

(19)



Europäisches Patentamt
European Patent Office
Office européen des brevets



(11)

EP 1 471 539 B1

(12)

EUROPÄISCHE PATENTSCHRIFT

(45) Veröffentlichungstag und Bekanntmachung des
Hinweises auf die Patenterteilung:
23.08.2006 Patentblatt 2006/34

(51) Int Cl.:
G21K 7/00^(2006.01) G21K 1/06^(2006.01)

(21) Anmeldenummer: **03016371.1**

(22) Anmeldetag: **19.07.2003**

(54) **Abbildungssystem für ein, auf extrem ultravioletter (EUV) Strahlung basierendem Mikroskop**

Imaging system for microscope based on extreme ultraviolet (EUV) radiation

Système d'imagerie pour un microscope à base de rayonnement extrême ultraviolet (EUV)

(84) Benannte Vertragsstaaten:
**AT BE BG CH CY CZ DE DK EE ES FI FR GB GR
HU IE IT LI LU MC NL PT RO SE SI SK TR**

(30) Priorität: **25.04.2003 DE 10319269**

(43) Veröffentlichungstag der Anmeldung:
27.10.2004 Patentblatt 2004/44

(73) Patentinhaber: **Carl Zeiss Microelectronic
Systems GmbH
07745 Jena (DE)**

(72) Erfinder:

- **Dobschal, Hans-Jürgen**
99510 Kleinromstedt (DE)
- **Greif-Wüstenbecker, Jörn**
07743 Jena (DE)
- **Brunner, Robert**
07743 Jena (DE)
- **Rosenkranz, Norbert**
07629 Reichenbach (DE)

- **Scherübl, Thomas**
07745 Jena (DE)

(74) Vertreter: **Muhsfeldt, Willi**
Carl Zeiss Jena GmbH
Servicebereich Recht und Patente
Carl-Zeiss-Promenade 10
07745 Jena (DE)

(56) Entgegenhaltungen:
US-A- 5 719 915 US-A- 6 118 577
US-B1- 6 522 717

- **SNIGIREV A ET AL: "High energy X-ray phase
contrast microscopy using a circular Bragg-
Fresnel lens" OPTICS COMMUNICATIONS,
NORTH-HOLLAND PUBLISHING CO.
AMSTERDAM, NL, Bd. 135, Nr. 4, 15. Februar 1997
(1997-02-15), Seiten 378-384, XP004016534 ISSN:
0030-4018**

EP 1 471 539 B1

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).

Beschreibung

[0001] Die vorliegende Erfindung betrifft ein reflektives Abbildungssystem für ein Röntgenmikroskop zur Untersuchung eines Objektes in einer Objektebene, wobei das Objekt mit Strahlen einer Wellenlänge < 100 nm, insbesondere < 30 nm beleuchtet und in eine Bildebene vergrößert abgebildet wird.

[0002] Die mikroskopische Untersuchung von Objekten mit Röntgenstrahlung wird vor allem in der Halbleiterindustrie immer wichtiger. Kleinere Strukturgrößen fordern konsequenterweise immer höhere Auflösungen, welche nur durch eine Verkürzung der Untersuchungswellenlänge erreicht werden kann. Besonders wichtig ist dies bei der mikroskopischen Inspektion von Masken für den Lithographieprozess. Dabei stellt die Lithographie mit extrem ultravioletter (EUV) Strahlung die aussichtsreichste Lösung für die Chipfertigung in den nächsten Jahren dar.

[0003] Nach dem Stand der Technik sind zahlreiche verschieden technische Lösungen zu Röntgenmikroskopen bekannt.

[0004] Die Anmeldungen US 5,222,113; US 5,311,565; US 5,177,774 und EP 0 459 833 zeigen Röntgenstrahlmikroskope, bei denen in der Projektionsoptik Zonenplatten für die Abbildung vorgesehen sind. Bei diesen Fresnelschen Zonenplatten handelt es sich um ein wellenoptisch abbildendes Element, bei dem das Licht an einem System aus konzentrisch angeordneten Kreisingen gebeugt wird. Der Nachteil der Verwendung von Fresnelschen Zonenplatten in den abbildenden Systemen mit mehreren optischen Elementen im Bereich der Röntgenstrahlung ist darin zu sehen, dass Fresnelsche Zonenplatten transmittive Bauteile sind, die aufgrund der schlechten Transmission im Röntgenbereich zu großen Lichtverlusten führen.

