



(10) **DE 11 2011 102 900 B4** 2021.01.14

(12) **Patentschrift**

(21) Deutsches Aktenzeichen: **11 2011 102 900.4**
(86) PCT-Aktenzeichen: **PCT/US2011/049757**
(87) PCT-Veröffentlichungs-Nr.: **WO 2012/030837**
(86) PCT-Anmeldetag: **30.08.2011**
(87) PCT-Veröffentlichungstag: **08.03.2012**
(43) Veröffentlichungstag der PCT Anmeldung
in deutscher Übersetzung: **13.06.2013**
(45) Veröffentlichungstag
der Patenterteilung: **14.01.2021**

(51) Int Cl.: **G02B 17/00 (2006.01)**
G01N 21/88 (2006.01)
H05K 13/08 (2006.01)

Innerhalb von neun Monaten nach Veröffentlichung der Patenterteilung kann nach § 59 Patentgesetz gegen das Patent Einspruch erhoben werden. Der Einspruch ist schriftlich zu erklären und zu begründen. Innerhalb der Einspruchsfrist ist eine Einspruchsgebühr in Höhe von 200 Euro zu entrichten (§ 6 Patentkostengesetz in Verbindung mit der Anlage zu § 2 Abs. 1 Patentkostengesetz).

(30) Unionspriorität:
12/873,387 01.09.2010 US

(72) Erfinder:
Kadkly, Azmi, Santa Clara, Calif., US

(73) Patentinhaber:
KLA-Tencor Corp., Milpitas, Calif., US

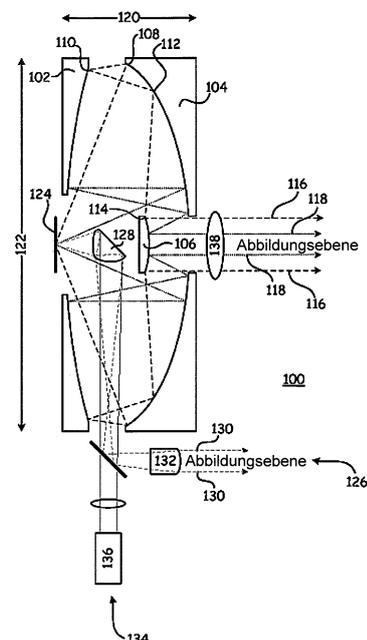
(56) Ermittelte Stand der Technik:
US 2004 / 0 246 595 A1

(74) Vertreter:
**Reichert & Lindner Partnerschaft Patentanwälte,
93049 Regensburg, DE**

(54) Bezeichnung: **Abbildungssystem**

(57) Hauptanspruch: Abbildungssystem, umfassend:

- einen hinteren Reflektor mit einer konkaven und asphärischen reflektiven Oberfläche und einem Außendurchmesser, der nicht größer als ein erster Abstand ist, mit einer im hinteren Reflektor ausgebildeten Öffnung, wobei die Öffnung zum Einlass von Licht von einem Sichtfeld in das Abbildungssystem ausgebildet ist;
- einen vorderen Reflektor mit einer konkaven und asphärischen reflektierenden Oberfläche und einem äußeren Durchmesser, der nicht größer als der erste Abstand ist, mit einer im vorderen Reflektor ausgebildeten Öffnung, wobei die Öffnung zum Auslass von Licht vom Abbildungssystem zu einer Abbildungsebene ausgebildet ist; und
- einen zentralen Reflektor mit einer konvexen und asphärischen reflektiven Oberfläche zur Aufnahme von Licht vom vorderen Reflektor und zur Abgabe des Lichts vom Abbildungssystem durch die Öffnung im vorderen Reflektor.



Beschreibung

[0001] Die vorliegende Erfindung betrifft das Feld der Herstellung integrierter Schaltkreise. Insbesondere bezieht sich die Erfindung auf die optische Inspektion integrierter Schaltkreise im ultravioletten Spektralbereich.

[0002] Optische Inspektionssysteme werden verwendet, um sehr kleine Defekte in Substraten und Strukturen, aus denen die integrierten Schaltkreise gebildet werden, zu detektieren. Der hier verwendete Begriff „integrierter Schaltkreis“ umfasst Bauteile, die z.B. aus monolithischen halbleitenden Substraten gebildet werden, wie z.B. Bauteile, die aus Gruppe-IV-Halbleitermaterialien (wie Silizium oder Germanium) oder Gruppen-II-V-Halbleiterverbindungen (wie Galliumarsenid) oder Mischungen solcher Materialien. Ferner umfasst der Begriff alle Typen von aus Halbleitermaterialien gebildeten Bauteilen, wie z.B. Speicherschaltkreise und logische Schaltkreise und auch alle Bauarten solcher Bauteile wie „Metal Oxid Semiconductor“ (MOS)-Bauteile oder bipolare Bauteile bzw. Transistoren. Der Begriff umfasst auch Anwendungen wie Flachbildschirme, Solarzellen und ladungsgekoppelte Bauteile (Charge-Coupled Devices, CCD).

