

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

(19) Weltorganisation für geistiges Eigentum  
Internationales Büro



(43) Internationales Veröffentlichungsdatum  
20. November 2008 (20.11.2008)

PCT

(10) Internationale Veröffentlichungsnummer  
**WO 2008/138560 A1**

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

(21) Internationales Aktenzeichen: PCT/EP2008/003760

(22) Internationales Anmeldedatum:  
9. Mai 2008 (09.05.2008)

(25) Einreichungssprache: Deutsch

(26) Veröffentlichungssprache: Deutsch

(30) Angaben zur Priorität:  
10 2007 024 214.1 14. Mai 2007 (14.05.2007) 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): **ROSTALSKI, Hans-Jürgen** [DE/DE]; Dietrich-Bonhoeffer-Strasse 9, 73447 Oberkochen (DE).

(74) Anwälte: **HEUCKEROTH, Volker** usw.; Witte, Weller & Partner, Postfach 10 54 62, 70047 Stuttgart (DE).

(81) Bestimmungsstaaten (soweit nicht anders angegeben, für jede verfügbare nationale Schutzrechtsart): AE, AG, AL, AM, AO, AT, AU, AZ, BA, BB, BG, BH, BR, BW, BY, BZ, CA, CH, 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,

[Fortsetzung auf der nächsten Seite]

(54) Title: PROJECTION LENS AND PROJECTION LIGHTING SYSTEM FOR MICROLITHOGRAPHY

(54) Bezeichnung: PROJEKTIONSOBJEKTIV UND PROJEKTIONSBELICHTUNGSANLAGE FÜR DIE MIKROLITHOGRAPHIE

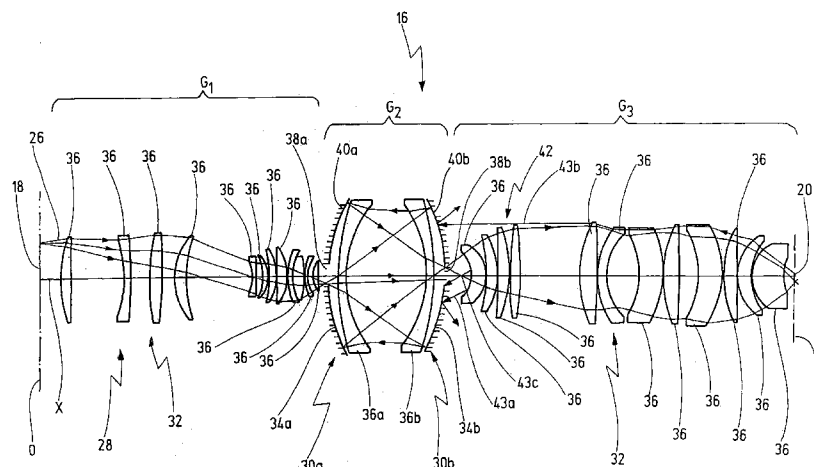


Fig.2

(57) Abstract: The invention relates to a projection lens (16) of a projection lighting system for microlithography for mapping an object (18) disposed in an object plane (O) on a light-sensitive wafer (20) in an image plane (B). The projection lens (16) has a plurality of optical elements (28) comprising at least one reflecting element (30b) and at least one refractive element (32). The plurality of optical elements (28) is located behind the reflecting element in the light propagation direction of the useful light on a common straight optical axis (X). The at least one reflecting element (30b) has a substrate (37b) having at least one penetration (38b) through which the light beams (26) can pass. The at least one reflecting element (30b) is at least partially made of a material that retrally suppresses stray light (42) striking the reflecting element (30b).

(57) Zusammenfassung: Ein Projektionsobjektiv (16) einer Projektionsbelichtungsanlage für die Mikrolithographie dient zur Abbildung eines in einer Objektebene (O) angeordneten Objekts (18) auf einen lichtempfindlichen Wafer (20) in einer Bildebene (B). Das Projektionsobjektiv (16) weist eine Mehrzahl an optischen Elementen (28) auf, die zumindest

[Fortsetzung auf der nächsten Seite]



WO 2008/138560 A1



SV, SY, TJ, TM, TN, TR, TT, TZ, UA, UG, US, UZ, VC,  
VN, ZA, ZM, ZW.

EE, ES, FI, FR, GB, GR, HR, HU, IE, IS, IT, LT, LU, LV,  
MC, MT, NL, NO, PL, PT, RO, SE, SI, SK, TR), OAPI (BF,  
BJ, CF, CG, CI, CM, GA, GN, GQ, GW, ML, MR, NE, SN,  
TD, TG).

**(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,

**Veröffentlicht:**

— mit internationalem Recherchenbericht

ein reflektierendes Element (30b) und zumindest ein refraktives Element (32) aufweisen. Die Mehrzahl der optischen Elemente (28) liegen in Lichtausbreitungsrichtung des Nutzlichts hinter dem reflektierenden Element auf einer gemeinsamen geraden optischen Achse (X). Das zumindest eine reflektierende Element (30b) weist ein Substrat (37b) mit zumindest einer Durchbrechung (38b) auf, durch die Lichtstrahlen (26) hindurch treten können. Das zumindest eine reflektierende Element (30b) ist zumindest teilweise aus einem Material gefertigt, das rückwärtig auf das reflektierende Element (30b) auf treffendes Streulicht (42) unterdrückt.

### Projektionsobjektiv und Projektionsbelichtungsanlage für die Mikrolithographie

Die Erfindung betrifft ein Projektionsobjektiv für die Mikrolithographie zur Abbildung eines in einer Objektebene angeordneten Objekts auf einen lichtempfindlichen Wafer in einer Bildebene, mit einer Mehrzahl an optischen Elementen, die zumindest ein reflektierendes Element und zumindest ein refraktives Element aufweisen und in Lichtausbreitungsrichtung des Nutzlichts hinter dem zumindest einen reflektierenden Element auf einer gemeinsamen geraden optischen Achse liegen, wobei das zumindest eine reflektierende Element ein Substrat mit zumindest einer Durchbrechung aufweist, durch die Lichtstrahlen hindurch treten können.

Die Erfindung betrifft ferner eine Projektionsbelichtungsanlage für die Mikrolithographie mit einem solchen Projektionsobjektiv.

Ein derartiges Projektionsobjektiv ist aus US 6,600,608 B1 bekannt.

Ein Projektionsobjektiv der eingangs genannten Art wird beispielsweise in der Halbleitermikrolithographie zur Herstellung feinstrukturierter Bauelemente verwendet, um ein mit einem Muster versehenes Objekt (Retikel) auf einen Wafer abzubilden. Das Objekt bzw. der Wafer ist hierbei in einer Objekzebene bzw. Bildebene des Projektionsobjektivs angeordnet. Der Wafer ist mit einer lichtempfindlichen Schicht versehen, bei deren Belichtung mittels Licht, das durch das Projektionsobjektiv hindurch tritt, das Muster des Objekts auf die lichtempfindliche Schicht des Wafers übertragen wird. Nach eventuellem mehrfachen Belichten und anschließendem Entwickeln der lichtempfindlichen Schicht entsteht die gewünschte Struktur auf dem Wafer.

Projektionsobjektive können nach ihrer Bauart unterschieden werden. Ein katadioptrisches Projektionsobjektiv weist sowohl reflektierende als auch refraktive Elemente in Form von beispielsweise Spiegeln und Linsen auf. Weist hingegen ein Projektionsobjektiv nur refraktive Elemente bzw. nur reflektierende Elemente auf, so nennt man es dioptrisch bzw. katoptrisch.

Das aus der eingangs genannten US 6,600,608 B1 bekannte katadiotrische Projektionsobjektiv weist eine Mehrzahl an Linsen und Spiegeln auf, die auf einer gemeinsamen geraden optischen Achse liegen. Die optischen Elemente sind in drei Baugruppen angeordnet, die in Lichtausbreitungsrichtung des Nutzlichts des Projektionsobjektivs gesehen dioptrisch, katadioptrisch und dioptrisch sind. Die Spiegel der katadioptrischen Baugruppe weisen jeweils eine Durchbrechung auf, durch die die auf den Spiegel einfallenden Lichtstrahlen hindurchtreten können. Die Spiegeloberflächen sind lichtreflektierend ausgestaltet, so dass die auf die Spiegeloberflächen einfallenden Lichtstrahlen entsprechend ihrem Auftreffwinkel bezüglich der Oberflächen reflektiert werden.

Die Abbildungsqualität des bekannten Projektionsobjektivs wird durch seine Abbildungseigenschaften bestimmt, so dass es weitgehendst von Abbildungsfehlern und die Abbildungsqualität beeinträchtigenden Störeffekten frei sein sollte.

Bei dem bekannten Projektionsobjektiv kann die Abbildungsqualität durch auftretendes Streulicht bzw. Falschlicht oder sogenannte „Geisterbilder“ beeinträchtigt werden. Streulicht entsteht bei einem katadioptrischen Projektionsobjektiv beispielsweise dadurch, dass Lichtstrahlen, die ungewollt an den Oberflächen eines optischen Elements reflektiert werden, rückwärtig auf einen der Spiegel des Projektionsobjektivs treffen, durch das Spiegelsubstrat hindurchtreten und an der reflektierenden Spiegeloberfläche reflektiert werden. Diese reflektierten Lichtstrahlen mischen sich mit den in „gewöhnlicher“ Lichtausbreitungsrichtung des Nutzlichts gesehenen verlaufenden Lichtstrahlen und beeinträchtigen die Abbildung des Musters auf den lichtempfindlichen Wafer.

Es ist aus WO 2006/128613 A1 bekannt, dass zur Erhöhung der Abbildungsqualität eines katadioptrischen Projektionsobjektivs mit nicht-gerader optischer Achse solches Streulicht, das durch ungewollte Lichtübertritte zwischen den optischen Elementen unter Auslassung der Spiegel verursacht wird, durch lichtabsorbierende Abschirmblenden oder Abschirmplatten unterdrückt werden kann, die im Bereich der Spiegel angeordnet sind. Die Abschirmungen sind aus einem lichtabsorbierenden Material gefertigt oder mit einer lichtabsorbierenden Schicht versehen, und sie können zur Verbesserung der Absorptionswirkung bezüglich der optischen Achse lageverstellbar und verkippter ausgebildet sein. Die Absorptionseigenschaften der Abschirmungen können ferner auf die Wellenlänge der durch das Projektionsobjektiv hindurch durchtretenden Lichtstrahlen abgestimmt sein.