[0005] Die US-Patente US 5,144,497, US 5,291,339 und US 5,131,023 betreffen Röntgenstrahlmikroskope bei denen Schwarzschild-Systeme als abbildende Systeme verwendet werden. Bei diesen Röntgenstrahlmikroskopen sind die Strahlengänge am zu untersuchenden Objekt telezentrisch ausgelegt, was eine Abbildung von Objekten in Reflexion erschwert.

[0006] Ein weiterer Nachteil derartiger Systeme für einen Einsatz zur Untersuchung von Objekten, insbesondere solchen, die im Bereich der Röntgenlithographie Verwendungen finden, ist deren große Baulänge zur Erzielung eines ausreichenden Abbildungsmaßstabes. Dies erschwert die Verwendung beispielsweise in Inspektionssystemen zur Untersuchung von Masken in EUV-Projektionsbelichtungsanlagen.

[0007] Aus US 6469827 und US 5022064 sind die Verwendung von diffraktiven Elementen zur spektralen Selektierung durch Beugung von Röntgenstrahlung bekannt. In beiden Schriften werden diese Elemente aber nur zur spektralen Aufspaltung und Selektierung von Röntgenstrahlung und nicht zur Korrektur oder Verbesserung von Abbildungseigenschaften verwendet. Auch

dieses System ist am Objekt telezentrisch ausgelegt, was eine Abbildung von Objekten in Reflexion erschwert.

[0008] Die Verwendung eines diffraktiven optischen Element mit brechungsverstärkender und achromatisierender Wirkung für ein Objektiv, insbesondere ein Mikroskopobjektiv wird in der DE-OS 101 30 212 beschrieben. Ein derartiges Objektiv ist aber für die EUV-Strahlung aufgrund der transmittiven optischen Elemente nicht einsetzbar. Da die EUV-Strahlung im Gegensatz zur UV-Strahlung in nahezu allen Materialien sehr stark absorbiert wird, ist die Verwendung von auf Transmission beruhenden optischen Bauelementen nicht möglich.

[0009] Ein reflektives Röntgenstrahlmikroskop zur Untersuchung eines Objektes für die Mikrolithographie in einer Objektebene mit Strahlung einer Wellenlänge < 100 nm, insbesondere < 30 nm, ist aus der JP 2001116900 bekannt. Das in dieser Anmeldung offenbarte Röntgenstrahlmikroskop ist ein Schwarzschild-System mit einem konkaven ersten Spiegel und einem konvexen zweiten Spiegel. Im Gegensatz zu den zuvor beschriebenen Systemen ist der Strahlengang zur Untersuchung des Objektes am Objekt nicht telezentrisch, so dass eine Untersuchung in Reflexion, beispielsweise von EUV-Reflexionsmasken, ermöglicht wird. Nachteilig an diesem System ist die sehr große Baulänge um große Abbildungsmaßstäbe zu erzielen.

[0010] Eine weitere Röntgenmikroskopische Anordnung ist beispielsweise in den Anmeldungen DE 102 20 815 und DE 102 20 816 beschrieben. Darin ist die Abbildungsoptik als rein reflektives System ausgelegt und hinsichtlich geringer Baulänge bei hohen Vergrößerungen optimiert. Dies wird u. a. durch die Verwendung stark asphärischer Spiegel erreicht. Nachteilig bei diesen Anordnungen ist, dass die Fertigungstoleranzen für die asphärischen Spiegel zum Erreichen einer hohen Bildgüte extrem anspruchsvoll sind und daher hohe Anforderungen an die Fertigungstechnologie und Messtechnik zu stellen sind.

[0011] Der vorliegenden Erfindung liegt die Aufgabe zugrunde ein Abbildungssystem für ein Röntgenmikroskop zu entwickeln, welches die im Stand der Technik bekannten Nachteile vermeidet. Weiterhin soll dabei eine hohe Abbildungsgüte bei einem vertretbaren Fertigungsaufwand erreicht werden.

[0012] Erfindungsgemäß wird die Aufgabe durch die Merkmale des unabhängigen Anspruches gelöst. Bevorzugte Weiterbildungen und Ausgestaltungen sind Gegenstand der abhängigen Ansprüche.

