



(19)
Bundesrepublik Deutschland
Deutsches Patent- und Markenamt

(10) **DE 601 28 975 T2** 2008.02.28

(12) **Übersetzung der europäischen Patentschrift**

(97) **EP 1 118 910 B1**

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

(21) Deutsches Aktenzeichen: **601 28 975.7**

(96) Europäisches Aktenzeichen: **01 300 431.2**

(96) Europäischer Anmeldetag: **18.01.2001**

(97) Erstveröffentlichung durch das EPA: **25.07.2001**

(97) Veröffentlichungstag

der Patenterteilung beim EPA: **20.06.2007**

(47) Veröffentlichungstag im Patentblatt: **28.02.2008**

(30) Unionspriorität:

00300418 20.01.2000 EP

(84) Benannte Vertragsstaaten:

DE, FR, GB, IT, NL

(73) Patentinhaber:

ASML Netherlands B.V., Veldhoven, NL

(72) Erfinder:

Mulkens, Johannes, 6211 LP Maastricht, NL

(74) Vertreter:

**WUESTHOFF & WUESTHOFF Patent- und
Rechtsanwälte, 81541 München**

(54) Bezeichnung: **Mikrolithographischer Projektionsapparat**

Anmerkung: Innerhalb von neun Monaten nach der Bekanntmachung des Hinweises auf die Erteilung des europäischen Patents kann jedermann beim Europäischen Patentamt gegen das erteilte europäische Patent Einspruch einlegen. Der Einspruch ist schriftlich einzureichen und zu begründen. Er gilt erst als eingelegt, wenn die Einspruchsgebühr entrichtet worden ist (Art. 99 (1) Europäisches Patentübereinkommen).

Die Übersetzung ist gemäß Artikel II § 3 Abs. 1 IntPatÜG 1991 vom Patentinhaber eingereicht worden. Sie wurde vom Deutschen Patent- und Markenamt inhaltlich nicht geprüft.

Beschreibung

[0001] Die vorliegende Erfindung betrifft die Telezentritätsfehlerkompensation in einem lithographischen Projektionsapparat, der umfasst:

- ein Bestrahlungssystem zur Zufuhr eines aus Strahlung bestehenden Projektionsstrahls,
- Mustereinrichtungen zum Mustern des Projektionsstrahls gemäß einem gewünschten Muster,
- einen Substrattisch zum Halten eines Substrats, und
- ein Projektionssystem zum Abbilden des gemusterten Strahls auf einen Zielabschnitt des Substrats.

[0002] Der Begriff "Mustereinrichtung" oder "Musterungseinrichtung" ist breit auszulegen, so dass er sich auf Einrichtungen bezieht, die dazu verwendet werden können, einen einfallenden Strahlungsstrahl mit einem gemusterten Querschnitt zu versehen, der einem Muster entspricht, das in einem Zielabschnitt des Substrats erzeugt werden soll, der Begriff "Lichtventil" wurde ebenfalls in diesem Zusammenhang verwendet. Im Allgemeinen entspricht das Muster einer speziellen Funktionsschicht in einer Vorrichtung, die in dem Zielabschnitt erzeugt wird, wie etwa einer integrierten Schaltung oder einer anderen Vorrichtung (siehe unten). Beispiele für solche Musterungseinrichtungen umfassen:

- Eine durch einen Maskentisch gehaltene Maske. Das Konzept einer Maske ist in der Lithographie wohlbekannt und umfasst Maskenarten, wie etwa Binär-, harte Phasen-(alternating Phase-shift) und weiche Phasenmasken (attenuated phase-shift), sowie verschiedene Hybrid-Maskenarten. Die Platzierung einer solchen Maske ("Retikel") im Strahlungsstrahl bewirkt eine selektive Durchlassung (bei einer durchlässigen Maske) oder Reflexion (bei einer reflektierenden Maske) der auf die Maske auftreffenden Strahlung in Übereinstimmung mit dem Muster der Maske. Der Maskentisch stellt sicher, dass die Maske in einer gewünschten Position im einfallenden Strahlungsstrahl gehalten werden kann und dass sie relativ zum Strahl bewegt werden kann, sofern dies erwünscht ist.
- Eine programmierbare Spiegelanordnung. Ein Beispiel für eine solche Vorrichtung ist eine matrixadressierbare Oberfläche mit einer viskoelastischen Steuerschicht und einer reflektierenden Oberfläche. Das Grundprinzip hinter einer solchen Vorrichtung besteht darin, dass (beispielsweise) adressierte Bereiche der reflektierenden Oberfläche einfallendes Licht als gebeugtes Licht reflektieren, während nicht adressierte Bereiche einfallendes Licht als ungebeugtes Licht reflektieren. Unter Verwendung eines geeigneten Filters kann das ungebeugte Licht aus dem reflektierten Strahl herausgefiltert werden, wobei nur das gebeugte Licht zurückbleibt, auf diese Weise wird

der Strahl in Übereinstimmung mit dem Adressierungsmuster der matrix-adressierbaren Oberfläche gemustert. Die erforderliche Matrixadressierung kann unter Verwendung geeigneter elektronischer Einrichtungen durchgeführt werden. Mehr Informationen über derartige Spiegelanordnungen können beispielsweise den US-Patenten US 5,296,891 und US 5,523,193 entnommen werden.

– Eine programmierbare LCD-Anordnung (Flüssigkristallanzeiganordnung). Ein Beispiel für eine solche Konstruktion ist in dem US-Patent US 5,229,872 angegeben.

[0003] Aus Gründen der Einfachheit kann sich der Rest dieses Textes an bestimmten Stellen spezifisch auf Beispiele beziehen, die einen Maskentisch und eine Maske umfassen, die in solchen Fällen besprochenen allgemeinen Grundlagen sind jedoch in dem breiteren Zusammenhang der vorstehend dargelegten Musterungseinrichtung zu sehen.

[0004] Aus Gründen der Einfachheit kann das Projektionssystem nachfolgend als "Linse" bezeichnet sein, dieser Begriff ist jedoch breit auszulegen, so dass er verschiedene Arten von Projektionssystemen umfasst, einschließlich z.B. Brechungsoptik-, Reflexionsoptik- und katadioptrischer Systeme. Das Bestrahlungssystem umfasst im Allgemeinen ein Beleuchtungssystem ("Beleuchter"), das auch Elemente umfassen kann, die in Übereinstimmung mit einer beliebigen dieser Ausführungsarten arbeiten, um den Projektionsstrahl einer Strahlung zu lenken, zu formen oder zu steuern, wobei solche Elemente nachfolgend entweder kollektiv oder einzeln ebenfalls als "Linse" bezeichnet sein können. Des Weiteren kann der lithographische Apparat so ausgeführt sein, dass er zwei oder mehr Maskentische und/oder zwei oder mehr Substrattische aufweist. Bei solchen "Mehr-Tisch-" Vorrichtungen können die zusätzlichen Tische parallel eingesetzt werden oder es können an einem oder mehreren Tischen vorbereitende Schritte durchgeführt werden, während ein oder mehrere andere Tische zur Belichtung verwendet werden. Lithographische Zwei-Tisch-Apparate sind beispielsweise in US 5,969,441 und US Serial-No. 09/180,011, eingereicht am 27. Februar 1998, (WO 98/28665 und WO 98/40791) beschrieben.

