

(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
31. Januar 2008 (31.01.2008)

PCT

(10) Internationale Veröffentlichungsnummer
WO 2008/011981 A1

(51) Internationale Patentklassifikation:
G03F 7/20 (2006.01)

(21) Internationales Aktenzeichen: PCT/EP2007/006090

(22) Internationales Anmeldedatum:
10. Juli 2007 (10.07.2007)

(25) Einreichungssprache: Deutsch

(26) Veröffentlichungssprache: Deutsch

(30) Angaben zur Priorität:
10 2006 034 709.9 27. Juli 2006 (27.07.2006) DE

(71) Anmelder (für alle Bestimmungsstaaten mit Ausnahme von US): **CARL ZEISS SMT AG** [DE/DE];
Rudolf-Eber-Strasse 2, 73447 Oberkochen (DE).

(72) Erfinder; und

(75) Erfinder/Anmelder (nur für US): **DEGÜNTHER, Markus** [DE/DE]; Langäckerweg 20, 73432 Aalen (DE).

(74) Anwälte: **HOFMANN, Matthias** usw.; Königstrasse 2, 90402 Nürnberg (DE).

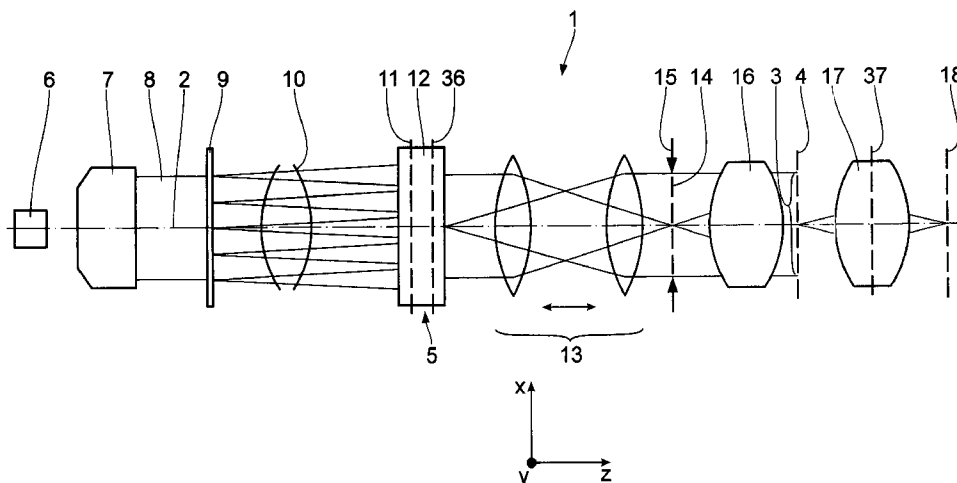
(81) Bestimmungsstaaten (soweit nicht anders angegeben, für jede verfügbare nationale Schutzrechtsart): AE, AG, AL, AM, AT, AU, AZ, BA, BB, BG, BH, BR, BW, BY, BZ, CA, CH, CN, CO, CR, CU, CZ, DE, DK, DM, DO, DZ, EC, EE, EG, ES, FI, GB, GD, GE, GH, GM, GT, HN, HR, HU, ID, IL, IN, IS, JP, KE, KG, KM, KN, 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, PG, PH, PL, PT, RO, RS, RU, SC, SD, SE, SG, SK, SL, SM, SV, SY, 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, LS, MW, MZ, NA, SD, SL, SZ, TZ, UG, ZM, ZW), eurasisches (AM, AZ, BY, KG, KZ, MD, RU, TJ, TM), europäisches (AT, BE, BG, CH, CY, CZ, DE, DK, EE, ES, FI, FR, GB, GR, HU, IE, IS, IT, LT, LU, LV, MC, MT, NL, PL, PT, RO, SE, SI, SK, TR), OAPI (BF, BJ, CF,

[Fortsetzung auf der nächsten Seite]

(54) Title: ILLUMINATION SYSTEM FOR MICROLITHOGRAPHY AND PROJECTION EXPOSURE APPARATUS THEREWITH

(54) Bezeichnung: BELEUCHTUNGSSYSTEM FÜR DIE MIKRO-LITHOGRAPHIE UND PROJEKTIONSBELEUCHTUNGSANLAGE DAMIT



(57) Abstract: An illumination system (5) for microlithography has a light distribution device (9, 10) for generating a predefined two-dimensional intensity distribution and an optical raster module (12). The latter has a first raster arrangement having first rectangular raster elements (20), which generates secondary light sources that are disposed in a raster pattern. The raster module (12) further has a second raster arrangement (34) that is disposed in the illumination path after the first raster arrangement (19). A transmission lens (13, 15, 16) serves for the overlapping transmission of illumination light (8) of the secondary light sources (23) in an illumination field (3). At least one further optical image field forming raster device having rectangular image field forming raster elements influences the illumination light (8) for generating curved secondary light sources (33). The result is an illumination system, wherein a curved illumination field can be generated using optical components, the production efforts of which is justifiable. The illumination system is part of a projection exposure apparatus (1) for producing micro-structured components.

[Fortsetzung auf der nächsten Seite]

WO 2008/011981 A1



CG, CI, CM, GA, GN, GQ, GW, ML, MR, NE, SN, TD, TG).

Erklärung gemäß Regel 4.17:

— *Erfindererklärung (Regel 4.17 Ziffer iv)*

Veröffentlicht:

— *mit internationalem Recherchenbericht*

Zur Erklärung der Zweibuchstaben-Codes und der anderen Abkürzungen wird auf die Erklärungen ("Guidance Notes on Codes and Abbreviations") am Anfang jeder regulären Ausgabe der PCT-Gazette verwiesen.

(57) Zusammenfassung: Ein Beleuchtungssystem (5) für die Mikro-Lithographie hat eine Lichtverteilungseinrichtung (9, 10) zur Erzeugung einer vorgegebenen zweidimensionalen Intensitätsverteilung sowie ein optisches Rastermodul (12). Letzteres hat eine erste Rasteranordnung mit ersten, rechteckigen Rasterelementen (20), die gerastert angeordnete sekundäre Lichtquellen erzeugt. Das Rastermodul (12) hat weiterhin eine im Beleuchtungs-Lichtweg nach der ersten Rasteranordnung (19) angeordnete zweite Rasteranordnung (34). Eine Übertragungsoptik (13, 15, 16) dient zur überlagernden Übertragung von Beleuchtungslicht (8) der sekundären Lichtquellen (23) in ein Beleuchtungsfeld (3). Mindestens eine weitere optische Bildfeldformungs- Rastereinrichtung mit rechteckigen Bildfeldformungs-Rasterelementen beeinflusst das Beleuchtungslicht (8) zur Erzeugung von gebogenen sekundären Lichtquellen (33). Es resultiert ein Beleuchtungssystem, bei dem ein gebogenes Beleuchtungsfeld mit optischen Komponenten erzeugt werden kann, deren Herstellungsaufwand vertretbar ist. Das Beleuchtungssystem ist Teil einer Projektionsbelichtungsanlage (1), mit der mikrostrukturierte Bauelemente hergestellt werden können.

BELEUCHTUNGSSYSTEM FÜR DIE MIKRO-LITHOGRAPHIE UND PROJEKTIONSBELICHTUNGSANLAGE
DAMIT

5

Die Erfindung betrifft ein Beleuchtungssystem für die Mikro-Lithographie zur Beleuchtung eines Beleuchtungsfeldes mit Beleuchtungslicht. Ferner betrifft die Erfindung eine Mikrolithographie-Projektionsbelichtungsanlage mit einem derartigen Beleuchtungssystem. Weiterhin betrifft die Erfindung
10 ein mikrolithographisches Herstellungsverfahren für mikrostrukturierte Bauelemente. Schließlich betrifft die Erfindung ein mit einem solchen Verfahren hergestelltes Bauelement.

Bei Beleuchtungssystemen mit hoher numerischer Apertur hat es sich als
15 zweckmäßig herausgestellt, mit einem gebogenen Beleuchtungsfeld zu arbeiten. Insbesondere dann, wenn bei reflektierenden oder katadioptrisch ausgeführten Beleuchtungssystemen eine Off-Axis-Beleuchtung gewählt wird, passt diese Beleuchtungsfeldgeometrie gut zu den Abbildungseigenschaften des Beleuchtungssystems. Auch Aberrationen können beim Ein-
20 satz eines gebogenen Beleuchtungsfeldes gut beherrscht werden. Insgesamt werden bei vorgegebener Abbildungsqualität die Anforderungen insbesondere an die Projektionsoptik reduziert.

Die US 2004/0218164 A1 zeigt ein Beleuchtungssystem nach dem Ober-
25 begriff des Anspruchs 1. Dort wird zur Herstellung eines gebogenen Beleuchtungsfeldes eine Rasteranordnung mit gebogenen Rasterelementen eingesetzt. Wenn eine derartige Rasteranordnung überhaupt hergestellt werden kann, dann nur mit hohem Aufwand.

Es ist daher eine Aufgabe der vorliegenden Erfindung, ein Beleuchtungssystem der eingangs genannten Art derart weiterzubilden, dass ein gebogenes Beleuchtungsfeld mit weniger aufwendig herzustellenden optischen Komponenten erzeugt werden kann. Im Rahmen der vorliegenden Beschreibung soll unter einem gebogenen Beleuchtungsfeld auch ein abgewinkeltes bzw. V-förmiges Beleuchtungsfeld verstanden werden.

Diese Aufgabe ist erfindungsgemäß gelöst durch ein Beleuchtungssystem mit dem im Kennzeichnungsteil des Anspruchs 1 angegebenen Merkmalen.

Eine Bildfeldformungs-Rastereinrichtung mit rechteckigen Rasterelementen ist in der Herstellung gut beherrschbar. Aufwendige Herstellungstechniken zur Erzeugung gebogener Rasterelemente entfallen. Es genügt, wenn gebogene virtuelle sekundäre Lichtquellen erzeugt werden. Die Erzeugung gebogener realer sekundärer Lichtquellen durch das erfindungsgemäße Beleuchtungssystem ist hingegen nicht zwingend. Entscheidend ist, dass durch diese Erzeugung der sekundären Lichtquellen ein gebogenes Beleuchtungsfeld entsteht.

