

(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
10. Dezember 2015 (10.12.2015)



(10) Internationale Veröffentlichungsnummer
WO 2015/185357 A1

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

(21) Internationales Aktenzeichen: PCT/EP2015/061081

(22) Internationales Anmeldedatum:
20. Mai 2015 (20.05.2015)

(25) Einreichungssprache: Deutsch

(26) Veröffentlichungssprache: Deutsch

(30) Angaben zur Priorität:
10 2014 210 609.5 4. Juni 2014 (04.06.2014) 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

(71) Anmelder (nur für US): **SCHICKETANZ, Thomas**
[DE/DE]; Jahnstraße 13, 73431 Aalen (DE). **GRUNER,**
Toralf [DE/DE]; Opalstraße 22, 73437 Aalen-Hofen (DE).
SCHWAB, Markus [DE/DE]; Limesstrasse 47/2, 73434
Aalen (DE).

(74) Anwalt: **FRANK, Hartmut; BONSMANN**
BONSMANN FRANK Patentanwälte,
Reichspräsidentenstraße 21-25, 45470 Mülheim a.d. Ruhr
(DE).

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

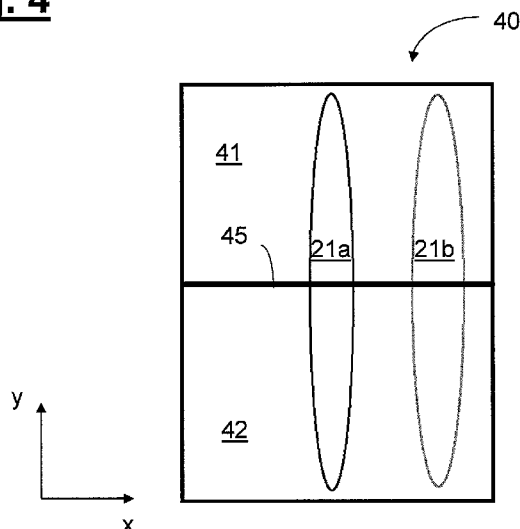
(84) Bestimmungsstaaten (soweit nicht anders angegeben, für
jede verfügbare regionale Schutzrechtsart): ARIPO (BW,
GH, GM, KE, LR, LS, MW, MZ, NA, RW, SD, SL, ST,
SZ, TZ, UG, ZM, ZW), eurasisches (AM, AZ, BY, KG,
KZ, RU, TJ, TM), europäisches (AL, AT, BE, BG, CH,
CY, CZ, DE, DK, EE, ES, FI, FR, GB, GR, HR, HU, IE,
IS, IT, LT, LU, LV, MC, MK, MT, NL, NO, PL, PT, RO,
RS, SE, SI, SK, SM, TR), OAPI (BF, BJ, CF, CG, CI, CM,
GA, GN, GQ, GW, KM, ML, MR, NE, SN, TD, TG).

[Fortsetzung auf der nächsten Seite]

(54) Title: OPTICAL SYSTEM, IN PARTICULAR FOR A MICROLITHOGRAPHIC PROJECTION EXPOSURE SYSTEM

(54) Bezeichnung : OPTISCHES SYSTEM, INSBESONDERE FÜR EINE MIKROLITHOGRAPHISCHE
PROJEKTIONSBELICHTUNGSANLAGE

Fig. 4



(57) Abstract: The invention relates to an optical system, in particular for a microlithographic projection exposure system, comprising at least one mirror, said mirror (M2, 40) being arranged in the optical system in such a manner that the reflection angles produced upon reflection of electromagnetic radiation on the mirror when the optical system is in operation and relating to the respective normal surface are at least 50°, and the mirror is made up of at least two segments (41, 42), between which at least one segment border (45) is provided on the optical element.

(57) Zusammenfassung: Die Erfindung betrifft ein optisches System, insbesondere für eine mikrolithographische Projektionsbelichtungsanlage, mit wenigstens einem Spiegel, wobei der Spiegel (M2, 40) in dem optischen System derart angeordnet ist, dass die im Betrieb des optischen Systems bei Reflexion elektromagnetischer Strahlung an dem Spiegel auftretenden, auf die jeweilige Oberflächennormale bezogenen Reflexionswinkel wenigstens 50° betragen, und wobei der Spiegel aus wenigstens zwei Segmenten (41, 42) zusammengesetzt ist, zwischen denen auf dem optischen Element wenigstens eine Segmentgrenze (45) vorhanden ist.



Erklärungen gemäß Regel 4.17:

— *Erfindererklärung (Regel 4.17 Ziffer iv)*

— *vor Ablauf der für Änderungen der Ansprüche geltenden Frist; Veröffentlichung wird wiederholt, falls Änderungen eingehen (Regel 48 Absatz 2 Buchstabe h)*

Veröffentlicht:

— *mit internationalem Recherchenbericht (Artikel 21 Absatz 3)*

5 Optisches System, insbesondere für eine
 mikrolithographische Projektionsbelichtungsanlage

Die vorliegende Anmeldung beansprucht die Priorität der Deutschen Patentanmeldung DE 10 2014 210 609.5, angemeldet am 04. Juni 2014. Der Inhalt dieser DE-Anmeldung wird durch Bezugnahme („incorporation by reference“) mit in den vorliegenden Anmeldungstext aufgenommen.

10

HINTERGRUND DER ERFINDUNG

15 Gebiet der Erfindung

Die Erfindung betrifft ein optisches System, insbesondere für eine mikrolithographische Projektionsbelichtungsanlage.

20 Stand der Technik

Mikrolithographie wird zur Herstellung mikrostrukturierter Bauelemente, wie beispielsweise integrierter Schaltkreise oder LCD's, angewendet. Der Mikrolithographieprozess wird in einer sogenannten Projektionsbelichtungsanlage durchgeführt, welche eine Beleuchtungseinrichtung und ein Projektionsobjektiv aufweist. Das Bild einer mittels der Beleuchtungseinrichtung beleuchteten Maske (= Retikel) wird hierbei mittels des Projektionsobjektivs auf ein mit einer lichtempfindlichen Schicht (Photoresist) beschichtetes und in der Bildebene des Projektionsobjektivs angeordnetes Substrat (z.B. ein Siliziumwafer) projiziert, um die Maskenstruktur auf die lichtempfindliche Beschichtung des Substrats zu übertragen.

25

30

In für den EUV-Bereich ausgelegten Projektionsobjektiven, d.h. bei Wellenlängen von z.B. etwa 13 nm oder etwa 7 nm, werden mangels Verfügbarkeit geeigneter lichtdurchlässiger refraktiver Materialien Spiegel als optische Komponenten für den Abbildungsprozess verwendet. Typische für EUV ausgelegte Projektionsobjektive, wie z.B. aus US 7,538,856 B2 bekannt, können beispielsweise eine bildseitige numerische Apertur (NA) im Bereich von $NA = 0.2$ bis 0.3 aufweisen und bilden ein (z.B. ringförmiges) Objektfeld in die Bildebene bzw. Waferenebene ab.

Bei Ansätzen zur Erhöhung der bildseitigen numerischen Apertur (NA) tritt in der Praxis das Problem auf, dass einer mit dieser Erhöhung einhergehenden Vergrößerung der Spiegelflächen in mehrfacher Hinsicht Grenzen gesetzt sind:

Zum einen wird es mit wachsenden Abmessungen der Spiegel zunehmend schwierig, insbesondere langwellige Oberflächenfehler auf Werte unterhalb der geforderten Grenzwerte zu senken, wobei die größeren Spiegelflächen u.a. stärkere Asphären erfordern. Des Weiteren werden mit wachsenden Abmessungen der Spiegel größere Bearbeitungsmaschinen zur Fertigung benötigt, und es werden strengere Anforderungen an die verwendeten Bearbeitungswerkzeuge (wie z.B. Schleif-, Läpp-, und Poliermaschinen, Interferometer, Reinigungs- und Beschichtungsanlagen) gestellt. Ferner müssen zur Fertigung größerer Spiegel schwerere Spiegelgrundkörper verwendet werden, welche ab einer gewissen Grenze kaum noch montierbar sind oder sich gravitationsbedingt über ein akzeptables Maß durchbiegen.

Um dem vorstehenden Problem wachsender Spiegelabmessungen Rechnung zu tragen, ist es bekannt, einen oder mehrere Spiegel im Abbildungsstrahlengang des Projektionsobjektivs segmentweise auszuführen, d.h. jeweils einen monolithischen Spiegel durch einen segmentierten Spiegel, welcher aus einer Mehrzahl von separaten Segmenten zusammengesetzt ist, zu ersetzen. Eine solche segmentierte Ausgestaltung eines oder mehrerer Spiegel im Projektionsobjektiv hat jedoch notwendigerweise zur Folge, dass in dem betreffenden segmentierten Spiegel zwischen den separaten Spiegelsegmenten Segment-

grenzen vorhanden sind, in denen keine oder nur eine stark reduzierte bzw. unzureichende Reflexion erfolgt. Infolgedessen geht im Betrieb der Projektionsbelichtungsanlage auf die besagten Segmentgrenzen auftreffendes Licht ganz oder teilweise verloren. Folge hiervon ist nicht nur ein unerwünschter Lichtverlust, sondern ggf. auch das Auftreten von Abbildungsfehlern, da eine jeweils ganz oder anteilig verlorengelungende Beugungsordnung in diesem Maße nicht mehr als Interferenzpartner zur Verfügung steht.

Die vorstehend beschriebenen Probleme erweisen sich insbesondere als gravierend bei Spiegeln, die unter streifendem Einfall betrieben werden. Unter solchen, unter streifendem Einfall betriebenen Spiegeln werden hier und im Folgenden Spiegel verstanden, für welche die bei der Reflexion der EUV-Strahlung auftretenden, auf die jeweilige Oberflächennormale bezogenen Reflexionswinkel wenigstens 50° , insbesondere wenigstens 55° , weiter insbesondere wenigstens 60° betragen. Bei solchen Spiegeln, die im Weiteren auch kurz als GI-Spiegel (= „grazing incidence“ = „streifender Einfall“) bezeichnet werden und deren Einsatz grundsätzlich im Hinblick auf die vergleichsweise hohen, erreichbaren Reflektivitäten (von z.B. 80% und mehr) wünschenswert ist, ist zum einen aufgrund der bezogen auf die reflektierende Spiegelfläche flachen Einfallswinkel die Spiegelgröße relativ ausgeprägt. Zum anderen tritt infolge der typischerweise u.a. zwecks Begrenzung der Spiegelgröße feldnahe Platzierung dieser GI-Spiegel das zusätzliche Problem auf, dass die vorstehend beschriebenen, mit einer Segmentierung notwendigerweise einhergehenden Spiegelsegmentgrenzen unmittelbar in der Waferebene sichtbar werden, was wiederum Aberrationen (insbesondere Uniformitätsfehler) und damit eine Beeinträchtigung des Abbildungsergebnisses zur Folge haben kann.

Zum Stand der Technik wird lediglich beispielhaft auf DE 10 2012 202 675 A1, WO 2012/059537 A1, US 2012/0300183 A1 sowie US 2011/0001947 A1 verwiesen.