Ein Nachteil der Verwendung von lichtabsorbierenden Abschirmungen zur Streulichtunterdrückung ist es, dass das Projektionsobjektiv ein zusätzliches Element aufweist, dessen Anordnung bzw. Geometrie an die jeweiligen Erfordernisse des auftretenden Streulichts angepasst sein muss. Die Anordnung dieses zusätzlichen Elements im Projektionsobjektiv erfordert ausreichend Raum, der oftmals nicht vorhanden ist, wodurch diese Art von Streulichtunterdrückung nur bedingt einsatzfähig ist.

Ferner ist es nachteilig, dass das Vorhandensein einer Abschirmung im Projektionsobjektiv höhere Herstellungskosten für das Projektionsobjektiv bedingt, die aufgrund der oftmals konstruktiv komplizierten Geometrie und Positionierung der Abschirmung verursacht werden. Da sich oftmals erst im Betrieb des bekannten Projektionsobjektivs herausstellt, an welchen Bereichen das Streulicht vermehrt auftritt, ist die Implementierung einer Abschirmung oft erst nachträglich möglich, was ferner zu Stillstandzeiten des bekannten Projektionsobjektivs führen kann.

Ein weiterer Nachteil von Abschirmblenden ist es, dass der maximale Strahlquerschnitt der durch das Projektionsobjektiv hindurchtretenden Lichtstrahlen auch ungewollt verringert werden kann, so dass der Wafer nicht vollständig belichtet wird. Dies bedingt eine konstruktiv aufwändige Maßnahme zur Lageverstellung des Wafers in der Bildebene, um eine Belichtung aller Waferbereiche zu erzielen.

Es ist ferner nachteilig, dass die optimale Absorptionswirkung der Abschirmung oftmals erst durch ihre Lageverstellung bzw. Verkipfung erreicht wird. Eine solche Positionsveränderung der Abschirmung in dem bekannten Projektionsobjektiv erfordert ausreichend Raum und ist ebenfalls konstruktiv sehr aufwändig zu realisieren. Die Abschirmung muss hierzu beispielsweise Aktuatoren aufweisen, die ihre Lageverstellung bzw. Verkipfung bewirken, wodurch die Herstellungskosten des Projektionsobjektivs zusätzlich erhöht werden.

Es ist daher eine Aufgabe der vorliegenden Erfindung, ein Projektionsobjektiv der eingangs genannten Art bereitzustellen, dessen Abbildungsqualität durch eine besonders einfache und kostengünstige Unterdrückung von Streulicht verbessert wird.

Erfindungsgemäß wird die Aufgabe hinsichtlich des eingangs genannten Projektionsobjektivs dadurch gelöst, dass das zumindest eine reflektierende Element zumindest teilweise aus einem Material gefertigt ist, das rückwärtig auf das reflektierende Element auftreffendes Streulicht unterdrückt.

Das erfindungsgemäße Projektionsobjektiv der erfindungsgemäßen Projektionsbeleuchtungsanlage ist katadioptrisch und weist eine Mehrzahl an optischen Elementen auf, die in Lichtausbreitungsrichtung des Nutzlichts hinter dem zumindest einen reflektierenden Element auf einer gemeinsamen geraden optischen Achse liegen. Das reflektierende Element des erfindungsgemäßen Projektionsobjektivs weist ein Substrat auf, das mit zumindest einer Durchbrechung versehen ist, durch die die Lichtstrahlen hindurchtreten können. Ferner ist das reflektierende Element zumindest teilweise aus einem solchen Material gefertigt, das das rückwärtig auf das reflektierende Element auftreffende Streulicht unterdrückt oder zumindest verringert. Erfindungsgemäß ist unter „rückwärtig“ auf das reflektierende Element auftreffendem Streulicht solche Lichtstrahlen zu verstehen, die aus der Richtung der Bildebene kommend zur Objektebene hin verlaufen, also sich entgegen der Lichtausbreitungsrichtung des Nutzlichts ausbreiten, und unter beliebigen Winkeln auf das reflektierende Element auftreffen. Diese zum Streulicht beitragenden Lichtstrahlen können beispielsweise auf die Substratrückseite auftreffen oder auch beispielsweise zumindest teilweise die Durchbrechung des Substrats durchlaufen und bezüglich der optischen Achse schräg in das Substrat des reflektierenden Elements eindringen. Durch die Streulichtunterdrückung wird insbesondere verhindert, dass das Streulicht auf die reflektierende Oberfläche des reflektierenden Elements auftrifft und zurück zur Bildebene gestreut wird. Die Materialwahl des reflektierenden Elements ermöglicht somit vorteilhafterweise eine besonders einfach zu realisierende Streulichtverringering, da kein zusätzliches Element wie die aus dem Stand der Technik bekannte Abschirmung im Projektionsobjektiv vorgesehen sein muss, das diese Funktion erfüllt. Hierdurch ist diese Art der Streulichtunterdrückung bei allen katadioptrischen Projektionsobjektiven unabhängig von den Abständen zwischen deren optischen Elementen anwendbar.

Ferner werden vorteilhafterweise die Fertigungskosten des erfindungsgemäßen Projektionsobjektivs signifikant verringert, da die Streulichtunterdrückung durch das bereits im Projektionsobjektiv aufgenommene reflektierende Element und nicht durch eine zusätzliche Absorptionsabschirmung bewirkt wird. Zudem werden keine zusätzlichen Kosten verursacht, die, wie bei dem bekannten Projektionsobjektiv,

durch eine Lageverstellung oder Verkipfung der Absorptionsabschirmung bezüglich der optischen Achse verursacht werden.

Es ist ferner vorteilhaft, dass die Verwendung des reflektierenden Elements zur Streulichtunterdrückung keine ungewollte Strahlbegrenzung der durch das Projektionsobjektiv hindurchtretenden Lichtstrahlen bedingt, wodurch der Wafer stets vollständig belichtet wird.

In einer bevorzugten Ausgestaltung des Projektionsobjektivs ist das Substrat des reflektierenden Elements zumindest teilweise aus dem streulichtunterdrückenden Material gefertigt.

Diese Maßnahme bewirkt, dass der Grundkörper des reflektierenden Elements, nämlich das Substrat selbst, zur Streulichtunterdrückung genutzt wird, wodurch die Fertigung des reflektierenden Elements vorteilhafterweise besonders einfach ist, da nur die Materialwahl des Substrats beachtet werden muss und keine zusätzlichen konstruktiven Maßnahmen am reflektierenden Element vorgenommen werden müssen. Das Substrat des reflektierenden Elements kann vollständig oder teilweise, d.h. nur in Teilbereichen, aus dem streulichtunterdrückenden Material gefertigt sein.

In einer weiteren bevorzugten Ausgestaltung des Projektionsobjektivs weist das Substrat des reflektierenden Elements zumindest teilweise eine Schicht auf, die aus dem streulichtunterdrückenden Material gefertigt ist.

Diese Maßnahme ermöglicht vorteilhafterweise eine großflächige Streulichtunterdrückung im Bereich der streulichtunterdrückenden Schicht. Die Schicht kann beispielsweise so dünn ausgebildet sein, dass sich die Substratausdehnung des reflektierenden Elements nicht signifikant erhöht und das reflektierende Element nicht unnötig Platz beansprucht. Ferner ist das reflektierende Element besonders einfach und kostengünstig herstellbar, da die streulichtunterdrückende Schicht während des



Herstellungsprozesses entlang der gewünschten Substratausdehnung aufgebracht werden kann.

In einer weiteren bevorzugten Ausgestaltung des Projektionsobjektivs ist die Schicht unter einer reflektierenden Oberfläche des Substrats angeordnet.

Diese Maßnahme bewirkt, dass das Streulicht, das rückwärtig auf das Substrat des reflektierenden Elements auftrifft, nicht mehr zur lichtreflektierenden Oberfläche des Substrats gelangt, da es bereits durch die Schicht vernichtet wird. Hierdurch wird vorteilhafterweise eine optimale Streulichtunterdrückung erreicht, wobei gleichzeitig eine mögliche Strahlenschädigung des Substrats durch das hindurchtretende Streulicht weitgehendst vermieden wird. Zudem wird die Lichtausbreitung im Projektionsobjektiv von der Objektebene zur Bildebene nicht beeinträchtigt, da die streulichtunterdrückende Schicht in der Lichtausbreitungsrichtung des Nutzlichts gesehen unter der reflektierenden Oberfläche angeordnet ist.

In einer weiteren bevorzugten Ausgestaltung des Projektionsobjektivs ist die Schicht unmittelbar unter der reflektierenden Oberfläche des Substrats angeordnet.

Diese Maßnahme bewirkt, dass nicht nur Streulicht, das aus einer beliebigen Richtung über die Rückseite des Substrats des reflektierenden Elements bis zur reflektierenden Oberfläche gelangt, sondern auch solches Streulicht, das durch die zur Durchbrechung benachbarten Seitenwände des reflektierenden Elements in das reflektierende Element eindringt, unterdrückt wird, wodurch vorteilhafterweise eine noch effektivere Streulichtunterdrückung erreicht wird.

In einer weiteren bevorzugten Ausgestaltung des Projektionsobjektivs ist die Schicht entlang einer gesamten Ausdehnung der reflektierenden Oberfläche des Substrats angeordnet.

Diese Maßnahme stellt vorteilhafterweise eine noch wirksamere Streulichtunterdrückung bereit, da die streulichtunterdrückende Schicht entlang der gesamten Spiegelfläche angeordnet ist, wodurch kein rückwärtig auftreffendes Streulicht zur reflektierenden Oberfläche des reflektierenden Elements gelangen kann. Ferner ist die Herstellung des reflektierenden Elements besonders einfach und kostengünstig, da die streulichtunterdrückende Schicht während des Herstellungsprozesses entlang der gesamten Substratausdehnung aufgebracht werden kann, ohne dass die nicht zu beschichtenden Zwischenbereiche des Substrats abgedeckt werden müssen.

In einer weiteren bevorzugten Ausgestaltung des Projektionsobjektivs ist die Schicht zumindest teilweise entlang der Durchbrechung des Substrats angeordnet.

Diese Maßnahme bewirkt, dass das Streulicht, das durch die Durchbrechung hindurchtritt und schräg zur optischen Achse über die Seitenwände des Substrats in das Substrat eindringt, beispielsweise absorbiert wird. Hierdurch wird die Streulichtunterdrückung des reflektierenden Elements vorteilhafterweise zusätzlich erhöht. Die Schicht kann an den Seitenwänden des Substrats entlang der gesamten Ausdehnung der Durchbrechung oder nur in Teilbereichen der Substratseitenwände angeordnet sein.

In einer weiteren bevorzugten Ausgestaltung des Projektionsobjektivs weist das reflektierende Element eine Fassung auf, die zumindest teilweise an einer Substratrückseite angeordnet ist, wobei die Fassung zumindest teilweise aus dem streulichtunterdrückenden Material gefertigt ist.

