

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

(19) Weltorganisation für geistiges Eigentum
Internationales Büro



(43) Internationales Veröffentlichungsdatum
20. November 2003 (20.11.2003)

PCT

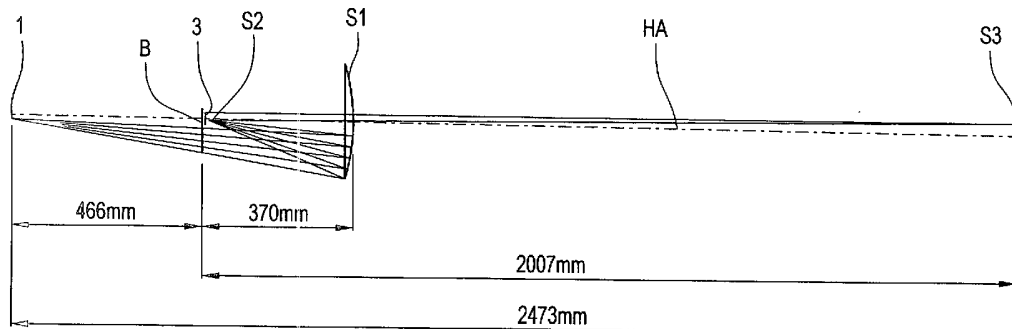
(10) Internationale Veröffentlichungsnummer
WO 03/096356 A2

- (51) Internationale Patentklassifikation⁷: **G21K** (72) **Erfinder; und**
(21) Internationales Aktenzeichen: PCT/EP03/04803 (75) **Erfinder/Anmelder (nur für US): MANN, Hans-Jürgen**
(22) Internationales Anmeldedatum: 8. Mai 2003 (08.05.2003) [DE/DE]; Katzenbachstrasse 49, 73447 Oberkochen (DE). **DINGER, Udo** [DE/DE]; Heinz-Küppenbender-Strasse 4, 73447 Oberkochen (DE). **ULRICH, Wilhelm** [DE/DE]; Lederackerring 44, 73434 Aalen (DE). **REINECKE, Wolfgang** [DE/DE]; Seestrasse 97B, 15783 Zeuthen (DE). **ENGEL, Thomas** [DE/DE]; Urbicher Weg 88, 99102 Erfurt (DE). **ZIBOLD, Axel** [DE/DE]; Biberweg 13, 07449 Jena (DE). **HARNISCH, Wolfgang** [DE/DE]; Am Müllergarten 4, 07778 Lehesten (DE). **WEDOWSKI, Marco** [DE/DE]; Otto-Schott-Strasse 15, 73447 Oberkochen (DE). **PAUSCHINGER, Dieter** [DE/DE]; Walporzheimer Strasse 5, 13465 Berlin (DE).
(25) Einreichungssprache: Deutsch
(26) Veröffentlichungssprache: Deutsch
(30) Angaben zur Priorität:
102 20 816.6 10. Mai 2002 (10.05.2002) DE
102 20 815.8 10. Mai 2002 (10.05.2002) DE
(71) **Anmelder (für alle Bestimmungsstaaten mit Ausnahme von US): CARL ZEISS SMT AG** [DE/DE]; Carl-Zeiss-Strasse 22, 73447 Oberkochen (DE). **CARL ZEISS MICROELECTRONIC SYSTEMS GMBH** [DE/DE]; Carl-Zeiss-Promenade 10, 07745 Jena (DE).
(74) **Anwalt: WEITZEL & PARTNER**; Friedenstrasse 10, 89522 Heidenheim (DE).
(81) **Bestimmungsstaaten (national):** AE, AG, AL, AM, AT, AU, AZ, BA, BB, BG, BR, BY, BZ, CA, CH, CN, CO, CR,

[Fortsetzung auf der nächsten Seite]

(54) **Title:** REFLECTIVE X-RAY MICROSCOPE AND INSPECTION SYSTEM FOR EXAMINING OBJECTS WITH WAVELENGTHS OF= 100NM

(54) **Bezeichnung:** REFLEKTIVES RÖNTGENMIKROSKOP UND INSPEKTIONSSYSTEM ZUR UNTERSUCHUNG VON OBJEKTEN MIT WELLENLÄNGEN $\leq 100\text{NM}$



(57) **Abstract:** The invention relates to a reflective X-ray microscope for examining an object on an object plane wherein the object is illuminated with radiation at a wavelength of $< 100\text{ nm}$, especially $< 30\text{ nm}$, and imaged in an enlarged form on an image plane, comprising a first sub-system which is arranged in the path of radiation from the object plane to the image plane and comprises a first mirror and a second mirror. The invention is characterized in that the reflective X-ray microscope has a second sub-system which is arranged downstream from the first sub-system in the path of radiation and which comprises a third mirror.

(57) **Zusammenfassung:** Die Erfindung betrifft ein reflektives Röntgenmikroskop zur Untersuchung eines Objektes in einer Objektebene, wobei das Objekt mit Strahlung einer Wellenlänge $< 100\text{ nm}$, insbesondere $< 30\text{ nm}$, beleuchtet und in eine Bildebene vergrößert abgebildet wird, mit einem im Strahlengang von der Objektebene zur Bildebene angeordneten ersten Subsystem umfassend einen ersten Spiegel und einen zweiten Spiegel. Die Erfindung ist dadurch gekennzeichnet, dass das reflektive Röntgenmikroskop ein dem ersten Subsystem im Strahlengang nachgeordnetes zweites Subsystem umfasst, das wenigstens einen dritten Spiegel aufweist.



WO 03/096356 A2



CU, CZ, DE, DK, DM, DZ, EC, EE, ES, FI, GB, GD, GE, GH, GM, HR, HU, ID, IL, IN, IS, JP, KE, KG, KP, KR, KZ, LC, LK, LR, LS, LT, LU, LV, MA, MD, MG, MK, MN, MW, MX, MZ, NO, NZ, OM, PH, PL, PT, RO, RU, SC, SD, SE, SG, SK, SL, TJ, TM, TN, TR, TT, TZ, UA, UG, US, UZ, VC, VN, YU, ZA, ZM, ZW.

PT, RO, SE, SI, SK, TR), OAPI-Patent (BF, BJ, CF, CG, CI, CM, GA, GN, GQ, GW, ML, MR, NE, SN, TD, TG).

Veröffentlicht:

— *ohne internationalen Recherchenbericht und erneut zu veröffentlichen nach Erhalt des Berichts*

(84) Bestimmungsstaaten (regional): ARIPO-Patent (GH, GM, KE, LS, MW, MZ, SD, SL, SZ, TZ, UG, ZM, ZW), eurasisches Patent (AM, AZ, BY, KG, KZ, MD, RU, TJ, TM), europäisches Patent (AT, BE, BG, CH, CY, CZ, DE, DK, EE, ES, FI, FR, GB, GR, HU, IE, IT, LU, MC, NL,

Zur Erklärung der Zweibuchstaben-Codes und der anderen Abkürzungen wird auf die Erklärungen ("Guidance Notes on Codes and Abbreviations") am Anfang jeder regulären Ausgabe der PCT-Gazette verwiesen.

Reflektives Röntgenmikroskop und Inspektionssystem zur Untersuchung von
Objekten mit Wellenlängen ≤ 100 nm

Die Erfindung betrifft ein reflektives Röntgenmikroskop zur Untersuchung eines
Objektes in einer Objektebene, wobei das Objekt mit Strahlengang einer
Wellenlänge < 100 nm, insbesondere < 30 nm beleuchtet und in eine Bildebene
vergrößert abgebildet wird. Ein derartiges reflektives Röntgenmikroskop umfaßt
ein im Strahlengang von der Objektebene zur Bildebene angeordnetes erstes
Subsystem, das wenigstens ein erstes optisches abbildendes Element,
vorzugsweise einen ersten Spiegel umfaßt. Röntgenmikroskope sind aus
nachfolgenden Anmeldungen bekannt geworden:

US 5,222,113

US 5,311,565

US 5,177,774

US 5,144,497

US 5,291,339

US 5,131,023

EP 0 459 833

Ein Schwarzschild-System mit nachgeordnetem Beugungsgitter ist aus der

US 5,022,064

bekannt geworden und ein Inspektionssystem mit reflektivem
Röntgenstrahlmikroskop aus der

JP 2001116900.

Die Anmeldungen US 5,222,113, US 5,311,565, US 5,177,774, EP 0 459 833
zeigen Röntgenstrahlmikroskope, bei denen in der Projektionsoptik Zonenplatten

für die Abbildung vorgesehen sind. Bei Fresnelschen Zonenplatten handelt es sich um ein wellenoptisch abbildendes Bauelement, 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.

Aus den US-Patenten US 5,144,497, US 5,291,339, US 5,131,023 sind Röntgenstrahlmikroskope umfassend Schwarzschild-Systeme als abbildende Systeme bekannt geworden.

Bei sämtlichen in den US-Patenten US 5,144,497, US 5,291,339 und US 5,131,023 beschriebenen Röntgenstrahlmikroskopen ist der Strahlengang am zu untersuchenden Objekt telezentrisch ausgelegt, was eine Abbildung von Objekten in Reflexion erschwert.

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.

Aus der US 5,022,064 ist ein Schwarzschild-System bekanntgeworden, bei dem nach dem Schwarzschild-System ein Beugungsgitter angeordnet ist, um Röntgenstrahlung unterschiedlicher Wellenlänge in unterschiedlichen Ordnungen zu beugen und so das Licht spektral aufzuspalten. Auch dieses System ist telezentrisch am Objekt.

Ein reflektives Röntgenstrahlmikroskop zur Untersuchung eines Objektes für die Mikrolithographie in einer Objektebene mit Strahlung einer Wellenlänge $< 100 \text{ nm}$,

insbesondere < 30 nm, ist aus der JP 2001116900 bekanntgeworden. 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 dem in der JP 2001116900 offenbarten System ist, daß es eine sehr große Baulänge aufweist, wenn große Abbildungsmaßstäbe gefordert werden.

Aufgabe der Erfindung ist es, die Nachteile des Standes der Technik zu vermeiden, insbesondere die der JP 2001116900, und ein reflektives Röntgenstrahlmikroskop anzugeben, das die Untersuchung von Objekten für die Mikrolithographie ermöglicht und eine kurze Baulänge aufweist. Bevorzugt soll die Baulänge des Röntgenstrahlmikroskops weniger als 5 m, insbesondere bevorzugt weniger als 3 m bei einer Vergrößerung von 10 – 10000 x, bevorzugt 300 – 1000 x betragen.

In einem weiteren Aspekt der Erfindung soll ein Inspektionssystem angegeben werden, das insbesondere die Untersuchung von Masken für photolithographische Prozesse mit Wellenlängen < 100 nm, bevorzugt im Wellenlängenbereich 10 – 30 nm, ermöglicht.

Inspektionssysteme, insbesondere für die Untersuchung von Transmissionsmasken für photolithographische Prozesse mit Wellenlängen im UV-Bereich, sind aus

EP-A-0628806

JP-A-4-321047

bekannt geworden. Der Inhalt dieser Schriften wird vollumfänglich in den Offenbarungsgehalt dieser Anmeldung mit aufgenommen. In diesen Systemen ist allerdings nur die Untersuchung von Transmissionsmasken beschrieben; eine Untersuchung von Reflexionsmasken, wie in der EUV-Lithographie verwendet, ist nicht erwähnt.

Die Aufgabe ein Röntgenstrahlmikroskop anzugeben, das die Untersuchung von Objekten für die Mikrolithographie ermöglicht und eine kurze Baulänge aufweist wird durch eine Aufteilung des Röntgenstrahlmikroskops in ein erstes und ein zweites Subsysteme gelöst, wobei hierfür verschiedene Ausgestaltungen möglich sind.

In einer ersten Ausgestaltung der Erfindung wird erfindungsgemäß in einem ersten Aspekt die Aufgabe dadurch gelöst, daß dem ersten Subsystem, umfassend einen ersten und einen zweiten Spiegel, der bevorzugt in Form eines Schwarzschild-Systems ausgebildet ist, ein zweites Subsystem im Lichtweg nachgeordnet ist, das wenigstens einen dritten Spiegel umfaßt. Dieser dritte Spiegel ermöglicht es, den Strahlengang vom Objekt zum Bild zu falten und so die Baulänge gegenüber dem aus der JP 2001116900 bekannten System erheblich zu reduzieren.

Systeme mit mehr als zwei Spiegeln sind im Bereich der EUV-Lithographie für Projektionsobjektive bekannt geworden.

Derartige Systeme zeigen beispielsweise die US 5,063,586, US 5,153,898, US 4,798,450 oder die EP 0962830.

Da es sich bei all diesen Systemen um Reduktionsobjektive handelt, kann keine dieser Schriften einen Anhalt dafür geben, wie ein System ausgelegt werden muß, mit dem das Objekt vergrößernd in eine Bildebene abgebildet wird.

Insbesondere stellt sich bei diesen Objektiven nicht das Problem, eine möglichst kurze Baulänge zu erreichen; vielmehr stehen die Abbildungseigenschaften im Vordergrund.

- 5 Der wenigstens eine dritte Spiegel des zweiten Subsystems dient, wie zuvor ausgeführt, zur Faltung des Strahlengangs sowie zur Einstellung eines nahezu telezentrischen Strahlengangs am Bild.

- 10 Besonders bevorzugt ist es, wenn das zweite Subsystem insgesamt zwei Spiegel umfaßt, die für eine Verringerung der Baulänge sorgen. Insbesondere ist es bei einer derartigen Anordnung möglich, die im Bereich des zweiten Spiegels des ersten Subsystems und der Bildebene auftretenden Bauraumkonflikte zu lösen, da Objekzebene und Bildebene bei einem Vierspiegel-System räumlich sehr weit voneinander getrennt sind und zudem außerhalb und auf gegenüberliegenden
15 Seiten des Objektives liegen.

Vorteilhafterweise ist der Strahlengang am Bild nahezu telezentrisch.

- 20 Bevorzugt sind der erste und der zweite Spiegel des ersten Subsystems asphärisch geformt, der dritte und der vierte Spiegel können sowohl jeweils asphärisch als auch sphärisch geformt sein. Sphärische Spiegel werden hierfür bevorzugt, da sie fertigungstechnisch einfacher herzustellen sind.

- 25 Um eine ausreichende Vergrößerung des zu untersuchenden Objektes in der Bildebene zu gewährleisten, weist das Gesamtsystem einen Abbildungsmaßstab von $\beta \geq 10 \times$, bevorzugt im Bereich $300 \times \leq \beta \leq 1000 \times$ auf.

- 30 Das reflektive Röntgenstrahlmikroskop kann entweder im Strahlengang von der Objekzebene zur Bildebene ohne oder mit einem reellen Zwischenbild ausgebildet werden. Ausgestaltungen mit Zwischenbild haben den Vorteil, daß erstes und zweites Subsystem gegeneinander verfahren werden können und so Bilder

oberhalb und unterhalb der Zwischenbildfokusebene aufgenommen werden können, die z.B. bei Maskeninspektionen Informationen über Maskendefekte liefern, wie nachfolgend beschrieben.

- 5 Bei der Ausbildung eines reellen Zwischenbilds im Lichtweg nach dem ersten Subsystem wird in den nachfolgend beschriebenen Ausgestaltungen der Erfindung die Aufgabe dadurch gelöst, daß dem ersten Subsystem, umfassend wenigstens ein erstes optisches Element, ein zweites Subsystem im Lichtweg nachgeordnet ist, so daß das Zwischenbild in der Zwischenbildebene in ein
10 vergrößertes Bild in der Bildebene abgebildet wird.

- Das zweite Subsystem kann in einer weiteren Ausgestaltung ein Photoemissions-Elektronenmikroskop (PEEM) umfassen. Das erste Subsystem muß dann lediglich eine niedrige erste Vergrößerung, beispielsweise einen ersten
15 Abbildungsmaßstab von $0,1 \times - 100 \times$, bevorzugt $1 \times - 10 \times$, aufweisen. Das PEEM kann als Zoom-Objektiv mit variabler Vergrößerung ausgebildet sein.

- Die notwendige Vergrößerung des Gesamtsystems auf $\geq 10 \times$, insbesondere $300 - 10000 \times$ von der Objektebene bis zur Bildebene wird durch das Photoemissions-Elektronenmikroskop zur Verfügung gestellt. Auf diese Art und Weise kann die
20 Baulänge des Gesamtssystems gegenüber dem aus der JP 2001116900 bekannten System erheblich reduziert werden.

- Photoemissions-Elektronenmikroskope, sogenannte PEEM's sind im Stand der
25 Technik beschrieben und werden beispielsweise von der Firma Focus GmbH, D-65510 Hünstetten-Görsroth gebaut und vertrieben. Diesbezüglich wird auf die Webpage <http://www.focus-gmbh.com> verwiesen. Das beispielhaft auf dieser Internet-Seite beschriebene Photoemissions-Elektronenmikroskop, ist kein
30 Mikroskop, bei dem Licht für die Bildentstehung sorgt, sondern Elektronen. Bei Photoemissions-Elektronenmikroskopen wird das zu untersuchende Objekt mit abbildender Elektronenoptik, umfassend elektrostatische Linsen, abgebildet. Die

- bilderzeugenden Elektronen werden im vorliegenden Fall durch die Bestrahlung einer Photoelektrode, beispielsweise einer Photokathode, die in oder nahe der Zwischenbildebene angeordnet ist, mit Röntgenstrahlung ausgelöst und durch das Linsensystem auf eine Vielkanalplatte zur Verstärkung abgebildet. In vorliegender
- 5 Anmeldung wird unter einer Anordnung nahe der Zwischenbildebene ein Abstand von $\leq 10 \cdot \frac{\lambda}{NA'^2}$, bevorzugt $\leq 5 \cdot \frac{\lambda}{NA'^2}$, wobei λ die Wellenlänge des einfallenden Lichtes ist und $NA' = \frac{NA}{\beta_1}$, wobei NA die numerische Apertur des
- Abbildungssystems und β_1 der Abbildungsmaßstab des ersten Subsystems ist. Die mit Hilfe der Vielkanalplatte vervielfachten Elektronen können beispielsweise
- 10 auf einem hinter der Vielkanalplatte positionierten Phosphorschirm in sichtbares Licht umgewandelt und beispielsweise mit einer CCD-Kamera beobachtet werden. Mit Photoemissions-Elektronenmikroskopen könnten laterale Auflösungen von 20 nm erreicht werden.
- 15 Alternativ zur Abbildung des Zwischenbildes in ein vergrößertes Bild in der Bildebene mittels eines Photoelektronenmikroskops, kann auch ein zweites Subsystem vorgesehen sein, das in oder nahe der Zwischenbildebene eine Fluoreszenzplatte umfaßt und ein dieser nachgeordnetes Linsensystem für längerwelliges Licht. Durch daß auf die Fluoreszenzplatte auftreffende
- 20 Röntgenlicht wird Fluoreszenzstrahlung im Bereich längerwelligen Lichtes erzeugt. Diese Fluoreszenzstrahlung kann dann mit einem optischen Abbildungssystem, beispielsweise einem Linsensystem oder einer Fresnel-Zonenplatte oder einem beliebigen diffraktiven optischen Element in die Bildebene abgebildet werden.
- 25 Als erstes Subsystem sind alle zu einer abbildenden Optik gehörenden EUV-optischen Elemente denkbar, beispielsweise Spiegel mit Vielfachbeschichtung, Zonenplatten oder diffraktiv optische Elemente.

Bevorzugt umfaßt das erste Subsystem zwei Spiegel, einen ersten Spiegel S1 und einen zweiten Spiegel S2. Der erste Spiegel ist bevorzugt ein Konkavspiegel und der zweite Spiegel ein Konvexspiegel. Bevorzugt sind erster und zweiter Spiegel asphärisch geformt.

5

Das zweite Subsystem dient bevorzugt dazu, das Zwischenbild in der Zwischenbildebene vergrößert in ein Bild in der Bildebene abzubilden. Infolgedessen ist der Abbildungsmaßstab dieses zweiten Subsystems groß und beträgt $\beta_2 \geq 3 \times$. Bevorzugt liegt er im Bereich $50 \times \leq \beta_2 \leq 500 \times$. Der

10

Abbildungsmaßstab des zweiten Subsystems wird in vorliegender Anmeldung durch die Abbildung des Zwischenbildes in der Zwischenbildebene in ein vergrößertes Bild in der Bildebene definiert. Als zweites Subsystem sind möglich: Photoemissions-Elektronenmikroskope (PEEM), Fluoreszenzkonverter mit nachgeschalteten optischen Mikroskopen oder andere Konvertermikroskope, die Röntgenlicht zur Weiterverarbeitung in abbildenden Systemen auf einen anderen

15

Abbildungsträger, beispielsweise längerwellige Photonen; Elektronen oder Ionen wandeln können.

20

Bevorzugt weist das erfindungsgemäße reflektive Röntgenmikroskop eine optische Achse auf, zu der die Spiegel des Mikroskopes zentriert angeordnet sind.