[0003] Es besteht ein anhaltender Bedarf, sowohl den Durchsatz als auch die Sensitivität von solchen Inspektionssystemen zu erhöhen. Auf optischen Inspektionsvorrichtungen basierte Ansätze zur Erreichung dieser Ziele sind die Verwendung von optischen Bauelementen mit sehr großer numerischer Apertur (NA) sowie von Bestrahlung mit Licht kurzer Wellenlänge (λ) (typischerweise im tiefen ultravioletten Spektralbereich) und hoher Leistung aus emissionsgepulsten Lasern. Die optische Auflösung (R) eines solchen Systems ist durch das Rayleigh-Kriterium gegeben, wobei $R = (0,61)\lambda/NA$ ist. Je kleiner der Wert der optischen Auflösung (R) ist, desto höherauflösend ist das optische System.

[0004] Zurzeit sind gepulste ultraviolette Laser die einzigen Strahlungsquellen, mit denen hinreichend hohe Strahlungsleistungen erzeugt werden können, damit das Inspektionsgerät den Erfordernissen an Durchsatz und Sensitivität genügt. Diese Laserquellen haben tendenziell eine hohe Bandbreite an emittierten Wellenlängen im Vergleich mit kontinuierlich emittierenden Lasern mit niedrigeren Leistungen, die tendenziell monochromatische, auf einer einzigen Wellenlänge emittierende Strahlungsquellen sind.

[0005] Die US-Patentanmeldung US 2004/0246595 A1 beschreibt eine optische Anordnung mit mehreren gekrümmten Spiegeln. Zur Korrektur der von den gekrümmten Spiegeln verursachten sphärischen Aberration ist ein Korrekturlement vorgesehen, beispielsweise eine Linse. Ferner

sind Elemente zur Korrektur einer chromatischen Aberration vorgesehen.

[0006] Aufgrund der eingeschränkten Auswahl an Glasmaterialien mit guten Transmissionscharakteristika im Ultravioletten mangelt es optischen Bauelementen, die allein auf refraktiven (Glas-)Bauteilen beruhen, an chromatischer Korrektur und sie werden durch chromatischen Aberrationen beeinträchtigt. Daher verschlechtern sich die mit refraktiven optischen Bauelementen erreichbaren Bildqualitäten tendenziell mit steigender numerischer Apertur. Eine Lösung dieses Problems liegt in der Verwendung von katadioptrischen Systemen, die aus einer Kombination von refraktiven und reflektiven optischen Bauelementen bestehen. Katadioptrische Systeme erlauben eine wenn auch eingeschränkte Korrektur der chromatischen Aberration innerhalb einer schmalen Bandbreite des emittierten Lichts.

[0007] Die Aufgabe besteht daher in der Schaffung eines Systems, das die vorbeschriebenen Probleme zumindest teilweise überwindet.

[0008] Die obige und andere Aufgaben werden durch ein Abbildungssystem mit einem hinteren, vorderen und zentralen Reflektor gelöst. Der hintere Reflektor hat eine konkave und asphärische reflektive Oberfläche und einen Außendurchmesser, der nicht größer als ein erster Abstand ist, mit einer im hinteren Reflektor ausgebildeten Öffnung, wobei die Öffnung zum Einlass von Licht von einem Sichtfeld in das Abbildungssystem ausgebildet ist. Der vordere Reflektor hat eine konkave und asphärische reflektierende Oberfläche und einen äußeren Durchmesser, der nicht größer als der erste Abstand ist, mit einer im vorderen Reflektor ausgebildeten Öffnung, wobei die Öffnung zum Auslass von Licht vom Abbildungssystem zu einer Abbildungsebene ausgebildet ist. Der zentrale Reflektor hat eine konvexe und asphärische reflektive Oberfläche zur Aufnahme von Licht vom vorderen Reflektor und zur Abgabe des Lichts vom Abbildungssystem durch die Öffnung im vorderen Reflektor.

