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

(19) Weltorganisation für geistiges Eigentum
Internationales Büro

(43) Internationales Veröffentlichungsdatum
26. August 2010 (26.08.2010)

PCT

(10) Internationale Veröffentlichungsnummer
WO 2010/094498 A1

(51) Internationale Patentklassifikation:
G01B 11/24 (2006.01) *G01M 11/02* (2006.01)
B24B 17/04 (2006.01)

(21) Internationales Aktenzeichen: PCT/EP2010/001060

(22) Internationales Anmeldedatum:
19. Februar 2010 (19.02.2010)

(25) Einreichungssprache: Deutsch

(26) Veröffentlichungssprache: Deutsch

(30) Angaben zur Priorität:
10 2009 010 019.9
21. Februar 2009 (21.02.2009) DE

(71) Anmelder *(für alle Bestimmungsstaaten mit Ausnahme von US)*: **JOS. SCHNEIDER OPTISCHE WERKE GMBH** [DE/DE]; Ringstrasse 132, 55543 Bad Kreuznach (DE).

(72) Erfinder; und
(75) Erfinder/Anmelder *(nur für US)*: **TSCHUDI, Theo** [DE/DE]; Viktoriastrasse 50A, 64293 Darmstadt (DE). **BRAUNECKER, Bernhard** [CH/CH]; Haldenweg 10, CH-9445 Rebstein (CH).

(74) Anwalt: **KÖLLNER, Malte**; Vogelweidstrasse 8, 60596 Frankfurt am Main (DE).

(81) Bestimmungsstaaten *(soweit nicht anders angegeben, für jede verfügbare nationale Schutzrechtsart)*: AE, AG, AL, AM, AO, AT, AU, AZ, BA, BB, BG, BH, BR, BW, BY, BZ, CA, CH, CL, CN, CO, CR, CU, CZ, DE, DK, DM, DO, DZ, EC, EE, EG, ES, FI, GB, GD, GE, GH, GM, GT, HN, HR, HU, ID, IL, IN, IS, JP, KE, KG, KM, KN, KP, KR, KZ, LA, LC, LK, LR, LS, LT, LU, LY, MA, MD, ME, MG, MK, MN, MW, MX, MY, MZ, NA, NG, NI, NO, NZ, OM, PE, PG, PH, PL, PT, RO, RS, RU, SC, SD, SE, SG, SK, SL, SM, ST, SV, SY, TH, TJ, TM, TN, TR, TT, TZ, UA, UG, US, UZ, VC, VN, ZA, ZM, ZW.

(84) Bestimmungsstaaten *(soweit nicht anders angegeben, für jede verfügbare regionale Schutzrechtsart)*: ARIPO (BW, GH, GM, KE, LS, MW, MZ, NA, SD, SL, SZ, TZ, UG, ZM, ZW), eurasisches (AM, AZ, BY, KG, KZ, MD, RU, TJ, TM), europäisches (AT, BE, BG, CH, CY, CZ, DE, DK, EE, ES, FI, FR, GB, GR, HR, HU, IE, IS, IT, LT, LU, LV, MC, MK, MT, NL, NO, PL, PT, RO, SE, SI, SK, SM, TR), OAPI (BF, BJ, CF, CG, CI, CM, GA, GN, GQ, GW, ML, MR, NE, SN, TD, TG).

Erklärungen gemäß Regel 4.17:

[Fortsetzung auf der nächsten Seite]

(54) **Title**: METHOD FOR ZERO-CONTACT MEASUREMENT OF TOPOGRAPHY

(54) **Bezeichnung** : VERFAHREN ZUM BERÜHRUNGSLOSEN MESSEN DER TOPOGRAFIE

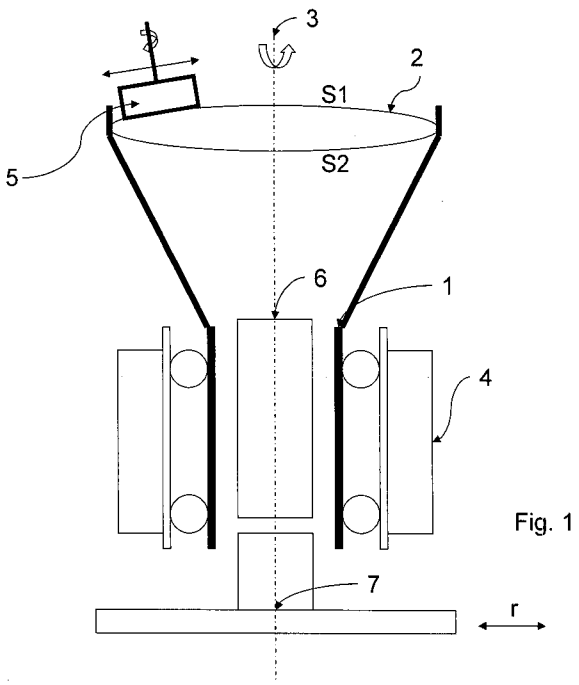


Fig. 1

(57) **Abstract**: The invention relates to the zero-contact measurement of topography of a spherical or aspherical curved surface of a lens, characterized in that the surface (S1) to be measured is scanned through by an optical measurement beam bundle on the rear glass side thereof through the air-glass surface (S2) that lies in front in the measurement direction. A device for carrying out the method according to the invention is characterized in that a) the optical lens (2) is fastened on the face side of a rotatably mounted hollow shaft (1) such that the optical axis of the lens or the lens system at least approximately aligns to the rotation axis (3) of the hollow shaft (1), b) a focusing optic (6) for an optical measurement beam bundle (10) is arranged in the hollow shaft (1) and c) the measurement unit (7) for creating the measurement beam bundle (10) is arranged vertically to the rotation axis (3) of the hollow shaft (1) in a movable manner.

(57) **Zusammenfassung**: Ein Verfahren zum berührungslosen Messen der Topographie einer sphärisch oder asphärisch gekrümmten Oberfläche einer Linse, zeichnet sich dadurch

[Fortsetzung auf der nächsten Seite]

WO 2010/094498 A1

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

— *Erfindererklärung (Regel 4.17 Ziffer iv)*

Veröffentlicht:

— *mit internationalem Recherchenbericht (Artikel 21 Absatz 3)*

aus, daß die zu vermessende Oberfläche (S1) an ihrer Glasrückseite durch die in Meßrichtung davor liegende Luft-Glas-Oberfläche (S2) hindurch mit einem optischen Meßstrahlenbündel abgetastet wird. Eine Vorrichtung zur Durchführung des Verfahrens ist dadurch gekennzeichnet, daß a) die optische Linse (2) auf der Stirnseite einer drehbar gelagerten Hohlwelle (1) derart befestigt sind, daß die optische Achse der Linse oder des Linsensystems zumindest annähernd mit der Drehachse (3) der Hohlwelle (1) fluchtet, b) in der Hohlwelle (1) eine Fokussieroptik (6) für ein optisches Meßstrahlenbündel (10) angeordnet ist und c) die Meßeinheit (7) zur Erzeugung des Meßstrahlenbündels (10) senkrecht zur Drehachse (3) der Hohlwelle (1) verschiebbar angeordnet ist.

Verfahren zum berührungslosen Messen der Topographie

Die Erfindung betrifft ein Verfahren zum berührungslosen Messen der Topographie einer sphärisch oder asphärisch gekrümmten Luft-Glas-Oberflächen einer optischen Linse oder Linsenkombination und eine dazu geeignete Vorrichtung.

Optische Präzisionssysteme verwenden neben sphärischen Linsen vermehrt auch Elemente mit asphärischen Oberflächen. Während Kugelflächen charakterisiert sind durch einen konstanten Wert des Krümmungsradius über die gesamte optisch wirksame Oberfläche, weicht bei Asphären der lokale Krümmungsvektor sowohl in der Richtung, als auch in der Größe vom Vergleichsvektor einer Sphäre ab. Wie diese Abweichung variiert, hängt von der Anwendung der Asphäre ab: Beim Einsatz in rotationssymmetrischen Abbildungsobjektiven ist meist eine radiale Abhängigkeit der Oberflächenfunktion relativ zur optischen Achse genügend, während z.B. Scanningsysteme oft „Freiformflächen" erfordern, bei denen die Krümmungsvektoren in Größe und Richtung an jedem Oberflächenpunkt sich voneinander unterscheiden.

Bislang waren Asphären für Hochqualitätssysteme ca. 10x teurer als Sphären vergleichbarer Größe und Oberflächengenauigkeit, so daß ihr Einsatz nur in Ausnahmefällen in Frage kam. Der Kostenunterschied ist erklärbar, da im Gegensatz zu Asphären sphärische Oberflächen mit großflächigen Werkzeugen poliert werden können, wobei unkontrollierte Tangentialbewegungen der Werkzeugführung weitgehend irrelevant, oft sogar erwünscht, für den Polierprozeß sind. Deshalb kann man auch mit relativ einfacher Maschinenkinematik noch gute Genauigkeiten der Oberflächenform und -passen erreichen. Zudem ist

BESTÄTIGUNGSKOPIE

der Werkzeugverschleiß wegen der großflächigen Applizierung gering.