[0013] Das vorgeschlagene Abbildungssystem beinhaltet alle zu einer abbildenden Optik gehörenden optischen Elemente und erzeugt durch die extrem ultraviolette (EUV) Strahlung ein entsprechendes Zwischenbild. Dieses kann durch weitere Abbildungssysteme weiter verarbeitet, d. h. weiter vergrößert werden.

[0014] Durch Nutzung einer EUV-Strahlung von 13,5 nm ist das erfindungsgemäße Abbildungssystem beispielsweise in der Photolithographie einsetzbar.

[0015] Die Erfindung wird nachfolgend anhand eines

Ausführungsbeispielen beschrieben. Dazu zeigen

Figur 1: Strahlenverlauf im ersten Subsystem des Mikroskops,

Figur 2: einen vergrößerten Ausschnitt des Strahlenverlaufes im ersten Subsystem des Mikroskops und

Figur 3: eine schematische Gesamtansicht eines Inspektionssystems für Lithographiemasken, basierend auf EUV-Strahlung.

[0016] Bei dem erfindungsgemäßen Abbildungssystem für ein, auf extrem ultravioletter (EUV) Strahlung basierendem Mikroskop mit Wellenlängen im Bereich kleiner 100nm, mit einer Verkleinerung, bzw. Vergrößerung von 0,1 - 1000x und einer Baulänge kleiner 5m weist mindestens eines von mehreren der im Strahlengang vorhandenen abbildenden optischen Elemente **2** und **3** eine diffraktiv-reflektive Struktur in Form einer Linienstruktur auf. Die diffraktiv-reflektive Struktur ist dabei auf einer sphärischen oder einer planen Grundfläche eines oder beider abbildenden optischen Elemente **2** und **3** aufgebracht. Als sphärische Grundfläche sind konkave oder konvexe Krümmungen möglich.

[0017] Die diffraktiv-reflektiven Strukturen weisen eine nicht rotationssymmetrische, asymmetrische Form auf. Im speziellen Fall sind die Strukturen in der Meridional-ebene (entspricht der Zeichnungsebene) asymmetrisch, senkrecht dazu sind sie symmetrisch. Die diffraktiv-reflektiven Strukturen lassen sich beispielsweise durch folgendes Polynom der Phasenverteilung φ beschreiben:

$$\varphi(x, y) = \sum a_i x^m y^n$$

mit

x, y Koordinaten

a_i Koeffizienten

i Summationsindex

m, n ganze Zahlen.

[0018] Um eine Gesamtvergrößerung von 5 - 1000x realisieren zu können wird dem ersten Abbildungssystem ein weiteres Abbildungssystem nachgeordnet. Das zweite Abbildungssystem kann dabei auf einer Röntgenabbildung, einer elektro-optischen Abbildung oder einer Abbildung, die eine Strahlung oberhalb 200nm verwendet, basieren. Im einfachsten Fall kann das zweite Abbildungssystem auch ein weiteres abbildendes optisches Element mit einer sphärisch konvexen Grundfläche

ohne eine diffraktiv wirkende Struktur sein.

[0019] Das erfindungsgemäße Abbildungssystem ist vorzugsweise für Wellenlängen im Bereich kleiner 30nm, bei einer Vergrößerung von 5 - 1000x und einer Baulänge kleiner 3m vorgesehen.

[0020] In einer weiteren Ausgestaltung weist das Abbildungssystem zwei abbildende optische Elemente **2** und **3** mit jeweils einer diffraktiv-reflektiven Struktur auf, wobei das erste abbildende optische Element **2** über eine konkave Grundfläche und das zweite abbildende optische Element **3** über eine konvexe Grundfläche für die jeweilige diffraktiv-reflektive Struktur verfügen. Die abbildenden optischen Elemente **2** und **3** sind so angeordnet, dass sich die optischen Wege einmal kreuzen. Außerdem ist die optische Achse des Abbildungssystems dabei zur Objektnormalen geneigt.

[0021] Die abbildenden optischen Elemente **2** und **3** können aber auch so angeordnet sein, dass sich die optischen Wege nicht kreuzen.