[0005] Ein lithographischer Projektionsapparat kann beispielsweise bei der Herstellung von integrierten Schaltungen (ICs) verwendet werden. In einem solchen Fall kann die Musterungseinrichtung ein Schaltungsmuster erzeugen, das einer einzelnen Schicht der IC entspricht, wobei dieses Muster auf einem Zielabschnitt (der ein oder mehrere Halbleiterplättchen umfasst) eines Substrats (Siliziumwafer) abgebildet werden kann, das mit einer Schicht aus strahlungsempfindlichem Material (Fotolack) überzogen ist. Im Allgemeinen enthält ein einzelner Wafer ein ganzes Netzwerk benachbarter Zielabschnitte, die

nacheinander, immer einer auf einmal, durch das Projektionssystem bestrahlt werden. Bei dem vorliegenden Apparat, der eine Musterung durch eine Maske auf einem Maskentisch verwendet, kann zwischen zwei verschiedenen Maschinentypen unterschieden werden. Bei einem Typ eines lithographischen Projektionsapparats wird jeder Zielabschnitt durch Belichten des vollständigen Maskenmusters auf den Zielabschnitt in einem Schritt bestrahlt, ein solcher Apparat wird für gewöhnlich als Wafer-Stepper bezeichnet. Bei einem alternativen Apparat (der für gewöhnlich als Step-and-Scan-Apparat oder Scanner bezeichnet wird) wird jeder Zielabschnitt durch progressives Scannen des Maskenmusters unter dem Projektionsstrahl in einer gegebenen Referenzrichtung (der "Scan"-Richtung) bestrahlt, wobei der Substrattisch gleichzeitig parallel oder antiparallel zu dieser Richtung gescannt wird, da das Projektionssystem im Allgemeinen einen Vergrößerungsfaktor M (im Allgemeinen < 1) hat, beträgt die Geschwindigkeit V , mit der der Substrattisch gescannt wird, einen Faktor M mal demjenigen, mit dem der Maskentisch gescannt wird. Mehr Informationen in Bezug auf lithographische Vorrichtungen, wie hierin beschrieben, sind beispielsweise US 6,046,792 zu entnehmen.

[0006] Da der Bedarf, immer kleinere Merkmale bei höheren Dichten abzubilden, steigt, ist es notwendig, Strahlung mit kürzerer Wellenlänge, z.B. Ultraviolettlicht mit einer Wellenlänge von 157 nm oder 126 nm, zu verwenden. Dies kann jedoch zu Problemen führen, die durch chromatische Abweichung verursacht werden, welche die Leistung des Projektionsapparats verschlechtern kann. Zwei Gründe dafür bestehen darin, dass erstens Strahlungsquellen, wie etwa Laser, zum Erzeugen von Strahlung kürzerer Wellenlänge häufig größere Linienbreiten aufweisen, d.h. die Quelle ist weniger monochromatisch und enthält eine größere Bandbreite an Wellenlängen, und dass zweitens das Dispersionsverhältnis des Brechungsindex zur Wellenlänge bei lichtbrechenden Medien, die für die Linsen verwendet werden, bei kürzeren Wellenlängen häufig einen steileren Gradienten hat, weshalb die Medien streuender sind, was zu einer erhöhten chromatischen Abweichung führt. Eine Lösung dieses Problems besteht darin, eine Projektionslinse zu konstruieren, die achromatisch ist, z.B. durch Kombinieren von Linsenelementen, die Stärken entgegengesetzter Vorzeichen haben und aus Linsenmaterialien mit unterschiedlichen Dispersionsverhältnissen gefertigt sind, so dass die chromatische Abweichung im Wesentlichen behoben wird. Dies erhöht jedoch die Komplexität und Kosten des Linsensystems, da zwei unterschiedliche Medien erforderlich sind. Außerdem nimmt die Anzahl möglicher lichtbrechender Medien ab, wenn Licht mit einer relativ kurzen Wellenlänge verwendet wird. Dies macht es äußerst schwierig, eine Projektionslinse herzustellen, die achromatisch ist.

[0007] Eine alternative Lösung besteht darin, ein katadioptrisches Linsensystem zu verwenden, das wenigstens ein reflektierendes optisches Element umfasst. Dies ermöglicht es, für sämtliche Linsen ein einziges Material zu verwenden. Die Verwendung reflektierender Elemente bei manchen Projektionssystembauarten bedeutet jedoch, dass ein Bild achsenentfernt projiziert werden muss, um zu vermeiden, dass ein Teil davon durch bestimmte Elemente im System verdeckt wird. Dies bedeutet, dass sich das projizierte Bild nicht über die optische Achse (d.h. das Zentrum) des Projektionssystems erstreckt. Ein Beispiel für eine katadioptrische Linse ist beispielsweise in US 5,537,260 angegeben.

[0008] Ein solches Projektionssystem weist jedoch im Allgemeinen einen inhärenten Telezentritätsfehler auf. Dabei ist das Problem des gleichzeitigen Kompensierens dieses Fehlers und des Minimierens der Größe der Beleuchtungssystemlinsen bei einem achsenentfernten Projektionssystem gegeben.

[0009] Ein Ziel der vorliegenden Erfindung besteht darin, einen verbesserten mikrolithographischen Projektionsapparat bereitzustellen, der die vorstehend genannten Probleme vermeidet oder vermindert.

[0010] US-A 5,739,899 offenbart einen lithographischen Projektionsapparat gemäß dem Oberbegriff von Anspruch 1.

[0011] Erfindungsgemäß wird ein lithographischer Projektionsapparat bereitgestellt, der umfasst:

- ein Beleuchtungssystem zum Bereitstellen eines aus Strahlung bestehenden Projektionsstrahls,
- eine Einrichtung zum Halten einer Mustereinrichtung, wobei die Mustereinrichtung zum Versetzen des Projektionsstrahls mit Mustern in Übereinstimmung mit einem gewünschten Muster dient,
- einen Substrattisch zum Halten eines Substrats, und
- ein Projektionssystem zum Abbilden des gemusterten Strahls auf einem Zielabschnitt des Substrats, das so angeordnet ist, dass der gemusterte Strahl im Betrieb in Bezug auf die optische Achse des Projektionssystems achsenentfernt projiziert wird,

dadurch gekennzeichnet, dass die optische Achse des Beleuchtungssystems seitlich versetzt ist, so dass sie im Wesentlichen parallel zur optischen Achse des Projektionssystems, jedoch in Bezug auf diese achsenentfernt, verläuft und dadurch, dass ferner ein keilförmiges durchlässiges optisches Element als Kompensationseinrichtung zum Kompensieren von Telezentritätsfehlern des Projektionssystems enthalten ist.

[0012] Die Kompensationseinrichtung, die auch als "Kompensator" bezeichnet wird, ermöglicht es, den Telezentritätsfehler des Projektionssystems bei einem achsenentfernten Projektionssystem zumindest teilweise zu korrigieren, z.B. bei einem System, das katadioptrisch ist und bei dem der gemusterte Projektionsstrahl das Projektionssystem achsenentfernt durchquert, um die Verdeckung zu vermeiden.

[0013] Da der gemusterte Strahl achsenentfernt projiziert wird, wie vorstehend beschrieben, sollte auch der bestrahlte Bereich in der Ebene der Maske bezogen auf die optische Achse des Projektionssystems seitlich versetzt sein. Die optische Achse des Beleuchters ist seitlich versetzt, so dass sie parallel zur optischen Achse des Projektionssystems, jedoch bezogen auf diese achsenentfernt, verläuft, und so dass sie bezogen auf den bestrahlten Bereich im Wesentlichen zentriert ist. Dies ermöglicht es, die Größe des Beleuchters sowie seiner Linsen und optischen Bauteile zu minimieren.