Das ist völlig anders bei Asphären, wo wegen der erwähnten Ortsabhängigkeit des Krümmungsvektors nicht nur kleinflächig geführte Polierbewegungen erforderlich sind, sondern auch sehr präzise Meßmethoden, um die nötige Genauigkeit der Maschinenführung zu gewährleisten. Zudem verschleißen die Werkzeuge in weit höherem Masse durch die lokalen Korrekturbewegungen als bei der Sphärenherstellung. All diese kostentreibenden Faktoren verhinderten bislang den breiten Einsatz von Asphären in Optiksystemen kleinerer bis mittlerer Stückzahl, da die erzielbaren optischen Vorteile nicht die hohen Aufwandskosten rechtfertigten.

Das änderte sich erst, als in Massenkonsumprodukten wie Handykameras die Vorzüge von Asphären, die über Präge- oder Replikaverfahren sehr kostengünstig gefertigt werden können, zu offensichtlich wurden. Dies stimulierte dann auch die europäisch geprägten Produktionsmethoden für Hochleistungsoptiken. Man ist sich in Fachkreisen mittlerweile weitgehend einig, daß sich der Einsatz von Asphären wirtschaftlich rechtfertigen läßt, wenn der erwähnte Kostenfaktor von gegenwärtig 10 auf ca. 3 reduziert werden kann. Um dies zu erreichen, sind die gängigen Fertigungsmethoden auf ihre kostentreibenden Schwachstellen zu hinterfragen und Verbesserungsansätze zu finden.

Umfragen unter führenden Asphärenherstellern ergaben, dass neben der reproduzierbar, präzisen Maschinenkinematik und deren computergesteuerte Kontrolle vor allem dem Messprozess der aktuellen Oberflächenform und Oberflächenpasse entscheidende Bedeutung zukommt. Es besteht kein Zweifel, dass der Messvorgang simultan auf das vom Polierwerkzeug bearbeitete Oberflächenstück zugreifen muss, um die aktuelle Flächenverformung und den Polierzustand zu erfassen, und um da-

mit den eigentlichen Polierprozess zu steuern. Das bedeutet jedoch eine vollständige Integration des Mess- in den Bearbeitungsablauf (In-line Metrology). Würde er zu einem späteren Zeitpunkt oder nicht genau am momentanen Bearbeitungsort erfolgen, würden wichtige lokale Bearbeitungsparameter wie z.B. Temperaturschwankungen ebenso wie lokale mechanische Verformungen oder Spannungen im Glaskörper nicht erfasst werden. Gerade die Kenntnis dieser meist a-priori nicht erfaßbaren Parameter entscheidet, ob der angestrebte Polierzustand mit Toleranzen im nm Bereich eingehalten werden kann.

Diesen Forderungen stehen jedoch zwei Probleme gegenüber: zum einen kann die Messanordnung nicht auf die momentan bearbeitete Oberflächenstelle zugreifen, da diese durch das Polierwerkzeug bedeckt ist. Zum anderen ist eine präzise Formerfassung generell kritisch, da die Stelle durch das Poliermedium, eine trübe Suspension mineralischer Teilchen, kontaminiert ist. In der Praxis muss man daher den Zwischenschritt einer Oberflächenreinigung einführen. Das nimmt unnötig Zeit, lässt die Probe unkontrolliert abkühlen und ist generell nur einschränkend erfolgreich, da eine adäquate Reinigung bei Präzisionen im nm Bereich ein Entfernen der Linse aus dem Bearbeitungszentrum erfordern würde. Dann verlöre man aber das Referenzkoordinatensystem für den Polierprozess, dessen Wiederherstellung nach erfolgter Reinigung erfahrungsgemäss sehr kostenaufwendig ist. Zudem kann die mechanisch-chemische Reinigung durch Ätzvorgänge die Oberfläche unkontrolliert verändern. Das gleiche gilt für das prinzipiell stets aggressive Reinigen mit Ultraschall.

Für die berührungslose Bestimmung der Topographie eines sphärisch oder asphärisch gekrümmten optischen Elementes besteht insbesondere bei der Herstellung von hochpräzisen Linsen ein großer Bedarf. Für bereits bestehende und zukünftige Optiksysteme werden immer höhere Anforderungen an deren Prä-

zision gestellt. Es wird erforderlich, die Topographie der Oberflächen mit Subnanometergenauigkeit zu bestimmen.

Dazu werden beispielsweise die folgenden Meßverfahren eingesetzt:

a) Flächenhafte interferometrische Prüfverfahren: Diese sind zur Qualitätsbeurteilung optischer Bauteile prädestiniert. Die Prüfung von asphärischen optischen Flächen oder Systemen erfordert jedoch fast immer spezielle Nullkompensatoren. Für diese Aufgabe werden häufig computergenerierte Hologramme (CGHs) eingesetzt. Sie zeichnen sich dadurch aus, daß mit einer einzigen diffraktiv wirkenden Funktionsfläche eine einfallende Wellenfront nahezu beliebig manipuliert werden kann. Für die Herstellung und Prüfung insbesondere von Kleinserien von Linsen sind diese Methoden jedoch nicht besonders geeignet, da zur Zeit die Herstellung von CGH's noch teuer ist und die CGH's für jeden Linsentyp neu berechnet werden muß. Zudem ist es extrem aufwendig, die Meßgenauigkeit in den Subnanometerbereich zu legen.

b) In EP 0 395 831 A1 ist die Vermessung von gekrümmtem Oberflächen, insbesondere der Hornhaut eines menschlichen Auges, beschreiben. Das Meßprinzip beruht auf der Erzeugung eines vorgegebenen Musters mit Hilfe von mehreren Lichtquellen, deren Lichtstrahlen an der zu untersuchenden Oberfläche reflektiert werden. Unregelmäßige Krümmungen der Oberfläche führen zu Verzerrungen des vorgegebenen Musters. Das durch die mehreren Lichtquellen erzeugte Muster begrenzt die Auswertegenauigkeit dieses Verfahrens.

c) In EP 0 561 178 A2 wird ein Verfahren beschrieben, bei dem die Bestimmung der lokalen Krümmung der Oberfläche am Meßpunkt durch die Detektion der Position des von dem Meßpunkt reflektierten Strahls vorgenommen wird (Triangulation). Hier wird also nur das 1. Moment, die Neigung der erfaßten Fläche gemessen. Auch dieses Verfahren erlaubt beispielsweise

nicht die Vermessung einer Oberfläche mit einer Genauigkeit im Nanometer- oder sogar Subnanometerbereich.

d) Die Erfindung in DE 198 54 942 C2 betrifft ein Verfahren zum berührungslosen optischen Messen der Topographie von makroskopisch glatten Oberflächen von sphärisch oder asphärisch gekrümmten Probekörpern, bei dem die zu messende Oberfläche mit einer gegenüber der Ausdehnung der Oberfläche sehr kleinen Apertur abgetastet wird und für jeden Meßpunkt durch den Meßstrahl eine lokale Krümmung der Oberfläche am Meßpunkt bestimmt wird. Dabei muß der Meßstrahl im Wesentlichen senkrecht zur Oberfläche ausgerichtet sein, so daß am Meßpunkt jeweils ein Interferogramm aus einem kohärenten auftreffenden Strahl und von der Oberfläche reflektierten Meßstrahl gebildet wird, und daß die Bestimmung der Krümmung aus dem Interferogramm durch Vergleich des gemessenen ausgewerteten oder unausgewerteten Interferogramms mit Daten einer in ihren Parametern zur Anpassung variierten, analytischen, dreidimensional gekrümmten Oberfläche vorgenommen wird. Die Bestimmung der Oberflächentopographie erfolgt dann durch eine rechnerische Auswertung aus den über die gesamte Oberfläche bestimmten Krümmungswerten, beispielsweise durch zweimalige Integration. Diese Integration wird vorzugsweise gemäß einer üblichen Auswertungsmethode mit Fouriertransformierten im Frequenzraum ausgeführt. Eine solche Auswertung ist aufwändig, und es können sich durch die Aufsummierung leicht Meßfehler einschleichen.

Diese Meßverfahren erlauben beispielsweise nicht die Vermessung einer Oberfläche mit einer Genauigkeit im Nanometer- oder sogar Subnanometerbereich, wenn das Werkstück in einer Bearbeitungsmaschine eingespannt ist. Die Oberfläche bedarf einer sehr sorgfältigen Reinigung, damit verbleibende Schleif- und Poliermittel keine Oberflächenfehler vortäuschen.

Um eine höhere Reproduzierbarkeit und Genauigkeit der Topographiemessung zu erreichen, ist es notwendig, den Meßprozeß an der Oberfläche bei fest eingespanntem Probekörper auf der Herstellungsmaschine (Schleif- oder Poliermaschine) vorzunehmen. In diesem Fall ist eine Messung von der Bearbeitungsseite her nur möglich, wenn die zu vermessende Oberfläche frei von Schleif- und Poliermittel ist. Zudem kann der mechanische Aufbau der Bearbeitungsmaschine es verhindern, daß eine Meßapparatur den gesamten zu vermessenden Oberflächenbereich abtasten kann. Insbesondere sind die heutigen Schleif- und Poliermaschinen mit komplexen Werkzeugköpfen versehen. Diese Bedingungen erschweren eine rasche und genaue Topographievermessung.

