



(12) **Offenlegungsschrift**

(21) Aktenzeichen: **10 2013 203 882.8**  
(22) Anmeldetag: **07.03.2013**  
(43) Offenlegungstag: **12.09.2013**

(51) Int Cl.: **G01B 11/24 (2013.01)**  
**G01B 11/255 (2013.01)**  
**G01B 9/02 (2013.01)**  
**G01M 11/00 (2013.01)**

(30) Unionspriorität:  
**2012-052423**      **09.03.2012**      **JP**

(74) Vertreter:  
**TBK, 80336, München, DE**

(71) Anmelder:  
**CANON KABUSHIKI KAISHA, Tokio, JP**

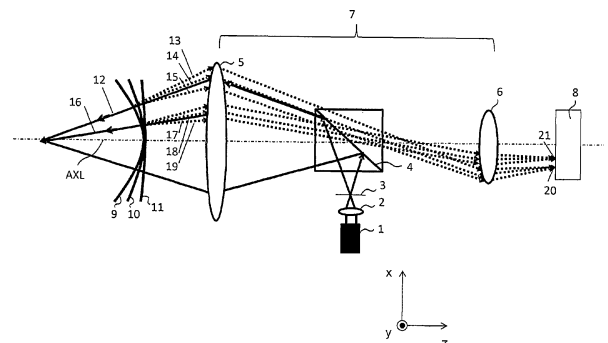
(72) Erfinder:  
**Maeda, Yoshiki, Tokio, JP**

Prüfungsantrag gemäß § 44 PatG ist gestellt.

**Die folgenden Angaben sind den vom Anmelder eingereichten Unterlagen entnommen**

(54) Bezeichnung: **Verfahren zum Messen einer asphärischen Oberfläche, Vorrichtung zum Messen einer asphärischen Oberfläche, Vorrichtung zum Erzeugen eines optischen Elements und optisches Element**

(57) Zusammenfassung: Das Verfahren zum Messen eines Profils einer asphärischen Oberfläche (9–11, 22) projiziert ein Beleuchtungslicht (12, 16) auf die asphärische Oberfläche und bringt ein reflektiertes Licht (13–15, 17–19), das durch die asphärische Oberfläche reflektiert wurde, zu einem Sensor (8) durch ein optisches System (7) ein. Das Verfahren stellt einer Wellenfront (23) des Beleuchtungslichts eine Krümmung bereit, die einen Absolutwert eines Winkels des reflektierten Lichts auf einen kleineren Wert als einen maximalen Wert von Absolutwerten von Winkeln der seitlichen Randstrahlen des optischen Systems bringt, lokalisiert eine Ausgangsblende derart, dass der Absolutwert der reflektierten Lichtwinkel kleiner als der Maximalwert ist, stellt einer dem Sensor zugeordneten Oberfläche (25) eine Krümmung und eine Position bereit, die verursachen, dass sich Strahlen des reflektierten Lichts nicht auf der dem Sensor zugeordneten Oberfläche schneiden. Die dem Sensor zugeordnete Oberfläche, die Wellenfront des Beleuchtungslichts und die asphärische Oberfläche weisen eine gleiche aus konvexen und konkaven Oberflächen zu einer gleichen Richtung auf.



**Beschreibung**

## Gebiet der Erfindung

**[0001]** Die vorliegende Erfindung betrifft eine Technologie zum Messen eines Profils einer asphärischen Oberfläche eines optischen Elements wie z. B. einer asphärischen Linse.

## Beschreibung des Stands der Technik

**[0002]** Die Messung eines Profils einer asphärischen Oberfläche eines optischen Elements wie z. B. einer Linse oder eines Spiegels, erfordert eine hohe Genauigkeit und einen hohen Durchgang. Eine Messung hoher Genauigkeit und eines hohen Durchgangs des Profils der asphärischen Oberfläche bedeutet eine Messung, die in der Lage ist, gleichzeitig das gesamte Profil der asphärischen Oberfläche zu messen. Die japanische Patentoffenlegung mit der Nr. 09-329427 offenbart als Messvorrichtung, die in der Lage ist, eine derartige Messung eines asphärischen Oberflächenprofils durchzuführen, ein Interferometer unter Verwendung einer Nulllinse. Dieses Interferometer ist durch ein Fizeau-Interferometer oder Ähnliches bestimmt, das mit der Nulllinse bereitgestellt ist, und ein Bezugslicht (Beleuchtungslicht) projiziert, das eine Wellenfront entsprechend dem konstruierten Profil der asphärischen Messgegenstandsoberfläche aufweist. Darüber hinaus verursacht das Interferometer, dass sich ein Erfassungslicht (reflektiertes Licht) von der asphärischen Messgegenstandsoberfläche mit dem Bezugslicht überlagert, misst einen Unterschied zwischen der Wellenfront des Erfassungslichts und der Wellenfront des Bezugslichts und berechnet dabei das Profil der asphärischen Oberfläche der asphärischen Messgegenstandsoberfläche.

**[0003]** Darüber hinaus offenbart die japanische Patentoffenlegung mit der Nr. 2003-050109 als Vorrichtung zum Messen einer asphärischen Oberfläche ohne Verwendung einer Nulllinse eine Messvorrichtung, die einen Shack-Hartmann-Sensor als lichtempfangenden Sensor verwendet, dessen dynamischer Bereich für eine Wellenfrontmessung breit ist. Diese Messvorrichtung projiziert ein Beleuchtungslicht, das eine Kugelwelle ist, durch ein optisches Beleuchtungssystem auf eine asphärische Messgegenstandsoberfläche. Da die asphärische Messgegenstandsoberfläche eine asphärische Oberfläche ist, wird das Beleuchtungslicht nicht rechtwinklig auf die asphärische Messgegenstandsoberfläche in einem Bereich projiziert, in dem die asphärische Messgegenstandsoberfläche vorhanden ist, und deswegen ist ein Strahlwinkel eines Erfassungslichts, das durch die asphärische Messgegenstandsoberfläche reflektiert wird, unterschiedlich zu dem des Beleuchtungslichts, das auf die Messgegenstandsoberfläche projiziert wird. Folglich ist das reflektierte Erfassungslicht, das in den lichtempfangenden Sensor eindringt, nicht kollimiert, welches eine Wellenfront aufweist, die bemerkenswert unterschiedlich zu der einer ebenen Wellenfront ist. Dabei ermöglicht die Erfassung dieser Wellenfront eine Berechnung des Profils der asphärischen Messgegenstandsoberfläche.

**[0004]** Jedoch erfordert die Verwendung der Nulllinse deren Erzeugung mit einem großen Zeitaufwand und großen Kosten, da die Messgenauigkeit von der Herstellungsgenauigkeit der Nulllinse abhängt. Darüber hinaus erfordert die Verwendung der Nulllinse eine Bereitstellung von unterschiedlichen Nulllinsen für jedes Profil der asphärischen Messgegenstandsoberfläche.

**[0005]** Wenn andererseits die Nulllinse nicht verwendet wird, fällt die Krümmung der Wellenfront des auf die asphärische Messgegenstandsoberfläche projizierten Beleuchtungslichts nicht mit der der asphärischen Messgegenstandsoberfläche zusammen. In diesem Fall werden reflektierte Lichter von unterschiedlichen Reflexionspunkten auf der asphärischen Messgegenstandsoberfläche auf den gleichen Punkt auf dem lichtempfangenden Sensor fokussiert, was es unmöglich macht, die Reflexionspunkte auf der asphärischen Messgegenstandsoberfläche von den in den lichtempfangenden Sensor eindringenden reflektierten Lichtern zu unterscheiden. Zusätzlich weisen die reflektierten Lichter, die in den lichtempfangenden Sensor eindringen, Winkel auf, die einen maximal messbaren Winkel des Sensors überschreiten.

**[0006]** Um solche Probleme zu vermeiden, bewegt die in der japanischen Patentoffenlegung mit der Nr. 2003-050109 offenbarte Messvorrichtung die asphärische Messgegenstandsoberfläche in einer Richtung einer optischen Achse, um dafür zu sorgen, dass die Krümmung der Wellenfront des Beleuchtungslichts und die Krümmung der Messgegenstandsoberfläche sich einander annähern. Wenn jedoch eine asphärische Messgegenstandsoberfläche gemessen wird, deren Krümmung sich in ihrer radialen Richtung stark ändert, sogar obwohl eine Krümmung der asphärischen Messgegenstandsoberfläche an einem bestimmten Punkt mit der Krümmung der Wellenfront des Beleuchtungslichts zusammenfällt, unterscheiden sich Krümmungen der asphärischen Messgegenstandsoberfläche an anderen Punkten bemerkenswert von der Krümmung der Wellenfront

des Beleuchtungslichts. Als Ergebnis können die voranstehend beschriebenen Probleme nicht ausreichend gelöst werden.

**[0007]** Die vorliegende Erfindung stellt ein Verfahren zum Messen einer asphärischen Oberfläche und eine Vorrichtung zum Messen einer asphärischen Oberfläche bereit, die in der Lage sind, unter Verwendung eines optischen Systems gleichzeitig ein Profil einer gesamten asphärischen Oberfläche zu messen, deren Krümmung sich in ihrer radialen Richtung stark ändert, und Profile von jeder einer Vielzahl von asphärischen Oberflächen zu messen, deren Krümmungen wechselseitig unterschiedlich sind.

**[0008]** Die vorliegende Erfindung in ihrem ersten Gesichtspunkt stellt ein Verfahren zum Messen einer asphärischen Oberfläche bereit, wie es in den Ansprüchen 1 bis 4 bestimmt ist.

**[0009]** Die vorliegende Erfindung in ihrem zweiten Gesichtspunkt stellt eine Vorrichtung zum Messen einer asphärischen Oberfläche bereit, wie es in Anspruch 5 bestimmt ist.

**[0010]** Die vorliegende Erfindung in ihrem dritten Gesichtspunkt stellt eine Vorrichtung zum Erzeugen eines optischen Elements bereit, wie es in Anspruch 6 bestimmt ist.

**[0011]** Die vorliegende Erfindung in ihrem vierten Gesichtspunkt stellt ein optisches Element bereit, wie es in Anspruch 7 bestimmt ist.

**[0012]** Weitere Merkmale der vorliegenden Erfindung werden aus der folgenden Beschreibung von beispielhaften Ausführungsformen mit Bezug auf die anhängenden Zeichnungen deutlich.

**[0013]** [Fig. 1](#) zeigt eine Konfiguration einer Vorrichtung zum Messen einer asphärischen Oberfläche, die die Ausführungsform 1 der vorliegenden Erfindung darstellt.

**[0014]** [Fig. 2](#) zeigt einen Winkel eines reflektierten Lichts, wenn in der Messvorrichtung der Ausführungsform 1 ein Beleuchtungslicht auf eine asphärische Messgegenstandsoberfläche projiziert wird.

**[0015]** [Fig. 3](#) zeigt ein Verhältnis eines optischen Abbildungssystems und des reflektierten Lichts von der asphärischen Messgegenstandsoberfläche in der Messvorrichtung der Ausführungsform 1.

**[0016]** [Fig. 4](#) zeigt Trajektorien von Strahlen, die durch einen Sensor in der Messvorrichtung der Ausführungsform 1 gemessen werden können.

**[0017]** [Fig. 5](#) ist eine Seitenansicht und eine Draufsicht, die eine Konfiguration einer numerischen Ausführungsform der vorliegenden Erfindung zeigt.

**[0018]** [Fig. 6](#) zeigt einen Berechnungsvorgang eines Profils der asphärischen Messgegenstandsoberfläche aus Messdaten, die durch den Sensor in der Messvorrichtung der Ausführungsform 1 erhalten wurden.

