



(10) **DE 10 2015 108 839 A1** 2016.12.08

(12) **Offenlegungsschrift**

(21) Aktenzeichen: **10 2015 108 839.8**
(22) Anmeldetag: **03.06.2015**
(43) Offenlegungstag: **08.12.2016**

(51) Int Cl.: **G01B 11/24 (2006.01)**
G01N 21/21 (2006.01)
G01M 11/00 (2006.01)

(71) Anmelder:
Rodenstock GmbH, 80687 München, DE

(74) Vertreter:
**RPK Patentanwälte Reinhardt, Pohlmann und
Kaufmann Partnerschaft mbB, 70192 Stuttgart,
DE**

(72) Erfinder:
Trumm, Stephan, Dr., 80999 München, DE;
**Seßner, Rainer, Dr., 91154 Roth, DE; Uttenweiler,
Dietmar, Dr., 82057 Icking, DE**

(56) Ermittelter Stand der Technik:

DE 100 14 964 C2
DE 10 2004 020 419 B3
US 2010 / 0 268 069 A1
EP 2 799 832 A2

**RU 2107903 C1 (EDV-Volltext ohne
Zeichnungen), WIPO-PATENTSCOPE [abgerufen
am 10.02.2016]**

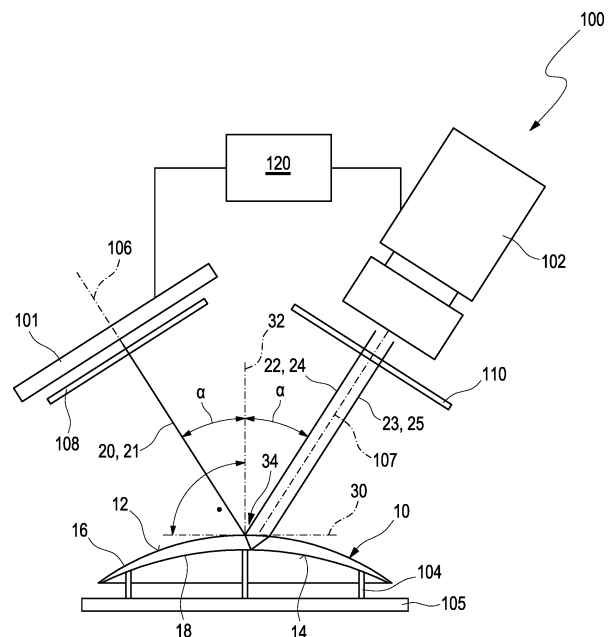
**RU 2107903 C1 (Maschinenübersetzung des
EDV-Volltextes mit „Google Translate“), WIPO-
PATENTSCOPE [abgerufen am 10.02.2016]**

Prüfungsantrag gemäß § 44 PatG ist gestellt.

Die folgenden Angaben sind den vom Anmelder eingereichten Unterlagen entnommen

(54) Bezeichnung: **Verfahren zum Bestimmen von Oberflächendaten und/oder Messdaten einer Oberfläche eines zumindest teilweise transparenten Objekts**

(57) Zusammenfassung: Die Erfindung betrifft ein Verfahren und eine Vorrichtung zum Bestimmen von Oberflächendaten (16, 18) und/oder Messdaten einer Oberfläche (12, 14), insbesondere zur Qualitätskontrolle eines zumindest teilweise transparenten Objekts (10), insbesondere eines Brillenglases, mit einer optisch wirksamen ersten Oberfläche (12) und einer gegenüberliegenden optisch wirksamen zweiten Oberfläche (14). Das Verfahren umfasst das Einstrahlen von polarisiertem Licht mit einer Einstrahlpolarisation wenigstens einer Beleuchtungseinrichtung (101) auf einen zu untersuchenden Analysebereich (34) des Objekts (10), wobei das Licht zur Einstellung der Einstrahlpolarisation durch einen der Beleuchtungseinrichtung (101) zugeordneten oder in diese integrierten Polarisator (108) geleitet wird, sowie das Empfangen von an der ersten und/oder zweiten Oberfläche (12, 14) reflektiertem Licht mit einer Analysepolarisation mittels wenigstens einer Aufnahmeeinrichtung (102), wobei das Licht durch einen der Aufnahmeeinrichtung (102) zugeordneten oder in diese integrierten Analysator (110) geleitet wird. Weiter umfasst das Verfahren das zumindest teilweise Unterdrücken einer von der ersten oder zweiten Oberfläche (12, 14) reflektierten, von der Aufnahmeeinrichtung (102) empfangenen unerwünschten Lichtintensität durch Einstellen der Einstrahlpolarisation des Polarisators (108) und/oder der Analysepolarisation des Analysators (110), sowie das Messen einer Intensitätsverteilung (22, 23) oder einer Wellenfront (24, 25) des mit der Analysepolarisation empfangenen Lichts, um die Oberflächendaten (16, 18) und/oder Messdaten der Oberfläche (12, 14) im Analysebereich (34) zu ermitteln.



Beschreibung

Stand der Technik

[0001] Die Erfindung betrifft ein Verfahren zum Bestimmen von Oberflächendaten und/oder Messdaten einer Oberfläche eines zumindest teilweise transparenten Objekts, insbesondere eines Brillenglases, sowie eine Vorrichtung zum Bestimmen von Oberflächendaten und/oder Messdaten einer Oberfläche und ein Computerprogrammprodukt zum Bestimmen von Oberflächendaten und/oder Messdaten einer Oberfläche.

[0002] In den letzten Jahren hat die Freiformtechnik Einzug in die optische Industrie gehalten. Im Bereich der Brillengläser sind dies beispielsweise individuell optimierte Gläser. Die Möglichkeit, Freiformflächen zu produzieren, hat aber auch die Notwendigkeit nach sich gezogen, optische Oberflächen schnell und zuverlässig, ganzflächig und zerstörungsfrei zu messen. Dabei werden in der Qualitätssicherung Oberflächendaten bestimmt. Die Oberflächendaten können beispielsweise Höhendaten und/oder Neigungsdaten und/oder Krümmungsdaten der Oberflächen umfassen.

[0003] Einen Ansatz stellt der Einsatz der optischen Ganzflächenmesstechnik zur Bestimmung von Oberflächendaten dar. Da die Oberflächen von Gläsern Licht nicht streuen, sondern reflektieren, versagen hier konventionelle Methoden. Stattdessen bedient man sich einer als Deflektometrie (oder Reflektometrie) bezeichneten Technik. Dabei wird ein Muster auf ein Messobjekt eingestrahlt und das an dem Messobjekt reflektierte Bild dieses Musters aufgenommen.