[0009] Durch die Bildung eines Hauptabbildungskannels nur aus den beschriebenen katoptrischen Elementen, weist das System eine breite numerische Apertur auf, ist bezüglich der Wellenlänge unempfindlich, hat eine extrem hohe Auflösung und ist sehr kompakt.

[0010] In verschiedenen Ausführungsformen gemäß diesem Aspekt der Erfindung ist das Abbildungssystem ein reines katoptrisches System. In manchen Ausführungsformen ist der erste Abstand nicht größer als ungefähr 172 Millimeter. In manchen Ausführungsformen ist der zentrale Reflektor zwischen dem hinteren Reflektor und dem vorderen Reflektor angeordnet. In manchen Ausführungsformen ist die reflek-

tierende Oberfläche des hinteren Reflektors der reflektierenden Oberfläche des vorderen Reflektors zugewandt. In manchen Ausführungsformen wird das vom Sichtfeld in das Abbildungssystem eingelassene Licht zweimal vom vorderen Reflektor und jeweils einmal vom hinteren Reflektor und vom zentralen Reflektor reflektiert. In manchen Ausführungsformen lässt das Abbildungssystem einen Lichtkegel mit einer numerischen Apertur von ungefähr 0,375 bis ungefähr 0,93 vom Sichtfeld ein und auf die Bildebene aus. In manchen Ausführungsformen ist ein dioptrisches Element zur Aufnahme des vom zentralen Reflektor ausgelassenen Lichts durch die Öffnung im hinteren Reflektor ausgebildet.

[0011] In manchen Ausführungsformen ist ein 90°-Winkelprisma zwischen dem hinteren Reflektor und dem zentralen Reflektor angeordnet zum Einfangen eines Teils des Lichts aus dem Sichtfeld und zur Abgabe des Teils des Lichts aus dem Abbildungssystem zwischen dem vorderen Reflektor und dem hinteren Reflektor. In manchen Ausführungsformen weist das 90°-Winkelprisma gekrümmte Eingangs- und Ausgangsflächen auf. In manchen Ausführungsformen ist das 90°-Winkelprisma zum Einfall eines Lichtfächers mit einer numerischen Apertur von ungefähr 0,3 aus dem Sichtfeld und zu seinem Auslass aus dem Abbildungssystem ausgestaltet. Manche Ausführungsformen umfassen eine Beleuchtungsquelle zur Richtung einer Beleuchtung zwischen dem hinteren Reflektor und dem vorderen Reflektor in das Abbildungssystem hinein, in das 90°-Winkelprisma hinein und auf das Sichtfeld.

[0012] Weitere Vorteile der Erfindung werden aus der Figur und ihrer detaillierten Beschreibung offenbar. In der Figur ist auf maßstabsgetreue Darstellung verzichtet, um die Details klarer herauszustellen. Die Figur stellt eine Ausführungsform eines erfindungsgemäßen Abbildungssystems dar. Die zeichnerisch dargestellten Elemente des Abbildungssystems sind mit durchgängig konsistenten Bezugszeichen versehen.

[0013] Die verschiedenen Ausführungsformen der vorliegenden Erfindung beziehen sich auf ein Abbildungssystem aus drei reflektierenden und katoptrischen Reflektoren ohne refraktive Elemente. Daher ist seine Funktionsweise von allen Formen der chromatischen Aberration unbeeinträchtigt. Prinzipiell kann das Abbildungssystem innerhalb jeder Bandbreite und mit Laserquellen aller Wellenlängen betrieben werden.

[0014] Verschiedene Ausführungsformen umfassen ein finit konjugiertes bzw. auf kurze Abstände zum Betrachtungsobjekt optimiertes System mit einer einzigen Vergrößerungsstufe. Eine der Reflektoroberflächen wird zweimal verwendet, so dass alle optischen Strahlen aus der Strahlungsquelle zweimal

von diesem Reflektor reflektiert werden. Dies ergibt ein Vierfach-Reflexionssystem, das die Leistungsanforderungen an eine beugungsbegrenzte Linse erfüllt.

[0015] Die Figur stellt eine Ausführungsform **100** der vorliegenden Erfindung dar. Das System **100** verwendet drei reflektierende Oberflächen, einschließlich eines vorderen Reflektors **102**, eines hinteren Reflektors **104** und eines zentralen Reflektors **106**. Eine Fläche des hinteren Reflektors **104** wird zweimal verwendet. Aus diesem Grund erfährt ein von der Objektebene **124** ausgehender optischer Strahl **118** vor der Fokussierung auf eine Bildebene (nicht dargestellt) vier Reflexionen **108**, **110**, **112** und **114**. Ein Grund für die Verwendung von vier Reflexionen **108**, **110**, **112** und **114** (anstelle einer geringeren Anzahl von Reflexionen) ist, dass diese vier Reflexionen die Verwendung von Strahlen höherer numerischer Apertur erlauben, die Beschränkungen von Winkelreflektoren überwinden und ein Bild zu erzeugen.

