



(19)
 Bundesrepublik Deutschland
 Deutsches Patent- und Markenamt

(10) **DE 10 2006 052 047 A1** 2008.05.08

(12)

Offenlegungsschrift

(21) Aktenzeichen: **10 2006 052 047.5**

(22) Anmeldetag: **04.11.2006**

(43) Offenlegungstag: **08.05.2008**

(51) Int Cl.⁸: **G01M 11/02 (2006.01)**
G01B 11/27 (2006.01)

(71) Anmelder:
Trioptics GmbH, 22880 Wedel, DE

(74) Vertreter:
Ostertag & Partner, Patentanwälte, 70597 Stuttgart

(72) Erfinder:
Heinisch, Josef, 22880 Wedel, DE; Dumitrescu, Eugen, 22880 Wedel, DE

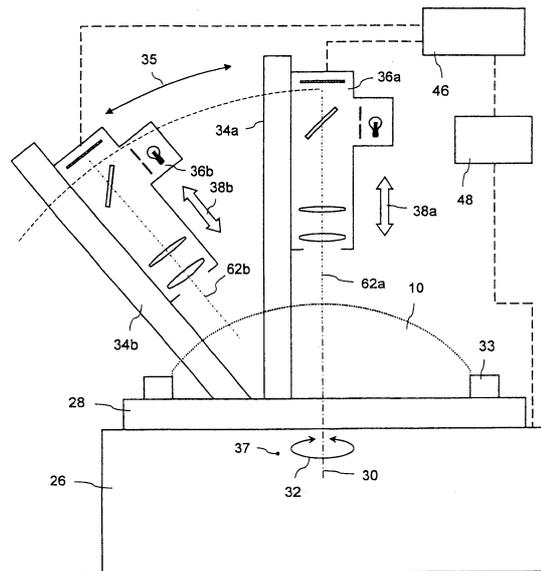
(56) Für die Beurteilung der Patentfähigkeit in Betracht
 gezogene Druckschriften:
US 70 46 351 B2
US 58 44 670 A
JP 03-0 37 544 A
JP 07128188 A (mit computergenerierter Übersetzung);

Die folgenden Angaben sind den vom Anmelder eingereichten Unterlagen entnommen

Prüfungsantrag gemäß § 44 PatG ist gestellt.

(54) Bezeichnung: **Verfahren und Vorrichtung zur Bestimmung der Lage einer Symmetrieachse einer asphärischen Linsenfläche**

(57) Zusammenfassung: Eine Vorrichtung zur Bestimmung der Lage einer Symmetrieachse (20) einer asphärischen Linsenfläche (16) relativ zu einer Bezugsachse (30) weist einen um eine Drehachse (30) drehbaren Drehtisch (28) auf, auf dem eine die asphärische Linsenfläche (16) tragende Linse (10) anordenbar ist. Ein erster Autokollimator (36a) hat eine optische Achse (62a), die coaxial zur Drehachse (30) ausgerichtet ist. Der bildseitige Brennpunkt des ersten Autokollimators (36a) ist in unterschiedlichen Längspositionen entlang der optischen Achse (62a) positionierbar. Ferner ist ein zweiter Autokollimator (36b) vorgesehen, dessen optische Achse (62b) einen von Null verschiedenen Winkel zu der Drehachse (30) einschließt und dessen bildseitiger Brennpunkt ebenfalls in unterschiedlichen Längspositionen entlang seiner optischen Achse (62b) positionierbar ist. Eine Auswerteeinrichtung (45) ermittelt die aus den von den Autokollimatoren (36a, 36b) bei (20) der asphärischen Linsenfläche (16) relativ zu der Drehachse (30).



Beschreibung

[0001] Die Erfindung betrifft ein Verfahren sowie eine Vorrichtung zur Bestimmung der Lage einer Symmetrieachse einer asphärischen Linsenfläche relativ zu einer Bezugsachse.

[0002] Bei der Herstellung und Einfassung von Linsen kann es vorkommen, daß die Symmetrieachse einer asphärischen Linsenfläche nicht mit einer Bezugsachse fluchtet, bei der es sich z.B. um eine Symmetrieachse eines zylindrischen Linsenrandes handeln kann. Die Symmetrieachse der asphärischen Linsenfläche kann dabei gegenüber der Bezugsachse parallel versetzt (d.h. dezentriert) und/oder verkippt sein. Solche Lagefehler der Symmetrieachse der asphärischen Fläche rufen im allgemeinen Abbildungsfehler hervor, die nicht oder nur mit großem Aufwand korrigiert werden können.

[0003] Deswegen besteht häufig die Aufgabe, bei der Qualitätssicherung im Rahmen der Herstellung asphärischer Linsen, aber auch bei deren Einbau in optische Systeme die Lage der Symmetrieachse der asphärischen Fläche relativ zu einer Bezugsachse hochgenau bestimmen zu können.

[0004] Bei einem im Stand der Technik bekannten Verfahren wird mit Hilfe eines Meßtasters die gesamte asphärische Linsenfläche abgetastet, um auf diese Weise ein dreidimensionales Bild der asphärischen Linsenfläche zu erhalten. Aus diesem Bild kann dann die Symmetrieachse der Linsenfläche ermittelt werden. Im Prinzip läßt sich die Symmetrieachse der Linsenfläche sogar durch Vermessung zweier orthogonaler Profile der Linsenfläche bestimmen. Von diesem Verfahren macht beispielsweise ein von der Firma Taylor & Hobson unter dem Namen "Form Tallysurf PGI 1240" vertriebenes Asphärenmeßsystem Gebrauch. Dieses bekannte Meßverfahren ist allerdings relativ zeitaufwendig und auch nicht berührungsfrei durchführbar.

[0005] Aufgabe der Erfindung ist es daher, ein Verfahren und eine Vorrichtung der eingangs genannten Art anzugeben, mit der sich die Lage der Symmetrieachse einer asphärischen Linsenfläche relativ zu einer Bezugsachse schneller und berührungsfrei ermitteln läßt.

[0006] Bezüglich des Verfahrens wird diese Aufgabe durch ein Verfahren mit folgenden Schritten gelöst:

- a) Bestimmen der Lage des Krümmungsmittelpunktes des sphärischen Anteils der Linsenfläche;
- b) Bestimmen der Neigung eines radialen Profils der Linsenfläche in einem Bereich der Linsenfläche, der innerhalb eines Meßfensters liegt;
- c) Verdrehen der Linsenfläche um eine Drehach-

se, so daß ein anderer Bereich der Linsenfläche in das Meßfenster gelangt;

d) Bestimmen der Neigung eines radialen Profils der Linsenfläche in dem anderen Bereich der Linsenfläche;

e) Mindestens zweifaches Wiederholen der Schritte c) und d);

f) Ermitteln der Lage der Symmetrieachse der asphärischen Linsenfläche relativ zu der Drehachse aus in den Schritten a) und d) bestimmten Meßwerten.

[0007] Die Erfinder haben erkannt, daß man die Lage der Symmetrieachse der asphärischen Linsenfläche relativ zu einer Bezugsachse ermitteln kann, wenn man einerseits die Lage des Krümmungsmittelpunktes des sphärischen Anteils der Linsenfläche und andererseits die Neigung eines radialen Profils der Linsenfläche bei verschiedenen Drehwinkeln der Linse mißt. Bei einer dezentrierten und/oder verkippten Symmetrieachse der asphärischen Linsenfläche kommt es nämlich zu einer Art Taumelbewegung der Linsenfläche, während sich die Linse um die Drehachse dreht. Diese Taumelbewegung schlägt sich in einer Veränderung der Neigung eines innerhalb des Meßfensters liegenden radialen Profils der Linsenfläche nieder. Aus der über die Neigungsänderung erfaßten Taumelbewegung läßt sich dann in Kenntnis des Krümmungsmittelpunktes des sphärischen Anteils auf die Lage der Symmetrieachse der asphärischen Linsenfläche schließen.

[0008] Das erfindungsgemäße Verfahren liefert zunächst die Lage der Symmetrieachse relativ zu der Drehachse, um welche die Linse während der Messung gedreht wird. Soll die Lage der Symmetrieachse zu einer anderen Bezugsachse bestimmt werden, deren Lage relativ zu der Drehachse bekannt ist, so läßt sich dies einfach unter Berücksichtigung der gemäß dem Verfahren erhaltenen Lage der Symmetrieachse bezüglich der Drehachse ableiten.

[0009] Im Prinzip genügen bereits einige wenige Wiederholungen der Schritte c) und d), um die Lage der Symmetrieachse der asphärischen Linsenfläche bestimmen zu können. Der gesamte während der Messungen überstrichene Winkelbereich kann dabei auch relativ klein sein und z.B. weniger als 90° betragen. Eine höhere Meßgenauigkeit wird jedoch erzielt, wenn während der wiederholten Durchführung der Schritte c) und d) die Linsenfläche um insgesamt 360° gedreht wird. Dabei wird die Linsenfläche vorzugsweise nach jeder Messung um den gleichen Drehwinkel $360^\circ/M$ verdreht, wobei M die Gesamtzahl der Messungen ist.