[0014] Der lithographische Projektionsapparat umfasst bevorzugt Mustereinrichtungen.

[0015] Der Kompensator ist bevorzugt in Bezug auf die austretende optische Achse des Beleuchters schräg gestellt. Dies ist eine relativ einfache Modifikation, damit das Beleuchtungssystem im Hinblick auf einen Telezentritätsfehler im Projektionssystem kompensiert werden kann.

[0016] Der Kompensator ist bevorzugt schräg stellbar, um eine Einstellung der Telezentritätsfehlerkompensation zu ermöglichen.

[0017] Der Kompensator umfasst bevorzugt ein reflektierendes Element. Dieses kann beispielsweise einen Spiegel im Beleuchter umfassen und ermöglicht es einem bereits vorhandenen Spiegel, die zweifache Funktion sowohl des Ablenkens des Strahls als auch des Korrigierens von Telezentritätsfehlern aufzuweisen.

[0018] Obgleich das reflektierende Element, etwa ein Spiegel, typischerweise planar ist, was zumindest eine grobe Telezentritätsfehlerkompensation ermöglicht, ist es auch möglich, dass das reflektierende Element ein nicht planares Profil aufweist, damit die Telezentritätskompensation mit der Position im Strahl variieren kann.

[0019] Erfindungsgemäß umfasst der Kompensator ein keilförmiges durchlässiges optisches Element. Das keilförmige optische Element umfasst bevorzugt einen aus einer axial symmetrischen Linse bestehenden Abschnitt. Dies hat den Vorteil, dass die Linse durch gängige Techniken hergestellt werden kann, um eine genaue Telezentritätsfehlerkompensation mit der geeigneten Symmetrie bereitzustellen, wobei

die Linse dann zugeschnitten werden kann, um den keilförmigen Abschnitt zur Einführung in den Strahlpfad vorzusehen, um den Telezentritätsfehler ungeachtet der Tatsache zu kompensieren, dass der Apparat ein achsenentferntes Projektionssystem umfasst. Ein weiterer Vorteil besteht nun darin, dass mehr als ein Kompensator in Form eines keilförmigen optischen Elements aus einer einzelnen Linse erhalten werden kann.

[0020] Gemäß einem Aspekt der Erfindung befindet sich bei einer einen Maskentisch verwendenden Ausführungsform das keilförmige optische Element nahe einer Position, in der im Betrieb eine Maske durch den Maskentisch gehalten wird, oder in einer im Wesentlichen dazu konjugierten Position. Dies hat den Vorteil, dass die Telezentritätsfehlerkompensation im Wesentlichen die Einstellung des Einfallswinkels des Lichtstrahls auf der Maske als Funktion der Position auf der Maske erforderlich macht (d.h. der Kompensator wirkt als dezentrierte Feldlinse).

[0021] Gemäß einem weiteren Aspekt der Erfindung ist ein Verfahren zur Herstellung einer Vorrichtung bereitgestellt, das die Schritte umfasst:

- Bereitstellen eines Substrats, das wenigstens teilweise mit einer Schicht aus strahlungsempfindlichem Material überzogen ist, Bereitstellen eines aus Strahlung bestehenden Projektionsstrahls unter Verwendung eines Bestrahlungssystems,
- Verwenden einer Mustereinrichtung zum Versehen des Projektionsstrahls mit einem Muster in seinem Querschnitt, und
- Projizieren des aus Strahlung bestehenden gemusterten Strahls auf einen Zielabschnitt der Schicht aus strahlungsempfindlichem Material unter Verwendung eines Projektionssystems, wobei der gemusterte Projektionsstrahl in Bezug auf die optische Achse des Projektionssystems achsenentfernt projiziert wird,

dadurch gekennzeichnet, dass die optische Achse des Beleuchtungssystems seitlich versetzt ist, so dass sie im Wesentlichen parallel zur optischen Achse des Projektionssystems, jedoch in Bezug auf diese achsenentfernt, verläuft und dadurch, dass ein keilförmiges durchlässiges optisches Element als Kompensationseinrichtung zum Durchführen einer Kompensation von Telezentritätsfehlern des Projektionssystems eingesetzt wird.

[0022] Bei einem Herstellungsverfahren, das einen erfindungsgemäßen lithographischen Projektionsapparat verwendet, wird ein Muster (z.B. in einer Maske) auf einem Substrat abgebildet, das zumindest teilweise mit einer Schicht aus energieempfindlichem Material (Fotolack) überzogen ist. Vor diesem Abbildungsschritt kann das Substrat verschiedenen Verfahren, wie etwa Grundieren, Fotolackbeschichtung

und einem leichten Trocknen (soft bake), unterzogen werden. Nach dem Belichten kann das Substrat anderen Verfahren unterzogen werden, wie etwa einem Post-Exposure Bake (PEB – nach der Belichtung erfolgenden Trocken- oder Heizschritt), Entwickeln, starken Trocknen (hard bake) und Messen/Untersuchen der abgebildeten Merkmale. Dieser Verfahrensablauf wird als Basis für die Musterung einer einzelnen Schicht einer Vorrichtung, z.B. einer IC, verwendet. Eine derartige gemusterte Schicht kann dann verschiedenen Verfahren, wie etwa Ätzen, Ionenimplantieren (Dotieren), Metallisieren, Oxidieren, chemomechanisches Polieren, etc., unterzogen werden, die alle dazu dienen, eine einzelne Schicht abschließend zu bearbeiten. Wenn mehrere Schichten benötigt werden, dann muss das ganze Verfahren oder eine Variante desselben für jede neue Schicht wiederholt werden. Schließlich ist eine Anordnung von Vorrichtungen auf dem Substrat (Wafer) vorhanden. Diese Vorrichtungen werden dann durch eine Technik, wie etwa mechanisches Trennen (dicing) oder Sägen, voneinander gelöst, wonach die einzelnen Vorrichtungen auf einem Träger montiert, mit Anschlussstiften verbunden, etc. werden können. Weitere Informationen bezüglich solcher Verfahren können beispielsweise dem Buch "Microchip Fabrication: A Practical Guide to Semiconductor Processing", dritte Auflage, von Peter van Zant, McGraw Hill Publishing Co., 1997, ISBN 0-07-067250-4 entnommen werden.

[0023] Obgleich in diesem Text spezifisch auf die Verwendung des erfindungsgemäßen Apparats bei der Herstellung von ICs Bezug genommen wird, versteht es sich ausdrücklich, dass ein solcher Apparat viele andere Anwendungsmöglichkeiten hat. Er kann beispielsweise bei der Herstellung von integrierten optischen Systemen, Führungs- und Erfassungsmustern für Magnetblasenspeicher, Flüssigkristallanzeigebildschirmen, Dünnfilmmagnetköpfen, etc. verwendet werden. Ein Fachmann wird erkennen, dass, im Zusammenhang mit solchen alternativen Anwendungen, jegliche Verwendung der Begriffe "Retikel", "Wafer" oder "Halbleiterplättchen" in diesem Text als durch die allgemeineren Begriffe "Maske", "Substrat" bzw. "Zielabschnitt" ersetzt anzusehen ist.