25

Im Gegensatz zu den aus den US-Patenten bekannten Röntgenstrahlmikroskopen ist das Objekt in der Objektebene bei dem erfindungsgemäßen reflektiven Röntgenmikroskop bevorzugt außerhalb der optischen Achse angeordnet. Dies ermöglicht die Untersuchung von Objekten in Reflexion, beispielsweise reflektierenden EUV-Masken, ohne daß Objekt- und Bildebene zueinander verkippt angeordnet sind, d. h., sowohl die Objektebene wie die Bildebene stehen senkrecht auf der optischen Achse des reflektiven Röntgenobjektives. Hierdurch können Bildfehler minimiert werden, da hierdurch ein einheitlicher

30

Abbildungsmaßstab für alle Feldpunkte in alle Richtungen erreicht wird.

Besonders vorteilhaft ist es, wenn zur Einstellung der numerischen Apertur das reflektive Röntgenmikroskop eine Aperturblende umfaßt. Um verschiedene numerische Aperturen einstellen zu können, ist es von Vorteil, wenn die Aperturblende zugänglich ist. Eine vorteilhafte Anordnung der Aperturblende ist daher eine Anordnung im Strahlengang von der Objekt- zur Bildebene im ersten Subsystem hinter der Objektebene und vor dem ersten Spiegel. Die Aperturblende ist dezentriert zur optischen Achse angeordnet. Die Blende ermöglicht bevorzugt die Einstellung verschiedener Aperturstufen mit der unterschiedliche numerische Aperturen der Projektionsbelichtungsanlage simuliert werden können.

In einem zweiten Aspekt der Erfindung wird ein Inspektionssystem zur Untersuchung von Objekten, insbesondere Masken für die Mikrolithographie mit Wellenlängen ≤ 100 nm zur Verfügung gestellt. Das Inspektionssystem umfaßt ein Beleuchtungssystem zur Ausleuchtung eines Objektfeldes in einer Objektebene. Als Lichtquelle umfaßt das Beleuchtungssystem bspw. eine Entladungsquelle, Laser-Plasma-Quelle oder Synchrotronquelle. Die gewünschte Strahlung von beispielsweise 13.5 nm kann mit Gitterspektralfiltern ausgefiltert werden. In der Objektebene ist innerhalb des ausgeleuchteten Feldes wenigstens ein Teil der zu untersuchenden Maske angeordnet. Des weiteren umfaßt das Inspektionssystem ein Abbildungssystem für Wellenlängen ≤ 100 nm zur Abbildung wenigstens eines Teils der zu untersuchenden Maske in eine Bildebene. In der Bildebene ist ein Beobachtungssystem zur Beobachtung des in diese Ebene vergrößert abgebildeten Objektes vorgesehen.

In dem erfindungsgemäßen Inspektionssystem ist das Abbildungssystem bevorzugt ein erfindungsgemäßes reflektives Röntgenmikroskop.

Das erfindungsgemäße Inspektionssystem umfaßt vorzugsweise Positioniereinrichtungen zum Positionieren des Objektes in der Objektebene.

Dadurch ist es möglich, ganz gezielt bestimmte Teile des zu untersuchenden

Objektes in der Objektebene zu verfahren und so Bilder von unterschiedlichen Teilen des Objektes in der Bildebene aufzunehmen.

5 In einer bevorzugten Ausführungsform umfaßt das Abbildungssystem eine zugängliche, einstellbare Aperturblende. Die einstellbare Aperturblende ermöglicht es, die Apertur so einzustellen, daß die Abbildungsverhältnisse am Objekt äquivalent sind zu den Abbildungsverhältnissen in einer Projektionsbelichtungsanlage. Projektionsbelichtungsanlagen für die EUV-Lithographie sind beispielsweise aus der WO 02/27401, der WO 02/27402 oder
10 der US 6,244,717 bekannt geworden, deren Offenbarungsgehalt vollumfänglich in die vorliegende Anmeldung miteingeschlossen wird. Die möglichen Obskurationen in einer EUV-Projektionsbelichtungsanlage können durch eine Obskurationsblende, die beispielsweise im Beleuchtungssystem des Inspektionssystems angeordnet ist, simuliert werden.

15 Weist die Projektionsbelichtungsanlage beispielsweise ein Projektionsobjektiv mit einer bildseitigen NA von 0,3 und mit einer Vergrößerung von 4 x auf, so beträgt die an der einstellbaren Aperturblende vorzuwählende Apertur 0,3 : 4, d. h. 0,075, um eine der Abbildung in dem Projektionssystem entsprechende Abbildung im
20 Inspektionssystem zu erhalten.

Die einstellbare Aperturblende kann frei in einem Bereich $0,001 \leq NA \leq 0,25$ eingestellt werden.

25 Neben der einstellbaren Aperturblende im Abbildungssystem kann in einer bevorzugten Ausführungsform der Erfindung vorgesehen sein, daß auch das Beleuchtungssystem eine einstellbare Beleuchtungsaperturblende umfaßt.

30 Mit Hilfe der Beleuchtungsaperturblende im Beleuchtungssystem, die in einer Ebene, die konjugiert zu der Ebene der Aperturblende der Abbildungsoptik

angeordnet ist, kann die Größe der Pupillenfüllung σ vorgegeben werden. Die Pupillenfüllung ist definiert als:

$$\sigma = \frac{\sin \alpha}{\sin \beta},$$

5

wobei $\sin \alpha$ der numerischen Apertur $NA_{\text{Beleuchtung}}$ des Beleuchtungssystems am Objekt und $\sin \beta$ der numerischen Apertur $NA_{\text{Abbildung}}$ des Abbildungssystems am Objekt entspricht. Die Einstellung von σ erlaubt es, verschiedene Arten von Beleuchtungssystemen für Projektionsbelichtungsanlagen zu simulieren. Während Aperturblende und Beleuchtungsaperturblende wie oben beschrieben die Einstellung einer kreisförmigen Ausleuchtung mit einem vorbestimmten Pupillenfüllungsgrad σ bei Verwendung kreisförmiger Blenden ermöglichen, ist es durch das Einbringen eines Blendenwechslers, beispielsweise eines Blendenrades, in die Beleuchtungsaperturblendenebene möglich, auch eine annulare, quadrupolare oder eine dipolare Beleuchtung zu simulieren. Zur Begrenzung des Feldes kann in einer zur Objektebene konjugierten Ebene eine Feldblende vorgesehen sein.

Bevorzugt weist das Bildaufnahmesystem des Inspektionssystems eine Analyseeinheit auf, mit der die Bilder des Objektes in der Bildebene ausgewertet werden können.

Um neben einer Simulation der Eigenschaften der Projektionsbelichtungsanlage, die in einer speziellen Ausgestaltung auch als Stepper ausgelegt ist, eine qualitative und quantitative Inspektion der Masken zu ermöglichen, umfaßt das Inspektionssystem bevorzugt Fokuseinstelleinrichtungen, mit denen das Objekt in senkrechter Richtung zur Objektebene verfahren werden kann. Dies ermöglicht die Aufnahme von Bildern ein und derselben Stelle auf dem Objekt an vorbestimmten Fokuspositionen. Bevorzugt wird der Fokus von unten nach oben in vorbestimmten Schritten symmetrisch durchfahren. Die an verschiedenen

Fokuspositionen aufgenommenen Bilder können mit Hilfe der Analyseeinheit ausgewertet und so mindestens eine Aussage über die Qualität der Maske getroffen werden. Hat die Maske an der untersuchten Stelle Defekte, so ermöglicht es die Analyseeinheit, diese genau zu analysieren. Gegebenenfalls
5 kann die Maske repariert und anschließend neu analysiert werden.

Bevorzugt umfaßt die Analyseeinheit eine Mikrocomputereinrichtung, in der die aufgenommenen Bilddaten digital verarbeitet werden können.

- 10 Eine besonders bevorzugte Ausführungsform der Erfindung umfaßt ein parallel zum ersten Abbildungssystem angeordnetes zweites Abbildungssystem für Wellenlängen > 100 nm. Dieses zweite Abbildungssystem ermöglicht es, beispielsweise mit UV- oder VUV-Licht bspw. der I-Linie die Maske im Gesamten zunächst grob zu inspizieren. Bevorzugt ist ein derartiges
- 15 Hilfsbeobachtungssystem parfokal und/oder parzentriert angeordnet. Die gesamte Maske kann beispielsweise eine Abmessung von 6" x 6" (152 x 152 mm) aufweisen und das Objektfeld $\leq 2 \times 2$ mm, so daß eine grobe Inspektion der gesamten Maske möglich ist. Die Maske kann dann mit Hilfe der Positioniereinrichtung an Stellen verbracht werden, an denen Defekte auftreten.
- 20 Mit Hilfe der Abbildungsoptik für Wellenlängen ≤ 100 nm ist es möglich, diese ausgewählten Stellen zu untersuchen. Das Objektfeld, mit dem das Abbildungssystem für Wellenlängen ≤ 100 nm untersucht werden kann, liegt im Bereich 100×100 μm , besonders bevorzugt $30 \mu\text{m} \times 30 \mu\text{m}$.
- 25 In einer besonders bevorzugten Ausführungsform der Erfindung ist das zweite Subsystem tauschbar bzw. auswechselbar ausgeführt. Durch Auswechseln des zweiten Subsystems kann das Objektfeld vergrößert und die Maske im Gesamten zunächst grob inspiziert werden. Die gesamte Maske kann beispielsweise eine Abmessung von 6" x 6" (152 x 152 mm) aufweisen und das Objektfeld $\leq 2 \times 2$ mm,
- 30 so daß eine grobe Inspektion der gesamten Maske möglich ist. Die Maske kann dann mit Hilfe der Positioniereinrichtung an Stellen verbracht werden, an denen

Defekte auftreten. Mit Hilfe eines anderen zweiten Subsystems mit kleinerem Objektfeld und größerer Vergrößerung können diese ausgewählten Stellen näher untersucht werden. Das Objektfeld liegt bevorzugt im Bereich $100\ \mu\text{m} \times 100\ \mu\text{m}$, besonders bevorzugt $30 \times 30\ \mu\text{m}$.

5

Bei Systemen, bei denen das zweite Subsystem als Photoemissions-Elektronenmikroskop ausgebildet ist und eine variable Vergrößerung, d.h. eine Zoom-Wirkung, im Bereich von bspw. 40 bis 4000 x aufweist, können verschieden große Objektfelder durch Einstellen der Vergrößerung des Photoemissions-Elektronenmikroskopes untersucht werden.

10

Bevorzugt ist zumindest der abbildende Teil für Wellenlängen $\leq 100\ \text{nm}$ des Inspektionssystems, bspw. das erste Subsystem in einem für EUV-Anwendungen geeigneten Vakuum angeordnet.

15

Neben dem erfindungsgemäßen Inspektionssystem wird auch ein Verfahren zur Inspektion von Objekten, insbesondere Masken für die Mikrolithographie mit Wellenlängen $\leq 100\ \text{nm}$, zur Verfügung gestellt, bei dem in der Objektebene mit einem Beleuchtungssystem ein Objektfeld ausgeleuchtet wird, das zu untersuchende Objekt mit Positioniereinrichtung in das ausgeleuchtete Objektfeld verbracht wird und in eine Bildebene, in der ein Bildaufnahmesystem angeordnet ist, mittels eines Abbildungssystems für Wellenlängen $\leq 100\ \text{nm}$ abgebildet wird. Zur Charakterisierung der Masken wird in einem bevorzugten Verfahren das zu untersuchende Objekt mit einer Fokuseinstellvorrichtung senkrecht zur Objektebene verfahren und Bilder an vorbestimmten Fokuspositionen oberhalb und unterhalb des Fokus aufgenommen und ausgewertet.

20

25

Bei Systemen mit Zwischenbild kann alternativ oder zusätzlich das zweite Subsystem relativ zum Fokus des Zwischenbildes verfahren werden, um Bilder an vorbestimmten Fokuspositionen aufzunehmen. Alternativ könnte auch die

30

gesamte Abbildungsvorrichtung oder nur das erste Subsystem in Richtung der Achse, die senkrecht auf der Objektebene steht, verfahren werden.

5 Die Verwendung des erfindungsgemäßen Inspektionssystems ist vielfältig. So ist ein derartiges Inspektionssystem, wie zuvor eingehend beschrieben, zur Defektanalyse von Maskenrohlingen, beschichteten Maskenrohlingen, Masken im Fertigungsprozeß für die Mikrolithographie mit Wellenlängen ≤ 100 nm geeignet, wie auch zur Kontrolle der Reparatur von Masken. Auch eine Kontrolle des Maskenalterungsprozesses ist möglich. Des weiteren kann mit einem derartigen
10 Inspektionssystem der Belichtungsprozeß in einer Projektionsbelichtungsanlage durch Einstellung der Apertur und des Pupillenfüllgrades simuliert und damit die Projektionsbelichtungsanlage konfiguriert und optimiert werden. Das Inspektionssystem ist auch zur Inspektion von Wafern geeignet.

15 Die Erfindung soll nachfolgend¹ anhand der Figuren beschrieben werden.

Es zeigen:

Figur 1: die Gesamtansicht eines erfindungsgemäßen ersten Röntgenmikroskopobjektives mit einem ersten Subsystem, umfassend einen ersten und einen zweiten Spiegel und einem zweiten Subsystem, umfassend einen dritten Spiegel

Figur 2: ein zweites Röntgenmikroskop, umfassend ein erstes Subsystem mit erstem und zweitem Spiegel sowie ein zweites Subsystem, umfassend einen dritten und einen vierten Spiegel.

Figur 3: ein drittes Röntgenmikroskop, umfassend ein erstes Subsystem mit einem ersten und zweitem Spiegel sowie ein zweites Subsystem, umfassend einen dritten und vierten Spiegel, wobei der dritte Spiegel sphärisch ausgestaltet ist und die Blende zwischen

Objektebene und erstem Spiegel liegt.

- Figur 4: ein viertes Röntgenmikroskop, umfassend ein erstes Subsystem mit erstem und zweitem Spiegel sowie ein zweites Subsystem, umfassend einen dritten und vierten Spiegel, wobei der dritte und vierte Spiegel sphärisch ausgestaltet sind und die Objektfeldgröße $30\text{ }\mu\text{m} \times 30\text{ }\mu\text{m}$ ist.
- Figur 5: ein fünftes Röntgenmikroskop, umfassend ein erstes Subsystem mit erstem und zweitem Spiegel sowie ein zweites Subsystem mit drittem und viertem Spiegel, wobei der dritte und vierte Spiegel sphärisch ausgestaltet sind und das Objektfeld eine Ausdehnung von $200\text{ }\mu\text{m} \times 30\text{ }\mu\text{m}$ aufweist.
- Figur 6: ein sechstes Röntgenmikroskop, umfassend ein erstes Subsystem mit erstem und zweitem Spiegel sowie ein zweites Subsystem, umfassend einen dritten und vierten Spiegel, wobei der dritte und vierte Spiegel sphärisch ausgebildet ist und alle Spiegel Konkavspiegel sind.
- Figur 7: ein siebtes Röntgenmikroskop, umfassend ein erstes Subsystem mit erstem und zweitem Spiegel sowie ein zweites Subsystem, umfassend einen dritten und vierten Spiegel, wobei der erste Spiegel ein Konkavspiegel, der zweite Spiegel ein Konkavspiegel, der dritte Spiegel ein Konvexspiegel und der vierte Spiegel ein Konkavspiegel ist.
- Figur 8: ein Zweispiegelsystem, wobei der erste Spiegel ein Konkavspiegel und der zweite Spiegel ein Konkavspiegel ist.
- Figur 9: die Gesamtansicht eines erfindungsgemäßen ersten Röntgenmikroskopobjektives mit einem ersten Subsystem,

umfassend einen ersten und einen zweiten Spiegel und einem zweiten Subsystem, umfassend ein Photoemissions-Elektronenmikroskop.

Figur 10: ein Inspektionssystem für EUV-Masken mit einem erfindungsgemäßen Röntgenmikroskop in schematischer Darstellung

5 Figur 11: ein Inspektionssystem, wobei die einzelnen Komponenten des Inspektionssystems näher gezeigt sind

Figur 12: Flussdiagramm für die Durchführung einer Messung

10 Figur 13 mögliche Bearbeitungen der aufgenommenen Bilder

Figur 14a-c mögliche Einsatzgebiete des erfindungsgemäßen Inspektionssystems

15 In Figur 1 ist eine erste Ausführungsform der Erfindung gezeigt mit einem ersten Subsystem, umfassend einen ersten Spiegel S1 und einen zweiten Spiegel S2. Der erste Spiegel S1 ist in vorliegendem Ausführungsbeispiel ein Konkavspiegel und der zweite Spiegel S2 ein Konvexspiegel. Die Spiegel S1 und S2 sind zentriert zur optischen Achse HA angeordnet. Das zweite Subsystem umfaßt
20 einen dritten Spiegel S3. Auch der dritte Spiegel ist zentriert zur optischen Achse angeordnet. Das dezentriert zur optischen Achse HA angeordnete Objekt in der Objektebene 1 wird durch das vergrößernd abbildende Röntgenmikroskop gemäß der Erfindung in die Bildebene 3 abgebildet. Die Bildebene 3 liegt in der Nähe des zweiten Spiegels S2 sowie der dezentriert zur optischen Achse zwischen
25 Objektebene und erstem Spiegel angeordneten Aperturblende B.

Sämtliche Spiegelflächen der Spiegel S1, S2 und S3 sind rotationssymmetrische, asphärische Spiegelsegmentflächen.

5 Der Krümmungsradius des ersten Spiegels beträgt $|R_1| = 500$ mm, der Radius des zweiten Spiegels $|R_2| = 3,5$ mm und der des dritten Spiegels $|R_3| = 4000$ mm. Der zweite Spiegel hat nur einen relativ geringen Krümmungsradius. Dieser ist zur Erzeugung des geforderten großen Abbildungsmaßstabs erforderlich. Die Blende B liegt zwischen Objektebene und erstem Spiegel, in einem Abstand von 466 mm von der Objektebene entfernt und hat eine maximale dezentrierte Öffnung
10 von 60 mm. Die Baulänge des optischen Systems, das heißt der Abstand von der Blendenebene, in der die Aperturblende B angeordnet ist, bis zum dritten Spiegel S3 beträgt 2007 mm und der Abstand von der Objektebene 1 bis zur Aperturblende B 466 mm. Das Gesamtsystem hat einen Abbildungsmaßstab von $\beta = -500\times$. Objekt und Bild in der Objektebene bzw. in der Bildebene liegt
15 bezogen auf die optische Achse HA dezentriert auf gegenüberliegenden Seiten.

Der Vorteil des vorgestellten Drei-Spiegelsystems ist darin zu sehen, da mit nur drei Spiegeln eine geringe Gesamtbaulänge von weniger als 2500 mm realisiert werden konnte, wobei die Baulänge, das heißt der Abstand der Aperturblende bis
20 zum Scheitelpunkt des dritten Spiegels 2007 mm beträgt sowie der Abstand der Objektebene 1 von der Aperturblende B in der Aperturebene 466 mm beträgt. Die allgemeinen Objektivdaten des Ausführungsbeispiels gemäß Figur 1 können Tabelle 1a, die Zusammenfassung der Flächendaten Tabelle 1b und die Details der Flächendaten Tabelle 1c im Anhang entnommen werden. Sämtliche
25 vorangegangenen und nachfolgenden Tabellen der optischen Daten sind Daten im ZEMAX-Format. Das ZEMAX-Format ist dem Fachmann wohlbekannt.

In Figur 2 ist ein Vierspiegel-System gezeigt mit einem ersten Subsystem, umfassend einen ersten Spiegel S1 und einen zweiten Spiegel S2 sowie einem
30 zweiten Subsystem, umfassend einen dritten und einen vierten Spiegel. Der erste Spiegel ist mit der Bezugsziffer S1, der zweite Spiegel mit der Bezugsziffer S2, der

5 dritte Spiegel mit der Bezugsziffer S3 und der vierte Spiegel mit der Bezugsziffer S4 belegt. Bei dem ersten Spiegel S1 handelt es sich um einen Konkavspiegel, bei dem zweiten Spiegel S2 um einen Konvexspiegel, bei dem dritten und vierten Spiegel S3, S4 jeweils um Konkavspiegel. Die Aperturblende B ist bei dem Ausführungsbeispiel mit geringem Abstand vor dem ersten Spiegel S1 angeordnet. Eine derartige Anordnung führt zwangsläufig zu einer geringen Vignittierung. Der Abbildungsmaßstab des Gesamtsystems beträgt $\beta = 354$, das heißt das Objekt in der Objektebene 1 und das Bild in der Bildebene 3 liegen dezentriert auf der selben Seite zur optischen Achse HA. Die allgemeinen Objektivdaten dieser Ausführungsvariante der Erfindung sind in Tabelle 2a angegeben, die zusammengefassten Flächendaten in Tabelle 2b und die speziellen Flächendaten in Tabelle 2c.

15 In Figur 3 ist wiederum ein Vierspiegel-System mit einem ersten Spiegel S1, einem zweiten Spiegel S2, einem dritten Spiegel S3 sowie einem vierten Spiegel S4 gezeigt. Gleiche Bauteile wie in den vorangegangenen Figuren werden mit denselben Bezugsziffern belegt.