ZUSAMMENFASSUNG DER ERFINDUNG

Vor dem obigen Hintergrund ist es eine Aufgabe der vorliegenden Erfindung, ein optisches System, insbesondere für eine mikrolithographische Projektionsbelichtungsanlage bereitzustellen, welches die Realisierung vergleichsweise großer numerischer Aperturen ohne die vorstehend beschriebenen Probleme (insbesondere unter Reduzierung von durch Spiegelsegmentgrenzen hervorgerufenen Abbildungsfehlern) ermöglicht.

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

Ein erfindungsgemäßes optisches System, insbesondere für eine mikrolithographische Projektionsbelichtungsanlage, weist auf:

- wenigstens einen Spiegel,
- wobei der Spiegel in dem optischen System derart angeordnet ist, dass die im Betrieb des optischen Systems bei Reflexion elektromagnetischer Strahlung an dem Spiegel auftretenden, auf die jeweilige Oberflächennormale bezogenen Reflexionswinkel wenigstens 50° betragen, und
- wobei der Spiegel aus wenigstens zwei Segmenten zusammengesetzt ist, zwischen denen auf dem optischen Element wenigstens eine Segmentgrenze vorhanden ist.

Der Erfindung liegt insbesondere das Konzept zugrunde, in einem optischen System für eine mikrolithographische Projektionsbelichtungsanlage einen unter streifendem Einfall betriebenen Spiegel („GI-Spiegel“) segmentiert auszugestalten, um auf diese Weise unter Ausnutzung der für einen solchen GI-Spiegel erreichbaren, vergleichsweise hohen Reflektivitäten (von z.B. 80% oder mehr) die eingangs beschriebenen, fertigungstechnischen Herausforderungen auch bei den für einen solchen GI-Spiegel typischerweise benötigten, vergleichsweise großen Spiegelabmessungen zu meistern.

Dabei geht die Erfindung insbesondere von der Überlegung aus, dass die bei einem solchen GI-Spiegel mit der typischerweise feldnahen Anordnung ggf. einhergehenden Probleme bei Wahl einer geeigneten Anordnung der zwischen den Segmenten vorhandenen Segmentgrenzen vermieden oder zumindest abgemildert werden können. Insbesondere beinhaltet die Erfindung hierbei die Erkenntnis, dass bei einer – im Weiteren noch detaillierter beschriebenen – „günstigen“ Anordnung der Segmentgrenzen relativ zu derjenigen Richtung, in welcher der segmentierte Spiegel im Vergleich zu einer Spiegelstellung mit senkrechtem Lichteinfall verkippt ist, Uniformitätsfehler in der Waferenebene der mikrolithographischen Projektionsbelichtungsanlage weitgehend vermieden werden können. Zugleich geht die Erfindung von der Überlegung aus, dass ein mit dem Vorhandensein der Segmentgrenze(n) auf dem segmentierten Spiegel zwar notwendigerweise verbundener, jedoch typischerweise relativ geringer Intensitätsverlust bewusst in Kauf genommen werden kann, sofern eben die vorstehend genannten Uniformitätsfehler bzw. feldabhängige Transmissionsverluste im optischen System vermieden werden.

Der Erfindung liegt weiter insbesondere das Konzept zugrunde, eine Segmentierung eines unter streifendem Einfall betriebenen Spiegels derart vorzunehmen, dass die Segmentgrenze im Wesentlichen entlang der Kippachse verläuft, um welche der Spiegel gegenüber einer Stellung „mit senkrechtem Lichteintritt“ (hierunter wird vorliegend eine Spiegelstellung verstanden, in welcher die Reflexionswinkel auf dem Spiegel minimiert sind) verkippt angeordnet ist. Gemäß einer Ausführungsform ist somit der Spiegel in dem optischen System bezogen auf eine Spiegelstellung für senkrechten Lichteinfall um eine Kippachse derart gekippt angeordnet, dass die wenigstens eine Segmentgrenze relativ zu dieser Kippachse in einem Winkel von maximal $\pm 5^\circ$ angeordnet ist.

Eine solche Segmentierung des Spiegels mit einem Verlauf der Segmentgrenze(n) entlang der Kippachse erweist sich insofern als günstig, als ein Vergleich der durch unterschiedliche Feldpunkte auf dem Spiegel ausgeleuchteten Be-

reiche (im Weiteren als „Subaperturen“ bezeichnet) in dieser Konfiguration ergibt, dass die Segmentgrenzen in jeder dieser Subaperturen im Wesentlichen gleichermaßen stark zur Geltung kommen. Mit anderen Worten tritt zwar der mit dem Vorhandensein der Segmentgrenze(n) einhergehende Intensitätsverlust weiterhin auf, führt jedoch infolge der einheitlichen Auswirkung auf sämtliche Subaperturen nicht zu einer unerwünschten Feldabhängigkeit der Transmissionseigenschaften und zu damit verbundenen Aberrationen (insbesondere Uniformitätsfehlern).

Geht man nun weiter von einer typischen Konfiguration aus, in der die Scanrichtung, in welche der Scanvorgang im Lithographieprozess stattfindet, mit der Kipprichtung des Spiegels übereinstimmt, ist das vorstehende Merkmal gleichbedeutend damit, dass die Segmentgrenze im Wesentlichen senkrecht zur Scanrichtung bzw. zu deren Projektion auf den Spiegel verläuft.

Ein Verlauf der Segmentgrenze(n) senkrecht zur Scanrichtung erweist sich insofern als vorteilhaft, als dann die mit dem Scanprozess einhergehende Mittelung der Intensität in der Waferebene zusätzlich dazu genutzt werden kann, eine „Verschiebung“ des Bildes der Segmentgrenze, welche ggf. entlang der Scanrichtung bzw. deren Projektion auftritt, in dem letztlich auf Waferebene erhaltenen Bild herauszumitteln und somit einen mit dieser Verschiebung einhergehenden Beitrag zum resultierenden Uniformitätsfehler abzumildern.

Geht man weiter von einer typischen Konfiguration aus, in welcher die Verkipfung des unter streifendem Einfall betriebenen Spiegels in eine Richtung erfolgt, welche für ein rechteckiges Objektfeld zwecks Begrenzung der Spiegelgröße des betreffenden GI-Spiegels der kürzeren Seite dieses Objektfeldes entspricht, ist das vorstehende Merkmal weiter gleichbedeutend damit, dass die Segmentgrenze im Wesentlichen entlang der längeren Seite des Objektfeldes bzw. zu dessen Projektion auf den Spiegel verläuft.

Gemäß einer Ausführungsform betragen die im Betrieb des optischen Systems bei der Reflexion elektromagnetischer Strahlung an diesem Spiegel auftretenden

den, auf die jeweilige Oberflächennormale bezogenen Reflexionswinkel wenigstens 55°, insbesondere wenigstens 60°, weiter insbesondere wenigstens 65°.

- 5 Gemäß einer Ausführungsform ist der Spiegel in einer Ebene des optischen Systems angeordnet, in welcher ein Parameter $P(F)$, welcher definiert ist als

$$P(F) = \frac{D}{D + D(CR)}$$

- 10 maximal 0.7, insbesondere maximal 0.6, weiter insbesondere maximal 0.5, beträgt. Dabei wird vorliegend unter D der maximale Durchmesser der Subapertur auf dem Spiegel entlang der Richtung der Kippachse des Spiegels verstanden. $D(CR)$ definiert den maximalen Hauptstrahlenabstand über alle Feldpunkte des optisch genutzten Feldes auf der optischen Fläche F in der betreffenden Ebene. Somit gilt für einen Feldspiegel $P(F)=0$, und für einen Pupillenspiegel gilt $P(F)=1$. In diesem Falle kommt die erfindungsgemäße vorteilhafte Wirkung der vorstehend beschriebenen „günstigen“ Anordnung der Segmentgrenzen besonders zum Tragen, da wie schon eingangs beschrieben das Problem der Erzeugung von Aberrationen wie insbesondere Uniformitätsfehlern aufgrund der Spiegelsegmentierung im Falle der Anordnung des betreffenden Spiegels gemäß dem o.g. Kriterium besonders ausgeprägt ist.
- 15
- 20

Gemäß einer Ausführungsform ist der Spiegel aus wenigstens drei, insbesondere aus wenigstens vier Segmenten zusammengesetzt.

25

Gemäß einer Ausführungsform sind sämtliche auf dem Spiegel zwischen jeweils zwei Segmenten vorhandenen Segmentgrenzen relativ zur Kippachse in einem Winkel von maximal $\pm 5^\circ$ angeordnet.

30

Gemäß einer Ausführungsform weist das optische System wenigstens zwei solcher Spiegel, die jeweils aus wenigstens zwei Segmenten zusammengesetzt sind, auf.

Gemäß einer Ausführungsform sind diese zwei Spiegel derart angeordnet, dass wenigstens eine Segmentgrenze auf dem in Lichtausbreitungsrichtung zweiten dieser Spiegel im Schatten einer Segmentgrenze des in Lichtausbreitungsrichtung ersten dieser Spiegel angeordnet ist. Auf diese Weise kann durch eine geeignete, aufeinander abgestimmte Anordnung mehrerer segmentierter Spiegel zumindest weitgehend vermieden werden, dass durch jeden nachfolgenden segmentierten Spiegel zusätzliche Lichtanteile abgeblockt werden mit der Folge, dass z.B. der Abschattungseffekt aufgrund zweier segmentierter Spiegel nicht nennenswert größer ist als der Abschattungseffekt, der durch einen einzigen segmentierten Spiegel hervorgerufen wird.

Gemäß einer Ausführungsform weist das optische System wenigstens einen Aktor zur Manipulation von Form und/oder Position wenigstens eines der Segmente auf. Hierdurch wird dem Umstand Rechnung getragen, dass bei einem segmentierten Spiegel die relative Ausrichtung der Segmente zueinander mechanisch vergleichsweise anspruchsvoll ist und bei manipulierbarer Auslegung wenigstens eines der Segmente erforderlichenfalls jederzeit eine Anpassung an die übrigen Segmente erfolgen kann. In weiteren Ausführungsformen kann an dem segmentierten Spiegel bzw. wenigstens einem der Segmente auch eine gezielte Oberflächendeformation zwecks Bereitstellung von (ggf. zusätzlichen) Korrekturfreiheitsgraden im optischen System, beispielsweise zur Korrektur von Spiegelerwärmungseffekten, Gravitationseffekten etc. erzeugt werden.

Gemäß einer Ausführungsform ist das optische System für eine Arbeitswellenlänge von weniger als 30 nm, insbesondere für eine Arbeitswellenlänge von weniger als 15 nm, ausgelegt. Insbesondere kann das optische System somit für den Betrieb im EUV-Bereich ausgelegt sein. Die Erfindung ist jedoch hierauf nicht beschränkt, so dass in weiteren Anwendungen das optische System z.B. auch für eine Arbeitswellenlänge im DUV-Bereich (z.B. kleiner als 200 nm, insbesondere kleiner als 160 nm) ausgestaltet sein kann.

Gemäß einer Ausführungsform weist das optische System wenigstens fünf Spiegel, insbesondere wenigstens sieben Spiegel, auf.

