

(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
15. April 2004 (15.04.2004)

PCT

(10) Internationale Veröffentlichungsnummer
WO 2004/031828 A1

(51) Internationale Patentklassifikation⁷: **G02B 13/14**,
21/24, 21/02, 27/10, 27/00, 7/32, 5/32

(21) Internationales Aktenzeichen: PCT/EP2003/010476

(22) Internationales Anmeldedatum:
19. September 2003 (19.09.2003)

(25) Einreichungssprache: Deutsch

(26) Veröffentlichungssprache: Deutsch

(30) Angaben zur Priorität:
102 45 558.9 30. September 2002 (30.09.2002) DE

(71) Anmelder (für alle Bestimmungsstaaten mit Ausnahme
von US): **CARL ZEISS JENA GMBH** [DE/DE];

Carl-Zeiss-Promenade 10, 07745 Jena (DE). **CARL
ZEISS MICROELECTRONIC SYSTEMS GMBH**
[DE/DE]; Carl-Zeiss-Promenade 10, 07745 Jena (DE).

(72) Erfinder; und

(75) Erfinder/Anmelder (nur für US): **DOBSCHAL,**
Hans-Jürgen [DE/DE]; Am Kötschauer Weg 26 A, 99510
Kleinromstedt (DE). **BRUNNER, Robert** [DE/DE];
St.Jacob-Strasse 33, 07743 Jena (DE). **HAGE, Knut**
[DE/DE]; Würzburger Strasse 31, 99510 Apolda (DE).
RUDOLF, Klaus [DE/DE]; Marderweg 9, 07749 Jena
(DE). **STEINER, Reinhard** [DE/DE]; Homberger Ring
11a, 07646 Stadtroda (DE).

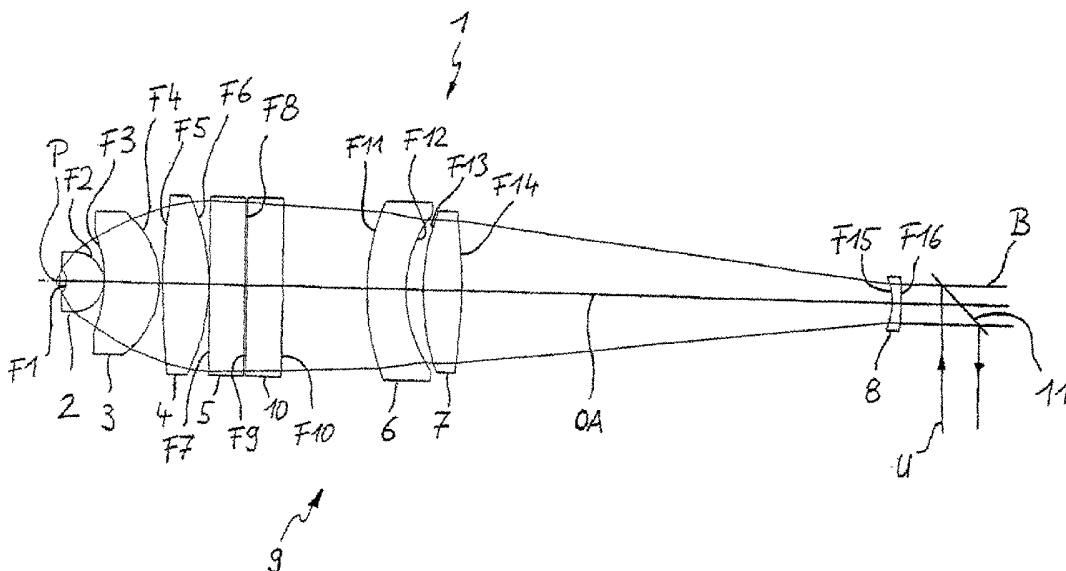
(74) Anwälte: **GRIMM, Christian** usw.; Geyer, Fehners &
Partner, Perhamerstrasse 31, 80687 München (DE).

(81) Bestimmungsstaaten (national): JP, US.

[Fortsetzung auf der nächsten Seite]

(54) Title: PROJECTION LENS

(54) Bezeichnung: ABBILDUNGSOPTIK



(57) Abstract: Disclosed is a projection lens (1) comprising a main lens system (9) that is provided with several lens elements (2, 3, 4, 5, 6, 7) and is corrected for an observation radiation. Said projection lens (1) also comprises a transmissive diffractive element (10) which is disposed and embodied within the observation beam path of the projection lens (1) such that at least one projection error of the main lens system is corrected through the diffractive effect of the diffractive element (10) for an examination radiation having a different wavelength than the observation radiation.

(57) Zusammenfassung: Bei einer Abbildungsoptik (1) mit einer mehrere Optikelemente (2, 3, 4, 5, 6, 7) aufweisenden Hauptoptik (9), die für eine Beobachtungsstrahlung korrigiert ist, ist ferner ein transmissives diffraktives Element (10) vorgesehen, das im Beobachtungsstrahlengang der Abbildungsoptik (1) so angeordnet und ausgebildet ist, dass zumindest ein Abbildungsfehler der Hauptoptik für eine Untersuchungsstrahlung mit einer anderen Wellenlänge als die der Beobachtungsstrahlung durch die diffraktive Wirkung des diffraktiven Elements (10) korrigiert ist.



WO 2004/031828 A1



(84) **Bestimmungsstaaten** (*regional*): europäisches Patent (AT, BE, BG, CH, CY, CZ, DE, DK, EE, ES, FI, FR, GB, GR, HU, IE, IT, LU, MC, NL, PT, RO, SE, SI, SK, TR).

Veröffentlicht:

— mit internationalem Recherchenbericht

Erklärung gemäß Regel 4.17:

— hinsichtlich der Berechtigung des Anmelders, die Priorität einer früheren Anmeldung zu beanspruchen (Regel 4.17 Ziffer iii) für alle Bestimmungsstaaten

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.

5

10

Abbildungsoptik

Die Erfindung bezieht sich auf eine Abbildungsoptik mit einer mehrere Optikelemente aufweisenden Hauptoptik, die für eine Beobachtungsstrahlung korrigiert ist.

15

Eine solche Abbildungsoptik, die beispielsweise eine Mikroskopoptik für die Masken- oder Waferinspektion sein kann, soll häufig autofokusfähig sein. Da die Autofokussierung meistens simultan zur Nutzung der Abbildungsoptik eingesetzt wird, ist es notwendig, auf eine Strahlung mit einer Wellenlänge für die Autofokussierung auszuweichen, die außerhalb des Wellenlängenbereichs der Beobachtungsstrahlung liegt.

20

Bei einer Mikroskopoptik für die Masken- oder Waferinspektion liegt die Wellenlänge der Beobachtungsstrahlung häufig im tiefen UV-Bereich (beispielsweise 157nm, 193nm oder 248nm), und die Wellenlänge der Untersuchungsstrahlung für die Autofokussierung liegt häufig zwischen 650 bis 820nm. Um eine korrekte Funktion der Autofokussierung zu gewährleisten, ist es notwendig, die Abbildungsoptik so zu korrigieren, daß bei idealer Fokussierung der Abbildungsoptik auf eine zu untersuchende Probe der Fokus für die Beobachtungsstrahlung mit dem Fokus für die Untersuchungsstrahlung zusammenfällt und daß die Abbildungsoptik bei einer Defokussierung ein zumindest ähnliches Verhalten für die Beobachtungsstrahlung und die Untersuchungsstrahlung aufweist.

30

Aufgrund des großen Wellenlängenunterschieds zwischen der Beobachtungsstrahlung (tiefer UV-Bereich) und der Untersuchungsstrahlung für die Autofokussierung (650-820nm) ist ein enormer optischer Aufwand notwendig, um beispielsweise den Farblängsfehler sowohl für die Beobachtungsstrahlung als auch für die Untersuchungsstrahlung zu beherrschen. Dies ist oft nur unzureichend oder auf Kosten der Qualität der Abbildung für die Beobachtungsstrahlung möglich.

35

Ausgehend hiervon ist es Aufgabe der Erfindung, eine Abbildungsoptik zur Verfügung zu stellen, die sowohl für eine Beobachtungsstrahlung als auch für eine Untersuchungsstrahlung

mit einer anderen Wellenlänge als die der Beobachtungsstrahlung, selbst wenn der Wellenlängenunterschied zwischen beiden Strahlungen groß ist, ausreichend korrigiert ist, insbesondere hinsichtlich chromatischer Abbildungsfehler, wie z.B. der Farblängsfehler.

- 5 Erfindungsgemäß wird die Aufgabe durch eine Abbildungsoptik mit einer mehrere Optikelemente aufweisenden Hauptoptik, die für eine Beobachtungsstrahlung korrigiert ist, und ferner mit einem transmissiven diffraktiven Element gelöst, das im Beobachtungsstrahlengang der Abbildungsoptik angeordnet ist und insbesondere die Abbildungseigenschaften der Hauptoptik für die Beobachtungsstrahlung im wesentlichen nicht verändert, wobei das
10 diffraktive Element ferner so ausgebildet ist, daß zumindest ein Abbildungsfehler der Hauptoptik für eine Untersuchungsstrahlung mit einer anderen Wellenlänge als die der Beobachtungsstrahlung durch die diffraktive Wirkung des diffraktiven Elements korrigiert ist.