Aufgabe:

Der vorliegenden Erfindung liegt daher die Problemstellung zu Grunde, ein Meßverfahren für die Bestimmung der Topographie von beliebig gekrümmten Oberflächen anzugeben, das eine hohe Genauigkeit und Reproduzierbarkeit der Messung ermöglicht und insbesondere im eingespannten Zustand der Linsen oder Linsenkombination auf der Schleif- und Poliermaschine anwendbar ist.

Diese Aufgabe wird bei einem Verfahren der eingangs genannten Art erfindungsgemäß durch die kennzeichnenden Merkmale des Anspruchs 1 gelöst. Vorteilhafte Weiterbildungen ergeben sich aus den Merkmalen der Unteransprüche 2 bis 9. Eine zur Durchführung des Verfahrens geeignete Vorrichtung ergibt sich aus den kennzeichnenden Merkmalen des Anspruchs 10. Vorteilhafte Weiterbildungen dazu ergeben sich aus den Merkmalen der Unteransprüche 11 bis 15.

Der konzeptuelle Lösungsansatz der Erfindung besteht darin, daß man den Zugriffkonflikt von Bearbeitungswerkzeug und

Meßgerät dadurch löst, daß, da das Oberflächensegment von der Luft-Glasseite her poliert wird, man es simultan von der anderen Seite, der Glas-Luftseite, vermißt. Damit löst man auch das Problem der Kontaminierung, da die Formerfassung der Glasoberfläche nicht zweimal durch das Poliermedium erfolgen muß.

Bei der erfindungsgemäßen Messung wird der Meßstrahl von der Rückseite her durch eine zum Beispiel bereits bearbeitete, polierte Oberfläche hindurchgeführt.

Um die Nachteile der in den oben genannten, bekannten Ausführungsbeispielen zu umgehen, wird in der vorliegenden Erfindung zudem ein absolut messendes Interferometer zur Abstandsbestimmung eingesetzt, das den Abstand der angefahrenen Meßpunkte auf der Oberfläche bis zur fixierten Vorderfläche des optischen Meßkopfes mißt. Damit bekommt man für jeden Punkt auf der zu prüfenden Oberfläche einen absolut im Raume stehenden Koordinatenwert und muß somit keine Integrationsprozesse durchführen.

Die Meßgenauigkeit ist dabei durch die Auflösung des Interferometers bestimmt, die bis in den Subnanometerbereich möglich ist.

Wie die Oberflächenfunktion prozeßgerecht physikalisch und technisch „on-line" erfaßt werden kann, ist ein weiterer Teil der Erfindung. Im Folgenden werden drei Varianten beschrieben, die das Oberflächenprofil der Asphäre physikalisch erfassen:

a) Lidar:

Als erstes wird erwogen, mit einem kohärenten Laser Ranger oder äquivalent einer interferometrischen Phasenmeßmethode die Prüffläche abzufahren und eine hoch präzise Distanzmessung zwischen der Prüffläche und einer geeigneten Vergleichsfläche im Sende/Empfangsmodul, bzw. im Interferometer

durchzuführen. Dabei wird das Höhenprofil der Prüffläche gemittelt über den beleuchtenden Strahldurchmesser erfasst.

b) Wellenfrontsensor

Eine alternative, aber ebenfalls praxisgerechte Methode ist, das vom beleuchtenden Laserstrahl erfasste Flächensegment auf einen Wellenfrontsensor (WFS) abzubilden. Dieser bestimmt dann aus der Neigung der reflektierten Wellenfront die mittlere geometrische Neigung der Oberfläche des Subsegments, ebenfalls relativ zu einer Referenzfläche.

c) Sensorfusion

In der Praxis bewährt hat sich auch eine Kombination beider Verfahren, bei der das vom Laserbündel erfasste Oberflächensegment zum einen auf einen WFS abgebildet wird, gleichzeitig zum anderen aber auch der mittlere Abstand gemessen wird. Die Erfahrung zeigt, dass dies zu einer wesentlichen Genauigkeitssteigerung und zu einer schnelleren Konvergenz der Auswertealgorithmik führt, aber auch, dass die Robustheit der algorithmischen Methode erhöht wird, nicht in falsche Nebenmaxima bei der Optimierung zu geraten. Denn der eigentliche Messprozess ist immer überlagert von stochastischen Störungen, bedingt durch Taumelbewegungen der Achsspindel, „Stick and slip"-Bewegungen des Polierwerkzeuges, aber auch durch Jitterbewegungen der Scanner, die den Laserstrahl über die Prüffläche führen.

Die Beschreibung einer Asphäre durch den kontinuierlichen Verlauf ihres Krümmungsvektors ist zwar mathematisch korrekt, muss aber für den Fertigungsprozess noch geeignet diskretisiert werden. Wichtig ist dabei zu wissen, auf welchem 2D-Oberflächenraster die Krümmung bekannt sein muss, um den momentanen Bearbeitungszustand eindeutig zu charakterisieren und in den nächsten zu überführen. Das nötige Raster kann

sich dabei durchaus ändern im Laufe des Bearbeitungsvorgangs. Eine zerklüftete oder aus der Vorgabe abgedriftete Oberflächenform muss enger abgetastet werden als eine auspolierte Fläche kurz vor Erreichen der Endspezifikation.

Bei allen drei oben genannten Methoden wird man aus Effizienzgründen immer bestrebt sein, mit einem Minimum an Messdaten auszukommen, also ein „Oversampling" zu vermeiden. Das adäquate „Sampling" hängt sowohl von der Oberflächentopographie des Prüflings ab, aber auch vom Eindeutigkeitsbereich des Sensors. Je grober man abtastet, um so mehr können Feinstrukturen der Oberflächendeformation verloren gehen, und um so eher kann der Meßbereich des Sensors übersteuert werden. Gerade im letzten Fall, wenn man wie bislang die gesamte Prüffläche auf einmal erfassen will, sind die Abweichungen der Prüffläche von der Referenzfläche oft größer als eine Wellenlänge. Man muß dann zu mathematischen Methoden greifen, die Mehrdeutigkeit der interferometrischen Signale zu lösen, was aufwendig ist, oder man ist dann auf die Verwendung sogenannter „Nulloptiken", Computerhologramme oder Kompensatoren angewiesen. Da diese teuer sind, für jede Applikationen speziell angefertigt werden müssen, und auch ihr mechanischer Einbau in den optischen Prüfaufbau neue Fehler einführen kann, ist ein sequentielles Abtasten der Gesamtfläche praxisgerechter. Es wird also in allen drei Fällen vorgesehen, die Prüfoberfläche in Subsegmente zu unterteilen und diese gemäss den Methoden a), b), c) zu vermessen. Dazu muß in allen drei Fällen der beleuchtende Laserstrahl über die Prüffläche geführt werden. Da synchron zum Polierprozeß gemessen werden soll, der eine azimutale Drehung des Prüfkörpers um die Dornachse erfordert, ist der Laserscan nur in radialer Richtung, also eindimensional, durchzuführen.

Das 2D-Samplingraster in radialer und azimutaler Richtung wird dann unter Beachtung der Drehbewegung und der Geschwin-

digkeit des Radialscans über die Schußfrequenz des Lasers eingestellt. Über die Schußdauer und den Durchmesser des Laserbündels wird die Größe der Flächensegmente festgelegt. Dabei wird man bei stark strukturierten Oberflächen so abtasten, dass ein Überlappen der Flächensegmente erreicht wird, hingegen wird man ein mehr punktuelles Rastern vornehmen, wenn glatte Oberflächen vorliegen.

Neben den Mittelwerten der Distanz über das Flächensegment gemäss a) oder der Neigung in Methode b) oder beiden in c) sind je nach Sensor auch sogenannte höhere Deformationsmomente meßbar. Ein WFS kann durchaus Aussagen über Abweichung der reflektierten WF von der beleuchtenden Kugel- oder ebenen Welle erbringen, die sphärische, komatische oder astigmatische Aberrationen höherer Ordnung erkennen lassen. Ebenso kann man aus der Form des zeitlichen Returnsignals des Laser Rangers auf die Form des vom Strahldurchmesser illuminierten Oberflächensegmentes schliessen.

Beim „on-line" kontrollierten Polieren der asphärischen Form S1 einer Glaslinse geht man davon aus, dass ihre Gegenseite S2 bereits weitgehend in Toleranz poliert wurde. Man kennt somit ihre Oberflächentopographie, die z.B. mittels eines Werkstattinterferometers ausserhalb der Poliermaschine bestimmt wurde, und sie soll deshalb als Referenzfläche für den eigentlichen Poliervorgang der Asphäre S1 dienen. Dieses Vorgehen stellt keine Einschränkung der Allgemeinheit dar, denn selbst, wenn die Glaslinse beidseitig asphärisiert werden sollte, kann man mit einer Sphäre S1 beginnen, die Gegenseite S2 wie beschrieben asphärisieren und anschließend diese dann als Referenz für S1 benutzen. Nach erfolgter Montage des Prüflings auf den Polierdorn wird von der Prüfoptik stets sowohl die bereits bekannte Referenzfläche S2 direkt als auch die zu bearbeitende S1 durch S2 vermessen.

