



(19)
Bundesrepublik Deutschland
Deutsches Patent- und Markenamt

(10) **DE 10 2008 001 719 A1** 2008.11.20

(12)

Offenlegungsschrift

(21) Aktenzeichen: **10 2008 001 719.1**

(22) Anmeldetag: **13.05.2008**

(43) Offenlegungstag: **20.11.2008**

(51) Int Cl.⁸: **G02B 17/08** (2006.01)
G03F 7/20 (2006.01)

(66) Innere Priorität:
10 2007 024 214.1 14.05.2007

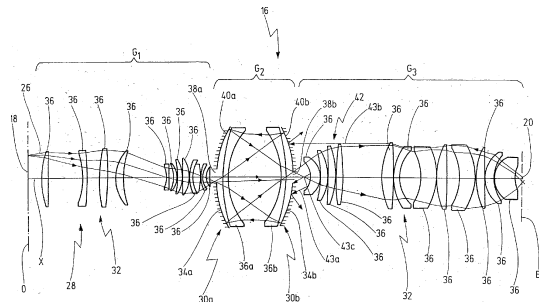
(72) Erfinder:
Rostalski, Hans-Jürgen, 73447 Oberkochen, DE

(71) Anmelder:
Carl Zeiss SMT AG, 73447 Oberkochen, DE

Die folgenden Angaben sind den vom Anmelder eingereichten Unterlagen entnommen

(54) Bezeichnung: **Projektionsobjektiv und Projektionsbelichtungsanlage für die Mikrolithographie**

(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 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) hindurchtreten können. Das zumindest eine reflektierende Element (30b) ist zumindest teilweise aus einem Material gefertigt, das rückwärtig auf das reflektierende Element (30b) auftreffendes Streulicht (42) unterdrückt (Fig. 2).



Beschreibung

[0001] 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.

[0002] Die Erfindung betrifft ferner eine Projektionsbelichtungsanlage für die Mikrolithographie mit einem solchen Projektionsobjektiv.

[0003] Ein derartiges Projektionsobjektiv ist aus US 6,600,608 B1 bekannt.

[0004] Ein Projektionsobjektiv der eingangs genannten Art wird beispielsweise in der Halbleiternikrolithographie 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 Objektebene 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.

[0005] 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.

[0006] Das aus der eingangs genannten US 6,600,608 B1 bekannte katadioptrische 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 lichtreflek-

tierend ausgestaltet, so dass die auf die Spiegeloberflächen einfallenden Lichtstrahlen entsprechend ihrem Auftreffwinkel bezüglich der Oberflächen reflektiert werden.

[0007] Die Abbildungsqualität des bekannten Projektionsobjektivs wird durch seine Abbildungseigenschaften bestimmt, so dass es weitgehendst von Abbildungsfehlern und die Abbildungsqualität beeinträchtigenden Störeffekten frei sein sollte.

[0008] 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.

[0009] 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 verkippbar ausgebildet sein. Die Absorptionseigenschaften der Abschirmungen können ferner auf die Wellenlänge der durch das Projektionsobjektiv hindurch durchtretenden Lichtstrahlen abgestimmt sein.

[0010] 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 einsetzbar ist.

[0011] Ferner ist es nachteilig, dass das Vorhandensein einer Abschirmung im Projektionsobjektiv höhere Herstellungskosten für das Projektionsobjektiv

tiv 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.

[0012] 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.

[0013] Es ist ferner nachteilig, dass die optimale Absorptionswirkung der Abschirmung oftmals erst durch ihre Lageverstellung bzw. Verkippung 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. Verkippung bewirken, wodurch die Herstellungskosten des Projektionsobjektivs zusätzlich erhöht werden.

[0014] 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.

[0015] 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.

[0016] Das erfindungsgemäße Projektionsobjektiv der erfindungsgemäßen Projektionsbelichtungsanlage 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 auftritt und zurück zur Bildebene gestreut wird. Die Materialwahl des reflektierenden Elements ermöglicht somit vorteilhafterweise eine besonders einfach zu realisierende Streulichtverringerung, 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.