[0016] Die Krümmungsradien und Abstände aller reflektierenden Oberflächen voneinander werden geeignet gewählt, um den Anforderungen spezifischer Auslegungen des Abbildungssystems zu genügen. Der Krümmungsradius des Reflektors **104** wird so gewählt, dass die Höhe (Konvergenz) des Randstrahls **116**, der von der Objektebene **124** ausgeht, reduziert wird, sobald er nach seiner ersten Reflexion auf Reflektor **104** auf dem Reflektor **102** auftrifft. Der Krümmungsradius des Reflektors **102** wird so gewählt, dass die Konvergenz des Randstrahls **116** reduziert wird, sobald er nach seiner zweiten Reflexion auf dem Reflektor **104** auf dem Reflektor **106** auftrifft, wodurch das Verdunklungsverhältnis reduziert wird. Schließlich wird der Krümmungsradius des Reflektors **106** so gewählt, dass die Größe des Lochs im Reflektor **104**, das für den Austritt des Randstrahls **116** aus dem System **100** erforderlich ist, reduziert wird, wodurch ebenfalls das Verdunklungsverhältnis reduziert wird.

[0017] Aufgrund dieser Konvergenz der Randstrahlen kann ein sehr kompaktes System mit einem reduzierten Verdunklungsverhältnis realisiert werden. In anderen reflektierenden Systemen werden die primären und sekundären Spiegel mehr voneinander beabstandet, um die gewünschte Strahlkonvergenz zu erreichen. Die Basiskrümmung der Reflektoren **102**, **104** und **106** kann so gewählt werden, dass diese Konvergenz schnell zu erreichen ist und dann anhand der asphärischen Koeffizienten die Aberrationen des optischen Systems **100** in erster und höheren Ordnungen korrigiert werden. Die Durchbiegung einer Oberfläche mit asphärischen Koeffizienten ist durch das folgende Polynom definiert:

$$S = \frac{ch^2}{1 + \sqrt{1 - (1+k)c^2h^2}} + \sum_i^N A_i h^{2i} \quad i = 2, 3, \dots$$

mit

- s Durchbiegung der Oberfläche,
- c Basisradius der Krümmung der Oberfläche,
- h Abstand senkrecht zur der Oberflächenachse,
- k konische Konstante und
- A_i asphärische Koeffizienten.

[0018] Die asphärischen Koeffizienten A_i werden während des Optimierungsverfahrens in systematischer Weise berücksichtigt, um die Aberrationen der Strahlen, die von der Objektebene **124** ausgehen, zu reduzieren, bis der gewünschte Korrekturgrad erreicht ist, unter Wahrung des Grundprinzips der Gestaltung des erfindungsgemäßen Abbildungssystems zur schnellen Konvergenz der Randstrahlen.

[0019] In Reich angeordnete und reflektierende optische Systeme weisen eine zentrale Verdunklung auf, die die Aufnahme eines Teils der numerischen Apertur verhindert, wodurch ihre Empfindlichkeit sinkt. Im System **100** werden der Ort und die Größe des Reflektors **106** so gewählt, dass die zentrale Verdunklung reduziert ist. Da der Reflektor **106** näher an den Reflektor **104** gebracht wird, reduziert sich die zentrale Verdunklung. Allerdings muss darauf geachtet werden, dass die Randstrahlen **116** auf dem Reflektor **106** auftreffen, bevor sie das System **100** verlassen, da andernfalls die numerische Apertur des Systems **100** sinken würde.

[0020] Diese Balance wird im vorliegenden System **100** durch die Ausgestaltung der Oberfläche des Reflektors **106** mit einem nicht-sphärischen Profil bewirkt. In dieser Ausführungsform ist das Profil asphärisch und so ausgeformt, das zu seiner Beschreibung höhere Polynomkoeffizienten erforderlich sind. Im erfindungsgemäßen System **100** verringern Lage und Größe des Reflektors **106** die Verdunklung auf weniger als etwa sechzehn Prozent, wohingegen eine typische Schwarzschild-Objektive eine Verdunkelung von etwa 20 Prozent aufweisen.

