.

15 Gemäß einer Ausführungsform sind wenigstens zwei optische Kanäle, welche bei Lichteintritt in den Wabenkondensator zueinander benachbart sind, bei Lichtaustritt aus dem Wabenkondensator nicht mehr zueinander benachbart. Durch diese Maßnahme werden zwar für die Mischung der Lichtintensität keine wesentlichen Vorteile erzielt, da das Fernfeld aus der Überlagerung der Vielzahl einzelner Kanäle erzeugt und die Durchmischung im Fernfeld weder verbessert noch verschlechtert wird. Gleichwohl wird aber ein Vorteil durch die vorstehende Ausgestaltung inso-
20 weit erreicht, als aufgrund der in der Feldebene unter größeren Strahlwinkeln aufeinandertreffenden elektromagnetischen Wellen eine feinere bzw. höherfrequente Struktur bei der Abbildung erzeugt wird, die wiederum eine bessere Unterdrückung von unerwünschten Streueffekten im System aufgrund von Abberationen oder z.B. Streuscheiben ermöglicht, da diese Effekte durch eine feinere Struktur
25 einfacher ausgeglichen („weggemittelt“) werden können.

30 Gemäß einer Ausführungsform ist ein Positionsmanipulator zur Variation der Relativposition von wenigstens zwei der Anordnungen aus strahlablenkenden optischen Elementen zueinander vorgesehen.

Die strahlablenkenden Elemente können als refraktive oder diffraktive optische Elemente ausgestaltet und z.B. aus Quarzglas (SiO_2) oder Kalziumfluorid (CaF_2) hergestellt sein, wobei die Herstellung aus Kalziumfluorid insbesondere im Hinblick auf die verbesserte Lichtbeständigkeit (Vermeidung von Kompaktierungseffekten etc.) vorteilhaft ist. Entsprechende refraktive Linsen zur Ausbildung der strahlablenkenden Elemente können beispielsweise Bikonvexlinsen, Plankonvexlinsen, Zylinderlinsen etc. sein.

Gemäß einer weiteren Ausgestaltung können einzelne oder sämtliche der strahlablenkenden Elemente auch als reflektive Elemente (Spiegel) ausgebildet sein. Die Erfindung ist somit insbesondere auch im EUV-Bereich (d.h. bei Wellenlängen kleiner als 15 nm, insbesondere etwa 13 nm oder etwa 7 nm) geeignet.

Gemäß einem weiteren Aspekt betrifft die Erfindung einen Wabenkondensor, insbesondere für eine mikrolithographische Projektionsbelichtungsanlage, mit wenigstens zwei in Lichtausbreitungsrichtung aufeinander folgenden Anordnungen aus strahlablenkenden optischen Elementen zur Erzeugung einer Vielzahl optischer Kanäle, wobei wenigstens zwei dieser optischen Kanäle, welche bei Lichteintritt in den Wabenkondensor zueinander benachbart sind, bei Lichtaustritt aus dem Wabenkondensor nicht zueinander benachbart sind.

Infolge dieser Ausgestaltung kann, wie vorstehend erläutert, aufgrund der in der Feldebene unter größeren Strahlwinkeln aufeinandertreffenden elektromagnetischen Wellen eine feinere bzw. höherfrequente Struktur bei der Abbildung erzeugt werden, die wiederum eine bessere Unterdrückung von unerwünschten Streueffekten im System aufgrund von Abberationen oder z.B. Streuscheiben ermöglicht.

Gemäß einer Ausführungsform weist der Wabenkondensor wenigstens drei in Lichtausbreitungsrichtung aufeinander folgende Anordnungen aus strahlablenkenden optischen Elementen auf.

Gemäß einem weiteren Aspekt betrifft die Erfindung auch eine Beleuchtungseinrichtung mit einem erfindungsgemäßen Wabenkondensor.

Die Beleuchtungseinrichtung kann insbesondere eine Mikrospiegelanordnung (MMA) mit einer Vielzahl unabhängig voneinander einstellbarer Mikrospiegel aufweisen.

5

Gemäß einer Ausführungsform ist der wenigstens eine Wabenkondensator in einem Bereich angeordnet, wo der Divergenzwinkel des die Beleuchtungseinrichtung im Betrieb durchlaufenden Lichtes maximal 10 mrad, insbesondere maximal 5 mrad, weiter insbesondere maximal 3 mrad, beträgt.

10

Gemäß einer Ausführungsform ist der wenigstens eine Wabenkondensator in Lichtausbreitungsrichtung eines der drei ersten optischen Elemente in der Beleuchtungseinrichtung.

15

Die Positionierung des Wabenkondensators im Bereich kleiner Divergenzwinkel bzw. nahe am Eintritt in die Beleuchtungseinrichtung ist im Hinblick auf die gerade bei geringen Divergenzwinkeln relevanten, erfindungsgemäß zumindest teilweise unterdrückten Interferenzeffekte vorteilhaft.

20

Gemäß einer Ausführungsform ist der wenigstens eine Wabenkondensator zumindest in unmittelbarer Nähe einer Pupillenebene angeordnet. In einer solchen Position kann der Wabenkondensator zur Aufspannung des Feldes (d.h. als sogenanntes FDE, d.h. als „felddefinierendes Element“) verwendet werden.

25

Gemäß weiteren Aspekten betrifft die Erfindung auch eine mikrolithographische Projektionsbelichtungsanlage, ein Verfahren zur mikrolithographischen Herstellung mikrostrukturierter Bauelemente sowie ein mikrostrukturiertes Bauelement.

30

Das Bauelement kann insbesondere ein LCD-Display sein, da bei dessen Herstellung, wie eingangs bereits erläutert, die Vermeidung unerwünschter Beugungseffekte besonders zum Tragen kommt.

Weitere Ausgestaltungen der Erfindung sind der Beschreibung sowie den Unteransprüchen zu entnehmen.

Die Erfindung wird nachstehend anhand von in den beigefügten Abbildungen dargestellten Ausführungsbeispielen näher erläutert.

KURZE BESCHREIBUNG DER ZEICHNUNGEN

10 Es zeigen:

Figur 1 einen Wabenkondensator in schematischer Darstellung gemäß einer ersten Ausführungsform der Erfindung;

15 Figur 2a-c Fourierspektren zur Erläuterung der Wirkungsweise des Wabenkondensators von Figur 1 (Figur 2c) im Vergleich zu herkömmlichen Wabenkondensatoren (Figur 2a und 2b);

Figur 3 und 4 Wabenkondensatoren in schematischer Darstellung gemäß
20 weiterer Ausführungsformen der Erfindung;

Figur 5a-b schematische Darstellungen zur Erläuterung des Effektes
einer gemäß einer Ausführungsform der Erfindung erfolgenden
25 Variation der Lage der optischen Kanäle auf der Lichteintritts- bzw. Lichtaustrittsseite (Figur 5b) im Vergleich zu einer Ausgestaltung ohne diese Variation (Figur 5a);

Figur 6 eine schematische Darstellung eines dreistufigen Wabenkondensators;

30 Figur 7 ein Diagramm zur Erläuterung des Einflusses der Pitchgröße in einem Wabenkondensator auf die im Fernfeld erzielte Intensitätsverteilung;

Figur 8 eine schematische Darstellung zur Erläuterung der Wirkungsweise eines herkömmlichen, zweistufigen Wabenkondensators;

5

Figur 9 eine schematische Darstellung eines beispielhaften Aufbaus einer Beleuchtungseinrichtung einer mikrolithographischen Projektionsbelichtungsanlage gemäß einer Ausführungsform der vorliegenden Erfindung; und

10

Figur 10 eine schematische Darstellung einer Beleuchtungseinrichtung gemäß einer weiteren Ausführungsform der vorliegenden Erfindung.