[0017] 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 Verkippung der Absorptionsabschirmung bezüglich der optischen Achse verursacht werden.

[0018] 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.

[0019] In einer bevorzugten Ausgestaltung des Projektionsobjektivs ist das Substrat des reflektierenden Elements zumindest teilweise aus dem streulichtunterdrückenden Material gefertigt.

[0020] 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 Ele-

ments kann vollständig oder teilweise, d. h. nur in Teilbereichen, aus dem streulichtunterdrückenden Material gefertigt sein.

[0021] 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.

[0022] 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.

[0023] In einer weiteren bevorzugten Ausgestaltung des Projektionsobjektivs ist die Schicht unter einer reflektierenden Oberfläche des Substrats angeordnet.

[0024] 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.

[0025] In einer weiteren bevorzugten Ausgestaltung des Projektionsobjektivs ist die Schicht unmittelbar unter der reflektierenden Oberfläche des Substrats angeordnet.

[0026] 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.

[0027] In einer weiteren bevorzugten Ausgestaltung

des Projektionsobjektivs ist die Schicht entlang einer gesamten Ausdehnung der reflektierenden Oberfläche des Substrats angeordnet.

[0028] 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.

[0029] In einer weiteren bevorzugten Ausgestaltung des Projektionsobjektivs ist die Schicht zumindest teilweise entlang der Durchbrechung des Substrats angeordnet.

[0030] 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.

[0031] 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.

[0032] 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 vollständig aus dem streulichtunterdrückenden Material gefertigt sein, oder nur Teilbereiche aufweisen, die aus dem streulichtunterdrückenden Material gefertigt sind.

[0033] In einer weiteren bevorzugten Ausgestaltung des Projektionsobjektivs weist die Fassung zumindest teilweise eine Beschichtung auf, die aus dem

streulichtunterdrückenden Material gefertigt ist.

[0034] 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.

[0035] In einer weiteren bevorzugten Ausgestaltung des Projektionsobjektivs ist das streulichtunterdrückende Material lichtabsorbierend.

[0036] 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.

[0037] In einer weiteren bevorzugten Ausgestaltung des Projektionsobjektivs ist das lichtabsorbierende Material Zerodur.

[0038] 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.

[0039] In einer weiteren bevorzugten Ausgestaltung des Projektionsobjektivs ist das streulichtunterdrückende Material ungerichtet lichtstreuend.

[0040] 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.

[0041] In einer weiteren bevorzugten Ausgestaltung des Projektionsobjektivs ist das streulichtunterdrückende Material Metall.

[0042] Eine Verwendung von Metall als Fassungs-material 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.

[0043] Vorzugsweise ist das zumindest eine reflektierende Element ein Spiegel.

[0044] 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.

[0045] 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 reflektierenden Elements einfach weggelassen ist.

[0046] 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.

[0047] Des weiteren wird eine Projektionsbelichtungsanlage bereitgestellt, die ein Beleuchtungssystem und ein Projektionsobjektiv nach einer oder mehrerer der vorstehend genannten Ausgestaltungen aufweist.

[0048] Weitere Vorteile und Merkmale ergeben sich aus der nachfolgenden Beschreibung.

[0049] Es versteht sich, dass die vorstehend genannten und die nachstehend noch zu erläuternden Merkmale nicht nur in den angegebenen Kombinations-

nen, sondern auch in anderen Kombinationen oder in Alleinstellung einsetzbar sind, ohne den Rahmen der vorliegenden Erfindung zu verlassen.

[0050] Die Erfindung wird nachfolgend anhand einiger ausgewählter Ausführungsbeispiele im Zusammenhang mit der beiliegenden Zeichnung näher beschrieben und erläutert. Es zeigen:

[0051] [Fig. 1](#) eine schematische Darstellung einer Projektionsbelichtungsanlage für die Mikrolithographie mit einem erfindungsgemäßen Projektionsobjektiv;

[0052] [Fig. 2](#) ein Ausführungsbeispiel des Projektionsobjektivs in [Fig. 1](#);

[0053] [Fig. 3A–Fig. 3E](#) Ausführungsbeispiele eines reflektierenden Elements des Projektionsobjektivs in [Fig. 2](#) im Längsschnitt; und

[0054] [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.