Das beidseitige Erfassen hat den Vorteil, daß man S1 immer referenziert zum einzig relevanten Koordinatensystem des Linsenkörpers, nämlich zu sich selbst. Damit wird man unabhängig von Achstaumelfehlern des Dorns, von noch zu beschreibenden Störungen der Scannerbewegung, und vor allem auch von unvermeidlichen Zentrierfehlern der Meßoptik, einer Zoom-Optik, bei der mehrere Baugruppen entlang der optischen Achse verschoben werden müssen.

Der eigentliche Ablauf wird so gestaltet, dass er im wesentlichen der Methode ähnelt, mit dem sphärische Linsen, Kittglieder oder sogar ganze Objektive in der Optikwerkstatt auf Zentrierfehler geprüft werden. Dabei fokussiert man den Meßlaser zuerst in den Krümmungsmittelpunkt der zur Zoom-Optik nächstgelegenen Fläche S2. Das an S2 reflektierte Strahlbündel wird dann ebenfalls dorthin retrofokussiert und durch die Zoom-Optik auf den Sensor abgebildet. Bei Verkippung von S2 liegt der Krümmungsmittelpunkt von S2 nicht auf der Drehachse des Dorns, und es wandert der Sensorpunkt auf dem Detektor kreisförmig synchron mit der Drehachse, wobei aus dem Kreisdurchmesser sich der Schlagfehler von S2 bestimmen läßt. Danach fokussiert man den Laser in den Krümmungsmittelpunkt von S1, allerdings gesehen durch S2, und wiederholt das Prozedere. Man bekommt eine Aussage über die Verkippung von S1, aber gesehen durch S2, und kann diese unter Berücksichtigung der ersten Messung zur Drehachse eindeutig bestimmen. Beim hier zu beschreibenden Asphärenprozeß ist der Vorgang ähnlich: Nachdem die Topographie von S2 interferometrisch vorvermessen wurde, wird ihre Lage relativ zur Dornachse gemäß dem beschriebenen Verfahren bestimmt. Danach fokussieren wir den Laser in den Krümmungsmittelpunkt (best fit) von S1, gesehen durch S2, und bestimmen den Flächenverkippwinkel. Da bei Asphären dieser wie erwähnt nicht konstant ist, sondern lokal variierend, reduzieren wir den geschilder-

ten Prozeß auf Subsegmente. Aus Genauigkeitsgründen werten wir auch nicht das Wandern des Fokuspunktes aus, sondern bilden das Subsegment mit der Zoom-Optik auf einen WFS ab. Durch die Einschränkung der Prüffläche auf ein Subsegment erreicht man, dass die lokale Verkippung im Meßbereich des WFS liegt, man braucht also keine Nulloptik.

Zusammengefaßt betrifft die Erfindung ein Verfahren zum berührungslosen optischen Messen der Topographie der sphärisch oder asphärisch gekrümmten Oberfläche eines optischen Elementes durch Abtasten der Oberfläche mit einer systemdefinierten Referenzwellenfront oder mit einer gegenüber der Ausdehnung der Oberfläche kleineren Apertur und Bestimmen der lokalen Wellenfrontdeformation relativ zum Meßsystem. Dabei wird die abtastende Wellenfront so geführt, daß sie weitgehend senkrecht auf die Prüfoberfläche ausgerichtet ist. Die durch die Asphärenform bedingten Abweichungen werden mit einem in einem Sensorkopf befindlichen Interferometer oder WFS erfaßt und ausgewertet. Dabei wird der Meßstrahl nicht wie allgemein bekannt von außen direkt auf die geschliffene oder polierte Luft-Glas-Oberfläche geschickt, sondern durch die Abbildungslinse hindurch durch ihre Rückseite. Dadurch wird erreicht, daß die Oberfläche auch im eingespannten Zustand in der Schleif- oder Poliermaschine vermessen werden kann. Dabei ist es beispielsweise erforderlich festzustellen, ob die Oberfläche frei von störenden Unebenheiten ist und ob die gewünschte Abweichung einer asphärischen Oberfläche von der jeweils zugrunde liegenden Asphärenform mit ausreichend enger Toleranz eingehalten ist.

Eine Vorrichtung zur Durchführung des erfindungsgemäßen Verfahrens ist in der Zeichnung schematisch dargestellt. Dabei zeigen:

Fig. 1 den mechanischen Aufbau;

Fig. 2 den prinzipiellen optischen Aufbau, so wie er beim Kugelfutterzentrieren benutzt wird;

Fig. 3 das Abscannen der Prüfoberfläche S1 durch die radial geführte Bewegung des Meßkopfes, beinhaltend das Interferometer oder den Wellenfrontsensor;

Fig. 4 das simultane Abscannen beider Oberflächen S1 und S2 mit zwei, im selben Meßkopf eingebauten Meßeinheiten; und

Fig. 5 eine Variante mit eingeschränkter Genauigkeit, bei der die Messung auf die Oberfläche S2 nur dazu dient, eventuelle Achstaumelfehler zu erfassen.

Die in Fig. 1 dargestellte mechanische Anordnung enthält eine Hohlwelle 1, die nach oben trichterförmig zur stirnseitigen Aufnahme einer Linse 2 oder eines Linsensystems aufgeweitet ist. Die Drehachse 3 der Hohlwelle 1 soll zumindest angenähert mit der optischen Achse der Linse 2 und der Zoom-Optik 6 zusammenfallen.

Die Hohlwelle 1 ist in einem nicht weiter dargestellten Aufnahmefutter 4 einer Schleif- oder Poliermaschine gelagert. Die Oberfläche S1 der Linse wird in üblicher Weise mit einem taumelnd über die Oberfläche S1 geführten Schleif- oder Polierkopf 5 bearbeitet.

In der Hohlwelle 1 ist eine Fokussieroptik 6 für ein Meßstrahlenbündel angeordnet, das von einer Meßeinheit 7 ausgeht. Die Meßeinheit 7 enthält neben einem System zur Erzeugung des Meßstrahlenbündels auch einen optischen Sensor zur Meßsignal-Erzeugung. Die Meßeinheit 7 ist in radialer Richtung r, also senkrecht zur Drehachse 3 verschiebbar angeordnet.

Fig. 2 zeigt den grundlegenden optischen Aufbau, so wie man ihn vom Kugelfutterzentrieren her kennt. Die Linse 2 ist so angeordnet und ausgerichtet, daß die Krümmungsmittelpunkte der Oberflächen S1 und S2 möglichst auf der Drehachse 3 liegen, d.h. die optische Achse der Linse 2 fluchtet mit der Drehachse 3.

Die Meßeinheit 7 enthält einen Laser 8, z.B. einen Pulslaser, dessen kohärente Strahlung über eine Kollimationslinse 9 in ein paralleles Meßstrahlenbündel 10 geformt wird. Das Meßstrahlenbündel 10 wird über einen Strahlenteiler 11 in die Fokussieroptik 6 gelenkt. Die Fokussieroptik 6 ist als Zoom-Optik mit einer verschiebbaren Linsengruppe 6a ausgebildet, die das Meßstrahlenbündel 10 in den Krümmungsmittelpunkt M1* der Linsen-Oberflächen S1, gesehen durch S2, fokussieren kann. Dabei hat das Zoom-Objektiv eine duale Aufgabe zu erfüllen: es muß den Krümmungsmittelpunkt M1* auf den Detektor 12 und gleichzeitig die Oberfläche S1 in die Austrittspupille der Zoom-Optik abbilden. Diese liegt bei telezentrischer Zoom-Optik im Unendlichen. Deshalb hat sich in der Praxis als notwendig erwiesen, daß die Zoom-Optik selber auch in z-Richtung, also entlang der optischen Achse, verschiebbar sein muß, um für verschiedene Asphärenlinsen beide Abbildungskriterien zu erfüllen.

Das an der Glasrückfläche der Oberfläche S1 retroreflektierte Meßstrahlenbündel 10 wird durch die Zoom-Optik wieder als kollimiertes Strahlenbündel auf den Strahlenteiler 11 geführt und durch die Strahlenteilerfläche hindurch auf den Sensor 12 abgebildet, der in Fig. 2 als Flächensensor gezeichnet ist.

Fig. 3 zeigt den radialen Pupillenscan, bei dem die Meßeinheit 7 als Einheit senkrecht zur Drehachse 3 in radialer Richtung r verschiebbar ist. Das Meßstrahlenbündel 10 hat

nunmehr einen kleinen Durchmesser, so daß es auf der Prüfoberfläche S1 nur ein kleines Flächensegment 13 beleuchtet. Bedingt durch die radiale Verschiebung des Meßbündels tritt diese unter einem wechselnden Winkel aus der Fokussieroptik 6 aus, so daß unterschiedliche Oberflächensegmente 13 auf S1 bestrahlt werden. Die Verschiebung der Vorrichtung 7 wird so gesteuert, daß das Meßstrahlenbündel 10 über den gesamten Durchmesser der Oberflächen S1 geführt wird. Dabei dient der Fokuspunkt M1* als optischer Hebelpunkt, da alle gescannten Bündel durch ihn hindurchgehen. In Fig. 3 ist der bisherige Flächensensor 12 nun durch ein absolut messendes oder Mehrwellenlängen-Interferometer oder einen Wellenfrontsensor ersetzt. Dazu muss unter Umständen eine kleine Relaisoptik 14 eingebaut werden, um die Pupillenfläche 13 auf das Interferometer oder den WFS korrekt abzubilden. Das Resultat der Interferometermessung ist ein sehr genau bestimmter Abstandswert vom Sensor zum jeweiligen Oberflächensegment 13, bzw. eine sehr genaue Bestimmung der lokalen Flächenneigung von 13 im Falle der Benutzung eines WFS als Detektoreinheit 12.