**[0019]** [Fig. 7](#) zeigt schematisch eine Konfiguration einer Vorrichtung zum Erzeugen eines optischen Elements, die die Ausführungsform 2 der vorliegenden Erfindung ist.

**[0020]** Ausführungsformen der vorliegenden Erfindung werden im Folgenden mit Bezug auf die anhängenden Zeichnungen beschrieben.

[Ausführungsform 1]

**[0021]** [Fig. 1](#) zeigt eine Konfiguration einer Vorrichtung zum Messen einer asphärischen Oberfläche, die eine Messung durch ein Verfahren zum Messen einer asphärischen Oberfläche durchführt, das eine erste Ausführungsform (Ausführungsform 1) der vorliegenden Erfindung ist. In der folgenden Beschreibung werden Definitionen von Symbolen und Positionen von bestimmenden Elementen in einem optischen System unter Verwendung eines orthogonalen X-Y-Z-Koordinatensystems beschrieben, das in [Fig. 1](#) gezeigt ist. Eine Z-Achse entspricht einer optischen Achse des optischen Systems, die im Folgenden als „eine optische Achse AXL“ beschrieben wird. Eine Richtung, in der sich die optische Achse AXL erstreckt, ist als „eine Richtung einer/der optischen Achse“ bezeichnet.

**[0022]** Licht von einer Lichtquelle **1** wird durch eine Kondensierlinse **2** zu einer Lochblende **3** verdichtet und tritt dort hindurch, um einen Halbspiegel **4** zu erreichen. Das durch den Halbspiegel **4** reflektierte Licht tritt durch ein optisches Beleuchtungssystem **5** und tritt dabei als ein Beleuchtungslicht **12** daraus aus, das eine Kugelwelle ist, die eine negative Krümmung aufweist. Das Beleuchtungslicht **12** wird auf asphärische Messgegenstandsoberflächen **9**, **10** und **11** projiziert, die asphärische Oberflächen sind, die verschiedene Krümmungen aufweisen und die konvexe Oberflächen sind. Die asphärische Messgegenstandsoberfläche ist eine Oberfläche, deren asphärisches Profil zu messen ist. Obwohl **Fig. 1** gesammelt die asphärischen Messgegenstandsoberflächen **9**, **10** und **11** zeigt, ist nur eine davon in der tatsächlichen Messung in der Messvorrichtung platziert. Die asphärischen Messgegenstandsoberflächen **9**, **10** und **11** sind derart platziert, dass ihre Scheitel an einem gleichen Punkt auf der optischen Achse AXL angeordnet sind. Darüber hinaus ist ein tatsächliches optisches Beleuchtungssystem aus einer Vielzahl von optischen Elementen wie z. B. Linsen bestimmt, obwohl **Fig. 1** das optische Beleuchtungssystem **5** als eine Linse darstellt. Dies betrifft ebenfalls ein später beschriebenes optisches Projektionssystem **6**.

**[0023]** In **Fig. 1** bezeichnet eine Punktlinie **13** einen Strahl des Beleuchtungslichts **12**, der die asphärische Messgegenstandsoberfläche **9** in einem bestimmten Einfallswinkel erreicht und durch die asphärische Messgegenstandsoberfläche **9** reflektiert wird. Eine Punktlinie **14** bezeichnet einen anderen Strahl des Beleuchtungslichts **12**, der die asphärische Messgegenstandsoberfläche **10** in dem voranstehend erwähnten Einfallswinkel erreicht und durch die asphärische Messgegenstandsoberfläche **10** reflektiert wird. Eine punktierte Linie **15** bezeichnet noch einen anderen Strahl des Beleuchtungslichts **12**, der die asphärische Messgegenstandsoberfläche **11** in dem zuvor erwähnten Einfallswinkel erreicht und durch die asphärische Messgegenstandsoberfläche **11** reflektiert wird. Darüber hinaus zeigen Punktlinien **17**, **18** und **19** Strahlen eines Beleuchtungslichts **16**, die die asphärischen Messgegenstandsoberflächen **9**, **10** und **11** in einem Einfangwinkel unterschiedlich zu dem der Strahlen des Beleuchtungslichts **12** erreichen und durch die asphärischen Messgegenstandsoberflächen **9**, **10** und **11** entsprechend reflektiert werden.

**[0024]** Das reflektierte Licht (Strahlen **13** bis **15** und **17** bis **19**) von der asphärischen Messgegenstandsoberfläche (**9**, **10** und **11**) tritt durch den Halbspiegel **4** übertragen durch das optische Beleuchtungssystem **5** und dringt dann in das optische Projektionssystem **6** ein. Das reflektierte Licht wird durch das optische Projektionssystem **6** fokussiert, um in einen lichtempfangenden Sensor **8** einzudringen. Diese Ausführungsform verwendet einen Shack-Hartmannsensor als den lichtempfangenden Sensor **8**. Der Shack-Hartmannsensor ist ein lichtempfangender Sensor, der eine Wellenfront von eindringendem Licht durch zweidimensional angeordnete Mikrolinsen (Mikrolinsenfeld) unterteilt und die unterteilten Wellenfronten auf einem Bildsensor wie z. B. einen CCD-Sensor projiziert, und dabei in der Lage ist, die Wellenfront zu messen. Andere Sensoren als der Shack-Hartmannsensor, die in der Lage sind, Wellenfronten zu messen, wie z. B. ein Talbot-Interferometer und ein Shearing-Interferometer, können verwendet werden.

**[0025]** Als nächstes wird eine Beschreibung von einer Bedingung zum Messen der Wellenfront durch den Sensor **8** ohne Überlappen der durch die asphärische Messgegenstandsoberfläche reflektierten Strahlen auf den Sensor **8** gemacht.

**[0026]** Das durch die asphärische Messgegenstandsoberfläche reflektierte Licht tritt durch ein optisches Abbildungssystem **7**, das durch das optische Beleuchtungssystem **5** und das optische Projektionssystem **6** bestimmt ist, um in den Sensor **8** einzudringen, wie voranstehend beschrieben wurde. Der Sensor **8** ist an einer Gegenstandsfläche des optischen Beleuchtungssystems **7** platziert. Diese Ausführungsform bildet eine zugeordnete Oberfläche, die ein dem Sensor **8** zugeordnetes Verhältnis aufweist, der durch das optische Abbildungssystem **7** an einer Position näher als ein Schnittpunkt an der asphärischen Messgegenstandsoberfläche angeordnet ist, in dem an zwei unterschiedlichen Punkten der asphärischen Messgegenstandsoberfläche reflektierte Strahlen einander schneiden. Die zugeordnete Oberfläche wird im Folgenden als „eine dem Sensor zugeordnete Oberfläche“ bezeichnet. Diese Konfiguration macht es möglich, auf dem Sensor **8** ein Bild einer Wellenfront auszubilden, in dem Strahlen einander nicht überlappen. Zum Beispiel stellt in dieser Ausführungsform das Ausbilden der dem Sensor zugeordneten Oberfläche an einer gleichen Position wie der der asphärischen Messgegenstandsoberfläche auf der optischen Achse AXL ein eins-zu-eins Positionsverhältnis zu dem Sensor **8** und der asphärischen Messgegenstandsoberfläche her, was eine Erfassung der durch die asphärische Messgegenstandsoberfläche reflektierten Strahlen ohne Überlappen der Strahlen ermöglicht. Somit stellt diese Ausführungsform dem optischen Abbildungssystem **7** eine Petzval-Summe eines negativen Vorzeichens bereit und platziert die asphärische Messgegenstandsoberfläche an der Position der dem Sensor zugeordneten Oberfläche an der optischen Achse AXL.

**[0027]** In dieser Ausführungsform bedeutet „die dem Sensor zugeordnete Oberfläche an der gleichen Position wie der der asphärischen Messgegenstandsoberfläche an der optischen Achse AXL auszubilden“ und „die asphärische Messgegenstandsoberfläche an der Position der dem Sensor zugeordneten Oberfläche auf der optischen Achse AXL zu platzieren“ nicht nur, ihre Positionen in perfekte Übereinstimmung zu bringen, sondern ebenfalls, ihre Positionen so in Übereinstimmung zu bringen, dass dies als optisch übereinstimmend (oder in der Wellenfrontmessung übereinstimmend) betrachtet werden kann. Darüber hinaus weist die dem Sensor zugeordnete Oberfläche eine durch eine Feldkrümmung verursachte Krümmung auf.

**[0028]** Als nächstes wird eine Beschreibung von den Bedingungen zum Vermeiden eines Verlaufenlassens (Vignettierens) des reflektierten Lichts, das durch die asphärische Messgegenstandsoberfläche in dem optischen Abbildungssystem **7** reflektiert wird. Eine der Bedingungen ist, dass Winkel der Strahlen (reflektiertes Licht), die durch die asphärische Messgegenstandsoberfläche reflektiert werden, auf der dem Sensor zugeordneten Oberfläche innerhalb eines Winkels zwischen einem Strahl (oberer Randstrahl), der durch einen oberen Randabschnitt des optischen Abbildungssystems **7** durchtritt, und einen Strahl (unterer Randstrahl), der durch einen unteren Randabschnitt davon durchtritt, fällt. Um diese Bedingung zu erfüllen, bildet das optische Abbildungssystem **7** seine Ausgangsblende, wenn der Sensor **8** als Gegenstandsoberfläche definiert ist, an einem fokussierten Punkt des illuminierten Lichts (Kugelwelle).

**[0029]** In dieser Ausführungsform bedeutet „die Ausgangsblende an dem fokussierten Punkt des Beleuchtungslichts auszubilden“, nicht nur, deren Positionen in perfekte Übereinstimmung zu bringen, sondern ebenfalls ihre Positionen so in Übereinstimmung (nahe Übereinstimmung) zu bringen, dass diese als optisch übereinstimmend (oder in der Wellenfrontmessung übereinstimmend) betrachtet werden können.

**[0030]** Wie aus einer Erläuterung eines später beschriebenen Ausdrucks (**8**) verstanden wird, ist zusätzlich eine andere der Bedingungen, dass es notwendig ist, alle dem Sensor zugeordneten Oberflächen, die Wellenfront des Beleuchtungslichts (im Folgenden als „Beleuchtungswellenfront“ bezeichnet) und die asphärische Messgegenstandsoberfläche einzustellen, konvexe Oberflächen aufzuweisen (d. h., sie einzustellen, dass sie die gleiche aus konvexer und konkaver Oberfläche aufweisen) zu einer gleichen Seite in der Richtung der optischen Achse (d. h., zu einer +Z-Richtung, die in [Fig. 1](#) gezeigt ist) aufweisen. Mit anderen Worten ausgedrückt, ist es notwendig, dass alle Vorzeichen der Krümmung der dem Sensor zugeordneten Oberfläche, der Krümmung der Beleuchtungswellenfront und der Krümmung der optischen Messgegenstandsoberfläche miteinander zusammenfallen. Falls die asphärische Messgegenstandsoberfläche eine konkave Oberfläche ist, ist es notwendig, alle aus der dem Sensor zugeordneten Oberfläche, der Beleuchtungswellenfront und der asphärischen Messgegenstandsoberfläche einzustellen, eine konkave Oberfläche zur gleichen Seite in der Richtung der optischen Achse aufzuweisen (d. h., zu einer -Z-Richtung).