Eine Bildfeldformungs-Rastereinrichtung nach Anspruch 2 verwendet ein Zylinderlinsen-Array und eine Abbildungs-Rasteranordnung. Beide Komponenten können so spezifiziert werden, dass ihre Herstellung mit mikrooptischen Techniken mit ausreichender Präzision möglich ist. Zur Herstellung des gebogenen bzw. V-förmigen Beleuchtungsfeldes wird elegant eine Verkipfung des Zylinderlinsen-Arrays mit anschließender Teilspiegelung der zunächst auf den Rasterelementen der ersten Rasteranordnung erzeugten sekundären Lichtquellen ausgenutzt.

Ein Beleuchtungssystem nach Anspruch 3 führt zu einem gleichmäßig abgewinkelten bzw. gebogenen Beleuchtungsfeld.

5 Eine Bildfeldformungs-Rastereinrichtung nach Anspruch 4 nutzt die unterschiedlich versetzte Ablenkung, die ein Lichtstrahl in Prismen mit gleich geneigten optischen Flächen, aber unterschiedlichen Prismenstärken erfährt. Ein derartiges Prismen-Array ist mit mikrooptischen Herstellungsverfahren ebenfalls mit ausreichender Präzision und ohne übermäßigen Aufwand herstellbar.

10

Prismen-Rasterelemente nach Anspruch 5 führen zu einer Durchbiegung des Beleuchtungsfeldes in der Mitte.

15

Prismen-Rasterelemente nach Anspruch 6 führen zu einer kontinuierlichen Durchbiegung des Beleuchtungsfeldes.

Eine Bildfeldformungs-Rastereinrichtung mit einem Keil-Array nach Anspruch 7 lässt sich ebenfalls mit mikrooptischen Herstellungstechniken definiert produzieren. Dabei wird der unterschiedliche Strahlversatz, den
20 Keil-Unterelemente mit verschiedenen Keilwinkeln erzeugen, ausgenutzt.

Je nach Anzahl der Keil-Unterelemente entsprechend der Ansprüche 8 bis 10 lässt sich das Bildfeld grober oder feiner gerastert gebogen formen.

25 Eine Lichtverteilungseinrichtung nach Anspruch 11 erleichtert die definierte Vorgabe einer Beleuchtungswinkelverteilung im Beleuchtungsfeld.

Eine weitere Aufgabe der Erfindung ist es, eine Mikrolithographie-Projektionsbelichtungsanlage mit einem erfindungsgemäßen Beleuchtungs-

system zu schaffen sowie ein hiermit durchführbares mikrolithographisches Herstellungsverfahren und ein hierdurch herstellbares Bauelement anzugeben.

- 5 Diese Aufgabe ist erfindungsgemäß gelöst durch eine Mikrolithographie-Projektionsbelichtungsanlage nach Anspruch 12, ein Herstellungsverfahren nach Anspruch 13 sowie ein Bauelement nach Anspruch 14.

- Vorteile dieser Gegenstände ergeben sich aus den oben im Zusammenhang
10 mit dem Beleuchtungssystem angegebenen Vorteilen.

Ausführungsbeispiele der Erfindung werden nachfolgend anhand der Zeichnung erläutert. In dieser zeigen:

- 15 Fig. 1 schematisch einen Meridionalschnitt durch ein erfindungsgemäßes Beleuchtungssystem innerhalb einer Mikrolithographie-Projektionsbelichtungsanlage mit einem optischen Rastermodul zur Formung einer Intensitäts- und Beleuchtungswinkelverteilung in einem Beleuchtungsfeld;
- 20 Fig. 2 stärker im Detail eine Ausführung des in Fig. 1 schematisch wiedergegebenen Rastermoduls;
- 25 Fig. 3 u. 4 Varianten von Abbildungs-Rasteranordnungen, die ersten Rasterelementen des Rastermoduls paarweise zugeordnet sind, wobei Fig. 4 perspektivisch erweitert die paarweise Zuordnung durch zusätzlich gestrichelte Darstellung der Variante der Abbildungs-Rasteranordnung nach Fig. 3 zeigt;

- Fig. 5 ein Zylinderlinsen-Array des optischen Rastermoduls nach Fig. 2;
- 5 Fig. 6 eine schematische Darstellung der unterschiedlichen Abbildungen der ersten Rasterelemente des optischen Rastermoduls nach Fig. 2 durch die Abbildungs-Rasteranordnungen nach den Fig. 3 und 4;
- 10 Fig. 7 schematisch eine weitere Ausführungsform eines optischen Rastermoduls;
- Fig. 8 zwei übereinander in einer Spalte angeordnete Prismen-Rasterelemente eines Prismen-Arrays des optischen Rastermoduls nach Fig. 7;
- 15 Fig. 9 u. 10 schematische Darstellungen der Abbildungscharakteristik zweier Schnittebenen durch das Prismen-Rasterelement nach Fig. 8, wobei die Schnittebenen parallel zu Spaltenebenen des Prismen-Arrays verlaufen;
- 20 Fig. 11 einen größeren Ausschnitt aus dem Prismen-Array nach Fig. 8 mit zwei Spalten und sechs Zeilen;
- 25 Fig. 11a schematisch ein mittels dem optischen Rastermodul nach den Fig. 7 bis 11 ausgeleuchtetes Beleuchtungsfeld in einer Retikelebene;
- Fig. 12 schematisch eine weitere Ausführung eines optischen

Rastermoduls;

Fig. 13 schematisch ein Keil-Rasterelement eines Keil-Arrays des optischen Rastermoduls nach Fig. 12;

5

Fig. 14 u. 15 schematisch die Abbildungsverhältnisse in zwei Schnittebenen durch das Keil-Rasterelement nach Fig. 13, wobei die Schnittebenen gegeneinander versetzt und parallel zu Spalten des Keil-Arrays nach Fig. 13 verlaufen und verschiedene Keil-Unterelemente eines dargestellten Keil-Rasterelementes schneiden;

10

Fig. 16 schematisch das durch das optische Rastermodul nach den Fig. 12 bis 15 erzeugte Beleuchtungsfeld in einer Retikellebene.

15

Fig. 1 zeigt schematisch eine mikrolithographische Projektionsbelichtungsanlage 1, die als Wafer-Scanner ausgeführt ist und bei der Herstellung von Halbleiterbauelementen und anderen feinstrukturierten Bauteilen eingesetzt wird und zur Erzielung von Auflösungen bis zu Bruchteilen von Mikrometern mit Licht insbesondere aus dem tiefen Ultraviolettbereich (VUV) arbeitet. Eine Scanrichtung der Projektionsbelichtungsanlage 1 verläuft senkrecht zur Zeichenebene der Fig. 1, ist also parallel zur y-Richtung des dort angegebenen kartesischen Koordinatensystems. Im in Fig. 1 dargestellten Meridionalschnitt sind alle optischen Komponenten der Projektionsbelichtungsanlage 1 längs einer in z-Richtung verlaufenden optischen Achse 2 aufgereiht. Es versteht sich, dass auch beliebige Faltungen der optischen Achse 2 möglich sind, insbesondere um die Projektionsbelichtungsanlage 1 kompakt zu gestalten.

20

25

Zur definierten Ausleuchtung eines Beleuchtungsfeldes 3 in einer Retikelebene 4, in der eine zu übertragende Struktur in Form eines nicht näher dargestellten Retikels angeordnet ist, dient ein insgesamt mit 5 bezeichnetes Beleuchtungssystem der Projektionsbelichtungsanlage 1. Als primäre Lichtquelle 6 dient ein F₂-Laser mit einer Arbeitswellenlänge von 157 nm, dessen Beleuchtungslichtstrahl koaxial zur optischen Achse 2 des Beleuchtungssystems 5 ausgerichtet ist. Andere UV-Lichtquellen, beispielsweise ArF-Excimer-Laser mit 193 nm Arbeitswellenlänge, KrF-Excimer-Laser mit 248 nm Arbeitswellenlänge sowie primäre Lichtquellen mit größeren oder kleineren Arbeitswellenlängen sind ebenfalls möglich.

Der von der Lichtquelle 6 kommende Lichtstrahl mit kleinem Rechteckquerschnitt trifft zunächst auf eine Strahlaufweitungsoptik 7, die einen aus tretenden Beleuchtungslicht-Strahl 8 mit weitgehend parallelem Licht und größerem Rechteckquerschnitt erzeugt. Die Strahlaufweitungsoptik 7 kann Elemente enthalten, die zur Kohärenzreduktion des Beleuchtungslichts dienen. Das durch die Strahlaufweitungsoptik 7 weitgehend parallelisierte Laserlicht trifft anschließend auf ein diffraktives optisches Element (DOE) 9, das als computergeneriertes Hologramm zur Erzeugung einer Beleuchtungslicht-Winkelverteilung ausgebildet ist. Die durch dass DOE 9 erzeugte Winkelverteilung wird beim Durchtritt durch eine Fourier-Linsenanordnung bzw. einen Kondensor 10, der im Abstand seiner Brennweite vom DOE 9 positioniert ist, in eine zweidimensionale, also in x- und y-Richtung ortsabhängige Beleuchtungslicht-Intensitätsverteilung umgewandelt. Die so erzeugte Intensitätsverteilung ist daher in einer ersten Beleuchtungsebene 11 des Beleuchtungssystems 5 vorhanden. Zusammen mit dem Kondensor 10 stellt das DOE 9 also eine Lichtverteilungseinrichtung

zur Erzeugung einer zweidimensionalen Beleuchtungslicht-
Intensitätsverteilung dar.

Im Bereich dieser Beleuchtungsebene 11 ist ein optisches Rastermodul 12
5 zur Erzeugung einer definierten Intensitäts- und Beleuchtungswinkelverteilung des Beleuchtungslichts angeordnet, welches nachfolgend anhand verschiedener Ausführungsbeispiele noch näher erläutert wird.

Dem optischen Rastermodul 12 nachgeordnet ist ein weiterer Kondensor
10 13, der in der Fig. 1 als zoombare Feldlinse dargestellt ist. Zusammen mit Elementen des optischen Rastermoduls 12 bildet der Kondensor 13 die Beleuchtungsebene 11 in eine Feld-Zwischenebene 14 des Beleuchtungssystems 5 ab. In der Feld-Zwischenebene 14 kann ein Retikel-Masking-System (REMA) 15 angeordnet sein, welches als verstellbare Abschattungsblende zur Erzeugung eines scharfen Randes der Beleuchtungslicht-
15 Intensitätsverteilung dient. Ein nachfolgendes Objektiv 16 bildet die Feld-Zwischenebene 14 auf das Retikel, d. h. die Lithographievorlage, ab, das sich in der Retikelebene 4 befindet. Mit einem Projektionsobjektiv 17 wird die Retikelebene 4 auf eine Waferebene 18 auf den in der Fig. 1 nicht dar-
20 gestellten Wafer abgebildet, der intermittierend oder kontinuierlich in der Scan-Richtung y verschoben wird.