[0010] Zur Bestimmung der Lage des Krümmungsmittelpunktes des sphärischen Anteils der Linsenfläche kann ein erster Autokollimator verwendet werden, dessen bildseitiger Brennpunkt in den Krüm-

mungsmittelpunkt des sphärischen Anteils der Linsenfläche gebracht wird. Dadurch wird eine relativ einfache und berührungslose Bestimmung des Krümmungsmittelpunkts möglich.

[0011] Um die Anforderungen an die Justierung der optischen Achse des ersten Autokollimators bezüglich der Drehachse zu verringern, kann der Schritt a) zumindest bei einigen Wiederholungen der Schritte c) und d) ebenfalls wiederholt werden. Auf diese Weise können Meßungenauigkeiten aufgrund eines Versatzes zwischen der optischen Achse des Autokollimators und der Drehachse bestimmt und bei der Auswertung berücksichtigt werden.

[0012] Zur Bestimmung der Neigung gemäß den Schritten b) und d) kann ein zweiter Autokollimator verwendet werden, dessen bildseitiger Brennpunkt in den Krümmungsmittelpunkt des im Meßfenster liegenden Bereichs gebracht wird. Mit Autokollimatoren lassen sich derartige Neigungen hochgenau mit relativ geringem Aufwand messen.

[0013] Eine zur Durchführung des Verfahrens geeignete Vorrichtung, welche die eingangs bezüglich der Vorrichtung genannte Aufgabe löst, weist auf:

- a) einen um eine Drehachse drehbaren Drehtisch, auf dem eine die asphärische Linsenfläche tragende Linse anordenbar ist,
- b) einen ersten Autokollimator, dessen optische Achse coaxial zur Drehachse ausgerichtet ist und dessen bildseitiger Brennpunkt in unterschiedlichen Längspositionen entlang seiner optischen Achse positionierbar ist,
- c) einen zweiten Autokollimator, dessen optische Achse einen von Null verschiedenen Winkel zu der Drehachse einschließt und dessen bildseitiger Brennpunkt in unterschiedlichen Längspositionen entlang seiner optischen Achse positionierbar ist, und
- d) eine Auswerteeinrichtung, die aus den von den Autokollimatoren bei verschiedenen Drehwinkeln des Drehtischs gelieferten Meßsignalen die Lage der Symmetrieachse der asphärischen Linsenfläche relativ zu der Drehachse ermittelt.

[0014] Wenn der Winkel zwischen der optischen Achse des zweiten Autokollimators und der Drehachse veränderbar ist, so kann auf diese Weise der zweite Autokollimator in eine optimale Meßposition überführt werden, in welcher der Autokollimator Veränderung der Neigung der asphärischen Linsenfläche mit maximaler Empfindlichkeit erfäßt.

[0015] Sollen bei Linsen mit zwei asphärischen Flächen die Lage der jeweiligen Symmetrieachse gleichzeitig bestimmt werden, so kann die Vorrichtung zusätzlich einen dritten und einen vierten Autokollimator aufweisen, die wie der erste und der zweite Autokollimator aufgebaut sind, aber auf einer dem ersten

Autokollimator abgewandten Seite des Drehtischs angeordnet sind. In diesem Fall kann der Drehtisch beispielsweise eine Öffnung enthalten, die zur Aufnahme der Linse dient, so daß diese von beiden Seiten her zugänglich ist.

[0016] Weitere Merkmale und Vorteile der Erfindung ergeben sich aus der nachfolgenden Beschreibung eines Ausführungsbeispiels anhand der Zeichnungen. Darin zeigen:

[0017] [Fig. 1](#) einen meridionalen Schnitt durch eine Linse, die in einer Ringfassung aufgenommen ist;

[0018] [Fig. 2](#) ein Ausführungsbeispiel einer erfindungsgemäßen Vorrichtung in einer schematischen Seitenansicht;

[0019] [Fig. 3](#) einen meridionalen Schnitt durch ein kugelförmiges Meßobjekt und einen Autokollimator, der Bestandteil der in der [Fig. 2](#) gezeigten Vorrichtung ist;

[0020] [Fig. 4](#) eine der [Fig. 3](#) entsprechende Darstellung, jedoch mit einem senkrecht zur optischen Achse des Autokollimators versetzten Meßobjekt;

[0021] [Fig. 5](#) die beiden in der [Fig. 2](#) gezeigten Autokollimatoren und eine zu vermessende Linse in einem meridionalen Schnitt, wobei die Asphärenachse der Linse parallel zur optischen Achse eines der Autokollimatoren versetzt ist;

[0022] [Fig. 6a](#) bis [Fig. 6d](#) von den Bildsensoren der Autokollimatoren aufgenommene Bilder bei der in der [Fig. 5](#) gezeigten Konstellation;

[0023] [Fig. 7](#) eine der [Fig. 5](#) entsprechende Darstellung, jedoch mit einer zusätzlichen Verkippung der Asphärenachse gegenüber der optischen Achse eines der Autokollimatoren.

[0024] Die [Fig. 1](#) zeigt in einem meridionalen Schnitt eine Linse **10**, die von einer zylindrischen Ringfassung **12** gehalten ist. Die Linse **10** hat eine Planfläche **14**, eine asphärisch-konvexe Linsenfläche **16** sowie einen umlaufenden zylindrischen Linsenrand **18**, der an einer zylindrischen Innenfläche der Ringfassung **12** anliegt.

[0025] Mit einer strich-doppelpunktigen Linie ist eine Symmetrieachse **20** angedeutet, bezüglich der die asphärische Linsenfläche **16** rotationssymmetrisch ist. Der Einfachheit halber wird die Symmetrieachse im folgenden kurz als Asphärenachse bezeichnet. Auf der Asphärenachse **20** liegt der mit **21** bezeichnete Krümmungsmittelpunkt des sphärischen Anteils der Linsenfläche **16**. Die Lage der Linse **10** in der Ringfassung **12** wird durch den zylindrischen Linsenrand **18** bestimmt, dessen Symmetrieachse in der

Fig. 1 durch eine strichpunktierte Linie **22** angedeutet ist. Nach dem Einfassen der Linse **10** fällt die Symmetrieachse **22** des Linsenrandes **18** mit der Symmetrieachse der Ringfassung **12** zusammen. In optischen Systemen werden Ringfassungen derart hintereinander, z.B. in einem zylindrischen Rohr, angeordnet, daß ihre Symmetrieachsen koaxial verlaufen und die optische Achse des optischen Systems definieren.

[0026] Die Planfläche **14**, die asphärische Linsenfläche **16** und der Linsenrand **18** werden üblicherweise in unterschiedlichen Prozessen gefertigt. Dadurch kann es vorkommen, daß die Asphärenachse **20** der asphärischen Linsenfläche **16** nicht exakt koaxial zu der Symmetrieachse **22** des Linsenrandes **18** – und damit auch nicht exakt koaxial zur optischen Achse eines übergeordneten optischen Systems – verläuft.

[0027] Ist die Asphärenachse **20** zur Symmetrieachse **22** des Linsenrandes **18** parallel versetzt, so spricht man üblicherweise von einer Dezentrierung der Asphärenachse **20**. In der **Fig. 1** ist der Fall der Verkippung dargestellt, bei der die Asphärenachse **20** einen Kippwinkel β mit der Symmetrieachse **22** des Linsenrandes **18** einschließt. In der **Fig. 1** ist der Winkel β aus Gründen der Übersichtlichkeit stark übertrieben dargestellt; bei hochpräzise gefertigten asphärischen Linsen liegen die Kippwinkel β in der Größenordnung von wenigen Bogensekunden. Die Verkippung kann durch eine zusätzliche Dezentrierung überlagert sein, so daß die Asphärenachse **20** nicht mehr die Symmetrieachse **22** des Linsenrandes **18** schneidet.

[0028] Ist die Asphärenachse **20** nicht koaxial zur optischen Achse eines übergeordneten optischen Systems angeordnet, so entstehen Abbildungsfehler, die häufig kaum durch andere Maßnahmen korrigierbar sind. Deswegen ist es häufig erforderlich, daß vor dem Zusammenbau des optischen Systems überprüft wird, ob die Asphärenachse **20** koaxial zu der Symmetrieachse **22** des Linsenrandes **18** verläuft. Anstelle der Symmetrieachse **22** des Linsenrandes **18** kann auch eine andere Bezugsachse gewählt werden, relativ zu der die korrekte Lage der Asphärenachse **20** ermittelt wird. Im Falle der Linse **10** kommt beispielsweise als Bezugsachse auch eine parallel zur Planfläche **14** verlaufende Achse in Betracht.