20 Der grundsätzliche Aufbau des Systems gemäß Figur 3 ist coaxial mit rotationssymmetrischen sphärischen oder asphärischen Spiegelsegmentflächen. Das Objektfeld ist dezentriert zur optischen Achse HA angeordnet. Alle Spiegel sind rotationssymmetrisch um die optische Achse HA. Der erste Spiegel ist ein Konkavspiegel mit einem Krümmungsradius $|R_1| = 500$ mm, der zweite Spiegel ist ein Konvexspiegel mit einem Krümmungsradius $|R_2| = 50$ mm, der dritte Spiegel ist ein Konkavspiegel mit Krümmungsradius $|R_3| = 166$ mm und der vierte Spiegel S4 ein Konkavspiegel mit Krümmungsradius $|R_4| = 4000$ mm. Aus fertigungstechnischer Sicht vorteilhaft ist, daß bei der Ausführungsform gemäß Figur 3 der dritte Spiegel S3 sphärisch ist. Die Spiegelflächen der Spiegel S1, S2 und S4 sind hingegen Rotations-Asphären. Die Aperturblende B liegt zwischen der 30 Objektebene 1 und dem ersten Spiegel S1 in einem Abstand von 840,5 mm von der Objektebene 1 entfernt und weist eine maximale dezentrierte Öffnung von 146

mm auf. Die Baulänge des optischen Systems, das ist der Abstand von der Blendenebene B bis zur Bildebene 3 beträgt in vorliegendem Fall 2116 mm. Der Gesamtabbildungsmaßstab des vorliegenden Systems beträgt $\beta = 530$, das heißt, das Objekt in der Objektebene und das Bild in der Bildebene liegen
5 dezentriert zur optischen Achse HA auf der gleichen Seite.

Die allgemeinen optischen Daten des Systems gemäß Figur 3 sind in Tabelle 3a, die Zusammenfassung der Flächendaten in Tabelle 3b und die speziellen Flächendaten in Tabelle 3c im Anhang angegeben:

10

Die Figuren 4 und 5 beschreiben wiederum 4-Spiegelsysteme mit einem ersten Subsystem, umfassend Spiegel S1, S2 sowie einem zweiten Subsystem, umfassend Spiegel S3 und S4. Gleiche Bauteile wie in den vorangegangenen Figuren 2 und 3 sind wiederum mit denselben Bezugsziffern belegt. Der
15 grundsätzliche Aufbau der Systeme gemäß Figur 4 und 5 ist coaxial. Besonders vorteilhaft ist, daß der dritte Spiegel S3 und der vierte Spiegel S4 sphärisch ausgebildet sind und nur der erste Spiegel S1 und der zweite Spiegel S2 rotationssymmetrische asphärische Spiegelsegmentflächen umfassen. Der erste Spiegel S1 ist ein Konkavspiegel mit Krümmungsradius $|R_1| = 500$ mm, der
20 zweite Spiegel ein Konvexspiegel mit Krümmungsradius $|R_2| = 100$ mm, der dritte Spiegel ein Konkavspiegel mit Krümmungsradius $|R_3| = 216$ mm und der vierte Spiegel ein Konkavspiegel mit Krümmungsradius $|R_4| = 4000$ mm. Die Baulänge des optischen Systems, das heißt der Abstand von der Blendenebene, in der die Blende B angeordnet ist bis zur Bildebene 3 beträgt 2183 mm, der Abstand
25 zwischen Objektebene 1 und Blendenebene 466 mm.

Der Abbildungsmaßstab beträgt $\beta = 500$, das heißt das Objekt im Objektfeld und das Bild im Bildfeld liegen dezentriert zur optischen Achse HA auf der gleichen Seite. Das Objektfeld der in Figur 4 gezeigten Ausführungsform weist eine
30 Ausdehnung von $30 \mu\text{m} \times 30 \mu\text{m}$ auf und ist leicht dezentriert, das heißt außeraxial zur optischen Achse HA angeordnet. Die allgemeinen optischen Daten

für das Ausführungsbeispiel gemäß Figur 4 sind in Tabelle 4a, die Zusammenfassung der Daten der optischen Flächendaten in Tabelle 4b und die speziellen Flächendaten der optischen Fläche in Tabelle 4c im Anhang angegeben.

5

In Figur 5 ist eine Variante des Ausführungsbeispiels gemäß Figur 4 dargestellt. Im wesentlichen wurden alle Systemdaten beibehalten, lediglich die asphärischen Flächen der Spiegel S1 und S2 geändert. Durch diese Änderung ist es möglich, das Objektfeld auf eine Größe von $200\text{ }\mu\text{m} \times 30\text{ }\mu\text{m}$ auszudehnen, ohne daß der Wellenfrontfehler und die Verzeichnung gegenüber dem Ausführungsbeispiel in

10

Figur 4 sich verschlechtert. Da lediglich die Asphären auf dem ersten und zweiten Spiegel geändert wurden, können die allgemeinen optischen Daten gemäß Tabelle 4a und die allgemeinen Flächendaten gemäß Tabelle 4b auch für Ausführungsbeispiel 5 übernommen werden. Lediglich in den speziellen Asphärendaten der Spiegel S1 und S2 ergibt sich eine Abweichung. Die speziellen optischen Flächendaten gemäß Ausführungsbeispiel 5 sind in Tabelle 5c im Anhang wiedergegeben.

15

20

In Figur 6 ist eine weitere Variante einer 4-Spiegelanordnung mit einem ersten Spiegel S1, einem zweiten Spiegel S2, einem dritten Spiegel S3 und einem vierten Spiegel S4 angegeben. Gleiche Bauteile wie in den Figuren 2 bis 5 sind mit denselben Bezugsziffern belegt. Der wesentliche Unterschied des Ausführungsbeispiels gemäß Figur 6 gegenüber dem Ausführungsbeispiel 3, 4 und 5 ist darin zu sehen, daß der zweite Spiegel S2 ein Konkavspiegel ist und oberhalb der optischen Achse HA benutzt wird. Die Bündel nach diesem Spiegel verlaufen demzufolge ebenfalls oberhalb der optischen Achse. Der Abbildungsmaßstab beträgt $\beta = -500$, das heißt das Objekt in der Objektebene und das Bild in der Bildebene befinden sich auf gegenüberliegenden Seiten der optischen Achse HA.

25

30

Die allgemeinen optischen Daten können Tabelle 6a, die allgemeinen Flächendaten Tabelle 6b und die speziellen Flächendaten der Ausführungsform gemäß Figur 6 Tabelle 6c im Anhang entnommen werden.

- 5 Das in Figur 7 gezeigte Ausführungsbeispiel entspricht bis auf den zweiten Spiegel S2 dem Ausführungsbeispiel gemäß Figur 6. Der wesentliche Unterschied zum Ausführungsbeispiel gemäß Figur 6 besteht darin, daß der dritte Spiegel S3 ein Konvexspiegel ist. Der Abbildungsmaßstab des Systems gemäß Figur 7 beträgt $\beta = 500$, das heißt im Gegensatz zum Ausführungsbeispiel gemäß Figur 10 6 befindet sich das Objekt in der Objekzebene und das Bild in der Bildebene auf der gleichen Seite in Bezug auf die optische Achse HA.

- Die optischen Daten des Ausführungsbeispiels gemäß Figur 6 können Tabelle 7a, die allgemeinen Flächendaten Tabelle 7b und die speziellen Flächendaten Tabelle 15 7c im Anhang entnommen werden.

- Das Ausführungsbeispiel gemäß Figur 8 zeigt, daß bei Einhaltung einer Baulänge von unter 3 m mit 2-Spiegelanordnungen Abbildungsmaßstäbe unter sinnvollen Randbedingungen nur von maximal $\beta = 100$ für das Gesamtsystem zu realisieren 20 sind. Bei dem in Figur 8 gezeigten System handelt es sich um ein 2-Spiegelsystem mit einem ersten Spiegel S1 und einem zweiten Spiegel S2, wobei der erste und der zweite Spiegel S1, S2 jeweils Konkavspiegel sind. Die allgemeinen optischen Daten des Ausführungsbeispiels gemäß Figur 8 sind in Tabelle 8a, die allgemeinen Flächendaten in Tabelle 8b und die speziellen 25 Flächendaten in Tabelle 8c im Anhang wiedergegeben.

- Die objektseitige Apertur der Systeme gemäß Figuren 1 bis 8 ist über die Aperturblende B einstellbar und beträgt beispielsweise zur Simulation gebräuchlicher Projektionsbelichtungsanlagen 0,0625. Die Aperturblende ist 30 in einem Bereich $0,001 \leq NA \leq 0,25$ einstellbar. Die Objektfeldgröße, die in der Ebene 1 durch ein nicht dargestelltes Beleuchtungssystem beleuchtet wird,

beträgt beispielsweise $30\text{ }\mu\text{m} \times 30\text{ }\mu\text{m}$ bzw. $100 \times 100\text{ }\mu\text{m}$. Wird beispielsweise eine Maske, ein sogenanntes Retikel, für die Mikrolithographie untersucht, so haben derartige Masken typischerweise Abmessungen von $152 \times 152\text{ mm}$. Mit dem erfindungsgemäßen reflektiven Röntgenmikroskop ist somit nur die Abbildung eines Ausschnittes der Maske möglich. Das Objekt in der Objektebene 1 wird mit Systemen gemäß Figuren 1 bis 7 300 – 10000-fach vergrößert in die Bildebene 3 abgebildet. Da die Aperturblendenebene B zugänglich ist, kann in der Blendenebene die Apertur mittels der Aperturblende B in einem Bereich $0,001 \leq NA \leq 0,25$ eingestellt werden. NA bezeichnet hier die abbildungsseitige, nachfolgend auch als Apertur $NA_{\text{Abbildung}}$ bezeichnet, Apertur am Objekt. Der Winkel α des Hauptstrahls 5 in der Objektebene 1 beträgt zur optischen Achse des Systems in der Regel 6° . Mit Hilfe der Röntgenmikroskopie gemäß den Figuren 1 bis 7, die mehr als zwei Spiegel umfassen, ist es möglich, ein ausreichend vergrößerndes Röntgenmikroskopobjektiv zu erhalten, dessen Baulänge geringer 3000 mm ist.

In Figur 9 ist eine weitere Ausführungsform der Erfindung gezeigt mit einem ersten Subsystem und einem zweiten Subsystem. Vorliegend umfaßt das erste Subsystem einen ersten Spiegel S1 und einen zweiten Spiegel S2. Der erste Spiegel S1 ist ein Konkavspiegel und der zweite Spiegel S2 ein Konvexspiegel. Die Spiegel S1 und S2 sind zentriert zur optischen Achse HA angeordnet. Denkbar wären auch Systeme mit nur einem einzigen Spiegel. Das zweite Subsystem umfaßt ein Photoemissions-Elektronenmikroskop 10. Das dezentriert zur optischen Achse HA angeordnete Objekt in der Objektebene 1 wird durch das erste Subsystem in ein Zwischenbild Z in einer Zwischenbildebene 2 abgebildet. Die einstellbare Aperturblende B ist dezentriert zur optischen Achse zwischen Objektebene und erstem Spiegel im hoch-aperturigen Teil des Abbildungssystems angeordnet. Durch die Anordnung im hochaperturigen Teil können unterschiedliche numerische Aperturen sehr genau eingestellt werden. Die Photokathode 20 des Photoemissions-Elektronenmikroskops ist nahe der Zwischenbildebene 2 angeordnet. Mit dem Photoemissions-Elektronenmikroskop

(PEEM) wird das Zwischenbild Z in der Zwischenbildebene 2 in ein vergrößertes Bild in der Bildebene 3 abgebildet. Vom Photoemissions-Elektronenmikroskop 10 sind nur schematisch einige wichtige Bauteile gezeigt. Das auf eine Photokathode 20 auftreffende Röntgenlicht löst Elektronen aufgrund des Photoeffekts aus. Die ausgelösten Elektronen werden über Linsen 22, wovon beispielhaft nur eine dargestellt ist, und Blenden 24, wovon beispielhaft ebenfalls nur eine dargestellt ist, auf einen Fluoreszenzschirm 26 abgebildet. Durch den Fluoreszenzschirm wird das von den Elektronen erzeugte Bild in ein visuelles Bild umgesetzt, das mit einer Beobachtungseinrichtung, beispielsweise einer CCD-Kamera, beobachtet werden kann.

Die objektseitige Apertur des Systems gemäß Figur 9 ist über die Aperturblende B einstellbar und beträgt beispielsweise zur Simulation gebräuchlicher Projektionsbelichtungsanlagen 0,0725. Die Aperturblende ist in einem Bereich $0,001 \leq NA \leq 0,25$ einstellbar. Die Objektfeldgröße, die in der Ebene 1 durch ein nicht dargestelltes Beleuchtungssystem beleuchtet wird, beträgt beispielsweise $30 \mu\text{m} \times 30 \mu\text{m}$ bzw. $100 \times 100 \mu\text{m}$. Wird beispielsweise eine Maske, ein sogenanntes Retikel, für die Mikrolithographie untersucht, so haben derartige Masken typischerweise Abmessungen von $152 \times 152 \text{ mm}$. Mit dem erfindungsgemäßen reflektiven Röntgenmikroskop ist somit nur die Abbildung eines Ausschnittes der Maske möglich. Das Objekt in der Objektebene 1 wird 300 – 10000 x-fach vergrößernd in die Bildebene 3 abgebildet. Da die Aperturblendenebene B, wie insbesondere Figur 9 zeigt, zugänglich ist, kann in der Blendenebene die Apertur mittels der Aperturblende B in einem Bereich $0,001 \leq NA \leq 0,25$ eingestellt werden. NA bezeichnet hier die abbildungsseitige, nachfolgend auch als Apertur $NA_{\text{Abbildung}}$ bezeichnet, Apertur am Objekt. Der Winkel α des Hauptstrahls 5 in der Objektebene 1 beträgt zur optischen Achse des Systems 6° . Mit Hilfe des Photoemissions-Elektronenmikroskop ist es möglich, ein ausreichend vergrößerndes Röntgenmikroskopobjektiv zu erhalten, dessen Baulänge geringer 2000 mm ist.

In Figur 10 ist ein erfindungsgemäßes Inspektionssystem, insbesondere zur Untersuchung beschichteter EUV-Masken mit kleinem Objektfeld dargestellt. Ein Beleuchtungssystem 100 leuchtet in einer Objektebene 101 ein Feld 102 in einer vorbestimmten Art und Weise aus. Das Beleuchtungssystem 100 kann eine nicht dargestellte Beleuchtungsaperturblende umfassen zur Einstellung des Pupillenfüllungsgrades σ . Der Pupillenfüllungsgrad σ ist definiert als

$$\sigma = \frac{\sin \alpha}{\sin \beta} \approx \frac{NA_{\text{Beleuchtung}}}{NA_{\text{Abbildung}}},$$

wobei $NA_{\text{Beleuchtung}}$ die numerische Apertur im Beleuchtungssystem, die durch die Beleuchtungsaperturblende vorgegeben wird, und $NA_{\text{Abbildung}}$ die numerische Apertur des Abbildungssystems, die durch die Aperturblende B des Abbildungssystems, hier des reflektiven Röntgenmikroskops, vorgegeben wird, darstellt.

Um verschiedene Beleuchtungs-Settings einstellen zu können, beispielsweise eine kreisförmige, eine annulare, eine quadrupolare oder eine bipolare Beleuchtung, kann in einer Aperturblendenebene ein Blendenrad angeordnet sein.

Mit Hilfe der variabel einstellbaren Beleuchtungsaperturblende, der Aperturblende im Abbildungssystem bzw. dem Blendenrad ist es möglich, mit dem erfindungsgemäßen Inspektionssystem die Einstellungen in einer EUV-Projektionsbelichtungsanlage, in der die Maske bzw. das Retikel eingesetzt wird, zu simulieren und durch Auswertung der Maskenbilder die optimalen Einstellungsparameter der Projektionsbelichtungsanlage in bezug auf Apertur, Art der Beleuchtung, etc. zu ermitteln. Damit ist das Inspektionssystem für weit mehr als nur die Untersuchung von Masken auf Defekte hin geeignet. Wird eine Maske auf Defekte hin untersucht, so sind die defekten Stellen der zu untersuchenden EUV-Maske 104 innerhalb des ausgeleuchteten beobachteten Feldes angeordnet.

Für die Feldmitte des Feldes 102 ist in Figur 10 der Strahlverlauf eines Strahlbüschels gezeigt. Der Hauptstrahl 106 des von der Feldebene ausgehenden Strahlbüschels 108 ist um einen Winkel α gegenüber der optischen Achse HA geneigt. Der Winkel α entspricht dem Hauptstrahleinfallswinkel in
5 Projektionsbelichtungsanlagen am Objekt, der bevorzugt 6° beträgt.

Mit Hilfe eines erfindungsgemäßen Röntgenmikroskopes als Abbildungssystem 110, das in Figur 10 nicht näher dargestellt ist, aber ein Röntgenmikroskopobjektiv gemäß Figur 1 bis 9 umfassen kann, wird das Objekt 104 in der Objektebene 101
10 in ein Bild in der Bildebene 112 abgebildet. Wie aus Figur 10 hervorgeht, ist der Strahlverlauf eines von der Feldmitte ausgehenden Strahlbüschels in der Bildebene 112 telezentrisch, d. h. der Hauptstrahl 106 eines Strahlbüschels 108 trifft senkrecht auf die Bildebene 112. Möglich wäre auch die bewusste
Einführung von Abbildungsfehlern durch Verschieben mindestens einer der
15 Aperturblenden aus der durch Telezentrie gekennzeichneten idealen Position in eine nicht - ideale Position, was zur Folge hat, daß das Strahlbüschel nicht telezentrisch auf die Bildebene 112 auftrifft. Das Bild 114 des Objektes 104 in der Bildebene 112 ist vergrößert. Die Vergrößerung liegt bevorzugt im Bereich 300 x bis 1000 x. In der Bildebene 112 ist zur Beobachtung eine
20 Beobachtungsvorrichtung angeordnet. Die Beobachtungsvorrichtung kann eine Kamera, insbesondere eine CCD-Kamera, eine Multikanalplatte oder ein Floureszenzschirm sein.

Die Beobachtungsvorrichtung wiederum kann mit einer ebenfalls in Figur 10 nicht
25 dargestellten Analyseeinheit ausgeführt sein, der das von der Beobachtungsvorrichtung aufgenommene Bild beispielsweise in digitaler Form zur Auswertung zugeführt wird. Die Analyseeinheit kann ein programmierbarer, digitaler Computer sein.

30 Der programmierbare digitale Computer wiederum kann Steuereinrichtungen umfassen, die die Aperturblende in der Abbildungsoptik, die

Beleuchtungsaperturblende bzw. das Blendenrad sowie die Feldblenden in dem Inspektionssystem ansteuert, um die Größe und Form des ausgeleuchteten Objektfeldes in der Objektebene, die Pupillenfüllung und die numerische Apertur einzustellen. Des weiteren kann das System Einrichtungen zur Positionierung des zu untersuchenden Objektes in der Objektebene, die auch als x-y-Ebene bezeichnet wird, umfassen. Dadurch ist es möglich, unterschiedliche Ausschnitte der Maske mit einem geringen Objektfeld, beispielsweise von $30\text{ }\mu\text{m} \times 30\text{ }\mu\text{m}$ oder $100\text{ }\mu\text{m} \times 100\text{ }\mu\text{m}$, bei einer Maskengröße von z.B. $152 \times 152\text{ mm}^2$ zu untersuchen. Durch systematisches Abfahren der Maske in der x-y-Ebene kann bei durch die einstellbaren Blenden simulierter Projektionsbelichtungsanlage die gesamte Maske untersucht werden. Da dies jedoch sehr aufwendig ist, ist mit Vorteil vorgesehen, das Abbildungssystem so auszugestalten, daß das erste Subsystem leicht vom zweiten Subsystem getrennt werden kann. Wird ein größeres oder kleineres Objektfeld oder eine größere oder kleinere Vergrößerung benötigt, kann das zweite Subsystem gegen ein zweites Subsystem mit größerer oder niedrigerer Vergrößerung und/oder größerem oder kleinerem Objektfeld sehr leicht getauscht werden. In einem solchen Fall kann die gesamte Maske grob untersucht und die auf der Maske kritischen Bereiche mit Hilfe der x-y-Positioniereinrichtung angefahren und diese Bereiche dann mit einer anderen Optik auf Defekte hin untersucht werden. Neben der Verfahrbarkeit in der x-y-Ebene mit der Positioniereinrichtung sind in einer bevorzugten Ausführungsform der Erfindung auch Fokuseinstellvorrichtungen vorgesehen, mit denen das Objekt senkrecht zur Objektebene verfahren und Bilder an vorbestimmten Fokuspositionen ober- und unterhalb des Fokus aufgenommen werden können. Auf diese Art und Weise ist es möglich, Bilder der Maske bei unterschiedlichen vorgegebenen Fokusebenen aufzunehmen. Die Anzahl dieser Fokusebenen hängt von der gewünschten Genauigkeit der Untersuchung ab.