15

DETAILLIERTE BESCHREIBUNG BEVORZUGTER AUSFÜHRUNGSFORMEN

In Fig. 1 ist ein erfindungsgemäßer Wabenkondensator 100 gemäß einer ersten Ausführungsform schematisch dargestellt. Der Wabenkondensator 100 weist drei in
20 Lichtausbreitungsrichtung (entsprechend der z-Richtung im eingezeichneten Koordinatensystem) hintereinander befindliche Anordnungen 110, 120 und 130 auf, welche jeweils eine Vielzahl von strahlablenkenden Elementen 111-114, 121-124 und 131-134 aufweisen, die im Ausführungsbeispiel jeweils als refraktive Bikonvexlinsen aus Kalziumfluorid ausgestaltet und in jeder Anordnung jeweils lückenlos aneinander gereiht sind.
25

Wenngleich in der schematischen Darstellung lediglich vier Linsen für jede der Anordnungen 110, 120 und 130 in der Seitenansicht erkennbar sind, ist die Anzahl strahlablenkender optischer Elemente pro Anordnung typischerweise wesentlich
30 größer. Eine lediglich beispielhafte, typische Anzahl kann etwa 40*40 strahlablenkende optische Elemente pro Anordnung betragen, wobei typische Abmessungen im Millimeterbereich, z.B. bei 0.5 mm bis 4 mm liegen können (ohne dass die Erfindung hierauf beschränkt wäre).

Gemäß Fig. 1 ist jede der drei Anordnungen 110, 120 und 130 hinsichtlich ihres Aufbaus aus strahlablenkenden optischen Elementen aperiodisch ausgebildet. Dies wird im Ausführungsbeispiel dadurch erreicht, dass für jede der drei Anordnungen 110-130 jeweils die Ausdehnung bzw. die optisch wirksamen Flächen der strahlablenkenden optischen Elemente 111, 112,... unterschiedlich groß sind, so dass die durch die strahlablenkenden optischen Elemente 111, 112,... erzeugten optischen Kanäle einen unterschiedlichen Querschnitt aufweisen. Genauer folgt z.B. in der Anordnung 110 auf ein vergleichsweise mittelgroßes Element 111 ein vergleichsweise kleines Element 112, auf dieses ein vergleichsweise großes Element 113 etc., wobei die Ausdehnung der Elemente als p_1, p_2, \dots bezeichnet ist. Mit „d“ ist der Abstand zwischen der ersten Anordnung 110 und der zweiten Anordnung 120, und mit „a“ der Abstand zwischen der zweiten Anordnung 120 und der dritten Anordnung 130 bezeichnet. Für eine gegebene Lage der Anordnungen 110-130, also für konstante Werte von a und d sowie für eine gegebene effektive Brennweite F der Gesamtanordnung ergeben sich die notwendigen Brennweiten für die zweite Anordnung 120 und die dritte Anordnung 130 aus den Beziehungen (3) und (4) wie folgt:

$$f_2 = \frac{ad}{a + d - F} \quad (3)$$

$$f_3 = \frac{aF}{F - d} \quad (4)$$

Aufgrund der variablen Ausdehnungen p_i ($i=1,2,\dots$) der strahlablenkenden optischen Elemente der jeweils benachbarten Elemente 111, 112,... sind nun diese Brennweiten in der zweiten bzw. dritten Anordnung 120, 130 jeweils unterschiedlich und für die zweite Anordnung mit $f_1^{(2)}, f_2^{(2)}, \dots$ sowie für die dritte Anordnung mit $f_1^{(3)}, f_2^{(3)}, \dots$ bezeichnet.

Gemäß Fig. 1 bilden die strahlablenkenden Elemente 111, 112,... für jede der Anordnungen 110, 120 und 130 jeweils einen über die gesamte optisch wirksame Fläche nicht-periodischen Aufbau, d.h. der jeweilige Aufbau weist keinerlei Periodizität auf. Die Erfindung ist jedoch hierauf nicht beschränkt. Vielmehr sollen auch Wabenkondensoren als von der vorliegenden Anmeldung umfasst gelten, bei denen trotz Variation der optisch wirksamen Fläche, Form oder Orientierung der optischen Kanäle bzw. der diese erzeugenden strahlablenkenden optischen Elemente in wenigstens einer Anordnung noch eine gewisse Periodizität (z.B. in einer Abfolge „A-B-A-B-...“) vorhanden ist.

Des Weiteren umfasst die Erfindung auch Wabenkondensoren, bei welchen die Variation der optisch wirksamen Fläche, der Form oder der Orientierung der strahlablenkenden Elemente oder ein wenigstens bereichsweise aperiodischer Aufbau nicht für sämtliche Anordnungen, sondern nur für eine oder zwei der insgesamt wenigstens drei Anordnungen gegeben ist.

Im Folgenden wird der durch die erfindungsgemäße Ausgestaltung des Wabenkondensors 100 von Fig. 1 erzielte Effekt anhand von Fig. 2 durch Vergleich mit einem traditionellen, periodischen Wabenkondensator (Fig. 2a) sowie einem Wabenkondensator mit zufälliger Dickenvariation der optischen Kanäle bzw. Einführung einer zusätzlichen Phasenverschiebung von 0 bis 2π für jeden optischen Kanal (Fig. 2b) dargestellt, wobei der erfindungsgemäße Wabenkondensator 100 in Fig. 2c charakterisiert ist.

Gezeigt sind in Fig. 2a-c jeweils die Fourierspektren für die betreffenden Wabenkondensoren. Diese Fourierspektren wurden jeweils für einen horizontalen Schnitt durch das Fernfeld bei simulierter Bestrahlung der Systeme mit einer ebenen Welle berechnet, wobei der Kehrwert des mittleren Pitch als „Frequenz 1“ zur Normierung der Ortsfrequenz verwendet wurde. Wie aus Fig. 2a ersichtlich ist, führt der traditionelle Wabenkondensator zu regelmäßigen Peaks im Fernfeld, deren Ortsfrequenz durch den inversen Wert des Pitch gegeben ist, so dass bei einem Wert Eins der normierten Ortsfrequenz ein großer Peak auftritt. Dieser Peak bleibt in

Fig. 2b trotz deutlicher Verringerung noch erkennbar. In Fig. 2c zeigt sich hingegen eine deutliche Verschmierung des Peaks zu einer breiten Struktur, so dass erkennbar wird, dass die periodischen Beugungseffekte im Fernfeld durch die erfindungsgemäße Ausgestaltung wirkungsvoll unterdrückt werden können.

5

Fig. 3 zeigt einen erfindungsgemäßen Wabenkondensator 300 gemäß einer weiteren Ausführungsform. Dieser umfasst als „vierstufiger“ Wabenkondensator vier Anordnungen 310-340 aus strahlableitenden optischen Elementen von denen jeweils nur vier bzw. fünf Elemente angedeutet sind.

10

Der Wabenkondensator 300 hat mit dem Wabenkondensator 100 zunächst den wenigstens bereichsweise aperiodischen Aufbau gemeinsam, wobei wiederum in wenigstens einer (nämlich im konkreten Falle in zwei) Anordnungen der Querschnitt der optischen Kanäle bzw. die optisch wirksame Fläche der strahlableitenden Elemente variiert. Hierbei handelt es sich um die Anordnungen 320 und 330, wohingegen die erste Anordnung 310 und die vierte Anordnung 340 jeweils als periodische Anordnungen aus strahlableitenden optischen Elementen mit konstantem Rastermaß bzw. Pitch ausgebildet sind.

15

20

Der Wabenkondensator 300 unterscheidet sich jedoch vom Wabenkondensator 100 dadurch, dass die durch einander zugeordnete strahlableitende optische Elemente in den Anordnungen 310-340 gebildeten optischen Kanäle für hindurchtretendes Licht, welche mittels gestrichelter Linien angedeutet sind, keinen konstanten Querschnitt (bzw. keinen in Lichtausbreitungsrichtung konstanten Verlauf ihrer Ausdehnung bzw. Breite) aufweisen, wobei insbesondere im Ausführungsbeispiel die optischen Kanäle von Anordnung zu Anordnung abwechselnd breiter und schmaler werden.

25

30

Gemäß einer weiteren (nicht dargestellten) Ausführungsform können die Anordnungen auch nicht-eben ausgestaltet sein, also zumindest bereichsweise oder auch über die gesamte optisch wirksame Fläche konvex oder konkav gekrümmt sein.