Bei einer Drehung der Linse 2 um die Drehachse 3 wandert das beleuchtete Oberflächensegment 13 spiralartig über die Oberfläche S1. Je nach Drehgeschwindigkeit, Radialgeschwindigkeit und Laserschußfrequenz kann ein mehr oder weniger dichtes Netz von Meßpunkten an der Oberfläche S1 abgetastet werden.

Meßvorgang:

Bei der angestrebten Genauigkeit der Bestimmung des Flächenprofils im Sub-Nanometerbereich sind all die Einwirkungen auf den Meßprozeß, die durch die unvermeidlichen Instabilitäten der verschiedenen mechanischen Bewegungen entstehen, zu eliminieren oder zu kompensieren. Den größten Einfluß hat das Polierwerkzeug, das senkrecht auf die Fläche S1 Druck ausübt,

aber auch je nach Viskosität des Poliermittels zu sogenannten „stick and slip"-Effekten führt, also zu reibungsbedingten, stochastischen Bewegungen in azimutaler Richtung. All diese erratischen Einflüsse bedingen eine nicht kontrollierte Lagevariation der Linse 2, die größer sein kann als die angestrebte hochgenaue Bestimmung des Flächenprofils.

In Fig. 4 wird eine geeignete Lösungsvariante beschrieben:

Zur Bestimmung des asphärischen Flächenprofils der Oberfläche S1 relativ zur Oberfläche S2 wird das Meßstrahlenbündel 10 zunächst, wie bereits beschrieben, in den Krümmungsmittelpunkt M1* der Oberfläche S1, gesehen durch S2, fokussiert. Gleichzeitig wird ein zweites Laserbündel, bevorzugt mit anderer Wellenlänge, mittels einer Hilfslinse 15 so vorfokussiert in die Zoom-Optik 6 eingeführt, daß es im Krümmungsmittelpunkt von S2 fokussiert wird. In Fig. 4 ist der spezielle Fall gezeichnet, daß S2 eine Planfläche ist. Dann muß das zweite Bündel als Parallelstrahl auf S2 auftreffen. Beide Meßköpfe sind in derselben Meßeinheit 7 plaziert und werden deshalb simultan in radialer Richtung gescannt, unterliegen also denselben Richtungsschwankungen der Scanbewegung. Wenn man voraussetzt, daß die Topographie der Oberfläche S2 bereits aus interferometrischen Messungen in einem externen Vorprozeß bekannt ist, können aus den gemessenen Abstands- oder Flächenneigungswerten der Messung auf Fläche S2 die Kippfehler der Linsenaufnahme, der mechanische Einfluß des Polierwerkzeuges, der des Taumelfehlers der Hohlachse 1, sowie die Einflüsse der Scannerbewegung ermittelt werden. Diese Kenntnis erlaubt, die simultanen Messungen an S1 entsprechend zu korrigieren. Beide Messungen sind also wie erwünscht mechanisch zu einander korreliert, spiegeln also die dynamischen Systeminstabilitäten wider. Da sie aber aus zwei ver-

schiedene Lichtquellen entstammen, ist eine die interferometrische Abstandsmessung störende Interferenz beider Bündel nicht gegeben.

Auf diese Weise ist die Messung unabhängig von mechanischen Fehlern der Anordnung und von Maschinentoleranzen.

In Fig. 5 schließlich wird eine einfachere Variante gezeigt, bei der die Simultanmessung auf die als Referenzfläche dienende Oberfläche S2 nicht mitgescannt wird und auch nicht durch die Zoom-Optik geführt wird, sondern von einer stationär angebrachten Einheit 7a konstant eine Ringzone von S2 beleuchtet, also nur die Achstaumelfehler kontrolliert. Diese Variante ist technisch einfacher und somit kostengünstiger, erfaßt jedoch nicht die Unregelmäßigkeiten der Scannerbewegung. Deshalb kann sie nur bei reduzierten Genauigkeitsanforderungen an den Polierprozeß, sowie bei vernachlässigbaren Lagefehler der Scannermechanik praxisgerecht eingesetzt werden.

Bezugszeichenliste

1	Hohlwelle
2	Linse
3	Drehachse
4	Aufnahmefutter
5	Schleif- / Polierkopf
6, 6a	Fokussieroptik
7	Meßeinheit
7a	stationäre Einheit
8	Laser
9	Kollimationslinse
10	Meßstrahlenbündel
11	Strahlenteiler
12	Interferometer / Wellenfrontsensor
13	Oberflächensegment / Meßpunkt
14	Relaisoptik für Interferometer und Wellenfrontsensor
15	Hilfslinse
S1, S2	Oberflächen der Linse 2
M1*	Ort des Krümmungsmittelpunktes von S1, gesehen durch S2

Patentansprüche

1. Verfahren zum berührungslosen Messen der Topographie einer sphärisch oder asphärisch gekrümmten Luft-Glas-Oberfläche einer optischen Linse oder Linsenkombination,

dadurch gekennzeichnet,

daß die zu vermessende Oberfläche (S1) an ihrer Glasrückseite durch die in Meßrichtung davor liegende Luft-Glas-Oberfläche (S2) hindurch mit einem optischen Meßstrahlenbündel abgetastet wird.

2. Verfahren nach Anspruch 1,

dadurch gekennzeichnet,

daß simultan die der abgetasteten Glasrückseite voran liegende Luft-Glas-Oberfläche (S2) mit einem vom Meßstrahlenbündel unterscheidbaren optischen Referenz-Meßstrahlenbündel abgetastet wird.

3. Verfahren nach Anspruch 1 oder 2,

dadurch gekennzeichnet,

daß die, beide Oberflächen (S1, S2) abtastenden, optischen Meßstrahlenbündel in ihrem Durchmesser einstellbar und über die Meßfläche in radialer Richtung verschiebbar sind.

4. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche,

dadurch gekennzeichnet,

daß die Meßstrahlenbündel in den Krümmungsmittelpunkt (M1*) der zu vermessenden Oberfläche (S1), gesehen durch die davor liegende Luft-Glas-Oberfläche (S2), und in den

Krümmungsmittelpunkt der als Referenz zu vermessenden Oberfläche (S2) fokussiert werden.

5. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche,
dadurch gekennzeichnet,
daß die Abtastungen mit Laserstrahlenbündeln erfolgen.

6. Verfahren nach Anspruch 5,
dadurch gekennzeichnet,
daß mit dem Laserstrahlenbündel jeweils ein Subsegment der betreffenden Meßfläche auf einen Wellenfrontsensor abgebildet wird.

7. Verfahren nach Anspruch 6,
dadurch gekennzeichnet,
daß mit dem Laserstrahlenbündel gleichzeitig eine Distanzmessung zum Subsegment der betreffenden Meßfläche durchgeführt wird.

8. Verfahren nach Anspruch 7,
dadurch gekennzeichnet,
daß die Distanzmessung mit einem Interferometer durchgeführt wird.

9. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche,
dadurch gekennzeichnet,
daß die Linse oder Linsenkombination um eine zumindest annähernd mit ihrer optischen Achse übereinstimmende Drehachse gedreht wird, daß das Meßstrahlenbündel erzeugende System und daß das Meßstrahlenbündel empfangende System als modulare Meßeinheit zusammengefaßt werden und diese Meßeinheit senkrecht zur Drehachse verschoben wird.

10. Vorrichtung zur Durchführung des Verfahrens nach einem der vorhergehenden Ansprüche,

dadurch gekennzeichnet, daß

a) die optische Linse (2) oder das Linsensystem auf der Stirnseite einer drehbar gelagerten Hohlwelle (1) derart befestigt sind, daß die optische Achse der Linse oder des Linsensystems zumindest annähernd mit der Drehachse (3) der Hohlwelle (1) fluchtet,

b) in der Hohlwelle (1) eine Fokussieroptik (6) für ein optisches Meßstrahlenbündel (10) angeordnet ist,

c) die Meßeinheit (7) zur Erzeugung des Meßstrahlenbündels (10) senkrecht zur Drehachse (3) der Hohlwelle (1) verschiebbar angeordnet ist,

d) in das Meßstrahlenbündel (10) mindestens ein Strahlenteiler (11) zum Abzweigen und Weiterleiten eines Teilstrahlenbündels auf mindestens einen optischen Sensor (12) eingefügt ist, und

e) dem Sensor (12) ein opto-elektronischer Wandler und eine Auswerte-Elektronik zugeordnet sind.

11. Vorrichtung nach Anspruch 10,

dadurch gekennzeichnet,

daß zur Erzeugung des Meßstrahlenbündels (10) ein Laser (8) vorhanden ist.

12. Vorrichtung nach Anspruch 10,

dadurch gekennzeichnet,

daß die Fokussieroptik (6) als Zoom-Optik ausgebildet ist.

13. Vorrichtung nach Anspruch 10,

dadurch gekennzeichnet,

daß als Sensor (12) ein Wellenfrontsensor vorhanden ist.

14. Vorrichtung nach Anspruch 10,

dadurch gekennzeichnet,

daß als Sensor (12) zur Abstandsmessung ein Interferometer vorgesehen ist.

