

(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
18. Mai 2007 (18.05.2007)

PCT

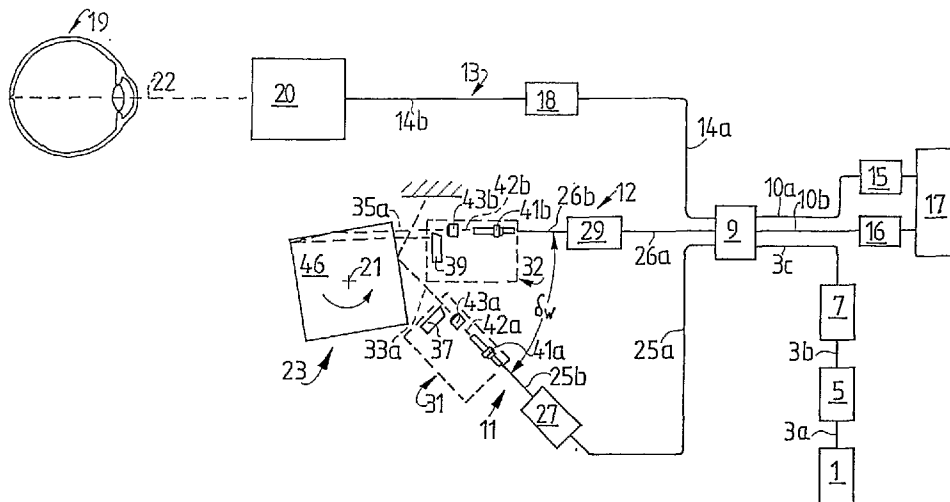
(10) Internationale Veröffentlichungsnummer
WO 2007/053971 A1

- (51) Internationale Patentklassifikation:
G01B 9/02 (2006.01) **A61B 3/10** (2006.01)
- (21) Internationales Aktenzeichen: PCT/CH2006/000625
- (22) Internationales Anmeldedatum:
8. November 2006 (08.11.2006)
- (25) Einreichungssprache: Deutsch
- (26) Veröffentlichungssprache: Deutsch
- (30) Angaben zur Priorität:
05405625.4 10. November 2005 (10.11.2005) EP
- (71) Anmelder (für alle Bestimmungsstaaten mit Ausnahme von US): **HAAG-STREIT AG** [CH/CH]; Gartenstadtstrasse 10, CH-3098 Köniz (CH).
- (72) Erfinder; und
- (75) Erfinder/Anmelder (nur für US): **WÄLTI, Rudolf** [CH/CH]; Könizstrasse 194 J, CH-3097 Liebefeld (CH).
BURI, Urs [CH/CH]; Kleinfeldweg 16, CH-3205 Mauss
- (74) Anwälte: **ROSHARDT, Werner, A.** usw.; Keller & Partner Patentanwälte AG, Schmiedenplatz 5, Postfach, CH-3000 Bern 7 (CH).
- (81) Bestimmungsstaaten (soweit nicht anders angegeben, für jede verfügbare nationale Schutzrechtsart): AE, AG, AL, AM, AT, AU, AZ, BA, BB, BG, BR, BW, BY, BZ, CA, CH, CN, CO, CR, CU, CZ, DE, DK, DM, 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, LV, LY, MA, MD, MG, MK, MN, MW, MX, MY, MZ, NA, NG, NI, NO, NZ, OM, PG, PH, PL, PT, RO, RS, RU, SC, SD, SE, SG, SK, SL, SM, SV, SY, 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,

[Fortsetzung auf der nächsten Seite]

(54) Title: METHOD AND APPARATUS FOR DETERMINATION OF GEOMETRIC VALUES ON AN OBJECT

(54) Bezeichnung: VERFAHREN UND VORRICHTUNG ZUR ERMITTLUNG GEOMETRISCHER WERTE AN EINEM GEGENSTAND



(57) Abstract: A Michelson-interferometer which has two reference arms and a short coherence length is used for the method and apparatus for measurement of geometric values on transparent or diffuse objects (19). The basic optical delay times of the reference arms (11, 12) are chosen in such a manner that they result in an optical delay time difference corresponding to a layer thickness, as a geometric value. The at least two reference arm beams (33a, 35a) are passed to a single rotating path-length variation element (23), with a mutual spatial offset angle (δw). A delay-time change, which is dependent on the rotation angle, of the reference arm beams is produced as a function of a rotation angle caused by rotation, in order to allow a delay-time change caused by the path-length variation element (23) to be applied successively to the basic optical delay times in the reference arms (11, 12). A topography as a further geometric value is obtained by projection of a light-intensity structure onto a surface to be measured, and by measurement of its image.

[Fortsetzung auf der nächsten Seite]

WO 2007/053971 A1



TJ, TM), europäisches (AT, BE, BG, CH, CY, CZ, DE, DK, EE, ES, FI, FR, GB, GR, HU, IE, IS, IT, LT, LU, LV, MC, NL, PL, PT, RO, SE, SI, SK, TR), OAPI (BF, BJ, CF, CG, CI, CM, GA, GN, GQ, GW, ML, MR, NE, SN, TD, TG).

Zur Erklärung der Zweibuchstaben-Codes und der anderen Abkürzungen wird auf die Erklärungen ("Guidance Notes on Codes and Abbreviations") am Anfang jeder regulären Ausgabe der PCT-Gazette verwiesen.

Veröffentlicht:

— mit internationalem Recherchenbericht

(57) Zusammenfassung: Bei dem Verfahren und der Vorrichtung zur Messung geometrischen Werten an transparenten oder diffusen Gegenständen (19) wird mit einem zwei Referenzarme aufweisenden Michelson-Interferometer kurzer Kohärenzlänge gearbeitet. Die optischen Grundlaufzeiten der Referenzarme (11, 12) sind derart gewählt, dass eine einer Schichtdicke als geometrischer Wert entsprechende optische Laufzeitdifferenz auftritt. Die wenigsten zwei Referenzarmstrahlen (33a, 35a) werden unter einem gegenseitigen räumlichen Versetzungswinkel (δw) auf ein einziges rotierendes Wegvariationselement (23) geführt. In Abhängigkeit eines durch die Rotation hervorgerufenen Drehwinkels wird eine Drehwinkel abhängige Laufzeitänderung der Referenzarmstrahlungen erzeugt, damit den optischen Grundlaufzeiten in den Referenzarmen (11, 12) aufeinander folgend eine durch das Weglängenelement (23) hervorgerufene Laufzeitänderung aufprägar ist. Eine Topografie als weiterer geometrischer Wert wird durch eine Projektion einer Leuchtdichtestruktur auf eine auszumessende Oberfläche und durch Ausmessen deren Abbildung erhalten.

5

10

Verfahren und Vorrichtung zur Ermittlung geometrischer Werte an einem Gegenstand

15

Technisches Gebiet

Die Erfindung betrifft ein Verfahren und eine Vorrichtung zur Ermittlung geometrischer Werte wenigstens zweier voneinander distanzierter Bereiche bei einem transparenten oder diffusiven Gegenstand, insbesondere zur Ermittlung von Schichtdicken und Längen und / oder Flächenkrümmungen (Topographie) als geometrische Werte. Unter geometrischen Werten werden beispielsweise Schichtdicken, Abstände, Längen und Topographien verstanden.

20

Stand der Technik

In der Regel arbeiten optische Zeitraum-Kohärenztomographie-Systeme (time domain optical coherence tomography „TDOCT“) mit einem Verschieben eines Zeitfensters. Bei einem derartigen konventionellen System wird die Länge eines Referenzarmes eines Michelson-Interferometers entsprechend einer an einem Messobjekt auszumessenden

25

Länge bewegt. Eine Interferenzerscheinung tritt im Detektorarm des Michelson-Interferometers immer dann auf, wenn die Laufzeit einer Strahlung im Messarm gleich einer Strahlungslaufzeit im Referenzarm ist. Um diese Interferenzerscheinung bei den bekannten Vorrichtungen zu detektieren, wird ein einziger Detektor benötigt.

- 5 Eine Alternative zu dem in der Länge veränderbaren Referenzarm des TDOCTs ist eine Messung einer spektralen Dichte in einem Michelson-Interferometer unter Verwendung eines Spektrometers; man spricht dann von optischer Spektralraum-Kohärenztomographie (spectral domain optical coherence tomography „SDOCT“). Hierbei muss keine Längenveränderung des Referenzarmes vorgenommen werden. Es wird lediglich eine
10 Einheit verwendet, welche eine Phasenverschiebung verursacht. Die vom Spektrometer in Spektralbereich aufgeteilte Strahlung wird dann auf eine Reihe von Detektoren geführt und die so erhaltenen elektrischen Signale über eine Fourier Transformation ausgewertet

Unter Verwendung von TDOCT liessen sich optische Dicken mit Michelson-Interferometern schnell und genau ermitteln. Bekannte Michelson-Interferometer hatten einen Mess- und einen Referenzarm. Die optische Armlänge des Referenzarms war entsprechend den Messlängen im Messarm beispielsweise durch Verschieben eines Retroreflektors
15 veränderbar. Bekannte Michelson-Interferometer hatten ferner eine Strahlungsquelle, deren Strahlung in den Mess- und in den Referenzarm aufgeteilt wurde. Im Messarm wurde der Gegenstand (Messobjekt) angeordnet, bei dem geometrische Werte, wie beispielsweise eine Schichtdicke, eine Länge oder eine Topografie bestimmt werden sollten. Die vom Gegenstand und von einem Spiegel im Referenzarm reflektierten Strahlen wurden überlagert. Eine Interferenz der von der Schichtvorder- und von der Schichtrück-
20 seite reflektierten Strahlen trat immer dann ein, wenn die optischen Laufzeiten der Strahlungen im Mess- und im Referenzarm gleich lang waren. Es wurde vorzugsweise eine Strahlungsquelle mit kurzer Kohärenzlänge verwendet. Der Verschiebeweg des Spiegels oder eine sonstige definierte optische Laufzeitveränderung im Referenzarm gab dann unter Berücksichtigung des Brechungsindex der Schicht die jeweilige Schichtdicke an.
25 Sollten exakte Schichtdicken von annähernd bekannten Schichtdicken ermittelt werden, wie z. B. beim menschlichen Auge, so wurde zur Verringerung der Messzeit und zum Ausschliessen von Fehlmessungen durch nicht definierte Reflexionsorte, der Referenzarm in zwei Teilreferenzarme aufgeteilt. Eine erste optische Referenzarmlänge definierte dann eine optische Laufzeit bis zur Schichtoberfläche und eine zweite optische Refe-
30

renzarmlänge die optische Laufzeit bis zur „standardisierten“ Schichtunterseite. Lediglich die Abweichungen vom „Standard“ wurden somit ermittelt. Diese zwei Teilreferenzarme zeigte z. B. die Figur 12 in der US 5,301,010. Es konnte allerdings auch ein einziger Referenzarm verwendet werden, der zwei in Strahlrichtung versetzte, als Stufenspiegel ausgebildete Spiegel hatte; eine derartige Anordnung zeigte die US 5,301,010 z. B. in Figur 9.

Mit gleichem Ergebnis konnte jedoch auch eine Strahlteilumlenkung im Messstrahl, wie in der WO 01/38820 beschrieben, vorgenommen werden. In der WO 01/38830 wurde ein direkter erster Messstrahl etwa auf die Schichthinterseite fokussiert. Ein aus dem ersten Messstrahl teilweise ausgeblendeter zweiter Messstrahl wurde über einen Umweg umgelenkt und im Umweg derart fokussiert, dass sein Fokuspunkt etwa auf der Schichtvorderseite zu liegen kam. Die Umweglänge entsprach dann der zu erwartenden Standardschichtdicke. Es war jetzt lediglich ein einziger Referenzarm mit einem Wegvariationselement vorhanden.

Aus der US 6,198,540 (Kowa) ist ein Kohärenztomograph mit mehreren Referenzarmen bekannt. Ein Strahlaufteiler erzeugt für die Referenzarme mehrere verschiedene optische Pfade, in welchen die Weglänge mit geeigneten Mitteln variiert werden kann. Eine der Ausführungsformen zeigt ein Paket von parallel nebeneinander angeordneten Scheiben mit jeweils spiralförmig verlaufender, reflektierender Mantelfläche und von Scheibe zu Scheibe unterschiedlichem Durchmesser. Durch die Rotation des Scheibenpaketes verändert sich die Weglänge während einer Umdrehung kontinuierlich. Die parallel zueinander auf die unterschiedlichen Spiralscheiben gerichteten Referenzstrahlen erlauben es, gleichzeitig unterschiedliche Grundlaufzeiten zu realisieren, wobei die Grundlaufzeiten durch die rotierenden Spiralscheiben kontinuierlich variiert werden während eines Umlaufs.

Aus der WO 03/086180 (Haag-Streit) ist eine Messanordnung als Teil des ophthalmologischen Untersuchungs- und/oder Behandlungsplatzes bekannt, welche eine Michelson-Interferometer mit kurzkohärenter Strahlungsquelle aufweist. Im Messarm ist ein optisch transparenter und/oder diffusiver, reflektierender Gegenstand einbringbar und im Referenzarm (5) ein rotierender Würfel als Weglängenvariationseinheit zur Laufzeitänderung. Weiter sind wenigstens zwei einen Laufzeitunterschied hervorrufende Reflektoren vorhanden. Die Messanordnung dient zur Messung optischer Eigenschaften wenigstens zweier voneinander distanzierter Bereiche beim transparenten und/oder diffusiven Gegenstand mit einer Messzeit im Subsekundenbereich.

Bei den oben skizzierten Anordnungen zur Schichtdickenbestimmung handelte es sich um aufwendige optische Anordnungen.

Darstellung der Erfindung

Aufgabe der Erfindung

- 5 Aufgabe der Erfindung ist es, ein Verfahren sowie eine Vorrichtung vorzustellen, bei denen in einer kompakten, verhältnismässig einfachen Anordnung mit geringem Justageaufwand zur Ermittlung von geometrischen Werten an transparenten bzw. diffusiven Gegenständen gearbeitet werden kann.

Lösung der Aufgabe

- 10 Die Aufgabe wird durch die Merkmale des Anspruchs 1 bzw. des Anspruchs 6 gelöst. Ein an sich bekanntes Michelson-Interferometer wird als optischer Zeitraum-Kohärenztomograph mit wenigstens zwei Referenzarmen unterschiedlicher optischer Länge zur Ermittlung von Schichtdicken verwendet, wobei ein Unterschied der optischen Weglänge in den wenigstens zwei Referenzarmen einer „Standard“-Schichtdicke an bzw. in einem
15 transparenten oder diffusiven Gegenstandes entspricht. Unter einer Standard-Schichtdicke wird eine Schichtdicke verstanden, deren generelle Schichtdicke zwar bekannt ist, es aber auf Abweichungen zu dieser generell bekannten Schichtdicke ankommt, welche ermittelt werden sollen. Die von der Strahlungsquelle des Michelson-Interferometers ausgehende Strahlung hat im Vergleich zu den auszumessenden Schichtdicken eine
20 kurze Kohärenzlänge.

- Generell bekannte Schichtdicken sind z. B. beim menschlichen Auge die Dicke der Cornea, die Tiefe der Vorderkammer, die Linsendicke und die Glaskörpertiefe oder Kombinationen davon; es können selbstverständlich auch Längen, wie die Augenlänge ermittelt werden. Neben Schichtdicken in organischen Gegenständen, können auch Schicht-
25 dicken aus anorganischem Material bestimmt werden, wie beispielsweise Foliendicken, Beschichtungsdicken usw. Das an sich bekannte Michelson- Interferometer hat nun ein rotierendes Wegvariationselement, wie es beispielsweise in der EP 0 877 913 und der DE 34 46 014 beschrieben ist.

- Im Gegensatz zu den bekannten Michelson-Interferometern mit wenigstens zwei Referenzarmen ist nun dieses eine rotierende Weglängenvariationselement wirksames Teil in
30 den wenigstens beiden Referenzarmen, wobei die durch das Weglängenvariationsele-

ment erzeugten Weglängenänderungen vorzugsweise über gleichlange Bereiche laufen. Die Strahlen der beiden Referenzarme werden nun nicht parallel sondern derart in einem Versetzungswinkel (d.h. schräg) zueinander auf dieses eine Weglängenvariationselement geführt, dass die Weglängenvariation zuerst in dem einen Referenzarm und
5 dann in dem anderen Referenzarm wirkt. Durch diese aufeinander folgende Wirkung sind die der Schichtvorder- und der Schichthinterseite (bzw. einem Abstandsanfang und einem Abstandsende) entsprechenden Interferenzen einwandfrei voneinander zu trennen, da sie immer zeitlich aufeinander folgend auftreten. Die Ausrichtung der wenigstens beiden Referenzarme und des rotierenden Weglängenvariationselements können nun
10 noch derart vorgenommen werden, dass zur Trennung der beiden Signale aus den wenigstens beiden Referenzarmen ein Unterbruch entsteht, in welchem keine Strahlungsreflexion in den Referenzarmen über einen vorgegebenen Zeitraum eintritt.