Gemäß einer weiteren (nicht dargestellten) Ausführungsform kann das Merkmal des variierenden Querschnitts der optischen Kanäle auch in einem dreistufigen Wabenkondensator verwirklicht werden, sofern die strahlableitenden optischen Elemente der in Lichtausbreitungsrichtung letzten Anordnung nicht äquidistant zueinander angeordnet sind. Wie bereits erläutert ist dies ohne weiteres möglich und führt geometrisch-optisch zum gleichen Fernfeld wie bei einem äquidistant ausgelegten Wabenkondensator. Wellenoptisch führt eine nicht-äquidistante letzte Anordnung des Wabenkondensators zwar zu geringen Unterschieden im Fernfeld der einzelnen optischen Kanäle, die jedoch zumeist vernachlässigt werden können.

10

In Fig. 4 ist eine weitere Ausführungsform eines Wabenkondensators 400 gemäß der vorliegenden Erfindung in schematischer Darstellung gezeigt. Dieser Wabenkondensator 400 umfasst zusätzlich zu einer in Lichtausbreitungsrichtung ersten Anordnung 410 aus strahlableitenden Elementen 411, 412,... und einer in Lichtausbreitungsrichtung letzten Anordnung 440 aus strahlableitenden Elementen 441, 442,... zwei zwischen diesen Anordnungen 410, 440 befindliche Anordnungen 420 und 430, welche ebenfalls strahlableitende Elemente 421, 422,... bzw. 431, 432,... umfassen, die jedoch als keilförmige Prismen ausgelegt sind. Diese keilförmigen Prismen können insbesondere auch unmittelbar auf den als Bikonvexlinsen ausgelegten strahlableitenden Elementen der jeweils benachbarten Anordnung 410 bzw. 440 angeordnet sein.

15

20

25

30

Wie durch die gestrichelten Linien in Fig. 4 angedeutet ist, hat das Vorhandensein dieser keilförmigen Prismen zur Folge, dass die den Lichtdurchtritt durch den Wabenkondensator ermöglichenden optischen Kanäle, welche bei Lichteintritt in den Wabenkondensator 400 zueinander benachbart sind, bei Lichtaustritt aus dem Wabenkondensator 400 nicht mehr zueinander benachbart sind. Diese Wirkung kann selbstverständlich - anstatt durch keilförmige Prismen in Kombination mit refraktiven Linsen - auch durch reflektive Elemente bzw. Spiegel erzielt werden. Des Weiteren kann das besagte Konzept einer Änderung der Zuordnung der Lage der optischen Kanäle auf der lichteintrittsseitigen Anordnung 410 im Vergleich zur lichtaustrittsseitigen Anordnung 440 sowohl in Verbindung mit der erfindungsgemäßen Ausgestaltung des Wabenkondensators mit variablem Abstand zwischen den

strahlableitenden Elementen bzw. deren nicht-periodischer Anordnung, als auch unabhängig hiervon, d.h. in Verbindung mit einem herkömmlichen periodischen Aufbau aus den strahlableitenden optischen Elementen (wie in Fig. 4 der Fall) realisiert werden.

5

Der durch das Konzept von Fig. 4, nämlich der Änderung der Lage der optischen Kanäle in der Lichtaustrittsseitigen Anordnung relativ zur Lichteintrittsseitigen Anordnung im Wabenkondensator, erzielte Effekt ist in Fig. 5a und 5b veranschaulicht.

10

In diesen schematischen Darstellungen ist zwecks einfacherer Darstellung jeweils von einem Wabenkondensator 500 bzw. 550 nur die Lichteintrittsseitige Anordnung 510 bzw. 560 und die Lichtaustrittsseitige Anordnung 520 bzw. 570 aus strahlableitenden optischen Elementen gezeigt. Mit 530 bzw. 580 ist jeweils die zwischen dem Wabenkondensator 500 bzw. 550 befindliche und in der Zeichnung lediglich angedeutete optische Anordnung („Fourieroptik“) bezeichnet. Die vorstehend unter Bezug auf Fig. 4 erläuterte, veränderte relative Zuordnung der optischen Kanäle Lichtaustrittsseitig zu Lichteintrittsseitig hat gemäß Fig. 5b zur Folge, dass die in der Feldebene FE aufeinander treffenden Wellen im Vergleich zur Situation von Fig. 5a (mit gleich bleibender relativer Zuordnung der Kanäle Lichteintritts- und Lichtaustrittsseitig) unter größeren Winkeln aufeinander treffen, was wiederum höherfrequente bzw. feinere Strukturen in der Feldebene FE erzeugt.

15

20

25

Werden somit optische Kanäle, die auf der Lichteintrittsfläche benachbart zueinander angeordnet sind, möglichst weit über die Lichtaustrittsfläche verteilt, so treffen sich korrelierte Lichtstrahlen im Fernfeld unter höherem Winkel. Die erzeugte Interferenzstruktur wird damit hochfrequenter. Dies ist vorteilhafter als eine niederfrequente Struktur, da vorhandene Faltungskerne im System hochfrequente Strukturen viel effizienter verwaschen können.

30

Für die Bestimmung einer optimalen Zuordnung der Lage der optischen Kanäle beim Lichtaustritt aus dem Wabenkondensator relativ zur Lage beim Lichteintritt in den Wabenkondensator, welche wiederum durch „Abstoßung“ der Positionen der optischen Kanäle beim Lichtaustritt aus dem Wabenkondensator beschrieben wird,

lassen sich bekannte mathematische Verfahren verwenden. Ein beispielsweise geeigneter Ansatz bietet die Monte-Carlo-Simulation. Hierbei definiert z.B. die Zuordnung der Eingangs- zu den Ausgangskanälen eine Permutation σ . Die Verwendung einer Merit-Funktion der Form

5

$$\sum_{i < j} \frac{1}{|i - j| \cdot |\sigma_i - \sigma_j|} \quad (5)$$

mit $i, j = 1, 2, \dots$ unterdrückt Permutationen, bei denen benachbarte Eingangskanäle auf benachbarte Ausgangskanäle abgebildet werden. Eine Vielzahl anderer Merit-Funktionen ist ebenfalls anwendbar. Eine hinreichend große Zahl zufälliger Permutationen kann durch bekannte „Shuffling-Algorithmen“ (= Misch- oder Umordnungsalgorithmen) erzeugt werden.

Fig. 9 zeigt in lediglich schematischer Darstellung den prinzipiellen Aufbau einer Beleuchtungseinrichtung einer mikrolithographischen Projektionsbelichtungsanlage gemäß einer Ausführungsform der Erfindung.

Die Beleuchtungseinrichtung 1 dient zur Beleuchtung einer Struktur tragenden Maske (Retikel) 2 mit Licht von einer Lichtquelleneinheit (nicht dargestellt), welche beispielsweise einen ArF-Laser für eine Arbeitswellenlänge von 193 nm sowie eine ein paralleles Lichtbündel erzeugende Strahlformungsoptik umfasst. Alternativ kann beispielsweise auch ein F₂-Laser für eine Arbeitswellenlänge von 157 nm vorgesehen sein. Des Weiteren können die Beleuchtungseinrichtung sowie das nachfolgende Projektionsobjektiv auch für die Verwendung einer EUV-Lichtquelle (d.h. mit einer Arbeitswellenlänge kleiner als 15 nm, z.B. etwa 13 nm oder etwa 7 nm) ausgelegt sein.

Das parallele Lichtbündel der Lichtquelleneinheit trifft gemäß dem Ausführungsbeispiel zunächst auf ein diffraktives optisches Element 3 (auch als „pupil defining element“ bezeichnet), welches über eine durch die jeweilige beugende Oberflächenstruktur definierte Winkelabstrahlcharakteristik in einer Pupillenebene P1 eine gewünschte Intensitätsverteilung (z.B. Dipol- oder Quadrupolverteilung) erzeugt.

In Lichtausbreitungsrichtung nach dem diffraktiven optischen Element 3 befindet sich gemäß Fig. 9 eine optische Einheit 4, welche ein ein paralleles Lichtbündel mit variablem Durchmesser erzeugendes Zoom-Objektiv sowie ein Axikon aufweist. Mittels des Zoom-Objektives in Verbindung mit dem vorgeschalteten diffraktiven optischen Element 3 werden in der Pupillenebene P1 je nach Zoom-Stellung und Position der Axikon-Elemente unterschiedliche Beleuchtungskonfigurationen erzeugt. Die optische Einheit 4 umfasst ferner einen Umlenkspiegel 4a.