[0024] In dem vorliegenden Dokument werden die Begriffe Strahlung, Strahlungsstrahl und Strahl im Prinzip so verwendet, dass alle Arten von elektromagnetischer Strahlung enthalten sind, einschließlich Ultraviolettstrahlung (z.B. mit einer Wellenlänge von 365, 248, 193, 157 oder 126 nm) und EUV.

[0025] Ausführungsformen der Erfindung werden nun rein beispielhaft unter Bezugnahme auf die begleitenden schematischen Zeichnungen beschrieben. Es zeigt/zeigen:

[0026] [Fig. 1](#) einen lithographischen Projektionsapparat gemäß einer Ausführungsform der Erfindung,

[0027] [Fig. 2\(a\)](#) und [\(b\)](#) Diagramme von Projektionssystemen zur Darstellung von Nicht-Telezentrität bzw. Telezentrität,

[0028] [Fig. 3](#) den Telezentritätsfehler eines Projektionssystems in Bezug auf ein achsenentferntes Beleuchtungssystem,

[0029] [Fig. 4](#) einen Beleuchter und ein Projektionssystem, die eine schräg stellbare Spiegeltelezentritätsfehlerkompensationseinrichtung umfassen, und

[0030] [Fig. 5](#) einen Beleuchter und ein Projektionssystem, die eine erfindungsgemäße keilförmige Telezentritätsfehlerkompensationseinrichtung umfassen.

[0031] In den Figuren geben entsprechende Bezugszeichen oder -ziffern entsprechende Teile an.

[0032] [Fig. 1](#) stellt schematisch einen erfindungsgemäßen lithographischen Projektionsapparat dar. Der Apparat umfasst:

- ein Bestrahlungssystem LA, Ex, IL zum Bereitstellen eines aus Strahlung (z.B. UV- oder EUV-Strahlung) bestehenden Projektionsstrahls PB,
- einen ersten Objektisch (Maskentisch) MT, der mit einem Maskenhalter zum Halten einer Maske MA (z.B. eines Retikels) ausgestattet ist,
- einen zweiten Objektisch (Substrattisch) WT, der mit einem Substrathalter zum Halten eines Substrats W (z.B. eines mit Fotolack beschichteten Siliziumwafers) ausgestattet ist,
- ein Projektionssystem ("Linse") PL (z.B. ein lichtbrechendes oder katadioptrisches System oder eine Spiegelgruppe) zum Abbilden eines bestrahlten Abschnitts der Maske MA auf einem Zielabschnitt C (der ein oder mehrere Halbleiterplättchen umfasst) des Substrats W.

[0033] Wie hier dargestellt, ist der Apparat vom durchlässigen Typ (d.h. er hat eine durchlässige Maske). Im Allgemeinen kann er jedoch auch beispielsweise vom reflektierenden Typ sein (mit einer reflektierenden Maske).

[0034] Das Bestrahlungssystem umfasst eine Quelle LA (z.B. eine Hg-Lampe oder einen Excimer-Laser), die einen Strahl einer Strahlung erzeugt. Dieser Strahl wird einem Beleuchtungssystem IL zugeführt, und zwar entweder direkt oder nach dem Passieren einer Konditionierungseinrichtung, wie z.B. eines Strahlexpanders Ex. Der Beleuchter IL umfasst Justiermittel AM zum Einstellen des äußeren und/oder inneren radialen Ausmaßes (des σ -Außen- bzw. σ -Innenmaßes) der Intensitätsverteilung im Strahl. Darüber hinaus umfasst er im Allgemeinen verschiedene andere Bauteile, wie etwa einen Integrator IN und ei-

nen Kondensor CO. Auf diese Weise hat der auf die Maske MA auftreffende Strahl PB in seinem Querschnitt eine gewünschte Gleichförmigkeit und Intensitätsverteilung.

[0035] Es wird in Bezug auf [Fig. 1](#) darauf hingewiesen, dass sich die Quelle LA im Gehäuse des lithographischen Projektionsapparats befinden kann (wie es häufig der Fall ist, wenn die Quelle LA z.B. eine Quecksilberlampe ist), sie kann jedoch auch vom lithographischen Projektionsapparat entfernt sein, wobei der von ihr erzeugte Strahlungsstrahl in den Apparat gelenkt wird (z.B. mit Hilfe von geeigneten Richtspiegeln), wobei dieses letztere Szenario häufig der Fall ist, wenn die Quelle LA ein Excimer-Laser ist. Die vorliegende Erfindung und die vorliegenden Ansprüche umfassen beide dieser Szenarien.

[0036] Der Strahl PB erfasst anschließend die in einem Maskenhalter auf einem Maskentisch MT gehaltene Maske MA. Nachdem er die Maske MA passiert hat, tritt der Strahl PB durch die Linse PL, die den Strahl PB auf einen Zielabschnitt C des Substrats W fokussiert. Mit Hilfe der interferometrischen Verschiebungs- und Messeinrichtung IF kann der Substrattisch WT exakt bewegt werden, z.B. um andere Zielabschnitte C im Pfad des Strahls PB zu positionieren. Ebenso kann die erste Positionierungseinrichtung dazu verwendet werden, die Maske MA in Bezug auf den Pfad des Strahls PB exakt zu positionieren, z.B. nach einer mechanischen Rückholung der Maske MA aus einem Maskenarchiv oder während eines Scans. Im Allgemeinen wird die Bewegung der Objektische MT, WT mit Hilfe eines Langhubmoduls (Grobpositionierung) und eines Kurzhubmoduls (Feinpositionierung) umgesetzt, die nicht explizit in [Fig. 1](#) dargestellt sind. Bei einem Wafer-Stepper jedoch (im Gegensatz zu einem Step-and-Scan-Apparat) kann der Maskentisch MT nur mit einem Kurzhubaktuator verbunden oder feststehend sein.

[0037] Der dargestellte Apparat kann in zwei unterschiedlichen Betriebsarten verwendet werden:

1. In der Step-Betriebsart wird der Maskentisch MT im Wesentlichen stationär gehalten und ein vollständiges Maskenbild in einem Schritt (d.h. in einem einzelnen "Blitz") auf einen Zielabschnitt C projiziert. Der Substrattisch WT wird dann in x- und/oder y-Richtung verschoben, so dass ein anderer Zielabschnitt C durch den Strahl PB bestrahlt werden kann.
2. In der Scan-Betriebsart gilt im Wesentlichen dasselbe Szenario, außer dass ein gegebener Zielabschnitt C nicht in einem einzelnen "Blitz" beleuchtet wird. Stattdessen kann der Maskentisch MT mit einer Geschwindigkeit v in eine gegebene Richtung (der so genannten "Scan-Richtung", z.B. der x-Richtung) bewegt werden, so dass bewirkt wird, dass der Projektionsstrahl PB (der nun allgemein die Form eines Spalts hat) ein Maskenbild

scannt, wobei der Substrattisch WT gleichzeitig ebenfalls in dieselbe oder die entgegengesetzte Richtung mit einer Geschwindigkeit $V = Mv$ bewegt wird, wobei M die Vergrößerung der Linse PL ist (typischerweise $M = 1/4$ oder $1/5$). Auf diese Weise kann ein relativ großer Zielabschnitt C beleuchtet werden, ohne Abstriche bei der Auflösung machen zu müssen.