Vorzugsweise ist die Rotationsachse des Wegvariationselements parallel zu den planen Mantelflächen angeordnet, wobei der bzw. jeder Referenzstrahl senkrecht zur Rotationsachse (d.h. in einer senkrecht zur Rotationsachse stehenden geometrischen Ebene) auf
15 die betreffende Mantelfläche trifft. Es muss nicht jeder Referenzstrahl derartig geführt werden; es sind auch schräge (d.h. von 90° verschiedene) Auftreffwinkel möglich, wodurch die Weglängenvariationslänge verlängerbar wäre. Die Ermittlung der zu erreichenden Weglängenvariationen sowie deren möglichst linear über dem Drehwinkel verlaufenden Weglängenänderung ist jedoch bei zur Achse senkrechter Anordnung am
20 einfachsten zu konstruieren und zu berechnen.

Die Strahlungen im Mess- sowie in den Referenzarmen werden möglichst immer in Strahlungsleitern geführt. Lediglich vor und hinter dem Wegvariationselement sowie dem Messobjekt und anderen optischen Komponenten muss eine Aus- bzw. Einkopplung in
25 Strahlungsleiter erfolgen. Die Verwendung von Strahlungsleitern auf möglichst dem gesamten Weg im Messarm und den Wegen in den Referenzarmen gestattet einen robusten und störungsfreien Aufbau der Vorrichtung. In der untenstehenden Beschreibung wird somit immer von einem Strahl gesprochen, wenn es sich um nicht in einem Strahlungsleiter geführte, und somit freie Raumstrahlung handelt, welche eben eine Strahlkonfiguration aufweist; in den Strahlungsleitern wird von Strahlung gesprochen.
30

Um ausgeprägte Interferenzsignale auch bei nur schwach reflektierenden Ober- bzw. Unterseiten der Schichten im Messarm zu erhalten, wird man die Messstrahlung im Messarm auf die Schichtober- bzw. -unterseite fokussieren. Die Messmethode ist sehr empfindlich; es sollten wenigstens $10^{-4}\%$ der jeweils auf die Schichtober- oder -unter-

seite fallenden Strahlungsintensität reflektiert werden. Diese Fokussierung muss jedoch synchronisiert bzw. periodisch mit der Rotation des Weglängenvariationselements erfolgen. D. h. immer dann, wenn beispielsweise der eine Referenzarm zusammen mit dem Weglängenvariationselement die Schichtoberseite ausmisst, muss auch der Messstrahl
5 auf die Schichtoberseite fokussiert werden, und wenn dann anschliessend der andere Referenzarm die Schichtunterseite ausmisst, muss der Messstrahl auf die Schichtunterseite fokussiert sein.

Es sei hierzu bemerkt, dass das in der EP 0 877 913 im Detail beschriebene Wegvariationselement einen quadratischen Querschnitt hat und beispielsweise mit einer Rotationsfrequenz von 2,5 Hz betrieben wird, wobei dann, wie unten beschrieben ist, sich eine
10 Umschaltfrequenz für die Fokuspunkte bei lediglich zwei Referenzarmen von 20 Hz ergibt.

Anstelle eines quadratischen Querschnitts, in dem die Referenzstrahlung verläuft, können selbstverständlich auch andere regelmässige Vielecke als Querschnitt verwendet
15 werden. Neben regelmässigen Vielecken als Querschnitt können auch analog zur DE 34 46 014 sternförmige Querschnitte mit Aussenverspiegelung verwendet werden.

Den Querschnitt wird man in der Regel als regelmässiges Vieleck ausbilden, muss es aber nicht. Es können auch unregelmässige Vielecke verwendet werden. In diesem Fall ist jedoch ein dem Grundweg des Referenzarms überlagerter Variationsweg je nach
20 Strahlungseintritt durch eine bestimmte Vieleckfläche unterschiedlich lang, was nicht unbedingt hinderlich ist, da die jeweilige Variationsweglänge abgespeichert mit dem jeweiligen Drehwinkel verknüpft ist. Analog kann auch ein unregelmässiger Stern der DE 34 46 014 verwendet werden.

Eine Fokuspunktverschiebung kann nun durch eine entsprechende Verschiebung einer
25 Fokussierlinse erfolgen. Ein Verschieben einer Linse hat nun den Nachteil, dass die Linse genau auf der Stralachse verschoben werden muss, ansonsten ergibt sich eine laterale Verschiebung (Verkipfung) zwischen den Messpunkten auf der Schichtober- und der -unterseite; es würden „schräge“ Schichtdicken gemessen.

Es wird hier nun vorgeschlagen, nicht die Fokussierlinse zu verschieben, sondern in den
30 nicht parallelen Strahlengang vor oder hinter einer entsprechenden Fokussierlinse ein transparentes Material mit vorgegebener Dicke und mit vorgegebenem Brechungsindex einzubringen. Ist das Material im Strahlengang eingebracht, ergibt sich ein verschobener Fokusort gegenüber aus dem Strahlengang entferntem Material. Durch den Strahlen-

gang könnte nun ein transparenter „Kamm“ mit planparallelen Kammzinken mit entsprechender Geschwindigkeit geschoben werden, wobei die Kammzinken dann eine Fokuspunktlage und die Zwischenräume eine andere verschobene Fokuspunktlage definieren würden. Sind drei und mehr unterschiedliche Fokuspunkte notwendig könnten die
5 Kammzinken gestuft auch mit unterschiedlichen Dicken und jeweils planparallelen Vorder- und Rückseiten ausgebildet werden.

Die Verwendung einer linearen Verschiebung hat jedoch den Nachteil, dass der Kamm, nach dem er einmal durchgelaufen ist, in die entgegen gesetzte Richtung mit einer entsprechenden Beschleunigung im Umkehrpunkt bewegt werden muss, was unterschiedliche
10 Zinkenbreiten und –abstände bewirken würde. Man wird deshalb in vorteilhafter Weise für eine schnelle Fokuspunktverschiebung eine rotierende Scheibe mit einer Rechteckzahnung verwenden, wobei die Zahnbereiche transparent mit entsprechendem Brechungsindex und mit entsprechender Dicke ausgewählt sind.

Die oben geschilderte Dickenbestimmung lässt sich, wie beschrieben, durchführen. Oftmals sind die auszumessenden Schichten jedoch nicht plan. Ein typisches Beispiel hierfür ist die Cornea des menschlichen Auges. Für eine Augenbehandlung ist es nun von
15 besonderem Wert neben der Augenlänge, der Dicke der Cornea bzw. der Augenlinse von letzteren gleichzeitig die Oberflächenkrümmung zu ermitteln.

Um neben der oben geschilderten einfachen linearen Messungen (z. B. Dickenmessung) gleichzeitig auch noch die Topografie als weiteren geometrischen Wert bestimmen zu können, wird vor dem auszumessenden Gegenstand, hier dem Auge, eine optische Struktur, hervorgerufen durch unterschiedliche Leuchtdichten, verwendet. Die
20 Strahlung dieser Struktur wird von der Augenoberfläche reflektiert, dann abgebildet und die Abbildung ausgewertet. Da die vor dem Gegenstand angeordnete, in der Regel flächige Struktur bekannt ist, kann aus der Abbildung auf die Krümmung geschlossen werden.
25

Die Ermittlung der Topografie wie auch die Ermittlung von Schichtdicken bzw. Längen erfolgt optisch. Es ist nun darauf zu achten, dass die für die optischen Verfahren verwendeten Strahlungen sich nicht gegenseitig stören. Man könnte nun für die beiden Ermittlungsverfahren den Strahlungen unterschiedliche Modulationsfrequenzen aufmodulieren oder mit unterschiedlicher Polarisierung arbeiten. Vorzugsweise wird jedoch mit unterschiedlichen Strahlungswellenlängen arbeiten. Um Strahlen unterschiedlicher Wellenlängen überlagern zu können, wird mit einem wellenlängenselektiven Spiegel gearbeitet, der die eine Strahlung reflektierend umlenkt und die andere Strahlung möglichst ohne
30

Verluste transmittiert. Vorzugsweise wird man den Messstrahl des Michelson-Interferometers reflektierend umlenken und die Strahlung zur Ermittlung der Topographie transmittieren lassen. Selbstverständlich könnte auch umgekehrt verfahren werden.

Die vor der auszumessenden Oberfläche anzuordnende, optische Struktur kann eine seit langem bekannte Placido-Scheibe (Placido disc) sein. Vorzugsweise wird man jedoch in einer vorgegebenen Struktur angeordnete Strahlungsquellen verwenden. Wie aus der räumlichen Struktur der Lichtquellen dann auf die Oberflächenkrümmung zurück geschlossen werden kann, ist beispielsweise in der DE 43 25 494, der US 5,325,134, der DD 251 497, der US 5,684,562, in der Veröffentlichung von M. R. Morelande et al., „Automatic Estimation of the Corneal Limbus in Videokeratooscopy“, IEEE Trans. on Biomedical Eng., Vol. 49, No. 12, Dec.2002, S. 1617-1625 bzw. S.A. Klein, „ Corneal Topography Reconstruction Algorithm that Avoids the Skew Ray Ambiguity and the Skew Ray Error“, Optometry and Vision Sci., Vol. 74, No.11, Nov. 1997, S. 945-962 beschrieben.

Vorzugsweise wird man als Strahlungsquellen LEDs verwenden. Um bei der Auswertung einen Schwerpunkt des Strahlungs(Licht-)fleckes gut bestimmen zu können, kann den LEDs eine Streuscheibe im Strahlengang vorgeschaltet werden. Man kann zudem LEDs mit unterschiedlichen Wellenlängen verwenden, um z. B. bei stark deformierten Hornhäuten, bei deren Messung sich mehrere LED-Abbildungen überlappen könnten, eine eindeutige Zuordnung der LEDs zu ihren Bildern erhalten. Die Verwendung einer Streuscheibe hat den weiteren Vorteil, dass LEDs mit einer grösseren Strahlungs-(Leucht-)dichte als ohne Streuscheibe verwendet werden können.

Anstatt das Michelson-Interferometer als optischen Zeitraum-Kohärenztomographen (TDOCT) zu betreiben, kann es auch umgebaut als optischer Spektralraum-Kohärenztomograph (SDOCT) betrieben werden. Ein SDOCT ist ein sehr schnelles Messinstrument, es eignet sich somit insbesondere zur Verarbeitung von vielen Messpunkten, welche z. B. bei der Bestimmung einer Topographie oder einer dreidimensionalen Tomographie anfallen. Anstelle des oben skizzierten Einsatzes von mehreren LED-Strahlungsquellen, kann somit, wie unten ausgeführt ist, eine Topographie auch mit SDOCT ermittelt werden.

Weitere Ausführungsvariationen zur Erfindung und deren Vorteile ergeben sich aus dem nachfolgenden Text.

Kurze Beschreibung der Zeichnungen

Nachfolgend werden Beispiele der erfindungsgemässen Vorrichtung und des erfindungsgemässen Verfahrens anhand von Zeichnungen näher erläutert. Es zeigen:

- 5 Fig. 1 eine schematische Darstellung einer erfindungsgemässen Vorrichtung zur Ermittlung von Dicken bzw. Weglängen in optisch transparenten bzw. diffusiven Materialien,
- Fig. 2a–c ein um eine Rotationsachse rotierbares Weglängenvariationselement der in **Figur 1** dargestellten Vorrichtung,
- 10 Fig. 3 eine skizzenhafte Darstellung eines Messkopfes der in **Figur 1** dargestellten Vorrichtung,
- Fig. 4 eine Fokuspunktverschiebungseinheit als rotierende Scheibe zur Verstellung des Fokuspunktes eines Messstrahls der in **Figur 1** dargestellten Vorrichtung,
- 15 Fig. 5a-d eine Ausführungsvariante der in **Figur 4** dargestellten Fokuspunktverschiebungseinheit, welche aus zwei rotierenden Scheiben zusammengesetzt ist, wobei,
- Fig. 5a eine Draufsicht auf die eine Scheibe,
- Fig. 5b eine Draufsicht auf die andere Scheibe,
- 20 Fig. 5c eine Draufsicht auf die aus zwei Schiebern bestehende Fokuspunktverschiebeeinheit und
- Fig. 5d eine Seitenansicht der in Figur 5c dargestellten Einheit zeigen,
- Fig. 6 eine Draufsicht auf eine optische Struktureinheit des in **Figur 3** dargestellten Messkopfes,
- 25 Fig. 7 eine Draufsicht auf eine Variante einer optischen Struktureinheit, welche zur Bestimmung von peripheren, intraokularen Distanzen, Längen oder Dicken verwendet werden kann,
- Fig. 8 eine Draufsicht auf eine weitere Variante einer optischen Struktureinheit,
- Fig. 9 eine schematische Darstellung einer Variante zu dem in den **Figuren 1, 2a, 2b** und **2c** dargestellten Weglängenvariationselement,

Fig. 10 eine weitere Variante zu dem in den **Figuren 1, 2a, 2b** und **2c** dargestellten Weglängenvariationselement,

Fig. 11 eine Variante zu der in **Figur 1** dargestellten Vorrichtung, bei der zusätzlich zur Ermittlung von Dicken bzw. Weglängen mit einem optischen Zeitraum-Kohärenztomographen eine Topographie eine zwei- oder eine dreidimensionale Tomographie mit einem optischen Spektralraumtomographen ermittelbar ist und

Fig. 12 a-b eine schematische Darstellung der Messung der Lage einer IOL.

Wege zur Ausführung der Erfindung

10 In **Figur 1** ist ein Ausführungsbeispiel der erfindungsgemässen Vorrichtung mit einer "Michelson-Interferometer"-artigen optischen Anordnung dargestellt. Die Vorrichtung hat in der "Michelson-Interferometer"-artigen optischen Anordnung eine Strahlungsquelle **1**, deren Strahlung eine kurze Kohärenzlänge hat. Die Kohärenzlänge ist wesentlich kürzer als die auszumessenden Dicken und Weglängen, und liegt im Bereich von 2 μm bis
15 100 μm . Wobei normalerweise in einem Bereich von 10 μm bis 20 μm gearbeitet wird. Je kürzer die Kohärenzlänge desto genauer kann gemessen werden. Man wird deshalb eine Strahlungsquelle **1** mit einer möglichst breitbandigen Ausgangsstrahlung wählen. Als Strahlungsquelle **1** kann eine Superlumineszenzdiode (SLD), eine Licht emittierende Diode (Light Emitting Diode LED), eine Weisslichtquelle bzw. eine Lichtquelle mit verstärkter spontaner Emission (Amplified Spontaneous Emission Lichtquelle (ASE), z. B. die Strahlung eines Dioden gepumpten Festkörpers) verwendet werden. Diese Strahlung
20 wird in eine Monomode-Faser **3a** eingekoppelt.

Die Monomodefaser **3a** wird zu einem Strahlungsabschwächer **5** geführt. Der Strahlungsabschwächer **5** kann z. B. eine Verlustspaltung zwischen zwei nicht dargestellten
25 Monomodefasern sein. Mit dem Strahlungsabschwächer **5** kann eine Abschwächung der von den unten beschriebenen Referenzarmen und vom Messarm in Richtung zur Strahlungsquelle **1** zurückreflektierten Strahlung vorgenommen werden. In die Strahlungsquelle **1** zurückreflektierte Strahlung könnte beispielsweise bei einer SLD, einer ASE oder bei einem Dioden gepumpten Festkörper das Emissionsverhalten negativ beeinflussen. Der Strahlungsabschwächer **5** dient somit zur Minimierung dieses negativen
30 Einflusses. Vom Strahlungsabschwächer **5** wird die nun eventuell abgeschwächte Strahlung der Strahlungsquelle **1** in eine Monomodefaser **3b** zu einem Polarisationskontrol-

ler 7 geführt. Mit Hilfe des Polarisationskontrollers 7 wird der Polarisationszustand der Strahlung eingestellt, welche den Kontroller durchläuft. Der Strahlungsabschwächer 5 und der Polarisationskontroller 7 sind optional und sind für die erfindungsgemäße Vorrichtung nicht zwingend notwendig.