[0021] Die Gesamtlänge **120** des Systems **100** und der Abstand zwischen den Reflektoren werden ebenfalls eingestellt, um die oben beschriebenen Ergebnisse zu erreichen, und um die Größe des Systems **100** zu reduzieren. Im Ergebnis werden numerischen Aperturen im Bereich von etwa 0,375 (Strahlgrenze **118**) bis etwa 0,93 (Strahlgrenze **116**) zugelassen, wie zeichnerisch dargestellt. Dieses Design ergibt ein kompaktes System **100**, dass gemäß einer Ausführungsform in einem zylindrischen Gehäuse von nur

etwa 172 mm Durchmesser **122** und mit einer Länge **120** von etwa 65 Millimetern aufgenommen ist.

[0022] Die drei reflektierenden Oberflächen **102**, **104** und **106** werden in dieser Ausführungsform verwendet, um einen beugungsbegrenzten Fleck innerhalb des Blickfeldes **124** zu erzeugen, dessen Durchmesser ungefähr hundertfünfzig Mikrometer bis ungefähr dreihundert Mikrometer misst. Dieser fokussierte Fleck wird in der Bildebene (nicht dargestellt) mittels des Systems **100** um einen Faktor von etwa 52,8 vergrößert. Die Kompaktheit dieses Systems **100** verhindert die Ausbildung von Zwischenbildern, die in katoptrischen Systemen häufig auftritt. Die Kompaktheit des Systems **100** verringert auch die erforderlichen Durchmesser der Reflektoren **102** und **104**. Der Durchmesser des Reflektors **104** wird durch seinen körperlichen Abstand von der Objektebene **124** festgelegt. Der Durchmesser des Reflektors **102** wird durch die Trajektorie der Randstrahlen **116** festgelegt.

[0023] Das Oberflächenprofil des Reflektors **104** bestimmt die Trajektorie und die Richtung der Randstrahlen **116**. Wenn die Strahlen **116** nach Reflexion **108** auf dem Reflektor **104** divergieren, werden sie auf dem Reflektor **102** an einer Stelle **110** auftreffen, an der sein Krümmungsradius größer als an der Stelle **108** ist, so dass der Durchmesser des Reflektors **102** größer sein müsste als in der zeichnerisch dargestellten Ausführungsform.

[0024] In manchen Ausführungsformen werden Aberrationen im System **100** durch die Ausbildung asphärischer Profile der Oberflächen einiger oder aller Reflektoren **102**, **104**, und **106** verringert. Eine Oberfläche mit einem sphärischen Profil hat nur eine begrenzte Fähigkeit, Aberrationen eines optischen Systems mit hoher numerischer Apertur zu korrigieren. Oberflächen mit asphärischen Profilen bieten eine größere Gestaltungsfreiheit, die genutzt werden kann, um die Aberrationen der Linse, die mit einer höheren numerischen Apertur eingehender Strahlung einhergeht, zu reduzieren. In der vorliegenden Ausführungsform **100** weisen die Reflektoren **102**, **104**, und **106** asphärische Profile auf, so dass die Größe des Systems **100** reduziert und die Kollektoreffizienz verbessert werden.

[0025] Um die von der Substratebene **124** einfallende Streustrahlung unterer numerischer Apertur (niedrige numerische Apertur im Dunkelfeld) aufzunehmen, wird in einer Ausführungsform des Systems **100** zusätzlich ein zweiter optischer Kanal **126** vorgesehen. Dieser zweite optische Kanal nutzt ein gekrümmtes 90°-Winkelprisma **128** mit einer effektiven Brennweite von etwa 19,28 Millimetern. Das Winkelprisma **128** hat gekrümmte Eingangs- und Ausgangsflächen und ermöglicht somit eine sehr kompakte Ausgestaltung des zweiten Kanals **126**, so dass er

in dem Totraum der Sammeloptik mit großer numerischer Apertur passt, ohne irgendeinen der nutzbaren Bereiche des Reflektorsystems **100** zu blockieren. Die Krümmungen der Eingangs- und Ausgangsflächen des Prismas **128** sind so konfiguriert, dass ein Strahlenfächer **130** mit numerischer Apertur 0,3 erfasst und auf den freien Raum zwischen den Reflektoren **102** und **104** eingegrenzt werden kann, bevor er zwischen ihnen austritt.

[0026] Jedes der Elemente **132** des zweiten Kanals **126** ist refraktiv. Daher weist der zweite Kanal **126** eine relativ höhere Dispersion auf. Daher wird dieser zweite Kanal **126** für eine Wellenlänge von 266 Nanometern plus 150 Pikometern Halbwertsbreite (**266 nm + 150 pm FWHM (Full Width Half Maximum)**) ausgestaltet und korrigiert. Die Dispersion dieses Kanals **126** ist tolerierbar, weil die Abdeckung der numerischen Apertur viel niedriger ist als die des Hauptkanals.