- Da das diffraktive Element die Abbildungseigenschaften der Hauptoptik für die
15 Beobachtungsstrahlung im wesentlichen nicht verändert, verringert sich der Aufwand für die optische Korrektur der Hauptoptik deutlich. Bei vielen Anwendungsfällen der erfindungsgemäßen Abbildungsoptik (insbesondere bei der Verwendung als Mikroskopoptik für die Masken- oder Waferinspektion) wird es hierdurch erst möglich, bestimmte optische Lösungen zu erreichen, die klassisch (nur mit refraktiven Optikelementen) nicht denkbar wären.

- 20 Das diffraktive Element (im folgenden auch Beugungsgitter genannt) trägt somit nicht oder nur sehr gering zu den Abbildungseigenschaften der Abbildungsoptik hinsichtlich der Beobachtungsstrahlung bei und ist daher für die Beobachtungsstrahlung optisch von der Abbildungsoptik entkoppelt. Dies vereinfacht das Optikdesign einen solchen Abbildungsoptik
25 erheblich.

- Durch die erfindungsgemäße Lehre entfällt der bisher vorliegende Zwang, die Wellenlänge der Untersuchungsstrahlung aus Korrekturgründen möglichst nahe an der Wellenlänge der Beobachtungsstrahlung zu wählen, so daß für die Untersuchungsstrahlung keine Laserdioden
30 mit kurzen Wellenlängen (im UV-Bereich) mehr benötigt werden, die relativ teuer sind. Die erfindungsgemäße Abbildungsoptik läßt sich sogar um so leichter realisieren, je weiter die Wellenlänge der Untersuchungsstrahlung von der Wellenlänge der Beobachtungsstrahlung entfernt ist. So läßt sich die Wellenlänge für die Untersuchungsstrahlung, wenn die Wellenlänge der Beobachtungsstrahlung beispielsweise im UV-Bereich (Wellenlänge kleiner als 300nm)
35 liegt, weiter in den Infrarot-Bereich verschieben. Im Infrarot-Bereich gibt es eine große und preiswerte Auswahl von geeigneten Laserdioden, wodurch sich die Herstellungskosten der erfindungsgemäßen Abbildungsoptik senken lassen.

Insbesondere kann bei der erfindungsgemäßen Abbildungsoptik zur Korrektur des Abbildungsfehlers, der bevorzugt ein chromatischer Abbildungsfehler ist (wie z. B. der Farblängsfehler oder der farbabhängige Öffnungsfehler), die gebeugte Untersuchungsstrahlung einer vorbestimmten, nicht nullten Beugungsordnung eingesetzt werden. Bevorzugt wird dabei die gebeugte Untersuchungsstrahlung der positiven oder negativen ersten Ordnung verwendet, da für diese Beugungsordnung leicht Gitter hergestellt werden können, die eine hohe Beugungseffizienz in dieser Beugungsordnung aufweisen. Unter Beugungseffizienz wird hier die Intensität der ausfallenden Strahlung der entsprechenden Beugungsordnung zur Intensität der einfallenden Strahlung verstanden.

In einer bevorzugten Weiterbildung der erfindungsgemäßen Abbildungsoptik ist die Beugungseffizienz des diffraktiven Elements für die nullte Beugungsordnung der Beobachtungsstrahlung (die Beobachtungsstrahlung der nullten Beugungsordnung ist die nicht gebeugte Beobachtungsstrahlung) größer als die Summe der Beugungseffizienzen aller restlichen Beugungsordnungen der Beobachtungsstrahlung. Insbesondere ist die Beugungseffizienz für die nullte Beugungsordnung um ein Mehrfaches größer als die Summe der Beugungseffizienzen der restlichen Beugungsordnungen. Damit wird sichergestellt, daß das diffraktive Element die Abbildungseigenschaften der Hauptoptik für die Beobachtungsstrahlen im wesentlichen nicht verändert.

Ferner kann die Beugungseffizienz des diffraktiven Elements für die nullte Beugungsordnung der Beobachtungsstrahlung mindestens 80% betragen. Bei dieser Größe der Beugungseffizienz ist gewährleistet, daß die Abbildungseigenschaften der Hauptoptik für die Beobachtungsstrahlung durch das Beugungsgitter im wesentlichen nicht verändert sind.

Das diffraktive Element der Abbildungsoptik kann insbesondere ein Phasengitter sein. Dies beinhaltet gegenüber einem Amplitudengitter den Vorteil, daß nicht einfach Teile der einfallenden Strahlung abgeblockt werden, so daß nahezu die gesamte Intensität der auf das diffraktive Element einfallenden Strahlung genutzt werden kann.

Ferner kann bei der erfindungsgemäßen Abbildungsoptik das diffraktive Element ein zur optischen Achse der Hauptoptik symmetrisches, bevorzugt rotationssymmetrisches Gitter sein. Ein symmetrisches Gitter läßt sich leicht fertigen und läßt sich aufgrund seiner Symmetrie auch leichter bei der Fertigung der Abbildungsoptik in dieser ausrichten.

Eine besonders bevorzugte Weiterbildung der erfindungsgemäßen Abbildungsoptik besteht darin, daß die Gitterfrequenz des diffraktiven Elements von der optischen Achse der Hauptoptik radial nach außen hin zunimmt. Damit läßt sich die gewünschte Korrektur des Abbildungsfehlers für die Untersuchungsstrahlung realisieren.

Um eine möglichst optimale Beugungseffizienz für die Untersuchungsstrahlung zu verwirklichen, sind in einer bevorzugten Weiterbildung die Vertiefungen des diffraktiven Elements so gebildet, daß mit zunehmendem radialen Abstand der Vertiefung von der Mitte des diffraktiven Elements die Tiefe der einzelnen Vertiefungen abnimmt.

Alternativ können die Vertiefungen aber auch so gebildet sein, daß sie alle gleich tief ausgebildet sind. In diesem Fall ist die Herstellung des Gitters vereinfacht.

Insbesondere kann das diffraktive Element ringförmige Vertiefungen aufweisen, die konzentrisch ausgebildet sind. Ein solches diffraktives Element läßt sich beispielsweise mittels des holographischen Stehwellenverfahrens bilden.

Das diffraktive Element kann beispielsweise auf einer Seite einer planparallelen Platte ausgebildet sein. Dies bringt den Vorteil mit sich, daß die Herstellung auf einer planen Seite mit der gewünschten Genauigkeit leicht möglich ist.

Da das diffraktive Element die Abbildungseigenschaften der Hauptoptik für die Beobachtungsstrahlung im wesentlichen nicht verändert, muß bei einer Änderung der Wellenlänge der Untersuchungsstrahlung nur das vorhandene diffraktive Element durch ein an die neue Wellenlänge angepaßtes diffraktives Element ersetzt werden. Änderungen in der Hauptoptik sind nicht nötig, wodurch eine Anpassung an die andere Wellenlänge der Untersuchungsstrahlung schnell und leicht möglich ist. Insbesondere bei der Ausbildung des diffraktiven Elements auf einer planparallelen Platte läßt sich der Austausch leicht verwirklichen.

Alternativ kann das diffraktive Element auch auf einer optischen Wirkfläche eines refraktiven Optikelements in der Hauptoptik ausgebildet sein. Dies ist in der Hinsicht vorteilhaft, daß kein zusätzlicher Körper (wie z.B. die planparallele Platte) in der Hauptoptik vorgesehen werden muß, wodurch sich die Größe der Abbildungsoptik und auch ihr Gewicht minimieren läßt. Aufgrund der geringeren Anzahl der Elemente der Abbildungsoptik kann auch die Fertigung der Abbildungsoptik schneller und kostengünstiger erfolgen.

Eine bevorzugte Ausgestaltung der erfindungsgemäßen Abbildungsoptik besteht darin, daß das diffraktive Element nur in einem ringförmigen Bereich auf der Seite der planparallelen Platte bzw. auf der optischen Wirkfläche des Optikelements ausgebildet ist. Dies ist beispielsweise für gewisse Autofokussierungsprinzipien von Vorteil, bei denen die Untersuchungsstrahlung für die Autofokussierung nur durch einen ringförmigen Bereich in einer Ebene senkrecht zur optischen Achse der Abbildungsoptik hindurchtritt. Die Beobachtungsstrahlung wird jedoch in der Regel in den gesamten Bereich, also auch den von dem ringförmigen Bereich umschlossenen Bereich

durchlaufen, so daß schon aus diesem Grund der Einfluß des diffraktiven Elements (aufgrund seiner kleineren Fläche) auf die Beobachtungsstrahlung minimiert bzw. fast vollständig unterdrückt werden kann.

- 5 Ferner kann das diffraktive Element als Blaze-Gitter (Gitter mit einem Sägezahnprofil) ausgebildet sein. Bei einem Blaze-Gitter ist die Beugungseffizienz für die gewünschte Beugungsordnung außerordentlich hoch, so daß Lichtquellen für die Untersuchungswellenlänge mit geringer Intensität eingesetzt werden können.
- 10 Wenn das Blaze-Gitter mittels holographischer Verfahren (wie z.B. das holographische Stehwellenverfahren) gebildet wird, sind die Flanken der Vertiefungen stetig, so daß vorteilhaft so gut wie keine diffuse Streustrahlung von der Beleuchtungsstrahlung erzeugt wird.