[0022] In einer besonders vorteilhaften Ausgestaltung kann das erfindungsgemäße Abbildungssystem als Basis für ein Inspektionssystem für Lithographiemasken verwendet werden. Für Anwendungen in der Lithographie konzentrieren sich die Arbeiten auf Wellenlängen um 13,5nm, da sich nur hier effiziente Optiken für die erforderlichen Belichtungssysteme herstellen lassen.

[0023] Das erste abbildende optische Element **2** mit sphärisch konkaver Grundfläche verfügt dabei beispielsweise über eine diffraktiv-reflektiv wirkende Struktur mit ca. 240 Linien/mm und das zweite abbildende optische Element **3** mit sphärisch konvexer Grundfläche über eine diffraktiv-reflektiv wirkende Struktur mit ca. 660 Linien/mm. Die abbildenden optischen Elemente **2** und **3** sind dabei so angeordnet, dass sich die optischen Wege einmal kreuzen.

[0024] In **Figur 1** und **Figur 2** (vergrößerter Ausschnitt) sind die entsprechenden Strahlenverläufe im Abbildungssystem, ausgehend vom zu untersuchenden Objekt **1**, über die abbildenden optischen Elemente **2** und **3**, bis hin zum erzeugten Zwischenbild **4** dargestellt. Der dargestellte Strahlenverlauf betrifft ein Abbildungssystem für ein, auf extrem ultravioletter (EUV) Strahlung basierendem Mikroskop bzw. einem entsprechenden Inspektionssystem für Lithographiemasken.

[0025] **Figur 4** zeigt die schematische Gesamtansicht eines Inspektionssystems für Lithographiemasken, basierend auf EUV-Strahlung.

[0026] Die EUV-Strahlung wird im Gegensatz zur UV-Strahlung in nahezu allen Materialien sehr stark absorbiert. Da die Absorptionslänge in Luft bei Normaldruck weit unter 1 mm liegt, kann sich die EUV-Strahlung nur im Vakuum über die für die EUV-Lithografie notwendigen Entfernungen nahezu verlustfrei ausbreiten.

[0027] Ausgehend von der Strahlungsquelle **5** wird die EUV-Strahlung von der Beleuchtungsoptik **6** auf das Objekt **1** fokussiert. Die vom Objekt **1** reflektierte EUV-Strahlung wird von der Abbildungsoptik **7** als Zwischenbild **4** auf eine Wandlerschicht fokussiert. Das erfindungsge-

mäße Teilsystem ausgehend von der Objektebene 1 bis zum Zwischenbild 4, auf der Wandlerschicht wird auch als erstes Subsystem bezeichnet und basiert vollständig auf der EUV-Strahlung.

[0028] Das so erzeugte Zwischenbild 4 kann beispielsweise von einem zweiten Subsystem weiter vergrößert werden. Das zweite Subsystem kann hierbei sowohl auf der EUV-Strahlung als auch einer anderen Wellenlänge basieren.

[0029] Von der Wandlerschicht (Zwischenbild 4) wird die EUV-Strahlung beispielsweise in VIS-Strahlung umgewandelt. Diese VIS-Strahlung wird von einer als zweites Subsystem eingesetzten weiteren Abbildungsoptik 8, welche gleichzeitig als Fenster der Vakuumkammer 10 ausgebildet ist, auf einen Kamerachip 9 abgebildet. Der Kamerachip 9 dient der Kontrolle der Bestrahlung.

[0030] Mit der erfindungsgemäßen Anordnung wird ein Abbildungssystem zur Verfügung gestellt, welches die im Stand der Technik bekannten Nachteile vermeidet und eine hohe Abbildungsgüte gewährleistet. Der Fertigungsaufwand bleibt durch die ausschließliche Verwendung sphärischer Spiegel vertretbar.

[0031] Die mikroskopische Untersuchung von Objekten mit Röntgenstrahlung, insbesondere mit extrem ultravioletter (EUV) Strahlung wird vor allem in Halbleiterindustrie immer wichtiger. Kleiner Strukturgrößen fordern konsequenterweise immer höhere Auflösungen, welche nur durch eine Verkürzung der Untersuchungswellenlänge erreicht werden kann. Besonders wichtig ist dies bei der mikroskopischen Inspektion von Masken für den Lithographieprozess.