[0027] Weil der zweite Kanal **126** eine numerische Apertur von bis zu ca. 0,3 aufweist, und der optische Hauptkanal eine numerische Apertur von etwa 0,375 bis etwa 0,93 aufweist, sind durch das System **100** lediglich numerische Aperturen innerhalb eines Bereichs von etwa 0,30 bis etwa 0,375 nicht abbildbar.

[0028] Das Winkelprisma **128** im zweiten Kanal **126** kann auch als Teil des Beleuchtungskanals **134** verwendet werden, unter Verwendung einer Lichtquelle **136**. Die dargestellte Ausführungsform erzeugt fokussierte Flecken von etwa 1,5 Mikrometern Durchmesser auf der Brennebene **124**, die sich auf einen Bereich von etwa 150 Mikrometern Durchmesser ausweiten.

[0029] Wie oben beschrieben spielen die asphärischen Komponenten der Oberflächen **102**, **104** und **106** eine wichtige Rolle beim Erreichen eines hohen Grads von optischer Korrektur und Auflösung. Die sphärischen Grundkrümmungen der Reflektoren sind auf das schnelle Konvergieren der von der Objektebene **124** ausgehenden Strahlenbündel ausgerichtet. Dies beschränkt ihre Fähigkeit, die Aberrationen des Systems zu korrigieren, was durch Einbeziehung von Polynomkoeffizienten kompensiert werden muss.

[0030] Ein weiteres Merkmal dieser Konstruktion ist die Ausführung zweier Reflexionen am Reflektor **104**. Dies hat zwar den Vorteil niedrigerer Kosten, beschränkt jedoch den Korrekturgrad, der von einer solchen Oberfläche erreicht werden kann. Anfänglich divergieren die Randstrahlen **116**, die bei Position **108** auf die Oberfläche **104** auftreffen, und konvergieren wieder nach der zweiten Reflexion an der Fläche **102**. Der Richtungskosinus der Strahlen ändert dabei sein Vorzeichen. Aus diesem Vorzeichenwechsel sind die optischen Aberrationseigenschaften der

Strahlen bestimmbar. Dies stellt zusätzliche technische Beschränkungen an die Auslegung des Systems **100** dar, so dass eine Korrektur ohne Zuhilfenahme der asphärischen Koeffizienten praktisch unmöglich ist.

[0031] Gemäß anderen reflektierenden Designs wird jeder Reflektor nur einmal verwendet und kann somit rein sphärische Formen haben. Jedoch werden solche Systeme auch größer sein als das vorliegende System **100**.

[0032] Diese beiden Charakteristika des Systems **100** - die Grundkrümmung zur schnellen Konvergenz der Randstrahlen und die systematische Berücksichtigung asphärischer Koeffizienten zur Korrektur der Aberrationen des Systems **100** - verleihen dem System **100** ein gegenüber dem Stand der Technik einzigartiges optisches Design.

[0033] In einer weiteren Ausführungsform wird ein dünnes refraktives Element **138** hinter dem Reflektor **106** etwas außerhalb des Spiegelkastens bzw. Reflektorgehäuses des Systems **100** aufgenommen, um eine zusätzliche Korrektur für außeraxiale Bereiche zu bewirken. Dieses Element **138** ist so dünn ausgestaltet, dass es keinen Einfluss auf die chromatische Korrektur des Systems **100** nimmt, jedoch die Größe der Brennebene **124** verdoppelt.

[0034] Die vorstehende Beschreibung von Ausführungsformen dieser Erfindung wurde zum Zwecke der Veranschaulichung und Erläuterung dargelegt. Es ist nicht beabsichtigt, eine erschöpfende Beschreibung der Erfindung zu geben oder die Erfindung auf die bestimmte offenbarte Form zu beschränken. Offensichtliche Modifikationen oder Variationen sind im Lichte der obigen Lehren möglich. Die Ausführungsformen sind im Bemühen ausgewählt, die Prinzipien der Erfindung und ihre praktische Anwendung dergestalt zu illustrieren, dass ein Fachmann auf dem einschlägigen Fachgebiet die Erfindung und ihre verschiedenen Ausführungsformen nutzen und je nach Zielsetzung verschiedentlich modifizieren kann. Alle solche Modifikationen und Variationen liegen innerhalb des Schutzzumfangs der beigefügten Ansprüche, wenn sie nach Recht und Billigkeit gebührend interpretiert werden.