**[0031]** Die Erfüllung dieser Bedingungen verursacht, dass die reflektierten Strahlen (reflektiertes Licht) **13**, **14** und **15** zu einem Punkt **20** auf dem Sensor **8** fokussiert werden und verursacht, dass die reflektierten Strahlen (reflektiertes Licht) **17**, **18** und **19** zu einem anderen Punkt **21** auf dem Sensor **8** fokussiert werden. Somit macht es diese Ausführungsform möglich, die durch die gleiche asphärische Messgegenstandsoberfläche reflektieren Strahlen zu erfassen (messen), ohne ein Überlappen der Strahlen auf dem Sensor **8** zu verursachen.

**[0032]** Darüber hinaus ist in dem optischen Abbildungssystem **7** eine maximale Gegenstandshöhe, wenn der Sensor **8** als die Gegenstandsoberfläche definiert ist, gleich wie oder größer als die Größe des Sensors **8**. Deswegen ist eine Vergrößerung des optischen Abbildungssystems **7** höher als ein Wert, der durch das Teilen einer zu messenden Fläche auf der asphärischen Messgegenstandsoberfläche durch die maximale Gegenstandshöhe erreicht wird.

**[0033]** Zusätzlich ändert eine Änderung eines Winkels eines sensorseitigen Hauptstrahls in dem optischen Abbildungssystem **7** Winkel der Randstrahlen, die in den Sensor **8** eindringen. Somit ist der Winkel des sensorseitigen Hauptstrahls in dem optischen Abbildungssystem **7** derart eingestellt, dass die Winkel der Randstrahlen, die in den Sensor **8** eindringen, einen maximal messbaren Winkel des Sensors **8** nicht überschreiten.

**[0034]** Die Verwendung eines derartigen optischen Abbildungssystems **7** vermeidet, dass Strahlen, die entsprechend als Beleuchtungslichter **12** und **16** zwei unterschiedliche Punkte auf jeder der verschiedenen Krümmungen aufweisenden asphärischen Messgegenstandsoberflächen **9**, **10** und **11** erreichen und an den zwei Punkten reflektiert werden, auf den gleichen Punkt auf dem Sensor **8** reflektiert werden. Mit anderen Worten ist es möglich, gleichzeitig eine Wellenfront des reflektierten Lichts von der gesamten asphärischen Messgegenstandsoberfläche zu messen, nämlich ein Profil der gesamten asphärischen Messgegenstandsoberfläche sogar zu messen, wenn sich die Krümmung der asphärischen Messgegenstandsoberfläche stark in ihrer ra-

dialen Richtung ändert. Darüber hinaus überschreiten die Winkel der Strahlen, die in den Sensor **8** eindringen, nicht den maximal messbaren Winkel des Sensors **8**.

**[0035]** Als nächstes wird eine Beschreibung eines Verhältnisses in der Messvorrichtung dieser somit konfigurierten Ausführungsform zwischen dem Profil der asphärischen Messgegenstandsoberfläche und Parametern (Konstruktionswerten) des optischen Abbildungssystems **7** mit Bezug auf [Fig. 2](#) und [Fig. 3](#) gegeben.

**[0036]** [Fig. 2](#) zeigt eine asphärische Messgegenstandsoberfläche **22**, die durch den folgenden Ausdruck (1) ausgedrückt ist, und eine Wellenfront (Beleuchtungswellenfront) **23** des Beleuchtungslichts **12**, das durch die folgende Gleichung (2) ausgedrückt ist. Die Beleuchtungswellenfront **23** weist eine Kugeloberfläche auf, deren Scheitel mit dem der asphärischen Messgegenstandsoberfläche **22** auf der optischen Achse AXL zusammenfällt.

$$Z(h) = \frac{h^2}{r_0(1 + \sqrt{1 - \frac{(1+K)h^2}{r_0^2}})} + A_1h + A_2h^2 + A_3h^3 + A_4h^4 + A_5h^5 + A_6h^6 + \dots \quad (1)$$

$$I(h) = \sqrt{Ri^2 - h^2} + Ri \quad (2)$$

**[0037]** In den Ausdrücken (1) und (2) wird h durch den folgenden Ausdruck (3) ausgedrückt:

$$h^2 = x^2 + y^2 \quad (3)$$

**[0038]** In dem Ausdruck (3) stellen x bzw. y eine X-Koordinate und eine Y-Koordinate eines Punkts auf der asphärischen Messgegenstandsoberfläche **22** oder der Beleuchtungswellenfront **23** dar, wenn eine Position der optischen Achse AXL in einer X-Y-Ebene als Ursprung definiert ist. In dem Ausdruck (1) stellt Z(h) eine Durchbiegungsgröße der asphärischen Messgegenstandsoberfläche **22** von der X-Y-Ebene dar, d. h., einen Abstand von der X-Y-Ebene zu der asphärischen Messgegenstandsoberfläche **22**, wenn der Scheitel der asphärischen Messgegenstandsoberfläche **22** mit der X-Y-Ebene in Berührung ist. Darüber hinaus stellt r0 einen Krümmungsradius der asphärischen Messgegenstandsoberfläche **22** an deren Scheitel dar, K stellt eine konische Konstante dar, und An stellt einen Koeffizienten einer n-ten Reihenfolge h dar. Die Durchbiegungsgröße Z(h) zeigt ein konstruiertes asphärisches Profil, und ein asphärisches Profil als ein Messgegenstand weist den Koeffizienten An unterschiedlich gemäß dem Formfehler auf. Darüber hinaus stellt I(h) eine Durchbiegungsgröße der Beleuchtungswellenfront **23** von der X-Y-Ebene dar, und Ri stellt einen Krümmungsradius der Beleuchtungswellenfront **23** dar.

**[0039]** Unter den Strahlen des Beleuchtungslichts **12**, das die Beleuchtungswellenfront **23** ausbildet, wird ein Strahl im Folgenden als „ein Beleuchtungsstrahl“ bezeichnet. Wenn h1 einen Abstand des Beleuchtungsstrahls von der optischen Achse AXL darstellt und h2 einen Abstand von einem Schnittpunkt (Strahlposition) des Beleuchtungsstrahls und der asphärischen Messgegenstandsoberfläche **22** von der optischen Achse AXL darstellt, ist ein Einfallswinkel des Beleuchtungsstrahls zu der asphärischen Messgegenstandsoberfläche **22** bereitgestellt, wie folgt, indem h1 in eine Funktion substituiert wird, die durch ein Differenzieren der Beleuchtungswellenfront und eine Berechnung des Arcustangens der differenzierten Wellenfront erhalten wird.

$$\text{atan}[dI/dh(h1)]$$

**[0040]** Ein Winkel  $\alpha$  eines reflektierten Strahls **24**, der der Beleuchtungsstrahl **24** nach der Reflexion durch die asphärische Messgegenstandsoberfläche **22** mit Bezug auf die optische Achse AXL ist, wird durch den folgenden Ausdruck (4) unter Verwendung von  $\text{atan}[dZ/dh(h2)]$  ausgedrückt, dass ein Winkel einer normalen zu der asphärischen Messgegenstandsoberfläche **22** mit Bezug auf die optische Achse AXL ist:

$$\alpha = 2\text{atan}\left[\frac{dZ}{dh}(h2)\right] - \text{atan}\left[\frac{dI}{dh}(h1)\right] \quad (4)$$

**[0041]** [Fig. 3](#) zeigt eine dem Sensor zugeordnete Oberfläche **25** und die asphärische Messgegenstandsoberfläche **22** in dem optischen Abbildungssystem **7**, das als Pupillenabbildungslinse bestimmt ist. In [Fig. 3](#) stellt d einen Abstand zwischen der asphärischen Messgegenstandsoberfläche **22** und der dem Sensor zugeordneten Oberfläche **25** auf der optischen Achse AXL dar; der Abstand d in dieser Ausführungsform ist gleich 0.

Darüber hinaus wird eine Durchbiegungsgröße  $C(h)$  der dem Sensor zugeordneten Oberfläche **25** von der X-Y-Ebene durch den folgenden Ausdruck (5) unter Verwendung eines Krümmungsradius  $R_c$  der dem Sensor zugeordneten Oberfläche **25** ausgedrückt:

$$C(h) = \sqrt{R_c^2 - h^2} + R_c \quad (5)$$

**[0042]** Hier wird eine Beschreibung einer Bedingung gegeben, die der Krümmungsradius  $R_c$  der dem Sensor zugeordneten Oberfläche **25** erfüllen sollte, um das Überlappen von Strahlen auf dem Sensor **8** zu vermeiden. Als erstes wird eine Beschreibung einer Berechnung eines Schnittpunkts des reflektierten Strahls **24** und der dem Sensor zugeordneten Oberfläche **25** gegeben. Ein Abstand  $A(h)$  des reflektierten Strahls **24** von einem Punkt an der X-Y-Ebene wird durch den folgenden Ausdruck (6) unter Verwendung von  $h_2$ ,  $Z(h_2)$  und dem Winkel  $\alpha$  des reflektierten Strahls **24** ausgedrückt, der durch den voranstehend beschriebenen Ausdruck (4) gezeigt ist:

$$A(h) = \frac{h}{\tan\left\{2a \tan\left[\frac{dZ}{dh}(h_2)\right] - a \tan\left[\frac{dI}{dh}(h_1)\right]\right\}} + Z(h_2) + \frac{h_2}{\tan\left\{2a \tan\left[\frac{dZ}{dh}(h_2)\right] - a \tan\left[\frac{dI}{dh}(h_1)\right]\right\}} \quad (6)$$

**[0043]** Somit wird der Schnittpunkt (Strahlposition)  $h_3$  des reflektierten Strahls **24** und der dem Sensor zugeordneten Oberfläche **25** durch den folgenden Ausdruck (7) berechnet, der  $C(h_3) = A(h_3)$  für  $h_3$  löst.

$$h_3(h_2) = \frac{1}{(\alpha^2 + 1)} \left[ -\alpha(R_c - \beta) - \alpha \sqrt{R_c^2 - \alpha^2 \beta^2 + 2R_c \alpha^2 \beta} \right] \quad (7)$$

$$\alpha = \tan\left\{2a \tan\left[\frac{dZ}{dh}(h_2)\right] - a \tan\left[\frac{dI}{dh}(h_1)\right]\right\} \quad \beta = Z(h_2) + \frac{h_2}{\alpha}$$

**[0044]** Der Ausdruck (7) zeigt eine Funktion von  $h_2$ . Die Bedingung zum Vermeiden des Überlappens von Strahlen auf dem Sensor **8** ist, wie voranstehend erwähnt wurde, dass die durch die asphärische Messgegenstandsoberfläche reflektierten Strahlen einander an der dem Sensor zugeordnete Oberfläche **25** nicht überlappen, mit anderen Worten, die dem Sensor zugeordnete Oberfläche **25** weist eine Krümmung und eine Position auf, die verursachen, dass die reflektierten Strahlen einander auf der dem Sensor zugeordneten Oberfläche **25** nicht schneiden. Diese Bedingung entspricht der, wenn  $h_2$  von 0 zu einem wirksamen Strahldurchmesser geändert wird, das ein durch Differenzieren des Ausdrucks (7) mit Bezug auf  $h_2$  erhaltener Wert immer positiv ist. Das Auswählen von  $R_c$  derart, dass eine durch den folgenden Ausdruck (8) gezeigte Bedingung erfüllt ist, ergibt nämlich ein Vermeiden des Überlappens der reflektierten Strahlen auf dem Sensor **B**.

$$\frac{dh_3(h_2)}{dh_2} > 0 \quad (8)$$

**[0045]** Als nächstes wird eine Beschreibung einer Bedingung zum Messen des reflektierten Strahls **24** gegeben, der von dem Punkt  $h_2$  auf der asphärischen Messgegenstandsoberfläche **22** durch das optische Abbildungssystem **7** zu dem Sensor **8** bewegt wird, mit Bezug auf [Fig. 3](#) gegeben.