- Alternativ kann das diffraktive Element auch eine durch Stufen angenäherte Blaze-Struktur aufweisen. In diesem Fall ist jede Wirkflanke durch eine Treppenfunktion angenähert, wobei im einfachsten Fall zwei Stufen pro Flanke vorgesehen werden. Ein solches diffraktives Element läßt sich z. B. mittels aus der Halbleiterfertigung bekannter Strukturierungsverfahren herstellen, wobei beliebige Profilverläufe realisiert werden können. So können insbesondere solche Profilverläufe erzeugt werden, die mittels holographischer Verfahren nicht oder nur sehr schwer erzeugbar sind.
- 15
- 20

- Das diffraktive Element kann bevorzugt im Bereich mit dem größten Bündeldurchmesser der Beobachtungsstrahlung in der Hauptoptik angeordnet sein. Dies führt zu dem Vorteil, daß gebeugte Strahlung nicht nullter Ordnung der Beobachtungsstrahlung, sofern dieses erzeugt wird, an den Fassungen der dem diffraktiven Element nachfolgenden Optikelemente zum großen Teil abgeschattet wird oder die Abbildungsoptik mit einer deutlich anderen Schnittweite als die nicht durch das diffraktive Element gebeugte Beobachtungsstrahlung (nullte Beugungsordnung), die zur Abbildung verwendet wird, verläßt, so daß die gebeugte Strahlung nicht nullter Ordnung sehr stark aufgeweitet wird und dadurch zu einer höchsten sehr geringen Verschlechterung der Abbildung führt.
- 25
- 30

- In einer weiteren Ausgestaltung der erfindungsgemäßen Abbildungsoptik weist die Hauptoptik ein zweites diffraktives Element auf, das für die Beobachtungsstrahlung brechungsverstärkend und achromatisierend wirkt. Da die Dispersion eines diffraktiven Elements gegenläufig ist zur Dispersion von refraktiven Elementen, müssen bei der erfindungsgemäßen Abbildungsoptik für Anwendungen im UV-Bereich keine oder weniger Linsen aus Flußspat zur Achromatisierung eingesetzt werden (im Vergleich zu einer Abbildungsoptik ohne diffraktives Element). Das führt zu einer deutlichen Vereinfachung der Herstellung der Abbildungsoptik im Vergleich zur
- 35

herkömmlichen Abbildungsoptiken für den UV-Bereich, die aufgrund der geforderten Achromatisierung in der Regel auch Linsen aus Flußspat enthalten.

Auch können mittels dem zweiten diffraktiven Element vorteilhaft weitere Abbildungsfehler, wie
5 z.B. die sphärische Aberration und Koma der Hauptoptik vermindert bzw. korrigiert werden, wodurch diese Abbildungsfehler vorteilhafterweise nicht mehr auftreten.

Ferner besitzt das zweite diffraktive Element eine relativ hohe positive Brechkraft (bzw. hohe positive Wirkung) im Vergleich zu einem refraktiven Element, so daß die Anzahl der
10 Optikelemente der erfindungsgemäßen Abbildungsoptik im Vergleich zu einer aus ausschließlich refraktiven Elementen gebildeten Abbildungsoptik deutlich verringert ist. Dies ist insbesondere bei Hochleistungsabbildungsoptiken, die für einen Wellenlängenbereich von einigen Nanometern oder weniger achromatisiert sind, von besonderem Vorteil, da aufgrund der extrem hohen Genauigkeit, mit der die optischen Elemente gefertigt und justiert werden
15 müssen, jedes eingesparte Optikelement zu einer deutlich kostengünstigeren und schneller herzustellenden Abbildungsoptik führt.

Des weiteren läßt sich auch noch vorteilhaft eine sehr viel kürzere Baulänge der erfindungsgemäßen Abbildungsoptik im Vergleich zu einer herkömmlichen Abbildungsoptik
20 (rein refraktiv) mit gleicher Apertur und gleichem Arbeitsabstand realisieren, wodurch sich die erfindungsgemäße Abbildungsoptik leicht als Austauschobjektiv realisieren läßt, das in schon vorhandene Geräte, wie z.B. optische Inspektionssysteme und Mikroskope, eingesetzt werden kann, ohne daß dazu diese Geräte verändert werden müssen. Dadurch können diese Geräte problemlos mit der erfindungsgemäßen Abbildungsoptik, die eine sehr hohe numerische
25 Apertur und gleichzeitig einen sehr großen Arbeitsabstand aufweisen kann, einfach nachgerüstet werden.

Das zweite diffraktive Element kann bevorzugt so ausgelegt werden, daß neben seiner achromatisierenden und brechungsverstärkenden Wirkung auch noch sphärische Fehler
30 höherer Ordnung der Hauptoptik, die durch die restlichen Optikelemente erzeugt werden, kompensiert werden.

Des weiteren können durch das zweite diffraktive Element, das in der erfindungsgemäßen Abbildungsoptik die achromatisierende Wirkung für die Beobachtungsstrahlung übernimmt, die
35 bei einer ausschließlich aus refraktiven Elementen bestehenden Abbildungsoptik aufgrund der notwendigen Achromatisierung auftretenden Schwierigkeiten der zu schmalen Randdicken der Linsen und der zu geringen Luftabstände zwischen den Linsen, insbesondere an den Linsenrändern, was die Fassungstechnologie außerordentlich verkompliziert, vermieden werden, so daß vorteilhaft die Fassung der Optikelemente bei der erfindungsgemäßen

Abbildungsoptik deutlich vereinfacht ist. Auch deswegen läßt sich die erfindungsgemäße Abbildungsoptik kostengünstig und schnell herstellen.

5 Insbesondere beeinflußt das zweite diffraktive Element die Abbildungseigenschaften der Hauptoptik für die Untersuchungsstrahlung nicht wesentlich. Dies führt zu dem Vorteil, daß die Korrektur des Abbildungsfehlers der Hauptoptik für die Untersuchungsstrahlung ausschließlich von dem ersten diffraktiven Element durchgeführt wird.

10 Wenn die Beugungseffizienz des zweiten diffraktiven Elements für die nullte Beugungsordnung der Untersuchungsstrahlung größer ist als die Summe der Beugungseffizienzen aller restlichen Beugungsordnungen der Untersuchungsstrahlung, kann die beugungsbedingte Wirkung des zweiten diffraktiven Elements auf die Untersuchungsstrahlung vernachlässigt werden.

15 Insbesondere kann bei der erfindungsgemäßen Abbildungsoptik die gewünschte Achromatisierung der Hauptoptik für einen die Wellenlänge der Beobachtungsstrahlung enthaltenen Wellenlängenbereich vollständig vom zweiten diffraktiven Element bewirkt werden. Wenn die gewünschte Achromatisierung die vollständige Achromatisierung der Abbildungsoptik für die Beobachtungsstrahlung ist, können der Abbildungsoptik nachgeschaltete Optiksyste-
20 m, wie z.B. eine Tubuslinse bei einem Mikroskop, bezüglich ihrer Achromatisierungseigenschaften völlig unabhängig von der Abbildungsoptik ausgelegt werden. Alternativ kann die gewünschte Achromatisierung eine nicht vollständige Achromatisierung der erfindungsgemäßen Abbildungsoptik sein, so daß das an der der zu untersuchenden Probe abgewandten Seite der Abbildungsoptik austretende Strahlenbündel nicht vollständig achromatisiert ist. Den fehlenden Beitrag zur vollständigen Achromatisierung kann dann, falls gewünscht, ein der Abbildungsoptik
25 nachgeschaltetes Optiksyste(m) (z.B. eine Tubuslinse bei einem Mikroskop) liefern.

Bei der erfindungsgemäßen Abbildungsoptik kann die Achromatisierung der Hauptoptik (die bevorzugt selbst überhaupt nicht achromatisiert ist) im wesentlichen oder auch ausschließlich durch das zumindest eine zweite diffraktive Element (oder auch durch mehrere zweite
30 diffraktive Elemente) bewirkt werden.

In einer bevorzugten Weiterbildung der erfindungsgemäßen Abbildungsoptik sind alle Optikelemente der Hauptoptik und das erste diffraktive Element aus maximal zwei unterschiedlichen Materialien, bevorzugt aus dem gleichen Material gebildet. Da die
35 Achromatisierung durch das zweite diffraktive Element bewirkt wird, können Materialien gewählt werden, die für den Spektralbereich der Beobachtungsstrahlung am besten geeignet sind. Man kann beispielsweise das Material mit den besten Transmissionseigenschaften und/oder das Material, das am leichtesten zu bearbeiten ist, auswählen. So können die Optikelemente beispielsweise aus Quarz und/oder Kalziumfluorid bestehen.

Bei einer Beobachtungsstrahlung von 193nm, 248nm und 266nm ist Suprasil, synthetischer Quarz, bevorzugt und bei 157nm ist Flußspat das bevorzugte Material.

- 5 Insbesondere können bei der erfindungsgemäßen Abbildungsoptik alle Optikelemente der Hauptoptik und das erste diffraktive Element kittfrei gehalten sein. Dadurch wird vorteilhaft der bei Systemen mit optischem Kitt auftretende Nachteil der Alterung und Zerstörung des Kitts, was insbesondere bei Wellenlängen im UV-Bereich auftritt und dort eine große Schwierigkeit darstellt, vermieden werden. Somit kann eine sehr lange Einsatzdauer der erfindungsgemäßen
10 Abbildungsoptik gewährleistet werden.