5
Gemäß einer Ausführungsform ist der aus wenigstens zwei Segmenten zusammengesetzte Spiegel derjenige Spiegel im optischen System mit der größten optisch wirksamen Fläche.

10
In Ausführungsformen der Erfindung wird im Betrieb des optischen Systems auf den Spiegel auftreffende elektromagnetische Strahlung, insbesondere auf den Spiegel auftreffendes bzw. an diesem reflektiertes Nutzlicht, an maximal einem Segment des Spiegels reflektiert. Hierbei wird unter „Nutzlicht“ das Licht bzw. die elektromagnetische Strahlung verstanden, welches bzw. welche bestimmungsgemäß zum Abbildungsergebnis (insbesondere im Falle einer Projektionsbelichtungsanlage zur Ausleuchtung des Bildfeldes in der Bildebene des Projektionsobjektives der Projektionsbelichtungsanlage) beitragen kann.

15
Gemäß einer Ausführungsform bilden die Segmente des Spiegels miteinander eine lediglich durch vorhandene Segmentgrenzen zwischen benachbarten Segmenten unterbrochene, zusammenhängende optisch wirksame Fläche aus.

20
Gemäß einer Ausführungsform ist das optische System eine Beleuchtungseinrichtung oder ein Projektionsobjektiv einer mikrolithographischen Projektionsbelichtungsanlage.

25
Die Erfindung betrifft ferner auch eine mikrolithographische Projektionsbelichtungsanlage mit einer Beleuchtungseinrichtung und einem Projektionsobjektiv, wobei die Beleuchtungseinrichtung im Betrieb der Projektionsbelichtungsanlage eine in einer Objektebene des Projektionsobjektivs befindliche Maske beleuchtet und das Projektionsobjektiv Strukturen auf dieser Maske auf eine in
30
einer Bildebene des Projektionsobjektivs befindliche lichtempfindliche Schicht abbildet, wobei die Projektionsbelichtungsanlage ein optisches System mit den vorstehend beschriebenen Merkmalen aufweist.

Gemäß einer Ausführungsform ist die Projektionsbelichtungsanlage für einen Scanbetrieb ausgelegt, in welchem eine relative Scanbewegung zwischen der Maske und der lichtempfindlichen Schicht entlang einer Scanrichtung erfolgt, wobei die Projektion dieser Scanrichtung auf den aus wenigstens zwei Segmenten zusammengesetzten Spiegel relativ zur Segmentgrenze zwischen diesen Segmenten in einem Winkel von $90^\circ \pm 5^\circ$ verläuft.

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

Es zeigen:

Figur 1a-b schematische Darstellungen einer für den Betrieb im EUV ausgelegten Projektionsbelichtungsanlage (Figur 1a) bzw. eines zugehörigen Projektionsobjektivs (Figur 1b);

Figur 2-6 schematische Darstellungen zur Erläuterung des Grundprinzips sowie der Wirkungsweise der vorliegenden Erfindung; und

Figur 7-8 schematische Darstellungen zur Erläuterung der Auswirkung einer nicht erfindungsgemäßen, ungünstigen Anordnung von Spiegelsegmentgrenzen.

DETAILLIERTE BESCHREIBUNG BEVORZUGTER AUSFÜHRUNGSFORMEN

Fig. 1a zeigt eine schematische Darstellung einer beispielhaften für den Betrieb im EUV ausgelegten Projektionsbelichtungsanlage, in welcher die vorliegende Erfindung realisierbar ist.

Gemäß Fig. 1a weist eine Beleuchtungseinrichtung in einer für EUV ausgelegten Projektionsbelichtungsanlage 100 einen Feldfacettenspiegel 103 und einen Pupillenfacettenspiegel 104 auf. Auf den Feldfacettenspiegel 103 wird das Licht einer Lichtquelleneinheit, welche eine Plasmalichtquelle 101 und einen Kollektorspiegel 102 umfasst, gelenkt. Im Lichtweg nach dem Pupillenfacettenspiegel 104 sind ein erster Teleskopspiegel 105 und ein zweiter Teleskopspiegel 106 angeordnet. Im Lichtweg nachfolgend ist ein Umlenkspiegel 107 angeordnet, der die auf ihn treffende Strahlung auf ein Objektfeld in der Objektebene eines in Fig. 1a lediglich angedeuteten Projektionsobjektivs 150 lenkt. Am Ort des Objektfeldes ist eine reflektive strukturtragende Maske 121 auf einem Maskentisch 120 angeordnet, die mit Hilfe des Projektionsobjektivs 150 in eine Bildebene abgebildet wird, in welcher sich ein mit einer lichtempfindlichen Schicht (Photoresist) beschichtetes Substrat 161 auf einem Wafertisch 160 befindet.

Das Projektionsobjektiv 150 kann z.B. gemäß dem konkreten Ausführungsbeispiel von Fig. 1b acht Spiegel M1 bis M8 aufweisen, von denen die Spiegel M1, M4, M7 und M8 als Spiegel für senkrechten Einfall des Beleuchtungslichts (mit einem Einfallswinkel kleiner als 45°) ausgeführt sind und einen Reflexionsschichtstapel aus Molybdän (Mo)- sowie Silizium (Si)-Schichten aufweisen können. Die Spiegel M2, M3, M5 und M6 sind als Spiegel für streifenden Einfall des Beleuchtungslichts (mit Einfallswinkeln größer als 60°) ausgeführt und können eine Beschichtung mit beispielsweise einer Lage aus Molybdän (Mo) oder Ruthenium (Ru) aufweisen.

Die optischen Parameter des Projektionsobjektivs von Fig. 1 sind in Tab. 1-3 aufgeführt, wobei Tab. 1 zu den optischen Oberflächen der optischen Komponenten einen Scheitelpunktradius (Radius = $R = R_y$) sowie jeweils den Abstand (Abstandswert) zur nachfolgenden optischen Komponente angibt, Tab. 2a-c für die Spiegel M1 bis M8 in mm die konischen Konstanten k_x und k_y , den ggf. vom Wert $R (= R_y)$ abweichenden Scheitelpunktradius R_x und die Freiformflächenkoeffizienten C_n angibt und Tab. 3a-b jeweils den Betrag angeben, längs dem der jeweilige Spiegel, ausgehend von einem Spiegel-Referenzdesign in der y-Richtung dezentriert (DCY), in der z-Richtung verschoben (DCZ) und verkippt (TLA, TLC) wurde. Verschoben wird dabei in y- und in z-Richtung in mm und verkippt um die x-Achse und um die z-Achse. Der Verdrehwinkel ist in Grad angegeben. Es wird zunächst dezentriert, dann verkippt. Auch für das Objektfeld OP ist eine Dezentrierung in y- und in z-Richtung angegeben. Die optischen Designdaten gehen jeweils von der Bildebene IP aus und beschreiben das Projektionsobjektiv 150 somit in zur Bildausbreitungsrichtung entgegengesetzter Richtung zwischen Bildebene IP und Objektebene OP.

Der Spiegel M8, also der im Abbildungsstrahlengang letzte Spiegel vor der Bildebene IP, weist eine Durchtrittsöffnung zum Durchtritt des Abbildungslichts auf, das vom drittletzten Spiegel M6 hin zum vorletzten Spiegel M7 reflektiert wird. Der Spiegel M8 wird um die Durchtrittsöffnung herum reflektiv genutzt. Alle übrigen Spiegel M1 bis M7 besitzen keine Durchtrittsöffnung und werden in einem lückenlos zusammenhängenden Bereich reflektiv genutzt.

Eine Freiformfläche kann durch folgende Freiformflächengleichung beschrieben werden:

$$\begin{aligned}
 Z = & \frac{c_x x^2 + c_y y^2}{1 + \sqrt{1 - ((1 + k_x)(c_x x)^2 - (1 + k_y)(c_y y)^2)}} \\
 & + C_1 x + C_2 y \\
 & + C_3 x^2 + C_4 xy + C_5 y^2 \\
 & + C_6 x^3 + \dots + C_9 y^3 \\
 & + C_{10} x^4 + \dots + C_{12} x^2 y^2 + \dots + C_{14} y^4 \\
 & + C_{15} x^5 + \dots + C_{20} y^5 \\
 & + C_{21} x^6 + \dots + C_{24} x^3 y^3 + \dots + C_{27} y^6 \\
 & + \dots
 \end{aligned} \tag{1}$$

In Gleichung (1) ist Z die Pfeilhöhe der Freiformfläche am Punkt x, y, wobei $x^2 + y^2 = r^2$ gilt. Mit $C_1, C_2, C_3, \dots$ sind die Koeffizienten der Freiformflächen-Reihenentwicklung in den Potenzen von x und y bezeichnet. Im Falle einer konischen Grundfläche ist c eine Konstante, die der Scheitelpunktkrümmung einer entsprechenden Asphäre entspricht. Es gilt also $c_x = 1/r_x$ und $c_y = 1/r_y$. k_x und k_y entsprechen jeweils einer konischen Konstante einer entsprechenden Asphäre. Gleichung (1) beschreibt also eine bikonische Freiformfläche.

Die Erfindung ist nicht auf die Realisierung in einem Projektionsobjektiv mit dem in Fig. 1b gezeigten konkreten Aufbau beschränkt. In weiteren Ausführungsbeispielen kann die Erfindung auch in Projektionsobjektiven mit anderem Aufbau (z.B. wie in DE 10 2012 202 675 A1 gezeigt) oder anderen optischen System realisiert werden.

Gemäß der Erfindung ist nun wenigstens ein unter streifendem Einfall betriebener Spiegel z.B. des Projektionsobjektivs 150, im weiteren Beispiel der Spiegel M2, in solcher Weise segmentiert, dass die Segmentgrenze(n) im Wesentlichen parallel zu einer Kippachse verläuft bzw. verlaufen, um welche der betreffende Spiegel bezogen auf eine Spiegelstellung für senkrechten Lichteinfall gekippt angeordnet ist. Insbesondere kann die wenigstens eine Segmentgrenze relativ zu dieser Kippachse in einem Winkel von maximal $\pm 5^\circ$ angeordnet sein. Diese Segmentierung sowie deren Auswirkung werden im Weiteren

unter Bezugnahme auf die lediglich schematischen Darstellungen von Fig. 2ff näher erläutert.

In Fig. 2 ist eine typische Form eines rechteckigen Objektfeldes 20 angedeutet, wobei die Scanrichtung bezogen auf das eingezeichnete Koordinatensystem in y-Richtung verläuft. In Fig. 3 ist lediglich schematisch ein Spiegel 30 angedeutet, wobei aufgrund dessen Verkippung im optischen Strahlengang die auf diesem Spiegel 30 erzeugten Subaperturen jeweils eine langgestreckte Geometrie aufweisen, wobei in Fig. 3 die Subapertur 21a den vom mittleren Feldpunkt des Objektfeldes 21 beleuchtete Fläche und die Subapertur 21b den von einem im Rand des Objektfeldes 21 befindlichen Feldpunkt beleuchtete Fläche bezeichnen.

