



(12) **EUROPÄISCHE PATENTANMELDUNG**

(43) Veröffentlichungstag:
27.10.2004 Patentblatt 2004/44

(51) Int Cl.7: **G21K 7/00, G21K 1/06**

(21) Anmeldenummer: **03016371.1**

(22) Anmeldetag: **19.07.2003**

(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
 Benannte Erstreckungsstaaten:
AL LT LV MK

- **Greif-Wüstenbecker, Jörn**
35037 Marburg (DE)
- **Brunner, Robert**
07743 Jena (DE)
- **Rosenkranz, Norbert**
07629 Reichenbach (DE)
- **Scherübl, Thomas**
07745 Jena (DE)

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

(71) Anmelder: **Carl Zeiss Microelectronic Systems GmbH**
07745 Jena (DE)

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

(72) Erfinder:
 • **Dobschal, Hans-Jürgen**
99510 Kleinromstedt (DE)

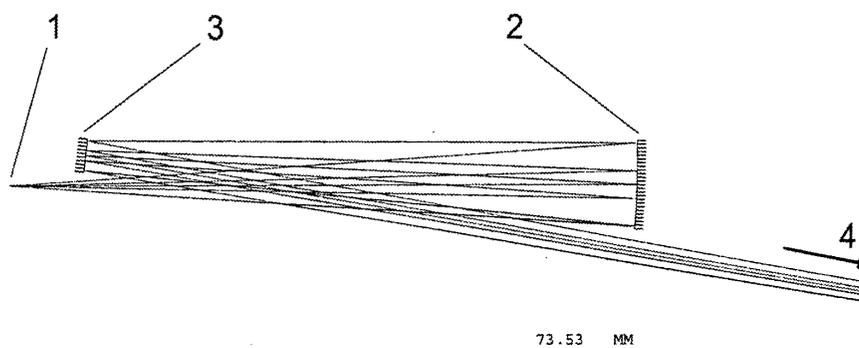
(54) **Abbildungssystem für ein, auf extrem ultravioletter (EUV) Strahlung basierendem Mikroskop**

(57) 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.

Bei dem erfindungsgemäßen Abbildungssystem für ein, auf extrem ultravioletter (EUV) Strahlung basierendem Mikroskop mit Wellenlängen im Bereich < 100nm, mit einer Vergrößerung von 0,1 - 1000x und einer Baulänge < 5m, weist mindestens eines der im Strahlen-

gang vorhandenen abbildenden optischen Elemente eine diffraktiv-reflektive Struktur auf, die auf einer sphärischen oder einer planen Grundfläche aufgebracht ist und über eine nicht rotationssymmetrische, asymmetrische Form verfügt.

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 ausschließlich Verwendung sphärischer Spiegel vertretbar.



Figur 2

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 verschiedenen 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 Kreisringen 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 der unabhängigen Ansprüche 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 bei-

spielsweise in der Photolithographie einsetzbar.

[0015] Die Erfindung wird nachfolgend anhand eines Ausführungsbeispiels 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 Vergrößerung von 0,1 - 100x und einer Baulänge kleiner 5m weist mindestens eines der im Strahlengang vorhandenen abbildenden optischen Elemente **2** und **3** eine diffraktiv-reflektive Struktur 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 Meridionalebene (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 erfindungsgemäße Teilsystem ausgehend von der Objek-

tebene 1 bis zum Zwischenbild 4, auf der Wandler-schicht 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.