- 5 Die Strahlung der Strahlungsquelle 1 wird weiter mittels einer Monomodefaser 3c auf einen 3 x 3 - Monomodefaserkoppler 9 geführt. Mit Hilfe des Monomodefaserkopplers 9 wird die Strahlung der Strahlungsquelle 1 in zwei Referenzarme 11 und 12 und in einen Messarm 13 aufgeteilt. Die beiden restlichen Ausgänge des 3 x 3 – Monomodefaserkopplers 9 sind mittels jeweils einem Strahlungsleiter 10a und 10b mit je einem Detektor 15 bzw. 16 verbunden, welcher seinerseits signaltechnisch mit einer Detektionselektronik 17 verbunden ist. Der Detektor 15 stellt Interferenzen der vom Messobjekt 19 reflektierten Strahlung mit reflektierter Strahlung im Referenzarm 12 fest. Der Detektor 16 misst Interferenzen der vom Messobjekt 19 reflektierten Strahlung mit reflektierter Strahlung im Referenzarm 11.
- 15 Der Messarm 13 hat eine Monomodefaser 14a, deren eines Ende mit dem Monomodefaserkoppler 9 verbunden ist. Das andere Ende der Monomodefaser 14a ist mit einem Polarisationskontroller 18 verbunden, von dem eine weitere Monomodefaser 14b zu einem unten im Detail beschriebenen Messkopf 20 führt. Vom Messkopf 20 geht dann die Strahlung als Freiraumstrahl 22 zum Messobjekt 19 (hier einem Auge).
- 20 Die Referenzarme 11 und 12 haben entsprechend einer im oder am Messobjekt 19 auszumessenden Schichtdicke bzw. Länge eine unterschiedliche optische Grundweglänge. In beiden Referenzarmen 11 und 12 wirkt ein und dasselbe, um eine Elementachse 21 rotierbares Weglängenvariationselement 23.

Die Referenzarme 11 und 12 sind über je eine Monomodefaser 25a bzw. 26a mit dem 25 3 x 3 - Monomodefaserkoppler 9 verbunden. Das jeweils dem Monomodefaserkoppler 9 abgewandte Ende der Monomodefaser 25a bzw. 26a ist mit einem Polarisationskontroller 27 bzw. 29 verbunden. Vom jeweiligen Polarisationskontroller 27 bzw. 29 führt je eine Monomodefaser 25b bzw. 26b zu einer optischen Einheit 31 bzw. 32, welche die in der Monomodefaser 25b bzw. 26b u. a. geführte Strahlung jeweils in einen Freiraumstrahl 33a bzw. 35a verwandelt. Die beiden Freiraumstrahlen 33a und 35a werden unter 30 einem gegenseitigen Versetzungswinkel δ_w (also nicht parallel) auf das Weglängenvariationselement 23 geführt und werden vom Weglängenvariationselement 23, sofern die-

ses, wie unten beschrieben, eine bestimmte Drehposition hat, auf jeweils einen Spiegel **37** bzw. **39** in der optischen Einheit **31** bzw. **32** geführt und von diesem wieder über das Weglängenvariationselement **23** zurück in die Monomodefaser **25b** bzw. **26b** reflektiert. Der Versetzungswinkel δ_w ist bis eine Winkeltoleranz halb so gross wie ein Eckenwinkel γ des Weglängenvariationselements **23**. Die gewählte Winkeltoleranz beeinflusst die zur Verfügung stehende Weglängenvariationslänge. Je grösser die Winkeltoleranz gewählt wird, desto kleiner wird die Weglängenvariationslänge. Da in dem hier ausgesuchten Beispiel ein quadratischer Querschnitt des Weglängenvariationselements **23** gewählt worden ist, ist der Versetzungswinkel δ_w von 45° . Das hier gewählte Weglängenvariati-

5
10

onselement **23** hat einen Brechungsindex von 1,5 und eine Kantenbreite ℓ_k von beispielsweise 40 mm; man wird deshalb mit einer Winkeltoleranz von $\pm 5^\circ$ arbeiten.

Jede optische Einheit **31** bzw. **32** hat eine Ferrule **41a** bzw. **41b** zum Fassen des dem Polarisationskontroller **27** bzw. **29** abgewandten Endes der Monomodefaser **25b** bzw. **26b**. Nach der Ferrule **41a** bzw. **41b** breitet sich die in der Monomodefaser **25b** bzw. **26b** geführte Strahlung als Freiraumstrahl **42a** bzw. **42b** aus und wird mittels einer Linseneinheit **43a** bzw. **43b** zum Freiraumstrahl **33a** bzw. **35a** kollimiert. Die Linseneinheit **43a** bzw. **43b** kann nun ein Achromat, eine Einzellinse oder auch ein Linsensystem sein. Der vom jeweiligen Spiegel **37** bzw. **39** rückreflektierte Strahl wird von der Linseneinheit **43a** bzw. **43b** über die Ferrule **41a** bzw. **41b** in die Monomodefaser **25b** bzw. **26b** eingekoppelt.

15
20

In den **Figuren 2a** bis **2c** ist das Weglängenvariationselement **23**, wie es u.a. in der EP 0 877 913 beschrieben ist, in unterschiedlichen Drehwinkelstellungen in einer vergrösserten Darstellung gezeigt. Die nachfolgenden Betrachtungen beziehen sich auf den in **Figur 1** gezeigten Referenzarm **12** und dessen Freiraumstrahl **35a** und den dort gezeigten Spiegel **39** in der optischen Einheit **32**. Das Element **23** ist durch einen nicht dargestellten Antrieb in Rotation, gemäss Pfeil **45**, versetzbar. Eine in den **Figuren 2a** bis **2c** dargestellte, senkrecht zur Elementachse **21** liegende Querschnittsfläche **46** des Elements **23**, in welcher der zweite Referenzstrahl **35b**, **35c** und **35d** im Element **23** zu liegen kommt, weist vier Ecken **47a** bis **47d** mit einem Eckenwinkel γ von 90° auf und ist

25
30

in dem hier ausgewählten Beschreibungsbeispiel quadratisch ausgebildet, d. h. das Element **23** ist ein gerader Zylinder mit quadratischer Grund- bzw. Querschnittsfläche. Die Rotationsachse **21** ist mit der Achse des Zylinders identisch. Jede Zylindermantelfläche **49a** bis **49d** des Elements **23** ist mit einer teilweisen Beschichtung **50a** bis **50d** ver-

sehen, welche derart ausgewählt ist, dass sie den im Element **23** befindlichen Teilstrahl **35c** bzw. den rückreflektierten Teilstrahlen **35d** des Referenzstrahls des zweiten Referenzarms **12** optimal reflektiert. Am Reflexionsort **51** des Strahls **35b** bzw. des rückreflektierten Strahls **35c** wird an der hier beispielsweise gezeichneten Wand **49b** keine
5 Reflexionsbeschichtung benötigt, da hier Totalreflexion erfolgt. Die Beschichtungen **50a** bis **50d** beginnen jeweils an den Ecken (Kanten) **47a** bis **47d** und erstrecken sich über eine Distanz **a** (**Fig. 2a**) in die betreffende Seitenfläche **49a** bis **49d** hinein. Ausgehend von jeder Ecke **47a** bis **47d** ist jeweils nur eine der beiden anstossenden Seiten beschichtet, und zwar jeweils nur immer diejenige, auf der der reflektierte mit dem einfallenden Strahl einen spitzen Winkel β bilden, siehe hierzu insbesondere **Figur 2c**.
10

Bei der in **Figur 2a** dargestellten Augenblicksstellung des rotierenden Elements **23** ist dessen Seite **49a** parallel zur Oberfläche des Spiegels (Reflektors) **39** stehend dargestellt. Der in das Element **23** eintretende Referenzstrahl **35a** ist derart geführt, dass er gerade an der in den **Figuren 2a, 2b** und **2c** dargestellten rechten Kante **53** des Spiegels **39** vorbeiführbar ist. Ein Abstand **e** von der Kante **53** des Spiegels **39** (bzw. **37**) ist
15 gradeseo gross gewählt, dass er nur geringfügig kleiner als die halbe Würfelkantenbreite l_k ist. Bei dem hier gewählten Zahlenbeispiel mit einer Flächenbreite l_k von 30 mm (gegenüber den oben genannten 40 mm), wird der Referenzstrahl **35a** in einem Abstand **e** von 13 mm von der zentralen Rotationsachse **21** und in einem Abstand von etwa 1 mm von der rechten Kante **53** des Spiegels **39** (bzw. **37**) entfernt eingestrahlt.
20

Figur 2b zeigt das Element **23** gegenüber der Darstellung in **Figur 2a** in einer um einen beispielsweise Winkel α von 20° verdreht. Der Strahl **35a** dringt unter Brechung als Strahl **35b** in das transparente Medium des Elements **23** ein und wird an der Fläche **49b** total reflektiert. Der auftreffende und der reflektierte Strahl **35b** und **35c** bilden miteinander einen stumpfen Winkel. Der reflektierte Strahl **35c** trifft auf die Innenseite der Fläche **50c** und wird dort durch den beschichteten Bereich **50c** als Strahl **35d** in Richtung Fläche **49a** parallel zum Strahl **35b** reflektiert. Die beiden Strahlen **35c** und **35d** bilden einen spitzen Winkel β miteinander. Der auf die Fläche **49a** auftreffende Strahl **35d** wird gebrochen, trifft als Strahl **35e** senkrecht auf den Spiegel **39** und wird dort unter einer
25 annähernd 100%-igen Reflexion wieder in sich selbst zurück reflektiert, so dass der am Spiegel **39** reflektierte Strahl letztendlich nach Durchlaufen des Weglängenvariationselements **23** in dieselbe Richtung wie der eintretende Strahl **35a** dieses verlässt. Wie
30

aus einem Vergleich der **Figuren 2b** und **2c** zu ersehen ist, wandert der Reflexionspunkt **54** des Strahls **35e** auf dem Spiegel **39** (bzw. **37**) hin und her.

Die Weglängenänderung Δs infolge der Rotation des Elements **23** setzt sich nun aus dem doppelten Weg der sich ändernden Weglängen der Strahlen **35a** bis **35e** zusammen. Für die Strahlen **35b** bis **35d** ist zu beachten, dass sich deren Weglängen durch den Brechungsindex n des Mediums, in dem sie laufen, verlängern. Gemäss **Figur 2c** ist die Weglängenänderung Δs abhängig vom Drehwinkel α , vom Abstand des Strahleintritts e , vom Brechungsindex n und der Flächenbreite ℓ_k der Flächen **49a** bis **49d**. Die Berechnung der Weglängenänderung Δs über dem Drehwinkel α ist in der EP 0 877 913 abgeleitet und ergibt über einen Drehwinkel von 45° eine im Wesentlichen lineare Weglängenänderung.

Um die **Figuren 2a** bis **2c** nicht zu überladen, ist lediglich der Freiraumstrahl **33a** des zweiten Referenzarmes **11** dargestellt. D. h. der Strahlverlauf der nicht im Detail gezeichneten Strahlen **33a** bis **33d** entspricht dem Strahlverlauf der Strahlen **35a** bis **35d** unter einem gleichen Auftreffwinkel auf die entsprechende Zylindermantelfläche **49a** bis **49d** für den Strahl **33a**. Ein Strahlverlauf der Strahlen **33a** bis **33d** in der in **Figur 2a** gezeigten Position des Elements **23** ist mit dem Strahlverlauf der Strahlen **35a** bis **35d** in der **Figur 2c** gleichzusetzen. Er ergibt sich nach einer Drehung um den halben Eckenwinkel $\gamma/2$; die entsprechenden Teilstrahlen sind deshalb in runde Klammern gesetzt. Der Strahlenverlauf der Strahlen **35a** bis **35d** in **Figur 2c** würde dann einem Strahlenverlauf der Strahlen **33a** bis **33d** in **Figur 2a** entsprechen. Ein in der in **Figur 2b** gezeigten Elementposition auftreffender Strahl **33a** wird nicht mehr zum entsprechenden Spiegel **37** zurück reflektiert.

Die oben angeführten Daten beziehen sich auf ein Material des Weglängenvariationselementes, das bei der Strahlung der Strahlungsquelle einen Brechungsindex von etwa 1,5 hat. Wird ein Material mit höherem Brechungsindex verwendet, so kann die Beschichtungsbreite a der reflektierenden Beschichtungen **50a** bis **50d** verringert werden, damit die zeitlichen Messbereiche der Referenzarme auseinander gehalten werden können.

Die optischen Längen der Referenzarme **11** und **12** können derart ausgebildet werden, dass dadurch kein nahtloses örtliches Aneinanderfügen der zwei von den Referenzarmen **11** und **12** zur Verfügung gestellten Messbereiche entsteht. Wird der für den hinteren Augenabschnitt zuständige Referenzarm genug lang ausgebildet, so beginnt der

Messbereich des für den hinteren Augenabschnitt zuständigen Referenzarmes in einer Position, die um eine vorgegebene Weglänge näher an der Retina liegt als die am tiefsten im Auge **19** liegende Position des für den vorderen Augenabschnitt zuständigen Referenzarmes. Mit dieser Massnahme entsteht eine Scanlücke zwischen dem vorderen und dem hinteren Tiefenscan. D. h., es gibt eine vorgegebene (konstruktiv einstellbare) Strecke zwischen einem vorderen Augenabschnitt und einem hinteren Augenabschnitt, auf der keine reflektierenden Strukturen ausgemessen werden können.

Diese Scanlücke wird man beim menschlichen Auge in der Grössenordnung von ca. 4 mm bis 10 mm wählen. Bei der Aufnahme des Tiefenscans von der Cornea über die Augenlinse bis zur Netzhaut führt eine derartige Scanlücke zu einem vernachlässigbaren minimalen Informationsverlust, weil diese Scanlücke in einen Augenbereich gelegt worden ist, in dem bei einer überwiegenden Anzahl von Patienten bzw. Normalprobanden keine auszumessende Augenstruktur vorhanden ist; die Scanlücke ist hinter die Linsenfläche im vordersten Teil des Glaskörpers gelegt. Ein Vorteil der Scanlücke besteht darin, dass das um eine Achse rotierende Weglängenvariationselement **23** eine um die der Scanlücke entsprechende Weglänge kürzere Scantiefe zur Verfügung stellen muss. Es kann deshalb ein Weglängenvariationselement **23** mit einer kürzeren Seitenlänge **49a** bis **49d** verwendet werden, was eine höhere Empfindlichkeit bei gleicher Scangeschwindigkeit zur Folge hat.

Die in den beiden Referenzarmen **11** und **12** sowie im Messarm **13** angeordneten Polarisationskontroller **18**, **27** und **29** dienen zur Anpassung der Strahlungspolarisationen in den Armen **11**, **12** und **13**. Die optischen Weglängendifferenzen der beiden Referenzarme **11** und **12** werden immer so eingestellt, dass der Unterschied der Grundlaufzeiten der beiden Referenzarme **11** und **12** der Hälfte der maximal auszumessenden Längen, hier beispielsweise der Augenlänge, entspricht.

Sind die Differenzen der beiden Referenzarme grösser, können auch längere Distanzen ausgemessen werden, jedoch mit der Einschränkung, dass Reflexionen in einem dazwischen liegenden Bereich nicht detektiert werden können.

Zeitlich gesehen, fallen die beiden Interferenzen entsprechend der Rotationsgeschwindigkeit und der Anzahl Zylindermantelflächen des Weglängenvariationselements **23** sehr schnell hintereinander an. Da bei Abständen, Dickenmessungen, ... beim Stand der Technik immer zwei zeitlich gestaffelte Messungen vorzunehmen waren, liegt nun bei der Erfindung das Messergebnis derart schnell vor, dass Ortsverschiebungen des aus-

zumessenden Gegenstands die Messgenauigkeit nur unwesentlich beeinflussen. Der gerade geschilderte Vorteil ist bei Längenmessung an den Augen von Kindern, welche in der Regel nur schwer still zu stellen sind, von grossem Nutzen.