[0038] Die [Fig. 2\(a\)](#) und [\(b\)](#) stellen schematisch Projektionssysteme **10** zum Formen eines Bildes einer ersten Ebene **12** dar, wie etwa einer gemusterten Oberfläche eines Retikels, in einer zweiten Ebene **14**, wie etwa einer mit Fotolack beschichteten Oberfläche eines Wafers. [Fig. 2\(a\)](#) zeigt ein nicht telezentrisches Projektionssystem **10**. Hierbei bezieht sich der Begriff "nicht telezentrisch" auf eine Situation, in der die durchschnittlichen Winkel, unter denen die Lichtstrahlen eines bildformenden Strahlungsstrahls (der von einem Objektpunkt auf der Oberfläche **12** ausgestrahlt wird) den Ebenen **12** und **14** gegenüberliegen, erheblich von 90° abweichen. Folglich wird, wenn das Retikel oder der Wafer längs der optischen Achse der Linse aufwärts oder abwärts bewegt wird, das Bild seitlich bewegt, wie durch die Pfeile A in [Fig. 2\(a\)](#) gezeigt. Im Folgenden werden die durchschnittlichen Winkel als "durchschnittliche Strahlwinkel" bezeichnet. Im Gegensatz zu dem Projektionssystem **10** gemäß [Fig. 2\(a\)](#) ist das Projektionssystem **10** gemäß [Fig. 2\(b\)](#) telezentrisch: nun betragen die durchschnittlichen Strahlwinkel **122** und **142** (in [Fig. 2\(b\)](#)) eines bildformenden Strahls in Bezug auf die Ebenen **12** und **14** im Wesentlichen 90° . Folglich wird die Bildposition durch das Bewegen entweder der Objektebene oder der Bildebene nicht beeinträchtigt. Wenn beispielsweise die Ebene **12** aufwärts oder abwärts bewegt wird, bewegt sich die Position des Bildes nicht zur Seite, obgleich sie selbstverständlich in den und aus dem Fokus gebracht wird. Diese Anordnung ist eindeutig vorteilhaft, beispielsweise wenn es darum geht, aufeinander folgende lithographische Schichten übereinander zu legen.

[0039] Ein praxisnahes Projektionslinsensystem wird jedoch niemals perfekt telezentrisch sein. Es wird immer einen kleinen Resttelezentritätsfehler geben. Sowohl auf der Objektseite (der der Oberfläche **12** zugewandten Seite) als auch auf der Bildseite (der der Oberfläche **14** zugewandten Seite) eines telezentrischen Projektionssystems **10** weichen die durchschnittlichen Strahlwinkel **122** und **142** in [Fig. 2b](#) (leicht) von 90° ab. Diese Abweichung, die den Telezentritätsfehler darstellt, zeigt eine Abhängigkeit von der Seitenposition des Punktes **121** in Bezug auf die optische Achse 0 des Projektionssystems. [Fig. 3](#) stellt eine Draufsicht eines Projektionslinsensystems mit einer optischen Achse 0 dar, wobei die konzentrischen Kreise **20**, **22**, **24** und **26** die Konturen im Wesentlichen gleicher Telezentritätsfehler darstellen. Als Beispiel können bei den Konturen **20**

bis **26** die Winkelfehler Werte in Milliradian (mRad), wie etwa +1, 0, -1 bzw. -2, aufweisen. Diese stellen die Winkelfehler auf dem Retikelniveau dar, sie sind jedoch auf dem Waferniveau infolge des Vergrößerungsfaktors M des Projektionslinsensystems selbstverständlich größer, z.B. viermal größer bei $M = 1/4$.

[0040] Das Beleuchtungssystem muss einen telezentritätskorrigierten Beleuchtungsstrahl liefern, bei dem der Einfallswinkel **123**, in **Fig. 2(b)**, mit der Seitenposition variiert, um so den inhärenten Telezentritätsfehler im Projektionssystem **10** zu kompensieren. Idealerweise sollte der einfallende Strahl, der den Punkt **121** in **Fig. 2(b)** beleuchtet, richtungsabhängig so sein, dass sein durchschnittlicher Strahlwinkel **123** genau mit dem durchschnittlichen Strahlwinkel **122** übereinstimmt, der durch den Telezentritätsfehler des Projektionssystems gebildet wird. Der Resttelezentritätsfehler des Beleuchtungssystems IL stimmt jedoch, sofern nicht Vorkehrungen getroffen werden, im Allgemeinen nicht mit dem Telezentritätsfehler des Projektionssystems überein. Das Konzept der "Kompensation" und die Begriffe "Kompensationseinrichtung" und "Kompensator" beziehen sich, wie hierin verwendet, auf die Kompensation (d.h. Verringerung) einer Nichtübereinstimmung zwischen den Telezentritätsfehlern.

[0041] Wenn die optische Achse des Beleuchters koaxial mit dem Projektionslinsensystem verläuft, dann sind die Telezentritätsfehler axial symmetrisch, weshalb auch die Kompensation axial symmetrisch sein kann, so dass sie durch herkömmliche Linsen bereitgestellt werden kann. Wie vorstehend erläutert, kann es jedoch erwünscht sein, eine achsenentfernte Projektion zu verwenden. Das Rechteck **30** stellt den Beleuchtungsspalt eines Beleuchtungssystems dar, der in Bezug auf die optische Achse O des Projektionssystems achsenentfernt ist. Es ist im Allgemeinen vorteilhaft, die Größe der Austrittsapertur des Beleuchters zu minimieren, so dass sie gerade groß genug ist, das Spaltbild **30** zu umfassen. In diesem Fall ist das achsenentfernte Feld des Beleuchtungssystems durch den gestrichelten Kreis **32** angezeigt, der auf der Achse O' zentriert ist. Der Durchmesser des Kreises **32**, der die Apertur des Beleuchters darstellt, ist eindeutig kleiner als der Durchmesser der Apertur des Projektionssystems, z.B. des Kreises **26**.

[0042] Wie aus **Fig. 3** ersichtlich, ist die durch den Beleuchter bereitzustellende Telezentritätsfehlerkompensation, angegeben durch die Bögen der Kreise **20**, **22**, **24** und **26**, die das Feld **32** des Beleuchters kreuzen, asymmetrisch.

[0043] **Fig. 4** zeigt ein Beispiel, welches nicht Teil der Erfindung ist, zum Kompensieren einer asymmetrischen Telezentritätsabweichung. **Fig. 4** zeigt einen Beleuchter **40**, der eine Strahlformungsoptik **42**,

wie etwa ein Zoom-Axicon-Modul, und einen Integrator, wie etwa eine Facettenlinse oder einen Integratorstab, ein Feldlinsensystem, eine Retikelabdeckungseinrichtung **46** und ein zugeordnetes Retikelabdeckungslinsensystem **48** umfasst. Der Beleuchter **40** stellt einen Strahlungsstrahl zum Beleuchten eines Retikels **50** bereit, wobei ein Bild desselben dann durch das Projektionssystem **54** auf den Wafer **52** projiziert wird. Die auf das Retikel **50** auftreffende Beleuchtung hat die Form eines Spaltes, dargestellt durch das in **Fig. 3** gezeigte Rechteck **30**. Das Retikel **50** und der Wafer **52** werden in diesem Fall gescannt, so dass der Spalt und sein Bild über das Retikel **50** bzw. den Wafer **50** streichen. Der Beleuchter **40** umfasst einen Spiegel **56**. Der Spiegel **56** ist schräg stellbar, so dass sein Winkel gewählt werden kann, um den Beleuchtungsstrahl abzulenken (auf diese Weise beträgt der durchschnittliche Einfallswinkel **123** der auf das Retikel **50** fallenden Strahlung nicht länger 90), um den nicht kreisförmig symmetrischen Telezentritätsfehler des Projektionssystems **54** zu kompensieren.