**[0046]** In [Fig. 3](#) stellt  $B_f$  einen Abstand zwischen einer finalen (stärkste asphärische Messgegenstandsoberflächenseite oder dem Sensor zugeordnete Oberflächenseite) Linsenoberfläche des optischen Abbildungssystems **7** und der dem Sensor zugeordneten Oberfläche **25** auf der optischen Achse AXL dar,  $E_p$  stellt einen Abstand zwischen der finalen Linsenoberfläche des optischen Abbildungssystems **7** und der Ausgangsblende der optischen Achse AXL dar, wenn der Sensor **8** als die Gegenstandsfläche definiert ist. Darüber hinaus stellt  $NA_o$  eine sensorseitige numerische Öffnung des optischen Abbildungssystems **7** dar, und  $NA_i$  stellt eine numerische Öffnung der dem Sensor zugeordneten Oberflächenseite des optischen Abbildungssystems **7** dar. Zusätzlich stellt  $M$  eine Vergrößerung des optischen Abbildungssystems **7** dar, wenn der Sensor **8** als die Gegenstandsfläche definiert ist.

**[0047]** Zuerst wird eine Beschreibung von einer Bedingung betreffend den sensorseitigen Hauptstrahl und der sensorseitigen numerischen Öffnung NAO des optischen Abbildungssystems **7** gegeben. Wie aus [Fig. 4](#) ersichtlich ist, sind Trajektorien **27** von an einem Punkt **26** auf dem Sensor **8** messbaren Strahlen in einem Kreiskegel verteilt, dessen Scheitel an dem Punkt **26** auf dem Sensor **8** angeordnet ist, dessen Boden parallel zu der X-Y-Ebene liegt, und dessen Höhenrichtung parallel zu der optischen Achse AXL liegt. Somit ist das optische Abbildungssystem **7** derart konfiguriert, dass eine Position von dessen Eingangsblende an einem unendlichen Punkt angeordnet ist, und ein maximaler Winkel des Randstrahls mit dem maximal messbaren Winkel des Sensors **8** zusammenfällt. Mit anderen Worten ausgedrückt ist das optische Abbildungssystem **7** konfiguriert, dafür zu sorgen, dass der sensorseitige Hauptstrahl telezentrisch ist, und die sensorseitige numerische Öffnung NAO auf einen Sinuswert des maximal messbaren Winkels des Sensors **8** einzustellen. Das somit konfigurierte optische Abbildungssystem **7** ist ein optisches System, das in der Lage ist, alle durch seine Blende durchtretenden Strahlen zu dem Sensor **8** als messbare Strahlen einzubringen, d. h., ein optisches System, das auf einen dynamischen Bereich des Sensors **8** angepasst ist.

**[0048]** Als nächstes wird eine Beschreibung einer Bedingung betreffend die Ausgangsblende und einen Rückbrennpunkt des optischen Abbildungssystems **7** und der dem Sensor zugeordneten Oberfläche mit Bezug auf [Fig. 3](#) gegeben. In dem optischen Abbildungssystem **7** weist von den Randstrahlen an einer Höhe  $h_3$  von der optischen Achse AXL ein  $-x$ -seitiger (an der Seite der optischen Achse) Randstrahl **28** näher an der optischen Achse AXL als ein durch eine durchgehende Linie gezeigter Hauptstrahl mit Bezug auf die optische Achse AXL einen Neigungswinkel entsprechend einem Winkel auf, der durch Subtrahieren eines Arcussinuswerts von der numerischen Öffnung an der Seite der dem Sensor zugeordneten Oberfläche (d. h. eine numerische Öffnung der dem Sensor zugeordneten Oberfläche **25**) NAI von einem Absolutwert des Winkels des Hauptstrahls mit Bezug auf die optische Achse AXL berechnet ist. Der Neigungswinkel des  $-x$ -seitigen Randstrahls **28** ist nämlich durch den folgenden Ausdruck (9) ausgedrückt:

$$\left| \operatorname{atan}\left(\frac{h_3}{E_p - B_f - C(h_3)}\right) \right| - \operatorname{asin}(NA_i) \quad (9)$$

**[0049]** Darüber hinaus weist ein  $+x$ -seitiger (gegenüber der Seite der optischen Achse) weiter von der optischen Achse AXL als der voranstehende Hauptstrahl mit Bezug auf die optische Achse AXL liegender Randstrahl **29** einen Neigungswinkel entsprechend einem Winkel auf, der durch Hinzuzählen des Arcussinuswerts der numerischen Öffnung der dem Sensor zugeordneten Oberfläche **25** zu dem Absolutwert des Winkels des Hauptstrahls mit Bezug auf die optische Achse AXL berechnet ist. Der Neigungswinkel des  $+x$ -seitigen Randstrahls **29** ist nämlich durch den folgenden Ausdruck (10) ausgedrückt:

$$\left| \operatorname{atan}\left(\frac{h_3}{E_p - B_f - C(h_3)}\right) \right| + \operatorname{asin}(NA_i) \quad (10)$$

**[0050]** Die Bedingung für die Messung des reflektierten Strahls **24** von dem Punkt  $h_2$  auf der asphärischen Messgegenstandsoberfläche **22** durch den Sensor **8** ist, dass es notwendig ist, dass der Absolutwert des Neigungswinkels des reflektierten Strahls **24** mit Bezug auf die optische Achse AXL, der durch den Ausdruck (4) gezeigt wurde, größer als der Absolutwert des Neigungswinkels des  $-x$ -seitigen peripheren Strahls **28** mit Bezug auf die optische Achse AXL ist, der durch den Ausdruck (9) gezeigt wurde; und es ist notwendig, dass der Absolutwert des Neigungswinkels des reflektierten Strahls **24**, der durch den Ausdruck (4) gezeigt ist, kleiner als der (maximale) Absolutwert des Neigungswinkels des  $+x$ -seitigen Randstrahls **29** ist, der durch den Ausdruck (10) gezeigt ist. Die Bedingung für die Messung des reflektierten Strahls **24** durch den Sensor **8** ist, die Krümmung der Beleuchtungswellenfront **23** und die Position der Ausgangsblende des optischen Abbildungssystems **7** so einzustellen, dass sie die folgende Bedingung (11) erfüllen:

$$\left| \operatorname{atan}\left(\frac{h_3}{E_p - B_f - C(h_3)}\right) \right| - \operatorname{asin}(NA_i) < \left| 2 \operatorname{atan}\left[\frac{dZ}{dh}(h_2)\right] - \operatorname{atan}\left[\frac{dl}{dh}(h_1)\right] \right| < \left| \operatorname{atan}\left(\frac{h_3}{E_p - B_f - C(h_3)}\right) \right| + \operatorname{asin}(NA_i) \quad (11)$$

**[0051]** Diese Ausführungsform definiert annähernd die numerische Öffnung NAI der dem Sensor zugeordneten Oberfläche wie folgt, unter Verwendung der sensorseitigen numerischen Öffnung NAO und der Vergrößerung M des optischen Abbildungssystems **7**:

$$NA_i = \sin[\operatorname{asin}(NA_o)/M]$$

**[0052]** Das Substituieren der numerischen Öffnung NAI in den Ausdruck (11) stellt den folgenden Ausdruck (12) bereit. Der Ausdruck (12) hat darin  $\operatorname{asin}(NA_o)$ , nämlich den maximal messbaren Winkel des Sensors **8**, was es möglich macht, die Bedingung für das optische System einfach zu berechnen.

$$\left| \operatorname{atan}\left(\frac{h_3}{E_p - B_f - C(h_3)}\right) \right| - \frac{\operatorname{asin}(NA_o)}{M} < \left| 2 \operatorname{atan}\left[\frac{dZ}{dh}(h_2)\right] - \operatorname{atan}\left[\frac{dl}{dh}(h_1)\right] \right| < \left| \operatorname{atan}\left(\frac{h_3}{E_p - B_f - C(h_3)}\right) \right| + \frac{\operatorname{asin}(NA_o)}{M} \quad (12)$$

**[0053]** Als Bedingung, um die Messung des reflektierten Lichts von der asphärischen Oberfläche, die durch den Ausdruck (1) gezeigt ist, zu ermöglichen, ist es notwendig, dass der Ausdruck (11) oder (12) alle Werte  $h_2$  von 0 bis zu dem Strahlwirkdurchmesser hält. Somit kann eine Bedingung, die das optische System zu erfüllen hat, unter Verwendung der Ausdrücke (8) und (11) oder der Ausdrücke (9) und (12) berechnet werden. Im Gegensatz macht es das Entscheiden der Bedingung für das optische System möglich, ein messbares Profil der asphärischen Messgegenstandsoberfläche unter Verwendung der Ausdrücke (8) und (11) oder der Ausdrücke (9) und (12) zu berechnen.

**[0054]** Als nächstes wird eine Beschreibung einer bestimmten Ausführungsform (numerische Ausführungsform) gegeben, die eine Bedingung für das optische Abbildungssystem **7** (optische Beleuchtungs- und Projektionssysteme **5** und **6**) zeigt, die eine asphärische Messgegenstandsoberfläche messen kann, die durch asphärische Koeffizienten gegeben ist, die in Tabelle 1 gezeigt sind; die Bedingung ist ein Ergebnis der Berechnung unter Verwendung der Ausdrücke (8) und (12). Die asphärischen Koeffizienten, die in Tabelle 1 gezeigt sind, sind durch den Ausdruck (1) definiert. „E-X“ bezeichnet „ $\times 10^{-x}$ “.

[Tabelle 1]

r0	-300
K	-1
A4	1.000000E-07
A6	3.500000E-11
A8	3.000000E-15
WIRKDURCHMESSER [mm]	80

**[0055]** Zuerst entscheidet eine Auswahl der Spezifikationen des Sensors **8** einen Teil der Bedingung für das optische System. Diese numerische Ausführungsform verwendet als den Sensor **8** einen Shack-Hartmannsensor, der Spezifikationen aufweist, in denen seine lichtaufnehmende Oberfläche (CCD-Oberfläche) eine Größe von 30 mm  $\times$  30 mm aufweist und ein maximal messbarer Winkel  $10^\circ$  beträgt. Deswegen ist die Gegenstandsfläche des optischen Abbildungssystems **7** die lichtempfangende Oberfläche (CCD-Oberfläche) des Shack-Hartmannsensors, und die sensorseitige numerische Öffnung  $NA_o$  beträgt  $\sin 10^\circ$ . Darüber hinaus benötigt das optische Abbildungssystem **7** eine Vergrößerung  $M$  von 2,7 oder mehr; 2,7 ist das Ergebnis der Division von 80 mm durch 30 mm. Somit stellt diese numerische Ausführungsform die Vergrößerung  $M$  auf 4 ein.

**[0056]** Darüber hinaus stellt diese numerische Ausführungsform den Rückfokus  $B_f$  des optischen Abbildungssystems **7** auf -100 mm ein, um einen Raum sicherzustellen, in dem die asphärische Messgegenstandsfläche platziert ist. In der Messung fällt der Scheitel der asphärischen Messgegenstandsfläche mit der dem Sensor zugeordneten Oberfläche **25** auf der optischen Achse AXL zusammen.

**[0057]** Von den voranstehend beschriebenen Spezifikationen und Einstellungen werden Bedingungen entschieden, die aus Beschränkungen der Messvorrichtung erforderlich sind. Als nächstes werden unter diesen Bedingungen der Krümmungsradius  $R_i$  der Beleuchtungswellenfront **23**, der Krümmungsradius  $R_c$  der dem Sensor zugeordneten Oberfläche **25** und die Position der Ausgangsblende des optischen Abbildungssystems **7** (d. h., der Abstand zwischen der finalen Linsenoberfläche des optischen Abbildungssystems **7** und der Ausgangsblende auf der optischen Achse AXL)  $E_p$  unter Verwendung des Ausdrucks (12) entschieden.