Anhand der Fig. 2 bis 6 wird nachfolgend eine erste Ausführungsform des optischen Rastermoduls 12 beschrieben. In der Beleuchtungsebene 11 liegt
25 eine erste Rasteranordnung 19 des optischen Rastermoduls 12. Die erste Rasteranordnung 19 weist einzelne erste Rasterelemente 20 auf, die in parallel zur y-Richtung verlaufenden Rasterspalten und senkrecht hierzu in Rasterzeilen angeordnet sind. Die einzelnen ersten Rasterelemente 20 haben eine rechteckige Apertur mit einem x/y-Aspektverhältnis von bei-

spielsweise 2/1. Auch andere, insbesondere größere Aspektverhältnisse zwischen Breite in x-Richtung und Höhe in y-Richtung der ersten Rasterelemente 20 sind möglich.

- 5 Fig. 2 zeigt einen Schnitt längs einer der Rasterspalten. Die ersten Rasterelemente 20 sind insbesondere als Mikrolinsen z. B. mit positiver Brechkraft ausgebildet. Die Rechteckform der ersten Rasterelemente 20 entspricht der Rechteckform des Beleuchtungsfeldes 3. Die ersten Rasterelemente 20 sind in einem ihrer Rechteckform entsprechenden Raster direkt
10 aneinander angrenzend, d. h. im Wesentlichen flächenfüllend angeordnet. Die ersten Rasterelemente 20 werden auch als Feldwaben bezeichnet.

- In einer Rasterzeile benachbarte erste Rasterelemente 20 sind in Richtung der Spaltenachse (also in y-Richtung), um etwa die halbe Rasterelement-
15 Höhe gegeneinander versetzt. Eine effektive Zeilenachse 21 der ersten Rasterelemente 20, die z. B. durch die Mittelpunkte der ersten Rasterelemente 20 einer Zeile verläuft oder zu einer derartigen Verbindungslinie parallel ist, ist aufgrund dieses y-Versatzes gegenüber der x-Richtung um einen Kippwinkel α verkippt.

20

- Im Lichtweg vor der ersten Rasteranordnung 19 ist ein Zylinderlinsen-Array 22 angeordnet, welches in der Fig. 5 in einer perspektivischen Ansicht dargestellt ist. Das Zylinderlinsen-Array 22 hat eine Mehrzahl parallel zueinander angeordneter Zylinderlinsen 23. Letztere erstrecken sich über
25 die gesamte Breite der am Ort des Zylinderlinsen-Arrays 22 ausgeleuchteten Beleuchtungsfläche. Die Zylinderlinsen 23 haben positive Brechkraft. Der Abstand des Zylinderlinsen-Arrays 22 zur Beleuchtungsebene 11 entspricht der Brennweite der Zylinderlinsen 23. Die zueinander parallelen Längsachsen der Zylinderlinsen 23 sind gegenüber einer parallel zur x-

Richtung verlaufenden Ausricht-Achse 24 um den Kippwinkel α verkippt. Die Ausricht-Achse 24 steht senkrecht auf der optischen Achse 2 und gleichzeitig senkrecht auf den in y-Richtung verlaufenden Spaltenachsen der ersten Rasteranordnung 19.

5

Die Zylinderlinsen 23 haben eine Breite b und grenzen direkt aneinander an. Eine effektive Rasterweite $R = b \cos(\alpha)$ ist gleich der Höhe H der einzelnen Rasterelemente 20. Diese Höhe H stellt gleichzeitig das Zeilenraster der ersten Rasteranordnung 19 dar.

10

Dadurch, dass die Verkipfung α der Zeilenachse 21 gleich ist zur Verkipfung α der Ausricht-Achse 24 und aufgrund einer entsprechenden Höhenjustage in y-Richtung des Zylinderlinsen-Arrays 22 relativ zur ersten Rasteranordnung 19 wird durch jede der Zylinderlinsen 23 das Beleuchtungs-

15 licht in eine Rasterzeile der ersten Rasteranordnung 19 fokussiert, wie in der Fig. 6 am Ort der ersten Rasterelemente 20 angedeutet. In jedes der ersten Rasterelemente 20 tritt also ein diagonal in der Fig. 6 von links oben nach rechts unten verlaufendes Lichtband 25 ein.

20 Der ersten Rasteranordnung 19 im Lichtweg nachgeordnet ist eine Abbildungs-Rasteranordnung 26 mit rasterförmig angeordneten Abbildungs-Rasterelementen 27. Beispiele derartiger, mehrere Einzel-Mikrolinsen umfassender Typen von Abbildungs-Rasterelementen 27, 27' sind in den Fig. 3 und 4 dargestellt. Jeweils ein Paar von Abbildungs-Rasterelementen 27,

25 27' ist dabei einem der ersten Rasterelemente 20 zugeordnet und hat die gleiche Apertur wie dieses.

Der erste Typ 27 der Rasterelemente ist dabei jeweils einer ersten und in Fig. 6 links dargestellten Hälfte 28 eines der ersten Rasterelemente 20 zu-

- geordnet. Der zweite Typ 27' der Abbildungs-Rasterelemente ist der zweiten Hälfte 29 des ersten Rasterelements 20 zugeordnet. Der erste Typ 27 der Abbildungs-Rasterelemente umfasst vier hintereinander angeordnete Mikrolinsen 30, die eine doppelte 4f-Abbildung des ersten Rasterelements 20 erzeugen, also eine Abbildung mit Abbildungsmaßstab $\beta = +1$. Jeweils die ersten Hälften 28 der ersten Rasterelemente 20 werden also unverändert in eine weitere Beleuchtungsebene 31 abgebildet, wie in der Fig. 6 dargestellt.
- 10 Der zweite Typ 27' der Abbildungs-Rasterelemente umfasst zwei hintereinander angeordnete Mikrolinsen 32 mit im Vergleich zu den Mikrolinsen 30 derart höherer Brennweite, dass durch den zweiten Typ 27' der Abbildungs-Rasterelemente eine einfache 4f-Abbildung mit Abbildungsmaßstab $\beta = -1$ resultiert. Das diagonal verlaufende Lichtband 25 wird also am Ort der zweiten Hälfte 29 gespiegelt, sodass in der weiteren Beleuchtungsebene 31 am Ort jedes abgebildeten ersten Rasterelements eine V-förmige sekundäre Lichtquelle 33 mit einem Öffnungswinkel γ von $180^\circ - 2\alpha$ erzeugt wird, wie schematisch in der Fig. 6 angedeutet.
- 20 Hinter der weiteren Beleuchtungsebene 31 ist eine zweite Rasteranordnung 34 mit zweiten Rasterelementen 35 angeordnet. Letztere sind ebenfalls als Mikrolinsen mit insbesondere positiver Brechkraft ausgebildet. Die zweiten Rasterelemente 35 werden auch als Pupillenwaben bezeichnet und sind im Bereich einer weiteren Beleuchtungsebene 36 angeordnet, die eine Fourier-transformierte Ebene zur Beleuchtungsebene 11 ist. Die weitere Beleuchtungsebene 36 ist eine Pupillenebene des Beleuchtungssystems 5 und ist konjugiert zu einer Pupillenebene 37 des Projektionsobjektives 17. Die zweiten Rasterelemente 35 sind in der Nähe der sekundären Lichtquellen 33 angeordnet und bilden über die Feldlinse 13 die in der Beleuchtungs-
- 25

ebene 31 erzeugten Bilder der ersten Rasterelemente 20, also der Feldwa-
ben, in die Feld-Zwischenebene 14 ab, sodass dort ein insgesamt
V-förmiges Zwischen-Beleuchtungsfeld entsprechend der Gestalt der se-
kundären Lichtquellen 33 entsteht. Hierbei werden die Bilder der ersten
5 Rasterelemente 20 in der Feld-Zwischenebene 14 überlagert, sodass eine
Homogenisierung bzw. Vergleichmäßigung der Beleuchtungslicht-
Intensität in der Feld-Zwischenebene 14 erreicht wird. Das V-förmige Be-
leuchtungsfeld in der Feld-Zwischenebene 14 wird dann mit dem Objektiv
16 in ein entsprechendes V-förmiges Beleuchtungsfeld in der Retikelebene
10 4 übertragen.

Die optischen Komponenten des Beleuchtungssystems 5 und des Projektionsobjektivs 17, insbesondere die Strahlaufweitungsoptik 7, der Kondensor
10, die Feldlinse 13, das Objektiv 16 und das Projektionsobjektiv 17, sind
15 in der Darstellung nach Fig. 1 als Linsensysteme dargestellt. Dies dient nur
der Veranschaulichung. Das Beleuchtungssystem 5 und das Projektionsobjektiv 17 können genauso auch mit Hilfe reflektierender und Brechkraft
tragender Spiegel realisiert werden. Insbesondere bei solchen, reflektieren-
den oder katadioptrischen Systemen, ist ein V- oder bogenförmiges Be-
20 leuchtungsfeld 3 von Vorteil. Ein derartiges V- oder bogenförmiges Be-
leuchtungsfeld 3 lässt sich zudem hinsichtlich von Aberrationen der opti-
schen Komponenten der Projektionsbelichtungsanlage 1 besser kontrollie-
ren. Dies ist insbesondere im Falle einer Off-Axis-Beleuchtung der Fall.

25 Fig. 7 bis 11 zeigen eine weitere Ausführung eines optischen Rastermoduls
38, diesmal zur Erzeugung eines bogenförmigen Beleuchtungsfeldes, wel-
ches anstelle des optischen Rasterelements 12 nach den Fig. 2 bis 6 einge-
setzt werden kann. Komponenten, die denjenigen des optischen Rasterele-
ments 12 nach den Fig. 2 bis 6 entsprechen, tragen bei der Ausführung

nach den Fig. 7 bis 11 die gleichen Bezugsziffern und werden nicht nochmals im Einzelnen diskutiert.