Diese Maßnahme hat den Vorteil, dass das rückwärtig auf das reflektierende Element auftreffende Streulicht bereits an der Fassung des reflektierenden Elements wirksam unterdrückt wird, wodurch das Substrat des reflektierenden Elements noch besser vor einer unerwünschten Strahlungsabsorption geschützt wird. Das Material und die Geometrie der Fassung können an die jeweiligen Erfordernisse einer optimalen Streulichtunterdrückung angepasst werden. Die Fassung kann beispielsweise voll-

ständig aus dem streulichtunterdrückenden Material gefertigt sein, oder nur Teilbereiche aufweisen, die aus dem streulichtunterdrückenden Material gefertigt sind.

In einer weiteren bevorzugten Ausgestaltung des Projektionsobjektivs weist die Fassung zumindest teilweise eine Beschichtung auf, die aus dem streulichtunterdrückenden Material gefertigt ist.

Diese Maßnahme hat den Vorteil, dass die Streulichtunterdrückung besonders kostengünstig und leicht verwirklicht wird, da die Beschichtung auf eine Standardfassung des reflektierenden Elements aufgebracht werden kann. Die Beschichtung kann beispielsweise auf der Fassungs Vorderseite, die zum Substrat zeigt, oder auf der Fassungs Rückseite aufgebracht werden.

In einer weiteren bevorzugten Ausgestaltung des Projektionsobjektivs ist das streulichtunterdrückende Material lichtabsorbierend.

Diese Maßnahme stellt vorteilhafterweise eine besonders wirksame Möglichkeit zur Streulichtunterdrückung bereit, da das auf die Rückseite des reflektierenden Elements einfallende Streulicht absorbiert wird und kein Streulicht in Richtung der Bildebene reflektiert wird. Die Absorptionswirkung des streulichtunterdrückenden Materials kann beispielsweise an die jeweilige Wellenlänge der Lichtstrahlen, die durch das Projektionsobjektiv hindurchtreten, angepasst sein.

In einer weiteren bevorzugten Ausgestaltung des Projektionsobjektivs ist das lichtabsorbierende Material Zerodur.

Eine Verwendung von Zerodur als lichtabsorbierendes Material für das Substrat des reflektierenden Elements ist aufgrund seiner Materialeigenschaften besonders vorteilhaft, da es nur einen geringen Ausdehnungskoeffizienten aufweist. Ferner ist dieses Material besonders homogen, so dass die Herstellung des reflektierenden Elements besonders einfach bewerkstelligt werden kann.

In einer weiteren bevorzugten Ausgestaltung des Projektionsobjektivs ist das streulichtunterdrückende Material ungerichtet lichtstreuend.

Diese Maßnahme bewirkt, dass die Streulichtunterdrückung durch eine ungerichtete Lichtstreuung der einfallenden Lichtstrahlen in alle Richtungen erzielt wird, so dass vorteilhafterweise keine nennenswerte Rückstreuung des Streulichts zur Bildebene auftritt.

In einer weiteren bevorzugten Ausgestaltung des Projektionsobjektivs ist das streulichtunterdrückende Material Metall.

Eine Verwendung von Metall als Fassungsmaterial bzw. als Beschichtungsmaterial für die Fassung stellt vorteilhafterweise eine besonders kostengünstige Maßnahme zur Streulichtreduzierung dar. Das Metall verhindert, dass das in Lichtausbreitungsrichtung des Nutzlichts hinter dem reflektierenden Element zu diesem zurückreflektierte Licht die reflektierende Oberfläche des Elements erreicht.

Vorzugsweise ist das zumindest eine reflektierende Element ein Spiegel.

Besonders nützlich ist die vorliegende Erfindung bei einer Ausgestaltung des Projektionsobjektivs, dessen optische Elemente ein nicht-obskuriertes Abbildungssystem bilden. Ein solches Projektionsobjektiv weist vorzugsweise zwei mit Durchbrechungen versehene Spiegel auf, deren reflektierende Oberflächen einander zugewandt sind. In einem solchen Fall wird vom Nutzlicht nur jeweils ein Spiegelsektor der Spiegel auf einer Seite der Durchbrechung genutzt. Insbesondere handelt es sich bei diesem Projektionsobjektiv vorzugsweise um ein solches, dessen optische Elemente ein außeraxiales Objektfeld, das die optische Achse nicht enthält, auf ein außeraxiales Bildfeld abbilden.

Der Begriff "Durchbrechung" des reflektierenden Elements umfasst insbesondere bei dem vorstehend genannten Projektionsobjektiv, dessen optische Elemente ein

außeraxiales Objektfeld auf ein außeraxiales Bildfeld abbilden, auch den Fall, dass der nicht vom Nutzlicht getroffene Sektor des reflektiven Elements einfach weggelassen ist.

Bei einem solchen Projektionsobjektiv, das in Lichtausbreitung des Nutzlichts gesehen hinter dem geometrisch letzten reflektiven Element und vor der Bildebene eine Mehrzahl refraktiver Elemente aufweist, und bei dem das Streulicht durch zumindest einen Reflex an zumindest einer der Oberflächen zumindest eines der refraktiven Elemente, insbesondere an zumindest einer Oberfläche des letzten refraktiven Elements vor der Bildebene, insbesondere an der in Lichtausbreitungsrichtung gesehen vorderen Oberfläche des letzten refraktiven Elements erzeugt wird, lässt sich durch Maßnahmen zur Streulichtunterdrückung am in Ausbreitungsrichtung des Nutzlichts gesehen ersten Spiegel, d.h. dem Spiegel, der der Bildebene geometrisch am nächsten ist, durch Verringerung des Streulichtanteils eine besonders wirksame Verbesserung der Abbildungseigenschaften des Projektionsobjektivs erreichen.

Des weiteren wird eine Projektionsbelichtungsanlage bereitgestellt, die ein Beleuchtungssystem und ein Projektionsobjektiv nach einer oder mehrerer der vorstehend genannten Ausgestaltungen aufweist.

Weitere Vorteile und Merkmale ergeben sich aus der nachfolgenden Beschreibung.

Es versteht sich, dass die vorstehend genannten und die nachstehend noch zu erläuternden Merkmale nicht nur in den angegebenen Kombinationen, sondern auch in anderen Kombinationen oder in Alleinstellung einsetzbar sind, ohne den Rahmen der vorliegenden Erfindung zu verlassen.

Die Erfindung wird nachfolgend anhand einiger ausgewählter Ausführungsbeispiele im Zusammenhang mit der beiliegenden Zeichnung näher beschrieben und erläutert. Es zeigen:

Fig. 1 eine schematische Darstellung einer Projektionsbelichtungsanlage für die Mikrolithographie mit einem erfindungsgemäßen Projektionsobjektiv;

Fig. 2 ein Ausführungsbeispiel des Projektionsobjektivs in Fig. 1;

Fig. 3A - 3E Ausführungsbeispiele eines reflektierenden Elements des Projektionsobjektivs in Fig. 2 im Längsschnitt; und

Fig. 4a und b) ein weiteres Ausführungsbeispiel eines Projektionsobjektivs zur Verwendung in einer Projektionsbelichtungsanlage gemäß Fig. 1, wobei Fig. 4a) das Projektionsobjektiv mit dem Nutzlichtstrahlengang zeigt und Fig. 4b) das Projektionsobjektiv mit einem Streulichtstrahl zeigt.

In Fig. 1 ist schematisch eine mit dem allgemeinen Bezugszeichen 10 versehene Projektionsbelichtungsanlage dargestellt, die beispielsweise in der Halbleitertechnik mikrolithographie verwendet wird, um feinstrukturierte Bauelemente herzustellen.

Die Projektionsbelichtungsanlage 10 weist ein Beleuchtungssystem 11 mit einer Lichtquelle 12 und einer Beleuchtungsoptik 14 sowie ein Projektionsobjektiv 16 auf. Das Projektionsobjektiv 16 dient zum Abbilden eines in einer Objektebene O angeordneten und mit einem Muster versehenen Objekts 18 auf einen lichtempfindlichen Wafer 20, der in einer Bildebene B des Projektionsobjektivs 16 angeordnet ist. Das Objekt 18 und der Wafer 20 sind im Betrieb der Projektionsbelichtungsanlage 10 in eine Halterung 22 bzw. einen Halter 24 eingesetzt. Von der Lichtquelle 12 erzeugte und durch die Beleuchtungsoptik 14 geleitete Lichtstrahlen 26 treten durch das Muster des Objekts 18 hindurch, verlaufen in der Lichtausbreitungsrichtung des Nutzlichts gesehen von der Objektebene O durch das Projektionsobjektiv 16 hindurch zur Bildebene B und übertragen somit das Muster des Objekts 18 auf den in der Bildebene B angeordneten Wafer 20.

Das in Fig. 2 dargestellte Ausführungsbeispiel des Projektionsobjektivs 16 weist eine Mehrzahl an optischen Elementen 28 auf. Das Projektionsobjektiv 16 ist von katadioptrischer Bauart, d.h. es weist reflektierende Elemente 30, hier zwei reflektierende Elemente 30a, b, und refraktive Elemente 32 auf. Die reflektierenden Elementen 30a, b sind als gewölbte Spiegel 34a, b und die refraktiven Elemente 32 sind als Linsen 36 verschiedenster Form und Asphärisierung ausgebildet. Die optischen Elemente 28 sind rotationssymmetrisch bezüglich einer gemeinsamen geraden optischen Achse X angeordnet und liegen somit, insbesondere in Lichtausbreitungsrichtung des Nutzlichts hinter dem Spiegel 34b, auf der gemeinsamen geraden optischen Achse X.

Die optischen Elemente 28 des Projektionsobjektivs 16 sind in drei Baugruppen  $G_1$ ,  $G_2$  und  $G_3$  unterteilt. Die erste und in Lichtausbreitungsrichtung gesehen dritte Baugruppe  $G_1$  und  $G_3$  sind dioptrisch und weisen nur die Linsen 36 auf. Die mittlere katadioptrische Baugruppe  $G_2$  weist die zwei Spiegel 34a, b sowie die zwei Linsen 36a, b zwischen den Spiegeln 34a, b auf.