[0044] Ein planarer Spiegel **56** kann dazu verwendet werden, eine (grobe) Telezentritätsfehlerkompensation bereitzustellen. Gemäß einem anderen Beispiel kann der Spiegel **56** jedoch mit einem Profil versehen sein, um eine genauere Telezentritätsfehlerkompensation bereitzustellen, um der notwendigen Fehlerkompensation für eine perfekte Übereinstimmung mit dem inhärenten Telezentritätsfehler des Projektionssystems **10** genauer zu entsprechen, wie in **Fig. 3** gezeigt.

[0045] Eine Ausführungsform der Erfindung ist in **Fig. 5** gezeigt. Bei dieser Ausführungsform befindet sich ein keilförmiges durchlässiges optisches Element **58** im Beleuchtungsstrahlpfad. Gemäß einer Ausführungsform kann das Element **58** einfach ein keilförmiges Prisma zum Bereitstellen einer (groben) Telezentritätsfehlerkompensation sein. Bezug nehmend auf **Fig. 3** kann eine Linse jedoch mit demselben Durchmesser wie die Apertur des Projektionssystems ausgeführt und auf der optischen Achse O zentriert sein und zur Kompensation des Telezentritätsfehlers, wie z.B. durch die Konturen **20** bis **26** gezeigt, angefertigt werden. Ein Abschnitt dieser Linse kann dann aus einer Seite herausgeschnitten werden, welcher groß genug ist, um den Durchmesser des Beleuchters **32** oder zumindest den vom Spalt **30** umgebenen Abschnitt abzudecken. Dieser Abschnitt der Linse ist keilförmig und verfügt über eine asymmetrische Telezentritätsfehlerkompensation als Funktion der Position, die im Allgemeinen ansonsten äußerst schwierig herzustellen wäre. Unter Verwendung dieser Technik könnten wenigstens zwei keilförmige Elemente **58** aus einer einzelnen Linse erhalten werden. Das Profil des keilförmigen Elements **58** ist derart, dass der Strahl, an jeder Position auf dem Element, um einen Winkel abgelenkt wird, der dazu ge-

eignet ist, den durch die (vorstehend genannten) Winkelwerte der Konturen **20** bis **26** angegebenen Telezentritätsfehler zu kompensieren.

[0046] Das optische Element **58** könnte im Prinzip an einer beliebigen Stelle in dem durch den Beleuchter **40** verlaufenden optischen Strahlpfad angeordnet werden. Bei einer Ausführungsform, wie in [Fig. 5](#) gezeigt, ist das Element nahe dem Retikel **50** angeordnet. Es wirkt dann wie eine so genannte Feldlinse. Feldlinsen beeinflussen typischerweise die durchschnittliche Ausbreitungsrichtung eines Strahlungsstrahls (den durchschnittlichen Strahlwinkel) als Funktion der Seitenposition des Strahls an der Feldlinse, ohne die Apertur des Strahls erheblich zu beeinflussen. Eine Telezentritätsfehlerkompensation besteht aus dem Einstellen des Einfallswinkels **123** des auf das Retikel **50** fallenden Beleuchtungsstrahls als Funktion der Position, bevorzugt ohne die Apertur (σ -Außen- und σ -Inneneinstellungen) des Beleuchtungsstrahls erheblich zu beeinflussen. Somit führt eine Feldlinse diese exakte Funktion aus. Alternativ könnte das optische Element **58** nahe der Retikelabdeckungseinrichtung **46** angeordnet werden. An anderen Positionen im Beleuchter **40** ist nicht dieselbe Unterscheidung zwischen Position und Winkeln gegeben, die Pupillenebene **60** beispielsweise entspricht der Fourier-Transformation der Strahlverteilung am Retikel **50**, so dass Positionen in der Ebene **60** den Einfallswinkeln am Retikel **50** entsprechen. Folglich ist es schwieriger, die geeignete Telezentritätsfehlerkompensation an einer allgemeinen Position im Beleuchter **40** bereitzustellen. Das keilförmige Element **58** könnte selbstverständlich in anderen konjugierten Ebenen im Beleuchter **40** angeordnet werden, da die Variation des Winkels mit der Position zwischen konjugierten Ebenen entsprechend wäre.

[0047] Die Merkmale der vorstehend beschriebenen und in [Fig. 5](#) dargestellten Ausführungsform und das Beispiel gemäß [Fig. 4](#) könnten selbstverständlich in Kombination verwendet werden, beispielsweise bei einem Beleuchter **40**, der einen schräg stellbaren Spiegel und ein keilförmiges optisches Element umfasst. Alternativ oder zusätzlich dazu, könnte das keilförmige optische Element schräg stellbar sein, um eine Einstellung der Telezentritätsfehlerkorrektur bereitzustellen.

[0048] Obgleich spezifische Ausführungsformen der Erfindung vorstehend beschrieben worden sind, versteht es sich, dass die Erfindung auch anders als beschrieben in die Praxis umgesetzt werden kann. Die Beschreibung soll die Erfindung nicht einschränken, welche durch die nachfolgenden Ansprüche definiert ist.

Patentansprüche

1. Lithographischer Projektionsapparat mit:

- einem Beleuchtungssystem (IL, **40**) zum Bereitstellen eines aus Strahlung bestehenden Projektionsstrahls (PB),
- einer Einrichtung zum Halten einer Mustereinrichtung (MA, **50**), wobei die Mustereinrichtung zum Versehen des Projektionsstrahl (PB) mit Mustern in Übereinstimmung mit einem gewünschten Muster dient,
- einem Substrattisch (WT) zum Halten eines Substrats (W, **52**), und
- einem Projektionssystem (PL, **54**) zum Abbilden des gemusterten Strahls auf einem Zielabschnitt (C) des Substrats (W, **52**), das so angeordnet ist, dass der gemusterte Strahl im Betrieb in Bezug auf die optische Achse (O) des Projektionssystems (PL, **54**) achsenentfernt projiziert wird, **dadurch gekennzeichnet**, dass die optische Achse (O') des Beleuchtungssystems seitlich versetzt ist, so dass sie im Wesentlichen parallel zur optischen Achse (O) des Projektionssystems (PL, **54**), jedoch in Bezug auf diese achsenentfernt, verläuft und dadurch, dass ferner ein keilförmiges durchlässiges optisches Element (**58**) als Kompensationseinrichtung zum Kompensieren von Telezentritätsfehlern des Projektionssystems (PL, **54**) enthalten ist.

2. Apparat nach Anspruch 1, der die Mustereinrichtung (MA **50**) umfasst.

3. Apparat nach Anspruch 1 oder 2, wobei die Kompensationseinrichtungen (**58**) in Bezug auf die optische Achse (O') des Beleuchtungssystems (**40**) schräg gestellt sind, um Telezentritätsfehler im Projektionssystem (PL, **54**) zu kompensieren.

4. Apparat nach Anspruch 3, wobei die Kompensationseinrichtungen (**58**) schräg stellbar sind, um eine Einstellung der Telezentritätsfehlerkompensation zu ermöglichen.