- Bevorzugt kann bei der erfindungsgemäßen Abbildungsoptik das zweite diffraktive Element auf einer planparallelen Platte oder auf einer optischen Wirkfläche eines refraktiven Optikelements der Hauptoptik ausgebildet sein. Insbesondere können das erste diffraktive Element auf einer
15 Seite einer planparallelen Platte oder eines refraktiven Optikelements der Hauptoptik und das zweite diffraktive Element auf der anderen Seite der planparallelen Platte bzw. des refraktiven Optikelements ausgebildet sein. Dies führt zu dem Vorteil, daß die Anzahl der zusätzlichen Elemente der Abbildungsoptik sehr gering (nur eine planparallele Platte) oder auch null (ein refraktives Optikelement) sein kann.

- 20 In einer Weiterbildung der erfindungsgemäßen Abbildungsoptik ist diese als autofokusfähige Abbildungsoptik ausgebildet, die noch einen Strahlteiler umfaßt, mit dem die Untersuchungsstrahlung (für die Autofokussierung) in den Beobachtungsstrahlengang der Abbildungsoptik ein- und ausgekoppelt werden kann. Dieser Strahlteiler kann beispielsweise so
25 ausgebildet sein, daß er die Untersuchungsstrahlung reflektiert und die Beobachtungsstrahlung transmittiert. Alternativ kann er natürlich auch die Beobachtungsstrahlung reflektieren und die Untersuchungsstrahlung transmittieren.

- Insbesondere kann dabei noch eine Autofokuseinheit vorgesehen sein, die die einzukoppelnde
30 Untersuchungsstrahlung erzeugt und die ausgekoppelte Untersuchungsstrahlung hinsichtlich der Autofokussierung auswertet. Dabei können Autofokussierungsprinzipien eingesetzt werden, die dem Fachmann bekannt sind. So kann die Autofokussierung nach dem Triangulations-Prinzip durchgeführt werden. Die Autofokuseinheit wird dazu entsprechend ausgebildet.

- 35 Bevorzugt ist die Wellenlänge der Untersuchungsstrahlung größer als die der Beobachtungsstrahlung, wobei die erfindungsgemäße Abbildungsoptik um so einfacher auszulegen ist, desto größer der Wellenlängenabstand ist. Ein Wellenlängenabstand von mindestens 100nm, insbesondere mindestens 400nm ist bevorzugt.

Insbesondere ist die Abbildungsoptik (Hauptoptik mit erstem diffraktiven Element) bevorzugt so ausgebildet, daß bei idealer Fokussierung der Abbildungsoptik auf eine zu untersuchenden Probe der Fokus für die Beobachtungsstrahlung mit dem Fokus für die Untersuchungsstrahlung zusammenfällt und daß die Abbildungsoptik bei einer Defokussierung ein zumindest ähnliches Verhalten für die Beobachtungsstrahlung und die Untersuchungsstrahlung aufweist.

Ferner wird noch ein Herstellungsverfahren einer Abbildungsoptik bereitgestellt, bei dem rechnerisch eine mehrere Optikelemente aufweisende Hauptoptik zusammengestellt und für eine vorgegebene Beobachtungsstrahlung korrigiert wird, danach rechnerisch ein transmissives diffraktives Element in dem Beobachtungsstrahlengang der Abbildungsoptik angeordnet und hinsichtlich seiner Phasenfunktion so optimiert wird, daß die Abbildungseigenschaften der Hauptoptik für die Beobachtungsstrahlung im wesentlichen nicht verändert werden und zumindest ein Abbildungsfehler der Hauptoptik für eine Untersuchungsstrahlung mit einer anderen Wellenlänge als die der Beobachtungsstrahlung durch die diffraktive Wirkung des diffraktiven Elements korrigiert wird, und bei dem ferner für die Fertigung der so berechneten Abbildungsoptik notwendige Optikdaten erzeugt werden und anhand der erzeugten Optikdaten die Abbildungsoptik hergestellt wird.

Die Phasenfunktion gibt an, welche Phasenänderung der einfallenden Strahlung beim Durchlaufen des diffraktiven Elements eingeprägt wird. Insbesondere wird als Phasenfunktion ein Polynom eingesetzt.

Der zumindest eine Abbildungsfehler der Hauptoptik für die Untersuchungsstrahlung kann ein chromatischer Abbildungsfehler, wie beispielsweise der Farbblänsfehler sein. Zusätzlich kann auch noch der farbabhängige Öffnungsfehler (bzw. farbabhängiger Gaußfehler) minimiert werden.

Mit diesem Herstellungsverfahren läßt sich in bekannter Art und Weise die Hauptoptik optimieren, ohne die Abbildungseigenschaften der Hauptoptik für die Untersuchungsstrahlung berücksichtigen zu müssen. Dies vereinfacht das Optikdesign der Abbildungsoptik erheblich, insbesondere wenn der Wellenlängenabstand zwischen der Beobachtungsstrahlung und der Untersuchungsstrahlung groß ist (beispielsweise größer als 400nm). Erst nach der Optimierung der Hauptoptik für die Beobachtungsstrahlung wird dann das diffraktive Element zur Korrektur des Abbildungsfehlers der Hauptoptik für die Untersuchungsstrahlung optimiert. Um die Wirkung des diffraktiven Elements für die Beobachtungsstrahlung zu minimieren, wird es mit einer äußerst hohen Beugungseffizienz für die nullte Beugungsordnung der Beobachtungsstrahlung ausgelegt. Dies wird durch die Profilform erreicht, wobei tendenziell mit kleiner werdender Wellenlänge die Beugungseffizienz der nullten Ordnung größer und die Beugungseffizienz der ersten Ordnung kleiner wird, wenn die Furchentiefe konstant ist. Dies

kann dazu ausgenutzt werden, eine Furchentiefe zu wählen, bei der eine hohe Beugungseffizienz der nullten Beugungsordnung der Beobachtungsstrahlung und eine hohe Beugungseffizienz der ersten Beugungsordnung der Untersuchungsstrahlung vorliegt, wenn die Wellenlänge der Untersuchungsstrahlung (die bevorzugt für eine Autofokussierung eingesetzt wird) größer ist als die der Beobachtungsstrahlung.

Die Optimierung des diffraktiven Elements kann in vorteilhaften Weiterbildungen so ausgeführt werden, daß die oben beschriebenen Abbildungsoptiken realisiert werden können.

Das rechnerische Zusammenstellen der Abbildungsoptik sowie die Optimierung des diffraktiven Elements wird bevorzugt mittels einem Computer durchgeführt. Die Optimierung des diffraktiven Elements kann insbesondere durch die Berechnung der vom Beugungsgitter der Beleuchtungs- und Untersuchungsstrahlung eingeprägte Phasenänderungen erfolgen, aus denen dann die Gitterwirkungen abgeleitet werden. Die Phasenänderungen werden bei der Optimierung so eingestellt, daß die gewünschten Gitterwirkungen erreicht werden.

Insbesondere kann das erfindungsgemäße Verfahren auch bei einer hybriden Hauptoptik (eine Hauptoptik, die sowohl refraktive als auch diffraktive Optikelemente umfaßt) eingesetzt werden. Gerade bei solchen Hauptoptiken war es aufgrund der starken dispersiven Wirkung des bzw. der weiteren diffraktiven Elemente bisher fast unmöglich, eine gleichzeitige Korrektur des Farblängsfehlers für die Beobachtungs- und Untersuchungsstrahlung zu erreichen.

Vorteilhaft wird beim erfindungsgemäßen Verfahren bei der Korrektur der Hauptoptik das weitere diffraktive Element so ausgelegt, daß es eine hohe Beugungseffizienz in einer vorbestimmten, nicht nullten Beugungsordnung für die Beobachtungsstrahlung (bevorzugt ist die erste Beugungsordnung) besitzt. Für die Untersuchungsstrahlung kann eine hohe Beugungseffizienz für die nullte Ordnung vorliegen. Bei der Optimierung des ersten diffraktiven Elements wird hingegen darauf geachtet, daß eine hohe Beugungseffizienz für die Beobachtungsstrahlung in der nullten Beugungsordnung vorliegt. Bevorzugt ist auch noch eine hohe Beugungseffizienz für die Untersuchungsstrahlung in der vorbestimmten, nicht nullten Beugungsordnung gegeben.

Die Erfindung wird nachfolgend beispielshalber anhand der Zeichnungen beschrieben. Von den Figuren zeigen:

- Fig. 1 einen Linsenschnitt des optischen Aufbaus der erfindungsgemäßen Abbildungsoptik;
- Fig. 2 ein Diagramm, das die Gitterfrequenz des diffraktiven Elements zeigt;
- Fig. 3 ein Diagramm, das die Gitterfrequenz des Beugungsgitters zeigt;
- Fig. 4 die Profilform des Beugungsgitters, und

Fig. 5 eine Draufsicht des Beugungsgitters.