Die zwei Spiegel 34a, b der mittleren Baugruppe  $G_2$  weisen jeweils in ihrem Substrat 37a, b eine etwa mittige und annähernd gleich große Durchbrechung 38a, b auf, deren beispielsweise kreisförmige Form an einen Verlauf der Lichtstrahlen 26 des Projektionsobjektivs 16 angepasst ist. In dem gezeigten Ausführungsbeispiel sind die Durchbrechungen 38a, b etwa rotationssymmetrisch bezüglich der optischen Achse X angeordnet. Je nach Bauart des Projektionsobjektivs 16 können die Spiegel 34a, b auch jeweils mehrere Durchbrechungen 38a, b aufweisen, durch die die Lichtstrahlen 26 hindurchtreten können. Die Durchbrechungen 38a, b können auch nicht rotationssymmetrisch bezüglich der optischen Achse X und von der optischen Achse X entfernt angeordnet sein. Die Substrate 37a, b der Spiegel 34a, b sind ferner mit lichtreflektierenden Oberflächen 40a, b versehen, die einander zugewandt sind. Die reflektierenden Oberflächen 40a, b können als Reflexionsbeschichtung ausgebildet sein.

Die von der Lichtquelle 12 erzeugten Lichtstrahlen 26 durchlaufen idealerweise in der Lichtausbreitungsrichtung des Nutzlichts des Projektionsobjektivs 16 gesehen die

erste Baugruppe  $G_1$  und werden jeweils an den zu dieser Baugruppe gehörenden Linsen 36 abgelenkt. Danach treten die Lichtstrahlen 26 durch die Durchbrechung 38a des Spiegels 34a in die zweite Baugruppe  $G_2$  des Projektionsobjektivs 16 ein und werden an den Linsen 36a, b der zweiten Baugruppe  $G_2$  gebrochen. Wie in Fig. 2 dargestellt, werden solche Lichtstrahlen 26, die etwa parallel zur optischen Achse X durch die Durchbrechung 38a des Spiegels 34a hindurch treten, nicht aus ihrer Ausbreitungsrichtung abgelenkt und durchlaufen die Durchbrechung 38b des Spiegels 34b. Die Lichtstrahlen 26, die die Durchbrechung 38a des Spiegels 34a bezüglich der optischen Achse X schräg durchlaufen, werden derart an den Linsen 36a, b gebrochen, dass sie beispielsweise in einem Randbereich der lichtreflektierenden Oberfläche 40b des Spiegels 34b auftreffen und dort zum Spiegel 34a reflektiert werden. Diese Lichtstrahlen 26 durchlaufen wiederum die Linsen 36a, b in umgekehrter Reihenfolge und treffen in einem Randbereich des Spiegels 34a auf dessen lichtreflektierende Oberfläche 40a. Nach Reflexion an dieser Oberfläche 40a des Spiegels 34a durchlaufen die Lichtstrahlen 26 die zwei Linsen 36a, b, treten durch die Durchbrechung 38b des Spiegels 34b hindurch und durchlaufen die Linsen 36 der dritten Baugruppe  $G_3$ , um auf den in der Bildebene B des Projektionsobjektivs 16 angeordneten Wafer 20 aufzutreffen.

Die Abbildungsqualität des Projektionsobjektivs 16 ist durch seine Abbildungseigenschaften bestimmt, die insbesondere durch Streulicht 42 bzw. Falschlicht oder sogenannte „Geisterbilder“ beeinträchtigt wird. Das Streulicht 42 kann durch solche Lichtstrahlen 43a, b, die unter beliebigen Auftreffwinkeln auf eine Rückseite des Spiegels 34b auftreffen, oder auch durch solche Lichtstrahlen 43, hier beispielhaft dargestellt durch den Lichtstrahl 43c, die von der Bildebene B kommend die Durchbrechung 38b des Spiegels 34b zumindest teilweise durchlaufen und bezüglich der optischen Achse X schräg über Substratseitenwände des Spiegels 34b in das Substrat 37b eindringen, verursacht werden. Die rückwärtig auf den Spiegel 34b auftreffenden Lichtstrahlen 43a-c durchlaufen eine Substratausdehnung des Spiegels 34b und werden an dessen lichtreflektierender Oberfläche 40b zurückreflektiert. Diese Lichtstrahlen 43a-c mischen sich mit den in der Lichtausbreitungsrichtung des Nutzlichts



verlaufenden Lichtstrahlen 26 und führen beispielsweise zu verzerrten Abbildungen des Musters des Objekts 18 auf den Wafer 20.

In Fig. 2 sind verschiedene Ursachen des Streulichts 42 beispielhaft dargestellt. Der Lichtstrahl 43a kann beispielsweise an Oberflächen der Linsen 36 der dritten Baugruppe  $G_3$  nicht transmittiert, sondern zur zweiten Baugruppe  $G_2$  zurück reflektiert werden und rückwärtig auf das Spiegelsubstrat 37b auftreffen. Ebenso kann das Streulicht 42 durch Zurückreflexion des Lichtstrahls 43b am Wafer 20 in das Projektionsobjektiv 16 entstehen, wobei der Lichtstrahl 43b dann entgegen der Lichtausbreitungsrichtung des Nutzlichts die optischen Elemente 28 der zur Bildebene B benachbarten Baugruppe  $G_3$  in umgekehrter Reihenfolge durchläuft und rückwärtig auf den Spiegel 34b auftrifft. Ferner kann das Streulicht durch Zurückreflexion des Lichtstrahls 43c an den Oberflächen der Linsen 36 der dritten Baugruppe  $G_3$  verursacht werden, wobei der Lichtstrahl 43c die Durchbrechung 38b des Spiegels 34b teilweise durchläuft und über die zur Durchbrechung 38b benachbarten Seitenwände des Substrats 37b in das Substrat 37b des Spiegels 34b eindringt. Je nach Strahlweg können die Lichtstrahlen 43a-c auch unter Auslassung von optischen Elementen 28 verlaufen, was beispielhaft durch den Strahlenverlauf des Lichtstrahls 43b dargestellt ist.

Eine wirksame Unterdrückung oder zumindest eine Verringerung des Streulichts 42 wird durch eine Materialwahl des Spiegels 34b des katadioptrischen Projektionsobjektivs 16 bewirkt. Das Material des Spiegels 34b kann lichtabsorbierend sein, so dass das rückwärtig auf den Spiegel 34b auftreffende Streulicht 42 absorbiert wird. Die Absorptionseigenschaft des Materials ist hierbei auf die Wellenlänge der einfallenden Lichtstrahlen 26, d.h. auf die Wellenlänge der Lichtquelle 12, abgestimmt. Das Material des Spiegels 34b kann ebenfalls ungerichtet lichtstreuend sein, wodurch eine diffuse Streulichtleitung in alle Raumrichtungen zu einer Verteilung der zum Streulicht 42 beitragenden Lichtstrahlen 43a-c führt. Hierbei werden die Lichtstrahlen 43a-c vorzugsweise von der optischen Achse X weggestreut und erreichen nicht die Bildebene B des Projektionsobjektivs 16.

Fig. 3A-3E zeigen beispielhaft verschiedene Ausgestaltungen des Spiegels 34b, der einen Grundkörper, das Substrat 37b, und eine Fassung 44 aufweist. Das Substrat 37b und/oder die Fassung 44 des Spiegels 34b können zumindest teilweise aus dem streulichtunterdrückenden Material gefertigt sein. Hierbei können die verschiedenen Ausgestaltungen des Substrats 37b und der Fassung 44 zur Streulichtunterdrückung in beliebiger Art und Weise miteinander kombiniert oder auch alleine verwendet werden.

Wie in Fig. 3A dargestellt, ist das Substrat 37b des Spiegels 37b zumindest teilweise aus dem streulichtunterdrückenden oder zumindest streulichtverringenden Material gefertigt. Das Spiegelsubstrat 37b weist hierzu sieben Substratbereiche 46a-g auf, die sich etwa mittig in einer Substratausdehnung des Spiegels 34b befinden. Die Substratbereiche 46a-g sind in ihren Dimensionen unterschiedlich ausgebildet, so dass sie optimal an die Ausdehnung der bevorzugten Auftreffbereiche der Lichtstrahlen 43a-c und an die Intensität des auftreffenden Streulichts 42 angepasst sind.

Das Substrat 37b des Spiegels 34b kann ebenfalls eine streulichtunterdrückende Schicht 48 aufweisen (vgl. Fig. 3B). Die in einer ersten und zweiten Spiegelhälfte 50a, b, die durch die Durchbrechung 38b voneinander getrennt sind, aufgetragenen Schichten 48a, b sind in der Lichtausbreitungsrichtung des Nutzlichts gesehen unter der reflektierenden Oberfläche 40b des Substrats 37b angeordnet. Die Schicht 48a erstreckt sich entlang einer der reflektierenden Oberfläche 40b gegenüberliegenden Seite, d.h. einer Substratrückseite 52, und ihr Durchmesser verringert sich zu einem Substratrand 53. Die in der Spiegelhälfte 50b vorgesehene Schicht 48b befindet sich etwa mittig im Spiegelsubstrat 37b direkt benachbart zur Durchbrechung 38b und verbreitert sich radial nach außen.

Wie in Fig. 3C dargestellt, können die Schichten 48a, b in der Lichtausbreitungsrichtung des Nutzlichts gesehen unmittelbar unter der reflektierenden Oberfläche 40b des Substrats 37b angeordnet sein. Ferner erstrecken sich die Schichten 48a, b entlang der gesamten Ausdehnung der reflektierenden Oberfläche 40b, so dass eine optimale Streulichtunterdrückung der rückwärtig auf das Spiegelsubstrat 37b einfallenden

Lichtstrahlen 43a-c erreicht wird. Durch die unmittelbar unter der reflektierenden Oberfläche 40b angeordneten Schichten 48a, b werden auch solche Lichtstrahlen 43a-c unterdrückt, die die Durchbrechung 38b zumindest teilweise durchlaufen und über Seitenwände 54a, b des Substrats 37b in das Spiegelsubstrat 37b eindringen. Hierdurch wird insbesondere verhindert, dass diese Lichtstrahlen 43a-c zur reflektierenden Oberfläche 40b des Spiegels 34b gelangen können. Es versteht sich, dass das Substrat 37b je nach Geometrie der Durchbrechung 38b eine oder mehrere Seitenwände 54 aufweisen kann.

Es ist ebenfalls möglich, dass an den Seitenwänden 54a, b des Substrats 37b die streulichtunterdrückende Schicht 48c angeordnet ist, die die Lichtstrahlen 43a-c, die die Durchbrechung 38b durchlaufen, vernichtet (vgl. Fig. 3D). In dem gezeigten Ausführungsbeispiel ist die Schicht 48c entlang der gesamten Ausdehnung der Seitenwände 54a, b des Substrats 37b des Spiegels 34b angeordnet. Die streulichtunterdrückende Schicht 48c kann ebenfalls nur in Teilbereichen entlang der Seitenwände 54a, b oder nur entlang einer Seitenwand 54a, b angeordnet sein.