5. Apparat nach einem der Ansprüche 1 bis 4, wobei die Kompensationseinrichtungen ferner ein reflektierendes Element (**56**) umfassen.

6. Apparat nach Anspruch 5, wobei das reflektierende Element (**56**) ein nicht planares Profil hat.

7. Apparat nach einem der vorhergehenden Ansprüche, wobei das keilförmige optische Element (**58**) eine Prismenplatte umfasst.

8. Apparat nach einem der Ansprüche 1 bis 6, wobei das keilförmige optische Element (**58**) einen aus einer im Wesentlichen axial symmetrischen Linse bestehenden Abschnitt umfasst.

9. Apparat nach einem der vorhergehenden Ansprüche, wobei die Kompensationseinrichtungen (**58**) nahe einer Position der Mustereinrichtung (**50**) oder in einer im Wesentlichen dazu konjugierten Po-

sition angeordnet sind.

10. Verfahren zur Herstellung einer Vorrichtung, das die Schritte umfasst:

- Bereitstellen eines Substrats (W, **52**), das wenigstens teilweise mit einer Schicht aus strahlungsempfindlichem Material überzogen ist,
- Bereitstellen eines aus Strahlung bestehenden Projektionsstrahls (PB) unter Verwendung eines Bestrahlungssystems (LA, Ex, IL),
- Verwenden einer Mustereinrichtung (MA, **50**) zum Versehen des Projektionsstrahl (PB) mit einem Muster in seinem Querschnitt, und
- Projizieren des aus Strahlung bestehenden gemusterten Strahls auf einen Zielabschnitt (C) der Schicht aus strahlungsempfindlichem Material unter Verwendung eines Projektionssystems (PL, **54**), wobei der gemusterte Projektionsstrahl in Bezug auf die optische Achse (O) des Projektionssystems (PL, **54**) achsenentfernt projiziert wird, dadurch gekennzeichnet, dass die optische Achse (O') des Beleuchtungssystems seitlich versetzt ist, so dass sie im Wesentlichen parallel zur optischen Achse (O) des Projektionssystems (PL, **54**), jedoch in Bezug auf diese achsenentfernt, verläuft und dadurch, dass ferner ein keilförmiges durchlässiges optisches Element (**58**) als Kompensationseinrichtung zum Durchführen einer Kompensation von Telezentritätsfehlern des Projektionssystems (PL, **54**) eingesetzt wird.

Es folgen 3 Blatt Zeichnungen

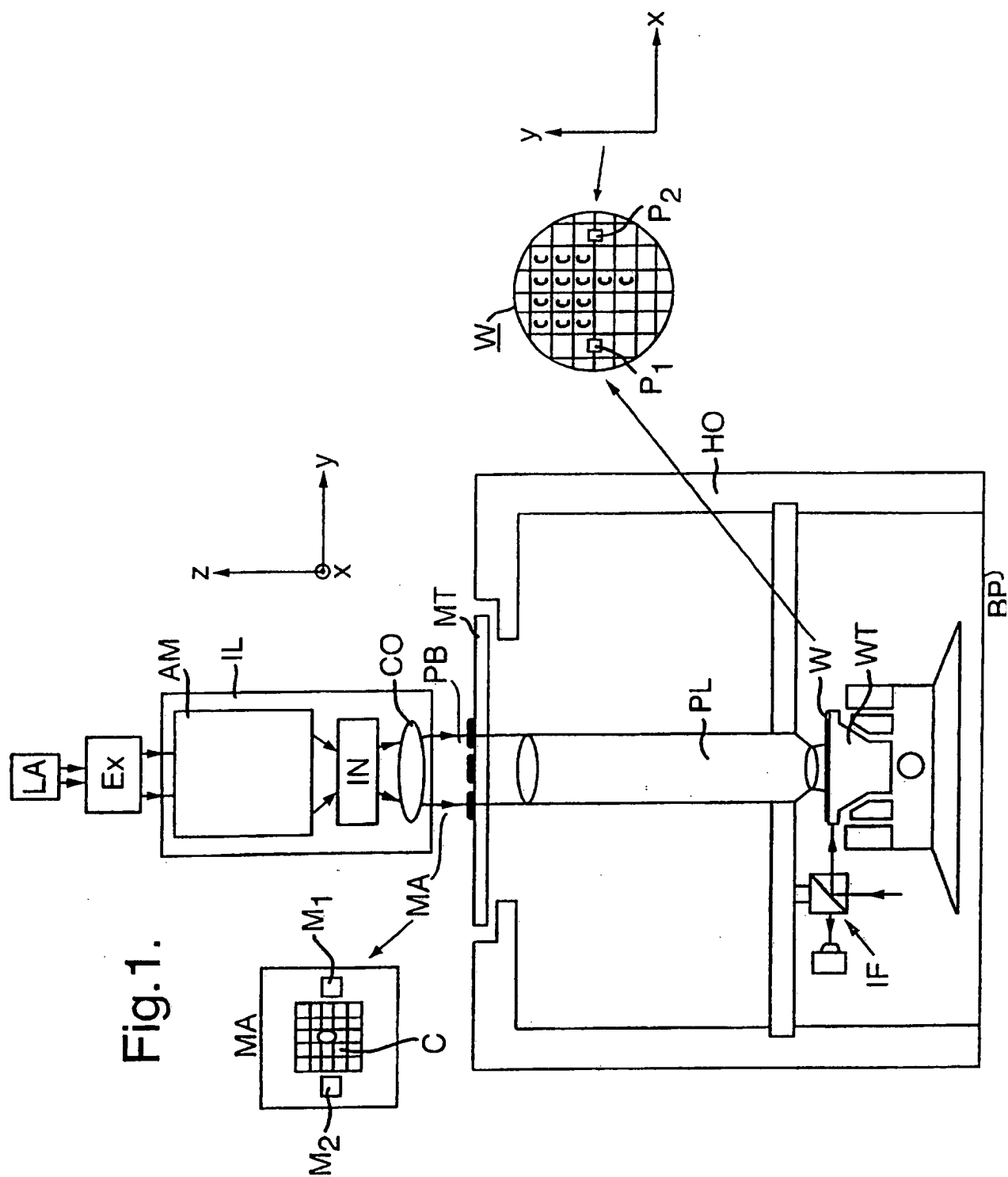


Fig.2.