[0029] Die **Fig. 2** zeigt eine insgesamt mit **24** bezeichnete Meßvorrichtung, mit der sich die Lage der Asphärenachse **20** bezüglich einer Bezugsachse bestimmen läßt. Die Meßvorrichtung **24** weist eine Basis **26** auf, auf der ein Drehtisch **28** um eine Drehachse **30** drehbar angeordnet ist. Die Drehbarkeit ist in der **Fig. 2** durch einen Doppelpfeil **32** angedeutet. Mit Hilfe von lediglich schematisch angedeuteten Befestigungsklemmen **33** kann die hier nur punktiert darge-

stellte Linse **10** auf dem Drehtisch **28** zentriert und befestigt werden.

[0030] An der Basis **26** ist ein erster Ständer **34a** befestigt, an dem ein erster Autokollimator **36a** gehalten ist. Bei dem dargestellten Ausführungsbeispiel ist der erste Autokollimator **36a** entlang seiner optischen Achse an dem ersten Ständer **34a** verfahrbar, wie dies in der **Fig. 2** durch einen Doppelpfeil **38a** angedeutet ist. Ein zweiter Ständer **34b** ist derart an der Basis **26** befestigt, daß er um eine horizontale Achse **37** verschwenkt werden kann, wie dies durch einen Doppelpfeil **35** angedeutet ist. An dem zweiten Ständer **34b** ist ein zweiter Autokollimator **36b** befestigt, der ebenfalls entlang seiner optischen Achse verfahrbar ist, was in der **Fig. 2** durch einen Doppelpfeil **38b** angedeutet ist.

[0031] Der erste Autokollimator **36a** und der zweite Autokollimator **36b** sind über nicht näher bezeichnete Datenleitungen mit einer Auswerteeinrichtung **46** verbunden. Von einer Zentralsteuerung **48**, die den Drehtisch **28** ansteuert, sind der Auswerteeinrichtung **46** Informationen über den momentanen Drehwinkel des Drehtisches **28** zuführbar.

[0032] Im folgenden wird die Funktion der Autokollimatoren **36a**, **36b** mit Bezug auf die **Fig. 3** und **Fig. 4** näher erläutert, Die **Fig. 3** zeigt den ersten Autokollimator **36a** in einer Meßposition über einem hier als kugelförmig angenommenen Meßobjekt **50**. Der erste Autokollimator **36a** enthält eine Lichtquelle **52**, die eine Lochblende **54** ausleuchtet. Das aus der Lochblende **54** austretende Licht wird über einen Strahlteiler **56** auf eine Kollimatorlinse **58** gerichtet und verläßt dieses als paralleles Strahlenbündel. Eine entlang der optischen Achse **62a** verfahrbare Zoomlinse **60** bündelt das parallele Licht in einem Brennpunkt **64**. Im Brennpunkt **64** liegt somit das Bild der Lochblende **54**. Wird anstelle der Lochblende **54** eine Blende mit einer anders geformten Öffnung, z.B. einer Kreuzschlitzöffnung, gewählt, so entsteht in der Brennebene der Zoomlinse **60** ein Bild des Kreuzschlitzes.

[0033] Wird das aus dem ersten Autokollimator **36a** austretende Licht an einer optischen Grenzfläche reflektiert, so durchtritt es die Zoomlinse **60** und die Kollimatorlinse **58** in umgekehrter Richtung. Ein Teil des reflektierten Lichts durchtritt den Strahlteiler **56** und trifft auf einen Bildsensor **66a**, worunter hier ein lichtempfindlicher ortsauflösender Sensor verstanden wird. Geeignet als Bildsensoren sind beispielsweise an sich bekannte CCD-Sensoren oder CMOS-Sensoren.

[0034] Wird der erste Autokollimator **36a** so gegenüber dem kugelförmigen Meßobjekt **50** ausgerichtet, daß der Brennpunkt **64** mit dem Krümmungsmittelpunkt des Meßobjekts zusammenfällt, so treffen die

Lichtstrahlen senkrecht auf die Oberfläche **68** des Meßobjekts **50** auf. Der reflektierte Anteil des Lichts wird somit in sich zurückgeworfen, wodurch in der Ebene des Bildsensors **66a** auf der optischen Achse **62a** ein Bild des Brennpunkts **64** entsteht.

[0035] Wird das Meßobjekt **50** aus der in der [Fig. 3](#) gezeigten Meßposition geringfügig in einer Richtung senkrecht zur optischen Achse **62a** verlagert, wie dies in der [Fig. 4](#) gezeigt ist, so treffen die Lichtstrahlen nicht mehr senkrecht auf die Oberfläche **68** des Meßobjekts **50** auf. Dadurch werden die Lichtstrahlen nicht mehr in sich zurückreflektiert, so daß das Bild des Brennpunkts **64** auf dem Bildsensor **66a** auch nicht mehr auf der optischen Achse **62a**, sondern versetzt hierzu liegt. Je weiter das Meßobjekt **50** senkrecht zur optischen Achse **62a** verlagert wird, desto weiter wandert das Bild des Brennpunkts **64** auf dem Bildsensor **66a** nach außen. Der erste Autokollimator **36a** ermöglicht es somit, den Krümmungsmittelpunkt des Meßobjekts **50** zu messen. Aus den vorstehenden Erläuterungen ergibt sich, daß der Autokollimator **36a** auch als Instrument zur Messung der Neigung einer (teilweise) reflektierenden Oberfläche, hier der Oberfläche **68** des Meßobjektivs **50**, verwendet werden kann.

[0036] Der Autokollimator **36a** kann selbstverständlich in vielfältiger Weise abgewandelt werden. Anstelle eines Strahlteilers **56** kann beispielsweise eine geometrische Aufteilung des Strahlenganges zwischen dem aus dem Autokollimator **36a** austretenden und dem eintretenden Licht erreicht werden, wie dies an sich im Stand der Technik bekannt ist. Falls wie hier der gesamte Autokollimator **36a** entlang seiner optischen Achse **62a** verfahrbar angeordnet ist, so kann die Zoomlinse **60** auch durch eine feststehende Sammellinse ersetzt werden. In diesem Fall kann die Kollimatorlinse **58** und diese Sammellinse auch in einer einzigen Linse mit positiver Brechkraft vereinigt werden.

[0037] Der zweite Autokollimator **36b** entspricht in Aufbau und Funktion dem vorstehend beschriebenen ersten Autokollimator **36a**.

[0038] Im folgenden wird die Funktionsweise der Meßvorrichtung **24** mit Bezug auf die [Fig. 5](#) bis [Fig. 7](#) erläutert.

[0039] Die [Fig. 5](#) zeigt aus Gründen der besseren Übersichtlichkeit lediglich die beiden Autokollimatoren **36a**, **36b** der Meßvorrichtung **24** in ihrer relativen Lage zu der mit durchgezogener Linie dargestellten Linse **10**, die auf dem (in der [Fig. 5](#) nicht dargestellten) Drehtisch **28** befestigt ist. Der Einfachheit halber sei hier zunächst angenommen, daß die Asphärenachse **20** exakt parallel, aber mit einem Versatz **C** zur Drehachse **30** des Drehtischs **28** ausgerichtet ist. Die Drehachse **30** stellt hier eine Bezugsachse dar, deren

Lage mit hoher Genauigkeit bekannt ist.

[0040] Die optische Achse **62a** des ersten Autokollimators **36a** verläuft koaxial zur Drehachse **30** des Drehtischs **28**. Wird nun durch Verfahren des gesamten Autokollimators **36a** entlang der optischen Achse **62a** und/oder durch Verstellen der Zoomlinse **60** des ersten Autokollimators **36a** dessen Brennpunkt **64** in den Krümmungsmittelpunkt des sphärischen Anteils der Linse **10** gelegt, so sind die optischen Verhältnisse an der asphärischen Linsenfläche **16** ähnlich wie bei der in der [Fig. 4](#) gezeigten Meßposition. Durch die Dezentrierung der Asphärenachse **20** relativ zu der Drehachse **30** liegt das Bild des Brennpunkts **64** auf dem Bildsensor **66a** nicht auf der optischen Achse **62a**, sondern versetzt hierzu. In der [Fig. 6a](#) ist dieses Bild auf dem Bildsensor **66a** in der oberen Abbildung durch einen schwarzen, mit der Bezugsziffer **70** bezeichneten Punkt angedeutet. Der Ort des Bildpunktes **70** wird von dem Bildsensor **66a** an die Auswerteeinrichtung **46** übermittelt.

[0041] Es sei nun angenommen, daß die Linse **10** auf dem Drehtisch **28** um 90° gedreht wird, wie dies in der [Fig. 6b](#) in der unteren Abbildung durch einen entsprechend gedrehten Pfeil angedeutet ist. Während der Drehung wandert der Bildpunkt **70** auf der in der oberen Abbildung der [Fig. 6a](#) gestrichelt angedeuteten Linie **72** um die optische Achse **62a** herum, bis er schließlich den in der [Fig. 6b](#) in der oberen Abbildung dargestellten Ort erreicht. Nach einer weiteren Drehung um 90° nimmt die Linse **10** die in der [Fig. 5](#) gepunktet dargestellte und mit **10'** bezeichnete Lage ein, während der Bildpunkt **70** auf dem Sensor **66a** weiter auf dem Kreis **72** an den in der [Fig. 6c](#) in der oberen Abbildung gezeigten Ort wandert. Nach einer weiteren Drehung um 90° nimmt der Bildpunkt **70** den in der [Fig. 6d](#) in der oberen Abbildung gezeigten Ort ein. Eine letzte Drehung um 90° läßt den Bildpunkt **70** wieder an den ursprünglichen, in der [Fig. 6a](#) in der oberen Abbildung gezeigten Ausgangsort zurückkehren.