**[0058]** Zuerst wird der Krümmungsradius  $R_i$  der Beleuchtungswellenfront **23** auf -300 mm, -350 mm und -400 mm geändert. Dann wird für diese Krümmungsradien  $R_i$  die Position  $E_p$  der Ausgangsblende berechnet, wenn  $h_1$  in Abständen von 5 mm von 5 mm auf 40 mm geändert wird, und der Krümmungsradius  $R_c$  der dem Sensor zugeordneten Oberfläche **25** auf -300 mm, -400 mm und -500 mm geändert wird.

**[0059]** Tabelle 2 zeigt die Berechnungsergebnisse

[Tabelle 2]

Ri = -300		Rc					
		-300		-400		-500	
		Ep_min	Ep_max	Ep_min	Ep_max	Ep_min	Ep_max
h1	5	84.6	-183.0	84.6	-183.0	84.6	-183.0
	10	794.8	-231.3	795.0	-231.3	795.1	-231.3
	15	-4728.1	-265.6	-4729.3	-265.6	-4730.1	-265.6
	20	-1433.1	-295.5	-1433.6	-295.4	-1433.9	-295.4
	25	-1216.0	-328.0	-1216.5	-327.9	-1216.8	-327.8
	30	-1408.9	-372.5	-1409.6	-372.3	-1410.1	-372.2
	35	-2815.3	-450.0	-2817.0	-449.7	-2818.1	-449.6
	40	2988.1	-638.7	2990.3	-638.3	2991.7	-638.1
Ri = -350		Rc					
		-300		-400		-500	
		Ep_min	Ep_max	Ep_min	Ep_max	Ep_min	Ep_max
h1	5	102.4	-179.8	102.5	-179.8	102.5	-179.8
	10	1461.5	-223.6	1461.7	-223.5	1461.9	-223.5
	15	-1542.0	-253.5	-1542.4	-253.4	-1542.6	-253.4
	20	-914.3	-278.8	-914.6	-278.7	-914.8	-278.7
	25	-827.6	-305.5	-827.9	-305.4	-828.1	-305.4
	30	-904.8	-341.0	-905.3	-340.9	-905.5	-340.8
	35	-1281.8	-400.0	-1282.6	-399.8	-1283.1	-399.7
	40	-6682.2	-529.7	-6687.0	-529.4	-6689.9	-529.2
Ri = -400		Rc					
		-300		-400		-500	
		Ep_min	Ep_max	Ep_min	Ep_max	Ep_min	Ep_max
h1	5	118.2	-177.6	118.3	-177.6	118.3	-177.6
	10	3435.2	-218.3	3435.8	-218.3	3436.2	-218.3
	15	-1051.4	-245.5	-1051.6	-245.4	-1051.8	-245.4
	20	-730.6	-268.0	-730.8	-267.9	-731.0	-267.9
	25	-677.3	-291.4	-677.5	-291.3	-677.7	-291.2
	30	-724.9	-321.8	-725.2	-321.7	-725.4	-321.6
	35	-931.0	-370.9	-931.5	-370.7	-931.9	-370.6
	40	-2069.9	-473.0	-2071.3	-472.7	-2072.2	-472.5

**[0060]** Wie aus den in Tabelle 2 gezeigten Ergebnissen deutlich wird, benötigt die Messung der asphärischen Messgegenstandsoberfläche, die die in Tabelle 1 gezeigten asphärischen Koeffizienten aufweist, ein optisches System, das wie folgt hergestellt (konstruiert) ist. Zum Beispiel ist die Position Ep der Ausgangsblende derart ausgewählt, dass, wenn der Krümmungsradius Ri der Beleuchtungswellenfront 23–350 mm beträgt und der Krümmungsradius Rc der dem Sensor zugeordneten Oberfläche 25–500 mm beträgt, die Position Ep innerhalb eines Bereichs von -828,1 mm bis 529,2 mm fällt.

**[0061]** Dann erzeugt diese numerische Ausführungsform das optische System unter einer Bedingung, dass eine Wellenlänge der Lichtquelle 1 632,8 nm beträgt, der Krümmungsradius  $R_i$  der Beleuchtungswellenfront 23–350 mm beträgt, der Krümmungsradius  $R_c$  der dem Sensor zugeordneten Oberfläche 25–500 mm beträgt, die Position  $E_p$  der Ausgangsblende –600 mm beträgt.

**[0062]** Gemäß der Berechnung der Strahlposition  $h_3$  auf der dem Sensor zugeordneten Oberfläche **25** in dem optischen System unter der voranstehend beschriebenen Bedingung erhöht der Anstieg von  $h_2$  den Wert  $h_3$ . Deswegen erfüllt das Einstellen des Krümmungsradius  $R_c$  der dem Sensor zugeordneten Oberfläche **25** auf –500 mm, die in dem Ausdruck (8) gezeigte Bedingung, was die Messung der Wellenfront des reflektierten Lichts von der asphärischen Messgegenstandsfläche ohne Überlappen der reflektierten Strahlen auf dem Sensor **8** ermöglicht.

**[0063]** Die Tabelle 3 zeigt Parameter des optischen Systems gemäß der voranstehend erwähnten Bedingung, und [Fig. 5](#) zeigt eine Konfiguration der entsprechenden Messvorrichtung.

[Tabelle 3]

Linsenoberflächenkrümmungsradius [mm]		Linsenoberflächenabstand [mm]		Brechungsindex	
dem Sensor zugeordnete Oberfläche	–500.000	d1	100.000		
r1	–1122.071	d2	17.000	n1	1.514621
r2	648.604	d3	15.834		
r3	–866.690	d4	23.000	n2	1.514621
r4	–307.148	d5	3.501		
r5	520.681	d6	30.000	n3	1.514621
r6	–468.085	d7	2.000		
r7	429.008	d8	23.000	n4	1.514621
r8	∞	d9	363.838		
r9	∞	d10	100.000	n5	1.515089
r10	∞	d11	2.000		
r11	121.125	d12	15.000	n6	1.829396
r12	291.152	d13	34.611		
r13	–232.929	d14	5.000	n7	1.514621
r14	57.086	d15	45.997		
r15	–46.679	d16	8.000	n8	1.514621
r16	–385.756	d17	27.687		
r17	–314.744	d18	22.000	n9	1.829396
r18	–91.756	d19	8.830		
r19	–7037.486	d20	15.000	n10	1.829396
r20	–271.235	d21	2.000		
r21	301.053	d22	15.000	n11	1.829396
r22	3107.757	d23	108.394		
r23	100.082	d24	15.000	n12	1.829396
r24	143.091	d25	97.308		
Sensoroberfläche	∞				
		d26	276.822		

**[0064]** Fig. 5 zeigt in ihrem unteren Teil ein optisches Beleuchtungssystem **30**, das durch die Lochblende **3** durchgetretenes und durch den Halbspiegel **4** reflektiertes Licht auf die asphärische Messgegenstandsoberfläche **22** einbringt. Das optische Beleuchtungssystem **30** ist aus einer positiven Linsengruppe (mehrere Linsen) bestimmt, die divergentes Licht in konvergentes Licht umwandelt und aus einer negativen Linse, die eine Aberration korrigiert, die durch die positive Linsengruppe erzeugt wird. Die Leistung und die Dicke von jeder der Linsen und die Luftabstände dazwischen sind derart eingestellt, dass der Krümmungsradius der Beleuchtungswellenfront an der asphärischen Messgegenstandsoberfläche **22**  $-350$  mm wird.

**[0065]** Fig. 5 zeigt in ihrem oberen Teil ein optisches Abbildungssystem **33**, das aus dem optischen Abbildungssystem **30** und einem optischen Projektionssystem **31** bestimmt ist, und das durch die asphärische Messgegenstandsoberfläche **22** reflektiertes Licht zu dem Sensor **8** einbringt. Das optische Beleuchtungssystem **33** weist ein Merkmal auf, das die dem Sensor zugeordnete Oberfläche **32** eine kugelförmige Oberfläche ist, deren Krümmungsradius  $-500$  mm beträgt. Deswegen benötigt das Bereitstellen der negativen Petzval-Summe an dem optischen Abbildungssystem **33**, wie voranstehend beschrieben wurde, eine Platzierung einer Linse mit einer starken negativen Leistung.

**[0066]** Von dem optischen Abbildungssystem **33** bestimmen die Linsen zwischen dem Halbspiegel **4** und der asphärischen Messgegenstandsoberfläche **22** ebenfalls das optische Beleuchtungssystem **30**, und dienen ebenfalls als Feldlinse, um die Position  $E_p$  der Ausgangsblende auf  $-600$  mm einzustellen. Somit ist es schwierig, die Linse, die eine derart starke negative Leistung aufweist, zwischen dem Halbspiegel **4** und der asphärischen Messgegenstandsoberfläche **22** in dem optischen Abbildungssystem **33** zu platzieren.

**[0067]** Deswegen weist das optische Abbildungssystem **33** eine Leistungsanordnung auf, die ihre Blende zwischen dem Halbspiegel **4** und dem Sensor **8** platziert. Diese Leistungsanordnung erlaubt eine symmetrische Platzierung von negativen Linsen an beiden Seiten der Blende, was ein Entfernen einer chromatischen Aberration ermöglicht, die durch eine negative Linse erzeugt wird, die eine starke Leistung aufweist. Darüber hinaus ermöglicht das Verwenden eines Glasmaterials, das einen niedrigen Brechungsindex aufweist, für die negative Linse, und die Verwendung eines Glasmaterials, das einen hohen Brechungsindex aufweist, für die positive Linse, eine Verringerung der Leistung der negativen Linse.

**[0068]** Die Verwendung des optischen Systems, das in Fig. 5 und Tabelle 3 gezeigt ist, macht es möglich, die gesamte asphärische Messgegenstandsoberfläche, die die in Tabelle 1 gezeigten asphärischen Koeffizienten aufweist, gleichzeitig zu messen. Wenn darüber hinaus mehrere asphärische Messgegenstandsoberflächen unter Verwendung eines gleichen optischen Systems zu messen sind, kann das optische System unter Verwendung einer Bedingung erzeugt werden, das die Ergebnisse der in der voranstehend beschriebenen Ausführungsform beschriebenen Berechnung für alle asphärischen Messgegenstandsoberflächen erfüllt.

**[0069]** Als nächstes wird eine Beschreibung einer Erzeugung und einer Berechnung des Profils der asphärischen Messgegenstandsoberfläche aus Daten gegeben, die durch die Messung unter Verwendung des Sensors **8** erhalten wurde, wobei Bezug auf Fig. 6 genommen wird.

**[0070]** Diese Ausführungsform, die den Shack-Hartmannsensor als den Sensor **8** verwendet, erhält in dem Schritt S1 Daten einer Winkelverteilung (im Folgenden als „eine Strahlwinkelverteilung“ bezeichnet) von Strahlen, die in den Sensor **8** eindringen. Als nächstes führt diese Ausführungsform in dem Schritt S2 eine Strahlpositionsumwandlung auf der Strahlwinkelverteilung durch und führt darauf in dem Schritt S3 eine Strahlwinkelumwandlung durch; die Strahlwinkelverteilung, die durch den Sensor **8** gemessen wurde, wird dabei in eine Strahlwinkelverteilung auf der dem Sensor zugeordneten Oberfläche **25** umgewandelt.