Das optische Rastermodul 38 hat ein im Lichtweg vor der ersten Rasteranordnung 19 angeordnetes Prismen-Array 39. Letzteres hat einzelne, zeilen- und spaltenweise angeordnete Prismen-Rasterelemente 40. Fig. 7 zeigt im Schnitt eine Spalte der übereinander angeordneten Prismen-Rasterelemente 40. Fig. 8 zeigt zwei übereinander angeordnete Prismen-Rasterelemente 40, also einen Ausschnitt aus dem Prismen-Array 39 mit einer Spalte und zwei Zeilen. Fig. 9 und 10 zeigen zwei Schnitte durch eines der Prismen-Rasterelemente 40 in verschiedenen zueinander und zur y-z-Ebene parallelen Schnittebenen. Der Schnitt nach Fig. 9 geht dabei mittig durch das Prismen-Rasterelement 40. Der Schnitt nach Fig. 10 geht randseitig durch das Prismen-Rasterelement 40, also durch den zeilenseitigen Rand von diesem. Fig. 11 zeigt zwei Spalten und sechs Zeilen des Prismen-Arrays 39, also einen Ausschnitt von diesem. Die Raster-Aufteilung des Prismen-Arrays 39 entspricht der Raster-Aufteilung des ersten Rasterelements 19. Zu beachten ist, dass bei der Ausführung nach den Fig. 7 bis 11 zeilenweise benachbarte erste Rasterelemente 20 nicht in y-Richtung gegeneinander versetzt sind. Die erste Rasteranordnung 19 in der Ausführung der Fig. 7 bis 11 hat also ein unversetztes kartesisches Raster.

Jedes Prismen-Rasterelement 40 hat eine schräge Eintrittsfläche 41, die um die x-Achse senkrecht zur Spaltenrichtung y der ersten Rasteranordnung 19 verkippt ist. Mit der xy-Ebene schließt die Eintrittsfläche 41 jedes Prismen-Rasterelements 40 einen Winkel δ (vgl. Fig. 7) von beispielsweise 42° ein. Jeder Eintrittsfläche 41 ist ein Prismenkörper 42 des Prismen-Rasterelements 40 nachgeordnet. Dieser weist gegenüberliegend zur Eintrittsfläche 41 eine Austrittsfläche 43 auf. Letztere ist um eine zur Spalten-

richtung y parallele Achse gebogen, sodass die Austrittsfläche 43 konkav zylindrisch ist. Diese gebogene Form der Austrittsfläche 43 führt dazu, dass die optische Weglänge im Prismenkörper 42 mittig, also bei $x = 0$, geringer ist als ein am zeilenseitigen Rand des Prismenkörpers 42, also bei
 5 $x = \pm B/2$, wobei B die Breite des Prismenkörpers 42 darstellt.

Den Unterschied in den optischen Weglängen durch den Prismenkörper 42 verdeutlicht ein Vergleich der Fig. 9 und 10. In der Fig. 9 ist eines der Prismen-Rasterelemente 40 bei $x = 0$ geschnitten und in der Fig. 10 bei
 10 $x = + B/2$ bzw. $x = - B/2$. Aufgrund der mittig relativ geringen optischen Weglänge durch den Prismenkörper 42 verlässt ein zunächst parallel zur z-Richtung verlaufendes Beleuchtungslichtbündel 44 den Prismenkörper 42 bei $z = z_0$ und durchläuft bis zu dem ersten Rasterelement 20, welches dem Prismen-Rasterelement 40 zugeordnet ist, eine Wegstrecke Δz_1 . Das Be-
 15 leuchtungslichtbündel 40 wird also in y-Richtung um $\Delta y_1 = \Delta z_1 \tan(\epsilon)$ abgelenkt, wobei ϵ der durch das Prismen-Rasterelement 40 erzeugte Ablenkungswinkel ist. Hierbei wird die Ablenkung des Beleuchtungslichtbündels 40 im Prismenkörper 42 selbst vernachlässigt.

20 In den Ebenen $x = \pm B/2$ wird das Beleuchtungslichtbündel 44 in der Ebene der ersten Rasterelemente 20 trotz gleichem Ablenkungswinkel ϵ in y-Richtung geringer abgelenkt, da der Abstand Δz_2 aufgrund der um Δz größeren Stärke des Prismenkörpers 42 geringer ist ($\Delta z_2 = \Delta z_1 - \Delta z$). Es resultiert dann eine entsprechend geringere Ablenkung $\Delta y_2 = \Delta z_2 \tan(\epsilon) +$
 25 $\Delta z \tan(\epsilon')$. ϵ' ist dabei der im Vergleich zu ϵ geringere Ablenkungswinkel im Prismenkörper 42.

Fig. 11a zeigt nicht maßstabsgetreu den Effekt eines Prismen-Rasterelementes 40 auf das Lichtbündel 44. Mittig ist dieses um einen Ver-

5 satz $\Delta y = \Delta y_1 - \Delta y_2$ nach unten versetzt. Aufgrund der kontinuierlichen konkaven Krümmung der Austrittsfläche 43 resultiert ein entsprechend kontinuierlicher Versatz Δy , sodass das Beleuchtungslichtbündel 44 zur Erzeugung einer bogenförmigen sekundären Lichtquelle 45 am Ort des jeweiligen ersten Rasterelements 20 bogenförmig deformiert wird.

10 Durch Überlagerung der am Ort jedes ersten Rasterelements 20 erzeugten sekundären Lichtquellen 45 wird, entsprechend zu dem, was vorstehend unter Bezugnahme auf die Fig. 2 bis 6 erläutert wurde, ein bogenförmiges Beleuchtungsfeld 3 in der Retikelebene 4 erzeugt.

15 Eine weitere Ausführung eines optischen Rasterelements 46, welches anstelle der optischen Rasterelemente 12 oder 38 eingesetzt werden kann, wird nachfolgend anhand der Fig. 12 bis 16 beschrieben. Komponenten, die denjenigen entsprechen, die vorstehend unter Bezugnahme auf die Fig. 2 bis 11 schon erläutert wurden, tragen die gleichen Bezugsziffern und werden nicht nochmals im Einzelnen diskutiert.

20 Das optische Rasterelement 46 hat zwischen der ersten Rasteranordnung 19 und der zweiten Rasteranordnung 34 ein Keil-Array 47 mit einzelnen Keil-Rasterelementen 48. Die Raster-Aufteilung des Keil-Arrays 47 in die Keil-Rasterelemente 48 entspricht der Raster-Aufteilung der ersten Rasteranordnung 19, wobei letztere, wie in der Ausführung nach den Fig. 7 bis 11, innerhalb einer Rasterzeile ebenfalls ohne y-Versatz ausgebildet ist.

25

Jedes Keil-Rasterelement 48 ist in eine Mehrzahl, nämlich sieben, zueinander benachbarter Keil-Unterelemente 49 bis 55 unterteilt, die in der Fig. 13 von links nach rechts aufsteigend nummeriert sind. Auch andere Anzahlen von Keil-Unterelementen pro Keil-Rasterelement 48 sind möglich, z. B.

5 drei oder fünf Keil-Unterelemente. Die Keil-Unterelemente 49 bis 55 sind voneinander parallel zur Spaltenrichtung y durch Trennflächen 56 getrennt, von denen eine Trennfläche 56 zwischen den Keil-Unterelementen 49, 50 beispielhaft in der Fig. 13 dargestellt ist. Die Keil-Unterelemente haben
10 zwischen Eintrittsflächen 57 und Austrittsflächen 58 unterschiedliche Keilwinkel. Dieser ist bei den Keil-Unterelementen 49, 50, 54 und 55 so, dass diese Keil-Unterelemente sich in positiver y -Richtung verjüngen. Der Keilwinkel der Keil-Unterelemente 49, 55 ist dabei gleich und größer als der Keilwinkel der Keil-Unterelemente 50, 54. Bei den anderen Keil-
15 Unterelementen 51 bis 53 ist der Keilwinkel hingegen so, dass diese Keil-Unterelemente sich in negativer y -Richtung verjüngen. Der Keilwinkel des mittleren Keil-Unterelements 52 ist dabei größer als der Keilwinkel der diesem rechts und links benachbarten Keil-Unterelemente 51 und 53. Der Absolutbetrag der Keilwinkel der Keil-Unterelemente 49, 52 und 55 ist in etwa gleich. Der Absolutbetrag der Keilwinkel der Keil-Unterelemente 50, 51, 53 und 54 ist ebenfalls in etwa gleich.

Fig. 14 zeigt die bündelbeeinflussende Wirkung des Keil-Unterelements 49 zwischen einem der ersten Rasterelemente 20 und einem der zweiten Rasterelemente 35. Ein einfallendes Beleuchtungslichtbündel 59 erfährt durch
20 das Keil-Unterelement 49 insgesamt eine relativ starke Ablenkung nach unten, sodass ein Bild des beleuchteten ersten Rasterelements 20 in der Feld-Zwischenebene 14 gegenüber der optischen Achse 2 um einen Versatz Δy_1 nach unten versetzt wird.

25

Fig. 15 zeigt die umgekehrten Verhältnisse beim mittleren Keil-Unterelement 52. Dort wird durch die für das Beleuchtungslichtbündel 59 nach oben ablenkende Wirkung das Bild des beleuchteten ersten Rasterelements 20 in der Feld-Zwischenebene 14 um einen Betrag Δy_2 nach oben versetzt.

Sekundäre Lichtquellen 59a werden unter dem Einfluss des Keil-Rasterelements 48 also V-förmig gebogen abgebildet. Das Keil-Array 47 mit den Keil-Rasterelementen 48 erzeugt also gebogene, virtuelle sekundäre Lichtquellen 59a. Der Effekt jedes Keil-Rasterelements 48 ist also so, als ob im ersten Rasterelement 20 bereits eine gebogene sekundäre Lichtquelle vorhanden wäre.