[0004] Dabei werden Koordinaten aus der Projektion (z.B. Pixelkoordinaten eines Projektors) Koordinaten der Aufnahme zugeordnet (z.B. Pixelkoordinaten einer Kamera). Sind die Geometrie von Projektor und Kamera bekannt, kann daraus auf die reflektierende Oberfläche geschlossen werden.

[0005] Man unterscheidet prinzipiell zwischen als „ganzflächig“ bezeichneten Verfahren und Verfahren, die mit diskreten Mustern arbeiten. Bei ganzflächigen Verfahren werden ganzflächige Muster (üblicherweise verschiedene Streifenmuster mit sinusförmigem Intensitätsverlauf) nacheinander eingestrahlt und jeder Bildpunkt der Kamera individuell ausgewertet. Verfahren mit diskreten Strukturen sind auch als Hartmann-artige Verfahren bekannt. Bei ihnen werden diskrete Objekte (im einfachsten Fall Punkte) auf die Oberfläche des Objekts eingestrahlt, deren Position im Bild der Kamera über Bildverarbeitung bestimmt und deren Koordinaten ausgewertet.

[0006] Bei der Analyse von an transparenten Objekten reflektierten Lichtintensitäten können Mehrdeutig-

keiten auftreten. Ein definierter Punkt der Beleuchtungseinrichtung kann nämlich auf unterschiedlichen Wegen in ein und denselben Pixel der Kamera abgebildet werden, weil der Strahlengang das Resultat der Position der Reflexion und der Richtung der spiegelnden Oberfläche im Raum ist.

[0007] Es sind verschiedene Wege bekannt, diese Mehrdeutigkeit aufzulösen und Oberflächendaten zu berechnen. Die dazu nötigen Verfahren sind im Detail beispielsweise in folgenden Schriften beschrieben: D. Malacara, Optical Shop Testing, Wiley Interscience 1992; H. Gross, B. Dörband (Autor), H. Müller, Non Interferometric Wavefront Sensing, in Metrology of Optical Components and Systems, Kapitel 47, Band 5, Handbook of Optical Systems, (H. Gross (Hrsg.)), Wiley-VCH, 2012; Stereodeflektometrie (DE 10 2004 020 419 B3); Richtungskodierte Deflektometrie (DE 1 00 14 964 C2); Brillenglasqualitätskontrolle (EP 2 799 832 A2).

[0008] All diesen Verfahren ist jedoch gemein, dass das eingestrahlte Muster bei transparenten Prüflingen sowohl auf der Vorderfläche als auch auf der Rückfläche des zu vermessenden Objekts reflektiert wird. Beide Bilder überlagern sich in der Kamera, so dass eine eindeutige Auswertung erschwert ist.

[0009] Die EP 2 799 832 A2 beschreibt ein Verfahren für die Qualitätskontrolle eines Brillenglases, bei dem zunächst die Topografie von einer optisch wirksamen Oberfläche des Brillenglases ermittelt wird, dann lokale Istwerte $I[X, V]$ von einer optischen Größe des Brillenglases unter Berücksichtigung der ermittelten Topographie berechnet werden, im Anschluss daran lokale Abweichungen $F[X, V]$ der berechneten lokalen Istwerte $I[X, V]$ von lokalen 20 Sollwerten $S[X, V]$ für die wenigstens eine optische Größe des Brillenglases berechnet werden, dann ein Qualitätsmaß Q für das Brillenglas ermittelt wird, indem die berechneten lokalen Abweichungen $F[X, V]$ ausgewertet werden, und dann das ermittelte Qualitätsmaß Q nach einer Qualitätsvorschrift bewertet wird.

Offenbarung der Erfindung

[0010] Die Aufgabe der Erfindung ist es, ein Verfahren zu schaffen, welches es erlaubt, insbesondere zur Qualitätssicherung Oberflächendaten und/oder Messdaten einer Oberfläche von transparenten Objekten wie Brillengläsern einfach und zuverlässig zu bestimmen.

[0011] Eine weitere Aufgabe der Erfindung ist es, eine Vorrichtung zu schaffen, welches es erlaubt, insbesondere zur Qualitätssicherung Oberflächendaten und/oder Messdaten einer Oberfläche von transparenten Objekten wie Brillengläsern einfach und zuverlässig zu bestimmen.

[0012] Die Aufgaben werden durch die Merkmale der unabhängigen Ansprüche gelöst. Günstige Ausgestaltungen und Vorteile der Erfindung ergeben sich aus den weiteren Ansprüchen, der Beschreibung und den Zeichnungen.

[0013] Es wird ein Verfahren vorgeschlagen zum Bestimmen von Oberflächendaten und/oder Messdaten einer Oberfläche, insbesondere zur Qualitätskontrolle, eines zumindest teilweise transparenten Objekts, insbesondere eines Brillenglases, mit einer optisch wirksamen ersten Oberfläche und einer gegenüberliegenden optisch wirksamen zweiten Oberfläche, umfassend das Einstrahlen von polarisiertem Licht mit einer Einstrahlpolarisation wenigstens einer Beleuchtungseinrichtung auf einen zu untersuchenden Analysebereich des Objekts, wobei das Licht zur Einstellung der Einstrahlpolarisation durch einen der Beleuchtungseinrichtung zugeordneten oder in diese integrierten Polarisator geleitet wird, sowie das Empfangen von an der ersten und/oder zweiten Oberfläche reflektiertem Licht mit einer Analysepolarisation mittels wenigstens einer Aufnahmeeinrichtung.

[0014] Dabei wird das Licht durch einen der Aufnahmeeinrichtung zugeordneten oder in diese integrierten Analysator geleitet. Weiter umfasst das Verfahren das zumindest teilweise Unterdrücken einer von der ersten oder zweiten Oberfläche reflektierten, von der Aufnahmeeinrichtung empfangenen unerwünschten Lichtintensität durch Einstellen der Einstrahlpolarisation des Polarisators und/oder der Analysepolarisation des Analysators, sowie das Messen einer Intensitätsverteilung oder einer Wellenfront des mit der Analysepolarisation empfangenen Lichts, um die Oberflächendaten und/oder Messdaten der Oberfläche im Analysebereich zu ermitteln. Alternativ oder zusätzlich zu der Intensitätsverteilung kann auch eine Form einer Wellenfront gemessen werden, die beispielsweise von einer punktförmigen Quelle ausgeht oder aus parallelem Licht besteht und die als Teil eines Musters oder statt eines Musters auf das Objekt eingestrahlt wird.