[0032] Besonders wichtig wird die Röntgenmikroskopie bei Verfahren, wie beispielsweise dem sogenannten AIMS (Aenai Imaging Measurement). Bei dem AIMS Verfahren wird der Lithographiestepper durch eine preisgünstigere und einfachere mikroskopische Anordnung simuliert. Wichtig dabei ist, dass die Abbildung mit der gleichen Wellenlänge von z. B. 13,5nm, den gleichen Beleuchtungsbedingungen und der gleichen Bildgüte wie bei einem EUV-Stepper erzeugt wird. Im Gegensatz zum Stepper ist aber das Bildfeld mit ca. 10µm statt mehrere mm wesentlich kleiner. Ein weiterer Unterschied ist, dass die Maske typischerweise 10 - 1000fach vergrößert auf eine Kamera abgebildet werden.

Patentansprüche

1. Reflektives Abbildungssystem für ein, auf extrem ultravioletter (EUV) Strahlung basierendem Mikroskop mit Wellenlängen im Bereich $< 100\text{nm}$, mit einer Verkleinerung, bzw. Vergrößerung von 0,1 - 1000x und einer Baulänge $< 5\text{m}$, bei dem mindesten eines von mehreren der im Strahlengang vorhandenen abbildenden optischen Elemente eine diffraktiv-reflektive Struktur in Form einer Linienstruktur aufweist
2. Reflektives Abbildungssystem nach Anspruch 1, bei

dem die diffraktiv-reflektive Struktur auf einer sphärischen oder einer planen Grundfläche aufgebracht ist und eine nicht rotationssymmetrische, asymmetrische Form aufweist.

3. Reflektives Abbildungssystem nach Anspruch 1 und 2, bei dem die sphärischen Grundflächen konkav oder konvex ausgeprägt ist.
4. Reflektives Abbildungssystem nach mindestens einem der vorgenannten Ansprüche, bei dem zwei abbildenden optischen Elemente mit jeweils einer diffraktivreflektiven Struktur versehen sind, wobei das erste abbildende optische Element eine konkave und das zweite abbildende optische Element eine konvexe sphärische Grundfläche für die jeweilige diffraktiv-reflektive Struktur aufweisen.
5. Reflektives Abbildungssystem nach mindestens einem der vorgenannten Ansprüche, bei dem die abbildenden optischen Elemente so angeordnet sind, dass sich die optischen Wege mindestens einmal kreuzen.
6. Inspektionssystem für Lithographiemasken basierend auf einem reflektiven Abbildungssystem nach mindestens einem der vorgenannten Ansprüche, bei dem ein erstes abbildendes optisches Element mit sphärisch konkaver Grundfläche eine diffraktiv-reflektiv wirkende Struktur mit ca. 240 Linien/mm und ein zweites abbildendes optisches Element mit sphärisch konvexer Grundfläche eine diffraktiv-reflektiv wirkende Struktur mit ca. 660 Linien/mm aufweisen und sich die optischen Wege einmal kreuzen.

Claims

1. Reflective imaging system for a microscope based on extreme ultraviolet (EUV) radiation having wavelengths in the range $< 100\text{ nm}$, having a reduction or magnification of 0.1 - 1000 x and a structural length $< 5\text{ m}$, wherein at least one of the plurality of imaging optical elements provided in the beam path has a diffractive-reflective structure in the form of a line structure.
2. Reflective imaging system as claimed in Claim 1, wherein the diffractive-reflective structure is arranged on a spherical or planar base area and has a non-rotationally symmetric, asymmetric shape.
3. Reflective imaging system as claimed in Claim 1 and 2, wherein the spherical base areas is *[sic]* shaped so as to be concave or convex.
4. Reflective imaging system as claimed in at least one of the preceding Claims, wherein two imaging optical

elements are provided in each case with a diffractive-reflective structure, wherein the first imaging optical element has a concave spherical base area and the second imaging optical element has a convex spherical base area for the respective diffractive-reflective structure.