15. Vorrichtung nach Anspruch 10,

dadurch gekennzeichnet,

daß als Sensor (12) zur Abstandsmessung ein Laufzeit-Enfernungsmesser vorgesehen ist.

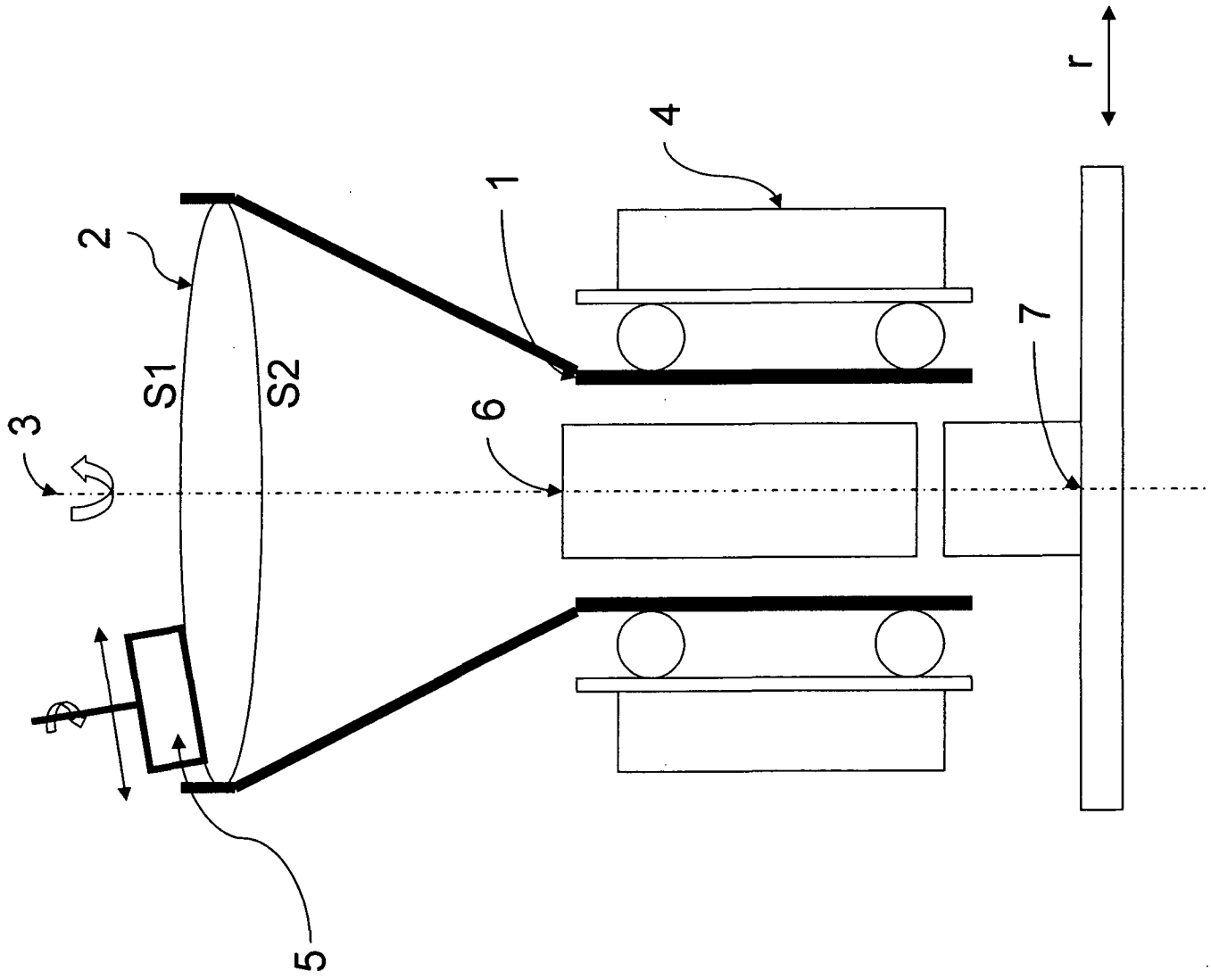


Fig. 1

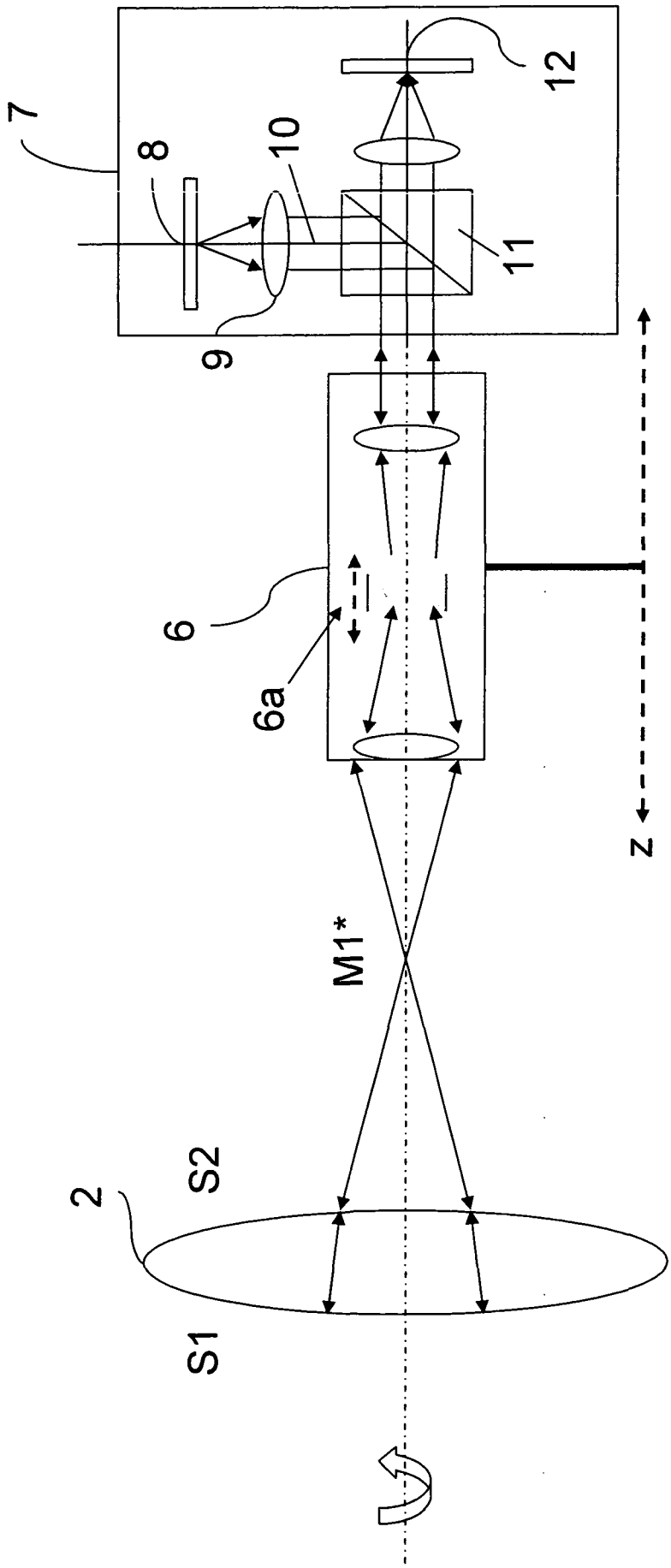


Fig. 2

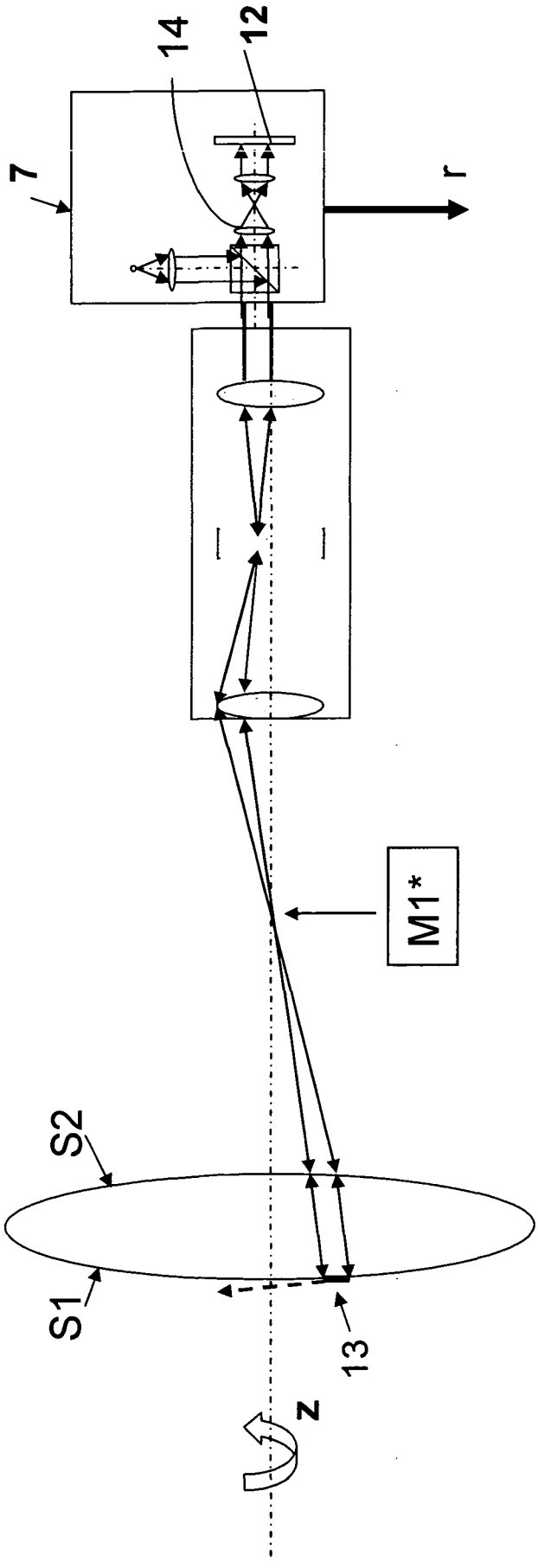