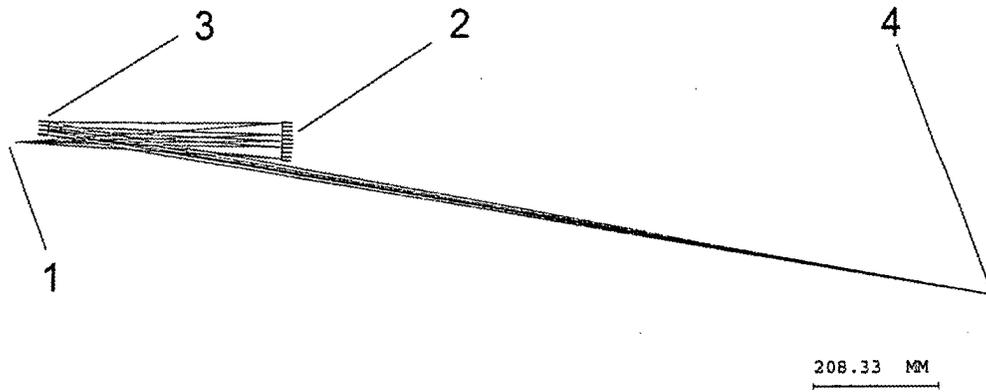
[0032] Besonders wichtig wird die Röntgenmikroskopie bei Verfahrenen, wie beispielsweise dem sogenannten AIMS (Aenai Imaging Measurement). Bei dem AIMS Verfahren wird der Lithographiestepper durch eine preisgünstigere und einfachere mikroskopische Anordnung simuliert. Wichtig dabei ist, dass die Abbildung 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

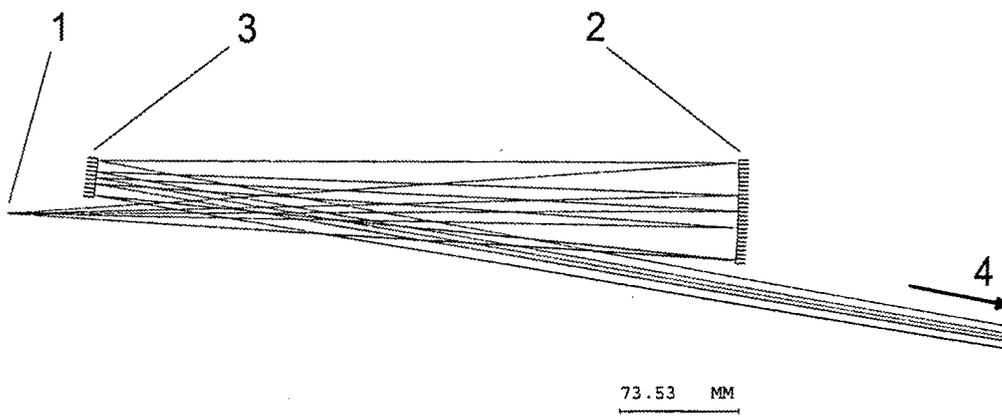
1. Abbildungssystem für ein, auf extrem ultravioletter (EUV) Strahlung basierendem Mikroskop mit Wellenlängen im Bereich $< 100\text{nm}$, mit einer Vergrößerung von 0,1 - 1000x und einer Baulänge $< 5\text{m}$, bei dem mindestens eines der im Strahlengang vorhandenen abbildenden optischen Elemente eine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