Zusätzlich zu den Bilddaten bei unterschiedlichen Fokusebenen können auch Daten über die Beleuchtungsintensität in der Beleuchtungsebene für jedes einzelne Bild aufgenommen werden.

Aus den aufgenommenen Bilddaten können in Abhängigkeit von der x-, y-Position sowie der z-Position Intensitätsdatenkarten der untersuchten Maske generiert werden. Diese Intensitätsdatenkarten können mit Intensitätsdatenkarten, die aufgrund von Simulationsrechnungen erhalten wurden, oder Referenzdatenkarten, die bei der Untersuchung von Masken bzw. Objekten, die in einem Projektionsbelichtungsprozeß zu akzeptablen Ergebnissen geführt haben, verglichen werden. Auf diese Art und Weise ist eine Untersuchung der Maske auf Defekte und eventuell deren Reparatur hin möglich, sowie eine Qualifizierung der Maske.

Das erfindungsgemäße Inspektionssystem ist nicht nur für die Defektanalyse und die Reparatur von Masken für die Mikrolithographie geeignet, sondern auch zur lokalen Reinigung der Masken durch Bestrahlung mit Licht der Wellenlänge des Inspektionssystems oder Optimierung des Designs der Maskenstruktur und zur Prozeßoptimierung für den Belichtungsprozeß und die Systemkonfiguration in Projektionsbelichtungsanlagen.

In Figur 11 ist eine Prinzipskizze des gesamten Inspektionssystems gezeigt. Das Licht einer EUV-Lichtquelle 100 wird von einem Kollektor 102 gesammelt und über Spiegel 104, 106 des Beleuchtungssystems auf die Objektebene 108, in der sich das zu untersuchende Objekt befindet, gelenkt. Das Strahlbüschel des Beleuchtungssystems 110 fällt nicht telezentrisch auf das Objekt in der Objektebene 108, sondern unter einem Winkel. Bevorzugt ist der Hauptstrahlwinkel des Strahlbüschels identisch dem Hauptstrahlwinkel unter dem auch die Projektionsbelichtungsanlage betrieben wird. Bevorzugt beträgt dieser Winkel α relativ zur Normalen 112 in einem ersten Ausführungsbeispiel 6° .

Im Beleuchtungssystem 110 sind im Strahlengang vom Kollektor 102 zur Objektebene 108 eine Beleuchtungsaperturblende 120 und eine Feldblende 122 angeordnet. Das Objekt in der Objektebene 108, das unter Reflexion beleuchtet

wird, wird mit einem erfindungsgemäßen Abbildungssystem in eine Bildebene 130 abgebildet, in der das Objekt beobachtet werden kann. Die Abbildung erfolgt in dieser Ausführungsform zweistufig und zwar mit einem Zwischenbild Z. Das erste Subsystem 150 des Abbildungssystems umfaßt einen ersten Spiegel 152 und
5 einen zweiten Spiegel 154. Das vom ersten Subsystem in die Zwischenbildebene abgebildete Zwischenbild des Objektes in der Objekzebene, bevorzugt die zu untersuchende Maske, wird mittels eines zweiten Subsystems 156 vergrößert in die Bildebene 130 abgebildet. Die Aperturblende 154 im Abbildungssystem befindet sich im Strahlengang von der Objekzebene zur Zwischenbildebene
10 zwischen Objekzebene 108 und erstem Spiegel 152 des ersten Subsystems 150. Das zweite Subsystem kann beispielsweise ein optisches System umfassend, mindestens einen Spiegel, ein PEEM sein. Das wurde zuvor detailliert beschrieben.

15 In Figur 12 ist ein beispielhafter Meßablauf zur Untersuchung eines Objektes mit Hilfe des erfindungsgemäßen Inspektionssystems gezeigt. In einem ersten Schritt 200 erfolgt eine Eingabe der Systemeinstellung, beispielsweise der Apertur $NA_{\text{Abbildung}}$, der Apertur $NA_{\text{Beleuchtung}}$ sowie der Obskurations- bzw. der Feldblende. Die Blenden werden daraufhin in einem zweiten Schritt 202 eingestellt. Sodann
20 werden die Systemeinstellungen in einem Schritt 204 anhand einer Teststruktur, beispielsweise einer Linearstruktur in x- bzw. y-Richtung überprüft. Mit Hilfe der Teststruktur wird das System in einem Schritt 206 feinjustiert. Sodann wird in einem Schritt 210 die Meßstelle im Meßfeld, das ist der zu untersuchende Bereich des Objektes, positioniert, in dem beispielsweise der x-y-Tisch an die
25 entsprechende Stelle verfahren wird. Optional kann vor Positionieren im Meßfeld auch eine Dokumentation der Meßeinstellungen in einem Schritt 208 vorgenommen werden.

Nachdem die zu untersuchende Meßstelle positioniert wurde, wird in einem letzten
30 Schritt 212 der Fokus eingestellt. Ist der Fokus im Schritt 212 aufgefunden, so wird entweder ein Meßbild im Schritt 214 aufgenommen oder der Fokus wie zuvor

beschrieben durchfahren, d.h. Meßbilder für unterschiedliche z-Positionen aufgenommen. Nach jedem Meßbild findet in Schritt 216 eine Qualitätskontrolle desselben statt bzw. werden die unterschiedlichen Fokuspositionen zugeordneten Meßbilder in qualitativer Hinsicht beurteilt. Genügen diese den

5 Qualitätsanforderungen, so wird, falls vorhanden, das Objekt an eine weitere Meßstelle verfahren und dort wiederum die Meßreihe wie zuvor beschrieben aufgenommen. Führt die Qualitätskontrolle zu einem negativen Ergebnis, so wird an derselben Stelle ein neues Meßbild aufgenommen bzw. eine Vielzahl von Meßbildern, die unterschiedlichen z-Positionen zugeordnet sind.

10

Ist keine weitere Meßposition 220 mehr vorhanden, so können entweder in Schritt 222 die Systemeinstellungen geändert oder die Messung in Schritt 224 beendet werden.

15

In Figur 13 sind mögliche Auswertungen von mit Hilfe des Inspektionssystems gewonnenen Messbildern bzw. Meßinformationen, die beispielsweise mit Hilfe einer Computereinrichtung durchgeführt werden können, dargestellt. Das ausgewählte Messbild 300, das eine Funktion des Ortes auf dem zu untersuchenden Objekt in der Objektebene, d.h. in der x-y-Ebene, ist, sowie in z-

20

Richtung, wenn verschiedene Meßbilder ober- und unterhalb der Fokusebene aufgenommen wurden, kann in einem Schritt 302 sowohl was den Ort auf der Probe, also die x-y-Position angeht, d.h. in bezug auf die Region, wie auch in bezug auf die z-Position, d.h. in bezug auf den Schnitt ausgewählt und anschließend analysiert werden. Die ausgewählten Daten können numerisch bearbeitet und bestimmte Darstellungen berechnet werden, wie in Schritt 304 angegeben. Beispielsweise können die Daten gefittet, interpoliert, korreliert, geglättet, gefiltert oder gespiegelt werden. Die Aufbereitung der Daten durch Berechnung bzw. Aufbereitung in Schritt 304, kann auch z.B. automatisiert anhand von Kennzahlen in bezug auf die Qualität in Schritt 306 charakterisiert werden.

25

30

Alternativ zur Ausgabe von Kennzahlen zur Qualität oder zusätzlich hierzu können in Schritt 310 verschiedene Darstellungen vorgenommen werden. So ist eine Bilddarstellung der Intensität in x-, y-Richtung möglich oder ein Konturplot. Dies ist mit Bezugsziffer 312 und 314 gekennzeichnet. Alternativ hierzu können die Profile für die Schnitte gezeigt werden oder die Linienbreite über der Defokussierung, d.h. der Bewegung in z-Richtung. Dies ist mit 316 und 318 gekennzeichnet. Des weiteren kann die Linienbreite über den Threshold dargestellt werden. Dies ist mit Bezugsziffer 320 gekennzeichnet. Alternative Darstellungsarten sind das Prozeßfenster, das mit Bezugsziffer 322 gekennzeichnet ist, und eine Anzeige der Simulationsdaten zu Meßdaten für die Resistentwicklung, was mit Bezugsziffer 324 gekennzeichnet ist. Auch ist ein Vergleich mehrerer Messungen möglich oder eine Darstellung des Kontrastes über die Defokussierung, d.h. der Bewegung in z-Richtung. Dies mit den Bezugsziffern 326 und 328 gekennzeichnet. Auch andere Darstellungen basierend auf der Auswertung der Messbilder gemäß Schritt 330 sind möglich. Die möglichen Darstellungsarten sind für Inspektionssysteme, die im Wellenlängenbereich ≥ 193 nm arbeiten im Operating Manuel AIMS Fab B 41003E und/oder Software Manual AIMS Fab B40409E der, Carl Zeiss Microelectronic Systems GmbH eingehend beschrieben. Der Offenbarungsgehalt dieser Schriften wird vollumfänglich in die vorliegende Anmeldung mitaufgenommen.

In den Figuren 14a bis 14c sind mögliche Einsatzgebiete des erfindungsgemäßen Inspektionssystems gezeigt. So zeigt Figur 14a den Einsatz des EUV-Inspektionssystems beispielsweise bei der Herstellung von Maskenblanks, d.h. Maskenrohlingen. Das gemäß Schritt 400 gefertigte Substrat, das in der Regel ein Glassubstrat ist, kann in Schritt 402 mit Hilfe des erfindungsgemäßen EUV-Inspektionssystems in bezug auf seine Qualität kontrolliert werden. Ist diese Qualität ausreichend, so wird das Substrat im Schritt 404 mit EUV-Spiegelschichten beschichtet. Diese Spiegelschichten werden nunmehr in Schritt 406 auf Defekte hin inspiziert, und zwar die gesamte Fläche. Die Defektinspektion gemäß Schritt 406 erfolgt mit einem Inspektionsmodul, beispielsweise einem zum

EUV-Abbildungssystem parallelen Abbildungssystem, das mit sichtbarem Licht arbeitet. Ergeben sich Defekte auf der Maske, so können gemäß Schritt 408 diese Defekte mit Hilfe des EUV-Inspektionssystems näher untersucht werden. Hierzu wird die zuvor auf der gesamten Fläche untersuchte Maske mit einer x-y-
5 Positioniereinrichtung an die Defektstellen verfahren und gezielt diese Bereiche der Maske mit dem EUV-Inspektionssystem untersucht. Ist die Qualität der Maske gemäß Schritt 410 nach erfolgter EUV-Inspektion ausreichend, so kann die Maske gemäß Schritt 412 ausgeliefert werden oder wird gemäß Schritt 414 verworfen.

Figur 14b zeigt als weiteres Einsatzgebiet des erfindungsgemäßen EUV-
Inspektionssystems die Verwendung in der Maskenproduktion. Das eingehende
beschichtete Maskensubstrat kann gemäß Figur 14b in Schritt 450 mit Hilfe des
EUV-Inspektionssystems in der Eingangskontrolle untersucht werden. Ist die
Maske qualitativ ausreichend, so kann diese in einem nachfolgenden Schritt 452
15 strukturiert werden. Die gesamte strukturierte Maske gemäß Schritt 452 kann in
Schritt 454 wiederum qualitativ mit Hilfe des EUV-Inspektionssystems untersucht
werden. Hierzu erfolgt wie bei der Eingangskontrolle 450 zunächst eine
Defektinspektion der gesamten Maskenfläche mit einem Inspektionssystem, das
beispielsweise mit sichtbarem Licht arbeitet sowie eine CD-Messung, ebenfalls mit
20 einem System, das im sichtbaren bzw. UV oder VUV-Wellenlängenbereich
arbeitet. Ergeben sich bei der Defektinspektion oder bei der CD-Messung, die
nicht mit EUV-Strahlung durchgeführt wird, Defekte, so kann das
erfindungsgemäße EUV-Inspektionssystem dazu eingesetzt werden, die dort
aufgefundenen Defekte näher zu klassifizieren. Wird aufgrund der EUV-Inspektion
25 der Defekte die Qualität der Masken nach Defektinspektion für ausreichend
befunden, so kann diese gemäß Schritt 456 ausgeliefert werden. Ist die Maske
qualitativ nicht ausreichend, so kann die Maske an die entsprechende Defektstelle
verfahren und in Schritt 458 daraufhin untersucht werden, ob eine Reparatur
möglich ist oder nicht. Ist keine Reparatur möglich, so wird die Maske gemäß
30 Schritt 460 verworfen. Ist eine Reparatur möglich, so wird diese gemäß Schritt 462
durchgeführt und erneut der EUV-Inspektion unterworfen. Ergeben sich nunmehr

ausreichende Qualitätsdaten, so kann die reparierte Maske ausgeliefert werden.

Figur 14 c zeigt als Einsatzgebiet des erfindungsgemäßen EUV-Inspektionssystems die Verwendung eines derartigen Inspektionssystems in der Wafer-Fabrik.

In der Wafer-Fabrik kann die Maske gemäß Schritt 500 zunächst einer Eingangskontrolle unterzogen werden. Im Laufe des Produktionsprozesses 502 altert die Maske. Die Masken können in regelmäßigen Abständen mit Hilfe des erfindungsgemäßen EUV-Inspektionssystems auf ihre Qualität nach Alterung bzw. nach Lagerung gemäß Schritt 504 untersucht werden. Hierzu wird die Maske zunächst wiederum mit Strahlung im sichtbaren oder UV oder VUV-Wellenlängenbereich vollflächig auf Defekte hin untersucht. An den Stellen, an denen Defekte auftreten, wird eine EUV-Inspektion vorgenommen. Ist die Maskenqualität noch ausreichend, so kann die Maske in der Produktion weiter verwandt werden. Ergibt die EUV-Inspektion, daß die Maske den qualitativen Anforderungen nicht mehr genügt, so kann untersucht werden, ob der Defekt reparabel ist. Dieser Schritt wird mit Schritt 506 bezeichnet. Scheidet eine Reparatur aus, so wird die Maske gemäß Schritt 508 aus dem Produktionsprozeß genommen. Ist eine Reparatur möglich, so wird die Maske gemäß Schritt 510 repariert und nach der Reparatur erneut mit Hilfe des EUV-Inspektionssystems inspiziert. Der Defekt wird nach erfolgter Reparatur klassifiziert und bei ausreichender Qualität die Maske wiederum in den Produktionsprozeß überführt und bei nicht ausreichender Qualität verworfen.

Mit der Erfindung wird somit erstmals ein Röntgenmikroskop sowie eine Inspektionsanlage für Objekte, die in der EUV-Lithographie Verwendung finden, angegeben, das sich durch eine sehr kurze Baulänge und eine kompakte Bauweise auszeichnet.

Patentansprüche

1. Reflektives Röntgenmikroskop zur Untersuchung eines Objektes in einer
Objektebene, wobei das Objekt mit Strahlung einer Wellenlänge < 100 nm,
insbesondere < 30 nm, beleuchtet und in eine Bildebene vergrößert
abgebildet wird, mit
- 1.1 einem im Strahlengang von der Objektebene (1) zur Bildebene (3)
angeordneten ersten Subsystem umfassend einen ersten Spiegel (S1) und
einen zweiten Spiegel (S2),
dadurch gekennzeichnet, daß
- 1.2 das reflektive Röntgenmikroskop ein dem ersten Subsystem im
Strahlengang nachgeordnetes zweites Subsystem umfaßt, das wenigstens
einen dritten Spiegel (S3) aufweist.
2. Reflektives Röntgenmikroskop nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet,
daß der erste Spiegel (S1) ein Konkavspiegel und der zweite Spiegel (S2)
ein Konvexspiegel ist.
3. Reflektives Röntgenmikroskop nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet,
daß der erste Spiegel (S1) ein Konkavspiegel und der zweite Spiegel (S2)
ein Konkavspiegel ist.
4. Reflektives Röntgenmikroskop nach einem der Ansprüche 1 bis 3, dadurch
gekennzeichnet, daß das zweite Subsystem einen dritten (S3) und einen
vierten Spiegel (S4) umfaßt.
5. Reflektives Röntgenmikroskop gemäß Anspruch 4, dadurch
gekennzeichnet, daß der dritte (S3) und der vierte Spiegel (S4) je
Konkavspiegel sind.

6. Reflektives Röntgenmikroskop gemäß Anspruch 4, dadurch gekennzeichnet, daß der dritte Spiegel (S3) ein Konvexspiegel und der vierte Spiegel (S4) ein Konkavspiegel ist
- 5 7. Reflektives Röntgenmikroskop nach einem der Ansprüche 1 bis 6, dadurch gekennzeichnet, daß das Röntgenmikroskop eine Vergrößerung von $\beta \geq 50 \times$, bevorzugt im Bereich $100 \times \leq \beta \leq 1000 \times$ aufweist.
- 10 8. Reflektives Röntgenmikroskop gemäß einem der Ansprüche 1 bis 7, dadurch gekennzeichnet, daß im Strahlengang von der Objektebene zur Bildebene ein reelles Zwischenbild in einer Zwischenbildebene ausgebildet wird.
- 15 9. Reflektives Röntgenmikroskop gemäß einem der Ansprüche 1 bis 8, dadurch gekennzeichnet, daß das Röntgenmikroskop eine optische Achse aufweist, wobei erster, zweiter und dritter Spiegel (S1, S2, S3) des Mikroskopes zentriert zur optischen Achse (HA) angeordnet sind.
- 20 10. Reflektives Röntgenmikroskop gemäß einem der Ansprüche 1 bis 8, dadurch gekennzeichnet, daß das Röntgenmikroskop eine optische Achse aufweist, wobei erster, zweiter, dritter und vierter Spiegel (S1, S2, S3, S4) des Mikroskops zentriert zur optischen Achse (HA) angeordnet sind.
- 25 11. Reflektives Röntgenmikroskop gemäß einem der Ansprüche 1 bis 10, dadurch gekennzeichnet, daß das Objekt in der Objektebene (1) dezentriert zur und vorzugsweise nahe der optischen Achse (HA) angeordnet ist.
- 30 12. Reflektives Röntgenmikroskop gemäß einem der Ansprüche 1 bis 11, dadurch gekennzeichnet, daß eine Aperturblende (B) dezentriert zur optischen Achse (HA) vorgesehen ist.

13. Reflektions-Röntgenmikroskop gemäß Anspruch 12, dadurch gekennzeichnet, daß die Aperturblende (B) im Strahlengang von der Objekt(1)- zur Bildebene (3) nach der Objekzebene (1) und vor dem ersten Spiegel (S1) angeordnet ist.
- 5
14. Reflektives Röntgenmikroskop zur Untersuchung eines Objektes in einer Objekzebene, wobei das Objekt mit Strahlung einer Wellenlänge $< 100 \text{ nm}$, insbesondere $< 30 \text{ nm}$, beleuchtet und in eine Bildebene vergrößert abgebildet wird mit einem im Strahlengang von der Objekzebene zur Bildebene angeordneten ersten Subsystem umfassend wenigstens ein
- 10
- erstes optisches Element für Wellenlängen $< 30 \text{ nm}$, dadurch gekennzeichnet, daß
- 14.1 im Strahlengang von der Objekzebene zur Bildebene ein Zwischenbild (Z) in einer Zwischenbildebene (2) ausgebildet wird und das reflektive Röntgenmikroskop ein dem ersten Subsystem im Strahlengang nach dem Zwischenbild (Z) angeordnetes zweites Subsystem umfaßt.
- 15
15. Reflektives Röntgenmikroskop gemäß Anspruch 14, dadurch gekennzeichnet, dass das erste optische Element ein abbildendes optisches Element für Wellenlängen $< 30 \text{ nm}$, vorzugsweise ein Spiegel, eine Fresnel-Zonenplatte oder ein diffraktives optisches Element ist.
- 20
16. Reflektives Röntgenmikroskop gemäß Anspruch 14 oder 15, dadurch gekennzeichnet, daß das zweite Subsystem mindestens ein optisches Element zur Abbildung des Zwischenbildes in die Bildebene umfasst oder ein Abbildungssystem, bei dem Röntgenlicht in einen anderen Abbildungsträger gewandelt wird.
- 25
17. Reflektives Röntgenmikroskop gemäß Anspruch 16, dadurch gekennzeichnet, daß das optische Element zur Abbildung des
- 30

Zwischenbildes in die Bildebene wenigstens einen Spiegel umfasst oder das Abbildungssystem, bei dem das Röntgenlicht in einen anderen Abbildungsträger gewandelt wird, ein Photoemissions-Elektronenmikroskop oder ein Fluoreszenzmikroskop ist.

5

18. Reflektives Röntgenmikroskop nach einem der Ansprüche 14 bis 17, dadurch gekennzeichnet, daß das erste Subsystem einen ersten Spiegel (S1) und einen zweiten Spiegel (S2) umfaßt.

10

19. Reflektives Röntgenmikroskop nach einem der Ansprüche 14 bis 18, dadurch gekennzeichnet, daß das erste Subsystem eine erste Vergrößerung von
 $0,1 \leq \beta_1 \leq 100 \times$,
 bevorzugt im Bereich $0,1 \times \leq \beta_1 \leq 10 \times$
 aufweist.