**[0071]** Die Strahlpositionsumwandlung ist ein Prozess, die Positionskoordinaten auf dem Sensor **8** (Sensoroberfläche) in Positionskoordinaten auf der dem Sensor zugeordneten Oberfläche **25** umzuwandeln. Insbesondere multipliziert die Strahlpositionsumwandlung die Positionskoordinaten auf der Sensoroberfläche durch eine Vergrößerung, die unter Verwendung der Vergrößerung (paraxiale Vergrößerung)  $M$  des optischen Abbildungssystems **7** und Informationen von deren seitlicher Aberration und Distorsion (d. h., unter Berücksichtigung der Aberration des optischen Systems) eingestellt ist, um die Positionskoordinaten auf der dem Sensor zugeordneten Oberfläche **25** zu berechnen. Die Strahlwinkelumwandlung ist ein Prozess zum Umwandeln von Strahlwinkeln (d. h. den Winkeln der Strahlen) auf der Sensoroberfläche in Strahlwinkel auf der dem Sensor zugeordneten Oberfläche **25**. Insbesondere dividiert die Strahlwinkelumwandlung die Strahlwinkel, die durch den Sensor **8** gemessen wurden, durch eine Winkelvergrößerung, die unter Berücksichtigung einer Aberration des optischen Systems eingestellt wird, um die Strahlwinkel auf der dem Sensor zugeordneten Oberfläche **25** zu berechnen.

**[0072]** Dann führt diese Ausführungsform in dem Schritt S4 eine Strahlverfolgungsberechnung von der dem Sensor zugeordneten Oberfläche **25** zu der asphärischen Messgegenstandsoberfläche **22** durch, um eine Strahlwinkelverteilung auf dem Licht (reflektiertes Licht) zu berechnen, das durch die asphärische Messgegenstandsoberfläche **22** reflektiert wird. Zuletzt berechnet diese Ausführungsform in dem Schritt S5 eine Schräge der asphärischen Messgegenstandsoberfläche **22** aus der Strahlwinkelverteilung des reflektierten Lichts auf der asphärischen Messgegenstandsoberfläche **22** und eine Strahlwinkelverteilung des Beleuchtungslichts und integriert die Schräge, um das Profil der asphärischen Messgegenstandsoberfläche **22** zu berechnen.

**[0073]** Diese Ausführungsform misst eine asphärische Bezugsoberfläche (eine der asphärischen Messgegenstandsoberflächen), deren Profil bekannt ist (d. h., deren Profil gemessen wurde), und der asphärischen Messgegenstandsoberfläche, deren Profil nicht bekannt ist, und führt die Berechnung gemäß der in [Fig. 6](#) gezeigten Prozedur aus durch die Messung von diesen zwei asphärischen Oberflächen erhaltenen Daten durch. Dann berechnet diese Ausführungsform einen Unterschied zwischen dem berechneten Oberflächenprofilen der zwei asphärischen Oberflächen, um eine Fehlerkomponente zu entfernen, die aufgrund von verschiedenen Fehlern des optischen Systems erzeugt wurde, die in dem berechneten Profil der asphärischen Messgegenstandsoberfläche enthalten sind, und ermöglicht dabei eine Oberflächenprofilmessung mit hoher Genauigkeit.

**[0074]** Obwohl die voranstehende Ausführungsform eine asphärische Linse als einen zu messenden Gegenstand verwendet hat, können andere Gegenstände als die asphärische Linse als der zu messende Gegenstand verwendet werden. Zum Beispiel kann eine Form zum Formen einer Linse verwendet werden, und eine asphärische Messgegenstandsoberfläche, die eine konkave Oberfläche aufweist, kann verwendet werden, wie voranstehend erwähnt wurde. Wenn die asphärische Messgegenstandsoberfläche eine konkave Oberfläche ist, ist es notwendig, dem optischen Abbildungssystem eine Petzval-Summe eines positiven Vorzeichens bereitzustellen.

**[0075]** Obwohl diese Ausführungsform den Fall beschrieben hat, in dem die Vergrößerung M des optischen Abbildungssystems **4** beträgt, ist es darüber hinaus vorteilhaft, eine niedrigere Vergrößerung des optischen Abbildungssystems zu verwenden, wenn eine asphärische Messgegenstandsoberfläche gemessen wird, die in ihrer radialen Richtung eine größere Krümmungsänderung aufweist.

**[0076]** Wenn darüber hinaus mehrere asphärische Messgegenstandsoberflächen gemessen werden, kann eine Bedingung berechnet werden, die für das optische System notwendig ist, in dem ein Abstand zwischen der dem Sensor zugeordneten Oberfläche und jeder der asphärischen Messgegenstandsoberflächen geändert wird.

[Ausführungsform 2]

**[0077]** [Fig. 7](#) zeigt eine Konfiguration einer Vorrichtung **200** zum Erzeugen eines optischen Elements mit der Vorrichtung **100** zum Messen der asphärischen Oberfläche, wie in der Ausführungsform **1** beschrieben wurde. In [Fig. 7](#) bezeichnet Bezugszeichen **50** ein Material einer Messgegenstandslinse und bezeichnet Bezugszeichen **201** eine Formvorrichtung, die Formprozesse wie z. B. Schneiden und Polieren durchführt, um die Messgegenstandslinse als optisches Element zu formen. Die Messgegenstandslinse weist eine Beliebige der asphärischen Messgegenstandsoberflächen **9** bis **11** auf, die in [Fig. 1](#) gezeigt sind.

**[0078]** Das Oberflächenprofil der Messgegenstandsoberfläche der Messgegenstandslinse, das durch die Formvorrichtung **201** geformt wurde, wird unter Verwendung des Verfahrens zum Messen der asphärischen Oberfläche, das in Ausführungsform **1** beschrieben ist, in der Vorrichtung **100** zum Messen der asphärischen Oberfläche gemessen. Die Messvorrichtung **100** berechnet, um die asphärische Messgegenstandsoberfläche in ein Solloberflächenprofil zu formen, eine Korrekturformgröße für die asphärische Messgegenstandsoberfläche ausgehend von einem Unterschied zwischen Daten des gemessenen Profils der asphärischen Messgegenstandsoberfläche und den Daten des Solloberflächenprofils, und gibt dies zu der Formvorrichtung **201** aus. Somit führt die Formvorrichtung **201** einen Korrekturformprozess unter Verwendung der Korrekturformgröße durch, um die Messgegenstandslinse zu vervollständigen, die die asphärische Messgegenstandsoberfläche aufweist, deren Oberflächenprofil mit dem Solloberflächenprofil zusammenfällt.

**[0079]** Während die vorliegende Erfindung mit Bezug auf beispielhafte Ausführungsformen beschrieben wurde, ist zu verstehen, dass die Erfindung nicht auf die offenbarten beispielhaften Ausführungsformen begrenzt ist. Der Bereich der folgenden Ansprüche ist gemäß der breitesten Interpretation zu berücksichtigen, um alle Modifikationen und äquivalenten Strukturen und Funktionen zu umfassen.

**[0080]** Das Verfahren zum Messen eines Profils einer asphärischen Oberfläche (**9–11, 22**) projiziert ein Beleuchtungslicht (**12, 16**) auf die asphärische Oberfläche und bringt ein reflektiertes Licht (**13–15, 17–19**), das durch die asphärische Oberfläche reflektiert wurde, zu einem Sensor (**8**) durch ein optisches System (**7**) ein. Das Verfahren stellt einer Wellenfront (**23**) des Beleuchtungslichts eine Krümmung bereit, die einen Absolutwert eines Winkels des reflektierten Lichts auf einen kleineren Wert als einen maximalen Wert von Absolutwerten von Winkeln der seitlichen Randstrahlen des optischen Systems bringt, lokalisiert eine Ausgangsblende derart, dass der Absolutwert der reflektierten Lichtwinkel kleiner als der Maximalwert ist, stellt einer dem Sensor zugeordneten Oberfläche (**25**) eine Krümmung und eine Position bereit, die verursachen, dass sich Strahlen des reflektierten Lichts nicht auf der dem Sensor zugeordneten Oberfläche schneiden. Die dem Sensor zugeordnete Oberfläche, die Wellenfront des Beleuchtungslichts und die asphärische Oberfläche weisen eine gleiche aus konvexen und konkaven Oberflächen zu einer gleichen Richtung auf.

**ZITATE ENTHALTEN IN DER BESCHREIBUNG**

*Diese Liste der vom Anmelder aufgeführten Dokumente wurde automatisiert erzeugt und ist ausschließlich zur besseren Information des Lesers aufgenommen. Die Liste ist nicht Bestandteil der deutschen Patent- bzw. Gebrauchsmusteranmeldung. Das DPMA übernimmt keinerlei Haftung für etwaige Fehler oder Auslassungen.*

**Zitierte Patentliteratur**

- JP 09-329427 [[0002](#)]
- JP 2003-050109 [[0003](#), [0006](#)]

### Patentansprüche

1. Verfahren zum Messen einer asphärischen Oberfläche zum Messen eines Profils einer asphärischen Messgegenstandsoberfläche (**9–11, 22**) unter Verwendung einer Abgabe von einem lichtempfangenden Sensor (**8**) durch Projizieren von Licht von einer Lichtquelle (**1**) als ein Beleuchtungslicht (**12, 16**), das eine Kugelwelle ist, auf die asphärische Messgegenstandsoberfläche durch ein optisches Beleuchtungssystem (**5**) und Einbringen eines reflektierten Lichts (**13–15, 17–19**), das das durch die asphärische Messgegenstandsoberfläche reflektierte Licht ist, auf den lichtempfangenden Sensor durch ein optisches Abbildungssystem (**7**), wobei das Verfahren gekennzeichnet ist durch Umfassen von:

Bereitstellen einer Krümmung an einer Wellenfront (**23**) des Beleuchtungslichts, die einen Absolutwert eines Winkels des reflektierten Lichts auf einen kleineren Wert als ein Maximalwert der Absolutwerte von Winkeln von Randstrahlen an einer Seite näher zu der asphärischen Messgegenstandsoberfläche als dem optischen Abbildungssystem bringt;

Lokalisieren einer Ausgangspupille des optischen Abbildungssystems, wenn der lichtempfangende Sensor als Gegenstandsoberfläche an einer Position definiert ist, an der der Absolutwert des Winkels des reflektierten Lichts kleiner als der Maximalwert ist;

Bereitstellen einer Krümmung an einer dem Sensor zugeordneten Oberfläche (**25**), die mit dem durch das optische System bereitgestellten, lichtempfangenden Sensor ein zugeordnetes Verhältnis aufweist, und einer Position, die verursacht, dass Strahlen des reflektierten Lichts einander an der dem Sensor zugeordneten Oberfläche nicht schneiden; und

Einstellen von allen aus der dem Sensor zugeordneten Oberfläche, der Wellenfront des Beleuchtungslichts und der asphärischen Messgegenstandsoberfläche, dass sie eine gleiche aus konvexen und konkaven Oberflächen in einer Richtung der optischen Achse der optischen Beleuchtungs- und Abbildungssysteme zu einer gleichen Seite aufweisen.

2. Verfahren zum Messen einer asphärischen Oberfläche nach Anspruch 1, wobei die asphärische Messgegenstandsoberfläche die konvexe Oberfläche ist, und das optische Abbildungssystem eine Petzval-Summe eines negativen Vorzeichens aufweist.

3. Verfahren zum Messen einer asphärischen Oberfläche nach Anspruch 1, wobei die asphärische Messgegenstandsoberfläche, die konkave Oberfläche ist, und das optische Abbildungssystem eine Petzval-Summe eines positiven Vorzeichens aufweist.