Den in **Figur 1** nicht näher beschriebenen Messkopf **20** zeigt **Figur 3** detaillierter. In den
5 Messkopf **20** tritt die Monomodefaser **14b** des Messarms **13** ein. Am Ende der Faser **14b** ist zur Halterung eine so genannte Ferrule **57** angeordnet. Die in der Faser **14b** geführte Strahlung tritt aus der Ferrule **57** entsprechend dem Faserkern mit einem vorgegebenen Öffnungswinkel aus und wird mit einer Fokussiereinheit **58**, welche eine Linseneinheit **59** aufweist, auf eine Vorderfläche einer Schicht, deren Dicke bestimmt werden soll, fokussiert. Als Schicht kann in dem hier gewählten Beispiel die Hornhaut des
10 Auges (Messobjekt **19**) vorgesehen sein. Wie bereits oben erwähnt, ist es bei der Schichtdickenbestimmung von Vorteil, wenn die Messstrahlung sowohl auf die Vorder- wie auch anschliessend auf die Rückseite fokussierbar ist. Soll nun auf die Rückseite der Schicht fokussiert werden, so wird zwischen der Ferrule **57** und der Linseneinheit **59**
15 eine planparallele Platte **61** mit vorgegebenem Brechungsindex n und vorgegebener Dicke d , als Teil der Fokussiereinheit **58** eingeschoben. Durch diese Platte **61** ergibt sich eine Bildversetzung v des Faserendes in der Ferrule **57** und somit auch eine Verschiebung des Fokuspunktes in der Tiefe des Objektes. Die Bildversetzung wird nun in Zusammenhang mit den optischen Abbildungsdaten der Linseneinheit **59** durch eine geeignete Wahl der Dicke d und des Brechungsindex n der planparallelen Platte **61** derart gewählt, dass das Faserende in der Ferrule **57** auf der Schichtrückseite, d. h. hier auf der Netzhaut (Augenrückseite) abgebildet wird. Ein Einbringen der Platte **61** in den Messstrahl **22** wird synchron mit dem oben beschriebenen Wegvariationselement **23** derart vorgenommen, dass eine Weglängenvariation gerade mittels demjenigen Referenzarm erfolgt, der für eine Bestimmung der Schichtvorderseite (\rightarrow keine Platte, d. h. herausgezogene Platte) bzw. für die Schichthinterseite (\rightarrow eingeschobene Platte) zuständig ist.
20
25

Da nun ein Hin- und Herschieben einer planparallelen Platte **61** mit einigen Schwierigkeiten verbunden ist, wird vorgeschlagen, statt dessen eine in **Figur 4** dargestellte, rotierende Scheibe **63** mit vorstehenden Randkreisringteilstücken **64** („Zahnung“), deren Scheibenseiten planparallel und transparent ausgebildet sind, zu verwenden. Die von der Ferrule **57** ausgehende Messstrahlung durchläuft nun bei der Messung der Schichtvorderseite einen der Zwischenräume **65** zwischen den Randkreisringteilstücken **64** und
30

beim Ausmessen der Schichtrückseite einen der Randkreisringteilstücke **64**. Die Drehbewegung der Scheibe **63** ist mit der Rotation des Weglängenvariationselements **23** über einen nicht dargestellten Antrieb gekoppelt.

5 Wie bereits eingangs erwähnt, ist es von Vorteil, wenn neben einer Bestimmung von Schichtdicken, insbesondere beim menschlichen Auge, zudem noch die Topographie als weiterer geometrischer Wert der betreffenden Schicht ermittelt werden kann. Zur Ermittlung der Topographie von Oberflächen kann der Messkopf **20**, wie ebenfalls in **Figur 3** gezeigt, zusätzliche Komponenten enthalten.

10 Vor der Oberfläche, deren Topographie, hier der Cornea **69**, ermittelt werden soll, wird eine optische Struktureinheit **70** mit Bereichen unterschiedlicher Leuchtdichte angeordnet. Die Reflexionen dieser Struktur auf der Hornhaut werden abgebildet und diese Abbildung ausgewertet. Da die Geometrie der Struktur bekannt ist, kann aus der Geometrie in der Abbildung, wie in der Einleitung ausgeführt ist, auf die Oberflächentopographie geschlossen werden.

15 Der Messstrahl **22** für die Schichtdickenbestimmung wird vorzugsweise mittig durch die Struktureinheit **70** geführt. Hierzu wird der Strahl **22** nach der Linseneinheit **59** mit einem wellenlängen-selektiv arbeitenden Spiegel **71** umgelenkt. Damit dieser Spiegel **71** wirken kann, werden für die Messstrahlung zur Schichtdickenbestimmung und für die Strahlung der Struktur unterschiedliche Wellenlängen verwendet. Der Spiegel **71** hat somit eine
20 Beschichtung, welche reflektierend für die Messstrahlung ist, jedoch (annähernd) verlustlos transmittierend für die „Strukturstrahlung“. In einer rückwärtigen Verlängerung definiert der Strahl **22** eine optische Achse **68** für die Abbildung der Reflexstrukturen auf der Corneaoberfläche **69**.

Zur Abbildung der von der Corneaoberfläche **69** reflektierten Struktur wird eine weitere
25 Linseneinheit **72** mit nachgeschalteter Blende verwendet, welche die Corneaoberfläche **69** auf die Bildebene eines Kamerachips **73** abbildet. Das Linsensystem **72** ist zwischen dem Spiegel **71** und dem Kamerachip **73** angeordnet. Damit die Messstrahlung des Strahls **22** die Topografieauswertung nicht stört, ist zwischen dem Spiegel **71** und dem Kamerachip **73** ein Sperrfilter **75** für die Messstrahlung angeordnet. Die Messstrahlung
30 kann für den Patienten gleichzeitig als Fixationsstrahlung zur Ruhigstellung des Auges verwendet werden. Der Kamerachip **73** ist mit einer Auswerteeinheit **74** verbunden, welche zudem auch mit der Detektionseinheit **17** verbunden ist. Die Auswerteein-

heit **74** ist Teil der bereits oben und noch nachfolgend beschriebenen Vorrichtung und dient zur Verarbeitung, Übermittlung und Darstellung sämtlicher Messdaten.

Eine beispielsweise Ausbildung **79** einer optischen Struktureinheit **70** ist in **Figur 6** dargestellt. Die Struktureinheit **79** hat 16 LEDs **80a** und **80b**, welche in zwei konzentrischen Ringen **82a** und **82b** zu je acht LEDs angeordnet sind. Die Winkeldifferenz zwischen zwei aufeinander folgenden LEDs beträgt 45° . Vorzugsweise strahlen diese LEDs im nicht oder kaum sichtbaren Infrarotbereich. In diesem Fall wird das Auge des Patienten nicht von unnötigen Lichtreizen abgelenkt. Es können auch mehr als zwei Ringe und auch mehr als acht LEDs pro Ring verwendet werden.

10 Zwei LEDs, deren geometrische Verbindungslinie durch das Zentrum **81** der Struktureinheit geht, erlauben die Messung eines mittleren Krümmungsradius` zwischen der Verbindungslinie der beiden LED-Abbildungen (=Messung eines Hornhautmeridians). Aus der Vielzahl von Hornhautkrümmungsradien der Meridiane interessieren bei der Anpassung der Brechkraft einer Intraokularlinse vor allem der steilste und der flachste Meridian bzw. der Mittelwert von beiden. Die Richtungen des steilsten und des flachsten Meridians müssen nicht unbedingt mit der Richtung eines der gemessenen Krümmungsradien übereinstimmen. Der flachste Krümmungsradius kann auch noch ein bisschen flacher sein als der grösste der gemessenen Krümmungsradien und der steilste Krümmungsradius kann auch noch ein bisschen kleiner als der steilste der gemessenen Krümmungsradien sein.

Es müssen wenigstens fünf LEDs vorhanden sein, damit der steilste und der flachste Meridian sowie den Achswinkel des flachen Meridians berechnet werden können. Bei der Messung der Krümmungsradien werden alle LEDs gleichzeitig ein- und ausgeschaltet.

25 Zwischen zwei beliebigen LEDs, deren Verbindungslinie nicht unbedingt durch das Zentrum **81** gehen müssen, kann ein mittlerer Krümmungsradius berechnet werden. Dieser mittlere Krümmungsradius tritt auf der Verbindungslinie zwischen den zwei entsprechenden LEDs auf. Mit der Anzahl der vorhandenen LEDs nimmt die Anzahl der messbaren Krümmungsradien pro Oberflächeneinheit zu. Mit einer genügend grossen Anzahl von LEDs kann eine Hornhauttopographie berechnet werden. Je grösser die Anzahl Messpunkte (=LED) desto genauer kann eine Topografie ermittelt werden. Es kann eine beliebige Anzahl von konzentrischen Ringen und eine beliebige Anzahl von LEDs pro Ring für die Messung der Hornhautradien verwendet werden. Auch kann eine beliebige An-

zahl von konzentrischen Ringen und eine beliebige Anzahl von LEDs pro Ring als Fixationsstrahler verwendet werden. Nach oben ist die Anzahl der verwendeten LEDs lediglich durch den Durchmesser des Rings und die Abmessungen der LEDs beschränkt.

Der Messstrahl **22** der Interferometeranordnung kann auch zur Distanzmessung zwischen der Vorrichtung und der Hornhautvorderfläche als Messobjekt **19** verwendet werden. Diese Distanz wird benötigt, wenn die Abstände zwischen den verschiedenen auf dem Kamerachip **73** abgebildeten LED-Flecken abhängig sind von der Distanz zwischen den LEDs und der auszumessenden Hornhautvorderfläche. Diese Distanzabhängigkeit tritt vor allem dann wesentlich in Erscheinung, wenn z. B. aus Kostengründen für die
5
10 Linseneinheit **72** keine telezentrische Linse verwendet wird. Die Distanzmessung erlaubt dann eine exaktere Berechnung der Hornhautkrümmungsradien als es ohne Distanzkenntnis möglich wäre. Die zu messende Distanz zur Hornhautvorderfläche wird entweder unter Verwendung des Referenzarmes **11** oder **12** bestimmt.

Da eine Packungsdichte von LEDs limitiert ist, (jede einzelne LED hat eine vorgegebene geometrische Ausdehnung), kann eine Lochmaske verwendet werden, die von hinten mit mehreren LEDs bestrahlt wird. Der Durchmesser der Löcher der Lochmaske kann wesentlich kleiner gewählt werden als die Ausdehnung jeder LED. Hierdurch kann eine grössere Anzahl von Leuchtpunkten erhalten werden. Die Lochmaske muss nicht unbedingt kreisrunde Löcher aufweisen; es können auch Linien vorhanden sein. Diese Linien
15
20 können als konzentrische Kreise sowie als eine Kombination von konzentrischen Kreisen und diese schneidende Strahlen ausgebildet sein.

Es kann auch, wie in **Figur 3** angedeutet ist, eine Streuscheibe **83** vor den LEDs platziert sein. Die Streuscheibe **83** erzeugt auf der auszumessenden Oberfläche einen Leuchtdichtefleck, dessen laterale Ausdehnung sich durch den Abstrahlwinkel der LED, der Dicke der Streuscheibe und dem Abstand zwischen Streuscheibe **83** und der betreffenden LED ergibt. Die Streuscheibe **83** ist nicht zwingend notwendig. Ist keine Streuscheibe **83** vorhanden, hat die auf dem Kamerachip abgebildete LED einen kleineren Durchmesser. Ein Nachteil von zu kleinen abgebildeten Durchmessern ist u. U. eine verringerte Genauigkeit der Bestimmung eines Schwerpunkts des abgebildeten Flecks. Ein
25
30 nur wenige Pixel aufweisender Fleck kann in der Regel weniger genau ausgemessen werden als ein eine grössere Anzahl Pixel aufweisender Fleck. Wird eine Streuscheibe **83** verwendet, können LEDs mit erhöhter Leuchtdichte verwendet werden, da dann die Bestrahlungsstärke auf dem Auge geringer ist.

Bei der in **Figur 6** gezeigten Struktureinheit **79** sind nicht oder kaum sichtbare Strahlung aussendende LEDs **80a** und **80b** verwendet worden. In **Figur 7** ist nun eine optische Struktureinheit **87** dargestellt, bei der zwischen vorzugsweise infrarot leuchtenden, radial angeordneten LEDs **89a** und **89b** weitere LEDs **90** angeordnet sind, welche im Sichtbaren leuchten. Wird nun eine dieser LEDs **90** angeschaltet, so wird dem Patienten ein peripherer Fixationspunkt angeboten. Fixiert nun der Patient auf diesen Lichtreiz, bewegt er die Augenachse auf diesen Punkt, wobei dann eine interferometrische Messung mit dem Messstrahl **22** von peripheren intraokularen Distanzen, Längen oder Dicken möglich ist. Im Gegensatz zu bekannten Vorrichtungen muss keine Verschwenkung der Anordnung vorgenommen werden.

Werden vier periphere Messungen mit dem Messstrahl **22** mit Hilfe von vier verschiedenen, zeitlich nacheinander eingeschalteten sichtbaren LEDs **90** (Fixations-LEDs) hintereinander durchgeführt, so lässt sich daraus die Verkippung einer implantierten intraokularen Linse (IOL) messen. Die **Figur 12** zeigt nur die Messung der horizontalen Verkippung mit zwei zeitlich nacheinander eingeschalteten horizontalen LEDs **90**. Kommt als Resultat der zwei gezeigten Messungen heraus, dass die Strecke DL ("Distanz links") nicht gleich der Strecke DR ("Distanz rechts") ist, so ist die IOL horizontal verkippert. Für die Messung der vertikalen Verkippung müssen zwei vertikale LEDs **90** zeitlich nacheinander eingeschaltet werden. Mit Hilfe der Kenntnis der Verkippung erhält der Arzt die Entscheidungsgrundlage, um eine verkipperte intraokulare Linse neu auszurichten

In **Figur 8** ist eine weitere Ausführungsvariante **91** zu den optischen Struktureinheiten **70** und **87** dargestellt. Mit dieser Struktureinheit **91** kann nicht nur die Hornhautvorderfläche, sondern auch die Hornhaurückfläche, sowie die Linsenvorderfläche und die Linsenrückfläche ausgemessen werden. In dem hier gezeigten Beispiel sind in einer zu einem Zentrum **93** radialen sternförmigen Anordnung von acht Ästen **94a** bis **94h** jeweils vier auf coaxialen Kreisen **95a** bis **95d** angeordnete LEDs **97** vorhanden. Die LEDs eines Astes **94a** bis **94h** sind jeweils von innen nach aussen laufend mit dem Buchstaben des Astes zusätzlich gekennzeichnet. Eine im Ast **94a** zu innerst liegende LED hat somit die Kennzeichnung **94a₁** und eine zu äusserst liegende LED die Kennzeichnung **97a₄**. Über jedem der Äste **94a** bis **94h** ist jeweils eine Zylinderlinse **99** angeordnet. Die acht Zylinderlinsen **99** fokussieren die LEDs **97** auf einen Bereich zwischen Hornhaut und Augenlinse. Werden nun eine Reihe von LEDs, z. B. die LEDs **97a₄** bis **97a₁** und **97e₁** bis **97e₄** eingeschaltet, welche auf einer das Zentrum **93** schneidenden Verbindungslinie

liegen, so entsteht ein Lichtspalt auf dem Auge. Mit einer kurzen Zeitverzögerung werden dann die LEDs **97a₄** bis **97a₁** und **97e₁** bis **97e₄** ausgeschaltet und dann die LEDs **97b₄** bis **97b₁** und **97f₁** bis **97f₄** eingeschaltet. Anschliessend werden die LEDs **97b₄** bis **97b₁** und **97f₁** bis **97f₄** aus- und die LEDs **97c₄** bis **97c₁** und **97g₁** bis **97g₄** eingeschaltet usw. Hierdurch entsteht ein um das Zentrum **93** rotierender Lichtspalt. Eine analog zu der in **Figur 3** zentral angeordnete Kamera betrachtet dann eine Abfolge der Lichtspalte, die von den Zylinderlinsen **99** in das Auge projiziert werden. Zwei nicht dargestellte, peripher angeordnete Kameras (z. B. eine vertikal, eine horizontal angeordnet) erlaubt eine zusätzliche Messung der Lichtspalte. Aus den auf dem Kamerachips erscheinenden Positionen der Lichtspalte lässt sich die Topographie der Hornhau rückfläche, der Vorderkammertiefe (dreidimensional), die Topographie der Linsenvorderfläche und der Linsenrückfläche, die Linsendicke (dreidimensional) und die Linsentrübung berechnen. Die oben beschriebene Interferometeranordnung (siehe **Figur 3**) wird verwendet, um die Distanz zu messen, die bei der Erzeugung der Kamerabilder vorgelegen hat. Die von der Kamera dann gemessenen Oberflächen werden noch mit der gemessenen Distanz korrigiert.