[0015] Bei den Oberflächendaten und/oder Messdaten kann es sich, je nach Anwendung, beispielsweise um Höhendaten und/oder Neigungsdaten und/oder Krümmungsdaten der Oberfläche handeln.

[0016] Gemäß einer vorteilhaften Ausgestaltung des erfindungsgemäßen Verfahrens kann gegebenenfalls im Analysebereich eine Abweichung der ermittelten Oberflächendaten von Solldaten zu Oberflächendaten und/oder eine Abweichung der Messdaten von Solldaten zu Messdaten der Oberfläche bestimmt werden.

[0017] Ein Analysator stellt dabei einen Polarisator dar, der zur Analyse des reflektierten Lichts verwendet wird. Die Einfallsebene des Lichts stellt die Ebene

dar, die von der Ausbreitungsrichtung des einfallenden Lichts sowie dem Lot auf die reflektierende Oberfläche aufgespannt wird. Damit enthält sie auch die Ausbreitungsrichtung des reflektierten Lichts.

[0018] Das hier beschriebene Verfahren unterdrückt zumindest teilweise unerwünschte Reflexionen bei der Messung von Oberflächendaten und/oder Messdaten einer Oberfläche zumindest teilweise transparenter Objekte und liefert dadurch zuverlässige Messergebnisse der Oberfläche. Dabei können auch Informationen über die erste und zweite Oberfläche, typischerweise Vorderfläche und Rückfläche des Objekts, mit einer Messung gewonnen werden. Eine besondere Anwendung des erfindungsgemäßen Verfahrens besteht in der Qualitätskontrolle von Brillengläsern. Dazu wird bei dem Verfahren polarisiertes Licht eingesetzt und ausgenutzt, dass Reflexions- und Transmissionskoeffizienten für senkrecht und parallel polarisiertes Licht vom jeweiligen Einfallswinkel abhängen und sich im Allgemeinen unterscheiden. Bei Reflexion und Brechung kann linear polarisiertes Licht seine Polarisation ändern. Dies liegt daran, dass üblicherweise für die Komponente, die parallel zur Einfallsebene liegt (p-polarisiert), andere Reflexions- bzw. Transmissionskoeffizienten gelten als für die Komponente, die senkrecht zur Einfallsebene steht (s-polarisiert). Werden beide Komponenten in ihrer Intensität unterschiedlich beeinflusst, ändert sich die Richtung der Polarisation der resultierenden reflektierten bzw. gebrochenen Strahlung. Grundsätzlich gelten Reflexions- und Transmissionskoeffizienten nur für konkrete Einfallswinkel. Für die Messung ist der Einfallswinkel durch die Anordnung von Objekt und Beleuchtungseinrichtung gegeben.

[0019] Zwar hängt der konkrete Winkel von der jeweiligen Position des Objekts und der Neigung der Oberfläche in dem entsprechenden Punkt ab, diese Abweichungen können jedoch in einigen Konfigurationen im Vergleich zu dem durch den Aufbau vorgegebenen Winkel als klein angesehen werden.

[0020] Unabhängig davon gilt aber, dass in vielen Fällen eine vollständige Unterdrückung eines unerwünschten Reflexes gar nicht erforderlich ist, sondern eine Schwächung bereits ausreicht. Damit sind selbst größere Abweichungen in Ein- und Ausfallswinkel unkritisch. Der Betrachtung kann dann ein extremer oder mittlerer Winkel (z.B. ein ebenes Objekt) zugrunde gelegt werden.

[0021] Das erfindungsgemäße Verfahren umfasst das Bereitstellen eines zumindest teilweise transparenten Objekts (z.B. Linsen oder Brillengläser), das Durchführen der Aufnahmen durch Einstrahlen von Licht auf das Objekt und Empfangen von an dem Objekt reflektiertem Licht sowie die Zuordnung der eingestrahnten Musterelemente/Intensitäten von an der Vorder- bzw. Rückfläche des Objekts reflek-

tiertem Licht. Weiter umfasst das Verfahren die Ermittlung von Oberflächendaten und/oder Messdaten zumindest einer der Oberflächen des Objekts und gegebenenfalls ein Vergleichsschritt. Letzterer kann ein Vergleichen von Oberflächendaten mit Sollwerten zu Oberflächendaten, ein Vergleichen von Messdaten (z.B. Position auf der Beleuchtungseinrichtung) mit Sollwerten zu Messdaten, oder die Berechnung der Abweichung von Oberflächendaten von Sollwerten zu Oberflächendaten auf Basis der Abweichung der Messdaten von Sollwerten zu Messdaten umfassen. Die Sollwerten zu Messdaten können beispielsweise als Ergebnisse von Ray-Tracing-Rechnungen aus den Sollwerten zu Oberflächendaten gewonnen werden. Zusätzlich kann das Verfahren gegebenenfalls eine Bewertung der Abweichung umfassen. Weiter kann das Verfahren das Durchführen einer globalen Qualitätsbewertung aus den festgestellten lokalen Abweichungen umfassen. Generell ist es ausreichend für das erfindungsgemäße Verfahren, einen Teil der Reflexe bzw. der Intensität eines Teiles der Pixel zuzuordnen und Daten zu einen Teil der Oberfläche zu bestimmen.

[0022] Dabei können die an einer Vorderfläche reflektierten Lichtintensitäten direkt, wie im Stand der Technik bekannt und beispielsweise in den einleitend genannten Schriften von Malacara, Dörband, und den einleitend genannten Schriften zu Stereodeflektometrie, Richtungskodierter Deflektometrie, Brillenglasqualitätskontrolle beschrieben, in geeigneter Weise ausgewertet werden, während bei der Auswertung der an einer Rückfläche reflektierten Lichtintensitäten Brechung an der Vorderfläche, Transmission durch das Objekt, Reflexion an der Rückfläche, Transmission durch das Objekt sowie Brechung an der Vorderfläche zu berücksichtigen sind.

[0023] Prinzipiell ist denkbar, das Verfahren auch auf Grenzflächen in optischen Elementen auszudehnen, die aus Teilelementen mit unterschiedlichen Brechungsindizes bestehen, wie beispielsweise achromatische Linsen wie Hall- und Dollondachromaten sowie Hastingstripletts. Der Begriff Oberfläche umfasst in diesem Fall nicht nur die Vorder- und Rückfläche, sondern auch die Grenzflächen innerhalb des optischen Elementes beispielsweise zwischen verschiedenen Materialien.