4. Verfahren zum Messen einer asphärischen Oberfläche nach einem der Ansprüche 1 bis 3, wobei das Verfahren außerdem umfasst:

Messen einer Strahlwinkelverteilung des reflektierten Lichts unter Verwendung des lichtempfangenden Sensors;

Umwandeln der Strahlwinkelverteilung, die durch den lichtempfangenden Sensor gemessen wurde, in eine Strahlwinkelverteilung auf der asphärischen Messgegenstandsoberfläche durch eine Strahlpositionsumwandlung, eine Strahlwinkelumwandlung und eine Strahlverfolgungsberechnung; und

Berechnen des Profils der asphärischen Messgegenstandsoberfläche aus der Strahlwinkelverteilung auf der asphärischen Messgegenstandsoberfläche.

5. Vorrichtung zum Messen einer asphärischen Oberfläche, die konfiguriert ist, ein Profil einer asphärischen Messgegenstandsoberfläche (**9–11, 22**) zu messen, wobei die Vorrichtung umfasst:

einen lichtempfangenden Sensor (**8**);

ein optisches Beleuchtungssystem (**5**), das konfiguriert ist, ein Licht von einer Lichtquelle als Beleuchtungslicht (**12, 16**), das eine Kugelwelle ist, auf die asphärische Messgegenstandsoberfläche zu projizieren; und

ein optisches Abbildungssystem (**7**), das konfiguriert ist, ein reflektiertes Licht (**13–15, 17–19**), das das durch die asphärische Messgegenstandsoberfläche reflektierte Licht ist, zu dem lichtempfangenden Sensor einzubringen,

wobei die Vorrichtung konfiguriert ist:

an einer Wellenfront (**23**) des Beleuchtungslichts eine Krümmung bereitzustellen, die einen Absolutwert eines Winkels des reflektierten Lichts auf einen kleineren Wert als einen Maximalwert von Absolutwerten von Winkeln von Randstrahlen an einer Seite näher an der asphärischen Messgegenstandsoberfläche als dem optischen Abbildungssystem zu bringen;

eine Ausgangsblende des optischen Abbildungssystems zu lokalisieren, wenn der lichtempfangende Sensor als eine Gegenstandsoberfläche an einer Position definiert ist, an der der Absolutwert des Winkels der reflektierten Lichts kleiner als der Maximalwert ist; und

Bereitstellen einer Krümmung an einer dem Sensor zugeordneten Oberfläche (**25**), die ein zugeordnetes Verhältnis mit dem lichtempfangenden Sensor aufweist, der durch das optische System bereitgestellt ist, und einer Position, die verursacht, dass Strahlen des reflektierten Lichts einander nicht schneiden, wobei alle aus der dem Sensor zugehörigen Oberfläche, der Wellenfront des Beleuchtungslichts und der asphärischen Messgegenstandsoberfläche eingestellt sind, eine gleiche aus konvexen und konkaven Oberflächen in einer Richtung einer optischen Achse des optischen Beleuchtungs- und Abbildungssystems zu einer gleichen Seite aufzuweisen.

6. Vorrichtung zum Erzeugen eines optischen Elements (**200**), gekennzeichnet durch Umfassen von: einer Formvorrichtung (**201**), die konfiguriert ist, ein optisches Element zu formen; und einer Messvorrichtung (**100**), die konfiguriert ist, ein Profil einer asphärischen Messgegenstandsoberfläche des optischen Elements durch ein Verfahren zum Messen einer asphärischen Oberfläche nach einem der Ansprüche 1 bis 4 zu messen.

7. Optisches Element mit:  
einem Körper des optischen Elements; und  
einer auf dem Körper ausgebildeten asphärischen Oberfläche,  
dadurch gekennzeichnet, dass  
das optische Element unter Verwendung der Vorrichtung zum Erzeugen des optischen Elements nach Anspruch 6 erzeugt ist.