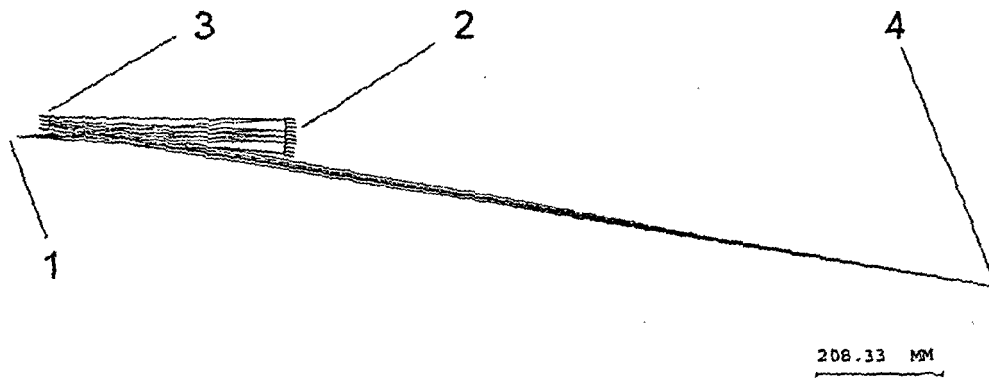
5. Reflective imaging system as claimed in at least one of the preceding Claims, wherein the imaging optical elements are arranged such that the optical paths intersect at least once. 5
6. Inspection system for lithography masks based on a reflective imaging system as claimed in at least one of the preceding Claims, wherein a first imaging optical element having a spherically concave base area has a diffractive-reflective structure having approximately 240 lines/mm, and a second imaging optical element having a spherically convex base area has a diffractive-reflective structure having approximately 660 lines/mm and the optical paths intersect once. 10 15 20

Revendications 25

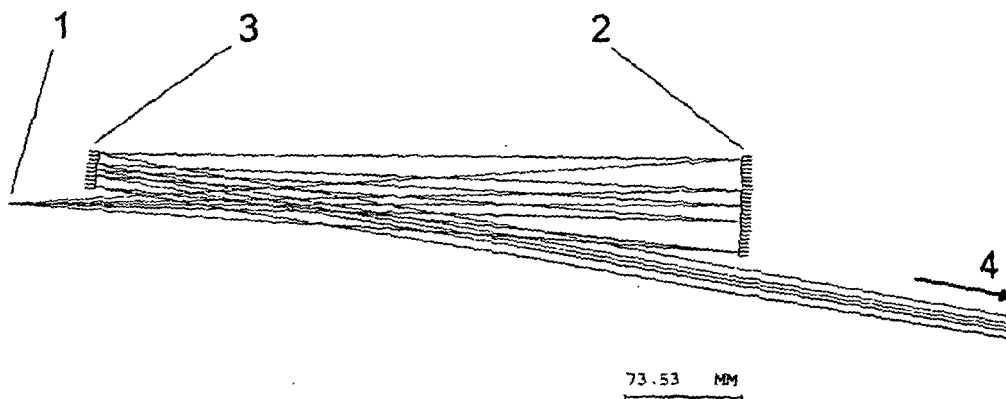
1. Système d'imagerie réfléchissant pour un microscope à base de rayonnement extrême ultraviolet (EUV) avec des longueurs d'ondes dans la plage de < 100 nm, avec une réduction respectivement un agrandissement de 0,1-1000x et une longueur de construction <5m, dans lequel au moins un de plusieurs éléments optiques de représentation, présents dans le trajet des rayons, présente une structure de diffraction-réflexion sous la forme d'une structure de lignes. 30 35
2. Système d'imagerie réfléchissant selon la revendication 1, où la structure de diffraction-réflexion est appliquée sur une face de base sphérique ou plane et présente une forme asymétrique, non symétrique en rotation. 40
3. Système d'imagerie réfléchissant selon la revendication 1 et 2, où les faces de base sphériques sont concaves ou convexes. 45
4. Système d'imagerie réfléchissant selon au moins l'une des revendications précédentes, dans lequel deux éléments optiques de représentation sont dotés chacun d'une structure de diffraction-réflexion, où le premier élément optique de représentation présente une face de base sphérique concave et le second élément optique de représentation une face de base sphérique convexe pour la structure de diffraction-réflexion respective. 50 55
5. Système d'imagerie réfléchissant selon au moins

l'une des revendications précédentes, dans lequel les éléments optiques de représentation sont disposés de façon que les chemins optiques se croisent au moins une fois.