[0024] Eine Einstellung der Polarisation des einstrahlten Lichts durch die gewählte Stellung des Polarisators der Beleuchtungseinrichtung, die mögliche Änderung der Polarisation bei der Reflexion an einer Oberfläche und die Auswahl einer bestimmten Polarisation des empfangenen Lichts durch die Stellung des Analysators der Aufnahmeeinrichtung ermöglichen ein gezieltes zumindest teilweises Unterdrücken oder ein gezieltes Hervorheben einzelner Reflexe. Dadurch können beispielsweise Reflexe der

vorderen Oberfläche oder der rückwärtigen Oberfläche gezielt herausgefiltert werden.

[0025] Gemäß einer vorteilhaften Ausgestaltung können die Einstrahlpolarisation und/oder die Analysepolarisation derart gewählt werden, dass in der gemessenen Intensitätsverteilung die unerwünschte Lichtintensität dem von der Aufnahmeeinrichtung empfangenen Licht entspricht, das zu der Analysepolarisation verschieden polarisiert ist, und/oder eine erwünschte Lichtintensität dem von der Aufnahmeeinrichtung empfangenen Licht entspricht, das gleich der Analysepolarisation polarisiert ist.

[0026] Dabei können die Einstrahlpolarisation und/oder die Analysepolarisation derart gewählt werden, dass der detektierte Anteil der erwünschten Lichtintensität, d.h. die Lichtintensität, die auf die Reflexion an einer Oberfläche zurückgeht, größer ist als der detektierte Anteil der unerwünschten Lichtintensität, d.h. die Lichtintensität, die auf die Reflexion an der anderen Oberfläche zurückgeht und in speziellen Fällen sogar so, dass der detektierte Anteil der unerwünschten Lichtintensität vollständig unterdrückt wird. Die Verwendung unterschiedlich ausgerichteter Polarisationen von Polarisator und Analysator sowie das schrittweise Verstellen der Polarisationen von Polarisator und Analysator gegeneinander erlauben es, gezielt Reflexe der Vorderfläche und/oder der Rückfläche des Objekts zu schwächen und so den Schwerpunkt bei der Auswertung der Reflexe auf die Vorderfläche oder die Rückfläche zu legen und daraus Daten zu den Oberflächen zu bestimmen.

[0027] Weiterhin können die Einstrahlpolarisation und die Analysepolarisation derart gewählt werden, dass in der gemessenen Intensitätsverteilung die unerwünschte Lichtintensität dem von der Aufnahmeeinrichtung empfangenen Licht entspricht, das zu der Analysepolarisation senkrecht polarisiert ist, und die erwünschte Lichtintensität dem von der Aufnahmeeinrichtung empfangenen Licht entspricht, das nicht senkrecht der Analysepolarisation polarisiert ist.

[0028] Auch hier können die Einstrahlpolarisation und die Analysepolarisation insbesondere derart gewählt werden, dass der detektierte Anteil der erwünschten Lichtintensität, d.h. der Lichtintensität, die auf die Reflexion an einer Oberfläche zurückgeht, größer ist als der detektierte Anteil der unerwünschten Lichtintensität, d.h. der Lichtintensität, die auf die Reflexion an der anderen Oberfläche zurückgeht und sogar so, dass der detektierte Anteil der unerwünschten Lichtintensität vollständig unterdrückt wird.

[0029] Die Verwendung unterschiedlich ausgerichteter Polarisationen von Polarisator und Analysator sowie das schrittweise Verstellen der Polarisationen von Polarisator und Analysator gegeneinander erlauben es, gezielt Reflexe der Vorderfläche und/oder der

Rückfläche des Objekts zu schwächen und so den Schwerpunkt bei der Auswertung der Reflexe auf die Vorderfläche oder die Rückfläche zu legen und daraus Daten zu den Oberflächen zu bestimmen.

[0030] Die Winkelstellung zur Unterdrückung der Reflexe an der Vorder- bzw. Rückfläche unterscheiden sich dabei nicht notwendigerweise um 90° . In diesen Fällen wird auch der Reflex der anderen Oberfläche geschwächt, was aber unkritisch für die Auswertung der Lichtintensitäten ist. Ferner können für mehrere Polarisatorstellungen die jeweiligen zur zumindest teilweisen Unterdrückung der Reflexe der einen Oberfläche notwendigen Stellung des Analysators und die dazugehörige Intensität der nicht zu unterdrückenden Reflexe ermittelt werden. Bevorzugt werden dann die Stellungen, bei denen die verbleibende Intensität der nicht zu unterdrückenden Reflexe oder der Kontrast zwischen beiden Reflexen maximal wird.

[0031] Gemäß einer vorteilhaften Ausgestaltung kann die Einstrahlpolarisation senkrecht oder parallel polarisiert in Bezug auf eine Einfallsebene sein, die durch das auf das Objekt auftreffende Licht und das von der Aufnahmeeinrichtung empfangene Licht aufgespannt wird. Senkrechte und/oder parallele Polarisationen können bevorzugt eingesetzt werden, da hier jeweils nur eine Komponente als Reflex auftritt und damit keine Drehung, sondern eine Unterdrückung der Reflexe stattfindet.

[0032] Gemäß einer vorteilhaften Ausgestaltung können die Einstrahlpolarisation und die Analysepolarisation zueinander verschieden ausgerichtet werden.

[0033] Insbesondere bei Verwendung einer Einstrahlpolarisation, die senkrecht oder parallel in Bezug auf eine Einfallsebene polarisiert ist, ist eine zueinander orthogonale Ausrichtung von Einstrahlpolarisation und Analysepolarisation besonders günstig.

[0034] Gemäß einer vorteilhaften Ausgestaltung können mehrere Beleuchtungseinrichtungen parallel eingesetzt werden, deren Einstrahlpolarisationen auch zueinander verschieden ausgerichtet sein können, und/oder mehrere Aufnahmeeinrichtungen parallel eingesetzt werden, deren Analysepolarisationen auch zueinander verschieden ausgerichtet sein können.

[0035] Da die Reflexions- und Transmissionskoeffizienten des Objekts von der lokalen Neigung der zu prüfenden Oberfläche abhängen, kann der Messbereich, d.h. Größe und lokale Neigung der Oberfläche erweitert werden, indem entweder mehrere Aufnahmeeinrichtungen, und/oder mehrere Beleuchtungseinrichtungen eingesetzt werden. Dadurch lässt sich eine größere Oberfläche des Objekts abdecken.