Es ist ebenfalls möglich, dass das gesamte Spiegelsubstrat 37b aus dem streulichtunterdrückenden Material hergestellt ist (vgl. Fig. 3E). Dazu können beispielsweise homogen verteilte Partikel aus dem streulichtunterdrückenden Material in das Spiegelsubstrat 37b eingebracht sein.

Das streulichtunterdrückende Material kann aus Zerodur gebildet sein, das einen geringen Ausdehnungskoeffizienten aufweist. Dies ist insbesondere bei einer intensiven Beleuchtung des Projektionsobjektivs 16 durch die Lichtquelle 12 vorteilhaft. Ferner ist dieses Material besonders homogen, so dass es während einer Spiegelfertigung leicht verarbeitet werden kann.

Die Fassung 44 des Spiegels 34b kann zusätzlich oder ausschließlich zur Streulichtunterdrückung verwendet werden. Die in Fig. 3A-3B, 3D-3E gezeigten Fassungen 44 des Spiegels 34b sind zumindest teilweise an der Substratrückseite 52 angeordnet. Die

Fassung 44 erstreckt sich beispielsweise entlang der gesamten Substratrückseite 52 (vgl. Fig. 3A, 3B, 3D) oder nur in einem äußeren ringförmigen Teilbereich 56 des Substrats 37b (vgl. Fig. 3E). Die Fassung 44 weist ferner einen radial äußeren Vorsprung 58 auf, der zur reflektierenden Oberfläche 40b des Substrats 37b zeigt und den Substratrand 53 aufnimmt (vgl. Fig. 3A) oder umschließt (vgl. Fig. 3B, 3D, 3E). Die in Fig. 3E gezeigte Fassung 44 ist insbesondere im Vergleich zu den in Fig. 3A, 3B, 3D dargestellten Fassungen 44 von Vorteil, wenn das Streulicht 42 in dem ringförmigen Teilbereich 56 des Spiegels 34b auftrifft. Diese Ausgestaltung der Fassung 44 ist ferner besonders platzsparend, und es wird zugleich das Gewicht, das auf eine Fassungsbe-  
festigung (nicht dargestellt) im Projektionsobjektiv 16 wirkt, verringert.

Die Fassung 44 kann vollständig beispielsweise aus Metall gebildet sein, so dass das Streulicht 42 durch die Fassung 44 vernichtet wird, wodurch das Streulicht 42 nicht in das Substrat 37b eindringt und ferner kein Streulicht 42 zur Bildebene B geleitet wird (vgl. Fig. 3A, 3D, 3E).

Die Fassung 44 kann auch Teilbereiche 60, in Fig. 3B dargestellt zwei Teilbereiche 60a, b, aufweisen, die aus dem streulichtunterdrückenden Metall gefertigt sind. Diese Teilbereiche 60a, b können in der Fassung 44 an solchen Bereichen eines beispielsweise sonst lichttransparenten Fassungsmaterials eingeschlossen sein, an denen das Streulicht 42 vorzugsweise auftrifft. In Fig. 3B befinden sich die Teilbereiche 60a, b in der Spiegelhälfte 50a, während die Spiegelhälfte 50b nur aus dem transparenten Material gebildet ist.

Es ist ebenfalls möglich, dass die Fassung 44 mit einer streulichtunterdrückenden Beschichtung 62 aus beispielsweise Metall belegt ist, die auf einer zum Spiegelsubstrat 37b zeigenden Oberfläche 64 der Fassung 44 aufgebracht ist (vgl. Fig. 3E). Die Beschichtung 62 kann ebenfalls auf einer vom Spiegelsubstrat 37b abgewandten Oberfläche 66 der Fassung 44 vorgesehen sein. Im Falle der beschichteten Fassung 44 kann das übrige Fassungsmaterial lichttransparent ausgebildet sein.

Ist beispielsweise das Substrat 37b des Spiegels 34b vollständig aus dem streulichtunterdrückenden Material gefertigt oder die Schicht 48a, b entlang der gesamten Ausdehnung der reflektierenden Oberfläche 40b des Spiegels 37b ausgebildet, kann der Spiegel 37b auch ohne Fassung 44 ausgebildet und nur an einer Halterung (nicht dargestellt) im Projektionsobjektiv 16 aufgenommen sein (vgl. Fig. 3C). Die Streulichtunterdrückung wird dann alleine durch das Substratmaterial bewirkt.

In Fig. 4a) ist ein weiteres Ausführungsbeispiel eines Projektionsobjektivs 16' dargestellt. Das Projektionsobjektiv 16' kann anstelle des Projektionsobjektivs 16 in der Projektionsbelichtungsanlage 10 in Fig. 1 verwendet werden.

Bei dem Projektionsobjektiv 16' sind die Komponenten, die mit den Komponenten des Projektionsobjektivs 16 in Fig. 2 vergleichbar oder identisch sind, mit den gleichen Bezugszeichen wie in Fig. 2, ergänzt durch einen ', versehen.

Das Projektionsobjektiv 16' ist ein katadioptrisches Projektionsobjektiv, dessen optische Elemente 28' zwei reflektierende Elemente 30'a und 30'b in Form von Spiegeln 34'a und 34'b und im Übrigen sechzehn refraktive Elemente 32' in Form von Linsen 36' aufweisen.

Die optischen Elemente 28' sind zwischen einer Objektebene O und einer Bildebene B angeordnet.

Während die optischen Elemente 28 des Projektionsobjektivs 16 in Fig. 2 ein obskuriertes Abbildungssystem ergeben, bilden die optischen Elemente 28' des Projektionsobjektivs 16' gemäß Fig. 4a) ein nicht-obskuriertes Abbildungssystem.

Die reflektierenden Elemente 30'a und 30'b des Projektionsobjektivs 16' weisen zwar wie die entsprechenden reflektiven Elemente 30a und 30b des Projektionsobjektivs 16 jeweils einen Durchbruch 38'a und 38'b auf, jedoch werden von dem Spiegel 34a und dem Spiegel 34'b jeweils nur ein Spiegelsektor auf einer Seite der Durchbrechung

38'a bzw. 38'b vom Nutzlicht getroffen, dessen Strahlengang in Fig. 4a) eingezeichnet ist. Wie sich aus einem Vergleich mit Fig. 2 ergibt, werden bei dem Projektionsobjektiv 16 die Spiegel 34a und 34b vom Nutzlicht jeweils beidseits der Durchbrechungen 38a und 38b getroffen. Die nicht vom Nutzlicht getroffenen Sektoren der reflektierenden Elemente 30'a und 30'b, die in Fig. 4a) und b) dargestellt sind, können auch weggelassen sein. Das Projektionsobjektiv 16' ist dementsprechend in der Lage, ein außeraxiales Objektfeld OF in der Objektebene O, also ein Objektfeld OF, das die optische Achse X nicht enthält, in die Bildebene B abbilden, und zwar dort auf ein außeraxiales Bildfeld.

Im Unterschied zu dem Projektionsobjektiv 16 in Fig. 2 ist der Raum zwischen den Spiegeln 34'a und 34'b frei von refraktiven Elementen, d.h. frei von Linsen.

In Richtung der Lichtausbreitung gesehen ist der Spiegel 34'b der erste Spiegel und der Spiegel 34'a der zweite Spiegel, wobei der erste Spiegel 34'b der Bildebene B zugewandt ist und der Bildebene B geometrisch näher ist als der Spiegel 34'a.

Zwischen dem ersten Spiegel 34'b und der Bildebene B sind insgesamt elf Linsen 36' angeordnet, wobei die letzte Linse mit dem Bezugszeichen 36'l versehen ist.

Die Entstehung von Streulicht und die schädliche Auswirkung solchen Streulichts auf die Abbildung durch das Projektionsobjektiv 16' wird nun mit Bezug auf Fig. 4b) beschrieben. Fig. 4b) zeigt das Projektionsobjektiv 16', wobei dort nur ein Lichtstrahl L ausgehend von der Objektebene O dargestellt ist. Der Lichtstrahl L tritt ausgehend von der Bildebene O zunächst durch die ersten fünf Linsen 36' und durch die Durchbrechung 38'a im zweiten reflektierenden Element 30'a hindurch und trifft auf den ersten Spiegel 34'b. Von dort wird der Lichtstrahl L zu dem zweiten Spiegel 34'a reflektiert und tritt von dort durch die Durchbrechung 38'b im ersten reflektiven Element 30'b hindurch und tritt durch die zehn nächsten Linsen 36' hindurch.

Es wird hier nun beispielhaft ein Reflex  $R_1$  des Lichtstrahls  $L$  an der in Lichtausbreitungsrichtung vorderen Oberfläche der letzten Linse 36'l betrachtet. Der Reflex  $R_1$  des Lichtstrahls  $L$  läuft als reflektierter Lichtstrahl  $L_{R1}$  von der letzten Linse 36'l durch die davor angeordneten zehn Linsen 36' zurück und dringt dann in das Substrat 37'b des reflektiven Elements 30'b bis zur reflektierenden Fläche des Spiegels 34'b ein und trifft auf diese auf. Der dabei entstehende Reflex  $R_2$  wird als Lichtstrahl  $L_{R2}$  wieder in Richtung zur Bildebene  $B$  reflektiert und durchläuft die zehn Linsen 36' und die letzte Linse 36'l. Der Lichtstrahl  $L_{R2}$  gelangt in die Bildebene  $B$  und überlagert dort die Nutzlichtstrahlen (vgl. Fig. 4a)), trägt jedoch nicht zur ordnungsgemäßen Abbildung bei, sondern erzeugt ein Geisterbild.

Um die Ausbreitung solchen Streulichts in Form des reflektierten Lichtstrahls  $L_{R2}$  zu vermeiden, werden an dem reflektiven Element 30'b diejenigen Maßnahmen zur Streulichtunterdrückung vorgesehen, wie sie mit Bezug auf Fig. 2 und 3A bis 3E beschrieben wurden, wobei einzelne oder mehrere dieser Maßnahmen gemäß Fig. 3A bis 3E bei dem reflektiven Element 30'b vorgesehen sein können. Weitere solche Maßnahmen können selbstverständlich auch bei dem reflektiven Element 30'a vorgesehen werden.