Gegenüber der Darstellung in **Figur 8** kann auch eine andere Anzahl von LEDs verwendet werden. Zwischen den LEDs und den Zylinderlinsen kann zusätzlich ein nicht dargestellter, vorzugsweise linear wirkender Diffusor angeordnet werden, um die Lichtflecke der punktförmigen LEDs ineinander fliessen zu lassen. Es sind hierdurch homogen ausgeleuchtete Lichtspalte erzeugbar.

Anstatt die LEDs nacheinander ein- und auszuschalten, kann auch ein rotierender mechanischer Spalt über sämtlichen eingeschalteten LEDs bewegt werden.

Anstelle der acht in **Figur 8** gezeigten Zylinderlinsen **99** kann auch lediglich ein, nicht dargestelltes, zwei miteinander fluchtende Zylinderlinsen aufweisendes Zylinderlinsenpaar, welches um das Zentrum **93** rotiert, verwendet werden.

Die in **Figur 4** dargestellte, Kreisringteilstücke aufweisende rotierende Scheibe **63** dient zur Umschaltung der Fokussierung der Messstrahlung auf zwei unterschiedliche Fokuspunkte. Soll nun eine Umschaltung auf mehr als zwei Fokuspunkte erfolgen, so müssten je nach Anzahl umzuschaltender Fokuspunkte die Segmente eine entsprechende Anzahl planparalleler Stufungen aufweisen. Eine derartige Stufung ist nur schwer und aufwendig herstellbar. Um eine derartige Stufung zu erhalten, wird man deshalb mehrere mit entsprechenden kreisringteilstückartigen Ausnehmungen versehene planparallele Schei-

ben **131** und **132** zu einer Fokuspunktverschiebeeinrichtung **130**, wie in den **Figuren 5a** bis **5d** dargestellt, aufeinander legen. Die in **Figur 5a** skizzierte Scheibe **131** entspricht nun beispielsweise in ihrer Kontur der in **Figur 4** gezeigten rotierenden, planparallelen Scheibe **63**, wobei die Dicke eine andere sein könnte. Die Scheibe **131** hat beispielsweise bei einer Augenuntersuchung den Zweck während beispielsweise des Wirkens des Referenzarmes **11**, den Fokus von der Hornhautoberfläche zur Retina zu verschieben und weist die Dicke b_1 auf. Auf die Hornhaut würde immer dann fokussiert, wenn der Messstrahl durch die freien Kreisringteilstücke **133** hindurchtritt und auf die Retina würde fokussiert, wenn der Strahl durch die transparenten Materialkreisrandringteilstücke **135** hindurchtritt. Vorgängig gesagtes gilt, sofern der Abstand Ferrule **57** – Linse **59** in **Figur 3** grösser ist als die Brennweite der Linse. Im umgekehrten Fall, d. h. bei einem Abstand der Ferrule **57**, welcher kleiner ist als die Brennweite der Linse, wird die Retina gemessen, wenn der Messstrahl durch das freie Kreisrandringteilstück hindurchtritt. Die Hornhaut wird gemessen, wenn der Strahl durch das transparente Kreisrandringteilstück hindurch tritt. Da das Retina-Signal, insbesondere bei Caterakt-Patienten schwächer ist als bei einer normalen Retina, wird man bei Caterakt-Patienten den letzt genannten Aufbau bevorzugt verwenden.

Es sind je vier Kreisringteilstücke **133** und **135** vorhanden, welche alternierend angeordnet sind. Ein Zentriwinkel φ jedes Kreisringteilstückes **133** bzw. **135** beträgt 45° . Der äussere Kreisbogen des Kreisringteilstückes **133** hat einen Radius r_1 und das Kreisringteilstück **135** einen um Δr vergrösserten, äusseren Kreisbogen mit einem Radius r_2 . Δr ist so gross gewählt, dass der Messstrahl **22** gut Platz hat. Es liegen somit immer zwei gleiche Kreisringteilstücke **133** bzw. **135** diagonal einander gegenüber.

Die zweite, in **Figur 5b** skizzierte Scheibe **132** hat dann die Aufgabe, während des Wirkens des Referenzarmes **12**, den Fokuspunkt in die Augenlinse zu legen und weist die Dicke b_2 auf. Die Dicke b_2 der rotierenden planparallelen Scheibe **132** unterscheidet sich von der Dicke b_1 der Scheibe **131**. Die Scheibe **132** hat zwei einander diagonal gegenüberliegende transparente Materialkreisrandringteilstücke **137**, welche jeweils einen Zentriwinkel ρ_1 von 45° und einen Radius r_2 aufweisen. Die zwischen den Kreisringteilstücken **137** liegenden beiden freien Kreisringstücke **139** haben somit einen Zentriwinkel ρ_2 von 135° und einen Radius r_1 .

Beide Scheiben **131** und **132** werden, wie in **Figur 5c** angedeutet, derart übereinander gelegt, dass einerseits ihre Rotationsachsen **141** und **142** fluchten und andererseits jeweils die transparenten Materialkreisrandringteilstücke **137** hinter zweien der vier freien Kreisringteilstücke **133** zu liegen kommen.

5 In **Figur 5c** befindet sich der Messstrahl **22** gerade in den freien Kreisringteilstücken **133** und **137** (Bereich **A**), wodurch bei dem obigen Beispiel einer Augenuntersuchung eine Fokussierung auf die Hornhaut gegeben ist. Wird die Fokuspunktverschiebeeinrichtung **130** der Fokussiereinheit **58** in Richtung des Rotationspfeils **143** in **Figur 5c** weiter gedreht, so passiert der Messstrahl **22** das transparente Materialkreisrandringteilstück **135** mit der grossen Dicke b_1 (Bereich **B**), wodurch sich eine Fokussierung auf die
10 Retina ergibt. Nach einer weiteren Verdrehung transmittiert der Messstrahl **22** das transparente Materialkreisrandringteilstück **137** mit der dünnen Dicke b_2 (Bereich **C**), wodurch der Fokus in die Augenlinse gelegt wird und deren Dicke ermittelt wird. Wird zum Bereich **D** weitergedreht, transmittiert der Messstrahl **22** wieder Material mit der Dicke b_1
15 und wird somit auf die Retina analog zum Bereich **B** fokussiert. Im Bereich **E** transmittiert der Messstrahl **22** lediglich Luft und wird somit auf die Hornhaut fokussiert. Im Bereich **F** wird wieder auf die Retina fokussiert, im Bereich **G** die Dicke der Augenlinse ausgemessen und im Bereich **H** wieder auf die Retina fokussiert. Mit der hier beschriebenen Anordnung kann somit die Augenlänge und die Dicke der Augenlinse in einem
20 Messverfahren ermittelt werden.

Die oben geschilderte Fokuspunktverschiebeeinrichtung **130** arbeitet mit zwei rotierenden Scheiben, welche freie Bogenstücke aufweist. Die jeweilige Lage des Fokuspunktes wird durch die jeweilige Dicke des gerade transmittierten Materials und dessen Brechungsindex bestimmt. Eine Fokuspunktverschiebeeinrichtung kann nun auch derart
25 aufgebaut werden, dass sich die Dicken der einzelnen Scheiben zu einer Gesamtdicke addieren. Es ist dann jedoch darauf zu achten, dass keine Luftspalte zwischen den Platten entstehen, welche unerwünschte Reflexionen bewirken würden. Statt zwei können jedoch auch mehr Scheiben verwendet werden. Auch kann eine stärkere Unterteilung vorgenommen werden, so dass statt der oben geschilderten drei Fokusorte weitere Fo-
30 kusorte entstehen.

Anstelle der lediglich beiden Referenzarme **11** und **12** können selbstverständlich auch drei, vier und mehr Referenzarme unter entsprechenden gegenseitigen Winkeln verwendet werden. Die einzelnen Referenzarme können auch mit entsprechenden, mit der Ro-

tation des Wegvariationselements synchronisierten Strahlunterbrechern vor dem einzigen Wegvariationselement zu- und abgeschaltet werden.

Anstelle des in der EP 0 877 913 beschriebenen und in den **Figuren 1, 2a, 2b** und **2c** dargestellten Weglängenvariationselements **23** können auch mit einigen Änderungen die
5 in den **Figuren 1 bis 3** der DE 34 46 014 dargestellten Weglängenvariationselemente verwendet werden. Bei Verwendung des Weglängenvariationselements **23** wird dieses von den Referenzstrahlen durchstrahlt. Bei dem in **Figur 9** dargestellten Weglängenvariationselement **103** hingegen werden die Referenzstrahlen an seiner Oberfläche reflektiert; die Referenzstrahlen treten nicht in das Weglängenvariationselement **103** ein. Das
10 Weglängenvariationselement **103** ist ebenfalls als um eine Achse **105** rotierender Körper ausgebildet. Auf einem geraden Kreiszyylinder **106** sind sechs gleichschenklige Dachkantprismen **107a** bis **107f** mit verspiegelten Aussenflächen **109a** bis **109f** angeordnet. Jeweils an der Basis der Dachkantprismen **107a** bis **107f** auf dem Kreiszyylinder **106** zusammen treffende Aussenflächen **109a/109f**, **109c/109b**, **109e/109d**, **109g/109f**,
15 **109i/109h** und **109k/109j** schliessen einen rechten Winkel ϵ miteinander ein. Ein freier Strahl **111a** eines zum Referenzarm **12** analog ausgebildeten Referenzarms **112** wird durch eine Öffnung **113** geführt, wobei in **Figur 9** oberhalb der Öffnung **113** ein zum Strahl **111a** senkrecht verlaufender Spiegel **115** angeordnet ist, welcher annähernd 100%-ig reflektierend für die Strahlung des Strahls **111a** ausgebildet ist. Unterhalb der
20 Öffnung **113** ist ein Absorber **116** für die Strahlung des Strahls **111a** angeordnet. Der Strahl **111a** trifft nun in der in **Figur 9** dargestellten Stellung des Weglängenvariationselements **103** auf die Aussenfläche **109a** und wird von hier als Strahl **111b** zur Aussenfläche **109f** reflektiert und von dieser parallel zum Strahl **111a** als Strahl **111c** auf den Spiegel **115** geführt und in sich selbst zurückreflektiert, so dass er als reflektierter Strahl
25 wieder durch die Öffnung **113** hindurch tritt. Aufgrund des rechten Winkels ϵ wird der auf den Spiegel **115** auftreffende Strahl immer in sich selbst zurückreflektiert, auch wenn das Weglängenvariationselement **103** um einen Winkel, wie in **Figur 9** gestrichelt angedeutet, in Richtung des Pfeils **118** weiter gedreht worden ist. Der Auftreffort **117** des Strahls **111c** wandert von der Öffnung **113** in **Figur 9** nach oben weg bis der Strahl **111a**
30 auf die Spitze **119a** des Dachkantprismas **107a** fällt. Dreht das Weglängenvariationselement **103** weiter, so trifft der Strahl **111c** von der Öffnung **113** entfernt auf den Absorber **116** und wandert dann in Richtung zur Öffnung **113**; d. h. es erfolgt jetzt keine Strahlreflexion.

Ein Strahl **121** eines analog zum Referenzarm **11** ausgebildeten zweiten Referenzarms **120** trifft durch eine Öffnung **122** tretend in dem Augenblick, in dem der Strahl **111a** auf die Spitze **119a** trifft, auf eine Spitze **119f** des Dachkantprismas **107f** und wird nach einem kurzen Weiterdrehen von der Fläche **109l** auf die Fläche **109a** reflektiert und von dieser auf einen Spiegel **123** und von dort wieder in sich selbst zurück reflektiert, so dass der reflektierte Strahl wieder durch die Öffnung **122** hindurch tritt. Hat das Weglängenvariationselement **103** soweit weiter gedreht, dass der Strahl **121** auf die Fläche **109a** trifft, fällt der dann an der Fläche **109 l** reflektierte Strahl wieder auf einen Absorber **125**, wie in **Figur 9** dargestellt, schräg oberhalb der Öffnung **122**. Die beiden einfallenden Strahlen **111a** und **121** schliessen einen Versetzungswinkel δ_s miteinander ein. Der Versetzungswinkel δ_s entspricht bis auf eine Toleranz dem Zentriwinkel jeweils benachbarter Spitzen der Dachkantprismen. Je grösser auch hier die Toleranz gewählt wird desto kleiner ist die Weglängenvariation.

Wenn der Strahl **111c** auf den Reflektor **115** trifft, trifft der durch Reflexionen umgelenkte Strahl **121** auf den Absorber **125**. Trifft der umgelenkte Strahl **119** auf den Spiegel **123**, so trifft der Strahl **111c** auf den Absorber **116**.

Anstatt das Weglängenvariationselement **103** mit sechs Dachkantprismen **107a** bis **107f** auszubilden, kann auch eine andere Anzahl von Dachkantprismen verwendet werden: Auf dem Kreiszyylinder müssen jedoch immer benachbarte Flächen unter einem Winkel von 90° zusammentreffen.

In den **Figuren 2a** bis **2c** ist das in der EP 0 877 913 beschriebene Weglängenvariationselement **23** dargestellt, wobei hier die Zylindermantelflächen **49a** bis **49d** ausgehend von den Ecken **47a** bis **47d** nur eine teilweise annähernd 100 %-ige Beschichtung **50a** bis **50d** haben. Bei in **Figur 10** dargestellten Variante eines Weglängenvariationselements **147** mit ebenfalls einem quadratischen Querschnitt sind zwei benachbarte Zylindermantelflächen **149a** und **149b** vollständig mit einer annähernd 100 % reflektierenden Beschichtung versehen und die anderen beiden Zylindermantelfläche **151a** und **151b** ohne reflektierende Beschichtung, vorzugsweise mit einer antireflektierenden Beschichtung versehen. Das Weglängenvariationselement **147** rotiert ebenfalls um eine Rotationsachse **152**. Bei einem Brechungsindex des Materials des Weglängenvariationselements **147** von $n = 1,5$ ist eine Drehung von 0° bis 58° möglich, ohne dass die Weglängenvariation abbricht. Hierdurch ist die maximal mögliche Scantiefe für eine Zylindermantelfläche gegenüber dem in den **Figuren 2a** bis **2c** dargestellten Weglängenvari-

ationselement **23** in jeweils einem Referenzarm vergrößert. (Beim Weglängenvariati-
onselement **23** ist lediglich eine maximale Drehbewegung um 44° möglich.) Nachteilig
bei einer die gesamte Seitenlänge bedeckenden Reflexionsbeschichtung (Weglängen-
variationselements **147**) im Vergleich zu einer nur teilweisen Reflexionsbeschichtung
5 (Weglängenvariationselements **23**) ist, dass pro Referenzarm nur zweimal statt viermal
pro Umdrehung gemessen werden kann. Damit sich bei einer vollständigen Seitenbe-
schichtung keine störenden zeitlichen Überlappungen während der Scanzeit der zwei
Referenzarme ergeben, muss der Winkel δ_x zwischen den zwei auf das Weglängenvari-
ationselement **147** treffenden Strahlen **154a** und **154b** der beiden Referenzarme nicht
10 45° , sondern mindestens 58° betragen.

In **Figur 11** ist eine Vorrichtung zur Ermittlung von wenigstens einem geometrischen
Wert an transparenten oder diffusiven Gegenständen mit einem optischen Zeitraum-Ko-
härenztomographen TDOCT **155** und einem optischen Spektralraum-Kohärenztomo-
graphen SDOCT **156** dargestellt. Die Komponenten des TDOCTs **155** sind mit einer
15 punktierten Linie umzogen und diejenigen des SDOCTs **156** sind mit einer strichpunk-
tierten Linie umzogen. Der TDOCT **155** enthält im Wesentlichen die in **Figur 1** darge-
stellten Komponenten. Durch eine Verbindung von TDOCT **155** mit einem SDOCT **156**
können nun die Vorteile dieser beiden Tomographen miteinander vereint werden. Neben
einer Ermittlung einer Dicke, eines Abstands und/oder einer Länge kann nun auch eine
20 Topographie schnell und genau ermittelt werden. Diese vereinte Messung ist zwar auch
mit der oben beschriebenen, in **Figur 1** dargestellten Vorrichtung mit einem entspre-
chend ausgebildeten, oben beschriebenen Messkopf **20** möglich, jedoch ergibt die Ver-
wendung eines SDOCT **156** anstelle der oben beschriebenen LED-Anordnungen Tomo-
graphiedaten, welche exakter und schneller ermittelbar sind, wobei zudem im Inneren
25 des Gegenstands Topographien ermittelt werden können.