[0036] Auch lassen sich so innerhalb eines gegebenen Messvolumens Objekte mit stärker unterschiedlichen Oberflächenneigungen vermessen. Dies liegt daran, dass die jeweiligen Reflexions- und Transmissionskoeffizienten vom Einfallswinkel abhängen und sich durch mehrere Aufnahmeeinrichtungen, und/oder mehrere Beleuchtungseinrichtungen ein größerer Bereich von Neigungen mit ähnlichem Ein- bzw. Ausfallswinkel abdecken lässt.

[0037] Gemäß einer vorteilhaften Ausgestaltung kann das eingestrahlte Licht diskrete Musterelemente auf die ersten und zweiten Oberflächen des Objekts einstrahlen. Dabei kann das Bestimmen von Oberflächendaten und/oder Messdaten im Analysebereich einer der beiden Oberflächen des Objekts aus der gemessenen Intensitätsverteilung das Detektieren der Position wenigstens eines reflektierten Musterelements in der von der Aufnahmeeinrichtung empfangenen Intensitätsverteilung, das Zuordnen des reflektierten Musterelements zu der Oberfläche, an der die Reflexion erfolgt ist, sowie das Verwenden der Position des Musterelements auf der Beleuchtungseinrichtung und der Position des reflektierten Musterelements in der gemessenen Intensitätsverteilung zur Bestimmung von Oberflächendaten und/oder Messdaten umfassen.

[0038] Dabei kann vorteilhaft mit Vorrichtungen, die einzelne Strahlen bzw. separierbare Muster generieren, im Folgenden auch Musterelemente genannt, gearbeitet werden. Je nach verwendetem Verfahren kann die erzeugte Strahlung dabei diffus (z.B. klassische deflektometrische Verfahren) oder gerichtet (z.B. richtungskodierte Deflektometrie, Verfahren mit definiert eingestrahltten Wellenfronten) sein. Eine diffuse Strahlung lässt sich beispielsweise mit einem Display, einem Projektionssystem (z.B. Display in Transmission, Mikrospiegel, Dias, Blenden-, oder (Mikro)Linsenanordnungen) in Kombination mit einer Streuplatte oder einzelnen zumindest teilweise diffusen Lichtquellen (z.B. LEDs) erzeugen.

[0039] Eine gerichtete Strahlung lässt sich beispielsweise durch ein solches Projektionssystem ohne Streuplatte oder durch ein Display bzw. ein Projektionssystem mit Streuplatte und anschließender Optik (z.B. f-Theta-Objektiv) erzeugen. Die Schritte zur Zuordnung der in Aufnahmen sichtbaren Reflexionen dieser Musterelemente an Vorder- bzw. Rückfläche können dabei entweder vor der Selektion der einzelnen Musterelemente auf Pixelebene durchgeführt werden oder bevorzugt nach der Selektion für jedes identifizierte Musterelement. Die Zuordnung auf Pixelebene kann zweckmäßigerweise analog durchgeführt werden.

[0040] Generell kann nach der Identifizierung der Musterelemente jedem Musterelement eine Position in den Aufnahmen über die Pixelkoordinaten

der Aufnahmeeinrichtung, sowie eine Position in der Beleuchtungseinrichtung über die Pixelkoordinaten in der Beleuchtungseinrichtung zugeordnet werden. Daraus können auf Basis der bekannten Geometrie des Messaufbaus Oberflächendaten und/oder Messdaten der zu vermessenden Oberfläche in bekannter Weise bestimmt werden.

[0041] Grundsätzlich kann bei diesem Verfahren mit einer Polarisatorstellung gearbeitet werden. Dabei können mit einer Analysatorstellung Reflexe an der Vorderfläche sowie an der Rückfläche oder auch an beiden Oberflächen zur Zuordnung der Musterelemente verwendet werden.

[0042] Vorteilhaft kann auch mit zwei Analysatorstellungen gearbeitet werden, indem der oder die vorderflächigen Reflexe, die von einzelnen Musterelementen stammen, durch Ausschluss des oder der rückflächigen Reflexe aus einer Menge bzw. Aufnahme, die Reflexe beider Flächen enthalten kann, bestimmt werden. Ebenso ist auch eine Bestimmung des rückflächigen Reflexes durch Ausschluss des oder der vorderflächigen Reflexe denkbar.

[0043] Weiterhin ist denkbar, mit mehr als zwei Analysatorstellungen zu arbeiten, um so eine Bestimmung der erwünschten Reflexe bei gleichzeitiger Schwächung der unerwünschten Reflexe zu ermöglichen sowie daraus eine Zuordnung der erwünschten Reflexe zu Musterelementen und daraus eine Bestimmung der Oberflächendaten und/oder Messdaten einer Oberfläche zu ermöglichen. Weiterhin ist es denkbar, mit mehreren Polarisatorstellungen in ähnlicher Weise zu verfahren, um so eine noch bessere Abgrenzung zwischen erwünschten und unerwünschten Reflexe zu erreichen.

[0044] Gemäß einer vorteilhaften Ausgestaltung kann bei der Zuordnung des zumindest einen Musterelements zu der Oberfläche, an der die Reflexion erfolgt ist, die Lichtintensität des jeweiligen reflektierten Musterelements mit einem vorgegebenen oder aus der gemessenen Intensitätsverteilung ermittelten Schwellwert verglichen werden. Auf diese Weise lassen sich günstigerweise nur Reflexe von Musterelementen selektieren, deren Intensität den Schwellwert überschreitet, um so eine sichere Zuordnung der Musterelemente zu ermöglichen.

[0045] Gemäß einer vorteilhaften Ausgestaltung kann bei der Zuordnung des zumindest einen Musterelements zu der Oberfläche, an der die Reflexion erfolgt ist, auf Basis der gemessenen Intensitätsverteilung die Polarisierung des jeweiligen reflektierten Musterelements zumindest näherungsweise ermittelt werden. Eine solche Vorgehensweise ist zweckmäßig, da dadurch die Zuordnung der Reflexe zu dem Musterelement zuverlässiger bestimmt werden kann. Die Polarisierung eines Reflexes kann dabei vorteilhaft

durch zwei Messungen mit zueinander orthogonalen Stellungen des Analysators bestimmt werden.