Da das Keil-Rasterelement 48 weder in einer Bild- noch in einer Pupillenebene des Beleuchtungssystems angeordnet ist, ist sein Effekt auf die Deformation des Beleuchtungsfeldes gegenüber dem ursprünglich rechteckigen Beleuchtungsfeld ohne Keil-Rasterelement 48 nicht scharf begrenzt, sondern weist verwaschene Ränder auf. Dies ist schematisch in der Fig. 16 dargestellt, die das in der Retikelebene 4 durch das Keil-Array 47 erzeugte Beleuchtungsfeld 3 zeigt. Entsprechend der Unterteilung jedes Keil-Rasterelements 48 in sieben Keilelemente 49 bis 55 ist auch das Beleuchtungsfeld 3 in sieben jeweils zueinander in y-Richtung versetzte Beleuchtungsfeldabschnitte 60 bis 66 unterteilt. Jeder einzelne Beleuchtungsfeldabschnitt 60 bis 66 ist rechteckig mit einem Aspektverhältnis, welches dem eines einzelnen Keil-Unterelements 49 bis 55 entspricht. Jeder Beleuchtungsfeldabschnitt 60 bis 66 hat ein rechteckiges Zentrum höchster Beleuchtungsintensität, die zum Rand jedes Beleuchtungsfeldabschnitts entsprechend dem Aspektverhältnis der Beleuchtungsfeldabschnitte 60 bis 66 kontinuierlich abfällt. Entsprechend der Keilwinkelverteilung der Keil-Unterelemente 49 bis 55 sind die randseitigen Beleuchtungsfeldabschnitte 60 und 66 maximal in positiver y-Richtung versetzt und der mittlere Beleuchtungsfeldabschnitt 63 maximal in negativer y-Richtung. Die zwischenliegenden Beleuchtungsfeldabschnitte 61, 62 sowie 64, 65 fügen sich treppenartig zwischen die Beleuchtungsfeldabschnitte 60, 63 und 66 ein,

sodass insgesamt ein angenähert V-förmig abgestuftes bzw. gebogenes Beleuchtungsfeld resultiert.

- Das Zylinderlinsen-Array 22 zusammen mit der Abbildungs-Rasteranordnung 26, das Prismen-Array 39 und das Keil-Array 47 sind verschiedene Ausführungen einer Bildfeldformungs-Rastereinrichtung mit rechteckigem Bildfeldformungs-Rastelementen, die das Beleuchtungslicht 8 zur Erzeugung gebogener sekundärer Lichtquellen beeinflussen.
- 10 Mit Hilfe des Projektionsobjektivs 17 wird wenigstens ein Teil des Retikels auf einen Bereich einer lichtempfindlichen Schicht auf dem Wafer bzw. Substrat zur mikrolithographischen Herstellung eines mikrostrukturierten Bauelements abgebildet.

Patentansprüche

1. Beleuchtungssystem (5) für die Mikro-Lithographie zur Beleuchtung eines Beleuchtungsfeldes (3) mit Beleuchtungslicht (8) einer primären
5 Lichtquelle (6)
- mit einem optischen Rastermodul (12; 38; 46)
- mit einer ersten Rasteranordnung (19) mit ersten, rechteckigen, in
10 ersten Rasterzeilen und ersten Rasterspalten angeordneten Raster-
elementen (20), die in einer senkrecht auf einer optischen Achse
(2) des Beleuchtungssystems (5) stehenden ersten Ebene (11) oder
benachbart zu dieser angeordnet ist, zur Erzeugung gerastet ange-
ordneter sekundärer Lichtquellen (33; 45; 59a),
15
- mit einer im Beleuchtungs-Lichtweg nach der ersten Rasteranord-
nung (19) angeordneten zweiten Rasteranordnung (34) mit zweiten
Rasterelementen (35),
- 20 - mit einer Übertragungsoptik (13, 15, 16) zur überlagernden Übertra-
gung des Beleuchtungslichts (8) der sekundären Lichtquellen (33; 45;
59a) in das Beleuchtungsfeld (3),
- gekennzeichnet durch** mindestens eine optische Bildfeldformungs-
25 Rastereinrichtung (22, 26; 39; 47) mit rechteckigen Bildfeldformungs-
Rasterelementen (23, 27, 27'; 40; 48), die das Beleuchtungslicht (8)
zur Erzeugung von gebogenen sekundären Lichtquellen (33; 45; 59a)
beeinflusst.

2. Beleuchtungssystem nach Anspruch 1, **dadurch gekennzeichnet, dass** die optische Bildfeldformungs-Rastereinrichtung (22, 26) umfasst:

- 5 - ein Zylinderlinsen-Array (22) mit parallel zueinander angeordneten Zylinderlinsen (23), deren zueinander parallele Längsachsen gegenüber einer Ausricht-Achse (24), die senkrecht auf der optischen Achse (2) und auf einer von den ersten Rasterpalten vorgegebenen Spaltenachse (y) steht, um einen Kippwinkel (α) gekippt sind, wobei das Zylinderlinsen-Array (22) im Lichtweg vor der ersten Rasteranordnung (19) im Abstand der Brennweite der Zylinderlinsen
10 (23) angeordnet ist,
 - wobei eine effektive Rasterweite (R) der verkippten Zylinderlinsen (23) einem Zeilenraster (H) der ersten Rasteranordnung
15 (19) entspricht,
 - wobei benachbarte erste Rasterelemente (20) innerhalb jeder Rasterzeile der ersten Rasteranordnung (19) so in Richtung der Spaltenachse (y) gegeneinander versetzt sind, dass jeweils eine
20 effektive Zeilenachse (21) der ersten Rasteranordnung (19), die durch die Mittelpunkte der ersten Rasterelemente (20) einer Rasterzeile verläuft oder zu einer derartigen Mittelpunkt-Verbindung parallel ist, parallel zu der Zylinderlinse (23) verläuft, die dieser Rasterzeile (21) zugeordnet ist,
25
- eine Abbildungs-Rasteranordnung (26) mit Abbildungs-Rasterelementen (27, 27'), wobei jeweils ein Paar von Abbildungs-Rasterelementen (27, 27'), umfassend ein Abbildungs-Raster-

element (27) mit einer Abbildungsoptik (30) mit Abbildungsmaßstab +1 und ein Abbildungs-Rasterelement (27') mit einer Abbildungsoptik (32) mit Abbildungsmaßstab -1, einem der ersten Rasterelemente (20) zugeordnet ist.

5

3. Beleuchtungssystem nach Anspruch 2, **dadurch gekennzeichnet, dass** eine erste Hälfte (28) jedes ersten Rasterelements (20) von der Abbildungsoptik (30) mit Abbildungsmaßstab +1 und eine von der ersten Hälfte (28) parallel zur Spaltenrichtung (y) getrennte zweite Hälfte (29) jedes ersten Rasterelements (20) von der Abbildungsoptik (32) mit Abbildungsmaßstab -1 abgebildet wird.

10

15

4. Beleuchtungssystem nach Anspruch 1, **dadurch gekennzeichnet, dass** die optische Bildfeldformungs-Rastereinrichtung (39) umfasst:

20

- ein im Lichtweg vor der ersten Rasteranordnung (19) angeordnetes Prismen-Array (39) mit einzelnen, zeilen- und spaltenweise angeordneten Prismen-Rasterelementen (40), dessen Raster-Aufteilung der der ersten Rasteranordnung (19) entspricht, wobei jedes Prismen-Rasterelement (40) aufweist:

25

- eine schräge Eintrittsfläche (41), die um eine Achse (x) senkrecht zur Spaltenrichtung (y) der ersten Rasteranordnung (19) verkippt ist,
- einen der Eintrittsfläche (41) nachgeordneten Prismenkörper (42), dessen optische Weglänge senkrecht (x) zur Spaltenrichtung (y) so variiert, dass das eine durch den Prismenkörper (42) erzeugte erste Strahlablenkung (Δy_1) des Beleuchtungs-

lichts am Ort des zugeordneten ersten Rasterelements (20), die in der Mitte des Prismenkörpers (42) erzeugt wird, sich von einer zweiten Strahlablenkung (Δy_2) am Ort des zugeordneten ersten Rasterelements (20), die am zeilenseitigen Rand des Prismenkörpers (42) erzeugt wird, unterscheidet.

5 5. Beleuchtungssystem nach Anspruch 4, **dadurch gekennzeichnet, dass** die optische Weglänge jedes Prismenkörpers (42) mittig ($x = 0$) geringer ist als am zeilenseitigen Rand ($x = \pm B/2$).

10 6. Beleuchtungssystem nach Anspruch 5, **dadurch gekennzeichnet, dass** jeder Prismenkörper (42) gegenüberliegend zur Eintrittsfläche (41) eine um eine um die Spaltenrichtung (y) konkav gebogene Zylinder-Austrittsfläche (43) aufweist.

15 7. Beleuchtungssystem nach Anspruch 1, **dadurch gekennzeichnet, dass** die optische Bildfeldformungs-Rastereinrichtung (47) umfasst:

20 - ein im Lichtweg nach der ersten Rasteranordnung (19) angeordnetes Keil-Array (47) mit einzelnen Keil-Rasterelementen (48), dessen Raster-Aufteilung der der ersten Rasteranordnung (19) entspricht, wobei jedes Keil-Rasterelement (48) aufweist:

25 -- eine Mehrzahl von zueinander benachbarten Keil-Unterelementen (49 bis 55), die voneinander durch Trennflächen (56) parallel zur Spaltenrichtung (y) getrennt sind und derart zueinander unterschiedliche Keilwinkel zwischen einer Eintritts- (57) und einer Austrittsfläche (58) aufweisen, das ein durch ein mittiges Keil-Unterelement (52) des Keil-

5 Rasterelements (48) erzeugter erster Bildversatz (Δy_2) des Beleuchtungslichts (8) sich von einem zweiten Bildversatz (Δy_1), der am zeilenseitigen Rand des Keil-Rasterelements (48) von einem seitlichen Keil-Unterelement (49, 55) erzeugt wird, unterscheidet.

8. Beleuchtungssystem nach Anspruch 7, **gekennzeichnet durch** mindestens drei Keil-Unterelemente pro Keil-Rasterelement (48).
- 10 9. Beleuchtungssystem nach Anspruch 8, **gekennzeichnet durch** fünf Keil-Unterelemente pro Keil-Rasterelement (48).
10. Beleuchtungssystem nach Anspruch 8, **gekennzeichnet durch** sieben Keil-Unterelemente (49 bis 55) pro Keil-Rasterelement (48).
- 15 11. Beleuchtungssystem nach einem der Ansprüche 1 bis 10, **gekennzeichnet durch** eine Lichtverteilungseinrichtung (9, 10) vor dem optischen Rastermodul (12; 38; 46) zur Erzeugung einer vorgegebenen zweidimensionalen Intensitätsverteilung aus dem Beleuchtungslicht (8) in einer ersten Ebene (11) senkrecht zu einer optischen Achse (2) des Beleuchtungssystems (5).
- 20 12. Mikrolithographie-Projektionsbelichtungsanlage (1) mit einem Beleuchtungssystem (5) nach einem der Ansprüche 1 bis 11.
- 25 13. 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 eines Retikels, das abzubildende Strukturen aufweist,
- Bereitstellen einer Projektionsbelichtungsanlage (1) nach Anspruch 5 12,
- Projizieren wenigstens eines Teils des Retikels auf einen Bereich der Schicht mit Hilfe der Projektionsbelichtungsanlage (1).