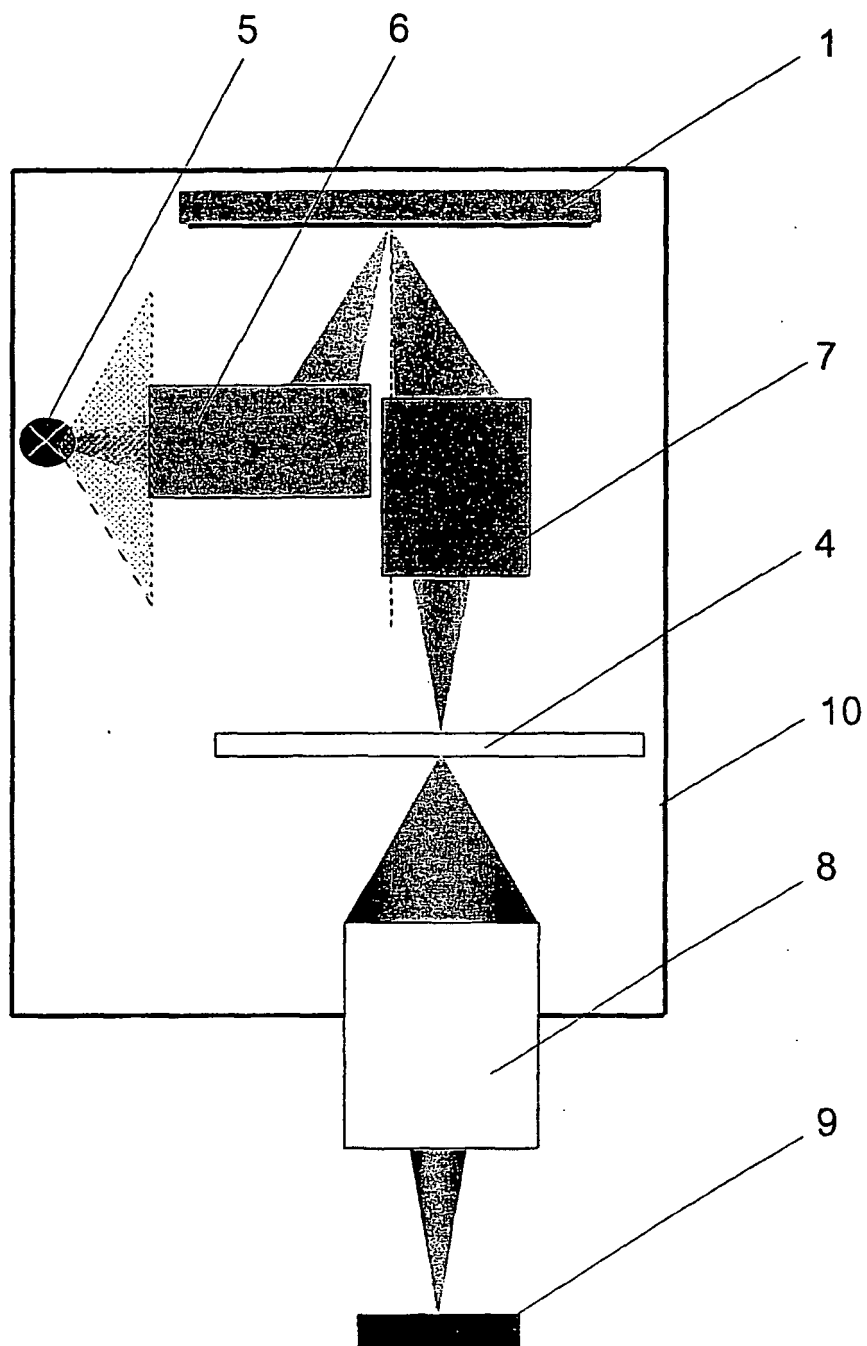
6. Système d'inspection pour des masques de lithographie basé sur un système d'imagerie réfléchissant selon au moins l'une des revendications précédentes, dans lequel un premier élément optique de représentation, à face de base sphérique concave, présente une structure à effet de diffraction-réflexion avec environ 240 lignes/mm, et un second élément optique de représentation, à face de base sphérique convexe, une structure à effet de diffraction-réflexion avec environ 660 lignes/mm, et dans lequel les chemins optiques se croisent une fois.



Figur 1



Figur 2



Figur 3