[0046] Gemäß einer vorteilhaften Ausgestaltung kann das eingestrahlte Licht flächige oder linienförmige Muster, insbesondere Linien, Balken, beispielsweise mit konstantem oder sinusförmigem Intensitätsverlauf, oder eine kontinuierliche Intensitätsverteilung auf die erste und zweite Oberfläche des Objekts einstrahlen. Wie im Fall der diskreten Musterelemente beschrieben, kann dazu diffuse oder gerichtete Strahlung verwendet werden. Dabei kann das Bestimmen der Oberflächendaten und/oder Messdaten im Analysebereich einer der beiden Oberflächen des Objekts aus der gemessenen Intensitätsverteilung das Bestimmen der Lichtintensität, die durch Reflexion an der zumindest einen Oberfläche erzeugt und von der Aufnahmeeinrichtung empfangen wird, für zumindest einen Punkt in der gemessenen Intensitätsverteilung, das Zuordnen des Punktes zu der Position auf der Beleuchtungseinrichtung, von der das Licht stammt, das durch Reflexion an der Oberfläche in den Punkt der gemessenen Intensitätsverteilung abgebildet wird, sowie das Verwenden der Position des Punktes in der gemessenen Intensitätsverteilung und der zugeordneten Position auf der Beleuchtungseinrichtung zur Bestimmung der Oberflächendaten und/oder Messdaten einer Oberfläche umfassen.

[0047] Bei diesem Verfahren werden nicht einzelne, separierbare Musterelemente abgebildet, sondern ganzflächige Muster. In jedem Pixel einer Aufnahmeeinrichtung überlagern sich daher die Helligkeiten der punktförmigen Reflexe des entsprechenden Oberflächenelements der Vorderfläche und des entsprechenden Oberflächenelements der Rückfläche. Da sich, bei der meist vorliegenden inkohärenten Überlagerung, die Intensitäten summieren, werden die Beiträge von Vorder- und Rückfläche für die Auswertung in jedem Pixel wieder getrennt.

[0048] Da es bei der Auswertung auf die Intensität der einzelnen Pixel ankommt, wird in jedem Pixel der Aufnahmeeinrichtung der Anteil des vorderflächigen Reflexes bzw. der Anteil der rückflächigen Reflexion bestimmt. Das Verfahren bezieht sich darauf, „Aufnahmen“ zu ermitteln, die die Intensität der vorder- oder rückflächigen Reflexe wiedergeben. Daraus kann dann bei jedem einzelnen Pixel der Aufnahmeeinrichtung die über das Objekt abgebildete Position der Beleuchtungseinrichtung in bekannter Weise rekonstruiert werden. Daraus können dann in ebenfalls bekannter Weise an Hand der vorgegebenen Geometrie der Messvorrichtung Oberflächendaten und/oder Messdaten der zu vermessenden Oberfläche bestimmt werden.

[0049] Zur Steigerung der Genauigkeit bzw. Sicherheit der Messung oder falls eine Trennung der Intensitäten der vorder- und rückseitigen Reflexionen

mit den oben beschriebenen Verfahren auf Grund ungünstiger Geometrien des Objekts nicht möglich sein sollte (z.B. Objektgeometrie mit stark unterschiedlicher Ausrichtung der Objektfläche zur Beleuchtungsrichtung), kann folgendes Verfahren durchgeführt werden:

- Erste Aufnahme mit einer ersten Polarisatorstellung (Index A in der folgenden Bezeichnung von Messgrößen) und einer ersten Analysatorstellung (Index 1),
- Zweite Aufnahme mit der ersten Polarisatorstellung (Index A) und einer zweiten Analysatorstellung (Index 2),
- Erste Aufnahme mit einer zweiten Polarisatorstellung (Index B) und einer dritten Analysatorstellung (Index 3),
- Zweite Aufnahme mit der zweiten Polarisatorstellung (Index B) und einer vierten Analysatorstellung (Index 4),
- Pixelweise Berechnung des Anteils der von der vorder- und rückseitigen Reflexion herrührenden Lichtintensität durch Lösung eines Gleichungssystems, wie nachfolgend beschrieben.

[0050] Der Vorder-(Index V) und der Rückseitenreflex (Index R) bilden Licht unterschiedlicher Quellen (z.B. unterschiedliche Pixel einer Mattscheibe) und damit unterschiedlicher Ursprungsintensitäten E auf denselben Pixel der Aufnahmeeinrichtung ab, die dort die Intensität D detektiert. Während der Vorderseitenreflex lediglich an der Vorderseite reflektiert (Reflexionskoeffizient R^V) wird, tritt bei dem Rückseitenreflex (effektiver Reflexionskoeffizient R^R) eine erste Brechung (Transmissionskoeffizient der Brechung B^{R1}) an der Vorderseite, eine erste Transmission (Transmissionskoeffizient T^{R1}) durch das Objekt, die Reflexion an der Rückseite des Objekts (Reflexionskoeffizient R^1), eine zweite Transmission durch das Objekt zurück (Transmissionskoeffizient T^{R2}) und schließlich eine zweite Brechung beim Austritt aus dem Objekt (Transmissionskoeffizient B^{R2}) auf.

[0051] Dabei gilt, dass die mit A, B, 1 und 2 bezeichneten Polarisationsrichtungen nicht notwendigerweise s- bzw. p-polarisiert sind. Entsprechend hängen die Reflexionskoeffizienten in bekannter Weise von den Komponenten in der jeweiligen Polarisation ab.

[0052] Für die vier Messungen ergibt sich damit folgendes Gleichungssystem

$$D_A^1 = R_{A1}^V \times E_A^V + R_{A1}^R \times E_A^R$$

$$D_A^2 = R_{A2}^V \times E_A^V + R_{A2}^R \times E_A^R$$

$$D_B^3 = R_{B3}^V \times E_S^V + R_{B3}^R \times E_B^R$$

$$D_A^4 = R_{B4}^V \times E_S^V + R_{B4}^R \times E_B^R$$

[0053] Zur Bestimmung der Intensitäten des vorder- bzw. des rückseitigen Reflexes wird dieses System nach den Unbekannten E_A^V , E_A^R , E_B^V und E_B^R , aufgelöst.

[0054] Sind die Koeffizienten R des Gleichungssystems aus Kenntnissen der Geometrie der Messanordnung bekannt, können die Unbekannten E_A^V , E_A^R , E_B^V und E_B^R direkt berechnet werden.

[0055] Bevorzugt können dazu an der Beleuchtungseinrichtung für die Polarisationsrichtungen A und B die gleichen Intensitäten gewählt werden, oder Intensitäten, die sich nur durch bekannte Faktoren I unterscheiden

$$(E^R = \frac{E_A^R}{I_A^R} = \frac{E_B^R}{I_B^R} \quad \text{und} \quad E^V = \frac{E_A^V}{I_A^V} = \frac{E_B^V}{I_B^V}),$$

wodurch sich die Anzahl der Unbekannten halbiert und auf E^R und E^V reduziert.