[0042] Wenn die optische Achse **62a** des ersten Autokollimators **36a** exakt entlang der Drehachse **30** des Drehtischs **28** ausgerichtet ist, so würde im Prinzip die Messung bei einem einzigen Drehwinkel genügen, um aus der Lage des Bildes **70** die Lage des Krümmungsmittelpunktes des sphärischen Anteils relativ zu der Drehachse **30** zu bestimmen. Fluchtet die optische Achse **62a** des ersten Autokollimators **36a** jedoch nicht exakt mit der Drehachse **30** des Drehtischs **28**, so würde bei einer einzigen Messung ein mit dem geringen Versatz einhergehender Meßfehler unentdeckt bleiben.

[0043] Führt man die Messung jedoch wie beschrieben in mehreren unterschiedlichen Drehwinkelpositionen der Linse **10** durch, so läßt sich ein solcher geringfügiger Versatz an den Meßwerten dadurch er-

kennen, daß der Kreis **72** nicht bezüglich der optischen Achse **62a** des ersten Autokollimators **36a** zentriert ist. Zur Bestimmung der Lage des Krümmungsmittelpunktes des sphärischen Anteils der asphärischen Linsenfläche **16** wird deswegen die Lage des Bildpunktes **70** relativ zum Mittelpunkt des Kreises **72** (und nicht relativ zur optischen Achse **62a**) ausgewertet.

[0044] Allein mit dem ersten Autokollimator **36a** ist es jedoch nicht möglich festzustellen, ob die Asphärenachse **20** nicht zusätzlich zur Dezentrierung eine Verkipfung gegenüber der Drehachse **30** aufweist. Um dies erkennen und ggf. den Kippwinkel β bestimmen zu können, wird während der Drehung der Linse **10** auf dem Drehtisch **28** eine Messung mit Hilfe des zweiten Autokollimators **36b** durchgeführt.

[0045] Da die optische Achse **62b** des zweiten Autokollimators **36b** um einen Winkel α geneigt zur optischen Achse **62a** des ersten Autokollimators **36a** angeordnet ist, überstreicht während der Drehung der Linse **10** ein ringflächenförmiger Ausschnitt der asphärischen Linsenfläche **16** das Meßfenster des zweiten Autokollimators **36b**. Die Größe dieses Meßfensters wird dabei durch den Querschnitt des aus dem zweiten Autokollimator **36b** austretenden Lichtbündels bestimmt. Der Brennpunkt **74** des zweiten Autokollimators **36b** wird nun zunächst durch Verfahren des gesamten Autokollimators **36b** entlang der optischen Achse **62b** und/oder durch Verstellen der Zoomlinse **60** des zweiten Autokollimators **36b** so eingestellt, daß er im Krümmungsmittelpunkt des ringflächenförmigen Ausschnitts der asphärischen Linsenfläche **16** liegt. Im allgemeinen liegt dieser Krümmungsmittelpunkt nicht auf der Asphärenachse **20**.

[0046] Der innerhalb des Meßfensters liegende Ausschnitt des ringflächenförmigen Bereichs hat im wesentlichen die Wirkung einer Zylinderlinse, da sich das Oberflächenprofil in azimuthaler Richtung nicht verändert. Daher entsteht in der Brennebene kein punktförmiges, sondern ein strichförmiges Bild der punktförmigen Öffnung der Lochblende **54**. Dementsprechend ist auch das Bild auf dem Bildsensor **66b** des zweiten Autokollimators **36b** strichförmig. In der mittleren Abbildung der [Fig. 6a](#) ist dieses strichförmige Bild mit **76** bezeichnet.

[0047] Wird die Linse **10** um 90° gedreht, so wandert das strichförmige Bild **76** auf einer die optische Achse **62a** schneidenden Linie entlang, die in der mittleren Abbildung der [Fig. 6b](#) mit **78** bezeichnet ist. Daß es hier nicht zu einer kreisförmigen Bewegung des Bildes **76** wie bei dem ersten Autokollimator **36a** kommt, liegt an der bereits erwähnten Tatsache, daß innerhalb des Meßfensters die Linsenfläche **16** im wesentlichen die Wirkung einer Zylinderlinse hat, die während einer Drehung der Linse **10** hin und her

wandert.

[0048] Bei Fortsetzung der Drehung der Linse **10** wandert das strichförmige Bild **76** auf der Linie **78** bis auf die gegenüberliegende Seite und kehrt nach einer Drehung der Linse **10** um insgesamt 360° wieder an seinen Ausgangsort zurück.

[0049] Der in den mittleren Abbildungen der [Fig. 6a](#) bis [Fig. 6d](#) gezeigte Verlauf ergibt sich nur, wenn die Asphärenachse **20** dezentriert, aber nicht verkippt zur Drehachse **30** verläuft, wie dies in der [Fig. 5](#) angenommen ist. Die von dem ersten Autokollimator **36a** gelieferten Meßwerte liefern den Ort des Krümmungsmittelpunktes des sphärischen Anteils der Linsenfläche **16**. Da die Asphärenachse **20** diesen Krümmungsmittelpunkt enthält und die Messung durch den zweiten Autokollimator ergeben hat, daß keine Verkipfung vorliegt, ist die Lage der Asphärenachse **20** bezüglich der Drehachse **30** sofort ableitbar.

[0050] Ist die Asphärenachse **20** jedoch relativ zur Drehachse **30** um einen Winkel β verkippt, wie dies in der [Fig. 7](#) gezeigt ist, so bleibt das von dem Sensor **66a** des ersten Autokollimators **36a** erfaßte Bild weitgehend gleich, während das von dem Sensor **66b** des zweiten Autokollimators **36b** erfaßte Bild während der Drehung des Drehtisches **30** stärker abweicht. Das strichförmige Bild **76** bewegt sich dann zwar nach wie vor auf einer Linie **78** über den Sensor **66b**, jedoch gibt es Abweichungen bezüglich der Amplitude und der Phase dieser "Schwingung" des strichförmigen Bildes **76** auf der Linie **78**.

[0051] Im folgenden wird erläutert, wie man aus dieser "Schwingung" und dem mit Hilfe des ersten Autokollimators **36a** ermittelten Krümmungsmittelpunkt des sphärischen Anteiles die Lage einer relativ zu der Drehachse **30** verkippten Asphärenachse **20** bestimmen kann.

[0052] Analytische Berechnungen ergeben für die von dem Sensor **66b** erfaßte Auslenkung S_i des strichförmigen Bildes **76** folgende Gleichung:

$$S_i = C \cdot \cos(\alpha) \cdot \cos(A_i + \Delta) + B \cdot \cos(\alpha) \cdot \cos(A_i + \delta) \quad (1)$$

[0053] Dabei bezeichnet

- A_i den Drehwinkel des Drehtisches **30** bei der i -ten Messung,
- C den vom ersten Autokollimator **36a** gemessenen radialen Abstand zwischen dem Krümmungsmittelpunkt des sphärischen Anteils von der Drehachse **30**,
- Δ den vom ersten Autokollimator **36a** gemessenen Polarwinkel des Krümmungsmittelpunktes des sphärischen Anteils bezüglich der Drehachse **30**,
- δ den Azimutwinkel zwischen der Asphärenachse **20** und der Drehachse **30**,
- B der auf die Neigung der Asphärenachse **20** zurückgehende Anteil der Auslenkung des Brennpunktes **74**, und
- α den Winkel des zweiten Autokollimators **36b** bezüglich der Drehachse **30**. Der Winkel α wird durch Verstellen des zweiten Ständers **34b** vorgegeben und sollte so gewählt sein, daß die Auslenkung des strichförmigen Bildes **76** auf dem Sensor **66b** möglichst groß ist, ohne daß jedoch das Sensorfeld verlassen wird.

[0054] Die Größen A_i und α können unmittelbar an der Meßvorrichtung abgelesen werden. Die Größe S_i liefert der zweite Autokollimator **36b**, die Größen Δ und C werden aus den von dem ersten Autokollimator **36a** erhaltenen Meßwerten in der oben geschilderten Weise abgeleitet. Stellt man die Gleichung (1) so um, daß alle ermittelbaren Größen auf einer Seite stehen, so erhält man die Gleichung (2):

$$B \cdot \cos(A_i + \delta) = (S_i - C \cdot \cos(\alpha) \cdot \cos(A_i + \Delta)) / \cos(\alpha) \quad (2)$$

[0055] Trägt man die rechte Seite der Gleichung (2) für alle Messungen $i = 1, 2, 3, \dots$ auf und verbindet die Werte durch eine Fit-Kurve, so ergibt sich eine Sinusfunktion, aus der sich die unbekanntenen Werte B und δ ableiten lassen.