Wie aus dem in Fig.1 gezeigten Linsenschnitt des optischen Aufbaus der autofokussfähigen Abbildungsoptik gemäß einer Ausführungsform ersichtlich ist, umfaßt die Abbildungsoptik 1 ein transmissives diffraktives Element 10 (im folgenden auch Beugungsgitter genannt) sowie eine Hauptoptik 9, die mehrere refraktive Optikelemente 2, 3, 4, 6, 7 und 8, sowie ein zweites diffraktives Element 5 umfaßt. Mit der Abbildungsoptik 1 kann ein Objekt, von dem ein Objektpunkt P in der Objektebene eingezeichnet ist, abgebildet werden. Zur Verdeutlichung sind drei Strahlen des Strahlenverlaufs für die Beobachtungsstrahlung eingezeichnet. Hinter dem Optikelement 8 liegt ein paralleler Strahlenverlauf vor.

Ferner ist der Hauptoptik 9 noch ein Strahlteiler 11 nachgeordnet, über den die Untersuchungsstrahlung für die Autofokussierung aus dem Strahlengang für die Beobachtungsstrahlung ein- und ausgekoppelt werden kann.

Die Abbildungsoptik 1 ist für eine Beobachtungsstrahlung mit der Wellenlänge 248nm und eine Untersuchungsstrahlung mit der Wellenlänge 785nm ausgelegt, wobei die Hauptoptik 9 nur für die Beobachtungsstrahlung (und nicht für die Untersuchungsstrahlung) korrigiert ist. Der Farblängsfehler der Hauptoptik 9 für die Untersuchungsstrahlung wird mittels dem Beugungsgitter (bzw. erstem diffraktiven Element) 10 korrigiert. Anders gesagt, das Beugungsgitter 10 ist so ausgelegt, daß die beugende Wirkung des Gitters 10 hinsichtlich der positiven ersten Beugungsanordnung der Untersuchungsstrahlung den Farblängsfehler der Hauptoptik 9 für die Untersuchungsstrahlung kompensiert. Dadurch ist die Abbildungsoptik (also Hauptoptik 9 + Beugungsgitter 10) für die Untersuchungsstrahlung, die zur Autofokussierung verwendet wird, hinsichtlich des Farblängsfehlers korrigiert. Ferner ist das Beugungsgitter 10 auch noch so ausgelegt, daß seine Beugungseffizienz für die nullte Beugungsordnung der Beobachtungsstrahlung möglichst hoch ist (bevorzugt mindestens 80%), so daß das Beugungsgitter der Abbildungseigenschaften der Abbildungsoptik für die Beobachtungsstrahlung nicht wesentlich beeinflußt.

Die Ausbildung und Anordnung der Optikelemente 2 bis 8 (bis auf die Gitterprofile) der Abbildungsoptik 9 kann der nachfolgenden Tabelle entnommen werden, wobei der Abstand der einzelnen Flächen entlang der optischen Achse OA der Abbildungsoptik angegeben ist (P steht für die Probenebene).

Fläche bis Fläche	Abstand (mm)	Medium	Fläche	Radius (mm)
P - F1	0,64		F1	0,89 (konkav)
F1 - F2	2,05	Suprasil	F2	1,68 (konvex)
F2 - F3	0,02		F3	7,39 (konkav)
F3 - F4	3,09	Suprasil	F4	5,01 (konvex)
F4 - F5	0,20		F5	40,67 (konvex)
F5 - F6	2,56	CaF2	F6	11,54 (konvex)
F6 - F7	0,05		F7	Plan
F7 - F8	2	Suprasil	F8	Plan
F8 - F9	0,1		F9	Plan
F9 - F10	2	Suprasil	F10	Plan
F10 - F11	4,74		F11	13,14 (konvex)
F11 - F12	2,19	Suprasil	F12	7,39 (konkav)
F12 - F13	0,97		F13	13,14 (konvex)
F13 - F14	2,16	CaF2	F14	32,31 (konvex)
F14 - F15	24,65		F15	3,92 (konkav)
F15 - F16	0,52	Suprasil	F16	18,17 (konvex)

Das zweite diffraktive optische Element 5 ist ein transmissives Phasengitter, bei dem in der der Objekzebene zugewandten Fläche F6 konzentrisch zur optischen Achse OA der

5 Abbildungsoptik 1 angeordnete ringförmige Furchen ausgebildet sind.

Das zweite diffraktive optische Element 5 ist dabei so ausgelegt, daß es einerseits brechungsverstärkend für die Hauptoptik 9 (d. h. eine Erhöhung der positiven Wirkung bzw. positiver Brechkraft) und daß es andererseits vollständig die Achromatisierung im gegebenen

10 Spektralbereich für die Beobachtungsstrahlung bewirkt, wobei hier die gebeugte Strahlung der positiven ersten Ordnung als Nutzlicht für die Abbildung verwendet wird. Die gebeugte Strahlung anderer Ordnungen ist Streulicht, das möglichst nicht zur Abbildung beitragen soll um diese nicht zu verschlechtern.

Als positive erste Ordnung wird die erste Beugungsordnung bezeichnet, bei der ein Parallelstrahl (ein Strahl parallel zur optischen Achse OA) zur optischen Achse OA hin abgelenkt wird. Die erste Beugungsordnung, bei der ein Parallelstrahl von der optischen Achse OA weggebeugt wird, wird hingegen als negative erste Beugungsordnung bezeichnet.

Der Ablenkwinkel für das gebeugte Licht der positiven ersten Ordnung wird über die Gitterfrequenz des diffraktiven optischen Elements 5 eingestellt. Praktisch kann die

Gitterfrequenz mittels Optimierungsrechnungen ausgehend von dem folgenden Phasenpolynom $p(r)$

$$p(r) = \sum_{i=1}^N a_i r^{2i}$$

5

berechnet werden, wobei r der radiale Abstand von der Mitte M des Phasengitters und N eine positive ganze Zahl größer gleich 1 ist. Zur Optimierung werden die Koeffizienten a_i verändert. Das Phasenpolynom $p(r)$ gibt die Phasenverschiebung in Abhängigkeit vom radialen Abstand r an und aus der Ableitung des Phasenpolynoms nach dem radialen Abstand r läßt sich die Gitterfrequenz des diffraktiven Elements berechnen. Aus dieser Gitterfrequenz wiederum kann dann für jeden einfallenden Strahl (in Abhängigkeit von seiner Wellenlänge) dessen Ausfallswinkel ermittelt werden, wodurch sich dann die achromatisierend und brechungsverstärkende Wirkung des Gitters bestimmen läßt. Bei dieser Optimierungsrechnung können auch noch andere Abberationen der Hauptoptik 5 (wie z. B. höhere sphärische Fehler) mit korrigiert werden, wobei für N bevorzugt ein Wert von 3 bis 10 gewählt wird. Ferner kann man die Furchenform, die für die Beugungseffizienz ausschlaggebend ist, mittels der skalaren Beugungstheorie oder auch der RCWA-Theorie (Rigorous Coupled Wavefront Analysis) ableiten, wie dies dem Fachmann bekannt ist.

10

15

20

25

30

Das zweite diffraktive Element 5 kann beispielsweise mittels des holographischen Stehwellenverfahrens erzeugt werden, bei dem mindestens eine der beiden Belichtungswellen eine Kugelwelle ist (und die andere eine Kugelwelle oder eine ebene Welle ist) und die beiden Wellen gegenläufig laufen. Die Wellenlänge der Belichtungswellen beträgt 248nm und der Abstand der Quellpunkte beider Kugelwellen zur einer zu belichtenden Schicht, die z. B. auf einer planparallelen Platte aus Suprasil aufgebracht ist und in der die latente Gitterstruktur erzeugt wird, beträgt jeweils 35,31mm. Die belichtete Schicht wird dann entwickelt und dient z. B. als Maske bei einem Mikrostrukturierungsverfahren (beispielsweise reaktives Ionenätzen), so daß dadurch das Gitterprofil in die planparallele Platte übertragen werden kann. In Fig. 2 ist der Verlauf der Gitterfrequenz des diffraktiven Elements 5 gezeigt. Dabei ist auf der Abszisse der Abstand von der Gittermitte M aufgetragen und auf der Ordinate sind die Anzahl der Furchen pro mm gezeigt. Die Gittermitte M fällt mit der optischen Achse OA der Abbildungsoptik 1 zusammen.

Auf der Fläche $F10$ ist ein Beugungsgitter für die Untersuchungswellenlänge für die Autofokussierung ausgebildet, wobei das Beugungsgitter ein transmissives Phasengitter ist. Das Beugungsgitter auf der Fläche $F10$ ist in gleicher Weise wie das Beugungsgitter des diffraktiven Elements aus dem oben angegebenen Phasenpolynom $p(r)$ abgeleitet, wobei sich

35

bei der Wahl des Wertes 3 für N folgende Koeffizienten a_i ergeben (die Furchenform ist wiederum mittels der skalaren Beugungstheorie oder der RCWA-Theorie abgeleitet):

$$a_1: 1,136 \cdot 10^{-2}$$

5 $a_2: 7,596 \cdot 10^{-6}$

$$a_3: 6,429 \cdot 10^{-8}$$

Der Verlauf der Gitterfrequenz des Beugungsgitters 10 ist in einer gleichen Darstellung wie in Fig. 2 für das diffraktive Element 5 in Fig. 3 gezeigt. Daraus läßt sich entnehmen, daß die
10 Gitterfrequenz des diffraktiven Elements 5 stärker zunimmt als beim Beugungsgitter 10.