Ein SDOCT **156** alleine ist z. B. in der Veröffentlichung von R.A.Leitgeb, W. Drexler,
A. Untergrube, B. Hermann, T. Bajraszewski, T. Ie, A. Stingl, A.F. Fercher, „Ultrahigh
Resolution Fourier Domain Optical Coherence Tomography, Optics Express, Vol. 12,
No. 10, 17. Mai 2004, S. 2156 – 2165, beschrieben und wird dort nicht zur Ermittlung ei-
30 ner Topographie, sondern zur Ermittlung von Schichtdicken verwendet.

Der SDOCT **156** misst nun bei einem beispielsweise Einsatz am Auge entweder das
vordere Augensegment oder das hintere Augensegment aus, weil die maximal mögliche
Scantiefe im Gegensatz zum TDOCT **155**, beim SDOCT**156** typischerweise auf einige

Millimeter beschränkt ist. Ein Grund für diese Beschränkung ist in der Anzahl zur Verfügung stehender Kamerapixel **157**, die in einer Kamerazeile **159** vorhanden sind, zu suchen; jede Zeile **159** hat typischerweise 1000 Pixel. Das TDOCT **155** ist im Gegensatz zum SDOCT **156** in der Lage, Längen von typischerweise 30 mm bis 40 mm zu messen.

5 Die Messsensitivität und die Scangeschwindigkeit des SDOCTs **156** ist jedoch um einige Faktoren grösser als diejenige des TDOCTs **155**. Wegen der höheren Sensitivität und der höheren Geschwindigkeit wird mit dem SDOCT **156** im Messgegenstand eine Fläche (zweidimensional) bzw. ein Volumen (dreidimensional) mit einer Tiefe von typischerweise 3 mm gescannt, je nachdem wie ein unten beschriebener Spiegel **189** den Messstrahl **186a** in eine oder zwei Richtungen ablenkt. Das TDOCT **155** misst im Gegensatz
10 zum SDOCT **156** im Messgegenstand nur in einer Dimension.

Der in **Figur 11** dargestellte TDOCTs **155** weist im Wesentlichen die bereits in **Figur 1** gezeigten Komponenten auf. Sofern die Komponenten mit denjenigen in der **Figur 1** identisch sind, haben sie gleiche Bezugszeichen. Analog zu **Figur 1** sind somit eine
15 Strahlungsquelle **1**, ein Strahlungsabschwächer **5**, ein Polarisationskontroller **7** sowie analog ausgebildete Referenzarme **11** und **12** mit einem Weglängenvariationselement **23** vorhanden, wobei das Weglängenvariationselement **23** auch als Weglängenvariationselement **103** bzw. **147** ausgebildet sein kann. Ferner hat der TDOCT **155**, wie in **Figur 1** dargestellt, die beiden Detektoren **15** und **16** und die Detektionselektronik **17**.
20 Der in **Figur 1** vorhandene Messkopf **20** und der Monomodefaserkoppler **9** sind jedoch anders ausgebildet und sind unten beschrieben.

Die in **Figur 11** gezeigte Anordnung hat neben den oben bereits angeführten Komponenten einen 4 x 4 - Monomodefaserkoppler **160**, der auf seiner rechten Seite in **Figur 11** mit den Strahlungsleitern **3c**, **10b**, **10a** und einem Strahlungsleiter **161** verbunden ist, der zu einem Spektrometer **163** führt.
25

Das Spektrometer **163** hat eine Linse **164**, welche die aus dem Strahlungsleiter **161** austretende Strahlung **165** kollimiert. Die kollimierte Strahlung **167** wird auf ein Gitter **169** geführt. Das Gitter **169** reflektiert jede Wellenlänge, die in dem auf das Gitter **169** auftreffenden Strahlung **167** enthalten sind in eine andere Richtung. Diese nach den Wellenlängenanteilen zerlegte Strahlung **170** wird mittels einer Fokussierlinie **171** auf die die Kamerapixel **157** aufweisende Kamerazeile **159** fokussiert. Jedes Pixel **157** empfängt
30 somit immer nur einen ganz bestimmten Wellenlängenbereich. Mit der Ermittlung der Intensitäten der von den Kamerapixeln detektierten Wellenlängenbereiche und mit Hilfe

einer mathematischen Umformung (Fouriertransformation) in einer Auswerteeinheit **173** können die Positionen der verschiedenen im Gegenstand **19** vorkommenden Reflexionen und damit eine Topographie bzw. ein Meridian ermittelt werden.

Auf der linken Seite in **Figur 11** ist der 4 x 4 - Monomodefaserkoppler **160** mit den beiden Referenzarmen **11** und **12**, einem Messarm **175**, der sich vom Messarm **13** unterscheidet und einem weiteren Referenzarm **176** verbunden. Der Referenzarm **176** ist über eine Monomodefaser **177a** mit dem Koppler **160** verbunden. Das andere Ende der Monomodefaser **177a** ist mit einem optionalen, z. B. piezo-elektrisch arbeitenden Phasenmodulator **179** und dieser über eine Monomodefaser **177b** mit einem optionalen Polarisationskontroller **180** verbunden. Ausgehend von den Polarisationskontroller **180** gelangt die Strahlung auf einen Spiegel **181**, von dem die Strahlung wieder über die vorgängig angeführten Komponenten zum Koppler **160** zurück reflektiert wird.

Der mit dem Koppler **160** verbundene Messarm **175** weist den in **Figur 1** dargestellten Polarisationskontroller **18** und zur Erzeugung einer Freiraumstrahlung die Ferrule **57** auf. Mit einer Linse und einem analog zu den optischen Elementen **61**, **63** oder **130** ausgebildeten optischen Element **184** ist eine Fokuspunktverstellung synchronisiert zur Weglängenmessung in den Referenzarmen **11** und **12**, wie oben beschrieben, vornehmbar. Zwischen der Linse **183** und dem optischen Element **184** ist ein Teilerspiegel **185** angeordnet. Die mit dem Teilerspiegel **185** ausgekoppelte Strahlung **186a** wird über einen Umlenkspiegel **187** auf einen Schwenkspiegel **189** und dann auf einen weiteren Teilerspiegel **190** geführt. Auf dem Teilerspiegel **190** erfolgt eine Vereinigung der vom Teilerspiegel **185** nicht ausgekoppelten Strahlung **186b** mit der über die Spiegel **187** und **189** umgelenkten Strahlung **186a**. Durch die Bewegung des Schwenkspiegels **189** wird der Teilstahl **186a**, der Teil des optischen Spektralraumtomographen **156** ist, seitlich über das zu messende beispielsweise vordere oder hintere Augensegment abgelenkt.

Im Faserkoppler **160** wird die vom Gegenstand **19** rückreflektierte Strahlung mit der vom Referenzarm **176** reflektierten Strahlung überlagert. Vom Faserkoppler **160** gehen dann 25 % der Strahlung in den Strahlungsleiter **161**.

Der TDOCT **155** enthält somit als Hauptkomponenten das Weglängenvariationselement **23**, die beiden Referenzarme **11** und **12**, den 4 x 4 - Monomodefaserkoppler **160**, die Strahlungsquelle **1**, den Strahlungsabschwächer **5**, den Polarisationskontroller **7**, die beiden Detektoren **15** und **16**, die Detektionselektronik **17**, die Auswerteeinheit **173**, den

Polarisationskontroller **18**, die Ferrule **57**, die Linse **183**, die optische Einheit **184** und der Gegenstand (Auge) **19**.

Der SDOCT **156** enthält die Strahlungsquelle **1**, den Strahlungsabschwächer **5**, den Polarisationskontroller **7**, den 4 x 4 - Monomodefaserkoppler **160**, das Spektrometer **163**,
5 den Referenzarm **176**, den Polarisationskontroller **18**, die Ferrule **57**, die Linse **183**, den Teilerspiegel **185**, den Umlenkspiegel **187**, den Schwenkspiegel **189**, den Teilerspiegel **190** und den Gegenstand **19**. In einer vorteilhaften Ausgestaltung wird man zwischen dem Schwenkspiegel **189** und dem Umlenkspiegel **187** bzw. dem Teilerspiegel **185** eine
10 (in **Figur 11** nicht dargestellte) Linse anordnen, mit der die Strahlung auf das Gebiet im Gegenstand **19** fokussierbar ist, dessen „innere“ Topographie ermittelt werden soll, wobei selbstverständlich auch eine „äussere“ Topographie ermittelbar ist. Diese Linse wird man jedoch nicht zwischen dem Schwenkspiegel **189** und dem Teilerspiegel **190** anordnen, da dann der Strahl infolge der Schwenkspiegelablenkung auf der Linsenoberfläche wandern würde.

15 Die in **Figur 11** dargestellte Anordnung kann zusätzlich die in **Figur 3** gezeigten Komponenten zur Ermittlung einer Topographie enthalten. Um **Figur 11** nicht zu überladen sind lediglich der wellenlängenselektive Spiegel **71**, die Linseneinheit **72**, das Sperrfilter **75**, und der Kamerachip **73** eingezeichnet. Die LED-Anordnungen sind selbstverständlich auch vorhanden, aber nicht eingezeichnet. Mit der Anordnung analog **Figur 3**
20 kann die Topographie von freien Oberflächen bestimmt werden, während mit den SDOCT **156** neben freien Oberflächen auch in der Gegenstandstiefe liegende Topographien ermittelt werden können.

Mit den oben beschriebenen Vorrichtungen ist eine Messung mehrerer Augenstrukturen in einem einzigen Positioniervorgang möglich. Es kann somit neben den jeweiligen Topographien aussen oder innen liegender Flächen beispielsweise beim Auge die Dicke
25 und die innere Struktur der Hornhaut, der Vorderkammer, der Augenlinse, des Glaskörpers ermittelt werden. Zudem kann ferner die Linsenrinde und eine Linsentrübung, die Augenlänge, die innere Struktur der Netzhaut, die Position und die Dicke von phaken und pseudophaken intraokularen Linsen, die Position und die Dicke von Kontaktlinsen,
30 der Krümmungsradius der Hornhaut mittels eines einzigen am Patientenaugen vorgenommenen Positioniervorgang der Vorrichtung ermittelt sowie der Kammerwinkel ausgemessen werden.

Patentansprüche

1. Verfahren zum Messen wenigstens eines geometrischen Werts, wie beispielsweise einer Dicke, eines Abstands oder einer Länge, an einem transparenten oder diffusiven Gegenstand **(19)** mittels optischer Zeitraum-Kohärenztomographie (**time domain optical coherence tomographie TDOCT**) **(155)**, wobei
- 5
- d) mit einer Strahlungsquelle **(1)** eine Strahlung kurzer Kohärenzlänge erzeugt wird,
- e) die Strahlung in einen Messarm **(13)** und in wenigstens zwei Referenzarme **(11, 12)** eines Michelson-Interferometers aufgeteilt wird,
- 10
- f) in den wenigstens zwei Referenzarmen **(11, 12)** jeweils Referenzarmstrahlen **(33a, 35a)** gebildet und auf ein rotierendes Weglängenvariationselement **(23; 103; 147)** geführt werden,
- g) in Abhängigkeit einer Rotation **(45, 118)** des Weglängenvariationselements **(23; 103; 147)** eine drehwinkelabhängige Laufzeitänderung der Referenzarmstrahlen erzeugt wird,
- 15
- h) der auszumessende Gegenstand **(19)** in den Messarm **(13)** gebracht wird,
- i) optische Grundlaufzeiten der Referenzarme **(11, 12)** derart gewählt werden, dass eine optische Laufzeitdifferenz der Strahlungen in den wenigstens zwei Referenzarmen **(11, 12)** annähernd einer optischen Laufzeitdifferenz des zu messenden geometrischen Werts entspricht,
- 20
- j) am Gegenstand **(19)** und in den Referenzarmen **(11, 12)** reflektierte Strahlung interferenzmässig überlagert und sich jeweils ergebende Strahlungsinterferenzen detektiert werden,
- dadurch gekennzeichnet, dass**
- 25
- k) die wenigsten zwei Referenzarmstrahlen **(33a, 35a)** der Referenzarme **(11, 12)** unter einem gegenseitigen räumlichen Versetzungswinkel (δ_w, δ_s) auf ein und dasselbe rotierende Weglängenvariationselement **(23; 103; 147)** geführt werden,
- l) derart dass die Weglängenvariation zuerst im ersten Referenzarm und dann im zweiten Referenzarm wirkt, indem den optischen Grundlaufzeiten in den
- 30

Referenzarmen (11, 12) aufeinander folgend eine durch das Weglängenvariationselement (23; 103) hervorgerufene Laufzeitänderung aufgeprägt wird, wodurch die den geometrischen Wert definierenden Strahlungsinterferenzen zeitlich voneinander getrennt auftreten.

- 5 2. Verfahren nach Anspruch 1, **dadurch gekennzeichnet**, dass die Strahlung (22) im Messarm (13) jeweils auf eine erste und eine zweite, den auszumessenden geometrischen Wert definierende Schichtbegrenzung am Gegenstand synchron bzw. periodisch mit der Rotation fokussiert wird.
- 10 3. Verfahren nach Anspruch 1 oder 2, **dadurch gekennzeichnet**, dass das Weglängenvariationselement (23) ein im Querschnitt regelmässiges Vieleck bildet, wobei die Referenzstrahlen (33b, 33c, 33d; 35b, 35c, 35d) innerhalb des Elements (23), an wenigstens zwei der Mantelflächen (49a-d) des Vielecks reflektiert werden.
- 15 4. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 3, **dadurch gekennzeichnet**, dass vor dem auszumessenden Gegenstand (19) eine vorgegebene optische Struktur (70; 79; 87; 91) angeordnet wird und die Reflexionen dieser Struktur (70; 79; 87; 91) auf dem Gegenstand (19) abgebildet und die Abbildung mit der vorgegebenen Struktur (70; 79; 87; 91) zur Ermittlung einer Oberflächentopografie des Gegenstands (19) als weiteren geometrischen Wert verglichen werden, um neben den Dickenwerten der Gegenstandsschichten ein Oberflächenprofil bzw. ein Schichtenprofil zu ermitteln, und vorzugsweise der Strahl (22) des Messarms (13) mit einem wellenlängen-selektiven Spiegel (71) reflektierend zum Gegenstand (19) umgelenkt wird, wobei die von der vorgegebenen optischen Struktur (70; 79; 87; 91) ausgehende weitere Strahlung eine andere Wellenlänge als der Messarmstrahl hat, der Spiegel (71) die weitere Strahlung transmittiert und ein auf der Gegenstandsoberfläche durch die weitere Strahlung erzeugtes Muster in rückwärtiger Verlängerung der Achse des auf den Gegenstand treffenden Messarmstrahls (22) auf der anderen Seite des Spiegels (71) abgebildet und detektiert wird, und insbesondere die optische Struktur (70; 79; 87; 91) mit mehreren LEDs (89a,b; 90; 97n,m) erzeugt wird, wobei vorzugsweise die Strahlungen der LEDs (97n,m) auf eine Oberfläche des Gegenstands (19) fokussiert werden.
- 20
- 25
- 30

5. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 4, **dadurch gekennzeichnet**, dass neben der optischen Zeitraum-Kohärenztomographie **(155)** eine optische Spektralraum-Kohärenztomographie **(156)** mit ein und derselben Strahlungsquelle verwendet wird, um neben der Ermittlung des geometrischen Werts zusätzlich eine Topographie zu ermitteln.
6. Vorrichtung zum Messen wenigstens eines geometrischen Werts, wie beispielsweise einer Dicke, eines Abstands oder einer Länge, eines transparenten oder diffusiven Gegenstands **(19)**, mit einem optischen Zeitraum-Kohärenztomographen **(155)**
- a) mit einem eine Strahlungsquelle **(1)** kurzer Kohärenzlänge aufweisenden Michelson-Interferometer mit einem Messarm **(13)**, in den der auszumessende Gegenstand **(19)** einbringbar ist,
- b) sowie mit wenigstens zwei Referenzarmen **(11, 12)** mit zueinander unterschiedlichen optischen Grundweglängen entsprechend dem wenigstens einen auszumessenden geometrischen Wert,
- c) wobei in den wenigstens zwei Referenzarmen **(11, 12)** jeweils Mittel zum Erzeugen von Referenzarmstrahlen **(33a, 35a)** vorgesehen sind und
- gekennzeichnet durch**
- d) ein einziges, in beiden Referenzarmen **(11, 12)** wirkendes, um eine Elementachse **(21, 105)** rotierendes, Weglängenvariationselement **(23; 103; 147)**,
- e) wobei die wenigstens zwei Referenzarmstrahlen der wenigstens zwei Referenzarme **(11, 12)** unter einem gegenseitigen Versetzungswinkel (δ_w ; δ_s ; δ_x) auf das Wegvariationselement **(23; 103; 147)** geführt sind, derart dass die Weglängenvariation zuerst im ersten Referenzarm und dann im zweiten Referenzarm wirkt, indem aufeinander folgend eine Weglängenvariation den optischen Grundweglängen aufprägbar ist.
7. Vorrichtung nach Anspruch 6, dadurch gekennzeichnet, dass das Wegvariationselement **(23; 103; 147)** mehrere Mantelflächen **(49a-d; 109a-109l)** hat, die Ele-

mentachse (21; 105) des Wegvariationselements (23; 103; 147) parallel zu den Mantelflächen (49a-d; 109a-109l) und senkrecht zu den Achsen der freien Referenzarmstrahlen (33a, 35a; 111a, 121) angeordnet ist.