[0056] Aus den Werten für B und δ läßt sich der Kippwinkel β bestimmen. Für die Projektionen β_x , β_y des Kippwinkels β in der X-Z-Ebene bzw. Y-Z-Ebene ergibt sich:

$$\beta_x = \arctan(B \cdot \cos(\delta) / D)$$

$$\beta_y = \arctan(B \cdot \sin(\delta) / D) \quad (3)$$

[0057] In kartesischen Koordinaten ergibt sich als Ort des Krümmungsmittelpunktes des sphärischen Anteils

$$C_x = C \cdot \cos(\Delta)$$

$$C_y = C \cdot \sin(\Delta) \quad (4)$$

[0058] Damit ist die Lage der Asphärenachse **20**

vollständig bestimmt.

[0059] Soll die Lage der Asphärenachse **20** nicht relativ zu der Drehachse **30**, sondern z.B. relativ zu der Symmetrieachse **22** des Linsenrandes **18** bestimmt werden, so muß noch die Lage der Symmetrieachse **22** des Linsenrandes **18** relativ zu der Drehachse **30** bestimmt werden. Hierfür genügt es, den Linsenrand **18** mit Hilfe eines Meßtasters relativ zu dem Drehtisch **28** (bzw. dessen Drehachse **30**) zu vermessen.

[0060] Das vorstehend beschriebene Verfahren und auch die dafür verwendete Meßvorrichtung **24** lassen sich in vielfältiger Weise abwandeln:

Verschwenkt man nach Durchführung der vorstehend beschriebenen Messung den zweiten Ständer **34b** relativ zu der Basis **26** um die horizontale Drehachse, wie dies in der [Fig. 2](#) durch den Doppelpfeil **35** angedeutet ist, so wird der Winkel α zwischen der optischen Achse des zweiten Autokollimators **36b** und der Drehachse **30** verändert. Führt man bei diesem anderen Winkel α eine weitere Messung in der vorstehend beschriebenen Weise durch, so läßt sich ein zweiter Meßwert für die Lage der Asphärenachse gewinnen. Dies führt zu einer Verringerung meßstatistischer Fehlergrenzen, die um so kleiner werden, je mehr Meßvorgänge bei verschiedenen Winkeln α durchgeführt werden. Insbesondere bei sehr schwach gekrümmten asphärischen Linsen kann die Wiederholung der Messung bei verschiedenen Winkeln α notwendig sein, um eine ausreichend hohe Meßgenauigkeit erzielen zu können.

[0061] Erhöht man den Aufwand für eine exakte Ausrichtung der optischen Achse **62a** des ersten Autokollimators **36a** zur Drehachse **30**, so genügt bei gleicher Meßgenauigkeit die Messung bei einem einzigen Drehwinkel A , um gemäß der Gleichung (2) die Lage des Krümmungsmittelpunktes des sphärischen Anteils zu ermitteln.

[0062] Bei einer anderen Abwandlung wird auf den ersten Ständer **34a** mit dem ersten Autokollimator **36a** verzichtet. Die Rolle des ersten Autokollimators **36a** übernimmt dann der zweite Autokollimator **36b**, nachdem dieser in die vertikale Position verschwenkt wurde. Diese kostengünstigere Variante erfordert allerdings die doppelte Meßzeit, da die beiden Messungen nicht gleichzeitig, sondern hintereinander durchgeführt werden müssen. Ferner wird zusätzliche Zeit für das Verschwenken und Nachjustieren des zweiten Ständers **34b** benötigt.

[0063] Bei Linsen mit zwei asphärischen Linsenflächen können diese gleichzeitig vermessen werden, wenn zwei weitere Autokollimatoren unterhalb der zu vermessenden Linse angeordnet werden. Die beiden weiteren Autokollimatoren werden dabei in der gleichen Weise wie die Autokollimatoren **36a**, **36b**, jedoch an der Ebene des Drehtisches gespiegelt ange-

ordnet. Dies erfordert selbstverständlich eine andere Auslegung der Basis **26** sowie des Drehtischs **28**.

Patentansprüche

1. Verfahren zur Bestimmung der Lage einer Symmetrieachse (**20**) einer asphärischen Linsenfläche (**16**) relativ zu einer Bezugsachse (**30**, **22**), gekennzeichnet durch folgende Schritte:

- a) Bestimmen der Lage des Krümmungsmittelpunktes (**21**) des sphärischen Anteils der Linsenfläche (**16**);
- b) Bestimmen der Neigung eines radialen Profils der Linsenfläche (**16**) in einem Bereich der Linsenfläche (**16**), der innerhalb eines Meßfensters liegt;
- c) Verdrehen der Linsenfläche (**16**) um eine Drehachse (**30**), so daß ein anderer Bereich der Linsenfläche (**16**) in das Meßfenster gelangt;
- d) Bestimmen der Neigung eines radialen Profils der Linsenfläche (**16**) in dem anderen Bereich der Linsenfläche;
- e) Mindestens zweifaches Wiederholen der Schritte c) und d);
- f) Ermitteln der Lage der Symmetrieachse (**20**) der asphärischen Linsenfläche (**16**) relativ zu der Drehachse (**30**) aus den in den Schritten a) und d) bestimmten Meßwerten.

2. Verfahren nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, daß die Bezugsachse die Drehachse (**30**) ist.

3. Verfahren nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, daß die Lage der Bezugsachse (**22**) relativ zu der Drehachse (**30**) bekannt ist, und daß die Lage der Symmetrieachse (**20**) relativ zu der Bezugsachse (**22**) aus der Lage der Symmetrieachse (**22**) relativ zu der Drehachse (**30**) einerseits und der Lage der Bezugsachse (**22**) relativ zu der Drehachse (**30**) andererseits bestimmt wird.

4. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, daß während der wiederholten Durchführung der Schritte c) und d) die Linsenfläche (**16**) um insgesamt 360° gedreht wird.

5. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, daß zur Bestimmung der Lage des Krümmungsmittelpunktes (**21**) in Schritt a) ein erster Autokollimator (**36a**) verwendet wird, dessen bildseitiger Brennpunkt (**64**) in den Krümmungsmittelpunkt (**21**) des sphärischen Anteils der Linsenfläche (**16**) gebracht wird.

6. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, daß zumindest bei einigen Wiederholungen der Schritte c) und d) der Schritt a) ebenfalls wiederholt wird.

7. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, daß zur Bestimmung der Neigung gemäß den Schritten b) und d) ein zweiter Autokollimator (**36b**) verwendet wird, dessen bildseitiger Brennpunkt (**64**) in den Krümmungsmittelpunkt (**21**) des im Meßfenster liegenden Bereichs gebracht wird.

8. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 6, dadurch gekennzeichnet, daß die Bestimmung der Lage des Krümmungsmittelpunktes (**21**) in Schritt a) und die Bestimmung der Neigung gemäß den Schritten b) und d) mit einem Autokollimator (**36a**) durchgeführt wird, der zwischen den Schritten a) einerseits und b) bis e) andererseits um eine horizontale Achse (**37**) verschwenkt wird.

9. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, daß die Schritte b) bis e) wiederholt werden für weitere Bereiche, die auf einer Linie parallel zu den zunächst vermessenen Bereichen liegen.

10. Verfahren nach Anspruch 7 und nach Anspruch 9, dadurch gekennzeichnet, daß vor der Wiederholung der Schritte b) bis e) für die weiteren Bereiche der zweite Autokollimator (**36b**) um eine horizontale Achse (**37**) verschwenkt wird.

11. Verfahren nach Anspruch 8 und nach Anspruch 9, dadurch gekennzeichnet, daß vor der Wiederholung der Schritte b) bis e) für die weiteren Bereiche der eine Autokollimator (**36a**) um eine horizontale Achse (**37**) verschwenkt wird.

12. Vorrichtung zur Bestimmung der Lage einer Symmetrieachse einer asphärischen Linsenfläche (**16**) relativ zu einer Bezugsachse (**22**, **30**), gekennzeichnet durch:

- a) einen um eine Drehachse (**30**) drehbaren Drehtisch (**28**), auf dem eine die asphärische Linsenfläche (**16**) tragende Linse (**10**) anordenbar ist,
- b) einen ersten Autokollimator (**36a**), dessen optische Achse (**62a**) coaxial zur Drehachse (**30**) ausgerichtet ist und dessen bildseitiger Brennpunkt (**64**) in unterschiedlichen Längspositionen entlang seiner optischen Achse (**62a**) positionierbar ist,
- c) einen zweiten Autokollimator (**36b**), dessen optische Achse (**62b**) einen von Null verschiedenen Winkel zu der Drehachse (**30**) einschließt und dessen bildseitiger Brennpunkt (**74**) in unterschiedlichen Längspositionen entlang seiner optischen Achse (**62b**) positionierbar ist, und
- d) eine Auswerteeinrichtung (**46**), die aus den von den Autokollimatoren (**36a**, **36b**) bei verschiedenen Drehwinkeln des Drehtischs (**28**) gelieferten Meßsignalen die Lage der Symmetrieachse (**20**) der asphärischen Linsenfläche (**16**) relativ zu der Drehachse (**30**) ermittelt.