In Fig. 4 ist schematisch noch die Furchenform des Beugungsgitters 10 gezeigt, beispielsweise im Bereich von + 2mm von der Mitte M entfernt. Durch die gestrichelte Linie ist die Blaze-Profilform 12 dargestellt, die das Ergebnis der obigen Optimierungsrechnung und Ableitung
15 (z. B. mittels der RCWA-Theorie) ist. Diese Blaze-Profilform 12 ist hier für jede Profilflanke FL1, FL2, FL3, FL4 durch eine Treppenfunktion mit zwei Stufen angenähert. Es hat sich gezeigt, daß ein solches Rechteckprofil, mit dem die Blaze-Profilform 12 angenähert ist, die gewünschten optischen Eigenschaften aufweist.

20 In der Praxis wird zuerst die Abbildungsoptik 1 für die Beobachtungsstrahlung optimiert, wobei für das Beugungsgitter 10 nur eine planparallele Platte bei der Optimierung berücksichtigt wird. Bei dieser Optimierung wird auch das zweite diffraktive Element 5 in der oben angegebenen Weise berechnet.

25 Nach diesem Optimierungsschritt wird nun das gewünschte Gitterprofil auf der Fläche F10 der planparallelen Platte 10 rechnerisch vorgesehen und so optimiert, daß der Farblängsfehler der Hauptoptik 9 für die Untersuchungsstrahlung möglichst vollständig korrigiert ist und daß die Beugungseffizienz der nullten Beugungsordnung der Beobachtungsstrahlung möglichst groß ist, so daß das Beugungsgitter 10 die Abbildungseigenschaften der bereits für die
30 Beobachtungsstrahlung optimierten Abbildungsoptik nicht wesentlich verschlechtert.

Bei der so optimierten Abbildungsoptik 1 fällt bei idealer Fokussierung der Abbildungsoptik 1 auf eine zu untersuchende Probe der Fokus für die Beobachtungsstrahlung B mit dem Fokus für die Untersuchungsstrahlung U zusammen und bei einer Defokussierung der Abbildungsoptik ist ein
35 zumindest ähnliches Verhalten für die Beobachtungsstrahlung B und die Untersuchungsstrahlung U vorhanden. Bei der in Fig. 1 gezeigten autofokussfähigen Abbildungsoptik findet für die Untersuchungsstrahlung U eine Pupillenteilung statt, wie durch die eingezeichneten Pfeile bei der Untersuchungsstrahlung U angedeutet ist, so daß die Untersuchungsstrahlung U nur in gewissen Bereichen B1 und B2 auf das Beugungsgitter 10

trifft, wie in der schematischen Draufsicht auf das Beugungsgitter 10 in Fig. 5 angedeutet ist. Der durch beide Bereiche B1 und B2 begrenzte Mittelbereich B3 wird nicht mit der Untersuchungsstrahlung U beaufschlagt, so daß in diesem Bereich auch gar kein Gitterprofil des Beugungsgitters 10 ausgebildet werden muß. Da jedoch durch diesen Bereich B3 sehr
5 wohl Beobachtungsstrahlung hindurchtritt, führt dies zu dem weiteren Vorteil, daß der Einfluß des Beugungsgitters 10 auf die Abbildungseigenschaften der Hauptoptik für die Beobachtungsstrahlung weiter minimiert werden kann. Die Bereiche B1 und B2 sind ringförmig angeordnet, und können auch als geschlossener Ringbereich ausgebildet sein.

5

10

Patentansprüche

1. Abbildungsoptik (1) mit einer mehrere Optikelemente (2, 3, 4, 5, 6, 7) aufweisenden Hauptoptik (9), die für eine Beobachtungsstrahlung korrigiert ist, und ferner mit einem transmissiven diffraktiven Element (10), das im Beobachtungsstrahlengang der Abbildungsoptik (1) so angeordnet und ausgebildet ist, daß zumindest ein Abbildungsfehler der Hauptoptik für eine Untersuchungsstrahlung mit einer anderen Wellenlänge als die der Beobachtungsstrahlung durch die diffraktive Wirkung des diffraktiven Elements (10) korrigiert ist.
2. Abbildungsoptik nach Anspruch 1, bei der das diffraktive Element (10), die Abbildungseigenschaften der Hauptoptik (9) für die Beobachtungsstrahlung im wesentlichen nicht verändert.
3. Abbildungsoptik nach Anspruch 1 oder 2, bei der zur Korrektur des Abbildungsfehlers die gebeugte Untersuchungsstrahlung einer vorbestimmten, nicht nullten Beugungsordnung eingesetzt wird.
4. Abbildungsoptik nach einem der obigen Ansprüche, bei der die Beugungseffizienz des diffraktiven Elements (10) für die nullten Beugungsordnung der Beobachtungsstrahlung größer ist als die Summe der Beugungseffizienzen aller restlichen Beugungsordnungen der Beobachtungsstrahlung.
5. Abbildungsoptik nach einem der obigen Ansprüche, bei der die Beugungseffizienz des diffraktiven Elements (10) für die nullten Beugungsordnung der Beobachtungsstrahlung mindestens 80% beträgt.
6. Abbildungsoptik nach einem der obigen Ansprüche, bei der das diffraktive Element (10) ein Phasengitter ist.

7. Abbildungsoptik nach einem der obigen Ansprüche, bei der das diffraktive Element (10) ein zur optischen Achse der Hauptoptik symmetrisches, bevorzugt rotationssymmetrisches Gitter ist.
- 5 8. Abbildungsoptik nach einem der obigen Ansprüche, bei der das diffraktive Element (10) ringförmige Vertiefungen aufweist, die konzentrisch ausgebildet sind.
9. Abbildungsoptik nach Anspruch 8, bei der alle Vertiefungen gleich tief ausgebildet sind.
- 10 10. Abbildungsoptik nach Anspruch 8, bei der mit zunehmendem radialen Abstand der Vertiefung von der optischen Achse (OA) der Hauptoptik (9) die Tiefe der einzelnen Vertiefungen abnimmt.
11. Abbildungsoptik nach einem der obigen Ansprüche, bei der das diffraktive Element (10) auf einer Seite einer planparallelen Platte ausgebildet ist.
- 15 12. Abbildungsoptik nach einem der obigen Ansprüche, bei der das diffraktive Element (10) auf einer optischen Wirkfläche eines refraktiven Optikelements (2-4, 6-8) der Hauptoptik (9) ausgebildet ist.
- 20 13. Abbildungsoptik nach Anspruch 11 oder 12, bei der das diffraktive Element (10) nur in einem ringförmigen Bereich auf der Seite der planparallelen Platte bzw. auf der optischen Wirkfläche des Optikelements (2-4, 6-8) ausgebildet ist.
- 25 14. Abbildungsoptik nach einem der obigen Ansprüche, bei der das diffraktive Element (10) ein Blaze-Gitter ist.
15. Abbildungsoptik nach einem der obigen Ansprüche, bei der das diffraktive Element (10) eine durch Stufen angenäherte Blaze-Profil aufweist.
- 30 16. Abbildungsoptik nach einem der obigen Ansprüche, bei der das diffraktive Element (10) im Bereich mit dem größten Bündeldurchmesser der Beobachtungsstrahlung in der Hauptoptik (9) angeordnet ist.
- 35 17. Abbildungsoptik nach einem der obigen Ansprüche, bei der die Hauptoptik (9) ein zweites diffraktives Element (5) enthält, das für die Beobachtungsstrahlung brechungsverstärkend und achromatisierend wirkt.

18. Abbildungsoptik nach Anspruch 17, bei der die Beugungseffizienz des zweiten diffraktiven Elements (5) für die nullte Beugungsordnung der Untersuchungsstrahlung größer ist als die Summe der Beugungseffizienzen aller restlichen Beugungsordnungen der Untersuchungsstrahlung.

5

19. Abbildungsoptik nach Anspruch 17 oder 18, bei der die gewünschte Achromatisierung der Hauptoptik für einen die Wellenlänge der Beobachtungsstrahlung enthaltenden Wellenlängenbereich vollständig vom zweiten diffraktiven Element (5) bewirkt wird.

10

20. Abbildungsoptik nach einem der Ansprüche 17 bis 19, bei der das zweite diffraktive Element ein auf einer Seite einer planparallelen Platte oder auf einer optischen Wirkfläche eines refraktiven Optikelements der Hauptoptik ausgebildetes Transmissionsgitter umfaßt.

15

21. Abbildungsoptik nach einem der Ansprüche 17 bis 19, bei der das erste diffraktive Element (10) auf einer Seite einer planparallelen Platte oder eines refraktiven Optikelements der Hauptoptik und das zweite diffraktive Element auf der anderen Seite der planparallelen Platte bzw. des refraktiven Optikelements ausgebildet sind.

20

22. Abbildungsoptik nach einem der obigen Ansprüche, bei der alle Optikelemente (2-8) der Hauptoptik (9) und das erste diffraktive Element (10) aus maximal zwei unterschiedlichen Materialien, bevorzugt aus dem gleichen Material bestehen.