Fig. 3

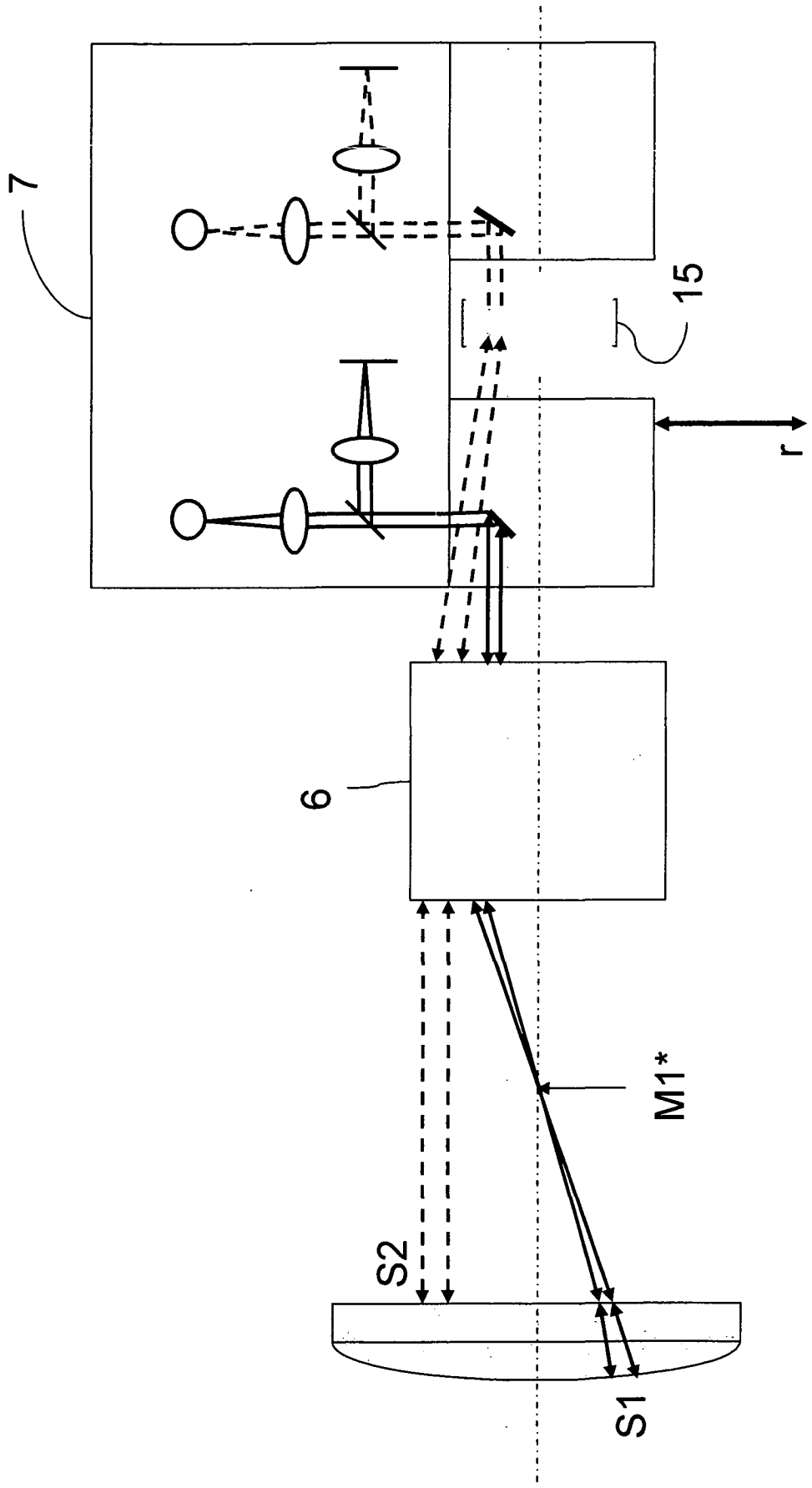


Fig. 4

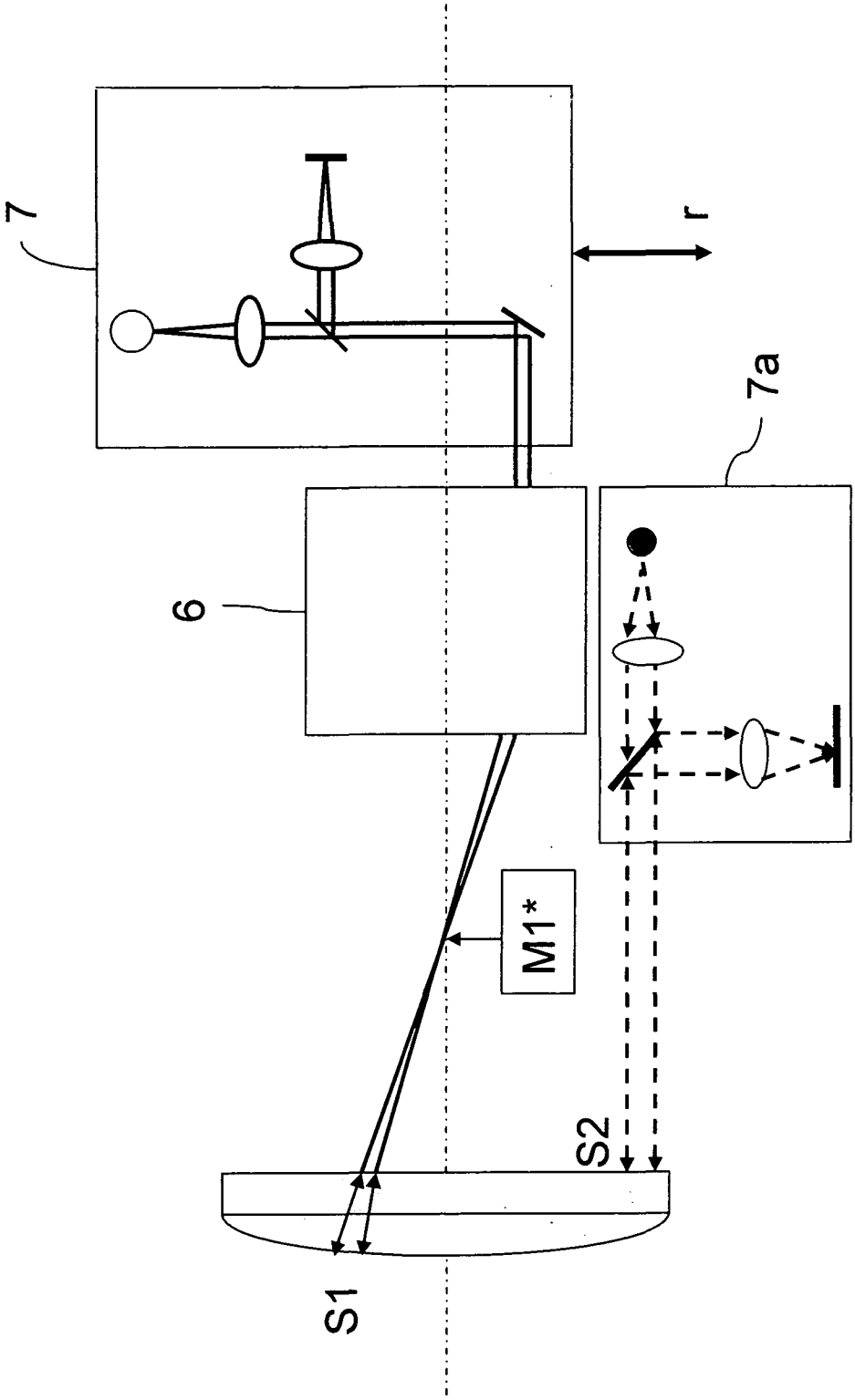


Fig. 5

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No
PCT/EP2010/001060

A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER
INV. G01B11/24 B24B17/04 G01M11/02
ADD.