[0056] Die gewonnenen Freiheitsgrade können zur Ermittlung unbekannter Koeffizienten oder unbekannter Parameter, von denen die Koeffizienten in a-priori bekannter Weise abhängen, genutzt werden.

[0057] Wählt man die Analysatorpolarisationen so, dass die Reflexe der Vorderfläche verschwinden (z.B. Wahl der s- und p-Polarisation für die Einstrahlpolarisationen A bzw. B sowie die Analysepolarisationen 2,4 bzw. 1,3), so verschwinden die Komponenten R_{A1}^V und R_{B4}^V , wodurch sich das Gleichungssystem ebenfalls vereinfacht.

[0058] Wendet man beide obigen Vereinfachungen an, erhält man

$$D_S^1 = R_{S1}^R \times E^R$$

$$D_S^2 = R_{S2}^V \times E^R + R_{S2}^R \times E^R$$

$$D_P^3 = R_{P3}^V \times E^V + R_{P3}^R \times E^R$$

$$D_P^4 = R_{P2}^R \times E^R$$

[0059] Gemäß einer vorteilhaften Ausgestaltung kann bei der Zuordnung der Position des zumindest einen Punktes auf der Beleuchtungseinrichtung auf Basis der gemessenen Intensitätsverteilung die Polarisation des jeweiligen reflektierten Punktes zumindest näherungsweise ermittelt werden. Eine solche Vorgehensweise ist zweckmäßig, da dadurch die Zuordnung des Reflexes zu dem Musterelement zuverlässiger bestimmt werden kann.

[0060] Gemäß einer vorteilhaften Ausgestaltung kann für ein zumindest teilweises Unterdrücken oder Hervorheben von an der ersten Oberfläche reflektiertem Licht die Analysepolarisation rechnerisch bestimmt werden. Dabei umfasst das Verfahren das

Zerlegen des eingestrahnten polarisierten Lichts in senkrecht und parallel polarisierte Komponenten in einer Einfallsebene. Anschließend wird die Lichtintensität beider Komponenten mit jeweils einem aus einem Einfallswinkel und einem Brechungsindex eines Materials des Objekts resultierenden Reflexionskoeffizienten multipliziert und die so erhaltenen Komponenten des reflektierten Lichts zusammengesetzt. Danach wird die Polarisationsrichtung des reflektierten Lichts bestimmt, sowie die Analysepolarisation des Analysators zumindest näherungsweise senkrecht oder zumindest näherungsweise parallel zur Polarisationsrichtung des reflektierten Lichts eingestellt. Die zumindest teilweise Unterdrückung des Reflexes der Vorderfläche dient erfindungsgemäß dazu, den rückseitigen Reflex deutlicher herauszustellen oder zu isolieren. Die Bestimmung der Ausrichtung der Polarisationsachse ist für den vorderflächigen Reflex konzeptionell einfacher als für den rückflächigen, da hier nur eine Reflexion betrachtet werden muss. Generell kann zum zumindest teilweisen Unterdrücken oder Hervorheben des Reflexes der Vorderfläche mit jeder Stellung des Polarisators gearbeitet werden. Die Stellung des Analysators ist entsprechend anzupassen.

[0061] Gemäß einer vorteilhaften Ausgestaltung kann für ein zumindest teilweises Unterdrücken oder Hervorheben von an der zweiten Oberfläche reflektiertem Licht die Analysepolarisation rechnerisch bestimmt werden. Dabei umfasst das Verfahren das Zerlegen des eingestrahnten polarisierten Lichts in senkrecht und parallel polarisierte Komponenten in einer ersten Einfallsebene des Lichts, die der Einfallsebene der Brechung an der ersten Oberfläche entspricht, sowie das anschließende Multiplizieren der Lichtintensität beider Komponenten mit jeweils einem aus einem ersten Einfallswinkel und dem Brechungsindex des Materials des Objekts resultierenden Transmissionskoeffizienten.

[0062] Weiter umfasst das Verfahren das Umrechnen dieser Komponenten in senkrecht und parallel polarisierte Komponenten in einer zweiten Einfallsebene, die der Einfallsebene der Reflexion an der zweiten Oberfläche entspricht, sowie das anschließende Multiplizieren der Lichtintensität beider Komponenten mit jeweils einem Reflexionskoeffizienten, der aus einem sich aus der Brechung an der ersten Oberfläche sowie der Reflexion an der zweiten Oberfläche ergebenden zweiten Einfallswinkel und dem Brechungsindex des Materials des Objekts und/oder einer Halterung resultiert.

[0063] Anschließend werden diese Komponenten in senkrecht und parallel polarisierte Komponenten in einer dritten Einfallsebene, die einer Einfallsebene der zweiten Brechung an der ersten Oberfläche entspricht, umgerechnet und die Lichtintensität beider Komponenten mit jeweils einem zweiten Transmis-

sionskoeffizienten, der aus einem sich aus der Reflexion an der zweiten Oberfläche sowie der ersten Oberfläche ergebenden dritten Einfallswinkel und dem Brechungsindex des Materials des Objekts resultiert, multipliziert.

[0064] Die so erhaltenen Komponenten des transmittierten Lichts werden zusammengesetzt und die Polarisationsrichtung des durch die erste Oberfläche zum zweiten Mal gebrochenen Lichts bestimmt, sowie die Analysepolarisation des Analysators zumindest näherungsweise senkrecht oder zumindest näherungsweise parallel zur Polarisationsrichtung des zum zweiten Mal durch die erste Oberfläche gebrochenen Lichts eingestellt.

[0065] Die zumindest teilweise Unterdrückung des Reflexes der Rückfläche dient erfindungsgemäß dazu, den vorderseitigen Reflex deutlicher herauszustellen oder zu isolieren. Die Bestimmung der Drehung der Polarisationsachse ist für den rückflächigen Reflex konzeptionell aufwändiger als für den vorderflächigen, da hier zwei Brechungen, zwei Transmissionen und eine Reflexion betrachtet werden. Generell kann auch hier zur zumindest teilweisen Unterdrückung oder Hervorhebung des Reflexes der Rückfläche jeder Stellung des Polarisators gearbeitet werden. Die Stellung des Analysators ist entsprechend anzupassen.