Geht man bei einer für den Scanbetrieb ausgelegten Projektionsbelichtungsanlage davon aus, dass die Scanrichtung, in welcher der Scanvorgang im Lithographieprozess stattfindet, mit der Kipprichtung des Spiegels übereinstimmt, ist das vorstehende Merkmal gleichbedeutend damit, dass die Segmentgrenze im Wesentlichen senkrecht zur Scanrichtung bzw. zu deren Projektion auf den Spiegel verläuft.

Zur Veranschaulichung ist in Fig. 5 in lediglich schematischer Darstellung ein Strahlengang von der Maske M bzw. dem Retikel über einen Konkavspiegel 55 zu einem unter streifendem Einfall betriebenen (GI-)Spiegel 50 angedeutet, wobei die Scan-Richtung entlang der y_g -Richtung im eingezeichneten Koordinatensystem des Spiegels 50 verläuft. Die wenigstens eine Segmentgrenze des Spiegels 50 erstreckt sich nach dem vorstehenden Kriterium somit in x_g -Richtung im Koordinatensystem des Spiegels 50.

Eine „ungünstige“, erfindungsgemäß nicht gewählte Segmentierung eines Spiegels 70 mit einer entlang der y-Richtung verlaufenden Segmentgrenze 75 ist in Fig. 7 angedeutet, wobei in Fig. 8 jeweils stark vereinfacht die pupillenabhängige Transmission für unterschiedliche Feldpunkte F_5 (mittlerer Feldpunkt) sowie F_1 bis F_4 (in jeweils einem Eckbereich liegende Feldpunkte) angedeutet

ist. Mit anderen Worten ist also vereinfacht angedeutet, mit welcher Intensität das von einem jeweiligen Feldpunkt ausgehende Licht im Bildfeld des Projektionsobjektivs bzw. am Wafer ankommt.

5 Wie zunächst aus Fig. 7 ersichtlich befindet sich die Segmentgrenze 75 vollständig in derjenigen Subapertur 21a, welche der vom mittleren Feldpunkt des Objektfeldes 21 beleuchteten Fläche des Spiegels 70 entspricht, wohingegen sich in der Subapertur 21b, die der von einem im Rand des Objektfeldes 21 befindlichen Feldpunkt beleuchteten Fläche entspricht, kein Anteil der Segmentgrenze 75 mehr befindet.

10 Wie in Fig. 8 angedeutet ist, hat dies zur Folge, dass für die Feldmitte (Feldpunkt F_5) ein Transmissionsverlust infolge der durch die Segmentgrenze 75 bewirkten Abschattung stattfindet, wobei jedoch für die Rand- bzw. Eckbereiche des Feldes (F_1 bis F_4) entweder kein oder nur ein vergleichsweise geringer Transmissionsverlust stattfindet. Im Ergebnis führt dies zu einem Uniformitätsfehler und somit zu einer Beeinträchtigung des im Lithographieprozess erzielten Abbildungsergebnisses.

20 Eine „günstige“ Segmentierung eines Spiegels 40 mit einer entlang der y-Richtung verlaufenden Segmentgrenze 45 ist in Fig. 4 angedeutet, wobei in Fig. 6 wiederum jeweils stark vereinfacht die pupillenabhängige Transmission für die unterschiedlichen Feldpunkte F_5 (mittlerer Feldpunkt) sowie F_1 bis F_4 (in jeweils einem Eckbereich liegende Feldpunkte) angedeutet ist. Wie zunächst aus Fig. 4 ersichtlich befindet sich die Segmentgrenze 45 sowohl in der derjenigen Subapertur 21a, welche der vom mittleren Feldpunkt des Objektfeldes 21 beleuchteten Fläche des Spiegels 40 entspricht, also auch in derjenigen Subapertur 21b, die der von einem im Rand des Objektfeldes 21 befindlichen Feldpunkt beleuchteten Fläche entspricht.

30 Wie aus Fig. 6 ersichtlich ist, hat dies zur Folge, dass sowohl für die Feldmitte (Feldpunkt F_5) also auch für die Rand- bzw. Eckbereiche des Feldes (F_1 bis F_4) jeweils ein Transmissionsverlust infolge der durch die Segmentgrenze 45 be-

wirkten Abschattung stattfindet. Wie ebenfalls in Fig. 6 erkennbar ist verschiebt sich bei Betrachtung unterschiedlicher Feldränder F_1 und F_3 bzw. F_2 und F_4 , welche in y-Richtung versetzt sind, die durch die Segmentgrenze 45 bewirkte Abschattung ebenfalls in y-Richtung. Da nun jedoch im Lithographieprozess entlang dieser y-Richtung gescannt wird, mittelt sich diese Verschiebung beim Scannen wieder heraus mit der Folge, dass ein unerwünschter Uniformitätsfehler zumindest weitgehend vermieden werden kann.

Seitens der Erfinder durchgeführte Untersuchungen in Form von Simulationen haben ergeben, dass für ein konkretes Ausführungsbeispiel der Segmentierung des Spiegels M2 (der Fläche von ca. 78002 mm^2) im Projektionsobjektiv von Fig. 1b unter Erzeugung von zwei Segmenten gleicher Größe mit einer Segmentgrenze der Breite von 2 mm (entsprechend einer aufgrund der Segmentgrenze „fehlenden“ Spiegelfläche von 0.51 %) bei Zugrundelegung einer „perfekten Reflexion“, d.h. ohne Berücksichtigung von winkelabhängigen Reflexionsschichteigenschaften des Spiegels M2, der mittlere Transmissionsverlust 0.52 % beträgt und somit in der zu erwartenden Größenordnung liegt, wobei in der vorstehend diskutierten „günstigen“ Konfiguration ein Uniformitätsfehler kleiner als 0.01 % erzielt werden kann. Bei zusätzlicher Berücksichtigung winkelabhängiger Reflexionsschichteigenschaften auf diesem segmentierten Spiegel ergibt sich ein mittlerer Transmissionsverlust von etwa 0.53 % bei einer Uniformitätsänderung aufgrund der Segmentierung um 0.01 % (von einem Wert von 0.042 % ohne Segmentierung auf einen Wert von 0.040 % mit Segmentierung).

In dem vorstehend beschriebenen Ausführungsbeispiel der Segmentierung des Spiegels M2 lässt sich somit das Ziel einer weitgehenden Vermeidung von Uniformitätsfehlern bereits ohne Berücksichtigung der mit dem Scanprozess verbundenen Mittelung der Intensität auf Waferebene erreichen. Bei größerer Abmessung bzw. Breite der Segmentgrenze(n) und/oder im Falle einer Konfiguration mit vergleichsweise ungünstiger Abschattung bestimmter Beugungsordnungen durch die Segmentgrenze(n) nimmt dieser Uniformitätsfehler jedoch zu mit der Folge, dass in solchen Fällen die mit dem Scanprozess einherge-

hende Mittelung der Intensität auf Waferenebene zur Begrenzung des Uniformitätsfehlers genutzt werden kann.

5 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
10 Erfindung nur im Sinne der beigefügten Patentansprüche und deren Äquivalente beschränkt ist.

Tabelle 1:

OBERFLÄCHE	RADIUS = R_y	ABSTANDSWERT	BETRIEBMODUS
Bildfeld	+0.000	+786.631	
M8	-842.354	+0.000	REFL
M7	+391.441	+0.000	REFL
M6	+11916.263	+0.000	REFL
M5	+19049.685	+0.000	REFL
M4	-1000.690	+0.000	REFL
M3	+7304.320	+0.000	REFL
M2	-16882.395	+0.000	REFL
M1	-1946.378	+0.000	REFL

Tabelle 2a:

FREIFORM	KOEFFIZIENTEN		
Oberfläche	M8	M7	M6
KY	+0.000000e+00	+0.000000e+00	+0.000000e+00
KX	+0.000000e+00	+0.000000e+00	+0.000000e+00
RX	-9.148038e+02	+1.084038e+03	-1.203691e+03
C1	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00
C2	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00
C3	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00
C4	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00
C5	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00
C6	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00
C7	-2.696277e-09	-4.826751e-07	-1.044091e-07
C8	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00
C9	+4.341929e-09	+3.756356e-07	+1.341916e-09
C10	-1.322785e-11	+9.852016e-10	-3.829740e-10
C11	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00
C12	-3.324039e-11	+4.684763e-09	+3.461279e-11
C13	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00
C14	-1.047254e-11	+3.913612e-09	-4.337757e-12
C15	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00
C16	-1.644109e-15	-9.331082e-13	+4.192180e-12
C17	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00
C18	+2.584428e-15	+2.482464e-12	+2.386450e-13
C19	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00
C20	+3.393845e-15	+6.156021e-12	+8.402900e-14
C21	-1.974622e-17	+2.696967e-15	+7.596750e-14
C22	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00
C23	-7.198009e-17	+2.811741e-14	+4.051296e-15

C24	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00
C25	-6.593494e-17	+6.534962e-14	+1.235492e-15
C26	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00
C27	-1.789477e-17	+6.685167e-14	-9.927146e-17
C28	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00
C29	-7.069443e-22	-2.482376e-18	-1.938855e-16
C30	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00
C31	+1.654458e-21	+2.717618e-17	+5.519611e-17
C32	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00
C33	+6.817189e-21	+1.023642e-16	-1.473042e-19
C34	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00
C35	+3.275515e-21	+1.337615e-16	+2.425594e-19
C36	-2.187522e-23	+1.640396e-20	+1.075640e-17
C37	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00
C38	-1.051205e-22	+2.644328e-19	-3.140590e-19
C39	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00
C40	-1.595849e-22	+1.286464e-18	-3.464161e-19
C41	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00
C42	-1.007953e-22	+2.924287e-18	-6.097412e-21
C43	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00
C44	-2.273338e-23	+2.430798e-18	-4.961924e-22
C45	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00
C46	+3.954079e-28	0,00E+00	0,00E+00
C47	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00
C48	-1.165102e-27	0,00E+00	0,00E+00
C49	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00
C50	+8.020246e-27	0,00E+00	0,00E+00
C51	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00
C52	+7.823968e-27	0,00E+00	0,00E+00
C53	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00
C54	+1.784485e-27	0,00E+00	0,00E+00
C55	-5.220429e-29	0,00E+00	0,00E+00
C56	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00
C57	-3.057255e-28	0,00E+00	0,00E+00
C58	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00
C59	-6.615028e-28	0,00E+00	0,00E+00
C60	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00
C61	-6.835586e-28	0,00E+00	0,00E+00
C62	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00
C63	-3.438298e-28	0,00E+00	0,00E+00
C64	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00
C65	-6.722654e-29	0,00E+00	0,00E+00

Tabelle 2b:

FREIFORM	KOEFFIZIENTEN		
Oberfläche	M5	M4	
KY	+0.000000e+00	+0.000000e+00	
KX	+0.000000e+00	+0.000000e+00	
RX	+5.938698e+03	-1.112970e+03	
C1	0,00E+00	0,00E+00	
C2	0,00E+00	0,00E+00	
C3	0,00E+00	0,00E+00	
C4	0,00E+00	0,00E+00	
C5	0,00E+00	0,00E+00	
C6	0,00E+00	0,00E+00	
C7	+1.157467e-07	+2.118356e-08	
C8	0,00E+00	0,00E+00	
C9	-2.404270e-09	-3.859975e-07	
C10	+9.187234e-10	-7.745586e-11	
C11	0,00E+00	0,00E+00	
C12	+1.852678e-10	+2.303852e-10	
C13	0,00E+00	0,00E+00	
C14	+3.026592e-11	-2.778300e-09	
C15	0,00E+00	0,00E+00	
C16	+1.096198e-12	-1.118494e-13	
C17	0,00E+00	0,00E+00	
C18	+1.874649e-13	-1.228171e-12	
C19	0,00E+00	0,00E+00	
C20	-9.702452e-15	-2.126379e-11	
C21	-1.035373e-14	-1.417304e-17	
C22	0,00E+00	0,00E+00	
C23	+3.171175e-15	-2.556142e-15	
C24	0,00E+00	0,00E+00	
C25	-2.299353e-16	+6.830625e-15	
C26	0,00E+00	0,00E+00	
C27	+9.638007e-17	-2.534757e-13	
C28	0,00E+00	0,00E+00	
C29	+1.954110e-17	+1.829470e-18	
C30	0,00E+00	0,00E+00	
C31	+2.664704e-17	-5.380103e-17	
C32	0,00E+00	0,00E+00	
C33	+2.624180e-18	+3.705430e-16	
C34	0,00E+00	0,00E+00	
C35	-1.878106e-19	-5.757542e-15	
C36	+6.131726e-19	-1.405340e-21	

C37	0,00E+00	0,00E+00	
C38	+4.473805e-19	-3.539251e-20	
C39	0,00E+00	0,00E+00	
C40	+1.483034e-19	-4.376776e-19	
C41	0,00E+00	0,00E+00	
C42	-4.694260e-21	+2.335046e-18	
C43	0,00E+00	0,00E+00	
C44	+4.611455e-22	-6.086161e-17	

Tabelle 2c:

FREIFORM	KOEFFIZIENTEN		
Oberfläche	M3	M2	M1
KY	+0.000000e+00	+0.000000e+00	+0.000000e+00
KX	+0.000000e+00	+0.000000e+00	+0.000000e+00
RX	+4.924676e+03	+7.769315e+02	-1.818738e+03
C1	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00
C2	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00
C3	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00
C4	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00
C5	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00
C6	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00
C7	+3.922671e-07	-9.502823e-07	-1.003113e-08
C8	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00
C9	+5.164869e-09	+6.717202e-09	-1.890107e-08
C10	+2.373309e-10	+1.070788e-09	-1.042351e-11
C11	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00
C12	+6.581707e-10	+1.312116e-09	+1.052365e-11
C13	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00
C14	+1.029104e-10	-5.804452e-14	+1.819034e-10
C15	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00
C16	+5.029376e-12	-4.794529e-12	+4.282395e-14
C17	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00
C18	-1.713124e-13	-1.723637e-12	+1.842960e-13
C19	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00
C20	+2.792804e-13	-1.626810e-14	-7.808589e-13
C21	-3.764064e-14	-5.759223e-16	+1.432110e-18
C22	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00
C23	+2.949732e-14	+1.071607e-14	+7.428634e-17
C24	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00
C25	-1.105710e-14	+2.298129e-15	-7.491786e-16
C26	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00
C27	-2.348455e-15	+1.484026e-17	+2.274507e-15

C28	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00
C29	-7.425177e-17	+9.135427e-19	+6.865161e-20
C30	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00
C31	+2.064123e-16	-1.619795e-17	-4.495588e-20
C32	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00
C33	+3.929349e-17	-2.635829e-18	+3.713461e-18
C34	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00
C35	+3.090369e-17	+2.451604e-21	-8.537896e-18
C36	-5.736439e-19	+3.151630e-20	-3.779724e-23
C37	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00
C38	+1.459181e-19	+2.286037e-21	-1.210195e-22
C39	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00
C40	+9.054142e-20	+1.340852e-20	+1.184817e-22
C41	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00
C42	-2.117877e-19	+1.721957e-21	-1.437090e-20
C43	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00
C44	-1.139519e-19	-1.024715e-23	+1.292063e-20

Tabelle 3a:

DEZENTRIERUNG	UND	VERKIPPUNG	
Oberfläche	DCX	DCY	DCZ
M8	+0.000	+0.000	+786.631
M7	+0.000	+100.663	+66.347
M6	+0.000	-62.345	+974.618
M5	+0.000	-332.063	+1368.459
M4	+0.000	-660.431	+1618.035
M3	+0.000	-37.754	+1525.100
M2	+0.000	+657.872	+1100.397
M1	+0.000	+1104.497	+355.239
Objektfeld	+0.000	+1237.831	+1741.426

Tabelle 3b:

DEZENTRIERUNG	UND	VERKIPPUNG	
Oberfläche	TLA[deg]	TLB[deg]	TLC[deg]
M8	+3.978	+0.000	+0.000
M7	+189.068	+0.000	+0.000
M6	-67.710	+0.000	+0.000
M5	-46.416	+0.000	+0.000
M4	+67.138	+0.000	+0.000
M3	-19.947	+0.000	+0.000
M2	-45.235	+0.000	+0.000
M1	-167.279	+0.000	+0.000
Objektfeld	+0.000	+0.000	+0.000

Patentansprüche

1. Optisches System, insbesondere für eine mikrolithographische Projektionsbelichtungsanlage, mit

- wenigstens einem Spiegel (M2, 40);
- wobei dieser Spiegel (M2, 40) in dem optischen System derart angeordnet ist, dass die im Betrieb des optischen Systems bei Reflexion elektromagnetischer Strahlung an dem Spiegel (M2, 40) auftretenden, auf die jeweilige Oberflächennormale bezogenen Reflexionswinkel wenigstens 50° betragen; und
- wobei der Spiegel (M2, 40) aus wenigstens zwei Segmenten (41, 42) zusammengesetzt ist, zwischen denen auf dem Spiegel wenigstens eine Segmentgrenze (45) vorhanden ist.

2. Optisches System nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, dass die im Betrieb des optischen Systems bei der Reflexion elektromagnetischer Strahlung an diesem Spiegel (M2, 40) auftretenden, auf die jeweilige Oberflächennormale bezogenen Reflexionswinkel wenigstens 55°, insbesondere wenigstens 60°, weiter insbesondere wenigstens 65° betragen.

3. Optisches System nach Anspruch 1 oder 2, dadurch gekennzeichnet, dass der Spiegel (M2, 40) in dem optischen System bezogen auf eine Spiegelstellung für senkrechten Lichteinfall um eine Kippachse gekippt angeordnet ist, wobei die wenigstens eine Segmentgrenze (45) relativ zu dieser Kippachse in einem Winkel von maximal $\pm 5^\circ$ angeordnet ist.

4. Optisches System nach einem der Ansprüche 1 bis 3, dadurch gekennzeichnet, dass der Spiegel (M2, 40) in einer Ebene des optischen Systems angeordnet ist, in welcher ein Parameter $P(F)$, welcher definiert ist als

$$P(F) = \frac{D}{D + D(CR)} ,$$

maximal 0.7, insbesondere maximal 0.6, weiter insbesondere maximal 0.5, beträgt, wobei D den maximalen Durchmesser der Subapertur auf dem Spiegel entlang der Richtung der Kippachse des Spiegels (M2, 40) und D(CR) den maximalen Hauptstrahlenabstand definiert über alle Feldpunkte des optisch genutzten Feldes auf der optischen Fläche F in der betreffenden Ebene bezeichnen.

5. Optisches System nach einem der vorhergehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, dass der Spiegel (M2, 40) aus wenigstens drei, insbesondere aus wenigstens vier Segmenten zusammengesetzt ist.

6. Optisches System nach Anspruch 5, dadurch gekennzeichnet, dass sämtliche auf dem Spiegel (M2, 40) zwischen jeweils zwei Segmenten (41, 42) vorhandenen Segmentgrenzen (45) relativ zur Kippachse in einem Winkel von maximal $\pm 5^\circ$ angeordnet sind.

7. Optisches System nach einem der vorhergehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, dass das optische System wenigstens zwei solcher Spiegel (M2, 40), die jeweils aus wenigstens zwei Segmenten (41, 42) zusammengesetzt sind, aufweist.

8. Optisches System nach Anspruch 7, dadurch gekennzeichnet, dass diese zwei Spiegel derart angeordnet sind, dass wenigstens eine Segmentgrenze auf dem in Lichtausbreitungsrichtung zweiten dieser Spiegel im Schatten einer Segmentgrenze des in Lichtausbreitungsrichtung ersten dieser Spiegel angeordnet ist.

9. Optisches System nach einem der vorhergehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, dass dieses wenigstens einen Aktor zur Manipulation von Form und/oder Position wenigstens eines der Segmente (41, 42) aufweist.

10. Optisches System nach einem der vorhergehenden Ansprüche, dadurch

gekennzeichnet, dass das optische System für eine Arbeitswellenlänge von weniger als 30 nm, insbesondere für eine Arbeitswellenlänge von weniger als 15 nm, ausgelegt ist.

- 5 11. Optisches System nach einem der vorhergehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, dass das optische System wenigstens fünf Spiegel, insbesondere wenigstens sieben Spiegel, aufweist.
- 10 12. Optisches System nach einem der vorhergehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, dass der aus wenigstens zwei Segmenten zusammengesetzte Spiegel (M2, 40) derjenige Spiegel im optischen System mit der größten optisch wirksamen Fläche ist.
- 15 13. Optisches System nach einem der vorhergehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, dass im Betrieb des optischen Systems auf den Spiegel auftreffende elektromagnetische Strahlung (M2, 40) an maximal einem Segment (41, 42) des Spiegels reflektiert wird.
- 20 14. Optisches System nach einem der vorhergehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, dass die Segmente (41, 42) des Spiegels (M2, 40) miteinander eine lediglich durch vorhandene Segmentgrenzen zwischen benachbarten Segmenten unterbrochene, zusammenhängende optisch wirksame Fläche ausbilden.
- 25 15. Optisches System nach einem der vorhergehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, dass das optische System eine Beleuchtungseinrichtung oder ein Projektionsobjektiv einer mikrolithographischen Projektionsbelichtungsanlage ist.
- 30 16. Mikrolithographische Projektionsbelichtungsanlage, mit einer Beleuchtungseinrichtung und einem Projektionsobjektiv, wobei die Beleuchtungseinrichtung im Betrieb der Projektionsbelichtungsanlage eine in einer Objekebene des Projektionsobjektivs befindliche Maske (121) beleuchtet und

das Projektionsobjektiv Strukturen auf dieser Maske (121) auf eine in einer Bildebene des Projektionsobjektivs (150) befindliche lichtempfindliche Schicht abbildet, dadurch gekennzeichnet, dass die Projektionsbelichtungsanlage ein optisches System nach einem der vorhergehenden Ansprüche aufweist.

17. Mikrolithographische Projektionsbelichtungsanlage nach Anspruch 16, dadurch gekennzeichnet, dass diese für einen Scanbetrieb ausgelegt ist, in welchem eine relative Scanbewegung zwischen der Maske (121) und der lichtempfindlichen Schicht entlang einer Scanrichtung erfolgt, wobei die Projektion dieser Scanrichtung auf den aus wenigstens zwei Segmenten (41, 42) zusammengesetzten Spiegel (M2, 40) relativ zur Segmentgrenze (45) zwischen diesen Segmenten in einem Winkel von $90^\circ \pm 5^\circ$ verläuft.