In unmittelbarer Nähe der ersten Pupillenebene P1 der Beleuchtungseinrichtung 1 befindet sich ein erfindungsgemäßer Wabenkondensator 5 mit dem in Fig. 1 schematisch dargestellten Aufbau. Alternativ kann auch ein Wabenkondensator gemäß einer anderen der vorstehend beschriebenen Ausführungsformen eingesetzt sein.

Auf den Wabenkondensator 5 folgt in Lichtausbreitungsrichtung eine Linsengruppe 7, hinter welcher sich eine Feldebene F1 mit einem Retikel-Maskierungssystem (REMA) befindet, welches durch ein in Lichtausbreitungsrichtung nachfolgendes REMA-Objektiv 8, in welcher sich eine zweite Pupillenebene P2 befindet, auf die Struktur tragende, in der Feldebene F2 angeordnete Maske (Retikel) 2 abgebildet wird und dadurch den ausgeleuchteten Bereich auf dem Retikel 2 begrenzt. Die Struktur tragende Maske 2 wird mit einem (hier nicht dargestellten) Projektionsobjektiv auf ein mit einer lichtempfindlichen Schicht versehenes Substrat bzw. einen Wafer abgebildet.

In der vorstehend unter Bezugnahme von Fig. 9 beschriebenen Beleuchtungseinrichtung 1 dient der Wabenkondensator 5 zur Feldhomogenisierung, wobei durch das diffraktive optische Element 3 zunächst die Lichtverteilung in der Pupillenebene P1 erzeugt und diese dann mittels des Wabenkondensators 5 in die Lichtverteilung in der Feldebene F1 bzw. F2 umgewandelt wird.

Gemäß einer weiteren Ausführungsform kann ein erfindungsgemäßer Wabenkondensator auch zur Pupillenhomogenisierung eingesetzt werden. Diese Situation ist in Fig. 10 dargestellt. In der dort gezeigten Beleuchtungseinrichtung 11 sind in ihrer Funktion vergleichbare Elemente mit analogen, um 10 erhöhten Bezugszei-

chen dargestellt. Die Beleuchtungseinrichtung 11 weist anstelle des diffraktiven optischen Elementes 3 von Fig. 9 ein variabel einstellbares Pupillenformungselement in Form einer Mikrospiegelanordnung (MMA) 13 mit einer Vielzahl unabhängig voneinander einstellbarer Mikrospiegel auf. Um diese Mikrospiegelanordnung 13 möglichst gleichmäßig auszuleuchten, ist in Lichtausbreitungsrichtung vor der Mikrospiegelanordnung 13 bzw. stromaufwärts ein weiterer Wabenkondensator 12 (zusätzlich zu dem in Nähe der Pupillenebene P1 angeordneten Wabenkondensator 15) angeordnet.

10 Dieser im Bereich vergleichsweise niedriger Divergenzwinkel (von wenigen mrad) angeordnete Wabenkondensator 12 dient dazu, die durch die Mikrospiegelanordnung 13 in der Pupillenebene P1 erzeugte Lichtverteilung zu homogenisieren. Infolge der Positionierung dieses Wabenkondensators 12 im Bereich kleiner Divergenzwinkel ist der Einsatz eines erfindungsgemäßen Wabenkondensators im Hinblick auf die nach der Erfindung gerade für solche geringen Divergenzwinkel reduzierten bzw. vermiedenen Nachteile im Zusammenhang mit den zuvor beschriebenen Interferenzeffekten besonders vorteilhaft.

Wenn die Erfindung auch anhand spezieller Ausführungsformen beschrieben wurde, erschließen sich für den Fachmann zahlreiche Variationen und alternative Ausführungsformen, z.B. durch Kombination und/oder Austausch von Merkmalen einzelner Ausführungsformen. Dementsprechend versteht es sich für den Fachmann, dass derartige Variationen und alternative Ausführungsformen von der vorliegenden Erfindung mit umfasst sind, und die Reichweite der Erfindung nur im Sinne der beigefügten Patentansprüche und deren Äquivalente beschränkt ist.

Patentansprüche

1. Wabenkondensator (5, 12, 15, 100, 200, 300, 400, 500, 550), insbesondere für eine mikrolithographische Projektionsbelichtungsanlage, mit:
 - 5 • wenigstens drei in Lichtausbreitungsrichtung aufeinander folgenden Anordnungen (110-130, 310-340, 410-440) aus strahlableitenden optischen Elementen (111, 112,...; 121, 122,...; 131, 132,...; 311, 312,...; 411, 412,...) zur Erzeugung einer Vielzahl optischer Kanäle,
 - 10 • wobei in wenigstens einer dieser Anordnungen wenigstens zwei dieser optischen Kanäle einen unterschiedlichen Querschnitt aufweisen.

2. Wabenkondensator nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, dass in wenigstens einer dieser Anordnungen (110-130, 310-340, 410-440) die optisch wirksamen Flächen von wenigstens zwei strahlableitenden optischen Elementen unterschiedlich groß sind.
15

3. Wabenkondensator nach Anspruch 2, dadurch gekennzeichnet, dass in wenigstens einer dieser Anordnungen die optisch wirksame Fläche der strahlableitenden optischen Elemente um wenigstens 10%, insbesondere um wenigstens 20%, weiter insbesondere um wenigstens 30% variiert.
20

4. Wabenkondensator nach einem der Ansprüche 1 bis 3, dadurch gekennzeichnet, dass wenigstens eine dieser Anordnungen (110-130, 310-340, 410-440) in ihrem Aufbau aus den strahlableitenden optischen Elementen wenigstens bereichsweise aperiodisch ist.
25

5. Wabenkondensator nach einem der vorhergehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, dass wenigstens einer dieser optischen Kanäle einen entlang der Lichtausbreitungsrichtung variierenden Querschnitt aufweist.
30

6. Wabenkondensator nach einem der vorhergehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, dass wenigstens zwei optische Kanäle, welche bei Lichteintritt in den Wabenkondensator (400) zueinander benachbart sind, bei Lichtaustritt

aus dem Wabenkondensator (400) nicht zueinander benachbart sind.

7. Wabenkondensator nach einem der vorhergehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, dass wenigstens eine dieser Anordnungen nicht eben ist.

5

8. Wabenkondensator (400), insbesondere für eine mikrolithographische Projektionsbelichtungsanlage, mit:

- wenigstens zwei in Lichtausbreitungsrichtung aufeinander folgenden Anordnungen (410, 420, 430, 440) aus strahlableitenden optischen Elementen (411, 412,...; 421, 422,...; 431, 432,...; 441, 442,...) zur Erzeugung einer Vielzahl optischer Kanäle;
- wobei wenigstens zwei dieser optischen Kanäle, welche bei Lichteintritt in den Wabenkondensator (400) zueinander benachbart sind, bei Lichtaustritt aus dem Wabenkondensator (400) nicht zueinander benachbart sind.

10

15

9. Wabenkondensator nach Anspruch 8, dadurch gekennzeichnet, dass dieser wenigstens drei in Lichtausbreitungsrichtung aufeinander folgende Anordnungen (410, 420, 430, 440) aus strahlableitenden optischen Elementen (411, 412,...; 421, 422,...; 431, 432,...; 441, 442,...) aufweist.

20

10. Wabenkondensator nach einem der vorhergehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, dass ein Positionsmanipulator zur Variation der Relativposition von wenigstens zwei dieser Anordnungen zueinander vorgesehen ist.

25

11. Wabenkondensator nach einem der vorhergehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, dass wenigstens eines der strahlableitenden optischen Elemente, insbesondere sämtliche dieser strahlableitenden optischen Elemente, als Spiegel ausgebildet ist bzw. sind.

30

12. Wabenkondensator nach einem der vorhergehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, dass wenigstens eines der strahlableitenden optischen Elemente, insbesondere sämtliche dieser strahlableitenden optischen Elementen,

te, als refraktive Linse ausgebildet ist bzw. sind.