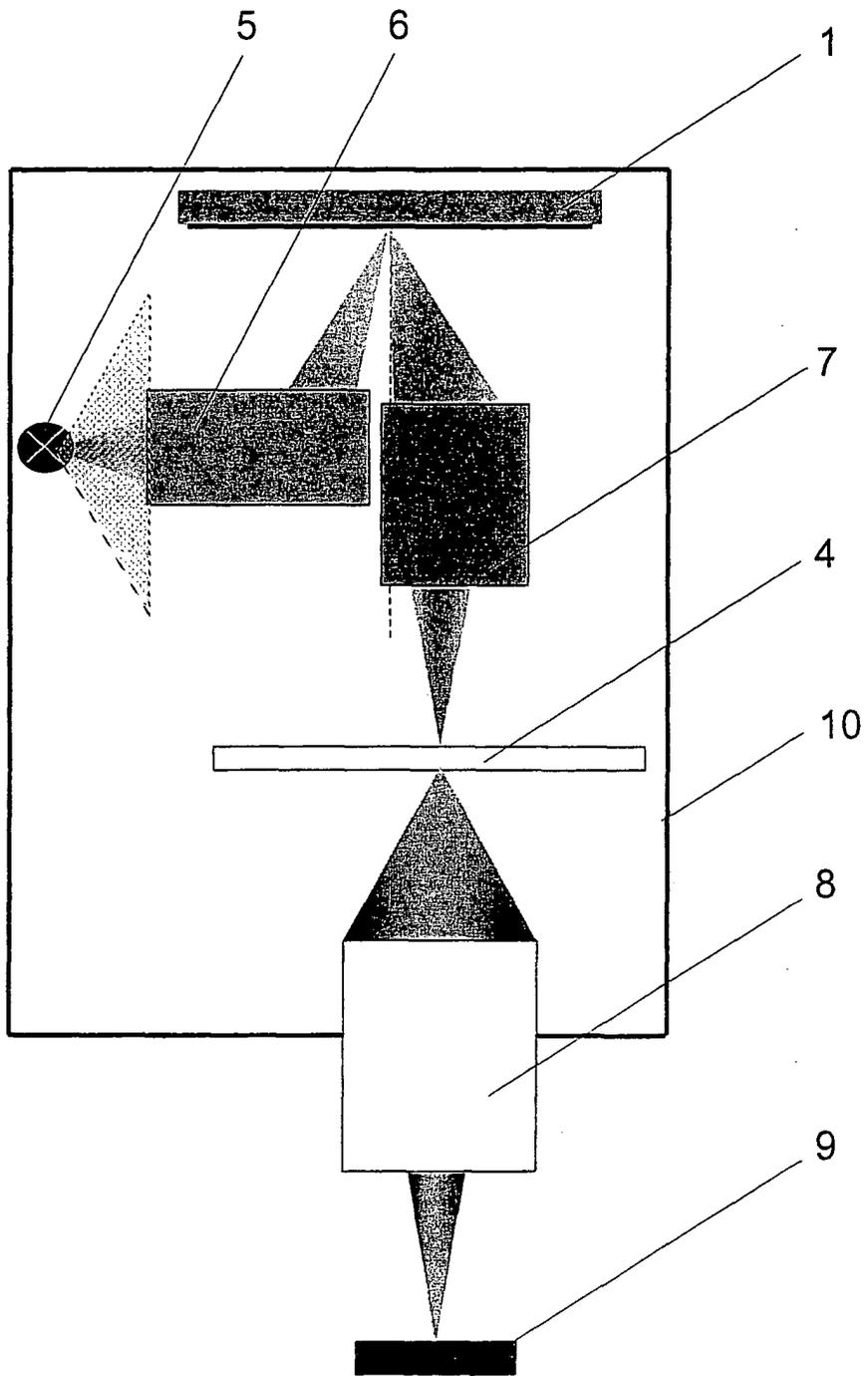
3. Abbildungssystem nach Anspruch 1 und 2, bei dem die sphärischen Grundflächen konkav oder konvex ausgeprägt ist.
4. Abbildungssystem nach mindestens einem der vorgenannten Ansprüche, bei dem zwei abbildenden optischen Elemente mit jeweils einer diffraktiv-reflektiven Struktur versehen sind, wobei das erste abbildende optische Element eine konkave und das zweite abbildende optische Element eine konvexe sphärische Grundfläche für die jeweilige diffraktiv-reflektive Struktur aufweisen.
5. Abbildungssystem nach mindestens einem der vorgenannten Ansprüche, bei dem die optische Achse des Abbildungssystems zur Objektnormalen geneigt ist.
6. Abbildungssystem nach mindestens einem der vorgenannten Ansprüche, bei dem die abbildenden optischen Elemente so angeordnet sind, dass sich die optischen Wege mindestens einmal kreuzen.
7. Abbildungssystem nach mindestens einem der vorgenannten Ansprüche, bei dem die abbildenden optischen Elemente so angeordnet sind, dass sich die optischen Wege nicht kreuzen.
8. Abbildungssystem nach mindestens einem der vorgenannten Ansprüche, bei dem ein weiteres Abbildungssystem nachgeordnet wird, um eine Gesamtvergrößerung von 5 - 10000x zu realisieren.
9. Inspektionssystem für Lithographiemasken basierend auf einem 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.