15

20. Reflektives Röntgenmikroskop nach Anspruch 19, dadurch gekennzeichnet, daß das zweite Subsystem eine zweite Vergrößerung von

$$\beta_2 \geq 3 \times,$$

20

bevorzugt im Bereich $50 \times \leq \beta_2 \leq 500 \times$ aufweist.

21. Reflektives Röntgenmikroskop gemäß einem der Ansprüche 14 bis 20, dadurch gekennzeichnet, daß das Röntgenmikroskop eine optische Achse (HA) aufweist, wobei der erste Spiegel (S1) des Mikroskopes zentriert zur optischen Achse angeordnet sind.

25

22. Reflektives Röntgenmikroskop gemäß einem der Ansprüche 14 bis 20, dadurch gekennzeichnet, daß das Röntgenmikroskop eine optische Achse (HA) aufweist, wobei erster (S1) und zweiter Spiegel (S2) des Mikroskops

zentriert zur optischen Achse angeordnet sind.

5 23. Reflektives Röntgenmikroskop gemäß einem der Ansprüche 14 bis 22, dadurch gekennzeichnet, daß das Objekt dezentriert zur und vorzugsweise nahe der optischen Achse angeordnet ist.

10 24. Reflektives Röntgenmikroskop gemäß einem der Ansprüche 14 bis 23, dadurch gekennzeichnet, daß eine Aperturblende (B) dezentriert zur optischen Achse vorgesehen ist.

15 25. Reflexions-Röntgenmikroskop gemäß Anspruch 24, dadurch gekennzeichnet, daß die Aperturblende (B) im Strahlengang von der Objekt- (1) zur Bildebene (3) nach der Objektebene und vor dem ersten optischen Element für Strahlung < 30 nm angeordnet ist.

26. Inspektionssystem für die Untersuchung von Objekten, insbesondere Masken für die Mikrolithographie mit Wellenlängen < 100 nm, vorzugsweise < 30 nm, mit

20 26.1 einem Beleuchtungssystem zur Ausleuchtung eines Feldes in einer Objektebene (1), wobei

26.2 in der Objektebene innerhalb des ausgeleuchteten Feldes das zu untersuchende Objekt angeordnet ist;

25 26.3 einem Abbildungssystem für Wellenlängen ≤ 100 nm zur vergrößernden Abbildung wenigstens eines Ausschnittes des Objektes in eine Bildebene (3);

26.4 einem in der Bildebene (3) angeordneten Bildaufnahmesystem.

30 27. Inspektionssystem gemäß Anspruch 26, dadurch gekennzeichnet, daß das Inspektionssystem Positioniereinrichtungen zum Positionieren des Objektes in der Objektebene umfaßt.

28. Inspektionssystem gemäß einem der Ansprüche 26 bis 27, dadurch gekennzeichnet, daß das Abbildungssystem eine einstellbare Aperturblende (B) umfaßt.
- 5 29. Inspektionssystem gemäß einem der Ansprüche 26 bis 28, dadurch gekennzeichnet, daß das Beleuchtungssystem eine einstellbare Beleuchtungsaperturblende in einer Ebene, die konjugiert zur Ebene der Aperturblende (B) im Abbildungssystem ist, umfaßt.
- 10 30. Inspektionssystem gemäß einem der Ansprüche 26 bis 28, dadurch gekennzeichnet, daß das Beleuchtungssystem oder das Abbildungssystem eine Obskurationsblende in oder nahe der Blendenebene (B) oder einer Ebene, die konjugiert zur Blendenebene (B) ist, umfaßt.
- 15 31. Inspektionssystem gemäß einem der Ansprüche 26 bis 30, dadurch gekennzeichnet, daß das Beleuchtungssystem eine einstellbare Feldblende umfaßt.
- 20 32. Inspektionssystem gemäß einem der Ansprüche 26 bis 31, dadurch gekennzeichnet, daß das Bildaufnahmesystem eine Analyseeinheit zur Analyse der Bilder des Objektes in der Bildebene (3) umfaßt.
- 25 33. Inspektionssystem gemäß einem der Ansprüche 26 bis 32, dadurch gekennzeichnet, daß das Inspektionssystem Fokuseinstelleinrichtungen umfaßt.
- 30 34. Inspektionssystem gemäß Anspruch 33, dadurch gekennzeichnet, daß die Fokuseinstelleinrichtungen Verfahreinrichtungen zum Verfahren des Objektes in senkrechter Richtung zur Objektebene (1) umfassen.

35. Inspektionssystem gemäß Anspruch 33 oder 34, dadurch gekennzeichnet, daß das Bildaufnahmesystem Bilder an vorbestimmten Fokuspositionen, in die das Objekt durch die Fokuseinstelleinrichtung verbracht wird, aufnimmt.
- 5 36. Inspektionssystem gemäß einem der Ansprüche 32 bis 35, dadurch gekennzeichnet, daß die Analyseeinheit eine Mikrocomputereinrichtung umfaßt.
- 10 37. Inspektionssystem gemäß einem der Ansprüche 26 bis 36, dadurch gekennzeichnet, daß das Abbildungssystem für Wellenlängen ≤ 100 nm ein reflektives Röntgenmikroskop umfaßt.
- 15 38. Inspektionssystem gemäß Anspruch 37, dadurch gekennzeichnet, daß das reflektive Röntgenmikroskop ein reflektives Röntgenmikroskop gemäß einem der Ansprüche 1 bis 25 umfaßt.
- 20 39. Inspektionssystem gemäß Anspruch 37, dadurch gekennzeichnet, daß das reflektive Röntgenmikroskop ein reflektives Röntgenmikroskop gemäß Anspruch 8 oder einem der Ansprüche 14 bis 25 umfaßt und daß die Fokuseinstelleinrichtungen Vorrichtung zum Verfahren des zweiten Subsystems in senkrechter Richtung zur Zwischenbildebene (2) umfassen.
- 25 40. Inspektionssystem gemäß Anspruch 37, dadurch gekennzeichnet, daß das reflektive Röntgenmikroskop ein reflektives Röntgenmikroskop gemäß Anspruch 8 oder einem der Ansprüche 14 bis 25 umfaßt und daß die Fokuseinstelleinrichtungen Vorrichtung zum Verfahren des zweiten Subsystems in senkrechter Richtung zur Zwischenbildebene (2) und zum Verfahren des Objektes in senkrechter Richtung zur Objektebene (1) umfassen.
- 30

41. Inspektionssystem gemäß einem der Ansprüche 28 bis 40, dadurch gekennzeichnet, daß wenigstens ein Teil des Inspektionssystems im Vakuum oder in einem Schutzgas angeordnet ist.
- 5 42. Inspektionssystem gemäß einem der Ansprüche 28 bis 41, dadurch gekennzeichnet, daß das Inspektionssystem des weiteren ein zum Abbildungssystem für Wellenlängen ≤ 100 nm paralleles Hilfsbeobachtungssystem für Wellenlängen ≥ 100 nm zur Abbildung wenigstens eines Teiles des Objektes in eine weitere Bildebene umfaßt.
- 10 43. Inspektionssystem gemäß Anspruch 42, dadurch gekennzeichnet, daß das Hilfsbeobachtungssystem parfokal und/oder parzentriert angeordnet ist.
44. Verfahren zur Inspektion von Objekten, insbesondere Masken für die Mikrolithographie mit Wellenlängen ≤ 100 nm mit folgenden Schritten:
- 15 44.1 in der Objektebene wird mit einem Beleuchtungssystem ein Feld ausgeleuchtet;
- 44.2 das zu untersuchende Objekt wird mit Positioniereinrichtungen in das ausgeleuchtete Feld verbracht;
- 20 44.3 das zu untersuchende Objekt wird mit einem reflektiven Röntgenmikroskop für Wellenlängen ≤ 100 nm in eine Bildebene (3) abgebildet;
- 44.4 die Bilder des Objektes in der Bildebene (3) werden von einem Bildaufnahmesystem aufgenommen.
- 25 45. Verfahren gemäß Anspruch 44, dadurch gekennzeichnet, daß die von dem Bildaufnahmesystem aufgenommenen Bilder mit einer Analyseeinheit auf charakteristische Größen des Objektes hin ausgewertet werden.
- 30 46. Verfahren gemäß Anspruch 44 oder 45, dadurch gekennzeichnet, daß das Objekt mit einer Fokuseinstellvorrichtung senkrecht zur Objektebene (1)

verfahren wird und Bilder an vorbestimmten Fokuspositionen ober- und unterhalb des Fokus aufgenommen werden.

- 5 47. Verfahren gemäß einem der Ansprüche 44 bis 46, dadurch gekennzeichnet, daß die numerische Apertur mit der Aperturblende (B) und mit der Beleuchtungsaperturblende so eingestellt wird, daß sich eine mit der Projektionsbelichtungsanlage optisch äquivalente Apertur ergibt.

10 48. Verfahren gemäß einem der Ansprüche 44 bis 47, dadurch gekennzeichnet, daß das Verfahren mit einem Inspektionssystem gemäß einem der Ansprüche 26 bis 43 durchgeführt wird.

15 49. Verfahren gemäß einem der Ansprüche 44 bis 47, dadurch gekennzeichnet, daß das Verfahren mit einem Inspektionssystem gemäß Anspruch 39 durchgeführt wird und zur Fokuseinstellung das zweite Subsystem in senkrechter Richtung zur Zwischenbildebene (2) verfahren wird und Bilder an vorbestimmten Fokuspositionen oder ober- und unterhalb des Fokus aufgenommen werden..

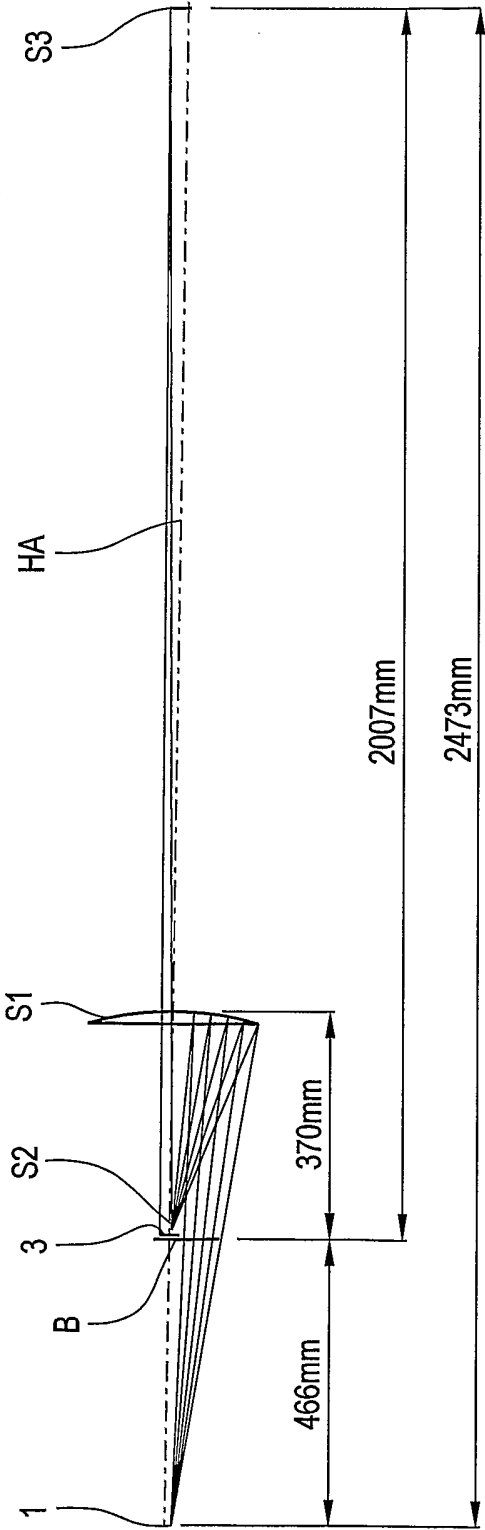
20 50. Verfahren gemäß einem der Ansprüche 44 bis 47, dadurch gekennzeichnet, daß das Verfahren mit einem Inspektionssystem gemäß Anspruch 40 durchgeführt wird und zur Fokuseinstellung das Objekt senkrecht zur Objektebene (1) verfahren wird und / oder das zweite Subsystem in senkrechter Richtung zur Zwischenbildebene (2) verfahren wird und Bilder an vorbestimmten Fokuspositionen oder ober- und unterhalb des Fokus aufgenommen werden.

25 51. Verwendung eines Inspektionssystems gemäß einem der Ansprüche 28 bis 44 zur Defektanalyse von Masken für die Mikrolithographie mit Wellenlängen ≤ 100 nm.

30

52. Verwendung eines Inspektionssystems gemäß einem der Ansprüche 28 bis 44 zur Kontrolle von Reparaturen von Masken für die Mikrolithographie mit Wellenlängen ≤ 100 nm.
- 5 53. Verwendung eines Inspektionssystems gemäß einem der Ansprüche 28 bis 44 zur Prozeßoptimierung für den Belichtungsprozeß in Projektionsbelichtungsanlagen.
- 10 54. Verwendung eines Inspektionssystems gemäß einem der Ansprüche 28 bis 44 zur Systemkonfiguration einer Projektionsbelichtungsanlage.

Fig.1



2/37

TABELLE 1A

LENS NOTES:

Notes...

S' = -500

konkav-konvex-konkav

GENERAL LENS DATA:

Surfaces : 7
 Stop : 3
 System Aperture : Object Space NA = 0.1672
 Glass Catalogs : schott
 Ray Aiming : Real Reference, Cache On
 X Pupil shift : 0
 Y Pupil shift : 0
 Z Pupil shift : 0
 Apodization : Uniform, factor = 0.00000E+000
 Effective Focal Length : 234.2387 (in air)
 Effective Focal Length : 234.2387 (in image space)
 Back Focal Length : -112265.6
 Total Track : 2333
 Image Space F/# : 1.482005
 Paraxial Working F/# : 1474.167
 Working F/# : 1497.046
 Image Space NA : 0.0003391746
 Object Space NA : 0.1672
 Stop Radius : 79.02767
 Paraxial Image Height : 19.03943
 Paraxial Magnification : -500
 Entrance Pupil Diameter : 158.0553
 Entrance Pupil Position : 325.5
 Exit Pupil Diameter : 79.52777
 Exit Pupil Position : 117421.5
 Field Type : Object height in Millimeters
 Maximum Field : 0.03807887
 Primary Wave : 0.0135
 Lens Units : Millimeters
 Angular Magnification : -1.987423

Fields : 8

Field Type: Object height in Millimeters

#	X-Value	Y-Value	Weight
1	0.000000	-0.005000	1.000000
2	0.000000	-0.012500	1.000000
3	0.000000	-0.020000	1.000000
4	0.000000	-0.027500	1.000000
5	0.000000	-0.035000	1.000000
6	0.015000	-0.005000	1.000000
7	0.015000	-0.020000	1.000000
8	0.015000	-0.035000	1.000000

Vignetting Factors

#	VDX	VDY	VCX	VCY	VAN
1	0.000000	0.000000	0.000000	0.000000	0.000000
2	0.000000	0.000000	0.000000	0.000000	0.000000
3	0.000000	0.000000	0.000000	0.000000	0.000000
4	0.000000	0.000000	0.000000	0.000000	0.000000
5	0.000000	0.000000	0.000000	0.000000	0.000000
6	0.000000	0.000000	0.000000	0.000000	0.000000
7	0.000000	0.000000	0.000000	0.000000	0.000000
8	0.000000	0.000000	0.000000	0.000000	0.000000

Wavelengths : 1

Units: Microns.

#	Value	Weight
1	0.013500	1.000000

TABELLE 1B

LENS NOTES:

Notes...
R_m -500
konkav-konvex-konkav

SURFACE DATA SUMMARY:

Surf	Type	Comment	Radius	Thickness	Glass	Diameter	Conic
OBJ	STANDARD	OBJEKTEBENE-OE	Infinity	140.5		0.07615773	0
1	STANDARD	HILFSFLÄCHE	Infinity	325.5		47.70722	0
2	STANDARD	HILFSFLÄCHE	Infinity	0		158.0553	0
3	STANDARD	BLLENDE	Infinity	370		158.0553	0
4	EVENASPH	1.SPIEGEL	-500	-352.5	MIRROR	276.962	0
5	EVENASPH	2.SPIEGEL	-3.5	190	MIRROR	1.385541	0
6	EVENASPH	3.SPIEGEL	-4000	-2000	MIRROR	38.53955	0
7	STANDARD	BILDEBENE-BE	Infinity			38.80791	0

4/37

TABELLE 1C

LENS NOTES:

Notes...
 A' = -500
 konkav-konvex-konkav

SURFACE DATA DETAIL:

Surface OBJ : STANDARD
 Comment : OBJEKTEBENE-OE
 Aperture : Rectangular Aperture
 X Half Width : 0.015
 Y Half Width : 0.015
 X- Decenter : 0
 Y- Decenter : -0.02

Surface 1 : STANDARD
 Comment : HILFSFLÄCHE
 Aperture : Rectangular Aperture
 X Half Width : 30
 Y Half Width : 15
 X- Decenter : 0
 Y- Decenter : -20.64

Surface 2 : STANDARD
 Comment : HILFSFLÄCHE
 Aperture : Circular Aperture
 Minimum Radius : 0
 Maximum Radius : 30
 X- Decenter : 0
 Y- Decenter : -48.98

Surface STD : STANDARD
 Comment : BLENDE

Surface 4 : EVENASPH
 Comment : 1.SPIEGEL
 Coeff on r 2 : -4.8307125e-006
 Coeff on r 4 : 1.507674e-010
 Coeff on r 6 : 5.954906e-016
 Coeff on r 8 : 9.963594e-022
 Coeff on r 10 : -6.0635175e-027
 Coeff on r 12 : 9.0583726e-031
 Coeff on r 14 : 0
 Coeff on r 16 : 0

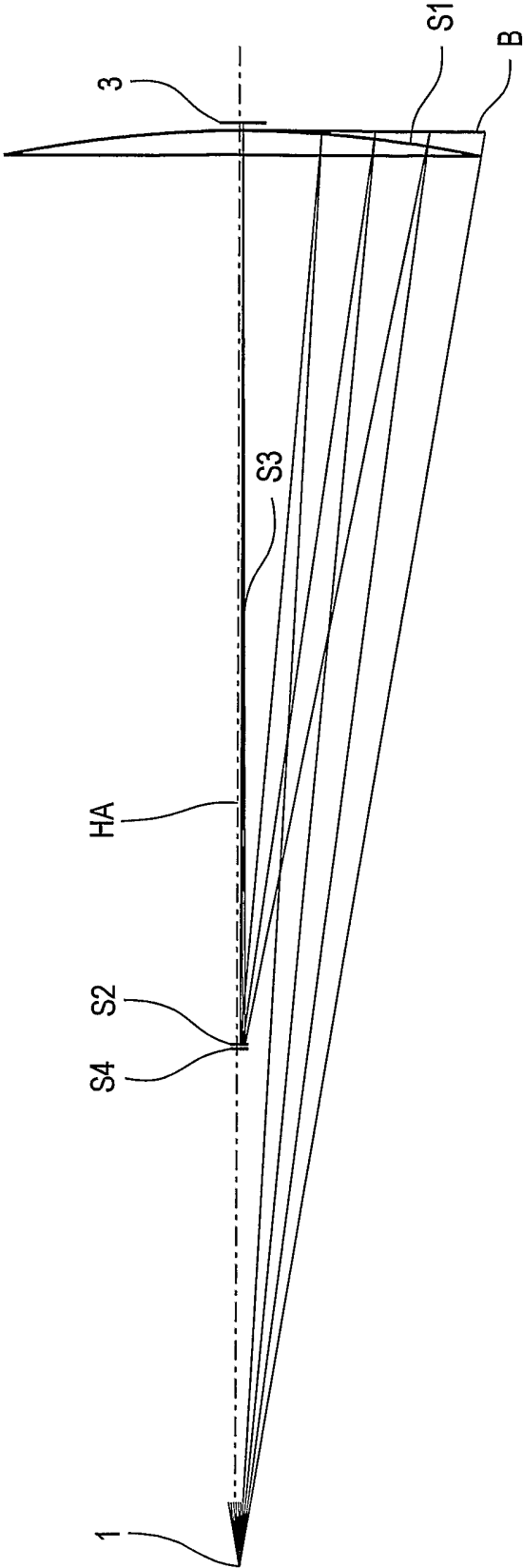
Surface 5 : EVENASPH
 Comment : 2.SPIEGEL
 Coeff on r 2 : -0.0029715707
 Coeff on r 4 : 0.00095749309
 Coeff on r 6 : 0.0054995085
 Coeff on r 8 : -0.01948431
 Coeff on r 10 : 0.047391254
 Coeff on r 12 : -0.081392844
 Coeff on r 14 : 0.083806863
 Coeff on r 16 : -0.034839904

Surface 6 : EVENASPH
 Comment : 3.SPIEGEL
 Coeff on r 2 : 1.6464231e-006
 Coeff on r 4 : 5.7633466e-009
 Coeff on r 6 : -1.317449e-011
 Coeff on r 8 : 4.0280325e-014
 Coeff on r 10 : -7.0734665e-017
 Coeff on r 12 : 5.3017923e-020
 Coeff on r 14 : 0
 Coeff on r 16 : 0