[0055] In [Fig. 1](#) ist schematisch eine mit dem allgemeinen Bezugszeichen **10** versehene Projektionsbelichtungsanlage dargestellt, die beispielsweise in der Halbleiternikolithographie verwendet wird, um feinstrukturierte Bauelemente herzustellen.

[0056] 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**.

[0057] 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.

[0058] 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.

[0059] 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.

[0060] 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** auf-

treffen 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.

[0061] 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 lichtreflektierenden 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**.

[0062] 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.

[0063] 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**.

[0064] [Fig. 3A–Fig. 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.

[0065] Wie in [Fig. 3A](#) dargestellt, ist das Substrat **37b** des Spiegels **37b** zumindest teilweise aus dem streulichtunterdrückenden oder zumindest streulichtverringernenden 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.

[0066] 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, aufgebracht 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.

[0067] 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.

[0068] 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.

[0069] 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.

[0070] 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.

[0071] Die Fassung **44** des Spiegels **34b** kann zusätzlich oder ausschließlich zur Streulichtunterdrückung verwendet werden. Die in [Fig. 3A–Fig. 3B](#), [Fig. 3D–Fig. 3E](#) gezeigten Fassungen **44** des Spiegels **34b** sind zumindest teilweise an der Substrat-

rückseite **52** angeordnet. Die Fassung **44** erstreckt sich beispielsweise entlang der gesamten Substratrückseite **52** (vgl. [Fig. 3A](#), [Fig. 3B](#), [Fig. 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](#), [Fig. 3D](#), [Fig. 3E](#)). Die in [Fig. 3E](#) gezeigte Fassung **44** ist insbesondere im Vergleich zu den in [Fig. 3A](#), [Fig. 3B](#), [Fig. 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 Fassungsbefestigung (nicht dargestellt) im Projektionsobjektiv **16** wirkt, verringert.

[0072] 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](#), [Fig. 3D](#), [Fig. 3E](#)).

[0073] 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.

[0074] 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.

[0075] 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.

[0076] 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.

[0077] 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.

[0078] 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.

[0079] Die optischen Elemente **28'** sind zwischen einer Objektebene O und einer Bildebene B angeordnet.

[0080] 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.

[0081] 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.

[0082] 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.

[0083] 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**.

[0084] Zwischen dem ersten Spiegel **34'b** und der Bildebene B sind insgesamt elf Linsen **36'** angeordnet, wobei die letzte Linse mit dem Bezugszeichen **36'1** versehen ist.

[0085] 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.

[0086] Es wird hier nun beispielhaft ein Reflex R_1 des Lichtstrahls L an der in Lichtausbreitungsrichtung vorderen Oberfläche der letzten Linse **36'1** betrachtet. Der Reflex R_1 des Lichtstrahls L läuft als reflektierter Lichtstrahl L_{R1} von der letzten Linse **36'1** 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 **36'1**. 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.

[0087] 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 [Fig. 3A](#) bis [Fig. 3E](#) beschrieben wurden, wobei einzelne oder mehrere dieser Maßnahmen gemäß [Fig. 3A](#) bis [Fig. 3E](#) bei dem reflektiven Element **30'b** vorgesehen sein können. Weitere solche Maßnahmen können selbstverständlich auch bei dem reflektiven Element **30'a** vorgesehen werden.

ZITATE ENTHALTEN IN DER BESCHREIBUNG

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

Zitierte Patentliteratur

- US 6600608 B1 [[0003](#), [0006](#)]
- WO 2006/128613 A1 [[0009](#)]

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 Materi-

al 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 (R₁) an zumindest einer Oberfläche des letzten refraktiven Elements (36'I) vor der Bildebene (B) erzeugt wird.

19. Projektionsobjektiv nach Anspruch 18, dadurch gekennzeichnet, dass das Streulicht (42') durch zumindest einen Reflex (R₁) an der in Lichtaus-

breitungsrichtung gesehen vorderen Oberfläche des letzten refraktiven Elements (**36'I**) 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.