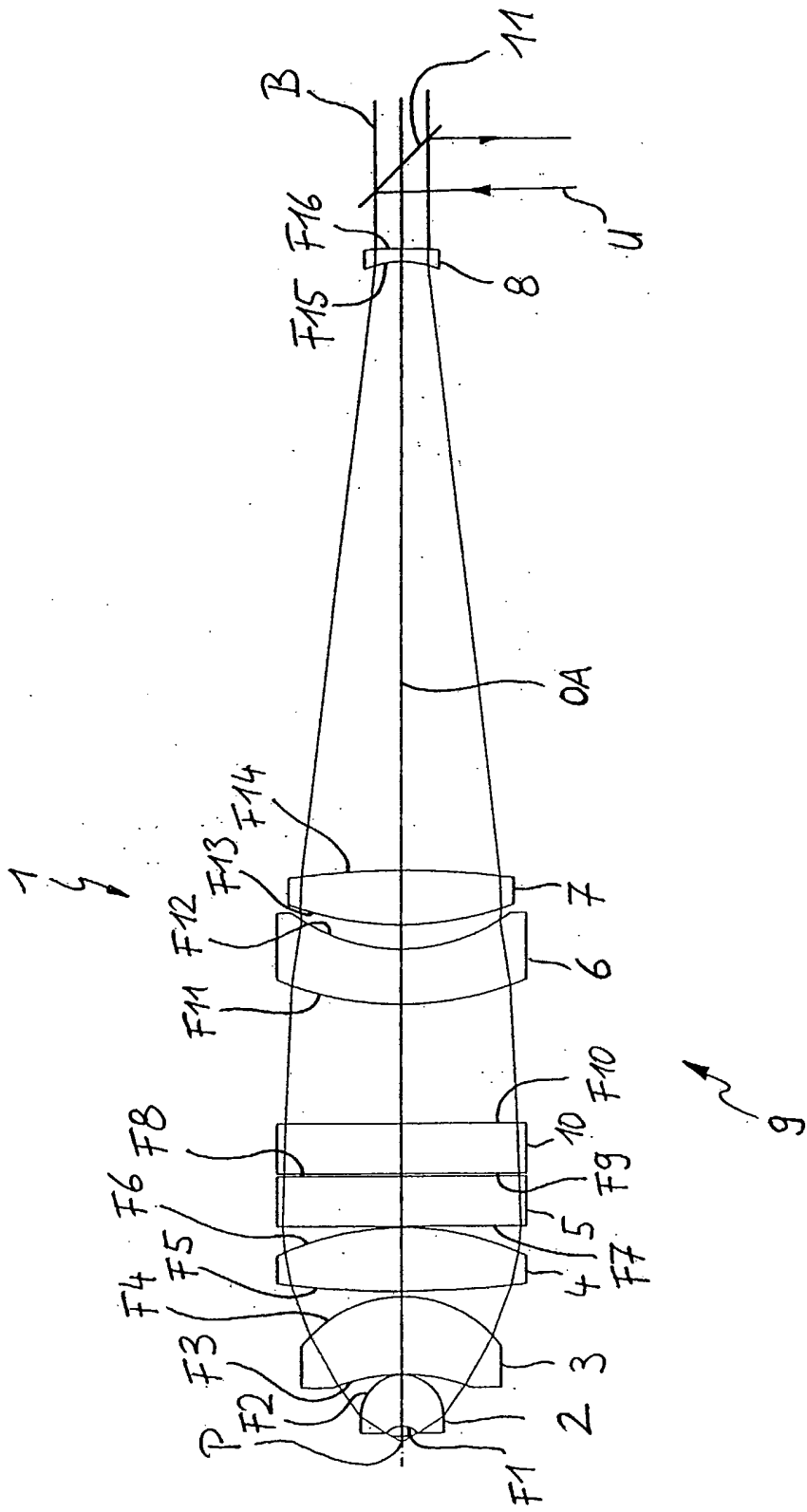
25

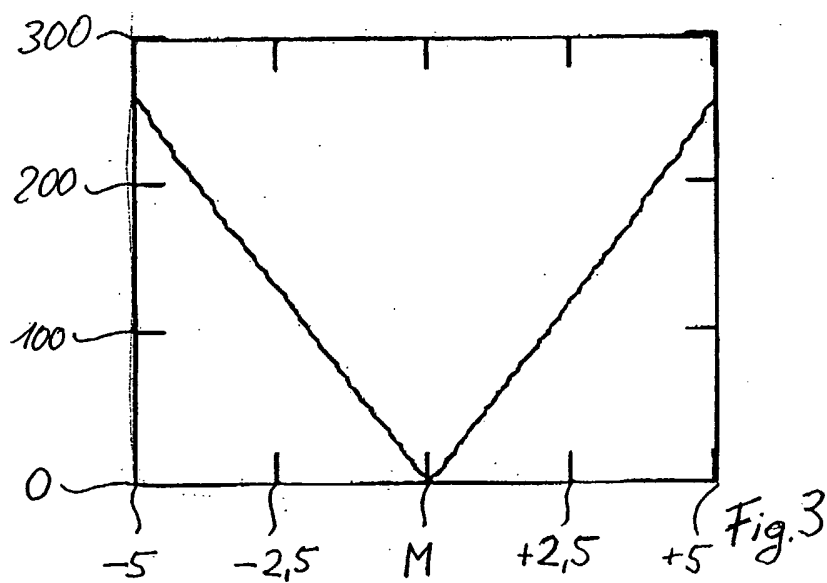
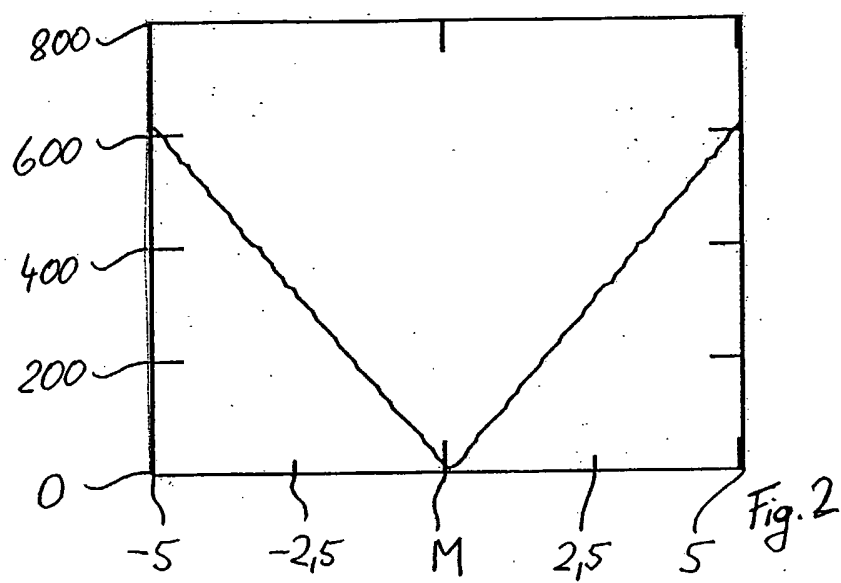
23. Abbildungsoptik nach einem der obigen Ansprüche, bei der alle Optikelemente (2-8) der Hauptoptik (9) und das erste diffraktive Element (10) kittfrei gehalten sind.

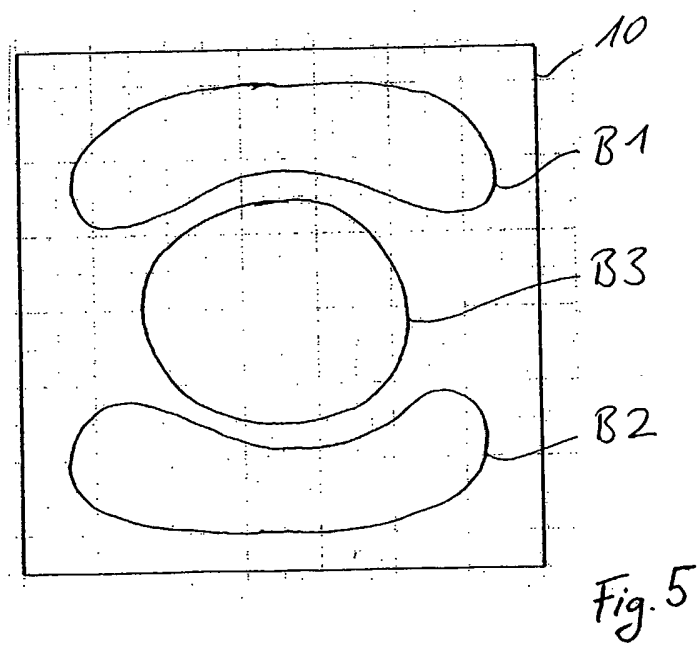
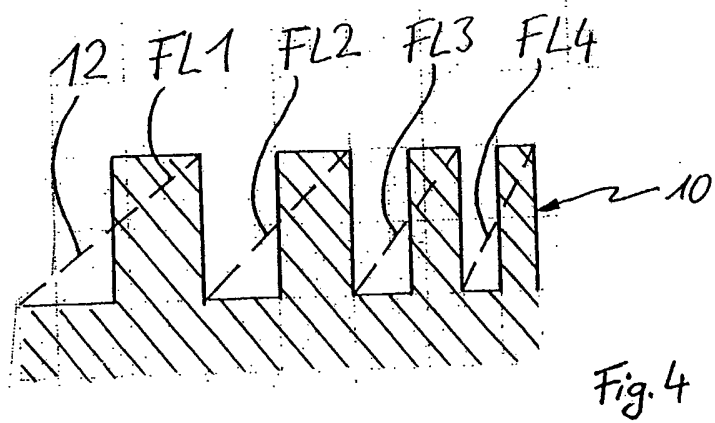
30