Patentansprüche

1. Projektionsobjektiv (16) für die Mikrolithographie zur Abbildung eines in einer Objektebene (O) angeordneten Objekts (18) auf einen lichtempfindlichen Wafer (20) in einer Bildebene (B), mit einer Mehrzahl an optischen Elementen (28), die zumindest ein reflektierendes Element (30b) und zumindest ein refraktives Element (32) aufweisen und in Lichtausbreitungsrichtung des Nutzlichts hinter dem zumindest einen reflektierenden Element (30b) auf einer gemeinsamen geraden optischen Achse (X) liegen, wobei das zumindest eine reflektierende Element (30b) ein Substrat (37b) mit zumindest einer Durchbrechung (38b) aufweist, durch die Lichtstrahlen (26) hindurch treten können, dadurch gekennzeichnet, dass das zumindest eine reflektierende Element (30b) zumindest teilweise aus einem Material gefertigt ist, das rückwärtig auf das reflektierende Element (30b) auftreffendes Streulicht (42) unterdrückt.
2. Projektionsobjektiv nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, dass das Substrat (37b) des reflektierenden Elements (30b) zumindest teilweise aus dem streulichtunterdrückenden Material gefertigt ist.
3. Projektionsobjektiv nach Anspruch 1 oder 2, dadurch gekennzeichnet, dass das Substrat (37b) des reflektierenden Elements (30b) zumindest teilweise eine Schicht (48a, b) aufweist, die aus dem streulichtunterdrückenden Material gefertigt ist.
4. Projektionsobjektiv nach Anspruch 3, dadurch gekennzeichnet, dass die Schicht (48a, b) unter einer reflektierenden Oberfläche (40b) des Substrats (37b) angeordnet ist.



5. Projektionsobjektiv nach Anspruch 4, dadurch gekennzeichnet, dass die Schicht (48a, b) unmittelbar unter der reflektierenden Oberfläche (40b) des Substrats (37b) angeordnet ist.
6. Projektionsobjektiv nach Anspruch 4 oder 5, dadurch gekennzeichnet, dass die Schicht (48a, b) entlang einer gesamten Ausdehnung der reflektierenden Oberfläche (40b) des Substrats (37b) angeordnet ist.
7. Projektionsobjektiv nach Anspruch 3, dadurch gekennzeichnet, dass die Schicht (48c) zumindest teilweise entlang der Durchbrechung (38b) des Substrats (37b) angeordnet ist.
8. Projektionsobjektiv nach einem der Ansprüche 1 bis 7, dadurch gekennzeichnet, dass das reflektierende Element (30b) eine Fassung (44) aufweist, die zumindest teilweise an einer Substratrückseite (52) angeordnet ist, wobei die Fassung (44) zumindest teilweise aus dem streulichtunterdrückenden Material gefertigt ist.
9. Projektionsobjektiv nach Anspruch 8, dadurch gekennzeichnet, dass die Fassung (44) zumindest teilweise eine Beschichtung (60) aufweist, die aus dem streulichtunterdrückenden Material gefertigt ist.
10. Projektionsobjektiv nach einem der Ansprüche 1 bis 9, dadurch gekennzeichnet, dass das streulichtunterdrückende Material lichtabsorbierend ist.
11. Projektionsobjektiv nach Anspruch 10, dadurch gekennzeichnet, dass das lichtabsorbierende Material Zerodur ist.
12. Projektionsobjektiv nach einem der Ansprüche 1 bis 9, dadurch gekennzeichnet, dass das streulichtunterdrückende Material ungerichtet lichtstreuend ist.

13. Projektionsobjektiv nach einem der Ansprüche 1 bis 12, dadurch gekennzeichnet, dass das streulichtunterdrückende Material Metall ist.
14. Projektionsobjektiv nach einem der Ansprüche 1 bis 13, dadurch gekennzeichnet, dass das zumindest eine reflektierende Element (30b) ein Spiegel (34b) ist.
15. Projektionsobjektiv nach einem der Ansprüche 1 bis 14, dadurch gekennzeichnet, dass die optischen Elemente (28') ein nicht-obskuriertes Abbildungssystem bilden.
16. Projektionsobjektiv nach Anspruch 15, dadurch gekennzeichnet, dass das abzubildende Objektfeld in der Objektebene (O) außeraxial angeordnet ist und nicht die optische Achse enthält und die optischen Elemente (28') das außeraxiale Objektfeld auf ein außeraxiales Bildfeld in der Bildebene (B) abbilden.
17. Projektionsobjektiv nach einem der Ansprüche 1 bis 16, dadurch gekennzeichnet, dass in Lichtausbreitung des Nutzlichts gesehen hinter dem reflektierenden Element (30'b) und vor der Bildebene (B) nur refraktive Elemente (32) angeordnet sind, und dass das Streulicht (42') durch zumindest einen Reflex (R) an zumindest einer Oberfläche zumindest eines der refraktiven Elemente (32') erzeugt wird.
18. Projektionsobjektiv nach Anspruch 17, dadurch gekennzeichnet, dass das Streulicht (42') durch zumindest einen Reflex ( $R_1$ ) an zumindest einer Oberfläche des letzten refraktiven Elements (36'l) vor der Bildebene (B) erzeugt wird.
19. Projektionsobjektiv nach Anspruch 18, dadurch gekennzeichnet, dass das Streulicht (42') durch zumindest einen Reflex ( $R_1$ ) an der in Lichtausbreitungsrichtung gesehen vorderen Oberfläche des letzten refraktiven Elements (36'l) erzeugt wird.

20. Projektionsbelichtungsanlage für die Mikrolithographie, mit einem Beleuchtungssystem (11) und einem Projektionsobjektiv (16) zur Abbildung eines in einer Objektebene (O) angeordneten Objekts (18) auf einen lichtempfindlichen Wafer (20) in einer Bildebene (B) nach einem der Ansprüche 1 bis 19.