Surface IMA : STANDARD
 Comment : BILDEBENE-BE

5/37

Fig.2



6/37

TABELLE 2A

LENS NOTES:

Notes...
 S'=354'
 konkav-konvex-konkav-konkav

GENERAL LENS DATA:

Surfaces : 7
 Stop : 3
 System Aperture : Object Space NA = 0.1672
 Glass Catalogs : schott
 Ray Aiming : Real Reference, Cache On
 X Pupil shift : 0
 Y Pupil shift : 0
 Z Pupil shift : 0
 Apodization : Uniform, factor = 0.00000E+000
 Effective Focal Length : -15.36043 (in air)
 Effective Focal Length : -15.36043 (in image space)
 Back Focal Length : 3582.062
 Total Track : 3013
 Image Space F/# : 0.01442053
 Paraxial Working F/# : 1043.713
 Working F/# : 994.9058
 Image Space NA : 0.0004790589
 Object Space NA : 0.1672
 Stop Radius : 532.5889
 Paraxial Image Height : 13.47995
 Paraxial Magnification : 354.0009
 Entrance Pupil Diameter : 1065.178
 Entrance Pupil Position : 3000
 Exit Pupil Diameter : 5.20994
 Exit Pupil Position : -5445.013
 Field Type : Object height in Millimeters
 Maximum Field : 0.03807887
 Primary Wave : 0.0135
 Lens Units : Millimeters
 Angular Magnification : -204.4511

Fields : 8

Field Type: Object height in Millimeters

#	X-Value	Y-Value	Weight
1	0.000000	0.005000	1.000000
2	0.000000	0.012500	1.000000
3	0.000000	0.020000	1.000000
4	0.000000	0.027500	1.000000
5	0.000000	0.035000	1.000000
6	0.015000	0.005000	1.000000
7	0.015000	0.020000	1.000000
8	0.015000	0.035000	1.000000

Vignetting Factors

#	VDX	VDY	VCX	VCY	VAN
1	0.000000	0.000000	0.000000	0.000000	0.000000
2	0.000000	0.000000	0.000000	0.000000	0.000000
3	0.000000	0.000000	0.000000	0.000000	0.000000
4	0.000000	0.000000	0.000000	0.000000	0.000000
5	0.000000	0.000000	0.000000	0.000000	0.000000
6	0.000000	0.000000	0.000000	0.000000	0.000000
7	0.000000	0.000000	0.000000	0.000000	0.000000
8	0.000000	0.000000	0.000000	0.000000	0.000000

Wavelengths : 1

Units: Microns

#	Value	Weight
1	0.013500	1.000000

TABELLE 2B

LENS NOTES:
Notes...
N:=354
Konkav-konvex-konkav-konkav

SURFACE DATA SUMMARY:

Surf	Type	Comment
OBJ	STANDARD	
1	STANDARD	HILFSFLÄCHE
2	STANDARD	HILFSFLÄCHE
3	STANDARD	LENDE
4	EVERASEH	
5	EVERASEH	
6	EVERASEH	
IMA	STANDARD	

Radius	Thickness	Glass	Diameter	Conic
Infinity	140.5		0.07615773	0
Infinity	3000		47.72672	0
Infinity	0		1068.179	0
-2500	-1997	MIRROR	1046.393	0
-166	1000	MIRROR	39.11943	0
-50	-1010	MIRROR	2.082316	0
2000	2020	MIRROR	40	0
Infinity			100	0

8/37

TABELLE 2C

LENS NOTES:

Notes...
 B'=354
 konkav-konvex-konkav-konkav

SURFACE DATA DETAIL:

Surface OBJ : STANDARD
 Aperture : Rectangular Aperture
 X Half Width : 0.015
 Y Half Width : 0.015
 X- Decenter : 0
 Y- Decenter : 0.02

Surface 1 : STANDARD
 Comment : HILFSEFLÄCHE
 Aperture : Rectangular Aperture
 X Half Width : 30
 Y Half Width : 15
 X- Decenter : 0
 Y- Decenter : -20.64

Surface 2 : STANDARD
 Comment : HILFSEFLÄCHE
 Aperture : Circular Aperture
 Minimum Radius : 0
 Maximum Radius : 198.75
 X- Decenter : 0
 Y- Decenter : -331.25

Surface STO : EVENASPH
 Comment : BLENDE
 Coeff on r 2 : -1.7434327e-007
 Coeff on r 4 : 3.1374275e-013
 Coeff on r 6 : 5.3355533e-020
 Coeff on r 8 : -8.5318118e-028
 Coeff on r 10 : 2.8646746e-032
 Coeff on r 12 : -4.1365345e-039
 Coeff on r 14 : 0
 Coeff on r 16 : 0

Surface 4 : EVENASPH
 Coeff on r 2 : 3.3919781e-006
 Coeff on r 4 : 3.6808025e-008
 Coeff on r 6 : 1.7049583e-012
 Coeff on r 8 : -2.0350022e-015
 Coeff on r 10 : 5.2988305e-018
 Coeff on r 12 : -1.4240788e-021
 Coeff on r 14 : 0
 Coeff on r 16 : 0

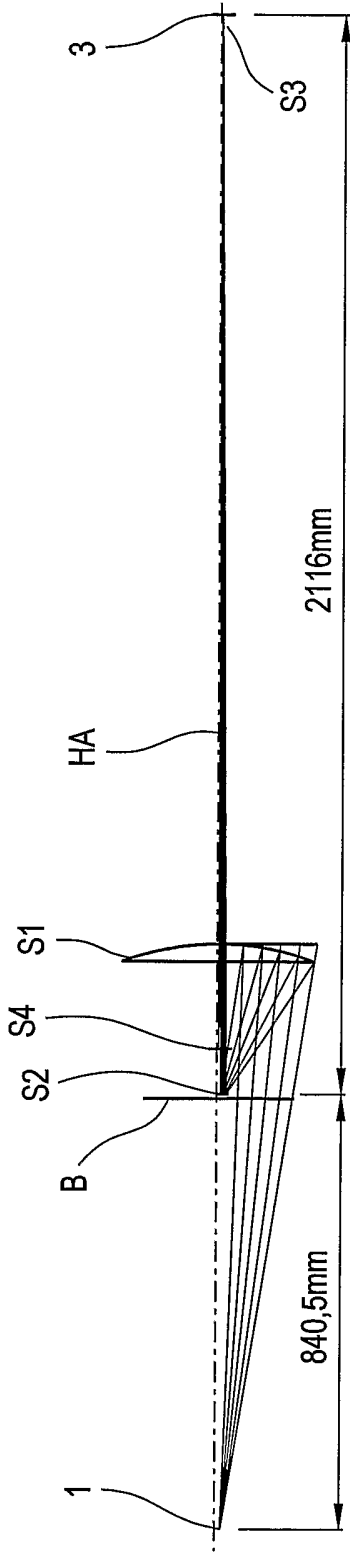
Surface 5 : EVENASPH
 Coeff on r 2 : 0.0031086973
 Coeff on r 4 : 6.1575983e-005
 Coeff on r 6 : -0.0012869219
 Coeff on r 8 : 0.0073299418
 Coeff on r 10 : -0.020602843
 Coeff on r 12 : -0.024688225
 Coeff on r 14 : -0.0012519234
 Coeff on r 16 : -0.014071763
 Aperture : Floating Aperture
 Maximum Radius : 1.041158

Surface 6 : EVENASPH
 Coeff on r 2 : -6.5912756e-005
 Coeff on r 4 : -1.5574759e-008
 Coeff on r 6 : -4.7738429e-010
 Coeff on r 8 : 7.5143917e-012
 Coeff on r 10 : -6.5517905e-014
 Coeff on r 12 : 2.2254561e-016
 Coeff on r 14 : 0
 Coeff on r 16 : 0
 Aperture : Floating Aperture
 Maximum Radius : 20

Surface IMA : STANDARD

COATING DEFINITIONS:

Fig.3



10/37

TABELLE 3A

LENS NOTES:

Notes...
 $\beta' = 530$
 konkav - konvex - konkav - konkav

GENERAL LENS DATA:

Surfaces : 8
 Stop : 2
 System Aperture : Object Space NA = 0.1672
 Glass Catalogs : schott
 Ray Aiming : Real Reference, Cache On
 X Pupil shift : 0
 Y Pupil shift : 0
 Z Pupil shift : 0
 Apodization : Uniform, factor = 0.00000E+000
 Effective Focal Length : -80.6423 (in air)
 Effective Focal Length : -80.6423 (in image space)
 Back Focal Length : -35555.39
 Total Track : 2815.61
 Image Space F/# : 0.2828798
 Paraxial Working F/# : 1562.617
 Working F/# : 1576.998
 Image Space NA : 0.000319976
 Object Space NA : 0.1672
 Stop Radius : 142.5381
 Paraxial Image Height : 20.1818
 Paraxial Magnification : 530
 Entrance Pupil Diameter : 289.0762
 Entrance Pupil Position : 700
 Exit Pupil Diameter : 27.35677
 Exit Pupil Position : -42950.12
 Field Type : Object height in Millimeters
 Maximum Field : 0.03807887
 Primary Wave : 0.0135
 Lens Units : Millimeters
 Angular Magnification : -10.42068

Fields : 8

Field Type: Object height in Millimeters

#	X-Value	Y-Value	Weight
1	0.000000	0.005000	1.000000
2	0.000000	0.012500	1.000000
3	0.000000	0.020000	1.000000
4	0.000000	0.027500	1.000000
5	0.000000	0.035000	1.000000
6	0.015000	0.005000	1.000000
7	0.015000	0.020000	1.000000
8	0.015000	0.035000	1.000000

Vignetting Factors

#	VDX	VDY	VCX	VCY	VAN
1	0.000000	0.000000	0.000000	0.000000	0.000000
2	0.000000	0.000000	0.000000	0.000000	0.000000
3	0.000000	0.000000	0.000000	0.000000	0.000000
4	0.000000	0.000000	0.000000	0.000000	0.000000
5	0.000000	0.000000	0.000000	0.000000	0.000000
6	0.000000	0.000000	0.000000	0.000000	0.000000
7	0.000000	0.000000	0.000000	0.000000	0.000000
8	0.000000	0.000000	0.000000	0.000000	0.000000

Wavelengths : 1

Units: Microns

#	Value	Weight
1	0.013500	1.000000

TABELLE 3B

LENS NOTES:

Notes...
S' = 530
konv - konvex - konkav - konkav

SURFACE DATA SUMMARY:

Surf	Type	Comment	Radius	Thickness	Glass	Diameter	Conic
OBJ	STANDARD	OBJEKT-EBENE	Infinity	140.5		0.07615773	0
1	STANDARD	HILFSFLÄCHE	Infinity	700		47.71745	0
2	STANDARD	LENSE	Infinity	300		385.0762	0
3	STANDARD	HILFSFLÄCHE	Infinity	0		386.8558	0
4	EVENSAPH	1. SPIEGEL	-500	-285.69	MIRROR	374.3561	0
5	EVENSAPH	2. SPIEGEL	-80	2081.3	MIRROR	30.41275	0
6	STANDARD	3. SPIEGEL-SPHR.	-166	~3000	MIRROR	3.0007	0
7	EVENSAPH	4. SPIEGEL	4000	2020	MIRROR	39.28856	0
IMA	STANDARD	BILD-EBENE	Infinity			40.26898	0

12/37

TABELLE 3C

LENS NOTES:

Notes...

A_{max} 530

konkav - konvex - konkav - konkav

SURFACE DATA DETAIL:

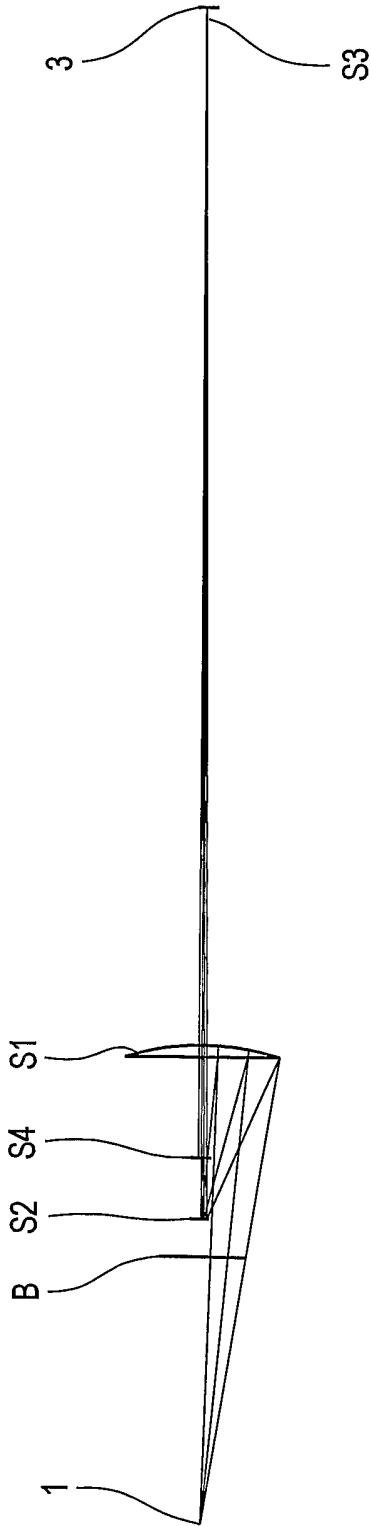
```

Surface OBJ      : STANDARD
Comment          : OBJEKT-EBENE
Aperture         : Rectangular Aperture
X Half Width    : 0.015
Y Half Width    : 0.015
X- Decenter     : 0
Y- Decenter     : 0.03
Surface 1       : STANDARD
Comment         : HILFSFLÄCHE
Aperture        : Rectangular Aperture
X Half Width    : 30
Y Half Width    : 15
X- Decenter     : 0
Y- Decenter     : -20.64
Surface STO     : STANDARD
Comment         : BLENDE
Surface 3       : STANDARD
Comment         : HILFSFLÄCHE
Aperture        : Circular Aperture
Minimum Radius  : 0
Maximum Radius  : 73
X- Decenter     : 0
Y- Decenter     : -119.87
Surface 4       : EVENASPH
Comment         : 1.SPIEGEL
Coeff on r 2    : -2.4617005e-005
Coeff on r 4    : 2.611535e-010
Coeff on r 6    : 1.5508187e-015
Coeff on r 8    : -1.1008112e-020
Coeff on r 10   : 4.8365227e-026
Coeff on r 12   : 1.7895774e-030
Coeff on r 14   : 0
Coeff on r 16   : 0
Surface 5       : EVENASPH
Comment         : 2.SPIEGEL
Coeff on r 2    : 7.36621e-006
Coeff on r 4    : 6.6871564e-007
Coeff on r 6    : 2.6494143e-009
Coeff on r 8    : -1.063463e-011
Coeff on r 10   : 1.4770529e-014
Coeff on r 12   : 5.4578804e-018
Coeff on r 14   : 0
Coeff on r 16   : 0
Surface 6       : STANDARD
Comment         : 3.SPIEGEL-SPHÄR.
Surface 7       : EVENASPH
Comment         : 4.SPIEGEL
Coeff on r 2    : -4.6390308e-007
Coeff on r 4    : 2.9425212e-009
Coeff on r 6    : -8.911427e-012
Coeff on r 8    : 1.9486952e-014
Coeff on r 10   : -3.024605e-017
Coeff on r 12   : 2.3357399e-020
Coeff on r 14   : 0
Coeff on r 16   : 0
Surface IMA     : STANDARD
Comment         : BILD-EBENE

```

COATING DEFINITIONS:

Fig.4



14/37

TABELLE 4A

LENS NOTES:

Notes... $f' = 500$

konkav-konvex-konkav-konkav, Spiegel 3 und 4 sphärisch

GENERAL LENS DATA:

Surfaces : 8
 Stop : 3
 System Aperture : Object Space NA = 0.1672
 Glass Catalogs : schott
 Ray Aiming : Real Reference, Cache On
 X Pupil shift : 0
 Y Pupil shift : 0
 Z Pupil shift : 0
 Apodization : Uniform, factor = 0.00000E+000
 Effective Focal Length : -70.30086 (in air)
 Effective Focal Length : -70.30086 (in image space)
 Back Focal Length : -28049.43
 Total Track : 2508.5
 Image Space F/# : 0.4447864
 Paraxial Working F/# : 1474.167
 Working F/# : 1495.231
 Image Space NA : 0.0003391745
 Object Space NA : 0.1672
 Stop Radius : 79.02767
 Paraxial Image Height : 19.03943
 Paraxial Magnification : 500
 Entrance Pupil Diameter : 158.0553
 Entrance Pupil Position : 325.5
 Exit Pupil Diameter : 23.85146
 Exit Pupil Position : -35178.54
 Field Type : Object height in Millimeters
 Maximum Field : 0.03807887
 Primary Wave : 0.0135
 Lens Units : Millimeters
 Angular Magnification : -6.626653

Fields : 8

Field Type: Object height in Millimeters

#	X-Value	Y-Value	Weight
1	0.000000	0.005000	1.000000
2	0.000000	0.012500	1.000000
3	0.000000	0.020000	1.000000
4	0.000000	0.027500	1.000000
5	0.000000	0.035000	1.000000
6	0.015000	0.005000	1.000000
7	0.015000	0.020000	1.000000
8	0.015000	0.035000	1.000000

Vignetting Factors

#	VDX	VDY	VCX	VCY	VAN
1	0.000000	0.000000	0.000000	0.000000	0.000000
2	0.000000	0.000000	0.000000	0.000000	0.000000
3	0.000000	0.000000	0.000000	0.000000	0.000000
4	0.000000	0.000000	0.000000	0.000000	0.000000
5	0.000000	0.000000	0.000000	0.000000	0.000000
6	0.000000	0.000000	0.000000	0.000000	0.000000
7	0.000000	0.000000	0.000000	0.000000	0.000000
8	0.000000	0.000000	0.000000	0.000000	0.000000

Wavelengths : 1

Units: Microns

#	Value	Weight
1	0.013500	1.000000

TABELLE 4B

LENS NOTES:

Notes... f'=500
konkav-konvex-konkav-konkav, Spiegel 3 und 4 sphärisch

SURFACE DATA SUMMARY:

Surf	Type	Comment	Radius	Thickness	Glass	Diameter	Conic
OBJ	STANDARD	OBJEKT-EBENE	Infinity	140.5		0.07615773	0
1	STANDARD	HILFSFLÄCHE	Infinity	325.5		47.70722	0
2	STANDARD	HILFSFLÄCHE	Infinity	0		158.0553	0
STO	STANDARD	BLLENDE	Infinity	370		158.0553	0
4	EVENASPH	1.SPIEGEL	-500	-305	MIRROR	276.6939	0
5	EVENASPH	2.SPIEGEL	-100	2108	MIRROR	24.81398	0
6	STANDARD	3.SPIEGEL-SPHÄR.	-216	-2000	MIRROR	3.494166	0
7	STANDARD	4.SPIEGEL-SPHÄR.	4000	2010	MIRROR	37.08851	0
IMA	STANDARD	BILD-EBENE	Infinity			37.94685	0

16/37

TABELLE 4C

LENS NOTES:

Notes... B*=500
 konkav-konvex-konkav-konkav, Spiegel 3 und 4 sphärisch

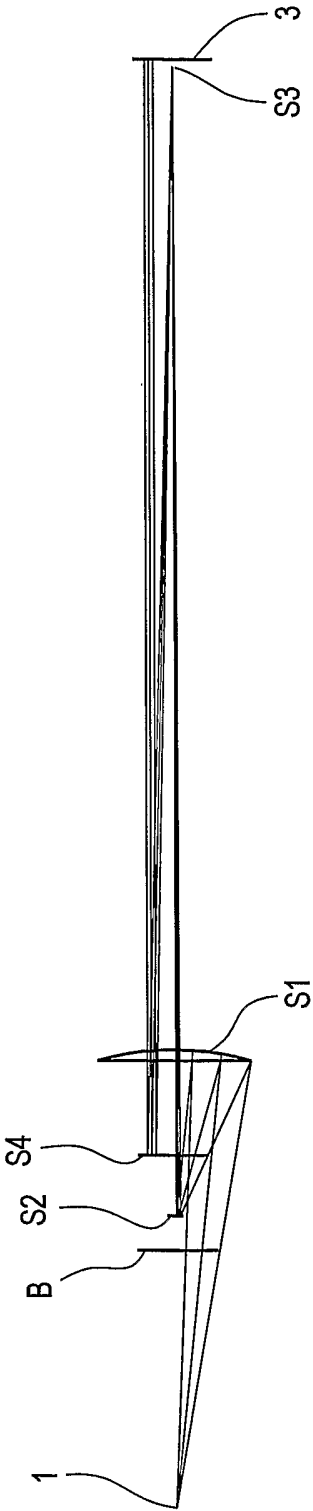
SURFACE DATA DETAIL:

```

Surface OBJ      : STANDARD
Comment          : OBJEKT-EBENE
Aperture         : Rectangular Aperture
X Half Width    :      0.015
Y Half Width    :      0.015
X- Decenter     :      0
Y- Decenter     :      +0.02
Surface 1       : STANDARD
Comment         : HILFSFLÄCHE
Aperture        : Rectangular Aperture
X Half Width    :      30
Y Half Width    :      15
X- Decenter     :      0
Y- Decenter     :     -20.64
Surface 2       : STANDARD
Comment         : HILFSFLÄCHE
Aperture        : Circular Aperture
Minimum Radius  :      0
Maximum Radius  :      30
X- Decenter     :      0
Y- Decenter     :     -48.98
Surface STO     : STANDARD
Comment         : BLENDE
Surface 4       : EVENASPH
Comment         : 1.SPIEGEL
Coeff on r 2    : -4.6103352e-005
Coeff on r 4    :  4.5797537e-011
Coeff on r 6    :  1.086501e-015
Coeff on r 8    : -3.224814e-020
Coeff on r 10   :  1.7635536e-026
Coeff on r 12   :  1.8446481e-029
Coeff on r 14   :      0
Coeff on r 16   :      0
Surface 5       : EVENASPH
Comment         : 2.SPIEGEL
Coeff on r 2    : -0.0033081204
Coeff on r 4    : -1.5505972e-007
Coeff on r 6    :  1.713275e-009
Coeff on r 8    : -1.0034183e-011
Coeff on r 10   :  1.1489741e-014
Coeff on r 12   :  4.6187442e-017
Coeff on r 14   :      0
Coeff on r 16   :      0
Surface 6       : STANDARD
Comment         : 3.SPIEGEL-SPHÄR.
Surface 7       : STANDARD
Comment         : 4.SPIEGEL-SPHÄR.
Surface IMA     : STANDARD
Comment         : BILD-EBENE
  