- 5 13. Wabenkondensor nach einem der vorhergehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, dass dieser für eine Arbeitswellenlänge von weniger als 200 nm, weiter insbesondere weniger als 160 nm, und weiter insbesondere von weniger als 15 nm ausgelegt ist.
- 10 14. Beleuchtungseinrichtung einer mikrolithographischen Projektionsbelichtungsanlage, dadurch gekennzeichnet, dass die Beleuchtungseinrichtung wenigstens einen Wabenkondensor (100, 200, 300, 400, 500, 550) nach einem der vorhergehenden Ansprüche aufweist.
- 15 15. Beleuchtungseinrichtung nach Anspruch 14, dadurch gekennzeichnet, dass diese eine Mikrospiegelanordnung (MMA) (13) mit einer Vielzahl unabhängig voneinander einstellbarer Mikrospiegel aufweist.
- 20 16. Beleuchtungseinrichtung nach Anspruch 14 oder 15, dadurch gekennzeichnet, dass wenigstens ein Wabenkondensor (12, 100, 200, 300, 400, 500, 550) in einem Bereich angeordnet ist, wo der Divergenzwinkel des die Beleuchtungseinrichtung (1) im Betrieb durchlaufenden Lichtes maximal 10 mrad, insbesondere maximal 5 mrad, weiter insbesondere maximal 3 mrad, beträgt.
- 25 17. Beleuchtungseinrichtung nach einem der Ansprüche 14 bis 16, dadurch gekennzeichnet, dass wenigstens ein Wabenkondensor (12, 100, 200, 300, 400, 500, 550) in Lichtausbreitungsrichtung eines der drei ersten optischen Elemente in der Beleuchtungseinrichtung ist.
- 30 18. Beleuchtungseinrichtung nach einem der Ansprüche 14 bis 17, dadurch gekennzeichnet, dass wenigstens ein Wabenkondensor (5, 15, 100, 200, 300, 400, 500, 550) zumindest in unmittelbarer Nähe einer Pupillenebene angeordnet ist.

19. Mikrolithographische Projektionsbelichtungsanlage mit einer Beleuchtungseinrichtung und einem Projektionsobjektiv, wobei die Beleuchtungseinrichtung (1) im Betrieb der Projektionsbelichtungsanlage eine Objektebene des Projektionsobjektivs beleuchtet und das Projektionsobjektiv diese Objektebene auf eine Bildebene abbildet, dadurch gekennzeichnet, dass die Beleuchtungseinrichtung einen Wabenkondensator nach einem der Ansprüche 1 bis 13 aufweist.
20. Verfahren zur mikrolithographischen Herstellung mikrostrukturierter Bauelemente mit folgenden Schritten:
- Bereitstellen eines Substrats, auf das zumindest teilweise eine Schicht aus einem lichtempfindlichen Material aufgebracht ist;
 - Bereitstellen einer Maske (2), die abzubildende Strukturen aufweist;
 - Bereitstellen einer mikrolithographischen Projektionsbelichtungsanlage nach Anspruch 19; und
 - Projizieren wenigstens eines Teils der Maske (2) auf einen Bereich der Schicht mit Hilfe der Projektionsbelichtungsanlage.
21. Mikrostrukturiertes Bauelement, das nach einem Verfahren gemäß Anspruch 20 hergestellt ist.
22. Mikrostrukturiertes Bauelement nach Anspruch 21, dadurch gekennzeichnet, dass das Bauelement ein LCD-Display ist.

Fig. 1

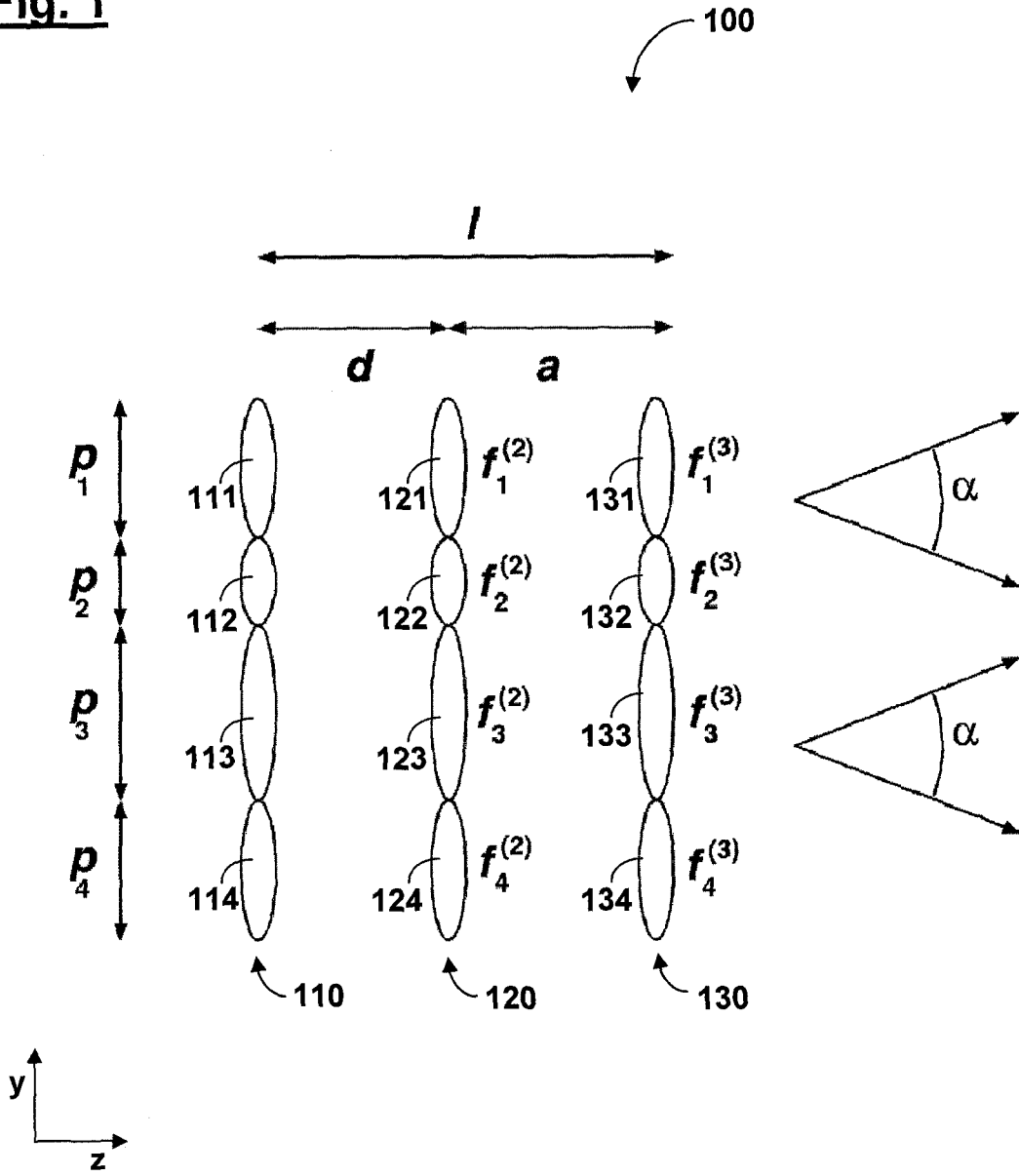
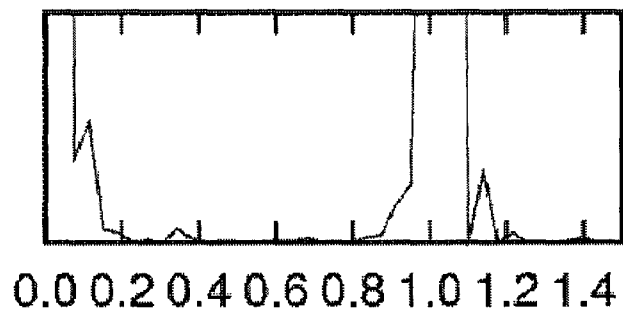
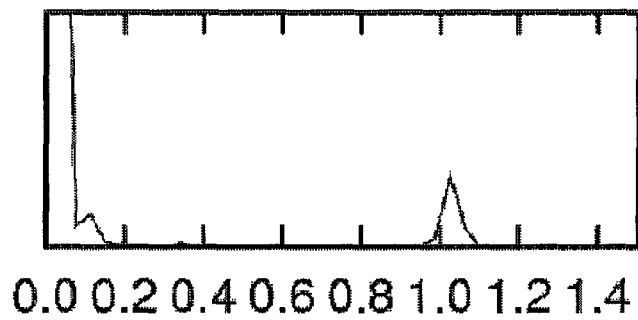