Es folgen 5 Blatt Zeichnungen

Anhängende Zeichnungen

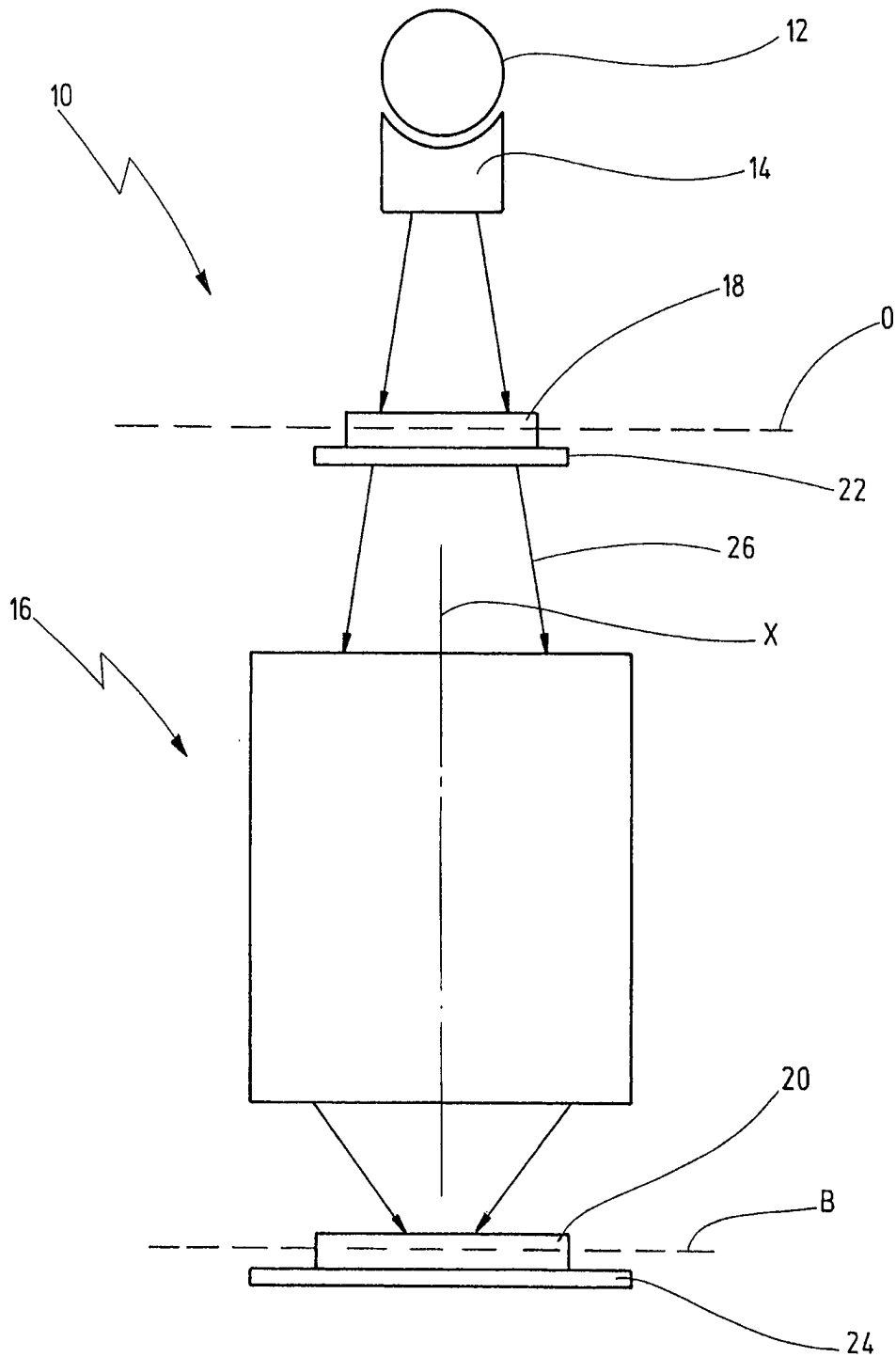