```

COATING DEFINITIONS:

Fig.5



18/37

TABELLE 5C

LENS NOTES:

Notes... $S'=500$
 konkav-konvex-konkav-konkav, Spiegel 3 und 4 sphärisch
 Objektfeld: $2x=200\mu\text{m}$, $y=5\mu\text{m}$ - $100\mu\text{m}$ mit Wellenfrontfehler $<20\text{m}\lambda$

SURFACE DATA DETAIL:

Surface OBJ : STANDARD
 Comment : OBJEKT-EBENE
 Aperture : Rectangular Aperture
 X Half Width : 0.1
 Y Half Width : 0.015
 X- Decenter : 0
 Y- Decenter : 0.085

Surface 1 : STANDARD
 Comment : HILFSFLÄCHE
 Aperture : Rectangular Aperture
 X Half Width : 30
 Y Half Width : 15
 X- Decenter : 0
 Y- Decenter : -20.64

Surface 2 : STANDARD
 Comment : HILFSFLÄCHE
 Aperture : Circular Aperture
 Minimum Radius : 0
 Maximum Radius : 30
 X- Decenter : 0
 Y- Decenter : -48.98

Surface STO : STANDARD
 Comment : BLENDE

Surface 4 : EVENASPH
 Comment : 1.SPIEGEL
 Coeff on r 2 : -4.6094988e-005
 Coeff on r 4 : 5.1127578e-011
 Coeff on r 6 : 4.8723006e-016
 Coeff on r 8 : -1.0557709e-020
 Coeff on r 10 : 5.2110287e-026
 Coeff on r 12 : 7.3206667e-030
 Coeff on r 14 : 0
 Coeff on r 16 : 0

Surface 5 : EVENASPH
 Comment : 2.SPIEGEL
 Coeff on r 2 : -0.0033070554
 Coeff on r 4 : -6.8871027e-008
 Coeff on r 6 : 4.3841886e-010
 Coeff on r 8 : -3.4827214e-012
 Coeff on r 10 : 6.0031516e-015
 Coeff on r 12 : 1.6086521e-017
 Coeff on r 14 : 0
 Coeff on r 16 : 0

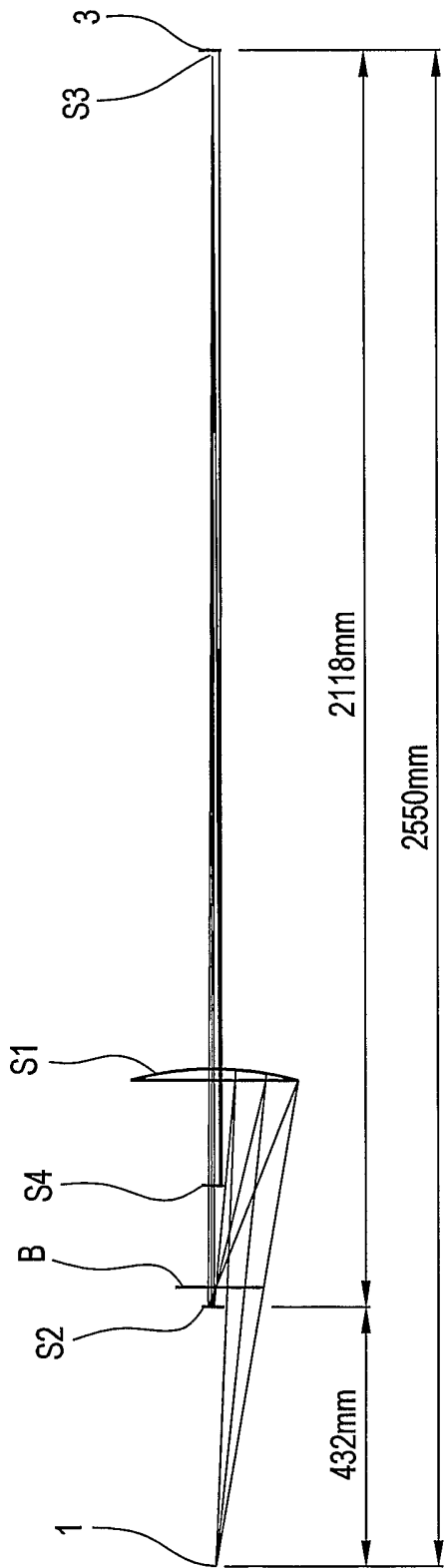
Surface 6 : STANDARD
 Comment : 3.SPIEGEL-SPHÄR.

Surface 7 : STANDARD
 Comment : 4.SPIEGEL-SPHÄR.

Surface IMA : STANDARD
 Comment : BILD-EBENE

COATING DEFINITIONS:

Fig.6



20/37

TABELLE 6A

LENS NOTES:

Notes... $\lambda' = -500$
 Alle Spiegel konkav, Spiegel 3 und 4 sphärisch

GENERAL LENS DATA:

Surfaces : 8
 Stop : 3
 System Aperture : Object Space NA = 0.1672
 Glass Catalogs : schott
 Ray Aiming : Real Reference, Cache On
 X Pupil shift : 0
 Y Pupil shift : 0
 Z Pupil shift : 0
 Apodization : Uniform, factor = 0.00000E+000
 Effective Focal Length : 37.39941 (in air)
 Effective Focal Length : 37.39941 (in image space)
 Back Focal Length : -11587.69
 Total Track : 2409.22
 Image Space F/# : 0.2366223
 Paraxial Working F/# : 1474.167
 Working F/# : 1492.687
 Image Space NA : 0.0003391745
 Object Space NA : 0.1672
 Stop Radius : 79.02767
 Paraxial Image Height : 19.03943
 Paraxial Magnification : -500
 Entrance Pupil Diameter : 158.0553
 Entrance Pupil Position : 325.5
 Exit Pupil Diameter : 12.68697
 Exit Pupil Position : -18608.47
 Field Type : Object height in Millimeters
 Maximum Field : 0.03807887
 Primary Wave : 0.0135
 Lens Units : Millimeters
 Angular Magnification : 12.45809

Fields : 8

Field Type: Object height in Millimeters

#	X-Value	Y-Value	Weight
1	0.000000	0.005000	1.000000
2	0.000000	0.012500	1.000000
3	0.000000	0.020000	1.000000
4	0.000000	0.027500	1.000000
5	0.000000	0.035000	1.000000
6	0.015000	0.005000	1.000000
7	0.015000	0.020000	1.000000
8	0.015000	0.035000	1.000000

Vignetting Factors

#	VDX	VDY	VCX	VCY	VAN
1	0.000000	0.000000	0.000000	0.000000	0.000000
2	0.000000	0.000000	0.000000	0.000000	0.000000
3	0.000000	0.000000	0.000000	0.000000	0.000000
4	0.000000	0.000000	0.000000	0.000000	0.000000
5	0.000000	0.000000	0.000000	0.000000	0.000000
6	0.000000	0.000000	0.000000	0.000000	0.000000
7	0.000000	0.000000	0.000000	0.000000	0.000000
8	0.000000	0.000000	0.000000	0.000000	0.000000

Wavelengths : 1

Units: Microns

#	Value	Weight
1	0.013500	1.000000

TABELLE 6B

LENS NOTES:

Notes... λ' = -500
Alle Spiegel konkav, Spiegel 3 und 4 sphärisch

SURFACE DATA SUMMARY:

Surf	Type	Comment	Radius	Thickness	Glass	Diameter	Conic
OBJ	STANDARD	OBJEKT-EBENE	Infinity	140.5		0.07615773	0
1	STANDARD	HILFSFLÄCHE	Infinity	325.5		47.70722	0
2	STANDARD	HILFSFLÄCHE	Infinity	0		158.0553	0
STO	STANDARD	BLLENDE	Infinity	370		158.0553	0
4	EVENASPH	1. SPIEGEL	-500	-404.28	MIRROR	277.1741	0
5	EVENASPH	2. SPIEGEL	100	2108	MIRROR	24.79504	0
6	STANDARD	3. SPIEGEL-SPHÄR.	-216	-1800	MIRROR	3.507399	0
7	STANDARD	4. SPIEGEL-SPHÄR.	4000	1910	MIRROR	35.32319	0
IMA	STANDARD	BILD-EBENE	Infinity			37.93232	0

22/37

TABELLE 6C

LENS NOTES:

Notes... $\beta' = -500$
 Alle Spiegel konkav, Spiegel 3 und 4 sphärisch

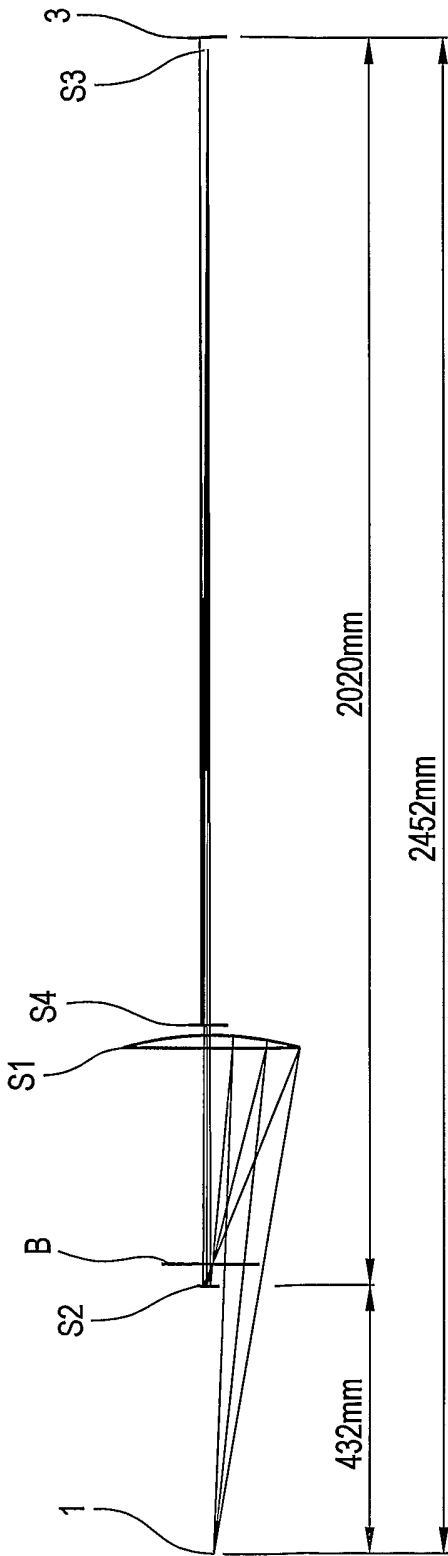
SURFACE DATA DETAIL:

```

Surface OBJ : STANDARD
Comment    : OBJEKT-EBENE
Aperture   : Rectangular Aperture
X Half Width : 0.015
Y Half Width : 0.015
X- Decenter : 0
Y- Decenter : 0.02
Surface 1   : STANDARD
Comment    : HILFSFLÄCHE
Aperture   : Rectangular Aperture
X Half Width : 30
Y Half Width : 15
X- Decenter : 0
Y- Decenter : -20.64
Surface 2   : STANDARD
Comment    : HILFSFLÄCHE
Aperture   : Circular Aperture
Minimum Radius : 0
Maximum Radius : 30
X- Decenter : 0
Y- Decenter : -48.98
Surface STO : STANDARD
Comment    : BLENDE
Surface 4   : EVENASPH
Comment    : 1.SPIEGEL
Coeff on r 2 : 2.7769148e-005
Coeff on r 4 : 2.2488572e-010
Coeff on r 6 : 1.1599273e-015
Coeff on r 8 : -2.9110643e-020
Coeff on r 10 : 1.1856427e-024
Coeff on r 12 : -1.6412839e-029
Coeff on r 14 : 0
Coeff on r 16 : 0
Surface 5   : EVENASPH
Comment    : 2.SPIEGEL
Coeff on r 2 : 0.0027208747
Coeff on r 4 : 3.1374819e-008
Coeff on r 6 : 7.8315561e-010
Coeff on r 8 : -8.0650957e-012
Coeff on r 10 : 3.8132831e-014
Coeff on r 12 : -6.7855098e-017
Coeff on r 14 : 0
Coeff on r 16 : 0
Surface 6   : STANDARD
Comment    : 3.SPIEGEL-SPHÄR.
Surface 7   : STANDARD
Comment    : 4.SPIEGEL-SPHÄR.
Surface IMA : STANDARD
Comment    : BILD-EBENE
  
```

COATING DEFINITIONS:

Fig.7



24/37

TABELLE 7A

LENS NOTES:

Notes... S = 500
 konkav-konkav-konvex-konkav

GENERAL LENS DATA:

Surfaces : 0
 Stop : 3
 System Aperture : Object Space NA = 0.1672
 Glass Catalogs : schott
 Ray Aiming : Real Reference, Cache On
 X Pupil shift : 0
 Y Pupil shift : 0
 Z Pupil shift : 0
 Apodization : Uniform, factor = 0.00000E+000
 Effective Focal Length : -196.9264 (in air)
 Effective Focal Length : -196.9264 (in image space)
 Back Focal Length : -91931.51
 Total Track : 2311.22
 Image Space F/# : 1.245933
 Paraxial Working F/# : 1474.167
 Working F/# : 1489.404
 Image Space NA : 0.0003391746
 Object Space NA : 0.1672
 Stop Radius : 79.02767
 Paraxial Image Height : 30.92329
 Paraxial Magnification : 500
 Entrance Pupil Diameter : 158.0553
 Entrance Pupil Position : 325.5
 Exit Pupil Diameter : 66.84893
 Exit Pupil Position : -98294.58
 Field Type : Object height in Millimeters
 Maximum Field : 0.06184658
 Primary Wave : 0.0135
 Lens Units : Millimeters
 Angular Magnification : -2.364366

Fields : 8

Field Type: Object height in Millimeters

#	X-Value	Y-Value	Weight
1	0.000000	0.030000	1.000000
2	0.000000	0.037500	1.000000
3	0.000000	0.045000	1.000000
4	0.000000	0.052500	1.000000
5	0.000000	0.060000	1.000000
6	0.015000	0.030000	1.000000
7	0.015000	0.045000	1.000000
8	0.015000	0.060000	1.000000

Vignetting Factors

#	VDX	VDY	VCX	VCY	VAN
1	0.000000	0.000000	0.000000	0.000000	0.000000
2	0.000000	0.000000	0.000000	0.000000	0.000000
3	0.000000	0.000000	0.000000	0.000000	0.000000
4	0.000000	0.000000	0.000000	0.000000	0.000000
5	0.000000	0.000000	0.000000	0.000000	0.000000
6	0.000000	0.000000	0.000000	0.000000	0.000000
7	0.000000	0.000000	0.000000	0.000000	0.000000
8	0.000000	0.000000	0.000000	0.000000	0.000000

Wavelengths : 1

Units: Microns

#	Value	Weight
1	0.013500	1.000000

TABELLE 7B

LENS NOTES:

Notes... $\beta' = 500$

konkav-konkav-konvex-konkav

SURFACE DATA SUMMARY:

λ	z	Type	Comment
		OBJ STANDARD	OBJEKT-EBENE
1		STANDARD	HILFSFLÄCHE
2		STANDARD	HILFSFLÄCHE
3		STANDARD	BLENDE
4		EVENASPH	1. SPIEGEL
5		EVENASPH	2. SPIEGEL
6		STANDARD	3. SPIEGEL-SPHÄR.
7		STANDARD	4. SPIEGEL-SPHÄR.
		IMA STANDARD	BILD-EBENE

Radius	Thickness	Glass	Diameter	Conic
Infinity	140.5		0.1236932	0
Infinity	325.5		47.74043	0
Infinity	0		158.0553	0
Infinity	370		158.0553	0
-500	-404.28	MIRROR	277.2035	0
100	2000	MIRROR	25.1518	0
190	-1580	MIRROR	4.422261	0
3400	1600	MIRROR	61.67181	0
Infinity			61.75582	0

26/37

TABELLE 7C

LENS NOTES:

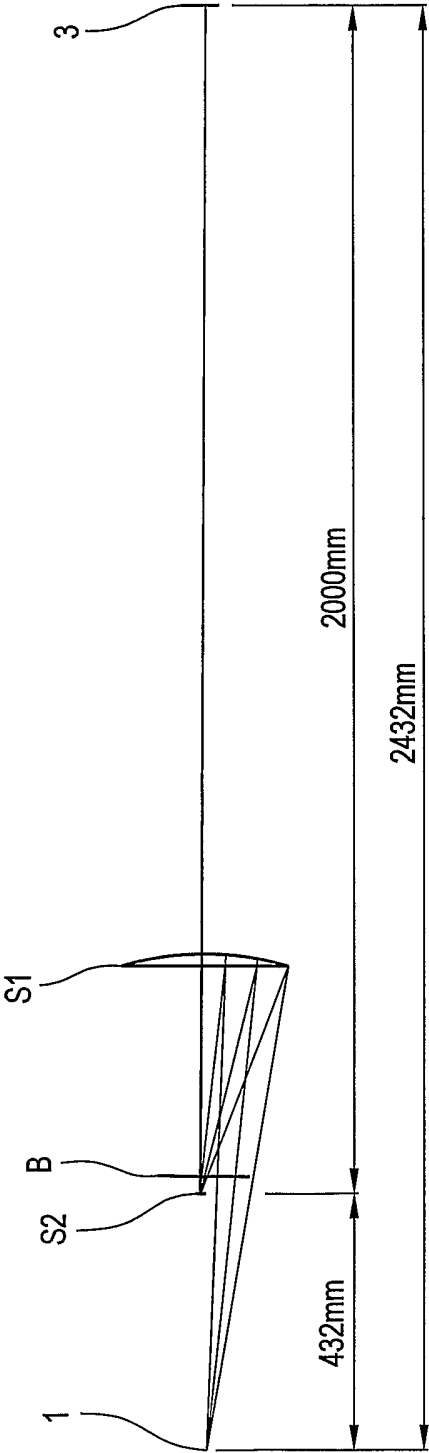
Notes... $s' = 500$
 konkav-konkav-konvex-konkav

SURFACE DATA DETAIL:

Surface OBJ	: STANDARD
Comment	: OBJEKT-EBENE
Aperture	: Rectangular Aperture
X Half Width	: 0.015
Y Half Width	: 0.015
X- Decenter	: 0
Y- Decenter	: 0.045
Surface 1	: STANDARD
Comment	: HILFSFLÄCHE
Aperture	: Rectangular Aperture
X Half Width	: 30
Y Half Width	: 15
X- Decenter	: 0
Y- Decenter	: -20.64
Surface 2	: STANDARD
Comment	: HILFSFLÄCHE
Aperture	: Circular Aperture
Minimum Radius	: 0
Maximum Radius	: 30
X- Decenter	: 0
Y- Decenter	: -48.98
Surface STO	: STANDARD
Comment	: BLENDE
Surface 4	: EVENASPH
Comment	: 1.SPIEGEL
Coeff on r 2	: 2.70268e-005
Coeff on r 4	: 2.2512635e-010
Coeff on r 6	: 8.2044497e-016
Coeff on r 8	: -7.579954e-022
Coeff on r 10	: 1.102694e-025
Coeff on r 12	: -1.2494723e-030
Coeff on r 14	: 0
Coeff on r 16	: 0
Surface 5	: EVENASPH
Comment	: 2.SPIEGEL
Coeff on r 2	: 0.0026219304
Coeff on r 4	: 4.9915565e-008
Coeff on r 6	: 5.9995692e-011
Coeff on r 8	: -3.0213474e-013
Coeff on r 10	: 4.3389295e-016
Coeff on r 12	: 6.1610188e-019
Coeff on r 14	: 0
Coeff on r 16	: 0
Surface 6	: STANDARD
Comment	: 3.SPIEGEL-SPHÄR.
Surface 7	: STANDARD
Comment	: 4.SPIEGEL-SPHÄR.
Surface IMA	: STANDARD
Comment	: BILD-EBENE