Fig. 2

a)



b)



c)

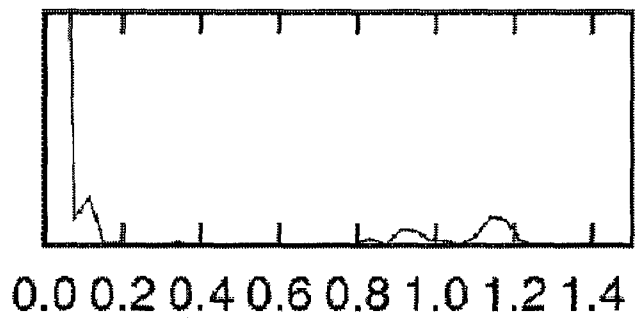


Fig. 3

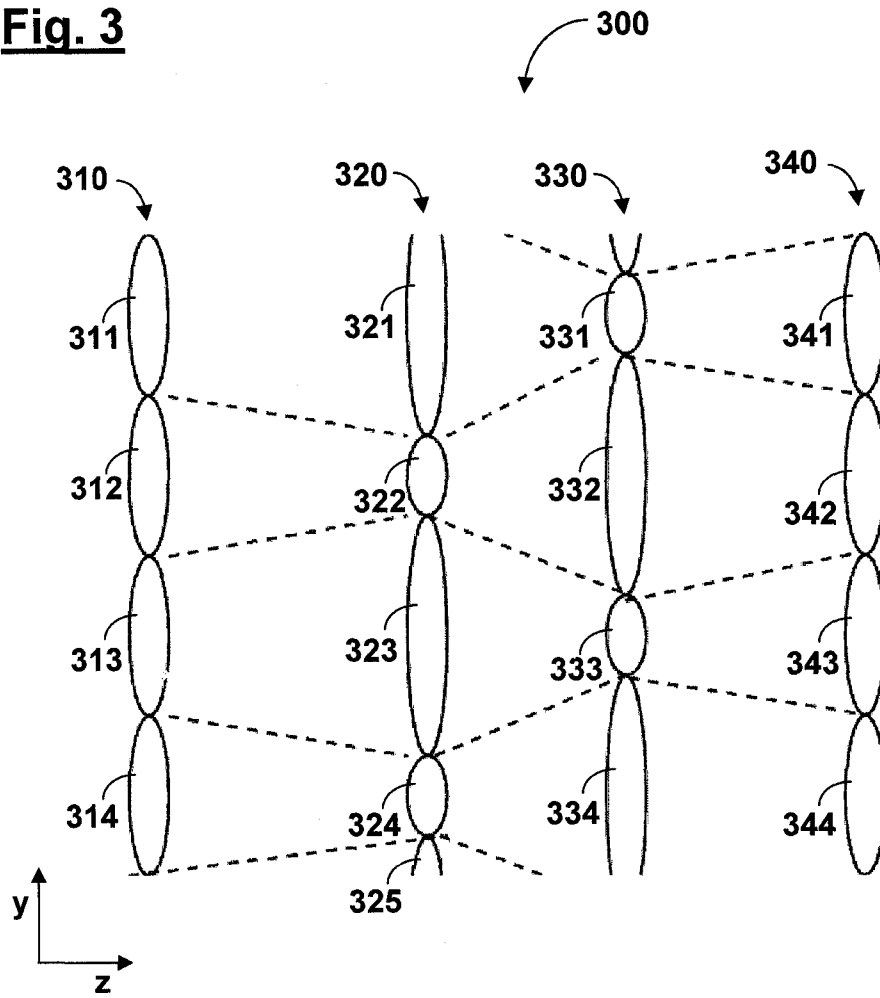


Fig. 4

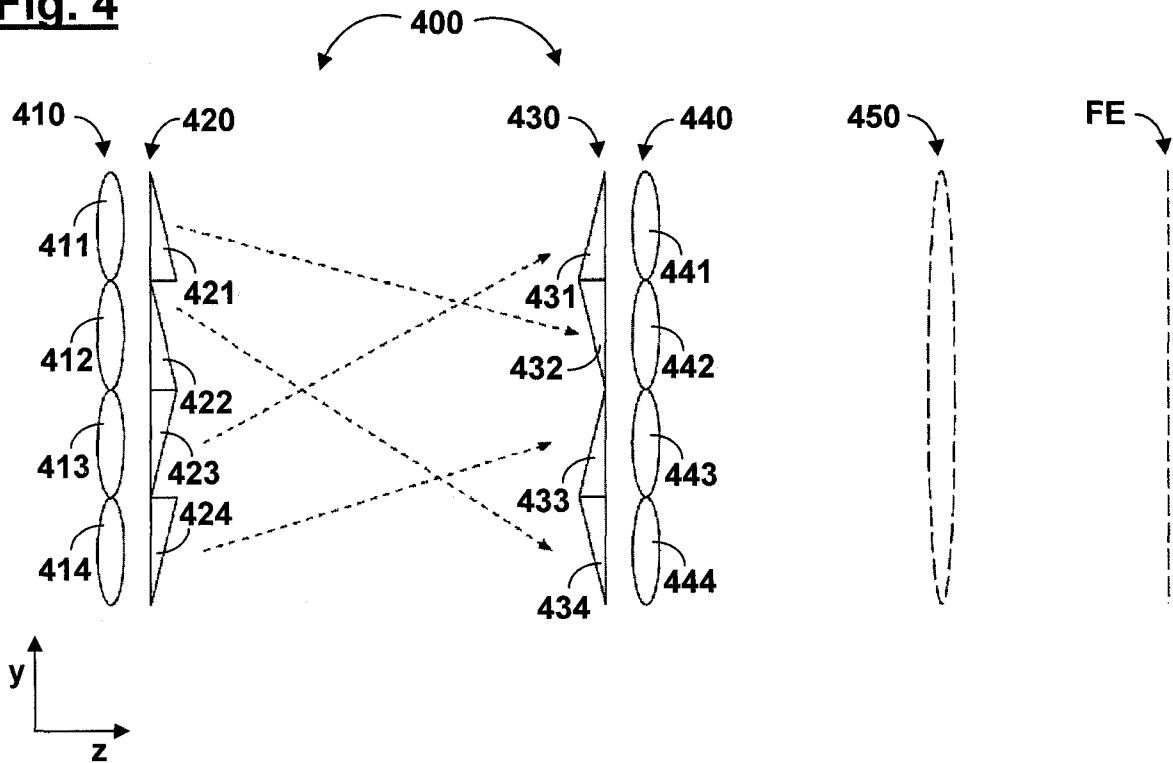
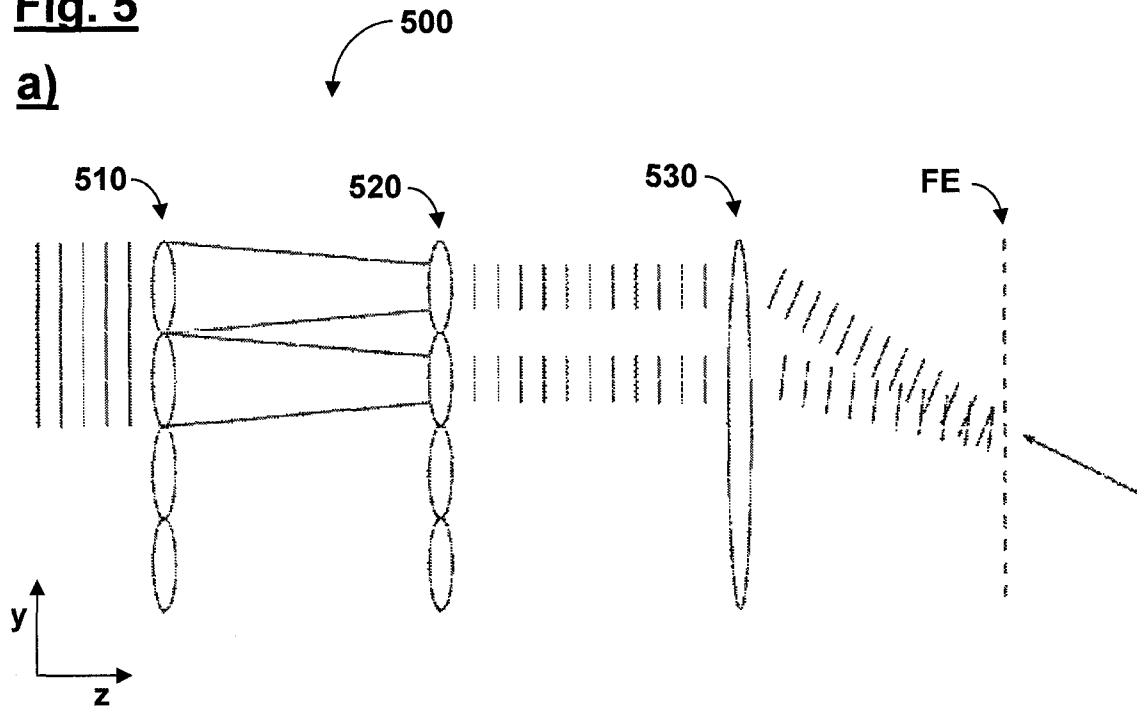