10 14. Mikrostrukturiertes Bauelement, das nach einem Verfahren gemäß Anspruch 13 hergestellt ist.

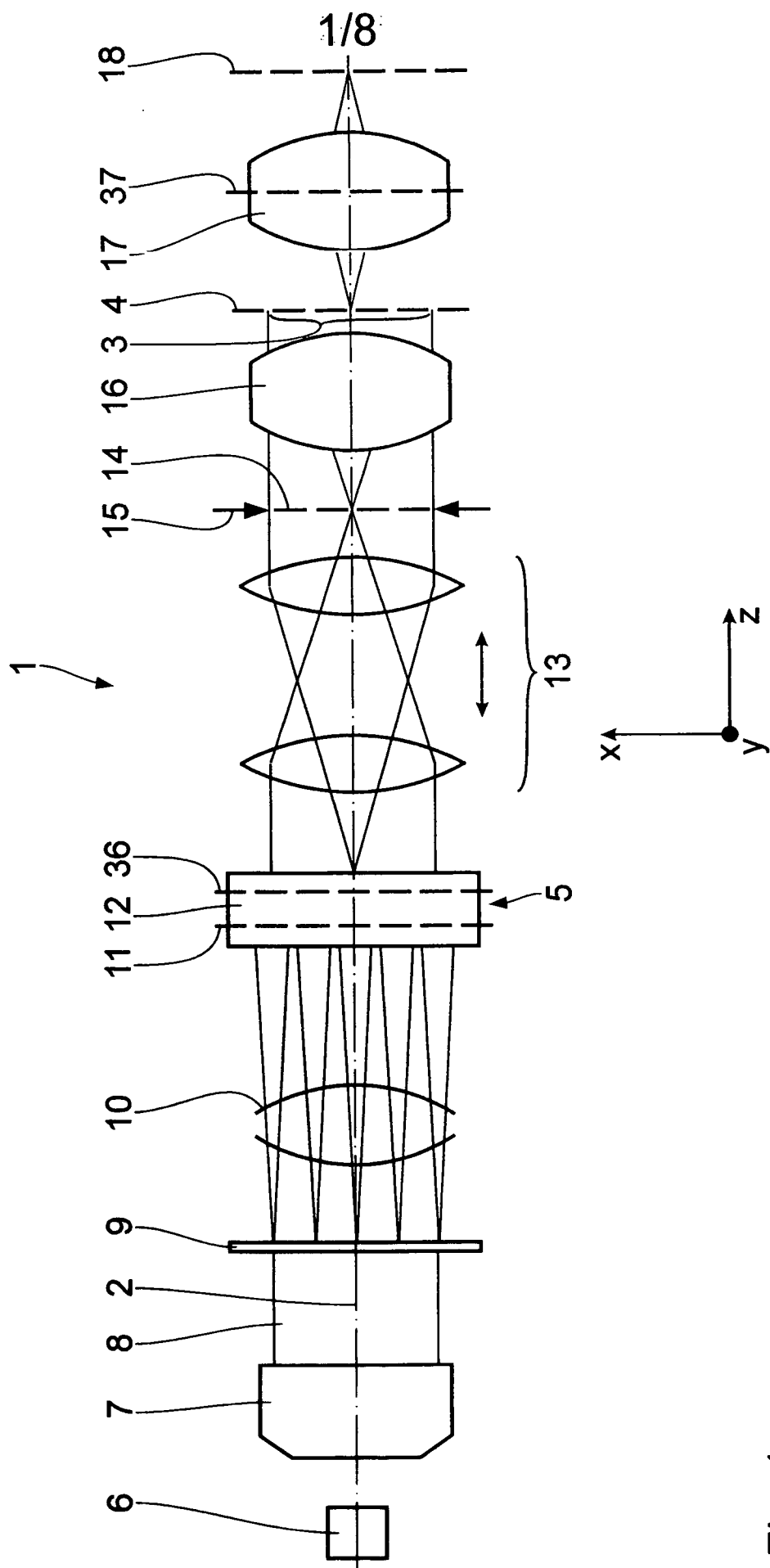


Fig. 1

2/8

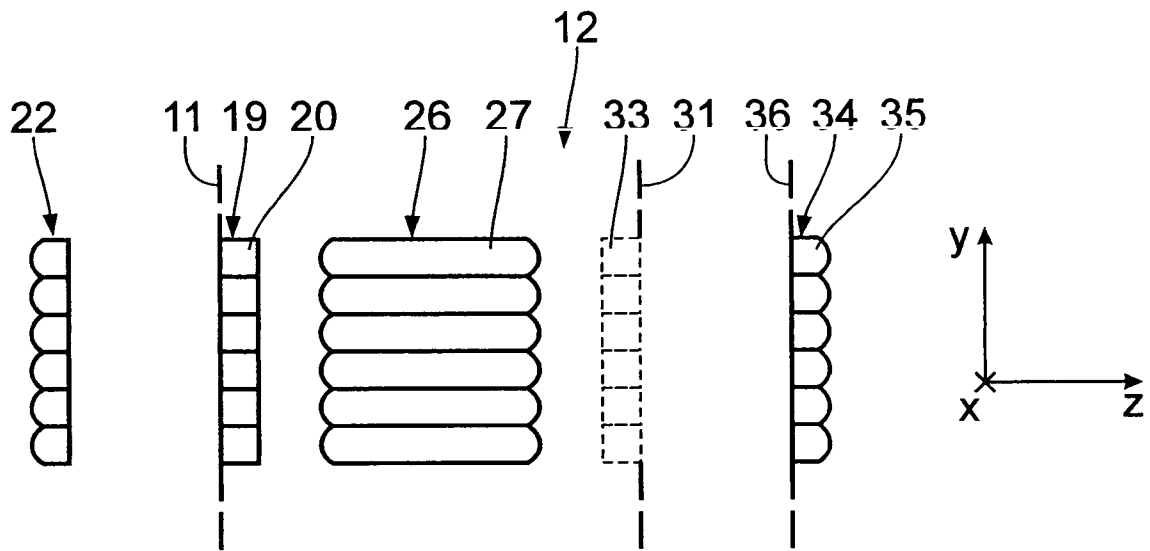


Fig. 2

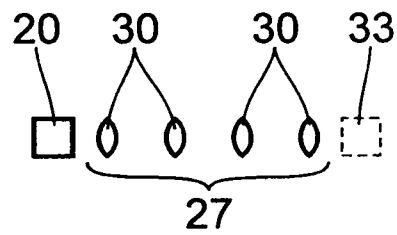


Fig. 3

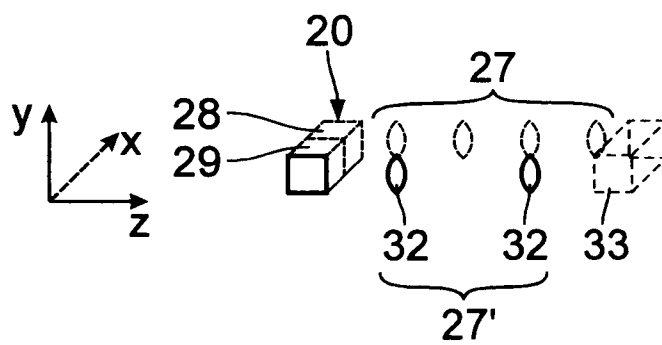


Fig. 4

3/8

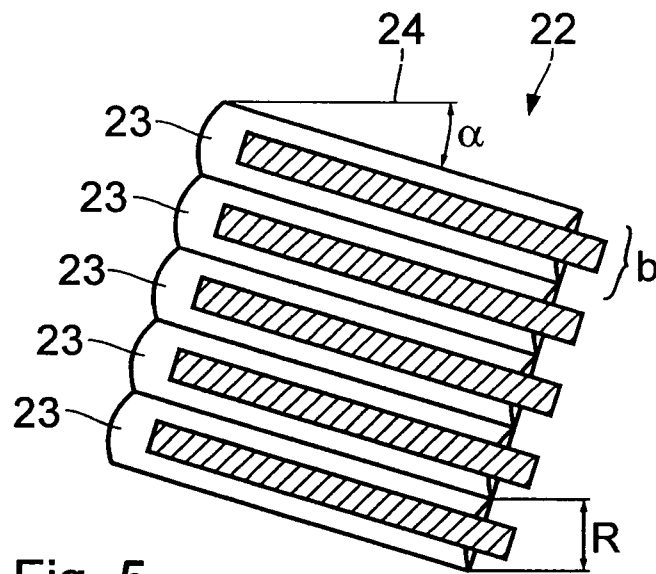


Fig. 5

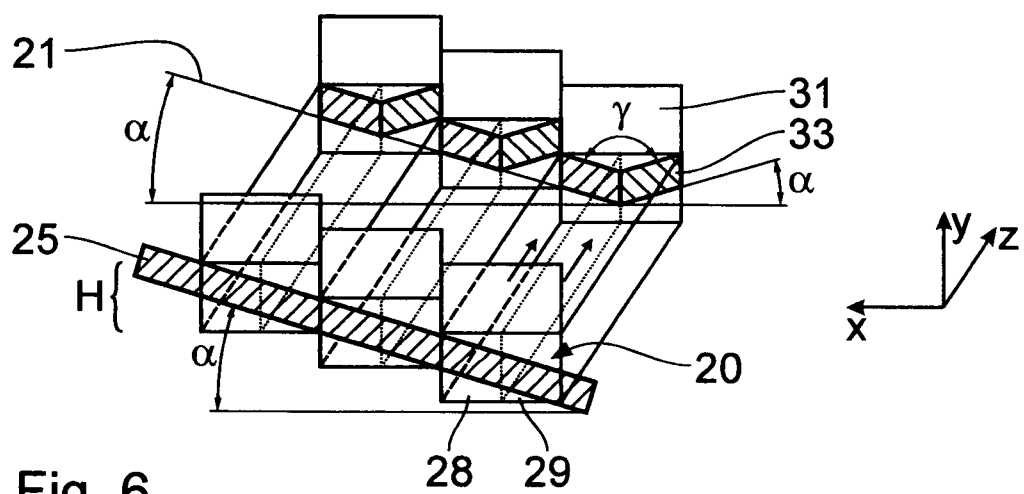


Fig. 6

4/8

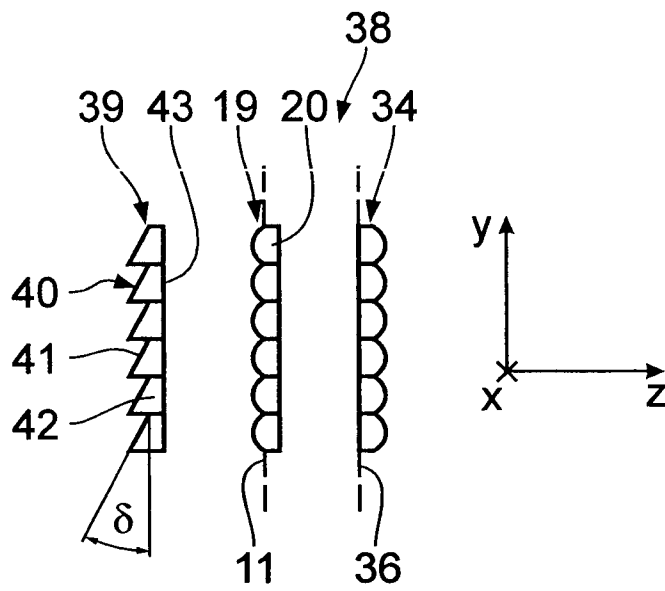


Fig. 7

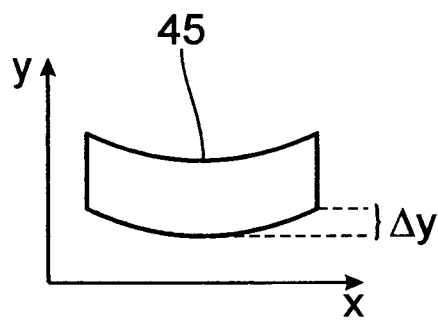


Fig. 11a

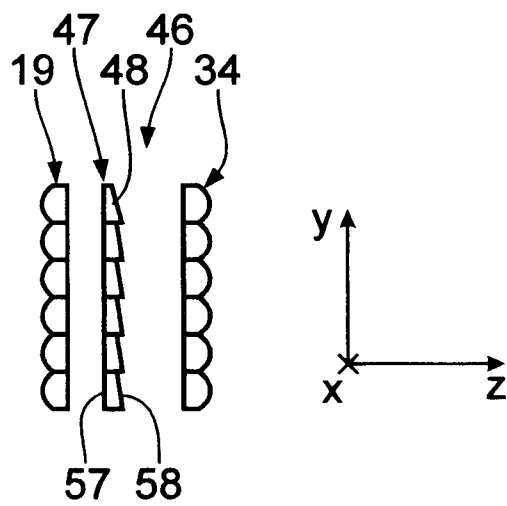


Fig. 12

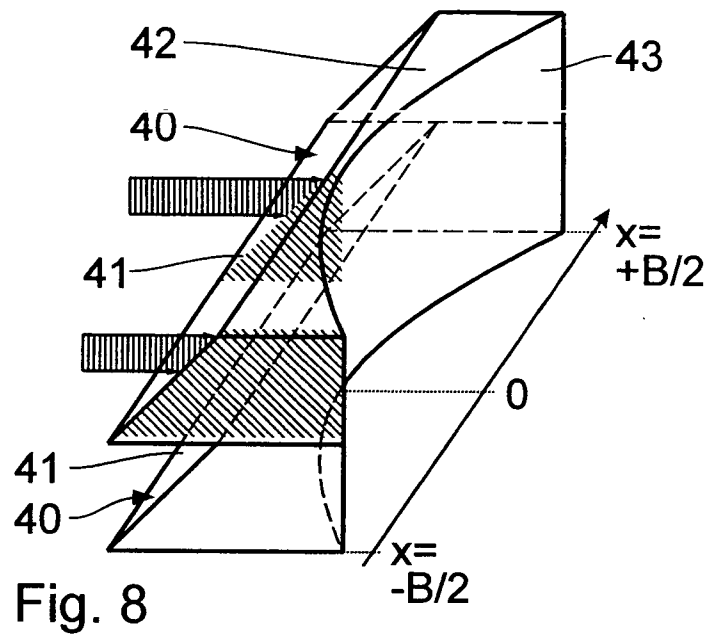


Fig. 8

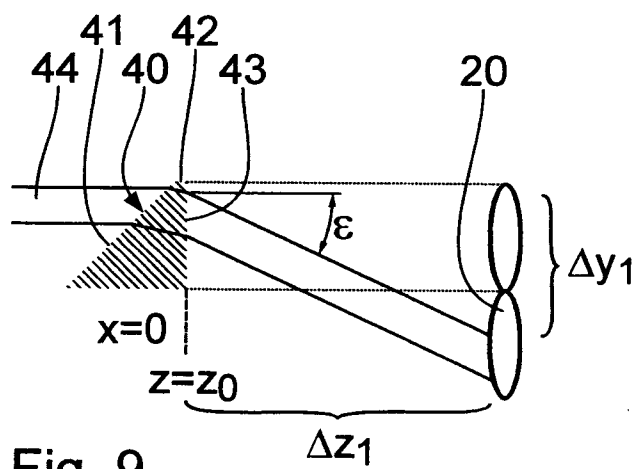


Fig. 9

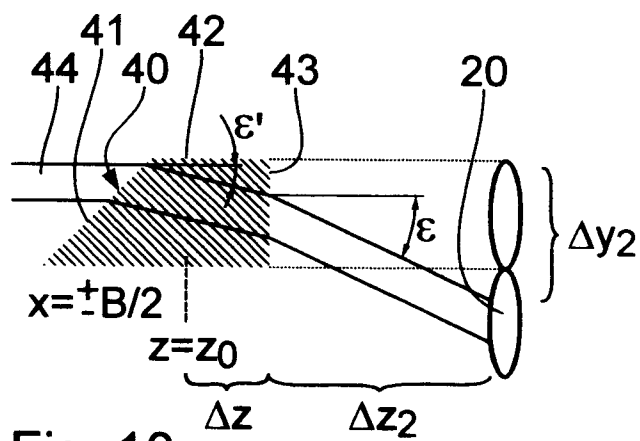


Fig. 10

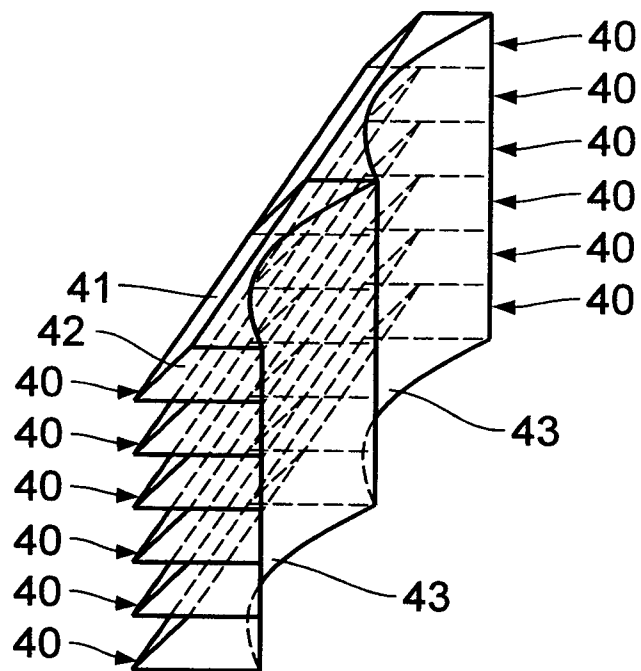


Fig. 11

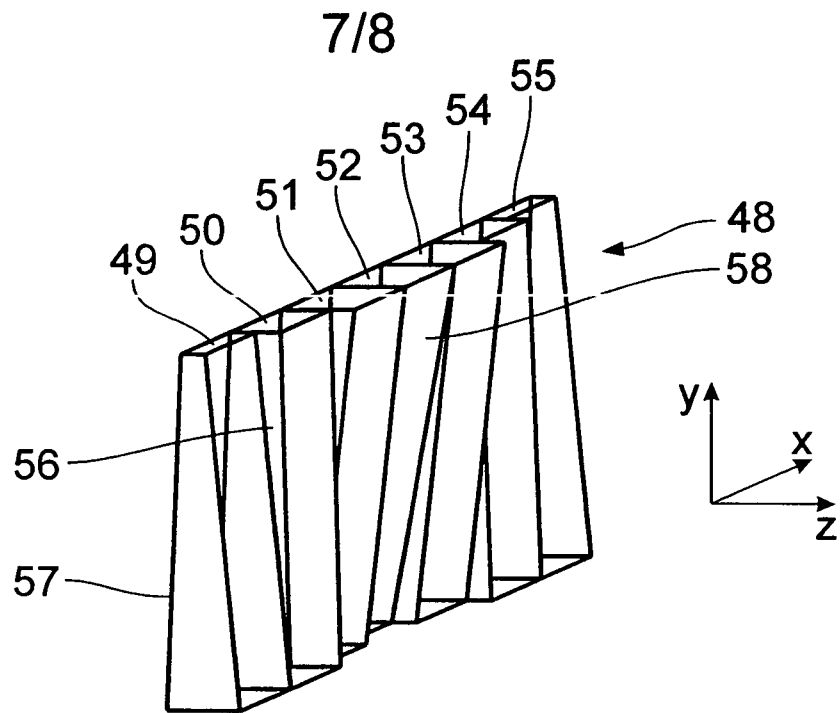


Fig. 13

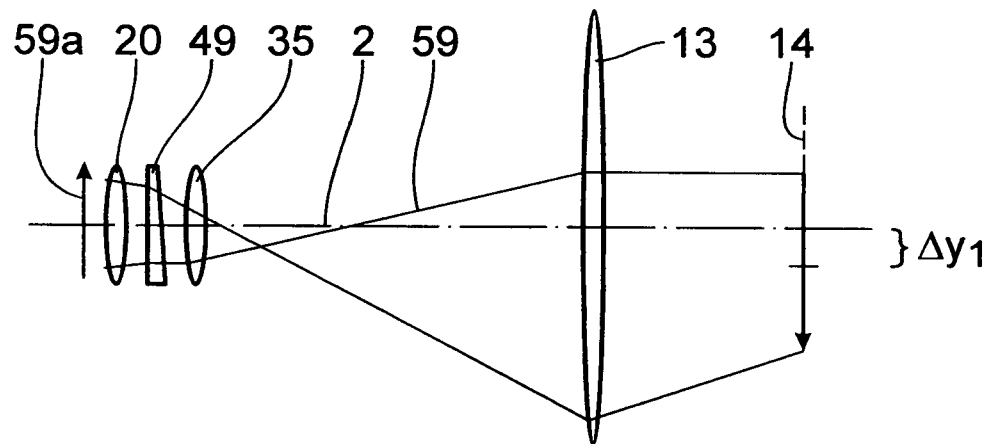


Fig. 14

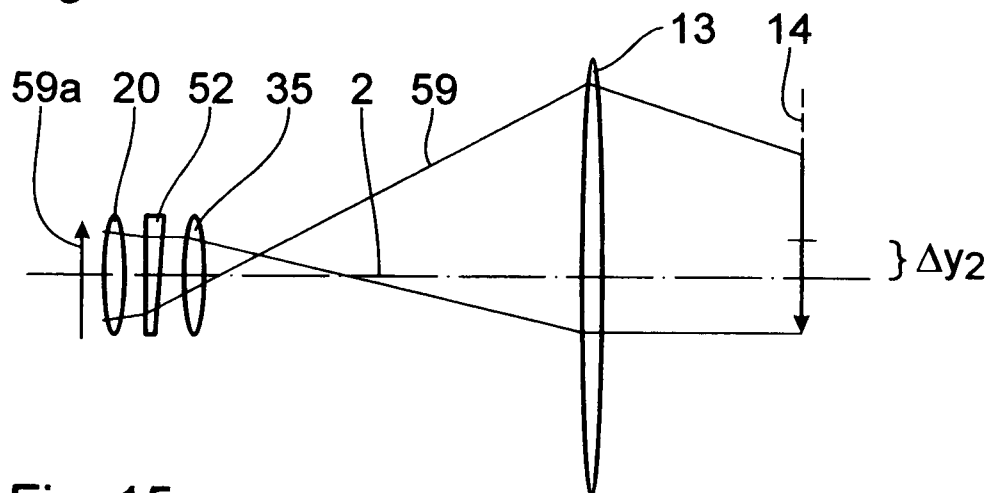


Fig. 15

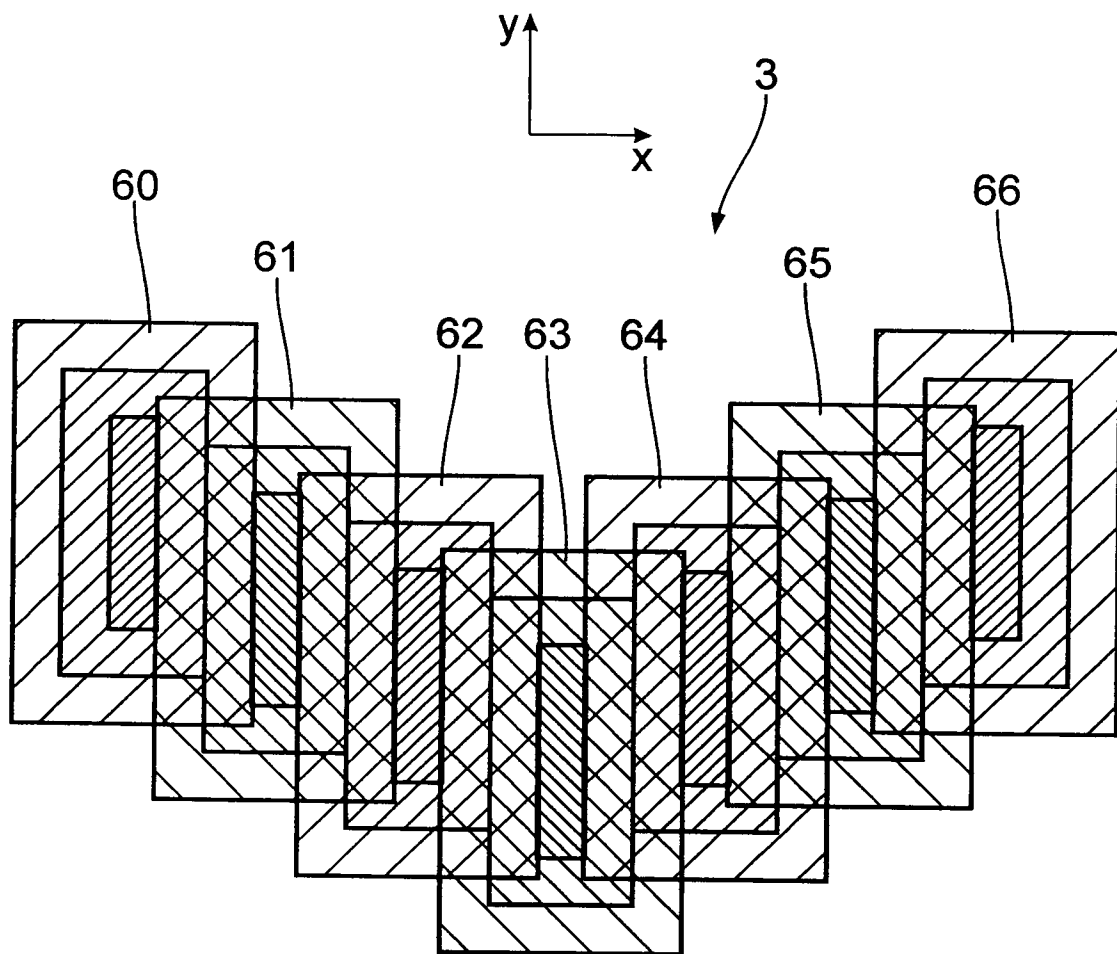


Fig. 16

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No
PCT/EP2007/006090

A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER
INV. G03F7/20

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

B. FIELDS SEARCHED

Minimum documentation searched (classification system followed by classification symbols)

G03F G02B H01L

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

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

EPO-Internal, WPI Data, INSPEC, COMPENDEX

C. DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
X	US 2004/218164 A1 (KOHNO MICHIO [JP]) 4 November 2004 (2004-11-04) cited in the application	14
A	claims 17-19	1-13
A	US 5 594 526 A (MORI TAKASHI [JP] ET AL) 14 January 1997 (1997-01-14) abstract figures 1,2,9 column 4, lines 41-44 column 12, lines 56-67	1-14
A	US 2004/037388 A1 (ANTONI MARTIN [DE] ET AL) 26 February 2004 (2004-02-26) abstract figure 1 paragraph [0070]	1-14

☐ Further documents are listed in the continuation of Box C.

☒ See patent family annex.

* Special categories of cited documents:

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

- *T* later document published after the international filing date or priority date and not in conflict with the application but cited to understand the principle or theory underlying the invention
- *X* document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered novel or cannot be considered to involve an inventive step when the document is taken alone
- *Y* document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered to involve an inventive step when the document is combined with one or more other such documents, such combination being obvious to a person skilled in the art.
- * & * document member of the same patent family

Date of the actual completion of the international search

5 September 2007

Date of mailing of the international search report

18/09/2007

Name and mailing address of the ISA/

European Patent Office, P.B. 5818 Patentlaan 2
NL - 2280 HV Rijswijk
Tel. (+31-70) 340-2040, Tx. 31 651 epo nl,
Fax: (+31-70) 340-3016

Authorized officer

Menck, Alexander

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

Information on patent family members

International application No

PCT/EP2007/006090

Patent document cited in search report		Publication date	Patent family member(s)		Publication date
US 2004218164	A1	04-11-2004	JP	2004335575 A	25-11-2004
US 5594526	A	14-01-1997	JP	3633002 B2	30-03-2005
			JP	8031736 A	02-02-1996
US 2004037388	A1	26-02-2004	NONE		

INTERNATIONALER RECHERCHENBERICHT

Internationales Aktenzeichen

PCT/EP2007/006090

A. KLASSIFIZIERUNG DES ANMELDUNGSGEGENSTANDES
INV. G03F7/20

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

B. RECHERCHIERTE GEBIETE

Recherchierter Mindestprüfstoff (Klassifikationssystem und Klassifikationssymbole)

G03F G02B H01L

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

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

EPO-Internal, WPI Data, INSPEC, COMPENDEX

C. ALS WESENTLICH ANGESEHENE UNTERLAGEN