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

B. FIELDS SEARCHED

Minimum documentation searched (classification system followed by classification symbols)
G01B B24B G01M

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

Electronic data base consulted during the international search (name of data base and, where practical, search terms used)
EPO-Internal, WPI Data

C. DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
X	US 2007/236701 A1 (NEAL DANIEL R [US] ET AL NEAL DANIEL R [US] ET AL) 11 October 2007 (2007-10-11) paragraph [0029] - paragraph [0045]; figures 1A,1B,2	1-15
X	EP 0 561 178 A2 (ROKE MANOR RESEARCH [GB]) 22 September 1993 (1993-09-22) column 3, line 48 - column 4, line 48; figure 1	1-15
X	US 2003/169430 A1 (OHTSUKA MASARU [JP] ET AL) 11 September 2003 (2003-09-11)	1,2,5
A	paragraph [0074] - paragraph [0084]; figures 1,2A,2B	3,4,6-15

-/--

[X] Further documents are listed in the continuation of Box C.

[X] See patent family annex.

* Special categories of cited documents :

"A" document defining the general state of the art which is not considered to be of particular relevance

"E" earlier document but published on or after the international filing date

"L" document which may throw doubts on priority claim(s) or which is cited to establish the publication date of another citation or other special reason (as specified)

"O" document referring to an oral disclosure, use, exhibition or other means

"P" document published prior to the international filing date but later than the priority date claimed

"T" later document published after the international filing date or priority date and not in conflict with the application but cited to understand the principle or theory underlying the invention

"X" document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered novel or cannot be considered to involve an inventive step when the document is taken alone

"Y" document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered to involve an inventive step when the document is combined with one or more other such documents, such combination being obvious to a person skilled in the art.

"&" document member of the same patent family

Date of the actual completion of the international search	Date of mailing of the international search report
19 May 2010	04/06/2010

Name and mailing address of the ISA/	Authorized officer
European Patent Office, P.B. 5818 Patentlaan 2 NL - 2280 HV Rijswijk Tel. (+31-70) 340-2040, Fax: (+31-70) 340-3016	Petelski, Torsten

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No
PCT/EP2010/001060

C(Continuation). DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
A	GB 1 378 515 A (SIRA INSTITUTE) 27 December 1974 (1974-12-27) page 1, line 75 - page 3, line 107; figures 1-8	1-15
A	JP 11 257929 A (ASAHI OPTICAL CO LTD) 24 September 1999 (1999-09-24) paragraph [0015] - paragraph [0029]; figures 1-4	1-15

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

Information on patent family members

International application No
PCT/EP2010/001060

Patent document cited in search report	Publication date	Patent family member(s)	Publication date
US 2007236701 A1	11-10-2007	AU 2007235239 A1	18-10-2007
		CA 2648305 A1	18-10-2007
		EP 2008058 A2	31-12-2008
		US 2007236702 A1	11-10-2007
		US 2007236703 A1	11-10-2007
		WO 2007117694 A2	18-10-2007
EP 0561178 A2	22-09-1993	AT 159810 T	15-11-1997
		AU 3407393 A	16-09-1993
		DE 69314829 D1	04-12-1997
		DE 69314829 T2	05-03-1998
		ES 2107566 T3	01-12-1997
		JP 3377820 B2	17-02-2003
		JP 6294629 A	21-10-1994
US 2003169430 A1	11-09-2003	DE 10309586 A1	02-10-2003
GB 1378515 A	27-12-1974	DE 2211860 A1	28-09-1972
JP 11257929 A	24-09-1999	JP 3920446 B2	30-05-2007

INTERNATIONALER RECHERCHENBERICHT

Internationales Aktenzeichen
PCT/EP2010/001060

A. KLASSIFIZIERUNG DES ANMELDUNGSGEGENSTANDES
INV. G01B11/24 B24B17/04 G01M11/02
ADD.

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

B. RECHERCHIERTE GEBIETE

Recherchierter Mindestprüfstoff (Klassifikationssystem und Klassifikationssymbole)
G01B B24B G01M

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

Während der internationalen Recherche konsultierte elektronische Datenbank (Name der Datenbank und evtl. verwendete Suchbegriffe)
EPO-Internal, WPI Data

C. ALS WESENTLICH ANGESEHENE UNTERLAGEN

Kategorie*	Bezeichnung der Veröffentlichung, soweit erforderlich unter Angabe der in Betracht kommenden Teile	Betr. Anspruch Nr.
X	US 2007/236701 A1 (NEAL DANIEL R [US] ET AL NEAL DANIEL R [US] ET AL) 11. Oktober 2007 (2007-10-11) Absatz [0029] - Absatz [0045]; Abbildungen 1A,1B,2	1-15
X	EP 0 561 178 A2 (ROKE MANOR RESEARCH [GB]) 22. September 1993 (1993-09-22) Spalte 3, Zeile 48 - Spalte 4, Zeile 48; Abbildung 1	1-15
X	US 2003/169430 A1 (OHTSUKA MASARU [JP] ET AL) 11. September 2003 (2003-09-11)	1,2,5
A	Absatz [0074] - Absatz [0084]; Abbildungen 1,2A,2B	3,4,6-15

-/--

[X] Weitere Veröffentlichungen sind der Fortsetzung von Feld C zu entnehmen [X] Siehe Anhang Patentfamilie

* Besondere Kategorien von angegebenen Veröffentlichungen :
"A" Veröffentlichung, die den allgemeinen Stand der Technik definiert, aber nicht als besonders bedeutsam anzusehen ist
"E" älteres Dokument, das jedoch erst am oder nach dem Internationalen Anmeldedatum veröffentlicht worden ist
"L" Veröffentlichung, die geeignet ist, einen Prioritätsanspruch zweifelhaft erscheinen zu lassen, oder durch die das Veröffentlichungsdatum einer anderen im Recherchenbericht genannten Veröffentlichung belegt werden soll oder die aus einem anderen besonderen Grund angegeben ist (wie ausgeführt)
"O" Veröffentlichung, die sich auf eine mündliche Offenbarung, eine Benutzung, eine Ausstellung oder andere Maßnahmen bezieht
"P" Veröffentlichung, die vor dem internationalen Anmeldedatum, aber nach dem beanspruchten Prioritätsdatum veröffentlicht worden ist
"T" Spätere Veröffentlichung, die nach dem internationalen Anmeldedatum oder dem Prioritätsdatum veröffentlicht worden ist und mit der Anmeldung nicht kollidiert, sondern nur zum Verständnis des der Erfindung zugrundeliegenden Prinzips oder der ihr zugrundeliegenden Theorie angegeben ist
"X" Veröffentlichung von besonderer Bedeutung; die beanspruchte Erfindung kann allein aufgrund dieser Veröffentlichung nicht als neu oder auf erfinderischer Tätigkeit beruhend betrachtet werden
"Y" Veröffentlichung von besonderer Bedeutung; die beanspruchte Erfindung kann nicht als auf erfinderischer Tätigkeit beruhend betrachtet werden, wenn die Veröffentlichung mit einer oder mehreren anderen Veröffentlichungen dieser Kategorie in Verbindung gebracht wird und diese Verbindung für einen Fachmann naheliegend ist
"&" Veröffentlichung, die Mitglied derselben Patentfamilie ist

Datum des Abschlusses der internationalen Recherche	Absendedatum des internationalen Recherchenberichts
19. Mai 2010	04/06/2010

Name und Postanschrift der Internationalen Recherchenbehörde	Bevollmächtigter Bediensteter
Europäisches Patentamt, P.B. 5818 Patentlaan 2 NL – 2280 HV Rijswijk Tel. (+31–70) 340–2040, Fax: (+31–70) 340–3016	Petelski, Torsten

INTERNATIONALER RECHERCHENBERICHT

Internationales Aktenzeichen
PCT/EP2010/001060

C. (Fortsetzung) ALS WESENTLICH ANGESEHENE UNTERLAGEN

Kategorie*	Bezeichnung der Veröffentlichung, soweit erforderlich unter Angabe der in Betracht kommenden Teile	Betr. Anspruch Nr.
A	GB 1 378 515 A (SIRA INSTITUTE) 27. Dezember 1974 (1974-12-27) Seite 1, Zeile 75 - Seite 3, Zeile 107; Abbildungen 1-8	1-15
A	JP 11 257929 A (ASAHI OPTICAL CO LTD) 24. September 1999 (1999-09-24) Absatz [0015] - Absatz [0029]; Abbildungen 1-4	1-15

INTERNATIONALER RECHERCHENBERICHT

Angaben zu Veröffentlichungen, die zur selben Patentfamilie gehören

Internationales Aktenzeichen
PCT/EP2010/001060

Im Recherchenbericht angeführtes Patentdokument	Datum der Veröffentlichung	Mitglied(er) der Patentfamilie	Datum der Veröffentlichung
US 2007236701 A1	11-10-2007	AU 2007235239 A1	18-10-2007
		CA 2648305 A1	18-10-2007
		EP 2008058 A2	31-12-2008
		US 2007236702 A1	11-10-2007
		US 2007236703 A1	11-10-2007
		WO 2007117694 A2	18-10-2007
EP 0561178 A2	22-09-1993	AT 159810 T	15-11-1997
		AU 3407393 A	16-09-1993
		DE 69314829 D1	04-12-1997
		DE 69314829 T2	05-03-1998
		ES 2107566 T3	01-12-1997
		JP 3377820 B2	17-02-2003
		JP 6294629 A	21-10-1994
US 2003169430 A1	11-09-2003	DE 10309586 A1	02-10-2003
GB 1378515 A	27-12-1974	DE 2211860 A1	28-09-1972
JP 11257929 A	24-09-1999	JP 3920446 B2	30-05-2007