COATING DEFINITIONS:

Fig.8



28/37

TABELLE 8A

LENS NOTES:

Notes... B' = 100
konkav-konkav

GENERAL LENS DATA:

Surfaces : 6
Stop : 3
System Aperture : Object Space NA = 0.1672
Glass Catalogs : schott
Ray Aiming : Real Reference, Cache On
X Pupil shift : 0
Y Pupil shift : 0
Z Pupil shift : 0
Apodization : Uniform, factor = 0.00000E+000
Effective Focal Length : -20.15204 (in air)
Effective Focal Length : -20.15204 (in image space)
Back Focal Length : 1109.829
Total Track : 2291.4
Image Space F/# : 0.1274999
Paraxial Working F/# : 294.833
Working F/# : 296.6462
Image Space NA : 0.001695873
Object Space NA : 0.1672
Stop Radius : 79.02767
Paraxial Image Height : 3.807881
Paraxial Magnification : 99.99986
Entrance Pupil Diameter : 158.0553
Entrance Pupil Position : 325.5
Exit Pupil Diameter : 6.838018
Exit Pupil Position : -1990.643
Field Type : Object height in Millimeters
Maximum Field : 0.03807887
Primary Wave : 0.0135
Lens Units : Millimeters
Angular Magnification : -23.11421

Fields : 8

Field Type: Object height in Millimeters

#	X-Value	Y-Value	Weight
1	0.000000	0.005000	1.000000
2	0.000000	0.012500	1.000000
3	0.000000	0.020000	1.000000
4	0.000000	0.027500	1.000000
5	0.000000	0.035000	1.000000
6	0.015000	0.005000	1.000000
7	0.015000	0.020000	1.000000
8	0.015000	0.035000	1.000000

Vignetting Factors

#	VDX	VDY	VCX	VCY	VAN
1	0.000000	0.000000	0.000000	0.000000	0.000000
2	0.000000	0.000000	0.000000	0.000000	0.000000
3	0.000000	0.000000	0.000000	0.000000	0.000000
4	0.000000	0.000000	0.000000	0.000000	0.000000
5	0.000000	0.000000	0.000000	0.000000	0.000000
6	0.000000	0.000000	0.000000	0.000000	0.000000
7	0.000000	0.000000	0.000000	0.000000	0.000000
8	0.000000	0.000000	0.000000	0.000000	0.000000

Wavelengths : 1

Units: Microns

#	Value	Weight
1	0.013500	1.000000

TABELLE 8B

LENS NOTES:

Notes... 3' = 100
konkav-konkav

SURFACE DATA SUMMARY:

Surf	Type	Comment	Radius	Thickness	Glass	Diameter	Conic
OBJ	STANDARD	OBJEKT-EBENE	Infinity	140.5		0.07615773	0
1	STANDARD	HILFSFLÄCHE	Infinity	325.5		47.70722	0
2	STANDARD	HILFSFLÄCHE	Infinity	0		158.0553	0
STO	STANDARD	BLLENDE	Infinity	370		158.0553	0
4	EVERASPH	1.SPIEGEL	-500	-404.1	MIRROR	277.4292	0
5	EVERASPH	2.SPIEGEL	100	2000	MIRROR	5.815651	0
IMA	STANDARD	BILD-EBENE	Infinity			7.497326	0

30/37

TABELLE 8C

LENS NOTES:

Notes... B' = 100
konkav-konkav

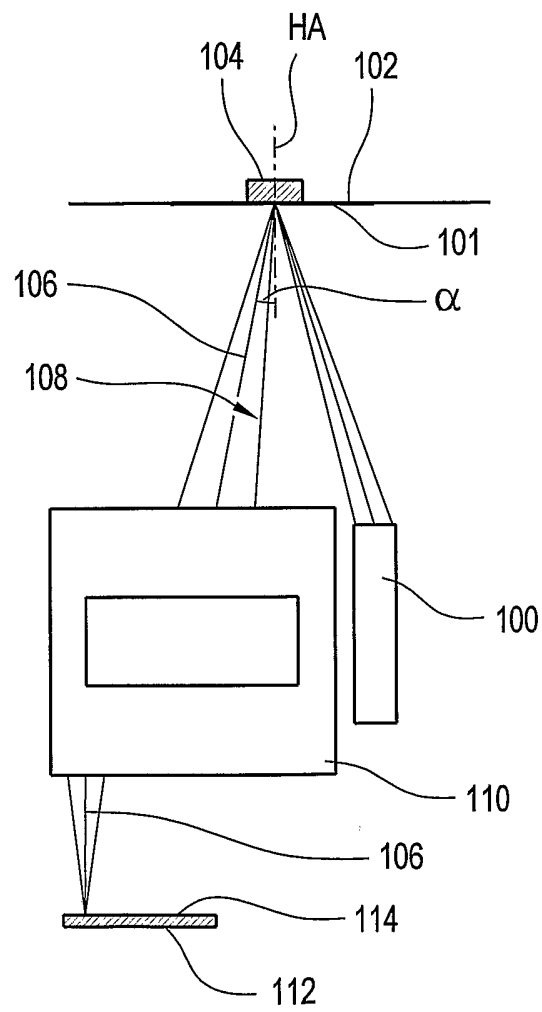
SURFACE DATA DETAIL:

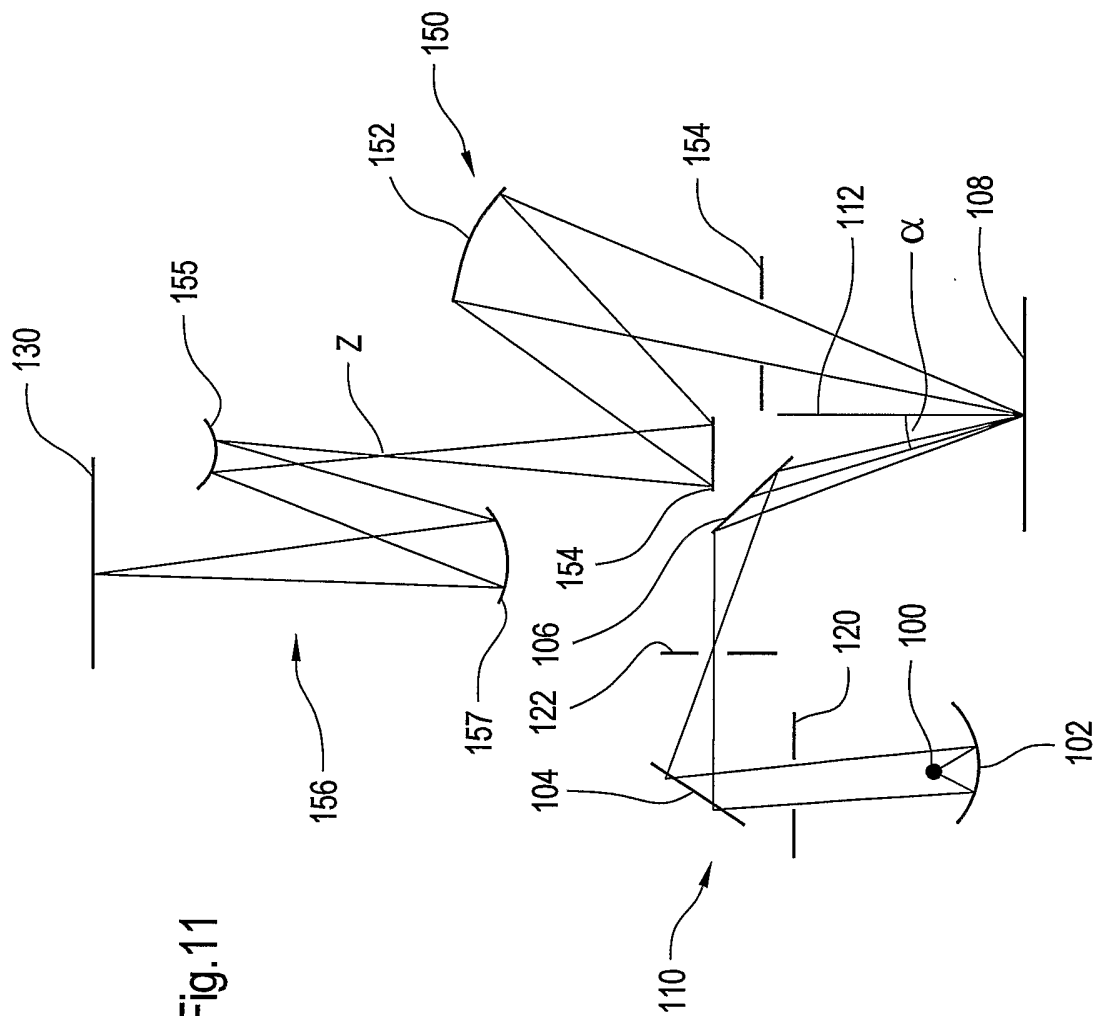
Surface OBJ	:	STANDARD
Comment	:	OBJEKT-EBENE
Aperture	:	Rectangular Aperture
X Half Width	:	0.015
Y Half Width	:	0.015
X- Decenter	:	0
Y- Decenter	:	0.02
Surface 1	:	STANDARD
Comment	:	HILFSFLÄCHE
Aperture	:	Rectangular Aperture
X Half Width	:	30
Y Half Width	:	15
X- Decenter	:	0
Y- Decenter	:	-20.64
Surface 2	:	STANDARD
Comment	:	HILFSFLÄCHE
Aperture	:	Circular Aperture
Minimum Radius	:	0
Maximum Radius	:	30
X- Decenter	:	0
Y- Decenter	:	-48.98
Surface STO	:	STANDARD
Comment	:	BLENDE
Surface 4	:	EVENASPH
Comment	:	1.SPIEGEL
Coeff on r 2	:	6.7309527e-005
Coeff on r 4	:	2.9082276e-010
Coeff on r 6	:	1.7291515e-015
Coeff on r 8	:	-6.2302432e-020
Coeff on r 10	:	2.641037e-024
Coeff on r 12	:	-4.1156155e-029
Coeff on r 14	:	0
Coeff on r 16	:	0
Surface 5	:	EVENASPH
Comment	:	2.SPIEGEL
Coeff on r 2	:	0.021277299
Coeff on r 4	:	-5.2803667e-006
Coeff on r 6	:	3.6441844e-006
Coeff on r 8	:	-5.0797445e-007
Coeff on r 10	:	3.4653654e-008
Coeff on r 12	:	-9.175105e-010
Coeff on r 14	:	0
Coeff on r 16	:	0
Surface IMA	:	STANDARD
Comment	:	BILD-EBENE

COATING DEFINITIONS:

32/37

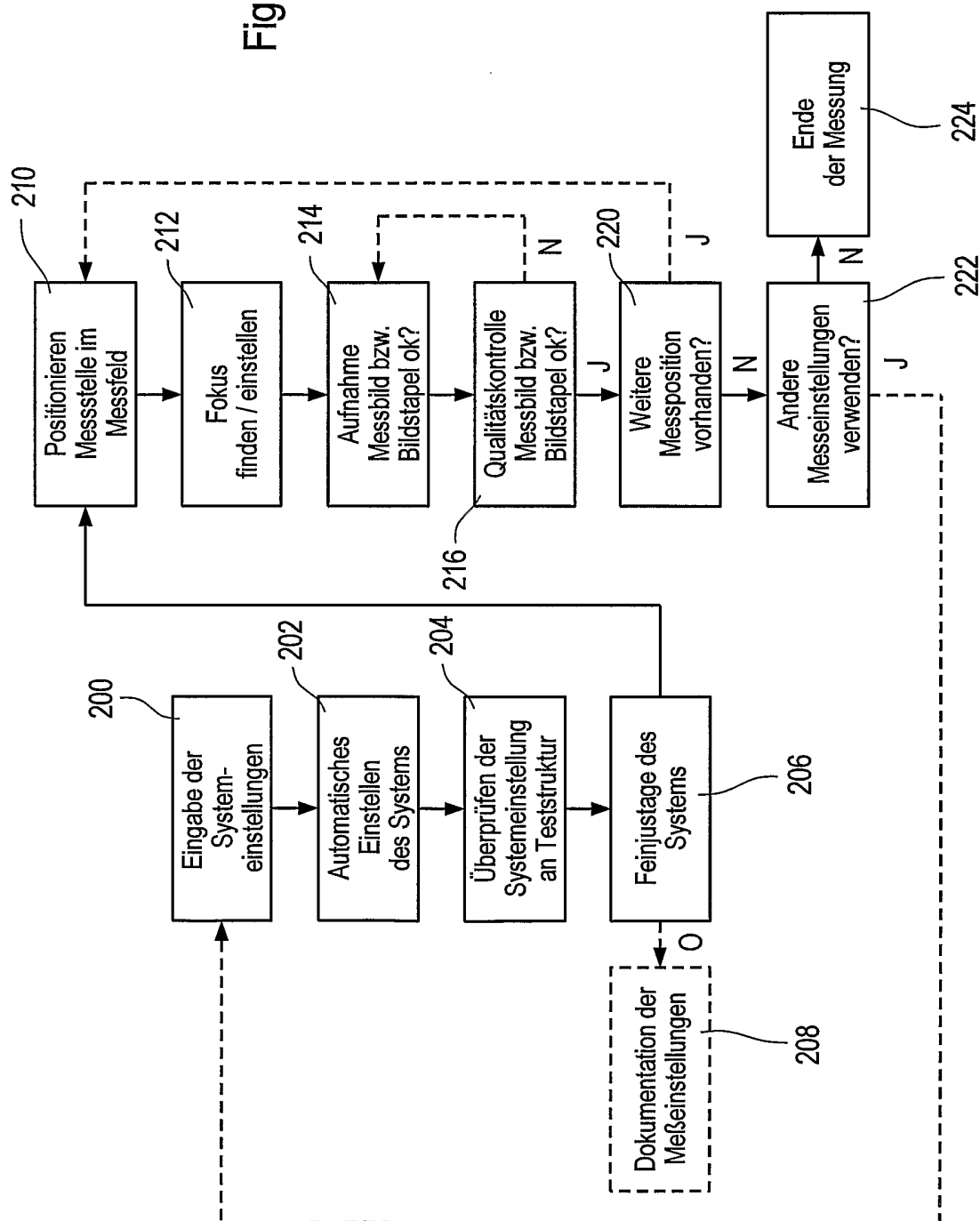
Fig.10



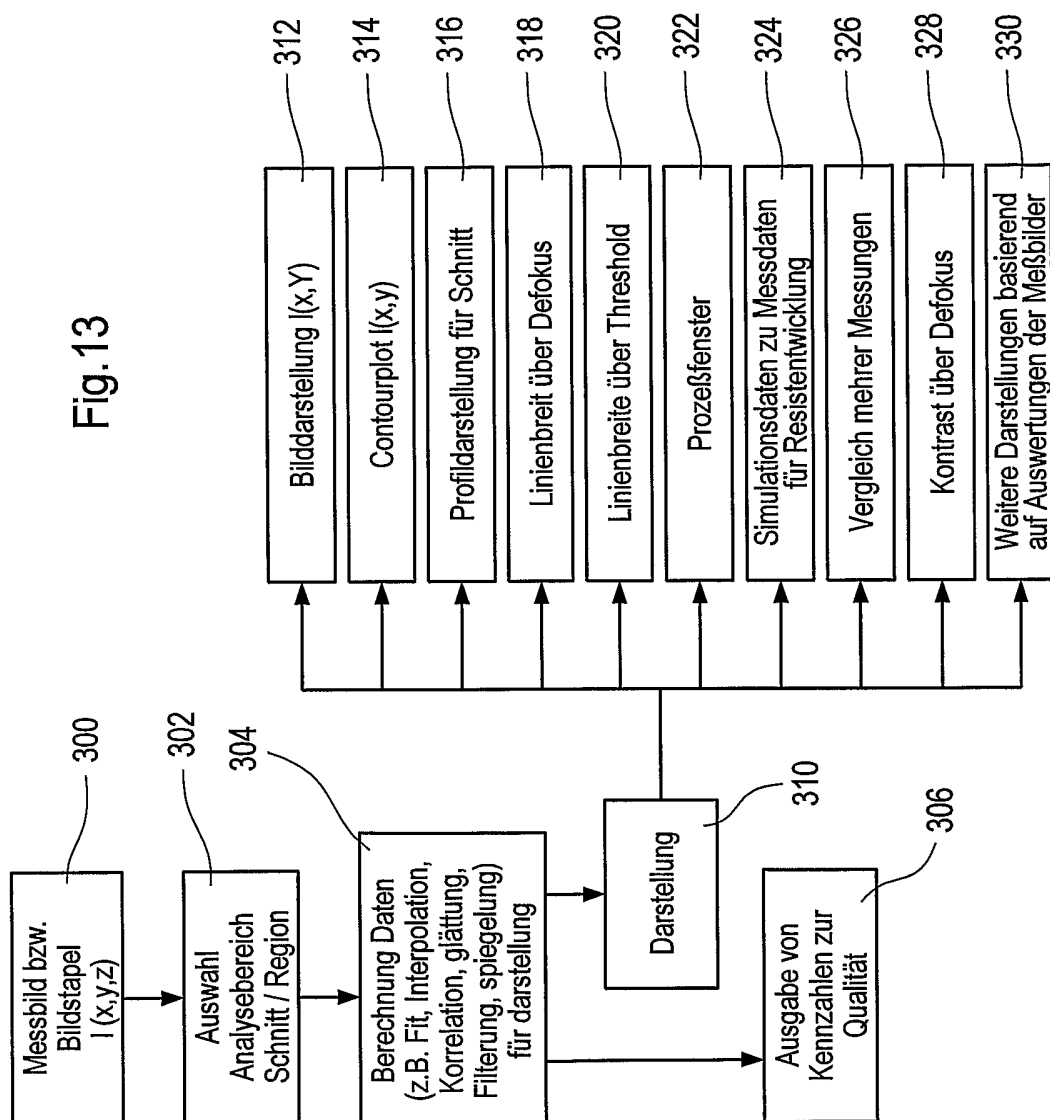


34/37

Fig.12



35/37



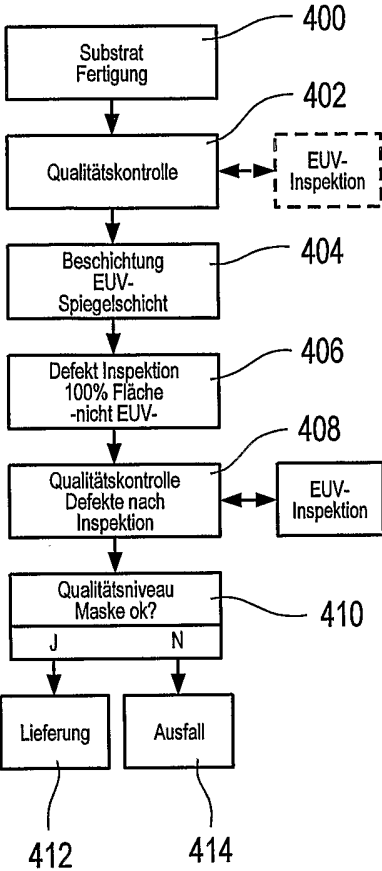
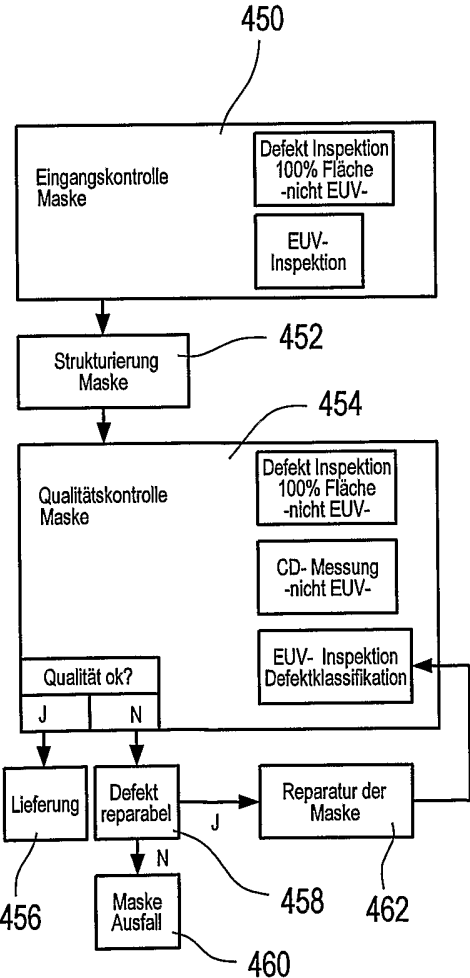


Fig.14A

Fig.14B



37/37

Fig.14c