Kategorie*	Bezeichnung der Veröffentlichung, soweit erforderlich unter Angabe der in Betracht kommenden Teile	Betr. Anspruch Nr.
X	US 2004/218164 A1 (KOHNO MICHIO [JP]) 4. November 2004 (2004-11-04) in der Anmeldung erwähnt	14
A	Ansprüche 17-19	1-13
A	US 5 594 526 A (MORI TAKASHI [JP] ET AL) 14. Januar 1997 (1997-01-14) Zusammenfassung Abbildungen 1,2,9 Spalte 4, Zeilen 41-44 Spalte 12, Zeilen 56-67	1-14
A	US 2004/037388 A1 (ANTONI MARTIN [DE] ET AL) 26. Februar 2004 (2004-02-26) Zusammenfassung Abbildung 1 Absatz [0070]	1-14

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

* Besondere Kategorien von angegebenen Veröffentlichungen :

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

E älteres Dokument, das jedoch erst am oder nach dem internationalen Anmeldedatum veröffentlicht worden ist

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

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

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

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

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

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

& Veröffentlichung, die Mitglied derselben Patentfamilie ist

Datum des Abschlusses der internationalen Recherche

5. September 2007

Absendedatum des internationalen Recherchenberichts

18/09/2007

Name und Postanschrift der Internationalen Recherchenbehörde
Europäisches Patentamt, P.B. 5818 Patentlaan 2
NL - 2280 HV Rijswijk
Tel. (+31-70) 340-2040, Tx. 31 651 epo nl,
Fax: (+31-70) 340-3016

Bevollmächtigter Bediensteter

Menck, Alexander

INTERNATIONALER RECHERCHENBERICHT

Angaben zu Veröffentlichungen, die zur selben Patentfamilie gehören

Internationales Aktenzeichen

PCT/EP2007/006090

Im Recherchenbericht angeführtes Patentedokument		Datum der Veröffentlichung	Mitglied(er) der Patentfamilie		Datum der Veröffentlichung
US 2004218164	A1	04-11-2004	JP	2004335575 A	25-11-2004
US 5594526	A	14-01-1997	JP	3633002 B2	30-03-2005
			JP	8031736 A	02-02-1996
US 2004037388	A1	26-02-2004	KEINE		