Fig. 5

a)



b)

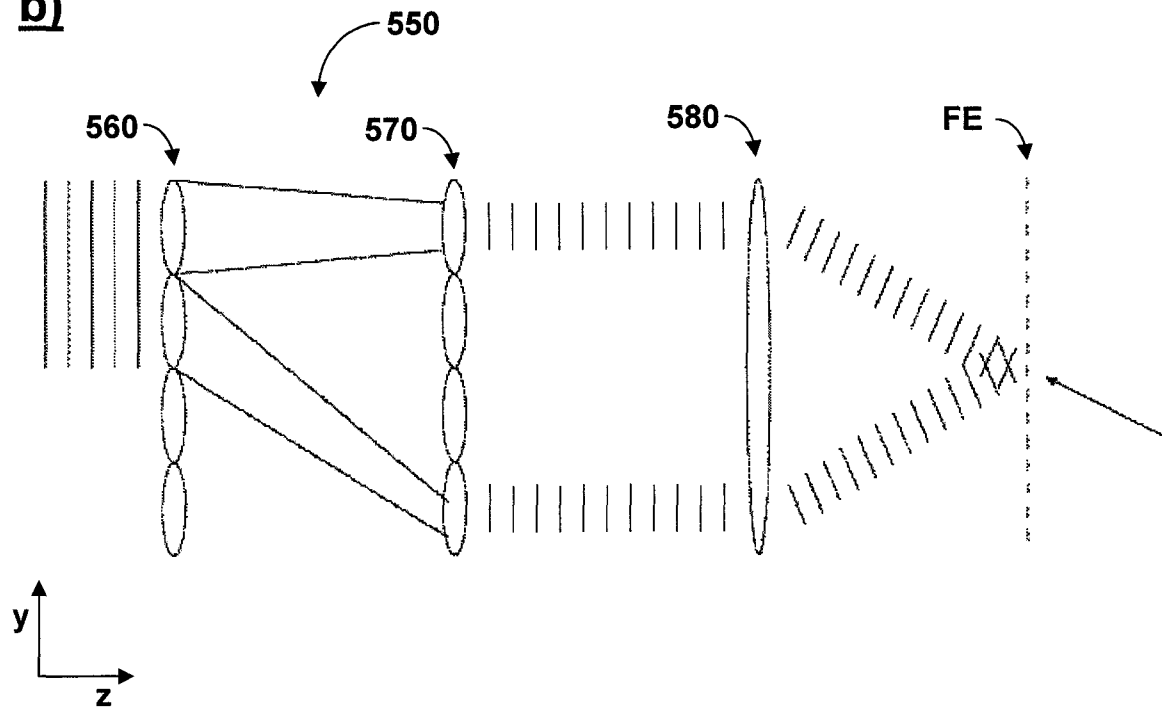


Fig. 6

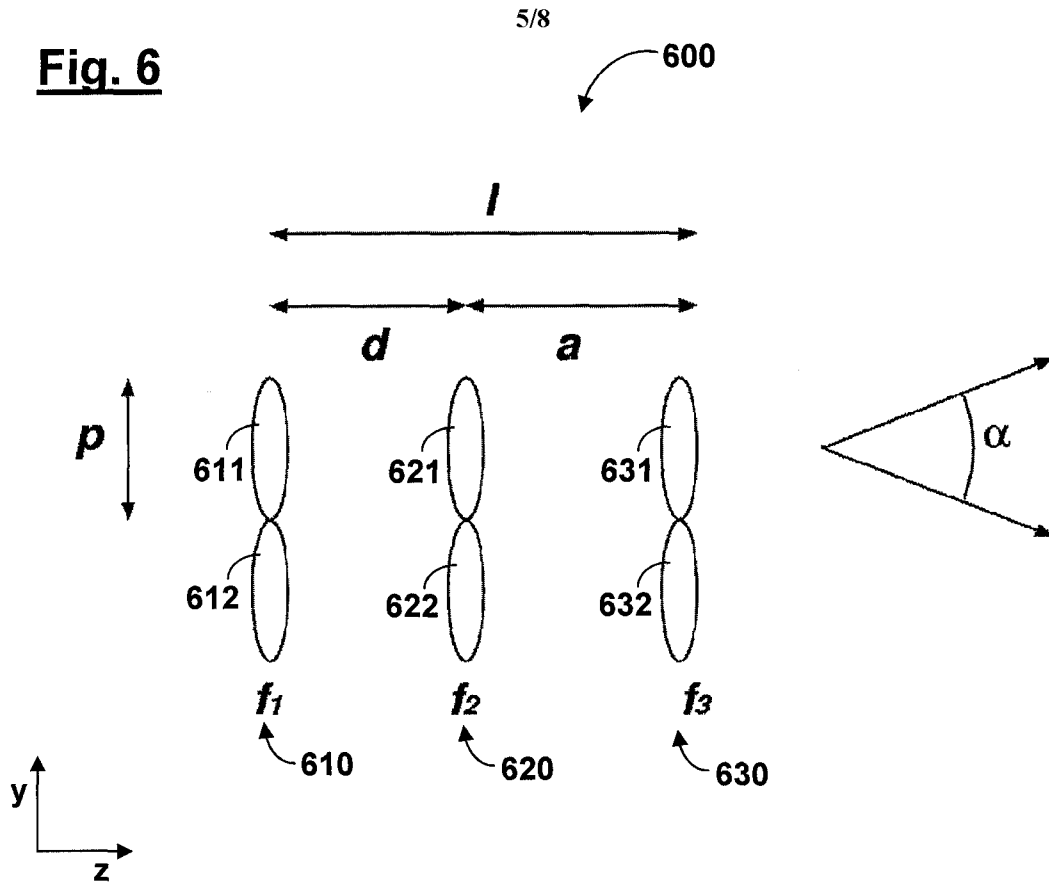


Fig. 7