Fig. 1a

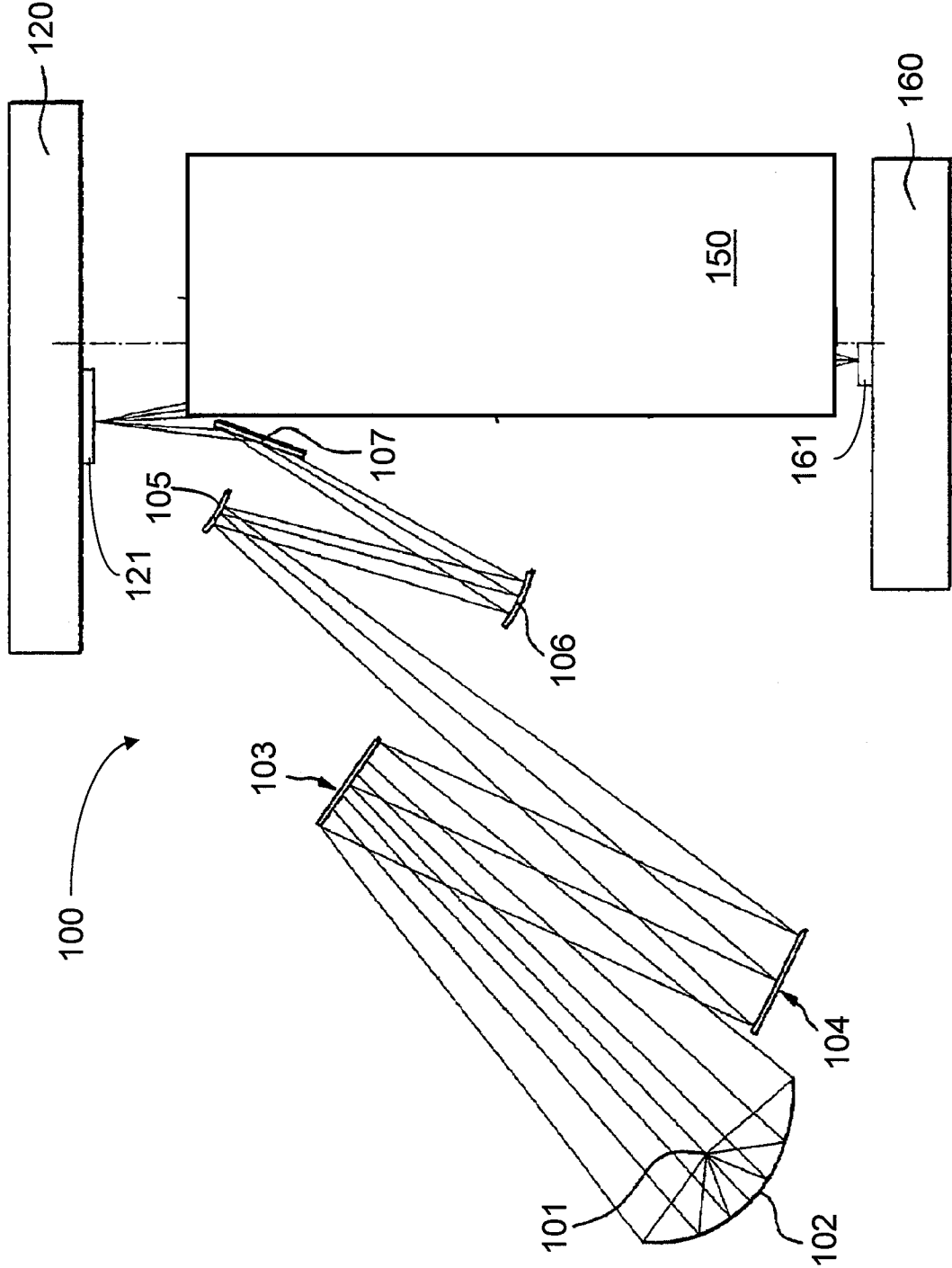


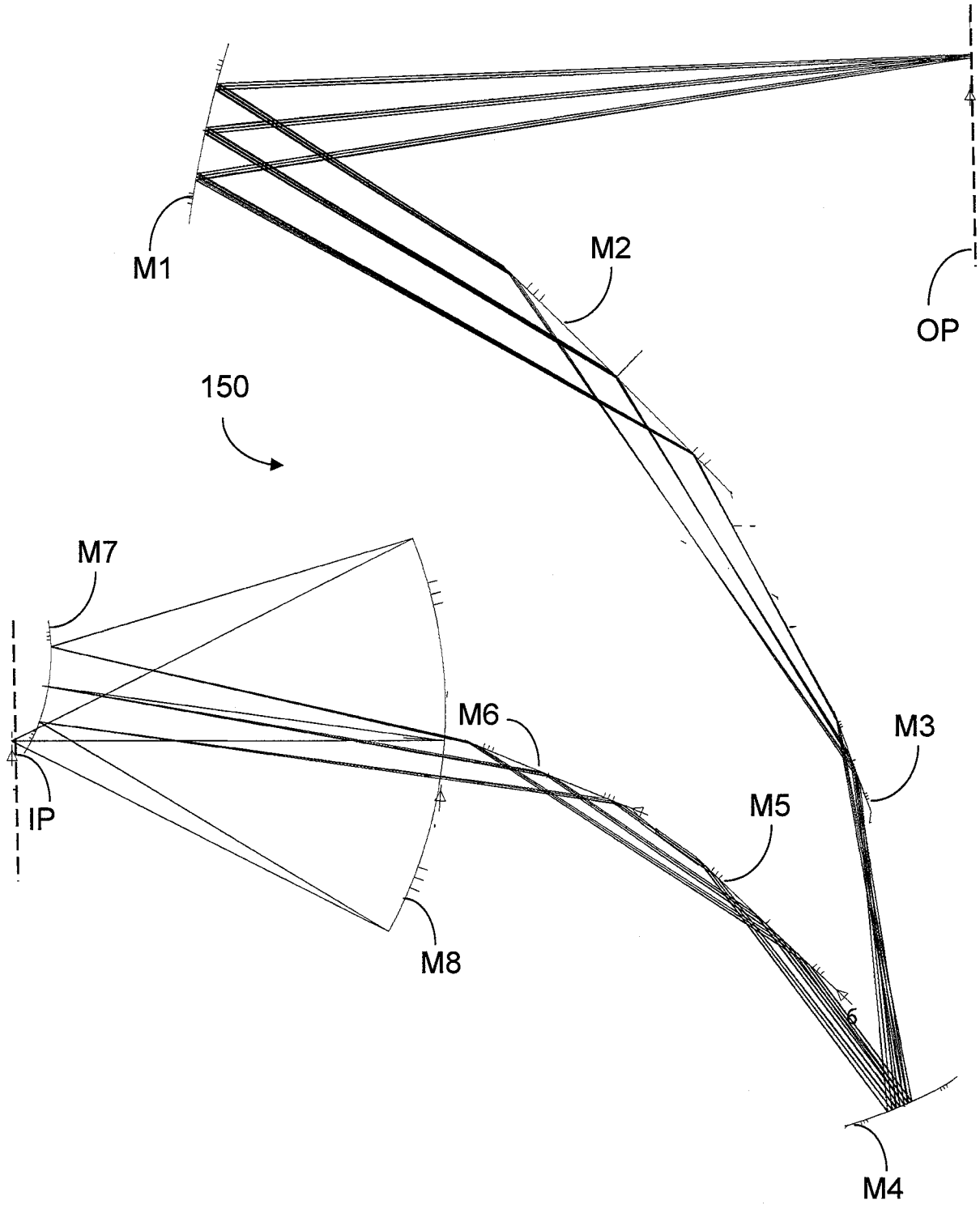
Fig. 1b

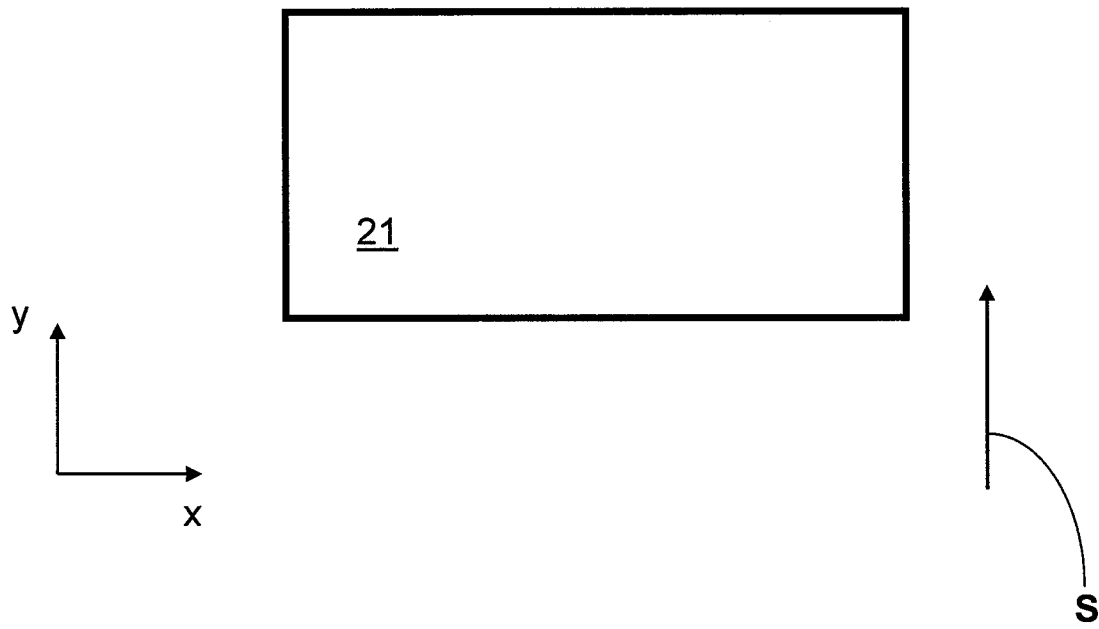
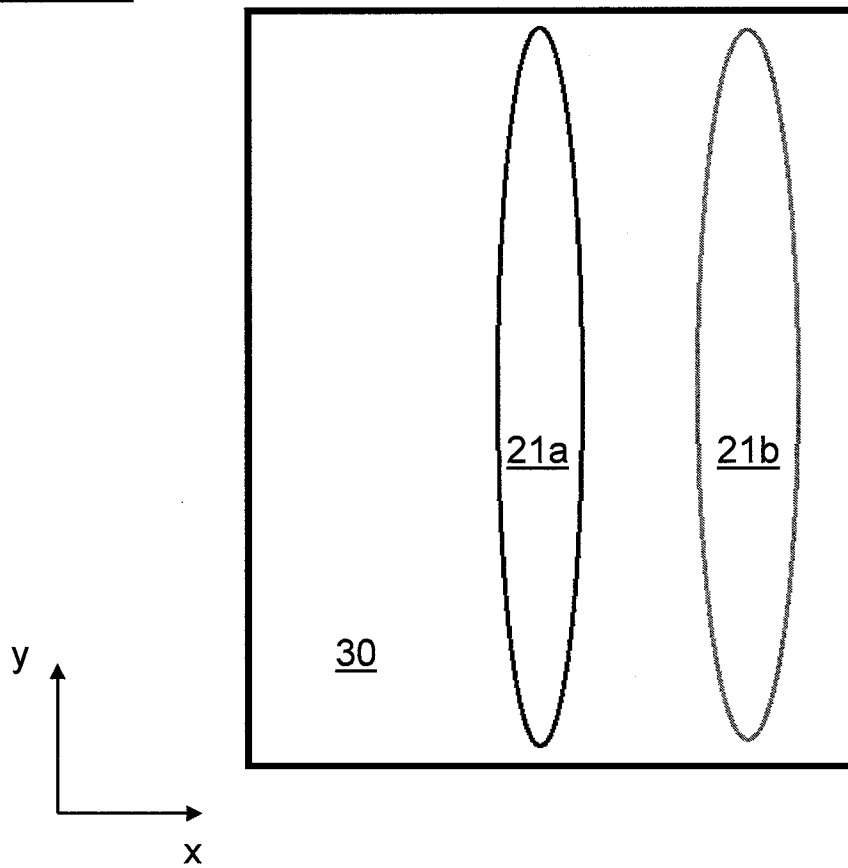
Fig. 2**Fig. 3**