1 / 5

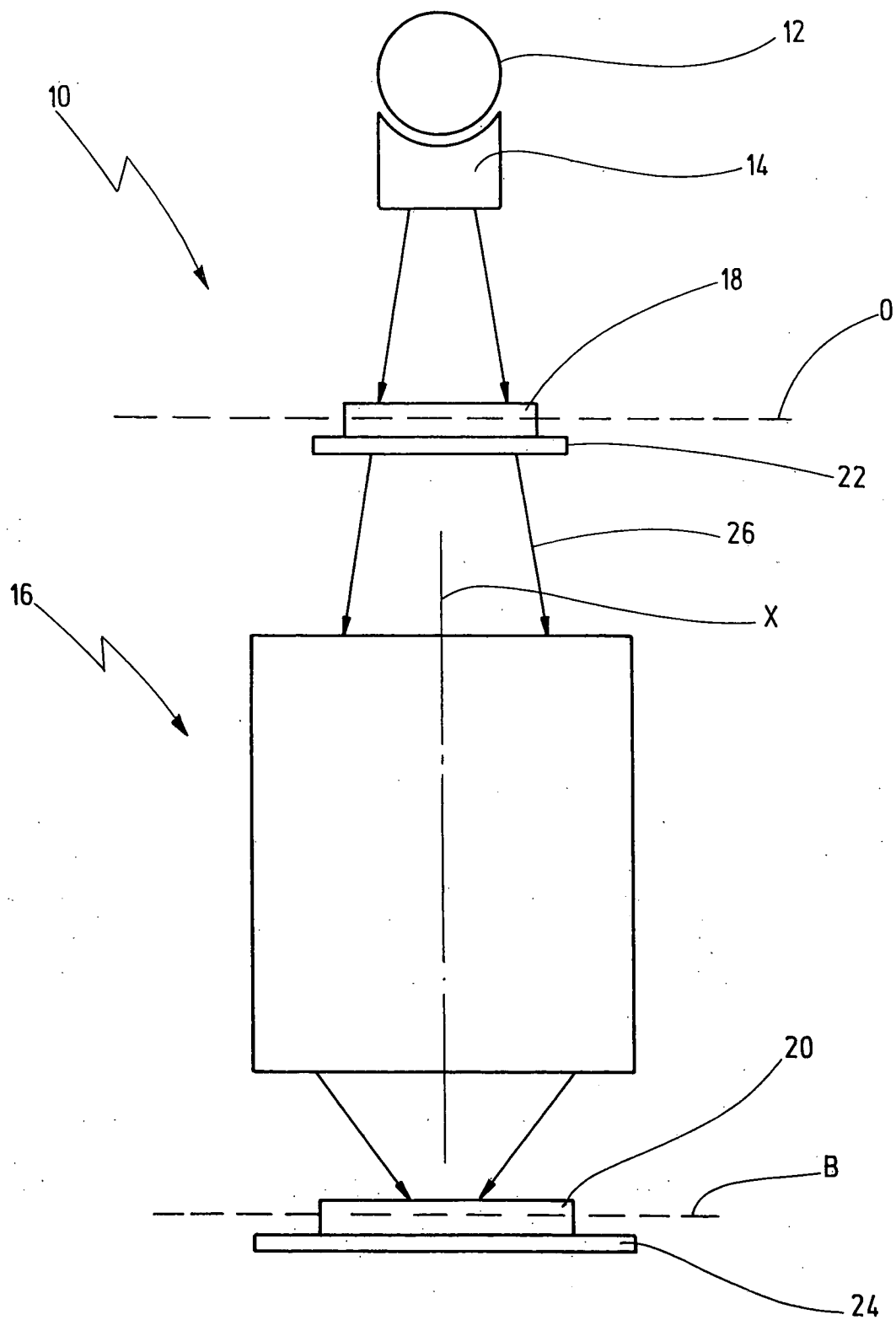


Fig.1

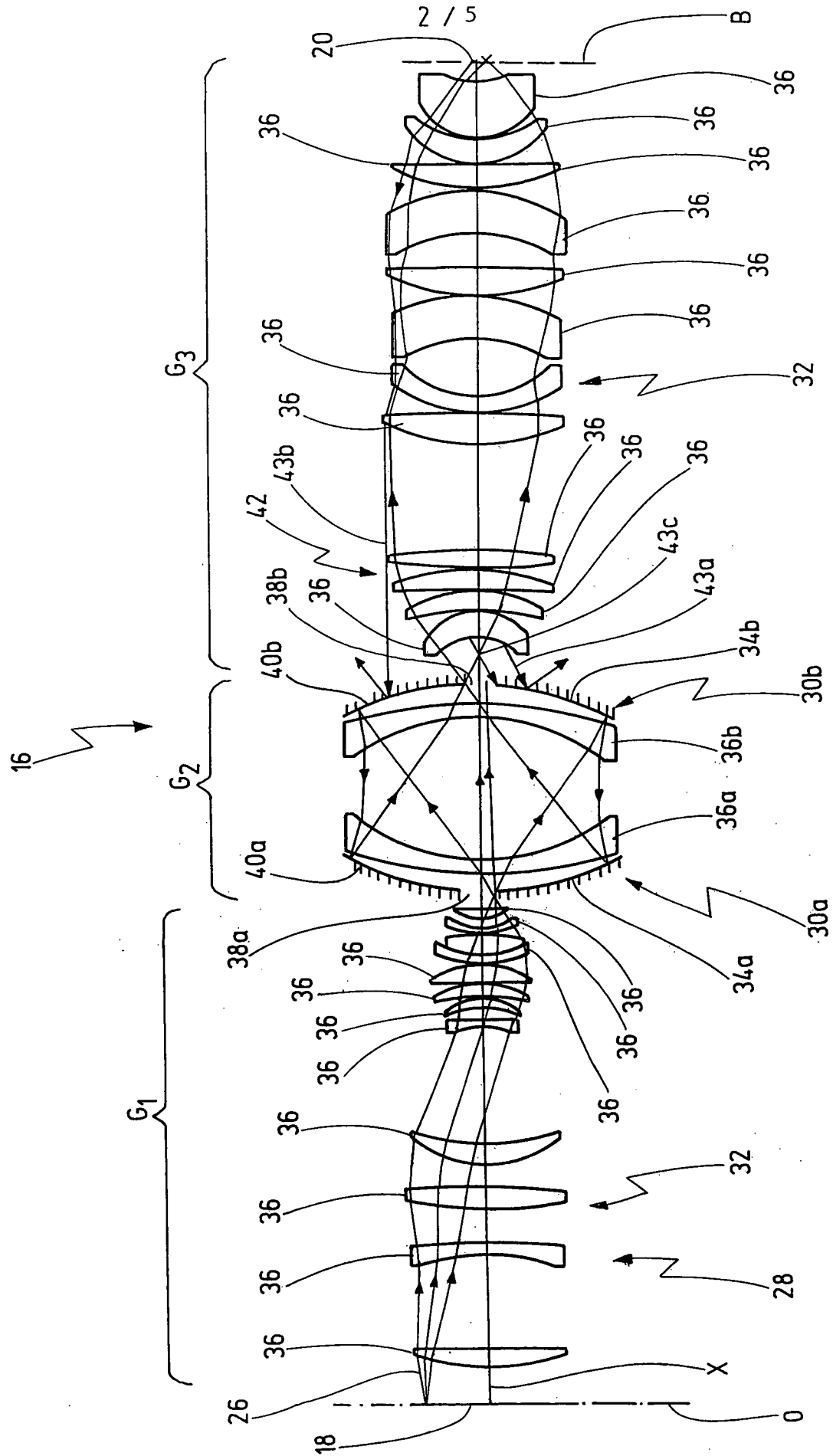


Fig. 2

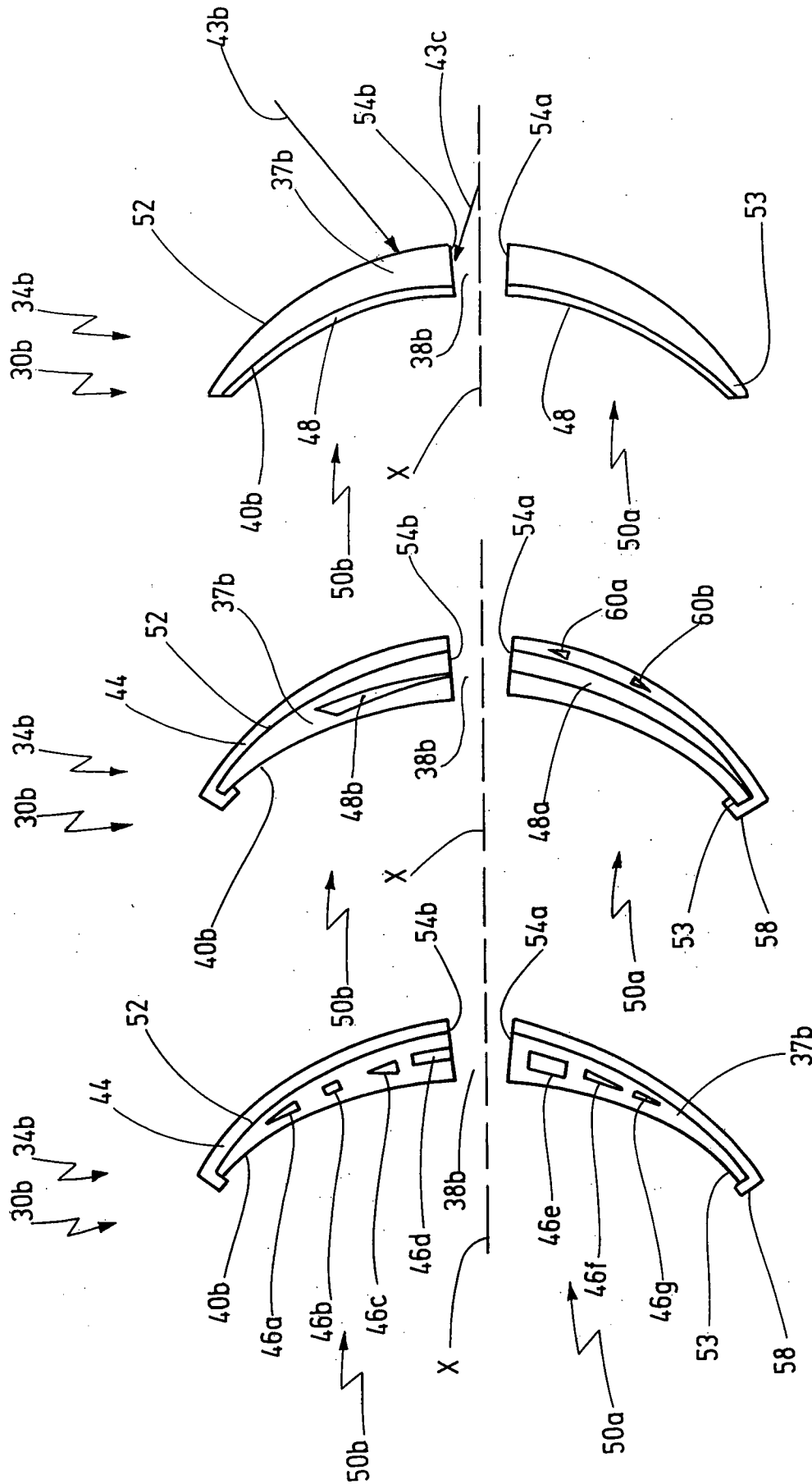
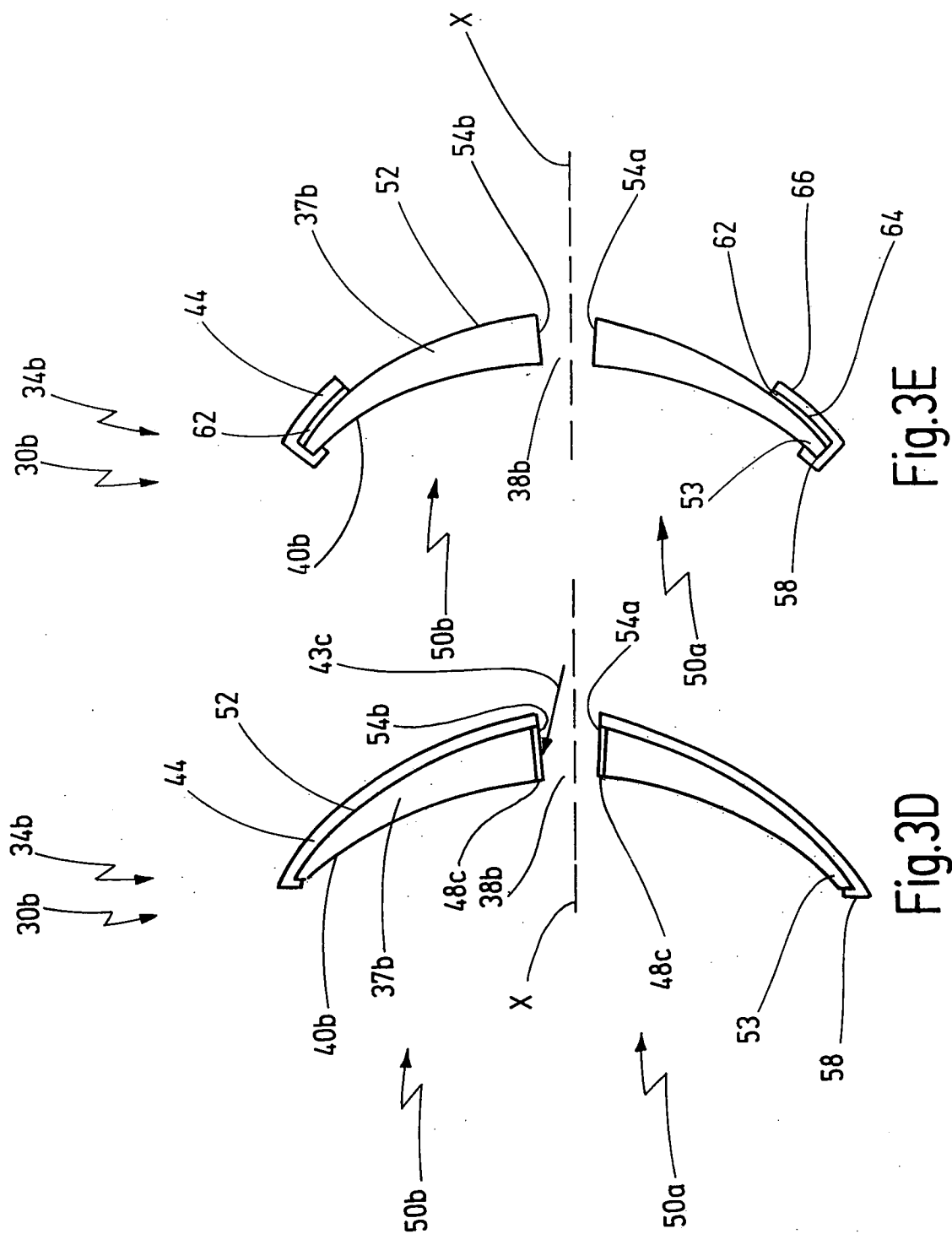
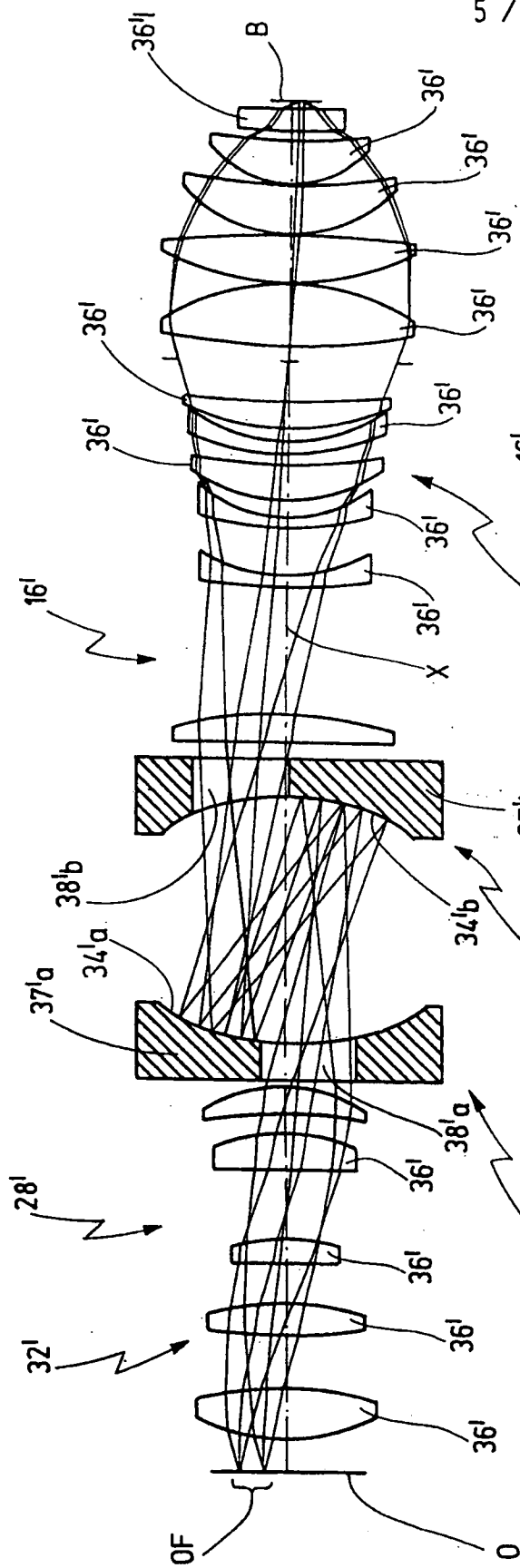