24. Herstellungsverfahren einer Abbildungsoptik, bei dem rechnerisch eine mehrere Optikelemente (2, 3, 4, 5, 6, 7, 8) aufweisende Hauptoptik (9) zusammengestellt und für eine vorgegebene Beobachtungsstrahlung korrigiert wird, danach rechnerisch ein transmissives diffraktives Element (10) in dem Beobachtungsstrahlengang der Abbildungsoptik (1) angeordnet und hinsichtlich seiner Phasenfunktion so optimiert wird, daß zumindest ein Abbildungsfehler der Hauptoptik (9) für eine Untersuchungsstrahlung mit einer anderen Wellenlänge als die der Beobachtungsstrahlung durch die diffraktive Wirkung des diffraktiven Elements korrigiert wird, und bei dem ferner für die Fertigung der so berechneten Abbildungsoptik notwendigen Optikdaten erzeugt werden und anhand der erzeugten Optikdaten die Abbildungsoptik hergestellt wird.

35







INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International Application No

PCT/EP 03/10476

A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER

IPC 7 G02B13/14 G02B21/24 G02B21/02 G02B27/10 G02B27/00
 G02B7/32 G02B5/32

According to International Patent Classification (IPC) or to both national classification and IPC

B. FIELDS SEARCHED

Minimum documentation searched (classification system followed by classification symbols)

IPC 7 G02B

Documentation searched other than minimum documentation to the extent that such documents are included in the fields searched

Electronic data base consulted during the international search (name of data base and, where practical, search terms used)

EPO-Internal

C. DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

Category °	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
X	WO 91 12551 A (MASSACHUSETTS INST TECHNOLOGY) 22 August 1991 (1991-08-22) abstract	1-24
A	US 5 737 125 A (OHASHI HITOSHI) 7 April 1998 (1998-04-07) the whole document	1-24
A	US 4 993 789 A (BILES JONATHAN R ET AL) 19 February 1991 (1991-02-19) abstract	1-24
A	US 5 748 372 A (KITAGAWA JUNICHI) 5 May 1998 (1998-05-05) the whole document	1-24

☐ Further documents are listed in the continuation of box C.

☒ Patent family members are listed in annex.

° Special categories of cited documents:

- *A* document defining the general state of the art which is not considered to be of particular relevance
- *E* earlier document but published on or after the international filing date
- *L* document which may throw doubts on priority claim(s) or which is cited to establish the publication date of another citation or other special reason (as specified)
- *O* document referring to an oral disclosure, use, exhibition or other means
- *P* document published prior to the international filing date but later than the priority date claimed

- *T* later document published after the international filing date or priority date and not in conflict with the application but cited to understand the principle or theory underlying the invention
- *X* document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered novel or cannot be considered to involve an inventive step when the document is taken alone
- *Y* document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered to involve an inventive step when the document is combined with one or more other such documents, such combination being obvious to a person skilled in the art.
- *G* document member of the same patent family

Date of the actual completion of the international search

22 December 2003

Date of mailing of the international search report

07/01/2004

Name and mailing address of the ISA

European Patent Office, P.B. 5818 Patentlaan 2
 NL - 2280 HV Rijswijk
 Tel. (+31-70) 340-2040, Tx. 31 651 epo nl,
 Fax: (+31-70) 340-3016

Authorized officer

Daffner, M

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

Information on patent family members

International Application No

PCT/EP 03/10476

Patent document cited in search report		Publication date	Patent family member(s)	Publication date
WO 9112551	A	22-08-1991	WO 9112551 A1	22-08-1991
			US 5442480 A	15-08-1995
US 5737125	A	07-04-1998	JP 6138415 A	20-05-1994
			JP 6194509 A	15-07-1994
US 4993789	A	19-02-1991	NONE	
US 5748372	A	05-05-1998	JP 8286113 A	01-11-1996

INTERNATIONALER RECHERCHENBERICHT

Internationales Aktenzeichen

PCT/EP 03/10476

A. KLASSIFIZIERUNG DES ANMELDUNGSGEGENSTANDES

IPK 7 G02B13/14 G02B21/24 G02B21/02 G02B27/10 G02B27/00
G02B7/32 G02B5/32

Nach der Internationalen Patentklassifikation (IPK) oder nach der nationalen Klassifikation und der IPK

B. RECHERCHIERTE GEBIETE

Recherchierter Mindestprüfstoff (Klassifikationssystem und Klassifikationssymbole)

IPK 7 G02B

Recherchierte aber nicht zum Mindestprüfstoff gehörende Veröffentlichungen, soweit diese unter die recherchierten Gebiete fallen

Während der internationalen Recherche konsultierte elektronische Datenbank (Name der Datenbank und evtl. verwendete Suchbegriffe)

EPO-Internal

C. ALS WESENTLICH ANGESEHENE UNTERLAGEN

Kategorie°	Bezeichnung der Veröffentlichung, soweit erforderlich unter Angabe der in Betracht kommenden Teile	Betr. Anspruch Nr.
X	WO 91 12551 A (MASSACHUSETTS INST TECHNOLOGY) 22. August 1991 (1991-08-22) Zusammenfassung ---	1-24
A	US 5 737 125 A (OHASHI HITOSHI) 7. April 1998 (1998-04-07) das ganze Dokument ---	1-24
A	US 4 993 789 A (BILES JONATHAN R ET AL) 19. Februar 1991 (1991-02-19) Zusammenfassung ---	1-24
A	US 5 748 372 A (KITAGAWA JUNICHI) 5. Mai 1998 (1998-05-05) das ganze Dokument -----	1-24

☐

Weitere Veröffentlichungen sind der Fortsetzung von Feld C zu entnehmen

☒

Siehe Anhang Patentfamilie

° Besondere Kategorien von angegebenen Veröffentlichungen :

A Veröffentlichung, die den allgemeinen Stand der Technik definiert, aber nicht als besonders bedeutsam anzusehen ist

E älteres Dokument, das jedoch erst am oder nach dem internationalen Anmeldedatum veröffentlicht worden ist

L Veröffentlichung, die geeignet ist, einen Prioritätsanspruch zweifelhaft erscheinen zu lassen, oder durch die das Veröffentlichungsdatum einer anderen im Recherchenbericht genannten Veröffentlichung belegt werden soll oder die aus einem anderen besonderen Grund angegeben ist (wie ausgeführt)

O Veröffentlichung, die sich auf eine mündliche Offenbarung, eine Benutzung, eine Ausstellung oder andere Maßnahmen bezieht

P Veröffentlichung, die vor dem internationalen Anmeldedatum, aber nach dem beanspruchten Prioritätsdatum veröffentlicht worden ist

T Spätere Veröffentlichung, die nach dem internationalen Anmeldedatum oder dem Prioritätsdatum veröffentlicht worden ist und mit der Anmeldung nicht kollidiert, sondern nur zum Verständnis des der Erfindung zugrundeliegenden Prinzips oder der ihr zugrundeliegenden Theorie angegeben ist

X Veröffentlichung von besonderer Bedeutung; die beanspruchte Erfindung kann allein aufgrund dieser Veröffentlichung nicht als neu oder auf erfinderischer Tätigkeit beruhend betrachtet werden

Y Veröffentlichung von besonderer Bedeutung; die beanspruchte Erfindung kann nicht als auf erfinderischer Tätigkeit beruhend betrachtet werden, wenn die Veröffentlichung mit einer oder mehreren anderen Veröffentlichungen dieser Kategorie in Verbindung gebracht wird und diese Verbindung für einen Fachmann naheliegend ist

G Veröffentlichung, die Mitglied derselben Patentfamilie ist

Datum des Abschlusses der internationalen Recherche

22. Dezember 2003

Absendedatum des internationalen Recherchenberichts

07/01/2004

Name und Postanschrift der Internationalen Recherchenbehörde
Europäisches Patentamt, P.B. 5818 Patentlaan 2
NL - 2280 HV Rijswijk
Tel. (+31-70) 340-2040, Tx. 31 651 epo nl,
Fax: (+31-70) 340-3016

Bevollmächtigter Bediensteter

Daffner, M

INTERNATIONALER RECHERCHENBERICHT

Angaben zu Veröffentlichungen, die zur selben Patentfamilie gehören

Internationales Aktenzeichen

PCT/EP 03/10476

Im Recherchenbericht angeführtes Patentdokument		Datum der Veröffentlichung	Mitglied(er) der Patentfamilie		Datum der Veröffentlichung
WO 9112551	A	22-08-1991	WO US	9112551 A1 5442480 A	22-08-1991 15-08-1995
US 5737125	A	07-04-1998	JP JP	6138415 A 6194509 A	20-05-1994 15-07-1994
US 4993789	A	19-02-1991	KEINE		
US 5748372	A	05-05-1998	JP	8286113 A	01-11-1996