Es folgen 6 Blatt Zeichnungen

Anhängende Zeichnungen

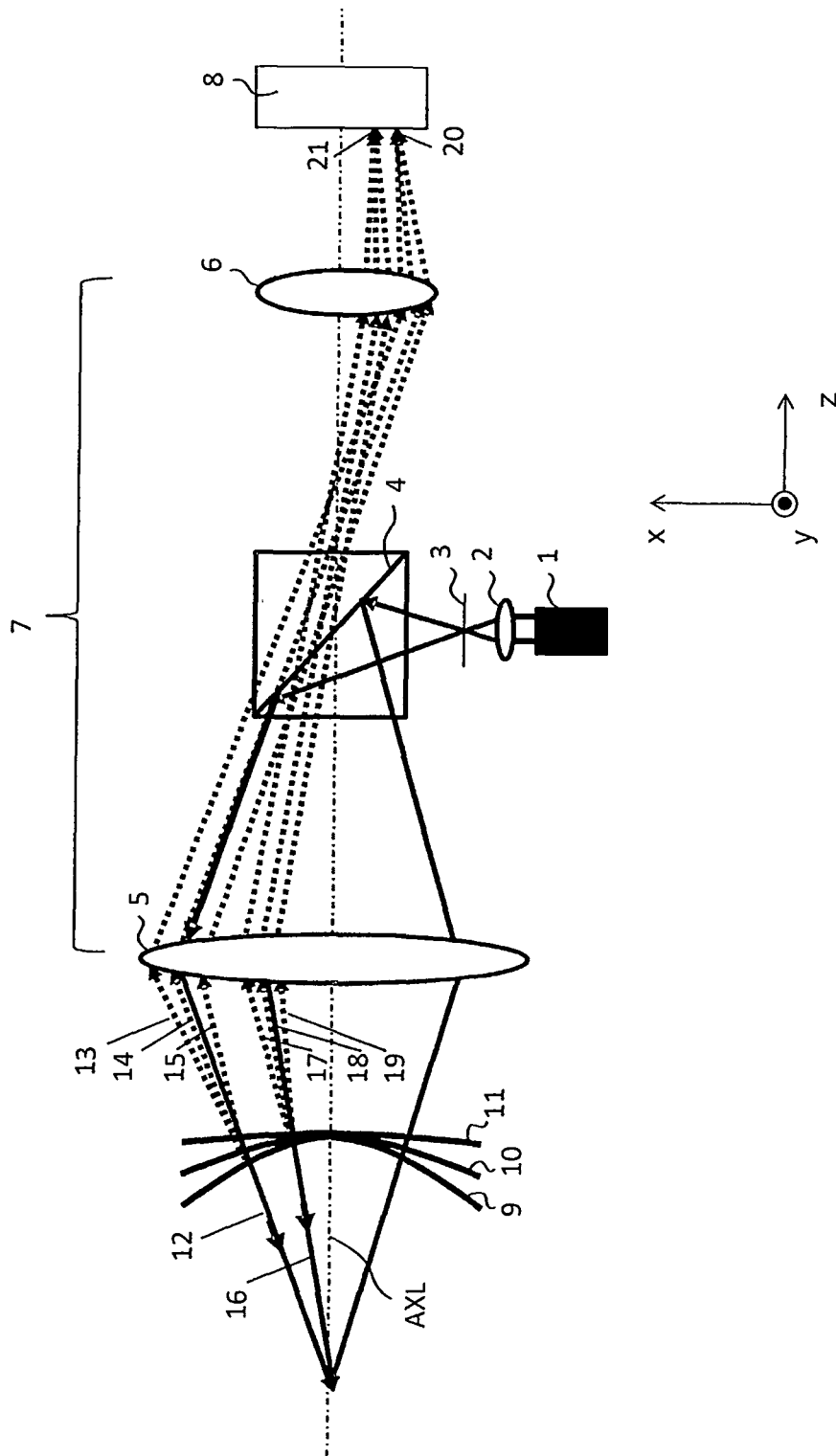


FIG. 1

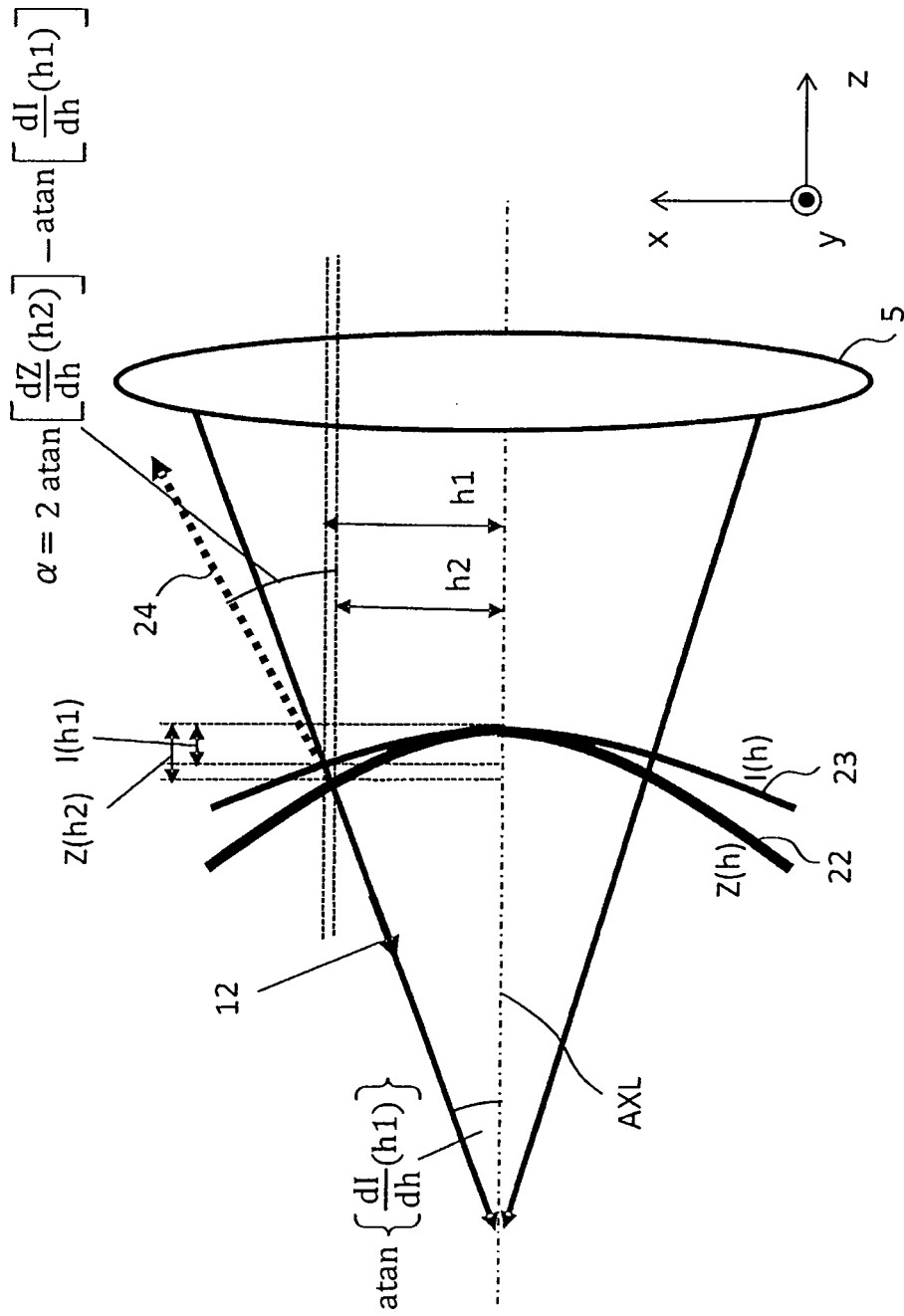


FIG. 2

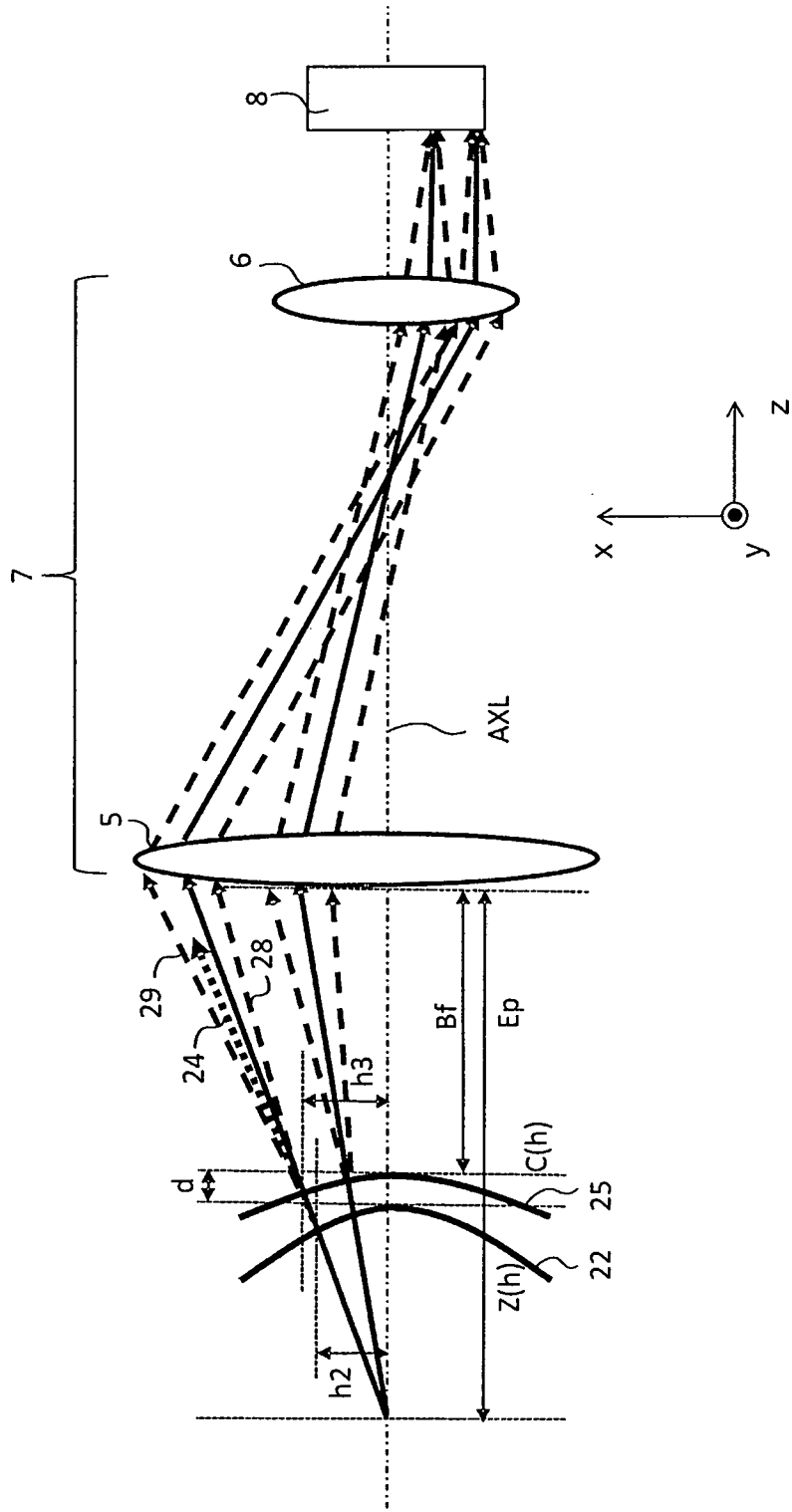


FIG. 3

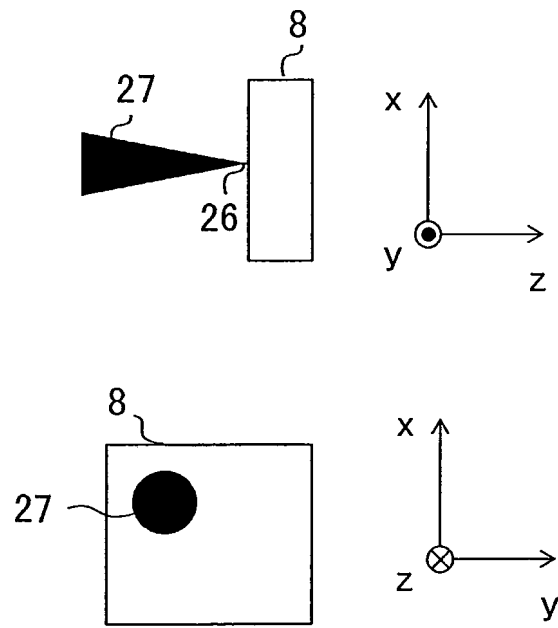


FIG. 4

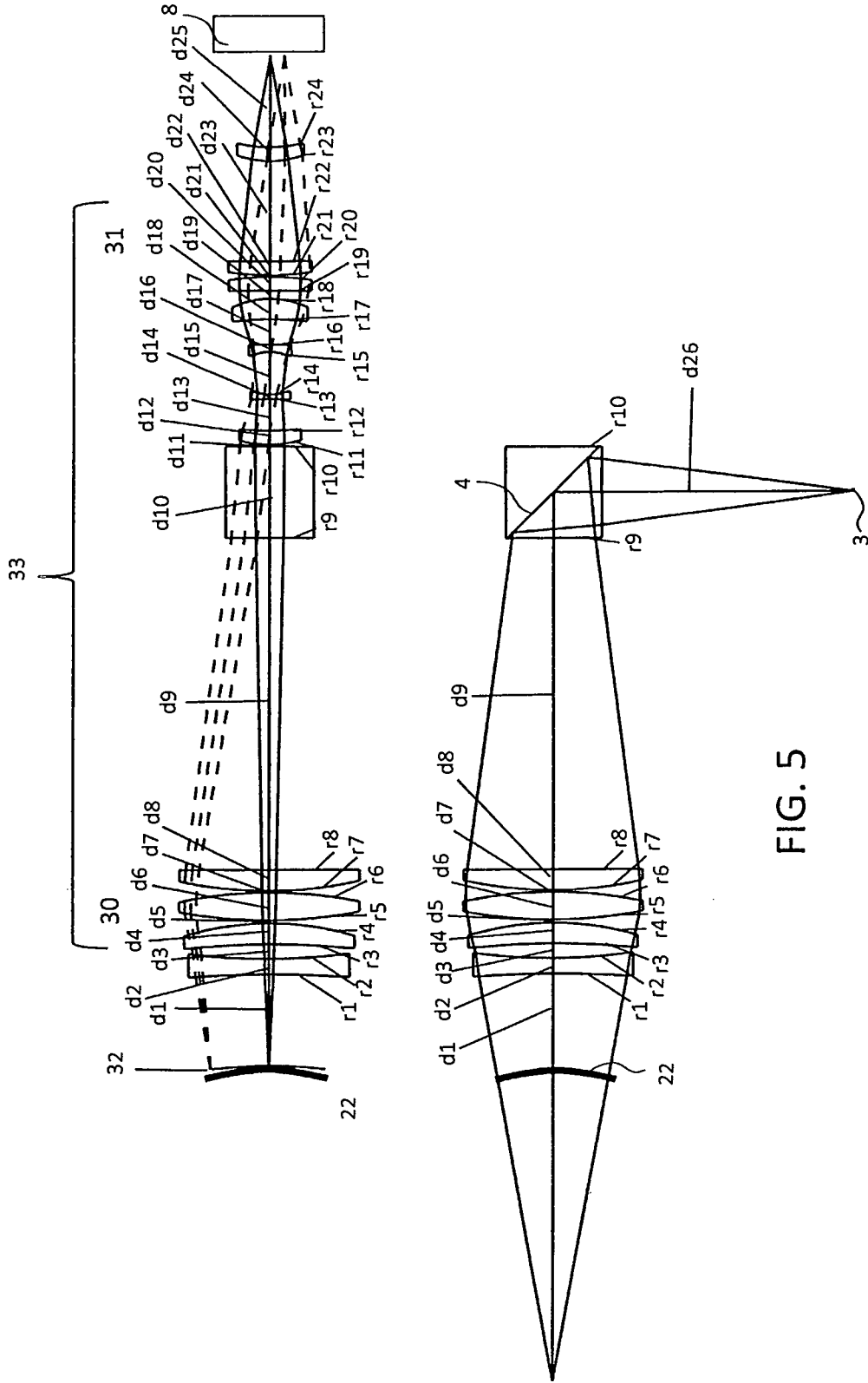


FIG. 5

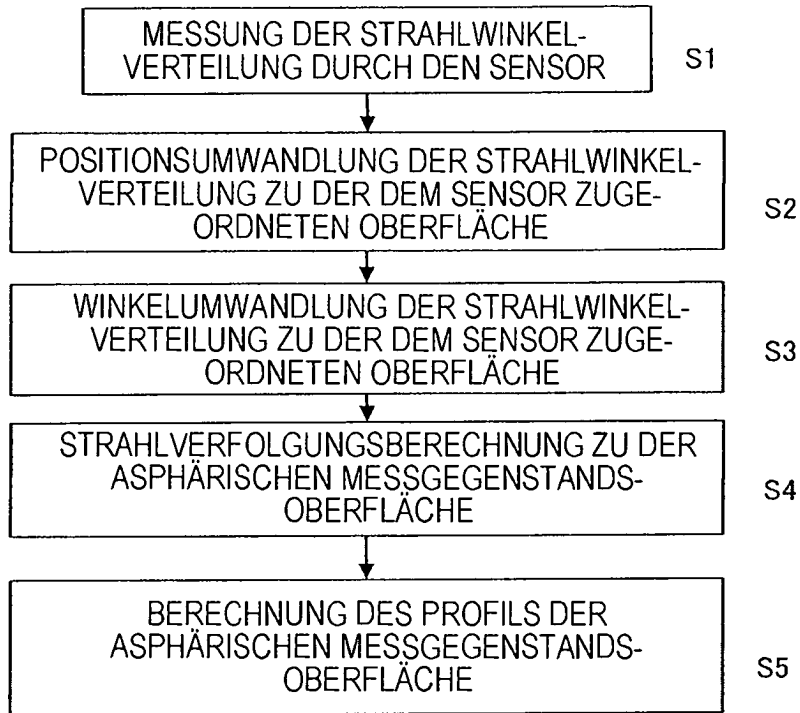


FIG. 6

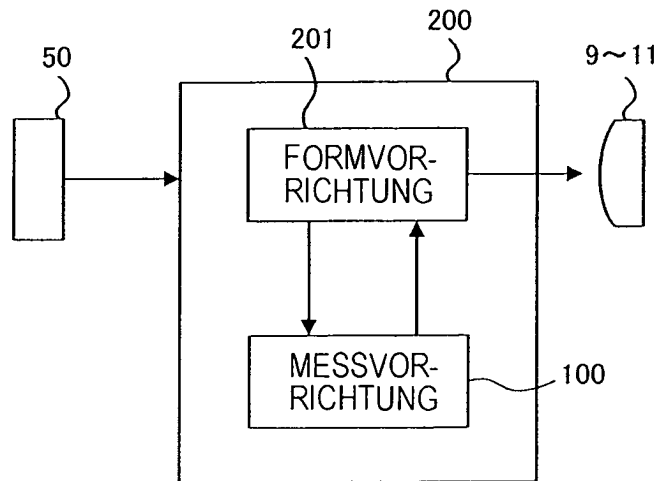


FIG. 7