Fig.3C

Fig.3B

Fig.3A





**Fig. 6**

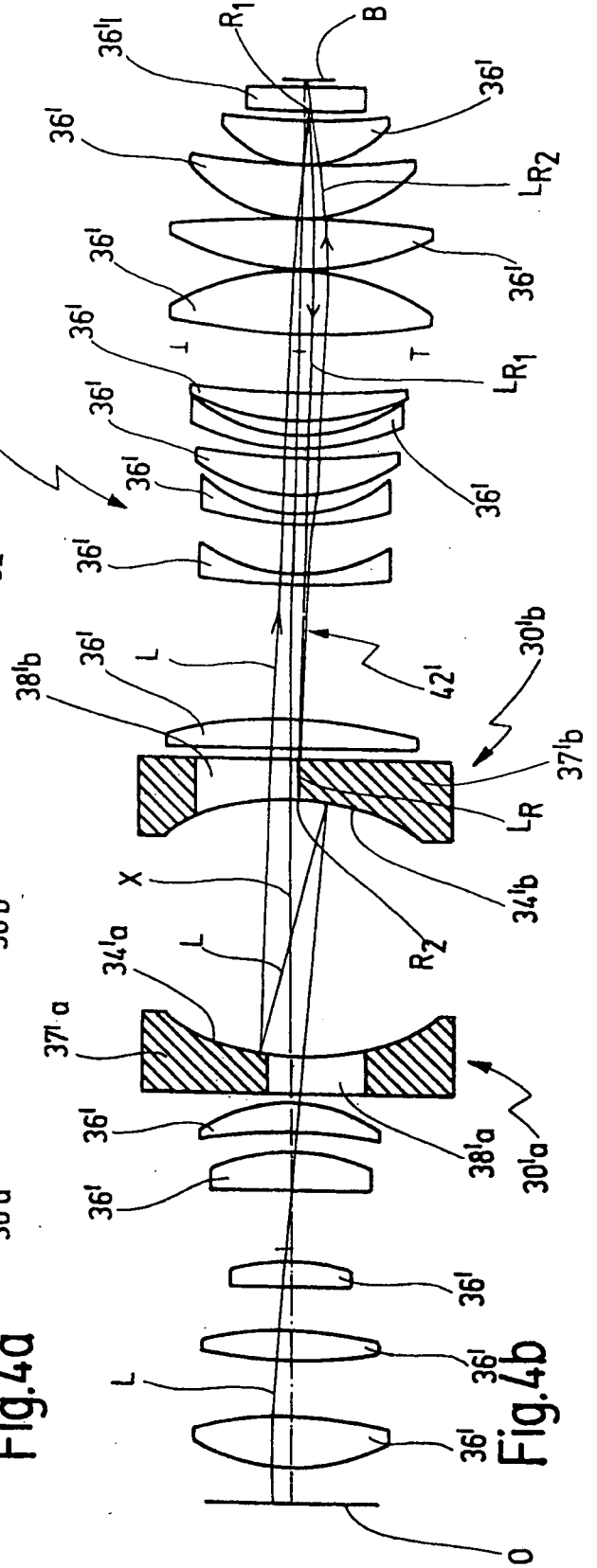


Fig. 97.



# INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No  
PCT/EP2008/003760

## 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 H01L G02B

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

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

EPO-Internal, 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	US 6 600 608 B1 (SHAFFER DAVID R [US] ET AL) 29 July 2003 (2003-07-29) cited in the application figure 1 column 3, line 17 - column 4, line 31	1,2,10, 11,14-20
A	EP 1 182 507 A (ZEISS CARL [DE]; ZEISS STIFTUNG [DE] ZEISS CARL SMT AG [DE]) 27 February 2002 (2002-02-27) paragraph [0069]	1-20
A	US 2002/017616 A1 (OTA KAZUYA [JP]) 14 February 2002 (2002-02-14) figure 1 paragraph [0046]	1-20
	----- -/--	

☒ 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.
- \*G\* document member of the same patent family

Date of the actual completion of the international search

22 August 2008

Date of mailing of the international search report

29/08/2008

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

International application No  
PCT/EP2008/003760

C(Continuation). DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
A	JP 2003 322710 A (CANON KK) 14 November 2003 (2003-11-14) abstract figure 5 -----	1-20
A	WO 2006/128613 A (ZEISS CARL SMT AG [DE]; KALLER JULIAN [DE]; DODOC AURELIAN [DE]; FELDM) 7 December 2006 (2006-12-07) cited in the application abstract figures 5-8 page 30, line 15 - page 31, line 22 -----	1-20

# INTERNATIONAL SEARCH REPORT

Information on patent family members

International application No

PCT/EP2008/003760

Patent document cited in search report	Publication date	Patent family member(s)	Publication date
US 6600608	B1	29-07-2003	DE 60008834 D1 15-04-2004
		DE 60008834 T2 13-01-2005	
		EP 1098215 A1 09-05-2001	
		JP 2001166210 A 22-06-2001	
		KR 20010051043 A 25-06-2001	
		TW 559674 B 01-11-2003	
EP 1182507	A	27-02-2002	DE 10040998 A1 14-03-2002
		JP 2002107632 A 10-04-2002	
		US 2002075466 A1 20-06-2002	
US 2002017616	A1	14-02-2002	JP 11345761 A 14-12-1999
JP 2003322710	A	14-11-2003	NONE
WO 2006128613	A	07-12-2006	EP 1886190 A1 13-02-2008
		KR 20080036171 A 25-04-2008	

# INTERNATIONALER RECHERCHENBERICHT

Internationales Aktenzeichen

PCT/EP2008/003760

**A. KLASSTIFIZIERUNG 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 H01L G02B

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

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

EPO-Internal, WPI Data

## C. ALS WESENTLICH ANGESEHENE UNTERLAGEN

Kategorie*	Bezeichnung der Veröffentlichung, soweit erforderlich unter Angabe der in Betracht kommenden Teile	Betr. Anspruch Nr.
X	US 6 600 608 B1 (SHAFER DAVID R [US] ET AL) 29. Juli 2003 (2003-07-29) in der Anmeldung erwähnt Abbildung 1 Spalte 3, Zeile 17 - Spalte 4, Zeile 31 -----	1,2,10, 11,14-20
A	EP 1 182 507 A (ZEISS CARL [DE]; ZEISS STIFTUNG [DE] ZEISS CARL SMT AG [DE]) 27. Februar 2002 (2002-02-27) Absatz [0069] -----	1-20
A	US 2002/017616 A1 (OTA KAZUYA [JP]) 14. Februar 2002 (2002-02-14) Abbildung 1 Absatz [0046] ----- --/--	1-20

☒ 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

22. August 2008

Absenddatum des internationalen Recherchenberichts

29/08/2008

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

## C. (Fortsetzung) ALS WESENTLICH ANGESEHENE UNTERLAGEN

Kategorie*	Bezeichnung der Veröffentlichung, soweit erforderlich unter Angabe der in Betracht kommenden Teile	Betr. Anspruch Nr.
A	JP 2003 322710 A (CANON KK) 14. November 2003 (2003-11-14) Zusammenfassung Abbildung 5 -----	1-20
A	WO 2006/128613 A (ZEISS CARL SMT AG [DE]; KALLER JULIAN [DE]; DODOC AURELIAN [DE]; FELDM) 7. Dezember 2006 (2006-12-07) in der Anmeldung erwähnt Zusammenfassung Abbildungen 5-8 Seite 30, Zeile 15 - Seite 31, Zeile 22 -----	1-20

**INTERNATIONALER RECHERCHENBERICHT**

Angaben zu Veröffentlichungen, die zur selben Patentfamilie gehören

Internationales Aktenzeichen

PCT/EP2008/003760

Im Recherchenbericht angeführtes Patentdokument	Datum der Veröffentlichung	Mitglied(er) der Patentfamilie	Datum der Veröffentlichung
US 6600608	B1	29-07-2003	DE 60008834 D1 15-04-2004
		DE 60008834 T2 13-01-2005	
		EP 1098215 A1 09-05-2001	
		JP 2001166210 A 22-06-2001	
		KR 20010051043 A 25-06-2001	
		TW 559674 B 01-11-2003	
EP 1182507	A	27-02-2002	DE 10040998 A1 14-03-2002
		JP 2002107632 A 10-04-2002	
		US 2002075466 A1 20-06-2002	
US 2002017616	A1	14-02-2002	JP 11345761 A 14-12-1999
JP 2003322710	A	14-11-2003	KEINE
WO 2006128613	A	07-12-2006	EP 1886190 A1 13-02-2008
		KR 20080036171 A 25-04-2008	