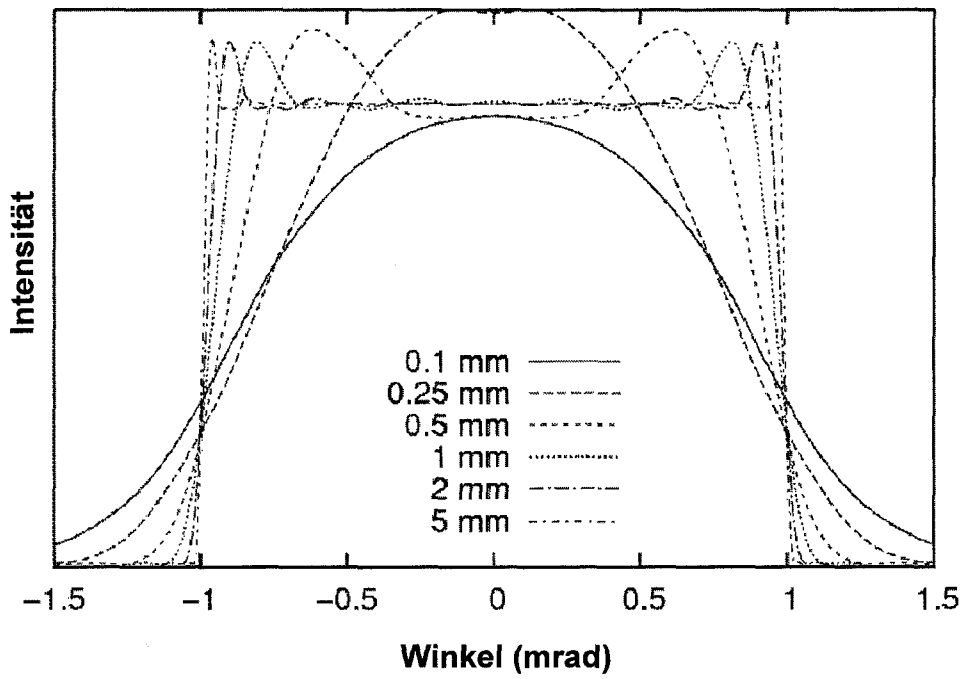
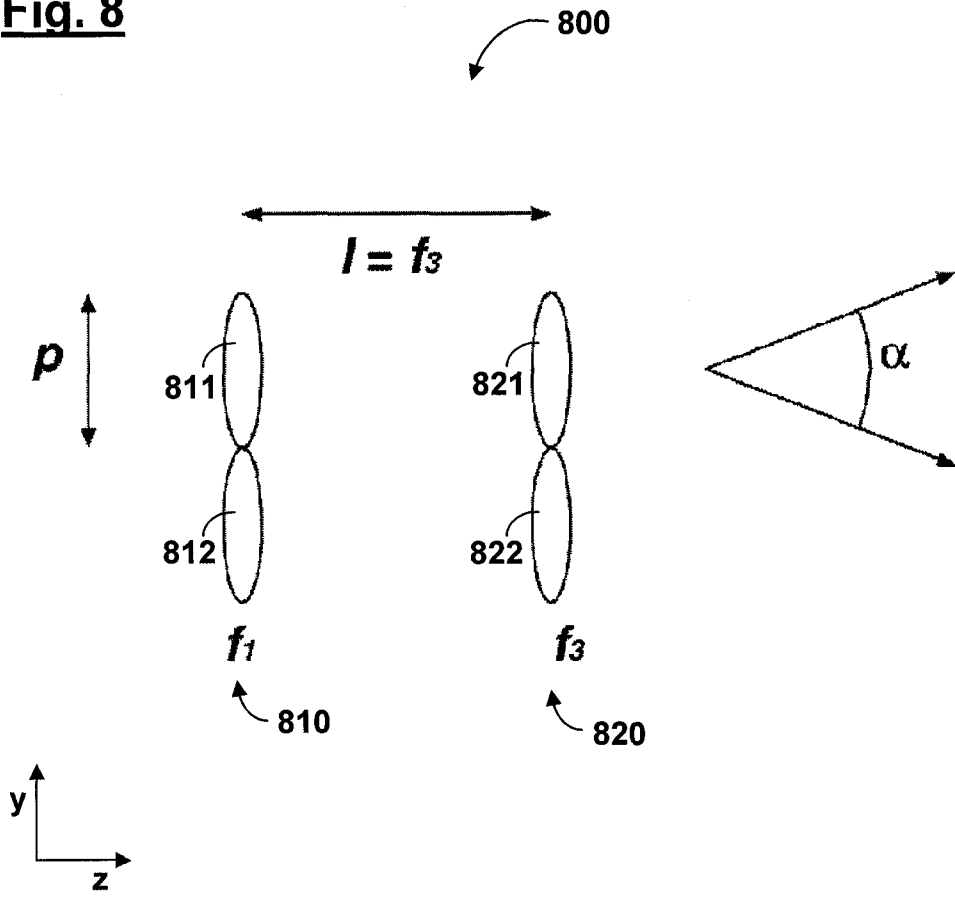


Fig. 8



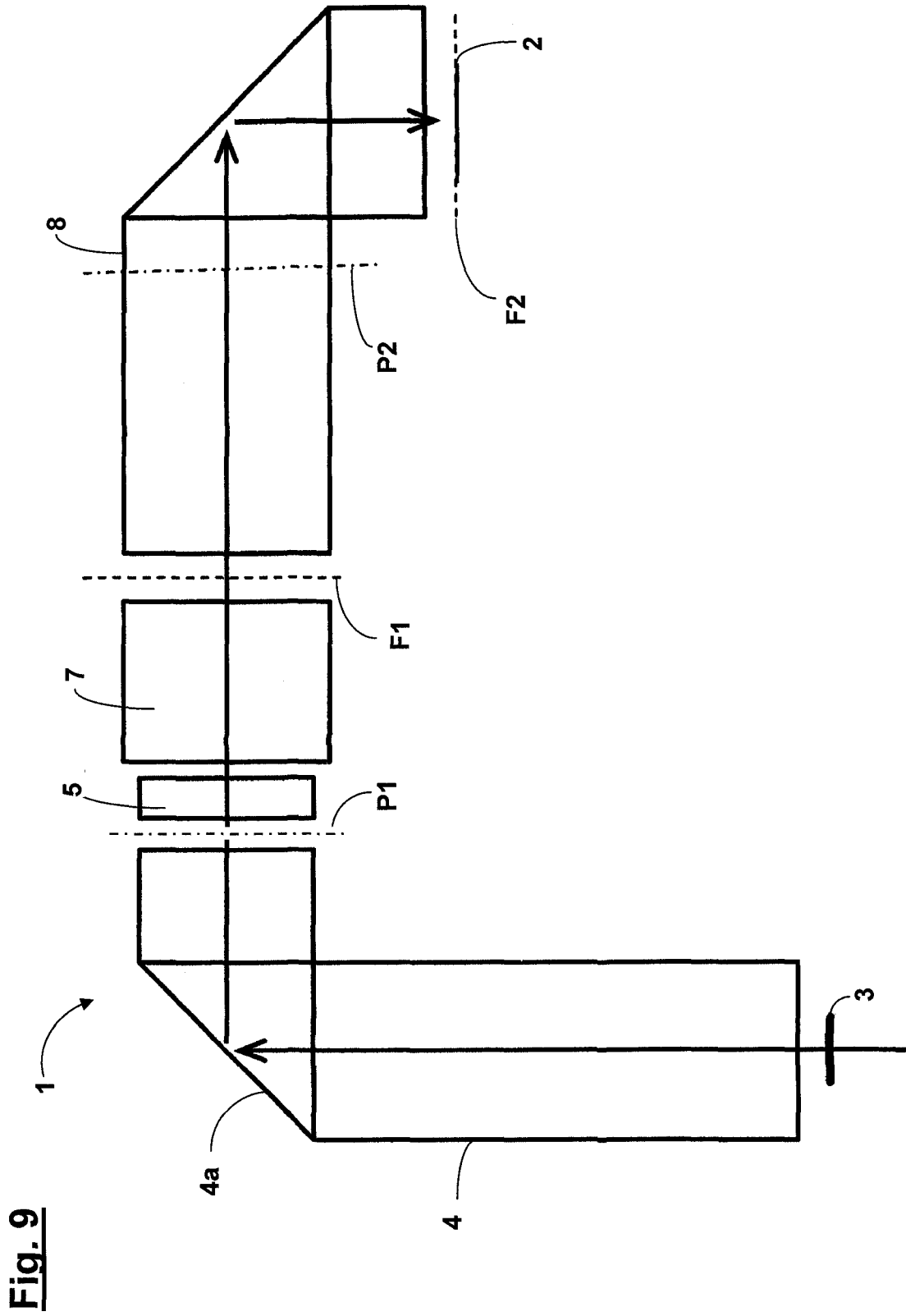


Fig. 10