8. Vorrichtung nach Anspruch 6 oder 7, dadurch gekennzeichnet, dass das Weglängenvariationselement (23) als ein im Querschnitt regelmässiges Vieleck ausgebildet ist, wobei die Referenzstrahlen (33b, 33c, 33d; 35b, 35c, 35d) innerhalb des Elements (23), an wenigstens zwei der Mantelflächen (49a-d) des Vielecks reflektiert werden, und bevorzugt die Mantelflächen (49a-d) wenigstens eine Teilfläche (50a-d) aufweisen, welche annähernd 100% reflektierend für die Referenzarmstrahlen (33b, 33c, 33d; 35b, 35c, 35d) wirkt, und jede Teilfläche (50a-d) beginnend an jeder Mantelflächenecke (47a-d) für nur denjenigen innerhalb des Elements (23) reflektierbaren Strahlabschnitt (33b, 33c; 35b, 35c), der mit dem dazu gehörenden einfallenden Strahlabschnitt (33c, 33d; 35c, 35d) einen spitzen Winkel (β) bildet, annähernd 100%-ig reflektierend beschichtet ist, um eine möglichst verlustgeminderte Strahlführung zu erreichen.
9. Vorrichtung nach einem der Ansprüche 6 bis 8, gekennzeichnet durch eine im Messarm (13) des Michelson-Interferometers angeordnete, auf den freien Messarmstrahl (22) wirkende Fokussiereinheit (58), deren Fokusort auf wenigstens zwei unterschiedliche Messorte alternierend fokussierbar ist, wobei die Fokussierung auf die jeweiligen Messorte synchronisiert mit der Rotation des Wegvariationselements (23) vornehmbar ist, und vorzugsweise die Fokussiereinheit (58) eine Linseneinheit (59) hat, wobei im Messstrahlengang vor oder hinter der Linseneinheit (59), in einem im Wesentlichen von einer parallelen Strahlkonfiguration abweichenden Strahl längsbereich, eine über den Messstrahlquerschnitt bewegbare optische Einheit (61, 63; 130) angeordnet ist, mit der eine unterschiedliche Strahlkonfigurationen des Messstrahls (22) zur Erzeugung einer Fokuspunktverschiebung synchronisiert mit der Rotation des Wegvariationselements (23) einstellbar ist, und insbesondere die optische Einheit (61, 63; 130) wenigstens einen in den Messstrahl (22) einbringbaren, transparenten, planparallel ausgebildeten Bereich mit einer vorgegebenen optischen Länge für den Messstrahl (22) aufweist, welche mit der Fokussiereinheit (59) eine Fokuspunktverschiebung von einer Dickenbegrenzungsfläche zur anderen ergibt, wobei der wenigstens eine Bereich derart angeordnet ist, dass er während einer der aktiven, alternierenden Messzeiten des jeweiligen Referenzarmes (11, 12) im Messstrahl (22) befindlich ist, und vorzugswei-

se die optische Einheit als rotierende Kreisscheibe (63; 130) mit wenigstens einem transparenten Festkörpersegment (64; 135, 137) ausgebildet ist.

10. Vorrichtung nach einem der Ansprüche 6 bis 9, gekennzeichnet durch mehrere Beleuchtungsstrahlungsquellen (70), welche vor dem Gegenstand (19), insbesondere einem menschlichen Auge als Gegenstand (19), angeordnet sind, und mit einer optischen Aufnahmeeinheit (73), mit der Reflexionsorte der Beleuchtungsstrahlungsquellen (80a, 80b; 89a, 89b; 97n,m) auf der Gegenstandsoberfläche (69) abbildbar sind, und einer Auswerteeinheit (74), mit der die gegenseitigen Abstände der abgebildeten Reflexionsorte ins Verhältnis zu den Abständen der Strahlungsquellen (80a, 80b; 89a, 89b; 97n,m) zur Ermittlung einer Oberflächenkrümmung der Gegenstandsoberfläche (69) als weiterer geometrischen Wert setzbar sind, und vorzugsweise vor den Strahlungsquellen (97n,m) angeordnete Fokussierelemente (99), mit denen die Strahlung der Beleuchtungsstrahlungsquellen (97n,m) auf unterschiedliche Bereiche im transparenten Gegenstand (19) fokussierbar ist, wobei beim menschlichen Auge als Gegenstand (19) mit den Fokussierelementen eine Fokussierung auf die Hornhautvorderfläche und/oder auf die Hornhaurückfläche und/oder auf die Linsenvorderfläche und/oder auf die Linsrückfläche vornehmbar ist, wobei insbesondere die Beleuchtungsstrahlungsquellen LEDs (80a, 80b; 89a, 89b; 97n,m) sind, welche vorzugsweise eine Strahlung mit einer anderen Wellenlänge emittieren als die Strahlungsquelle (1) des Michelson-Interferometers, und vorzugsweise die Fokussierelemente Zylinderlinsen (99a-h) sind, wobei zur Vermeidung einer Vielzahl von Zylinderlinsen ein bzw. mehrere über den Strahlungsquellen rotierenden Zylinderlinsen anbringbar sind.
11. Vorrichtung nach einem der Ansprüche 6 bis 10, gekennzeichnet durch Strahlungsleiter (25a, 25b, 26a, 26b, 14a, 14b), mit denen die Strahlung der Referenzarme (11, 12) und diejenige des Messarms (13) führbar ist und an den Strahlungsleiterenden angeordnete Aus- bzw. Einkoppelemente, mit denen unmittelbar vor bzw. nach optischen Komponenten (23; 58, 70, 71) bzw. vor dem Messobjekt (19) die im betreffenden Strahlungsleiter geführte bzw. zu führende Strahlung als Freiraumstrahl (22, 33a, 33d, 35a, 35d) aus- bzw. einkoppelbar ist.
12. Vorrichtung nach Anspruch 10, gekennzeichnet durch sich voneinander unterscheidende Wellenlängen der kurzkohärenten Strahlungsquelle (1) und wenigstens einer ersten Anzahl von Beleuchtungsstrahlungsquellen (80a, 80b; 89a, 89b;

- 97n,m), durch einen wellenlängen-selektiven Spiegel (71) im Messarm (13), mit dem der Strahl (22) der kurzkohärenten Strahlungsquelle (1) auf den Gegenstand (19) reflektierbar und die Strahlung der Beleuchtungsstrahlungsquellen (80a, 80b; 89a, 89b; 97n,m) transmittierbar sind, und durch eine Abbildungseinheit (72) für die vom Gegenstand (19, 69) reflektierbaren Strahlung der Beleuchtungsstrahlungsquellen (80a, 80b; 89a, 89b; 97n,m), wobei vor dem Gegenstand (19) die optische Achse des Messarms (13) mit der optischen Achse der Abbildungseinheit zusammenfallen.
- 5
13. Vorrichtung nach den Ansprüchen 9 und 10, gekennzeichnet durch, einen 3 x 3 -
10 Monomodefaserkoppler (9), wobei die Messstrahlung ausgehend von dem 3 x 3 -
Monomodefaserkoppler (9) in einem ersten Strahlungsleiter (14a) führbar ist, und
der Monomodefaserkoppler (9) mit der Michelson-Strahlungsquelle (1) über einen
zweiten Strahlungsleiter (3c), mit zwei Referenzarmen (11, 12) über einen dritten
15 und vierten Strahlungsleiter (25a, 26a) sowie zu einen ersten und zweiten Interfe-
renzdetektor (15, 16) über einen fünften und sechsten Strahlungsleiter (10a, 10b)
verbunden ist, und das andere Ende (14b) des ersten Strahlungsleiters (14a) un-
mittelbar vor die Fokussiereinheit (58) geführt ist, nach der Fokussiereinheit (58)
ein Wellenlängen selektiver Spiegel (71) angeordnet ist, mit dem die Messstrah-
lung (22) auf den auszumessenden Gegenstand (19) lenkbar ist und die vom Ge-
20 genstand (19) reflektierte Messstrahlung (22) zurück in die Fokussiereinheit (58)
und in den ersten Strahlungsleiter (14a, 14b) führbar ist, und die Beleuchtungs-
strahlungsquellen (80a, 80b; 89a, 89b; 97n,m) zwischen dem Spiegel (71) und
dem Gegenstand (19), vorzugsweise in einer Ebene senkrecht zur Achse des
Messstrahls (22) in unmittelbarer Nähe des Spiegels (71), angeordnet sind und in
25 rückwärtiger Verlängerung des Messstrahls (22) auf der dem Gegenstand (19) ab-
gewandten Seite des Spiegels (71) ein Abbildungssystem (72) vor einer optischen
Auswerteeinheit (73) für die auf bzw. im Gegenstand (19) reflektierten Beleuch-
tungsstrahlenquellen (80a, 80b; 89a, 89b; 97n,m) angeordnet ist.
14. Vorrichtung nach einem der Ansprüche 6 bis 9, dadurch gekennzeichnet, dass
30 neben dem optischen Zeitraum-Kohärenztomographen (155) ein optischer Spekt-
ralraum-Kohärenztomograph (156) vorhanden ist, wobei beide Tomographen (155,
156) mit ein und derselben Strahlungsquelle (1) arbeiten.

15. Vorrichtung nach Anspruch 14, gekennzeichnet durch ein Spektrometer (163) und einen 4 x 4 - Monomodefaserkoppler (160), wobei die Messstrahlung für den optischen Zeitraum-Kohärenztomographen (155) und den optischen Spektralraum-Kohärenztomographen (156) in einem ersten Strahlungsleiter (14a, 14b) führbar ist, und der Monomodefaserkoppler (160) mit der Strahlungsquelle (1) über einen zweiten Strahlungsleiter (3a-c), mit den zwei Referenzarmen (11, 12), welche ein gemeinsames Weglängenvariationselement (23) aufweisen, über einen dritten und einen vierten Strahlungsleiter (25a, 26a), zu einem ersten und zweiten Interferenzdetektor (15, 16) über einen fünften und sechsten Strahlungsleiter (10a, 10b), mit einem dritten Referenzarm (176) über einen siebten Strahlungsleiter (177a) und mit dem Spektrometer (163) über einen achten Strahlungsleiter (161) verbunden ist.

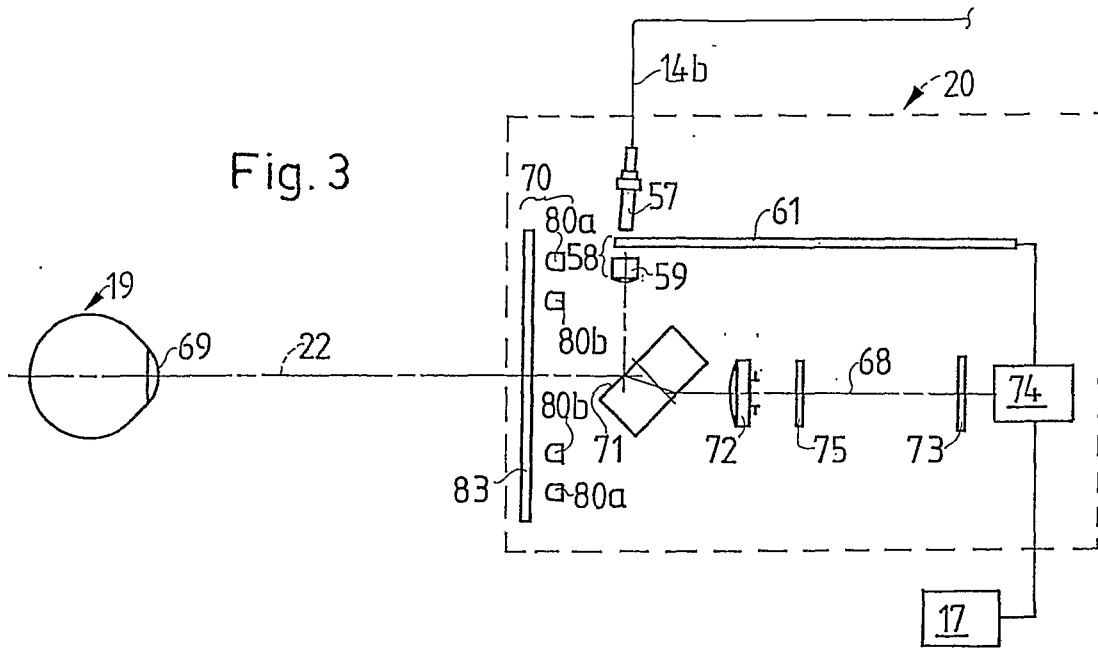


Fig. 5a

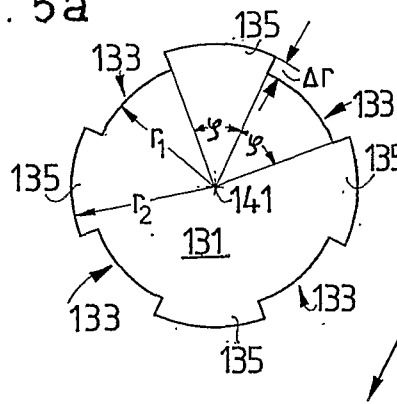
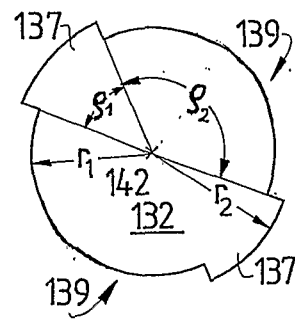