13. Vorrichtung nach Anspruch 12, dadurch gekennzeichnet, daß der erste und der zweite Autokollimator (**36a**, **36b**) jeweils ein leuchtendes Urbild erzeugen, das über eine Optik (**58**, **60**) in eine Brennebene abbildbar ist, wobei in die Optik von einem Meßobjekt (**10**, **50**) zurückreflektiertes Licht zumindest teilweise auf einen lichtempfindlichen ortsauflösenden Sensor (**66a**, **66b**) gerichtet wird.

14. Vorrichtung nach Anspruch 12 oder 13, dadurch gekennzeichnet, daß der Winkel zwischen der optischen Achse (**62b**) des zweiten Autokollimators (**36b**) und der Drehachse (**30**) veränderbar ist.

15. Vorrichtung nach Anspruch 14, dadurch gekennzeichnet, daß der zweite Autokollimator (**36b**) um eine horizontale Achse (**37**) versenkbar ist.

16. Vorrichtung nach einem der Ansprüche 12 bis 14, gekennzeichnet durch:

a) einen dritten Autokollimator, dessen optische Achse koaxial zur Bezugsachse ausgerichtet ist und dessen bildseitiger Brennpunkt in unterschiedlichen Längspositionen entlang seiner optischen Achse positionierbar ist, wobei der dritte Autokollimator auf einer dem ersten Autokollimator abgewandten Seite des Drehtischs angeordnet ist;

b) einen vierten Autokollimator, dessen optische Achse einen von Null verschiedenen Winkel zu der Bezugsachse einschließt und dessen bildseitiger Brennpunkt in unterschiedlichen Längspositionen entlang seiner optischen Achse positionierbar ist, wobei der vierte Autokollimator auf einer dem ersten Autokollimator abgewandten Seite des Drehtischs angeordnet ist.

Es folgen 7 Blatt Zeichnungen

Anhängende Zeichnungen

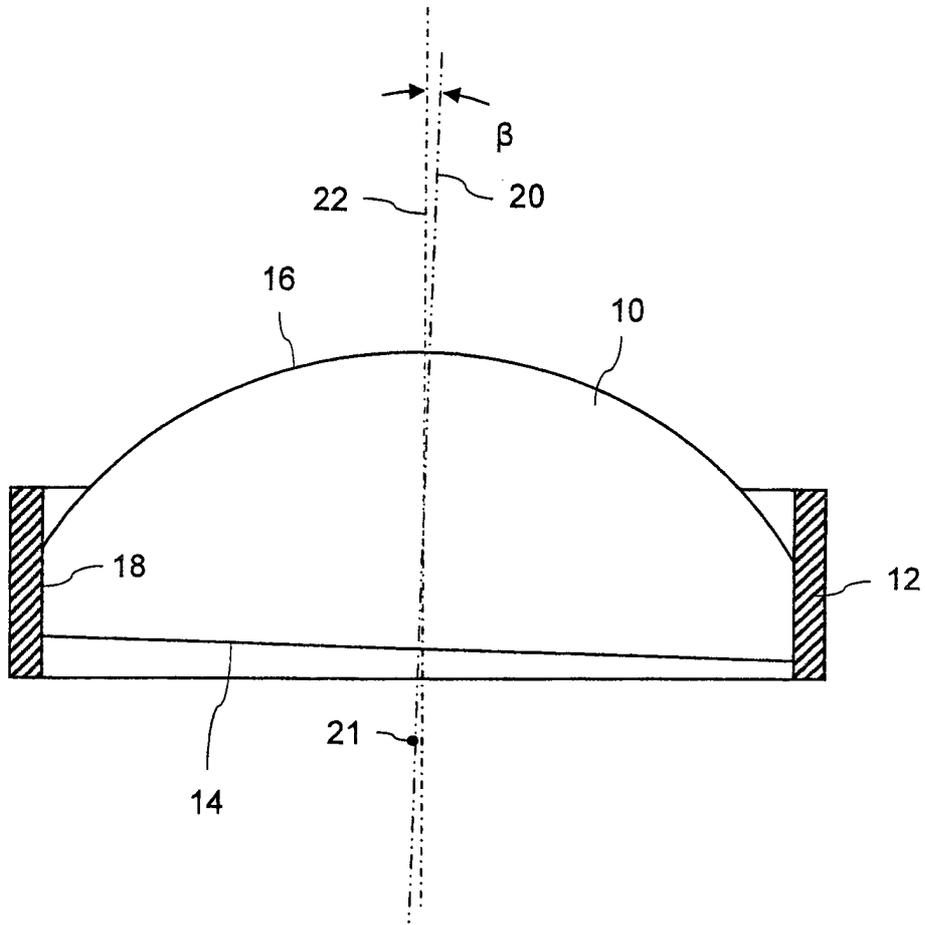
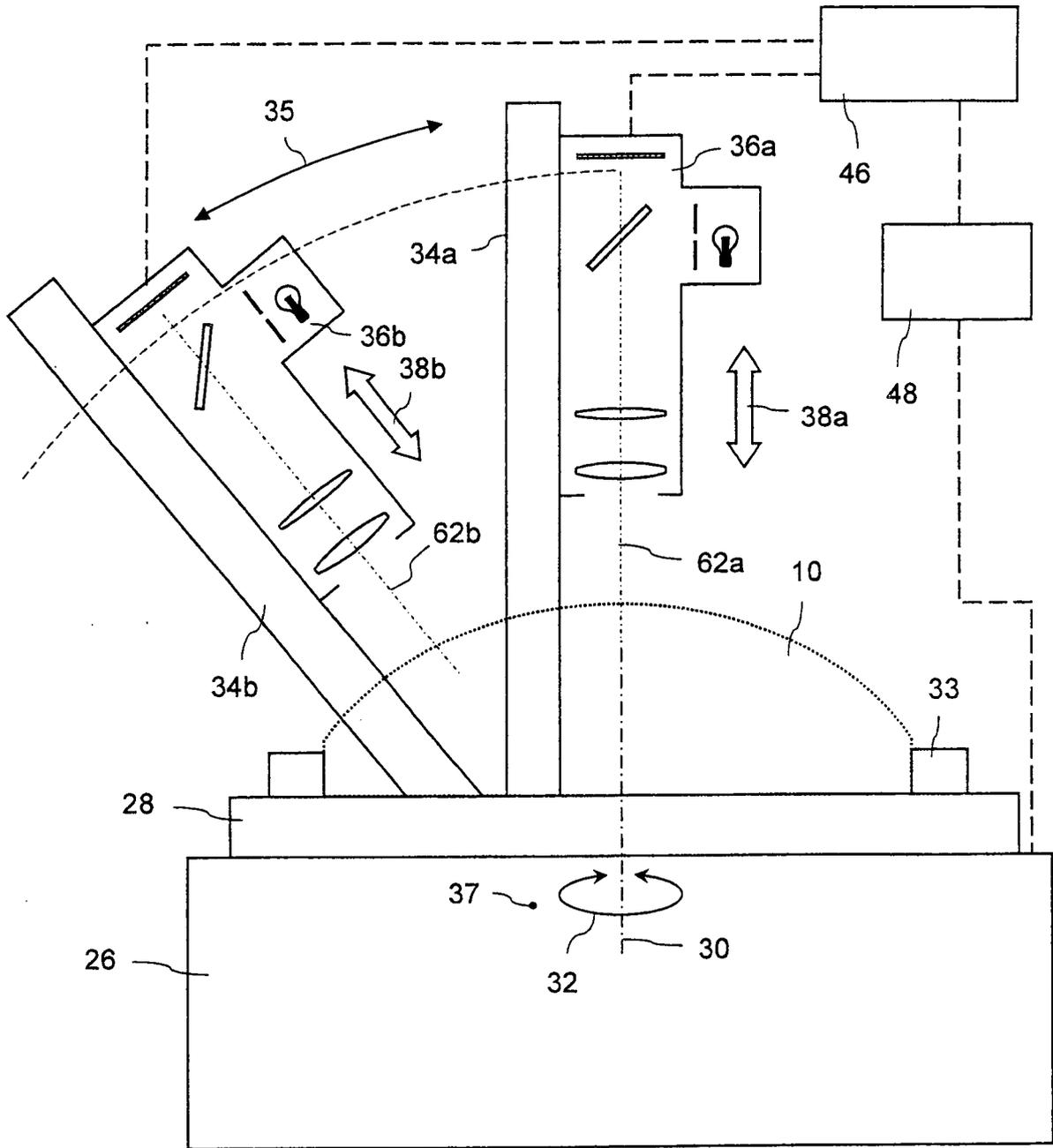