Fig.1

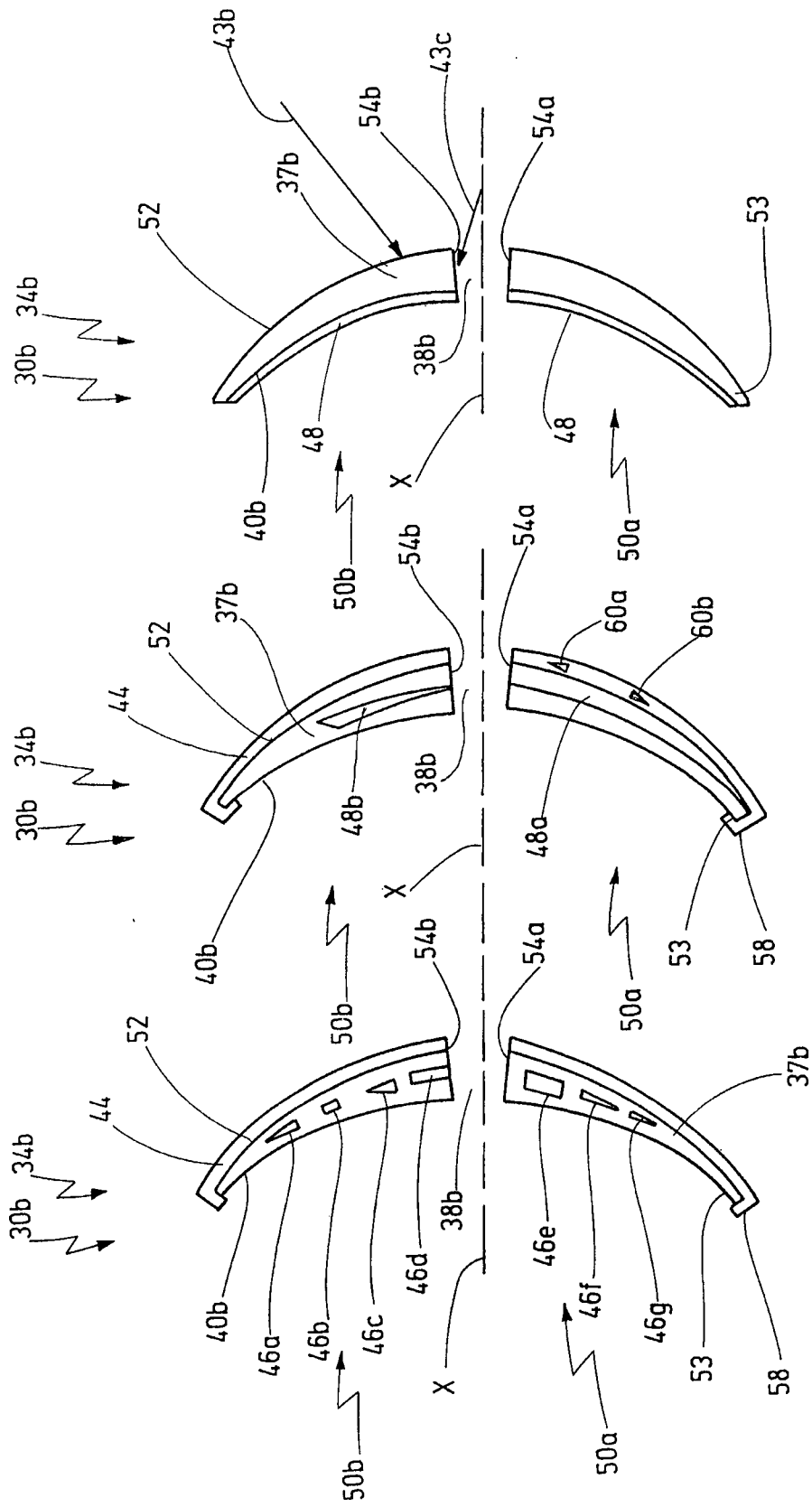


Fig.3C

Fig.3B

Fig.3A