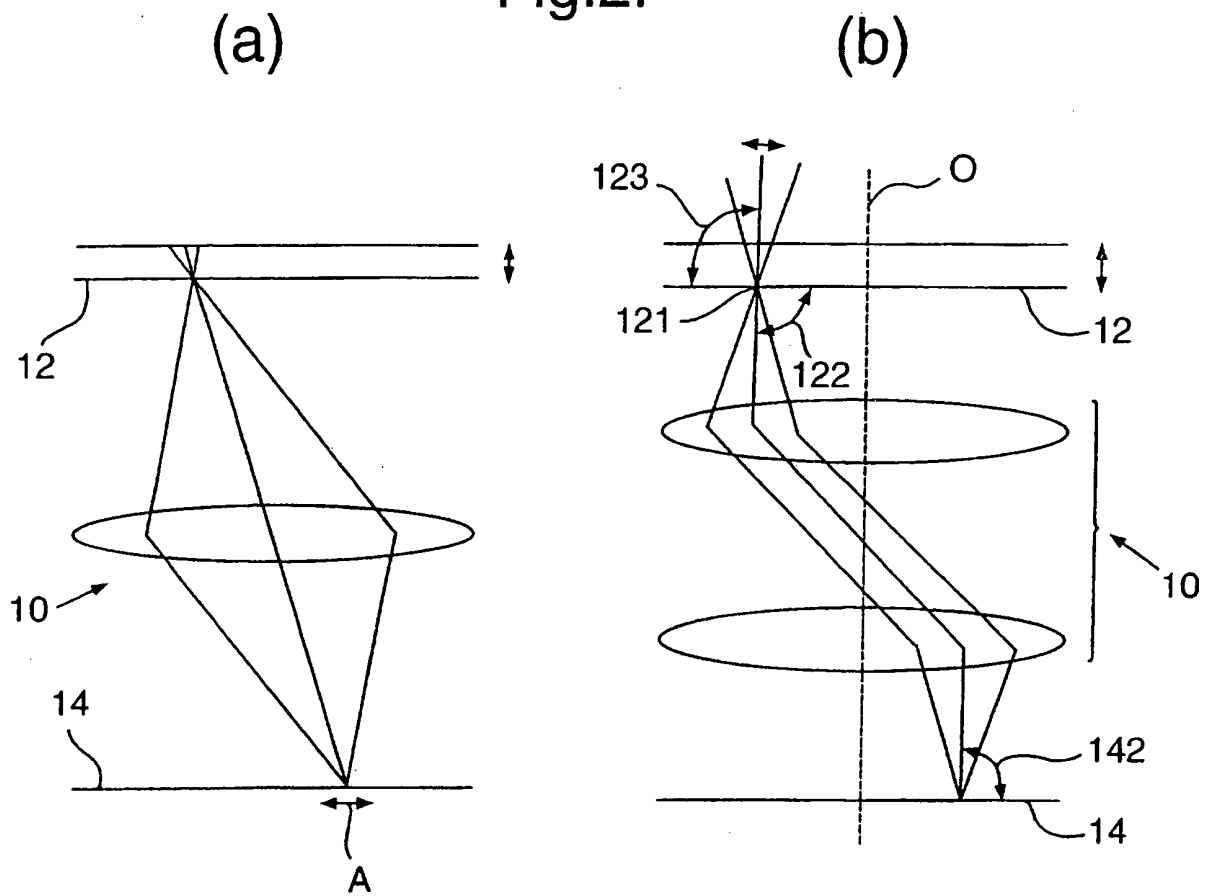


Fig.3.

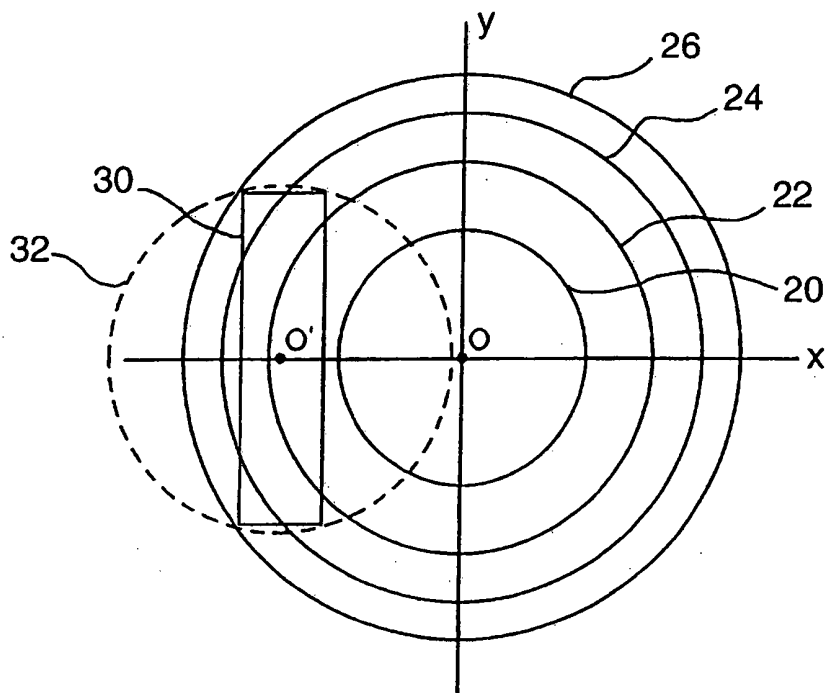


Fig.4.

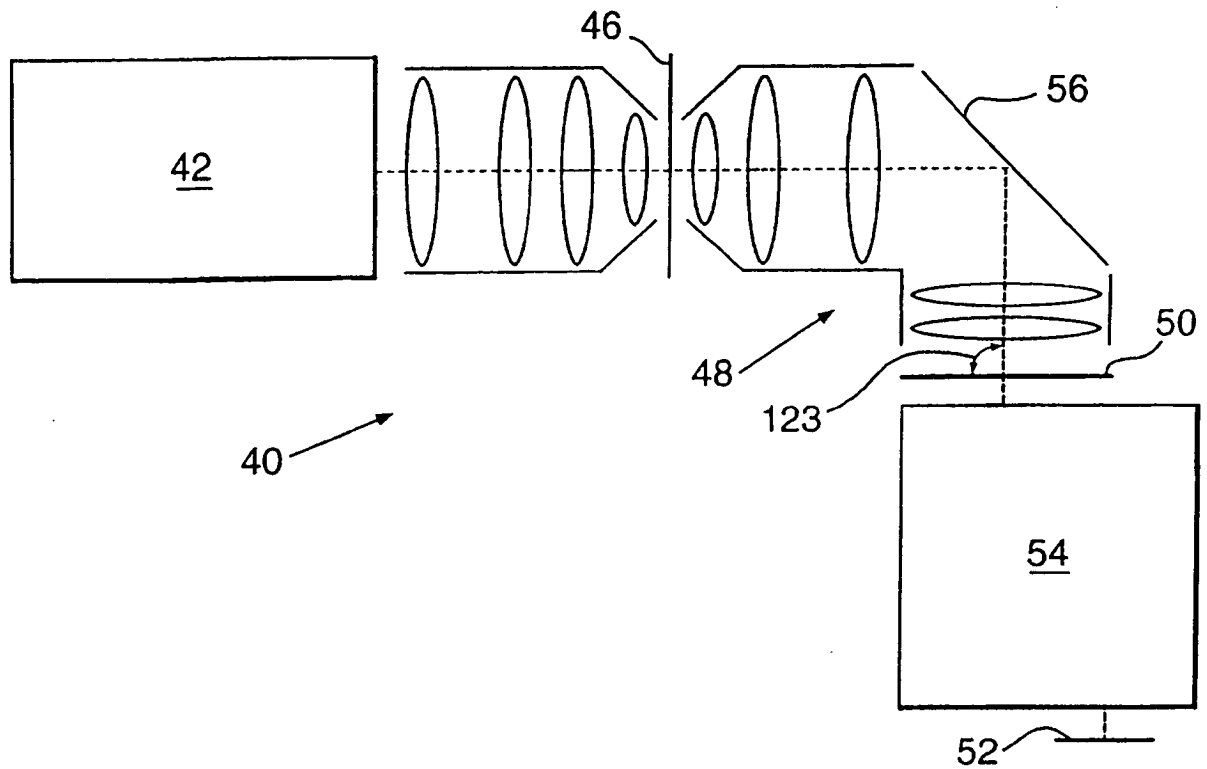


Fig.5.