Figur 1



Figur 2



Figur 3



Europäisches
Patentamt

EUROPÄISCHER RECHERCHENBERICHT

Nummer der Anmeldung
EP 03 01 6371

EINSCHLÄGIGE DOKUMENTE			
Kategorie	Kennzeichnung des Dokuments mit Angabe, soweit erforderlich, der maßgeblichen Teile	Betrifft Anspruch	KLASSIFIKATION DER ANMELDUNG (Int.Cl.7)
X	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	1,8	G21K7/00 G21K1/06
Y	* Zusammenfassung * * Seite 380, linke Spalte - Seite 382, linke Spalte; Abbildungen 2,4 *	2-6	
Y	--- US 5 719 915 A (SUZUKI ISAO ET AL) 17. Februar 1998 (1998-02-17)	2	
A	* Spalte 2, Zeile 35 - Spalte 6, Zeile 7; Abbildungen 1-6 *	3	
D,Y	--- US 6 522 717 B1 (KONDO HIROYUKI ET AL) 18. Februar 2003 (2003-02-18)	3-6	
A	* Spalte 3, Zeile 10-14; Abbildungen 1,4,5 * * Spalte 6, Zeile 30 - Spalte 12, Zeile 21 *	9	RECHERCHIERTE SACHGEBIETE (Int.Cl.7) G21K
A	--- US 6 118 577 A (RAY-CHAUDHURL AVIJIT K ET AL) 12. September 2000 (2000-09-12) * das ganze Dokument *	1-9	
Der vorliegende Recherchenbericht wurde für alle Patentansprüche erstellt			
Recherchenort	Abschlußdatum der Recherche	Prüfer	
MÜNCHEN	7. November 2003	Korb, W	
KATEGORIE DER GENANNTEN DOKUMENTE		T : der Erfindung zugrunde liegende Theorien oder Grundsätze E : älteres Patentdokument, das jedoch erst am oder nach dem Anmeldedatum veröffentlicht worden ist D : in der Anmeldung angeführtes Dokument L : aus anderen Gründen angeführtes Dokument & : Mitglied der gleichen Patentfamilie, übereinstimmendes Dokument	
X : von besonderer Bedeutung allein betrachtet Y : von besonderer Bedeutung in Verbindung mit einer anderen Veröffentlichung derselben Kategorie A : technologischer Hintergrund O : mündliche Offenbarung P : Zwischenliteratur			

EPO FORM 1503 03 82 (P04C03)

**ANHANG ZUM EUROPÄISCHEN RECHERCHENBERICHT
 ÜBER DIE EUROPÄISCHE PATENTANMELDUNG NR.**

EP 03 01 6371

In diesem Anhang sind die Mitglieder der Patentfamilien der im obengenannten europäischen Recherchenbericht angeführten Patentdokumente angegeben.

Die Angaben über die Familienmitglieder entsprechen dem Stand der Datei des Europäischen Patentamts am
 Diese Angaben dienen nur zur Unterrichtung und erfolgen ohne Gewähr.

07-11-2003

Im Recherchenbericht angeführtes Patentdokument	Datum der Veröffentlichung	Mitglied(er) der Patentfamilie	Datum der Veröffentlichung
US 5719915 A	17-02-1998	JP 2690036 B2	10-12-1997
		JP 8262197 A	11-10-1996
		FR 2733854 A1	08-11-1996

US 6522717 B1	18-02-2003	JP 2001116900 A	27-04-2001

US 6118577 A	12-09-2000	AU 3788499 A	28-02-2000
		DE 1103018 T1	07-02-2002
		EP 1103018 A1	30-05-2001
		JP 2002522898 T	23-07-2002
		WO 0008526 A1	17-02-2000
		US 6210865 B1	03-04-2001
		US 6225027 B1	01-05-2001
		US 6285497 B1	04-09-2001
US 6469827 B1	22-10-2002		

EPO FORM P0461

Für nähere Einzelheiten zu diesem Anhang : siehe Amtsblatt des Europäischen Patentamts, Nr.12/82