Patentansprüche

1. Abbildungssystem, umfassend:

- einen hinteren Reflektor mit einer konkaven und asphärischen reflektiven Oberfläche und einem Außendurchmesser, der nicht größer als ein erster Abstand ist, mit einer im hinteren Reflektor ausgebildeten Öffnung, wobei die Öffnung zum Einlass von Licht von einem Sichtfeld in das Abbildungssystem ausgebildet ist;

- einen vorderen Reflektor mit einer konkaven und asphärischen reflektierenden Oberfläche und einem äußeren Durchmesser, der nicht größer als der erste Abstand ist, mit einer im vorderen Reflektor ausgebildeten Öffnung, wobei die Öffnung zum Auslass von Licht vom Abbildungssystem zu einer Abbildungsebene ausgebildet ist; und
- einen zentralen Reflektor mit einer konvexen und asphärischen reflektiven Oberfläche zur Aufnahme von Licht vom vorderen Reflektor und zur Abgabe des Lichts vom Abbildungssystem durch die Öffnung im vorderen Reflektor.

2. Abbildungssystem nach Anspruch 1, wobei das Abbildungssystem ein rein katoptrisches System ist.

3. Abbildungssystem nach Anspruch 1, wobei der erste Abstand 172 Millimeter nicht übersteigt.

4. Abbildungssystem nach Anspruch 1, wobei der zentrale Reflektor zwischen dem hinteren Reflektor und dem vorderen Reflektor angeordnet ist.

5. Abbildungssystem nach Anspruch 1, wobei die reflektierende Oberfläche des hinteren Reflektors der reflektierenden Oberfläche des vorderen Reflektors zugewandt ist.

6. Abbildungssystem nach Anspruch 1, wobei das vom Sichtfeld in das Abbildungssystem eingelassene Licht zweimal vom vorderen Reflektor und jeweils einmal vom hinteren Reflektor und vom zentralen Reflektor reflektiert wird.

7. Abbildungssystem nach Anspruch 1, wobei das Abbildungssystem einen Lichtkegel mit einer numerischen Apertur von 0,375 bis 0,93 vom Sichtfeld einlässt und auf die Bildebene auslässt.

8. Abbildungssystem nach Anspruch 1, ferner umfassend ein dioptrisches Element, das zur Aufnahme des vom zentralen Reflektor ausgelassenen Lichts durch die Öffnung im hinteren Reflektor ausgebildet ist.

9. Abbildungssystem nach Anspruch 1, ferner umfassend ein 90°-Winkelprisma, das zwischen dem hinteren Reflektor und dem zentralen Reflektor angeordnet ist, zum Einfangen eines Teils des Lichts aus dem Sichtfeld und zur Abgabe des Teils des Lichts aus dem Abbildungssystem zwischen dem vorderen Reflektor und dem hinteren Reflektor.

10. Abbildungssystem nach Anspruch 9, wobei das 90°-Winkelprisma gekrümmte Eingangs- und Ausgangsflächen aufweist.

11. Abbildungssystem nach Anspruch 9, wobei das 90°-Winkelprisma zum Einfall eines Lichtfächers mit einer numerischen Apertur von 0,3 aus dem Sichtfeld

und zu seinem Auslass aus dem Abbildungssystem ausgestaltet ist.

12. Abbildungssystem nach Anspruch 9, wobei eine Beleuchtungsquelle zur Richtung einer Beleuchtung zwischen dem hinteren Reflektor und dem vorderen Reflektor in das Abbildungssystem hinein, in das 90°-Winkelprisma hinein und auf das Sichtfeld vorgesehen ist.

13. Abbildungssystem, umfassend:

- einen hinteren Reflektor mit einer konkaven und asphärischen reflektiven Oberfläche und einem Außendurchmesser, der nicht größer als ein erster Abstand ist, mit einer im hinteren Reflektor ausgebildeten Öffnung, wobei die Öffnung zum Einlass von Licht von einem Sichtfeld in das Abbildungssystem ausgebildet ist;

- einen vorderen Reflektor mit einer konkaven und asphärischen reflektierenden Oberfläche und einem äußeren Durchmesser, der nicht größer als der erste Abstand ist, mit einer im vorderen Reflektor ausgebildeten Öffnung, wobei die Öffnung zum Auslass von Licht vom Abbildungssystem zu einer Abbildungsebene ausgebildet ist, wobei die reflektierende Oberfläche des hinteren Reflektors der reflektierende Oberfläche des vorderen Reflektors zugewandt ist; und