Fig. 5b



+

Fig. 5c

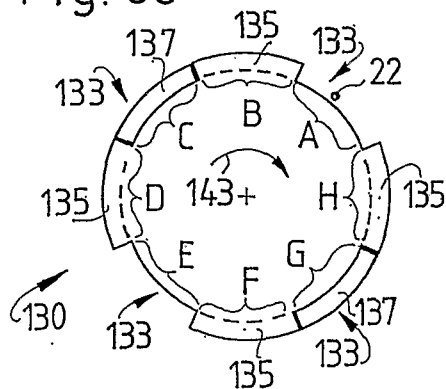
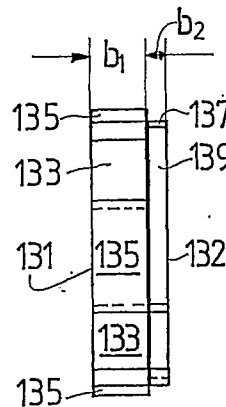
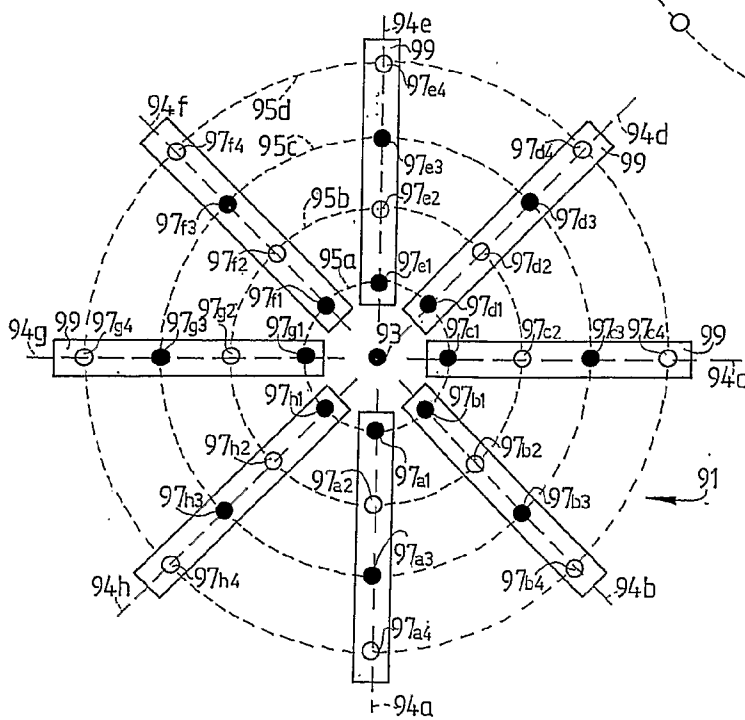
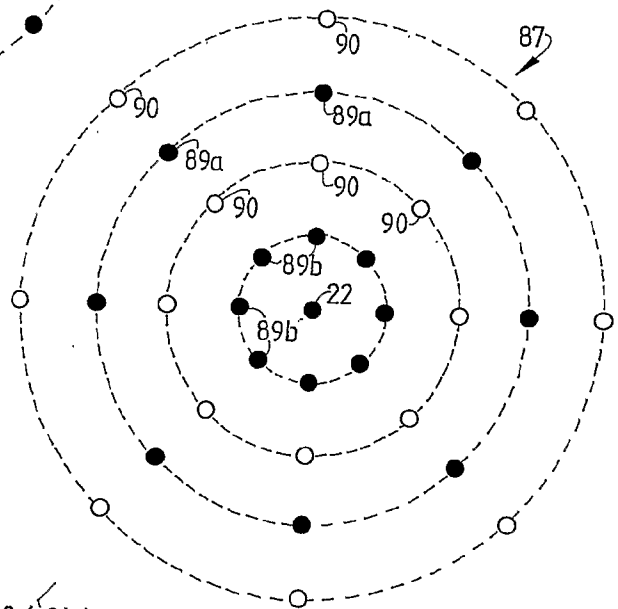
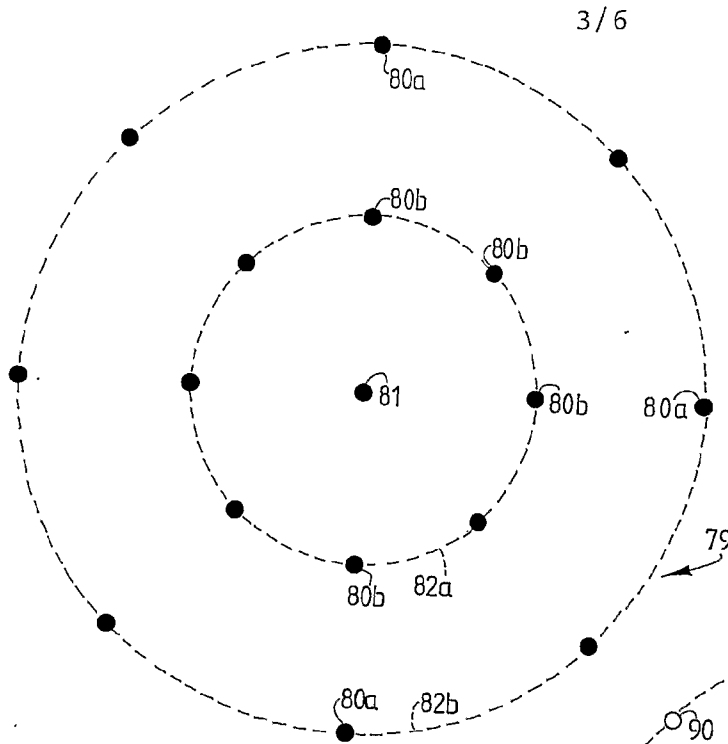


Fig. 5d





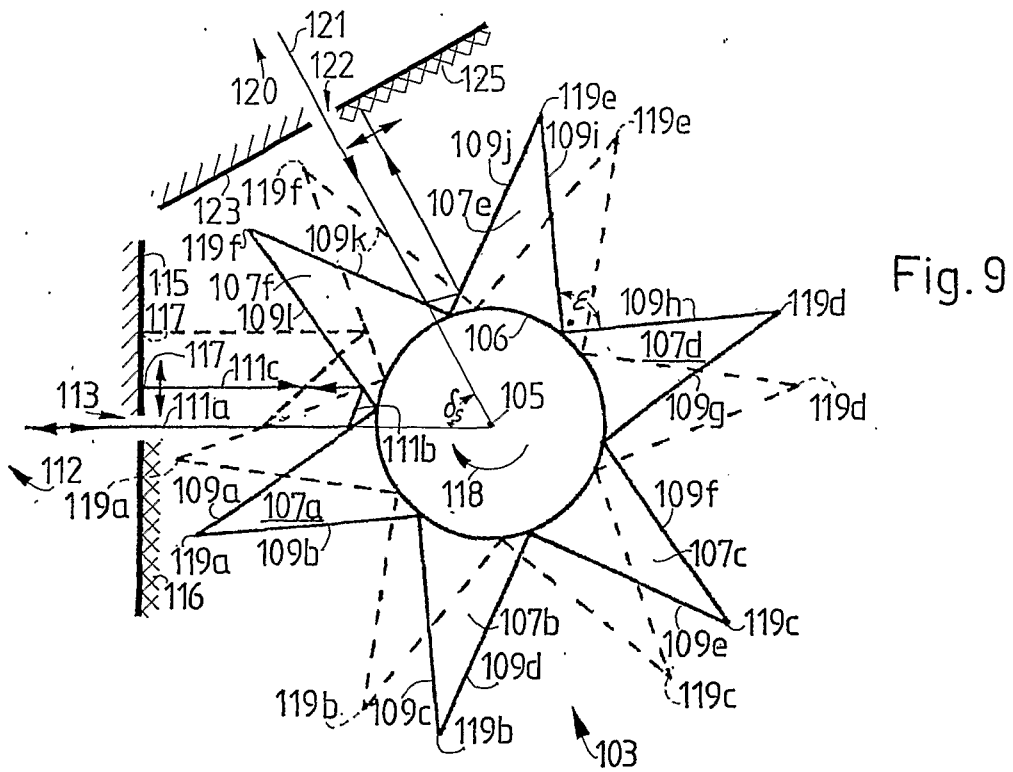


Fig. 9

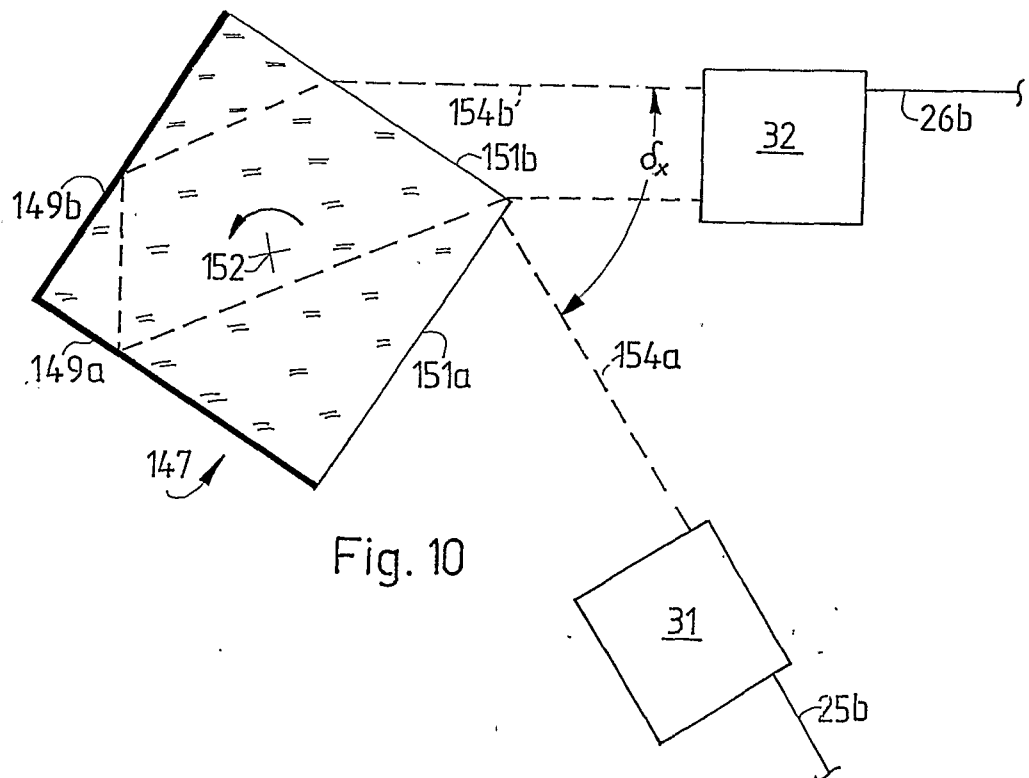


Fig. 10

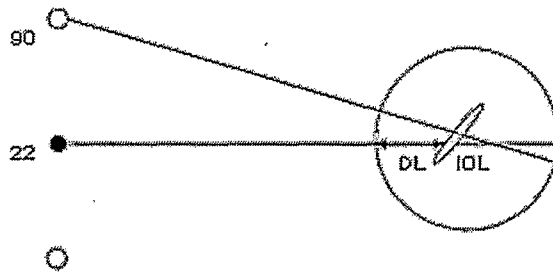


Fig. 12a

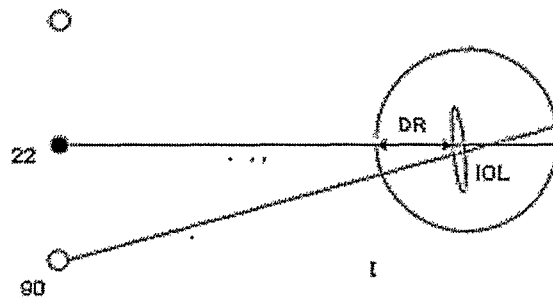


Fig. 12b

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No

PCT/CH2006/000625

A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER
 INV. G01B9/02 A61B3/10

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 G01N A61B

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, PAJ

C. DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
A	US 6 198 540 B1 (UEDA MAMORU ET AL) 6 March 2001 (2001-03-06) cited in the application column 10, line 45 - column 16, line 62; figures 1,2 column 21, line 33 - column 22, line 39; figure 7	1-15
A	WO 03/086180 A (HAAG-STREIT AG; WAELTI, RUDOLF) 23 October 2003 (2003-10-23) cited in the application page 13, line 10 - page 15, line 10; figure 4	1-15
A	US 5 301 010 A (JONES ET AL) 5 April 1994 (1994-04-05) cited in the application the whole document	1-15
	----- -/--	

Further documents are listed in the continuation of Box C.

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.
- *Z* document member of the same patent family

Date of the actual completion of the international search

13 February 2007

Date of mailing of the international search report

23/02/2007

Name and mailing address of the ISA/

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

Authorized officer

Beyfuß, Martin

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No
PCT/CH2006/000625

C(Continuation). DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
A	WO 01/38820 A (HAAG-STREIT AG; WAELTI, RUDOLF; SCHMID, GREGOR, F) 31 May 2001 (2001-05-31) cited in the application the whole document -----	1-15
A	DE 34 46 014 A1 (DEUTSCHE FORSCHUNGS- UND VERSUCHSANSTALT FUER LUFT- UND RAUMFAHRT E.V.) 26 June 1986 (1986-06-26) cited in the application the whole document -----	1-15

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

Information on patent family members

International application No

PCT/CH2006/000625

Patent document cited in search report		Publication date		Patent family member(s)	Publication date
US 6198540	B1	06-03-2001	WO	9843068 A1	01-10-1998
WO 03086180	A	23-10-2003	AU	2003218590 A1	27-10-2003
			EP	1494575 A2	12-01-2005
			JP	2005527280 T	15-09-2005
US 5301010	A	05-04-1994	AT	144042 T	15-10-1996
			CA	2046902 A1	19-08-1990
			DE	69028846 D1	14-11-1996
			DE	69028846 T2	30-04-1997
			EP	0458888 A1	04-12-1991
			WO	9009557 A1	23-08-1990
			JP	4505050 T	03-09-1992
WO 0138820	A	31-05-2001	AT	263356 T	15-04-2004
			AU	1377601 A	04-06-2001
			DE	50005933 D1	06-05-2004
			EP	1232377 A1	21-08-2002
			US	6806963 B1	19-10-2004
DE 3446014	A1	26-06-1986	NONE		

INTERNATIONALER RECHERCHENBERICHT

Internationales Aktenzeichen

PCT/CH2006/000625

A. KLASSIFIZIERUNG DES ANMELDUNGSGEGENSTANDES
 INV. G01B9/02 A61B3/10

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

B. RECHERCHIERTE GEBIETE

Recherchiertes Mindestprüfstoff (Klassifikationssystem und Klassifikationssymbole)
 G01B G01N A61B

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, PAJ

C. ALS WESENTLICH ANGESEHENE UNTERLAGEN

Kategorie*	Bezeichnung der Veröffentlichung, soweit erforderlich unter Angabe der in Betracht kommenden Teile	Betr. Anspruch Nr.
A	US 6 198 540 B1 (UEDA MAMORU ET AL) 6. März 2001 (2001-03-06) in der Anmeldung erwähnt Spalte 10, Zeile 45 - Spalte 16, Zeile 62; Abbildungen 1,2 Spalte 21, Zeile 33 - Spalte 22, Zeile 39; Abbildung 7	1-15
A	WO 03/086180 A (HAAG-STREIT AG; WAELTI, RUDOLF) 23. Oktober 2003 (2003-10-23) in der Anmeldung erwähnt Seite 13, Zeile 10 - Seite 15, Zeile 10; Abbildung 4	1-15
A	US 5 301 010 A (JONES ET AL) 5. April 1994 (1994-04-05) in der Anmeldung erwähnt das ganze Dokument	1-15
-/--		

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

- | | |
|---|--|
| <ul style="list-style-type: none"> * 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 | <ul style="list-style-type: none"> *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 *Z* Veröffentlichung, die Mitglied derselben Patentfamilie ist |
|---|--|

Datum des Abschlusses der internationalen Recherche	Absenddatum des internationalen Recherchenberichts
13. Februar 2007	23/02/2007

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

INTERNATIONALER RECHERCHENBERICHT

Internationales Aktenzeichen

PCT/CH2006/000625

C. (Fortsetzung) ALS WESENTLICH ANGESEHENE UNTERLAGEN

Kategorie*	Bezeichnung der Veröffentlichung, soweit erforderlich unter Angabe der in Betracht kommenden Teile	Betr. Anspruch Nr.
A	WO 01/38820 A (HAAG-STREIT AG; WAELTI, RUDOLF; SCHMID, GREGOR, F) 31. Mai 2001 (2001-05-31) in der Anmeldung erwähnt das ganze Dokument	1-15
A	DE 34 46 014 A1 (DEUTSCHE FORSCHUNGS- UND VERSUCHSANSTALT FUER LUFT- UND RAUMFAHRT E.V.) 26. Juni 1986 (1986-06-26) in der Anmeldung erwähnt das ganze Dokument	1-15

INTERNATIONALER RECHERCHENBERICHT

Angaben zu Veröffentlichungen, die zur selben Patentfamilie gehören

Internationales Aktenzeichen

PCT/CH2006/000625

Im Recherchenbericht angeführtes Patentdokument		Datum der Veröffentlichung		Mitglied(er) der Patentfamilie		Datum der Veröffentlichung
US 6198540	B1	06-03-2001	WO	9843068 A1		01-10-1998
WO 03086180	A	23-10-2003	AU	2003218590 A1		27-10-2003
			EP	1494575 A2		12-01-2005
			JP	2005527280 T		15-09-2005
US 5301010	A	05-04-1994	AT	144042 T		15-10-1996
			CA	2046902 A1		19-08-1990
			DE	69028846 D1		14-11-1996
			DE	69028846 T2		30-04-1997
			EP	0458888 A1		04-12-1991
			WO	9009557 A1		23-08-1990
			JP	4505050 T		03-09-1992
WO 0138820	A	31-05-2001	AT	263356 T		15-04-2004
			AU	1377601 A		04-06-2001
			DE	50005933 D1		06-05-2004
			EP	1232377 A1		21-08-2002
			US	6806963 B1		19-10-2004
DE 3446014	A1	26-06-1986	KEINE			