Fig. 1



24

Fig. 2

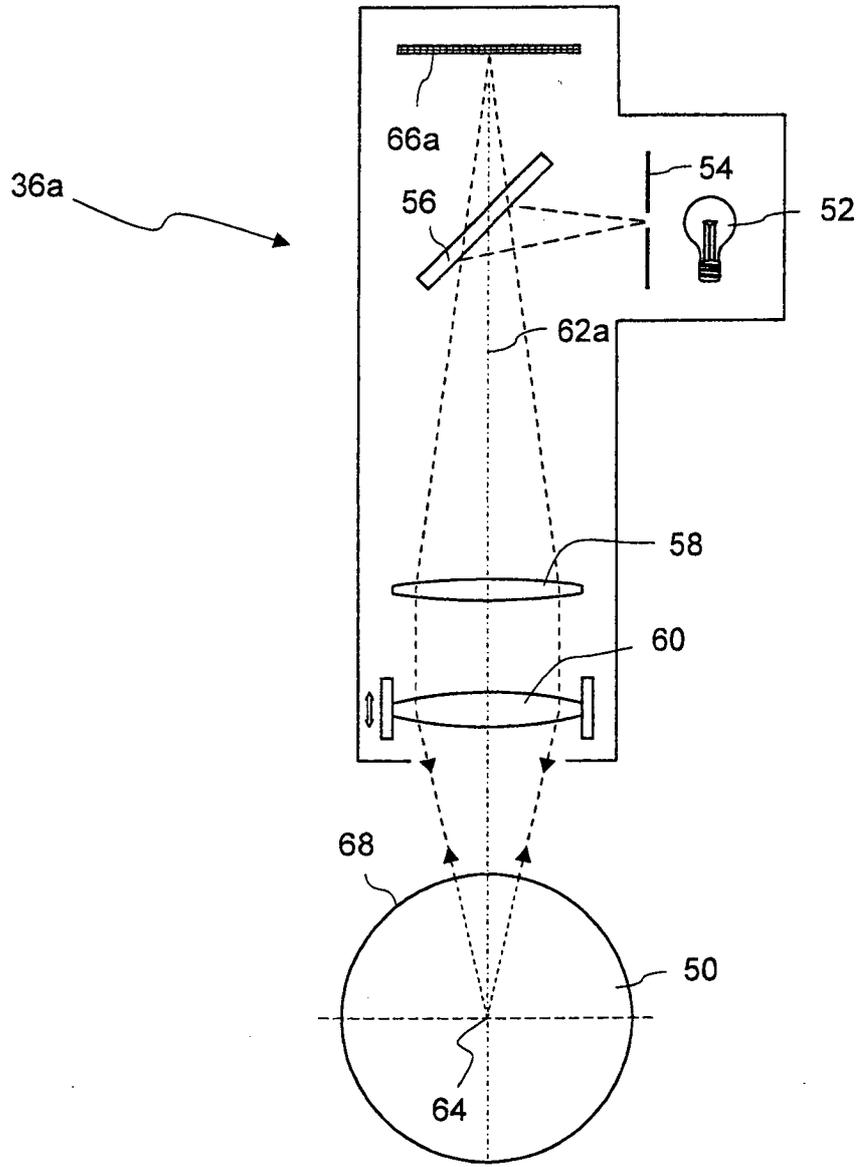


Fig. 3

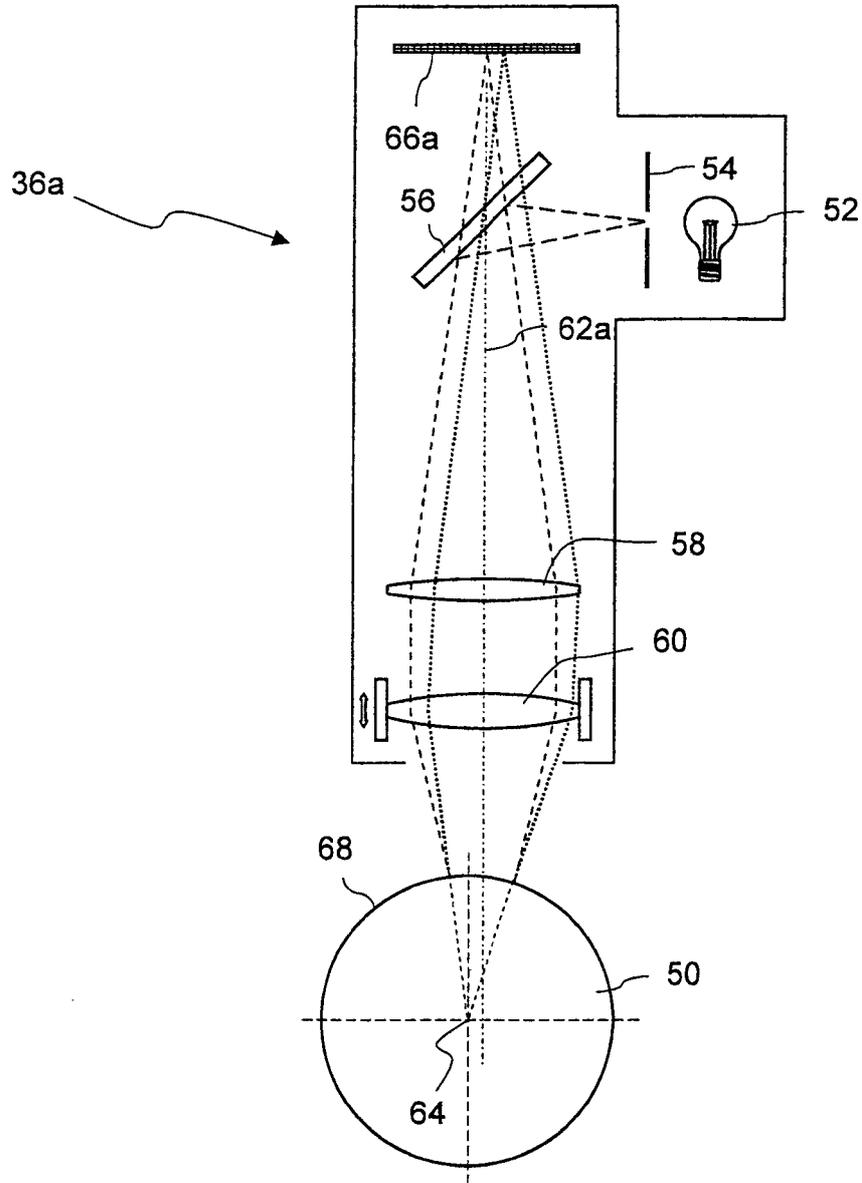


Fig. 4

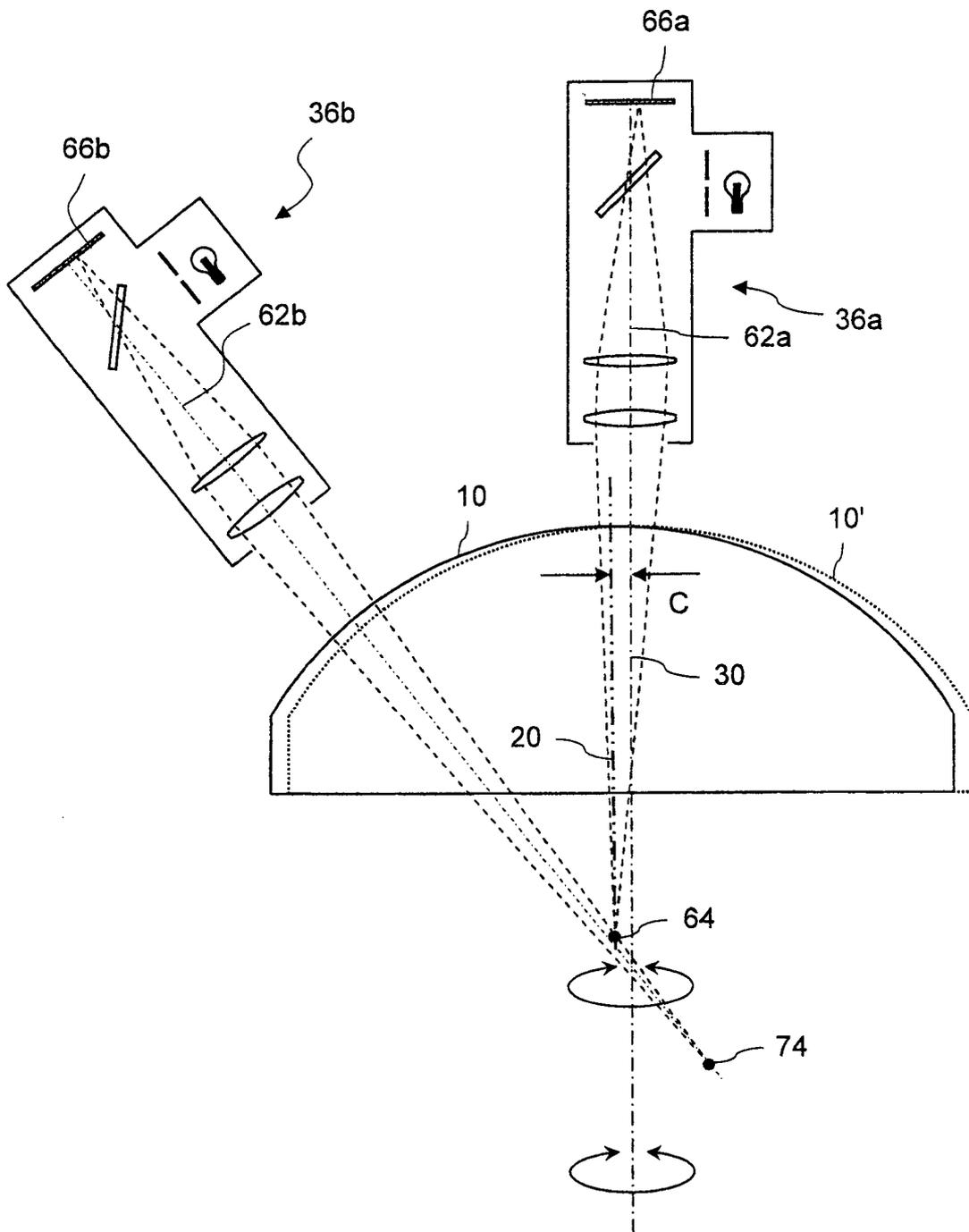