- einen zentralen Reflektor mit einer konvexen und asphärischen reflektiven Oberfläche, der zwischen dem hinteren Reflektor und dem vorderen Reflektor angeordnet ist, der zur Aufnahme von Licht vom vorderen Reflektor und zur Abgabe des Lichts vom Abbildungssystem durch die Öffnung im vorderen Reflektor ausgebildet ist, wobei das vom Sichtfeld in das Abbildungssystem eingelassene Licht zweimal vom vorderen Reflektor und jeweils einmal vom hinteren Reflektor und vom zentralen Reflektor reflektierbar ist.

14. Abbildungssystem nach Anspruch 13, wobei das Abbildungssystem einen Lichtkegel mit einer numerischen Apertur von 0,375 bis 0,93 vom Sichtfeld einlässt und auf die Bildebene auslässt.

15. Abbildungssystem nach Anspruch 13, ferner umfassend ein dioptrisches Element, das zur Aufnahme des vom zentralen Reflektor ausgelassenen Lichts durch die Öffnung im hinteren Reflektor ausgebildet ist.

16. Abbildungssystem nach Anspruch 13, ferner umfassend ein 90°-Winkelprisma, das zwischen dem hinteren Reflektor und dem zentralen Reflektor angeordnet ist, zum Einfangen eines Teils des Lichts aus dem Sichtfeld und zur Abgabe des Teils des Lichts aus dem Abbildungssystem zwischen dem vorderen Reflektor und dem hinteren Reflektor.

17. Abbildungssystem nach Anspruch 16, wobei das 90° -Winkelprisma gekrümmte Eingangs- und Ausgangsflächen aufweist.

18. Abbildungssystem nach Anspruch 16, wobei das 90° -Winkelprisma zum Einfall eines Lichtfächers mit einer numerischen Apertur von bis zu 0,3 aus dem Sichtfeld und zu seinem Auslass aus dem Abbildungssystem ausgestaltet ist.

19. Abbildungssystem nach Anspruch 16, ferner umfassend eine Beleuchtungsquelle zur Richtung einer Beleuchtung zwischen dem hinteren Reflektor und dem vorderen Reflektor in das Abbildungssystem hinein, in das 90° -Winkelprisma hinein und auf das Sichtfeld.

20. Abbildungssystem, umfassend:

- einen hinteren Reflektor mit einer konkaven und asphärischen reflektiven Oberfläche und einem Außendurchmesser, der nicht größer als ein erster Abstand ist, mit einer im hinteren Reflektor ausgebildeten Öffnung, wobei die Öffnung zum Einlass von Licht von einem Sichtfeld in das Abbildungssystem ausgebildet ist;
- einen vorderen Reflektor mit einer konkaven und asphärischen reflektierenden Oberfläche und einem äußeren Durchmesser, der nicht größer als der erste Abstand ist, mit einer im vorderen Reflektor ausgebildeten Öffnung, wobei die Öffnung zum Auslass von Licht vom Abbildungssystem zu einer Abbildungsebene ausgebildet ist, wobei die reflektierende Oberfläche des hinteren Reflektors der reflektierende Oberfläche des vorderen Reflektors zugewandt ist;
- einen zentralen Reflektor mit einer konvexen und asphärischen reflektiven Oberfläche, der zwischen dem hinteren Reflektor und dem vorderen Reflektor angeordnet ist, zur Aufnahme von Licht vom vorderen Reflektor und zur Abgabe des Lichts vom Abbildungssystem durch die Öffnung im vorderen Reflektor; und
- ein 90° -Winkelprisma, das gekrümmte Eingangs- und Ausgangsflächen aufweist, und das zwischen dem hinteren Reflektor und dem zentralen Reflektor angeordnet ist und zum Einfangen eines Teils des Lichts aus dem Sichtfeld mit einer numerischen Apertur von bis zu 0,3 und zur Abgabe des Teils des Lichts aus dem Abbildungssystem zwischen dem vorderen Reflektor und dem hinteren Reflektor ausgebildet ist, wobei das vom Sichtfeld in das Abbildungssystem eingelassene Licht zweimal vom vorderen Reflektor und jeweils einmal vom hinteren Reflektor und vom zentralen Reflektor reflektierbar ist und wobei das aus dem Abbildungssystem ausfallende Licht eine numerische Apertur von 0,375 bis 0,93 aufweist.

Es folgt eine Seite Zeichnungen

Anhängende Zeichnungen