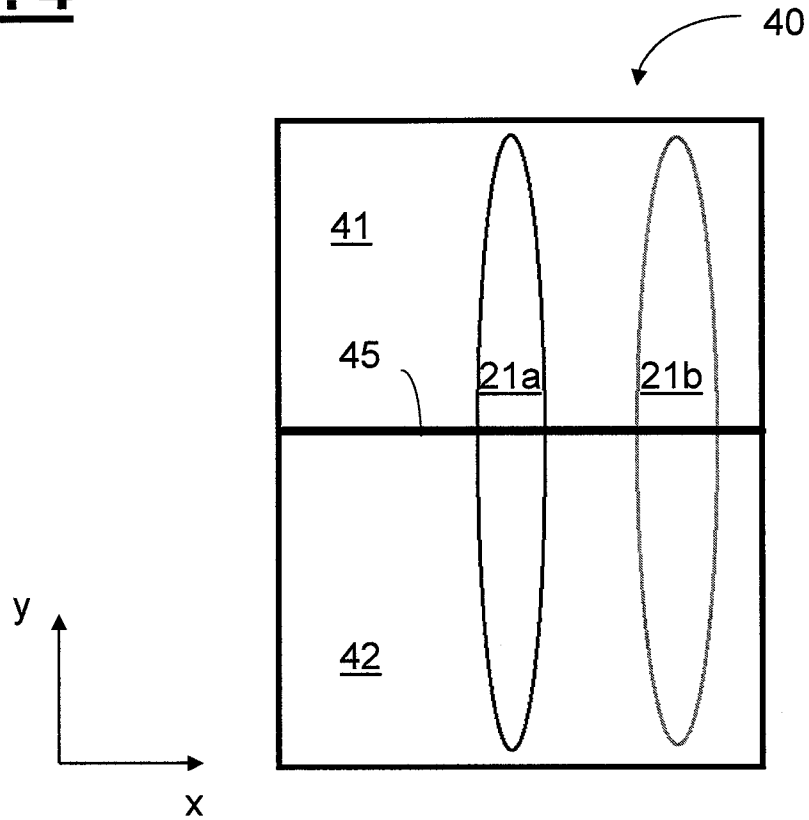
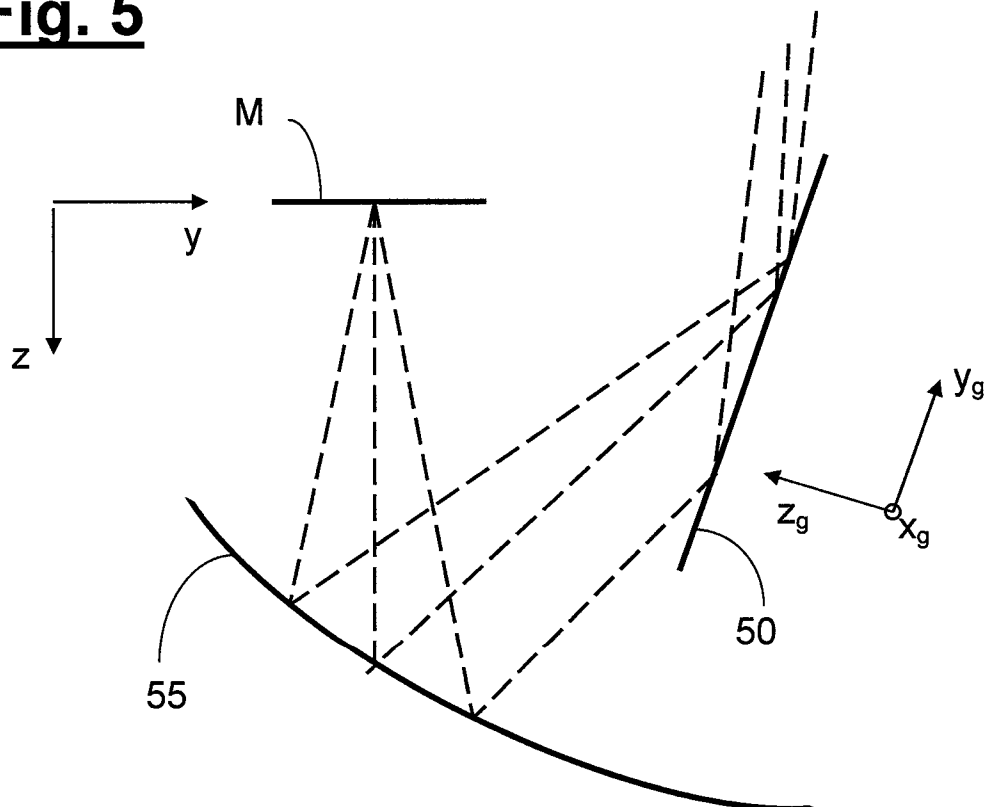
Fig. 4**Fig. 5**