Fig. 5

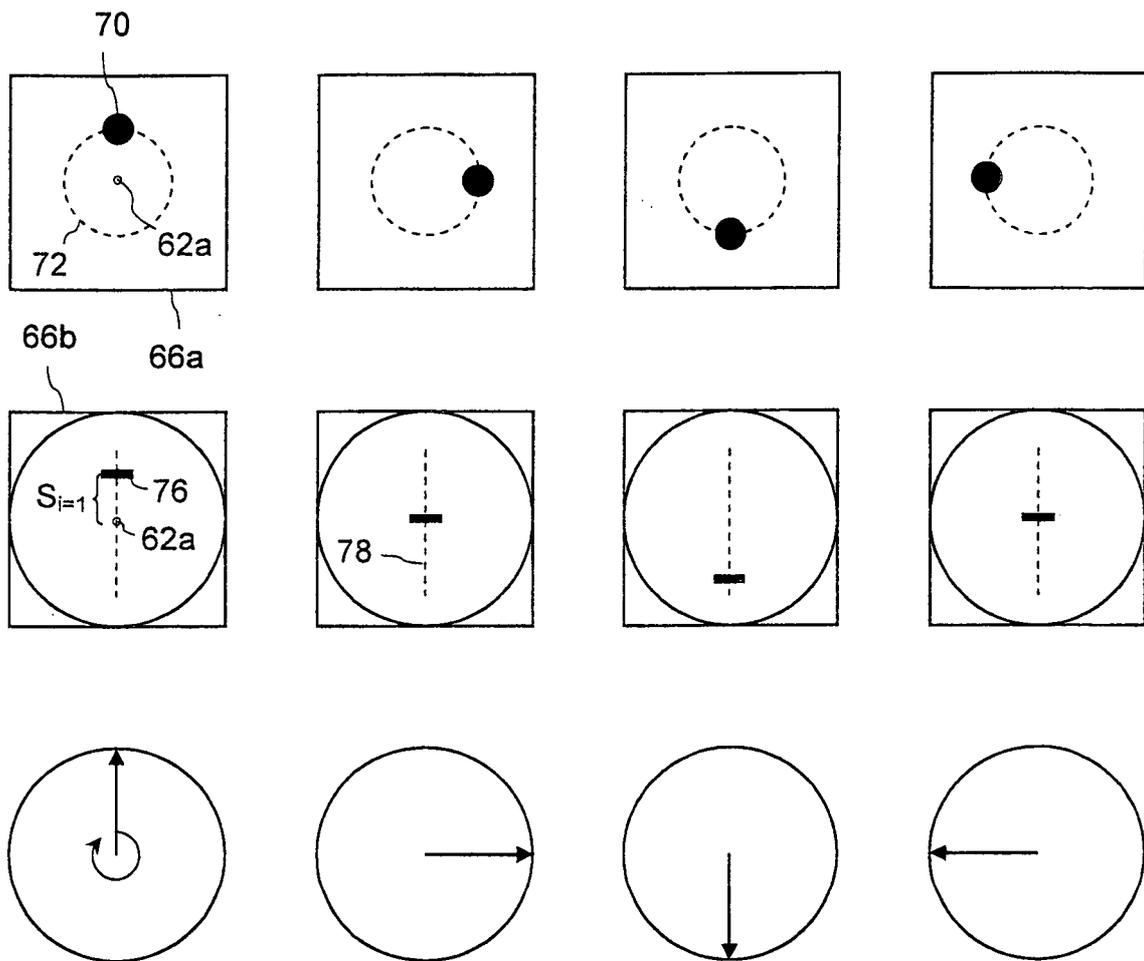


Fig. 6a

Fig. 6b

Fig. 6c

Fig. 6d

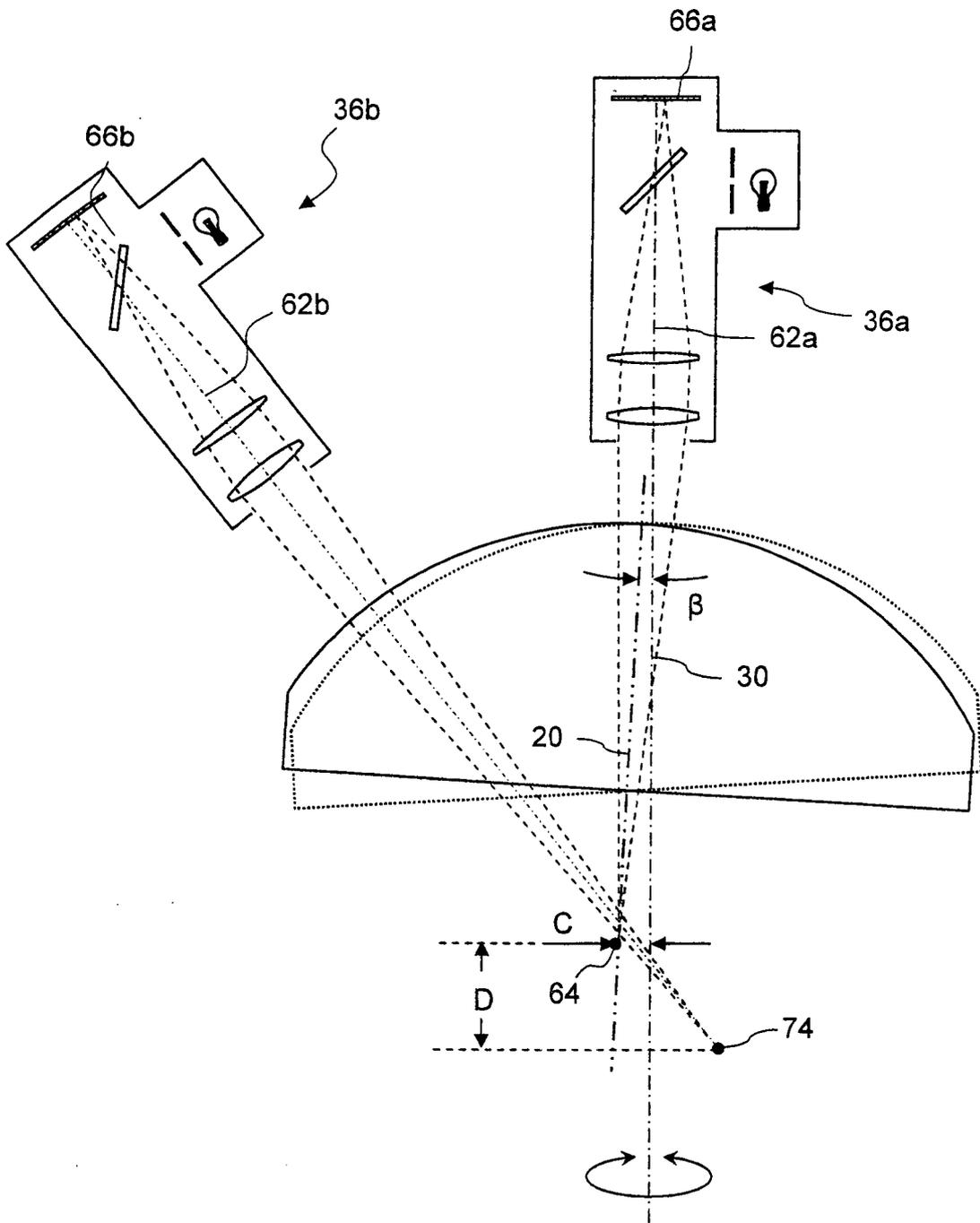


Fig. 7