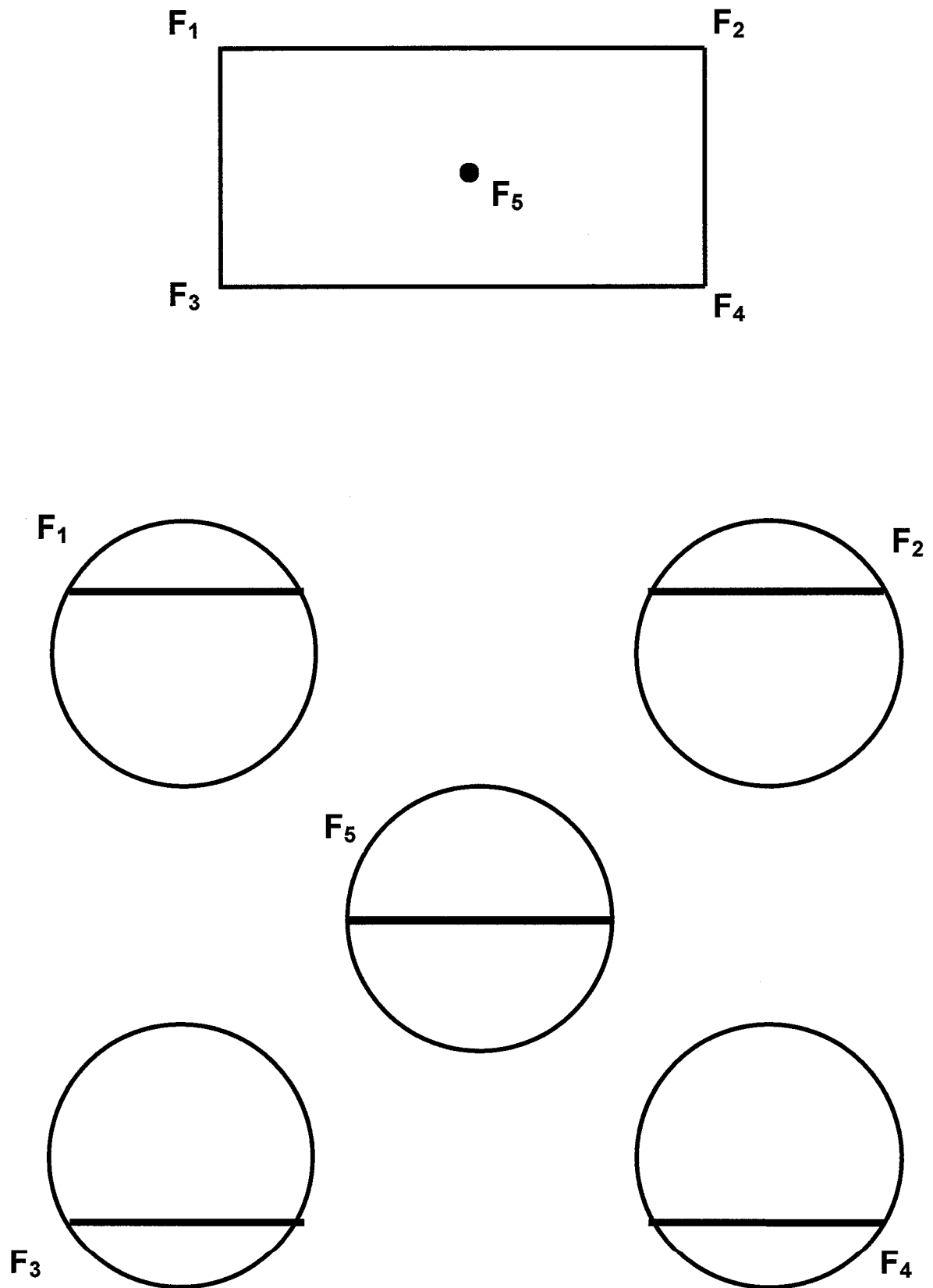
Fig. 6

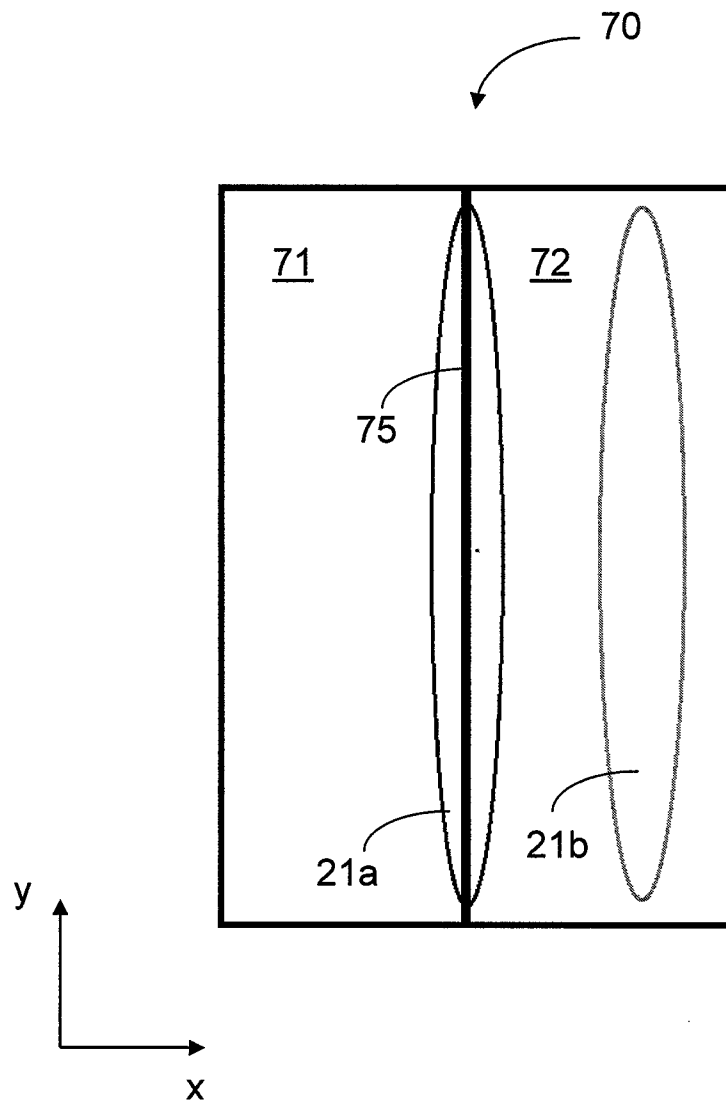
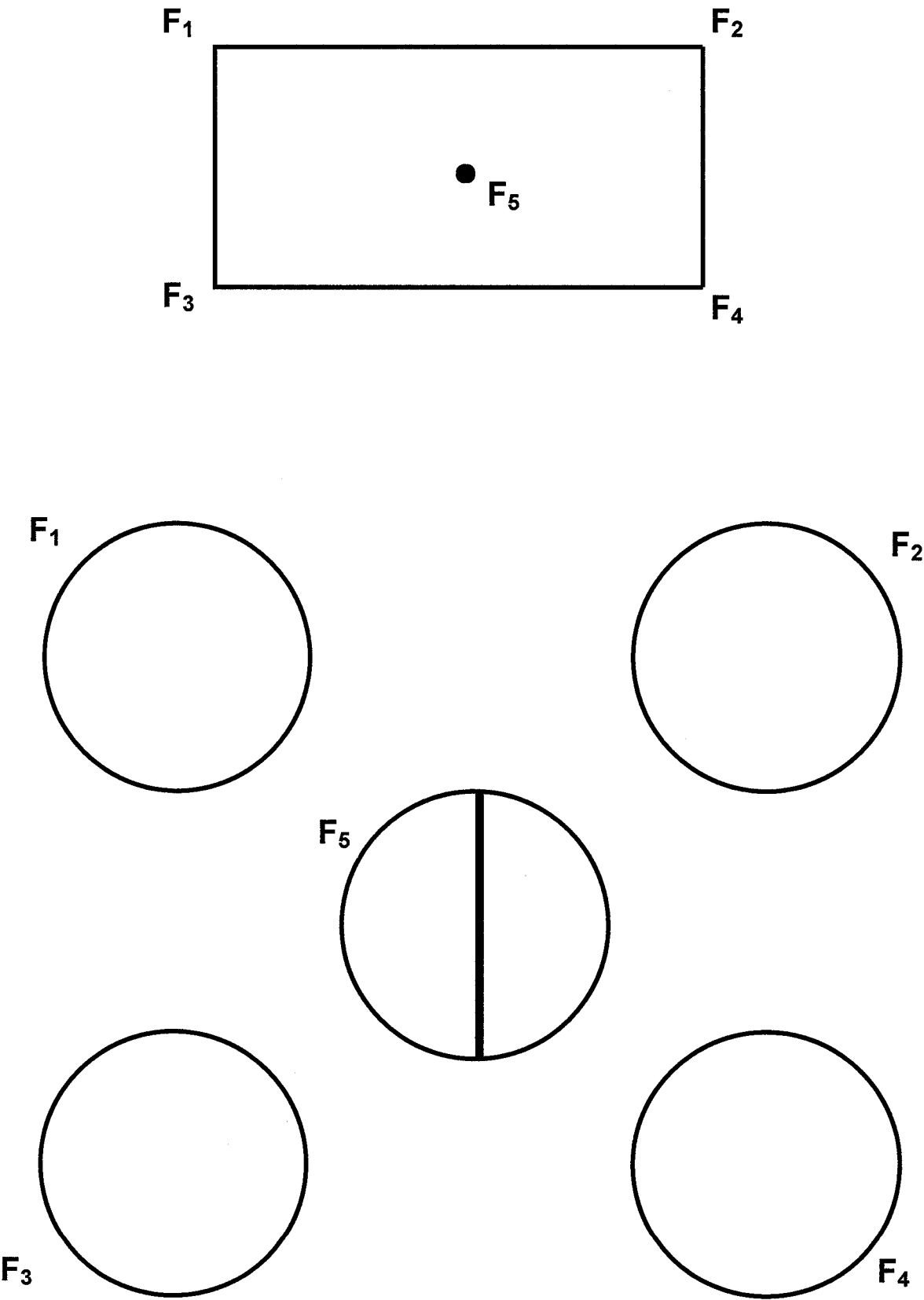
Fig. 7

Fig. 8



INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No

PCT/EP2015/061081

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

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

B. FIELDS SEARCHED

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

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

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

EPO-Internal, INSPEC, WPI Data

C. DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
X A	US 2009/027641 A1 (KAJIYAMA KAZUHIKO [JP] ET AL) 29 January 2009 (2009-01-29) cited in the application paragraphs [0051], [0108] - [0111]; figures 1, 18, 19 -----	1,2,4,5, 7,8, 10-16 3,6,17
X	EP 1 037 113 A2 (ASM LITHOGRAPHY BV [NL]) 20 September 2000 (2000-09-20) paragraphs [0027], [0028]; figures 5, 6 -----	1,14-16
X	DE 10 2011 003928 A1 (ZEISS CARL SMT GMBH [DE]) 16 August 2012 (2012-08-16) paragraph [0043]; figure 1 -----	1,14-16
X	DE 10 2009 011328 A1 (ZEISS CARL SMT AG [DE]) 19 August 2010 (2010-08-19) paragraphs [0080] - [0088]; figure 6 -----	1,9, 14-16



Further documents are listed in the continuation of Box C.



See patent family annex.

* Special categories of cited documents :

"A" document defining the general state of the art which is not considered to be of particular relevance

"E" earlier application or patent but published on or after the international filing date

"L" document which may throw doubts on priority claim(s) or which is cited to establish the publication date of another citation or other special reason (as specified)

"O" document referring to an oral disclosure, use, exhibition or other means

"P" document published prior to the international filing date but later than the priority date claimed

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

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

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

"&" document member of the same patent family

Date of the actual completion of the international search

17 September 2015

Date of mailing of the international search report

25/09/2015

Name and mailing address of the ISA/

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

Authorized officer

Eisner, Klaus

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

Information on patent family members

International application No

PCT/EP2015/061081

Patent document cited in search report	Publication date	Patent family member(s)	Publication date
US 2009027641 A1	29-01-2009	JP 4986754 B2	25-07-2012
		JP 2009032938 A	12-02-2009
		KR 20090012116 A	02-02-2009
		TW 200918936 A	01-05-2009
		US 2009027641 A1	29-01-2009

EP 1037113 A2	20-09-2000	NONE	

DE 102011003928 A1	16-08-2012	DE 102011003928 A1	16-08-2012
		EP 2487543 A2	15-08-2012
		JP 5106692 B2	26-12-2012
		JP 2012169634 A	06-09-2012
		KR 20120092049 A	20-08-2012
		TW 201239546 A	01-10-2012
		US 2012206704 A1	16-08-2012

DE 102009011328 A1	19-08-2010	NONE	

A. KLASSIFIZIERUNG DES ANMELDUNGSGEGENSTANDES
INV. G03F7/20
ADD.

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

B. RECHERCHIERTE GEBIETE

Recherchierter Mindestprüfstoff (Klassifikationssystem und Klassifikationssymbole)
G03F

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, INSPEC, WPI Data

C. ALS WESENTLICH ANGESEHENE UNTERLAGEN

Kategorie*	Bezeichnung der Veröffentlichung, soweit erforderlich unter Angabe der in Betracht kommenden Teile	Betr. Anspruch Nr.
X A	US 2009/027641 A1 (KAJIYAMA KAZUHIKO [JP] ET AL) 29. Januar 2009 (2009-01-29) in der Anmeldung erwähnt Absätze [0051], [0108] - [0111]; Abbildungen 1, 18, 19 -----	1,2,4,5, 7,8, 10-16 3,6,17
X	EP 1 037 113 A2 (ASM LITHOGRAPHY BV [NL]) 20. September 2000 (2000-09-20) Absätze [0027], [0028]; Abbildungen 5, 6 -----	1,14-16
X	DE 10 2011 003928 A1 (ZEISS CARL SMT GMBH [DE]) 16. August 2012 (2012-08-16) Absatz [0043]; Abbildung 1 -----	1,14-16
X	DE 10 2009 011328 A1 (ZEISS CARL SMT AG [DE]) 19. August 2010 (2010-08-19) Absätze [0080] - [0088]; Abbildung 6 -----	1,9, 14-16



Weitere Veröffentlichungen sind der Fortsetzung von Feld C zu entnehmen



Siehe Anhang Patentfamilie

* Besondere Kategorien von angegebenen Veröffentlichungen :

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

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

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

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

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

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

"X" Veröffentlichung von besonderer Bedeutung; die beanspruchte Erfindung kann allein aufgrund dieser Veröffentlichung nicht als neu oder auf 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 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

17. September 2015

Absendedatum des internationalen Recherchenberichts

25/09/2015

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

Bevollmächtigter Bediensteter

Eisner, Klaus

INTERNATIONALER RECHERCHENBERICHT

Angaben zu Veröffentlichungen, die zur selben Patentfamilie gehören

Internationales Aktenzeichen

PCT/EP2015/061081

Im Recherchenbericht angeführtes Patentdokument	Datum der Veröffentlichung	Mitglied(er) der Patentfamilie	Datum der Veröffentlichung
US 2009027641 A1	29-01-2009	JP 4986754 B2	25-07-2012
		JP 2009032938 A	12-02-2009
		KR 20090012116 A	02-02-2009
		TW 200918936 A	01-05-2009
		US 2009027641 A1	29-01-2009

EP 1037113 A2	20-09-2000	KEINE	

DE 102011003928 A1	16-08-2012	DE 102011003928 A1	16-08-2012
		EP 2487543 A2	15-08-2012
		JP 5106692 B2	26-12-2012
		JP 2012169634 A	06-09-2012
		KR 20120092049 A	20-08-2012
		TW 201239546 A	01-10-2012
		US 2012206704 A1	16-08-2012

DE 102009011328 A1	19-08-2010	KEINE	