[0066] Die in beiden vorstehenden Absätzen genannten Winkel und Einfallsebenen können, aber müssen nicht notwendigerweise den am Objekt tatsächlich auftretenden Winkeln bzw. Einfallsebenen entsprechen. Vielmehr ist es in vielen Fällen ausreichend, Winkel bzw. Einfallsebenen zu betrachten, die im Bereich (zum Beispiel in der Mitte oder an der Grenze) der für ein Objekt oder für eine Verteilung von Objekten zu erwartenden Winkeln liegen.

[0067] Gemäß einer vorteilhaften Ausgestaltung kann für ein zumindest teilweises Unterdrücken der Lichtintensität von an der ersten oder zweiten Oberfläche reflektiertem Licht die Stellung von Polarisator und/oder Analysator empirisch bestimmt werden. Dabei umfasst das Verfahren das Einstellen einer beliebigen Stellung des Polarisators und einer beliebigen Stellung des Analysators.

[0068] Anschließend werden Intensitätsverteilungen des an der ersten und an der zweiten Oberfläche reflektierten Lichts gemessen, sowie der Kontrast zwischen dem an der ersten Oberfläche reflektierten Licht und dem an der zweiten Oberfläche reflektierten Licht bewertet. Danach werden die Stellungen von Polarisator und/oder Analysator iterativ verstellt, bis ein vorgegebener oder ein maximal zu erzielender Kontrast zwischen dem an der ersten Oberfläche reflektierten Licht und dem an der zweiten Oberfläche reflektierten Licht erreicht ist oder ein Grenzwert für

die Intensität des unerwünschten Lichts erreicht oder unterschritten wird. Neben der rechnerischen Festlegung der Polarisator- und Analysatorstellungen ist so auch ein empirisches Vorgehen zur Minimierung eines unerwünschten Reflexes möglich.

[0069] Die Erfindung betrifft nach einem weiteren Aspekt eine Vorrichtung zum Bestimmen von Oberflächendaten und/oder Messdaten einer Oberfläche eines zumindest teilweise transparenten Objekts, insbesondere eines Brillenglases, mit dem oben beschriebenen Verfahren. Die Vorrichtung umfasst wenigstens eine Beleuchtungseinrichtung mit einem in einer optischen Achse nach oder als Teil der Beleuchtungseinrichtung angeordneten Polarisator mit einer Einstrahlpolarisation, wenigstens eine Aufnahmeeinrichtung mit einem in einer optischen Achse vor oder als Teil der Aufnahmeeinrichtung angeordneten Analysator mit einer Analysepolarisation, sowie eine Halterung für das Objekt.

[0070] Diskrete Musterelemente und/oder flächige Muster sind dabei von der Beleuchtungseinrichtung durch den Polarisator auf das Objekt einstrahlbar und von der Aufnahmeeinrichtung durch den Analysator empfangbar.

[0071] Die Beleuchtungseinrichtung umfasst einen Musterezeuger, der beispielsweise ein Display, ein Projektionssystem, einzelne Lichtquellen oder eine Kombination aus Projektionssystem mit Streuplatte umfassen kann. Je nach verwendetem Verfahren kann die erzeugte Strahlung dabei diffus (z.B. klassische deflektometrische Verfahren) oder gerichtet (z.B. richtungskodierte Deflektometrie, Verfahren mit definiert eingestrahlten Wellenfronten) sein.

[0072] Eine diffuse Strahlung lässt sich beispielsweise mit einem Display, einem Projektionssystem (z.B. Display in Transmission, Mikrospiegel, Dias, Blenden- oder (Mikro)Linsenanordnungen) in Kombination mit einer Streuplatte oder einzelnen zumindest teilweise diffusen Lichtquellen (z.B. LEDs) erzeugen. Eine gerichtete Strahlung lässt sich beispielsweise durch ein solches Projektionssystem ohne Streuplatte oder durch ein Display bzw. ein Projektionssystem mit Streuplatte und anschließender Optik (z.B. f-Theta-Objektiv) erzeugen.

[0073] Die Aufnahmeeinrichtung umfasst beispielsweise eine Kamera, die das von der Beleuchtungseinrichtung eingestrahlte und am Objekt gespiegelte Licht aufnimmt. Erfindungsgemäß wird sowohl zwischen Beleuchtungseinrichtung und Objekt als auch zwischen Objekt und Aufnahmeeinrichtung jeweils ein polarisierendes Element eingefügt, sofern nicht eines oder beide dieser polarisierenden Elemente bereits Teil der Beleuchtungs- bzw. Aufnahmeeinrichtung sind.

[0074] Eines oder beide dieser polarisierenden Elemente sind beispielsweise um die optische Achse drehbar gelagert, damit unterschiedliche Stellungen der Polarisations Ebene eingestellt werden können.

[0075] Da die Reflexions- und Transmissionskoeffizienten des Objekts von der lokalen Neigung der zu prüfenden Oberfläche abhängen, kann der Messbereich, d.h. Größe und lokale Neigung der Oberfläche erweitert werden, indem entweder mehrere Aufnahmeeinrichtungen, und/oder mehrere Beleuchtungseinrichtungen eingesetzt werden. Dadurch lässt sich eine größere Oberfläche des Objekts abdecken.

[0076] Auch lassen sich so innerhalb eines gegebenen Messvolumens Objekte mit stärker unterschiedlichen Oberflächenneigungen vermessen. Dies liegt daran, dass die jeweiligen Reflexions- und Transmissionskoeffizienten vom Einfallswinkel abhängen und sich durch mehrere Aufnahmeeinrichtungen, und/oder mehrere Beleuchtungseinrichtungen ein größerer Bereich von Neigungen mit ähnlichem Ein- bzw. Ausfallswinkel abdecken lässt.

[0077] Gemäß einer besonders vorteilhaften Ausgestaltung können diskrete Musterelemente und/oder flächige oder linienförmige Muster von der Beleuchtungseinrichtung durch den Polarisator auf das Objekt einstrahlbar sein und von der Aufnahmeeinrichtung durch den Analysator empfangbar sein.

[0078] Alternativ kann auch eine Wellenfront (beispielsweise von einer punktförmigen Quelle ausgehend oder aus parallelem Licht bestehend) auf das Objekt eingestrahlt werden, wobei der Wellenfront auch zusätzlich ein Muster aufgeprägt sein kann. Die Wellenfront wird am Objekt (Vorder- und Rückseite) reflektiert und kann danach analysiert werden. So kann gemäß einer vorteilhaften Ausgestaltung die Beleuchtungseinrichtung mit dem Polarisator Strahlung mit einer vorgegebenen Einstrahlpolarisation auf das Objekt einstrahlen und die Aufnahmeeinrichtung mit dem Analysator die Wellenfront einer durch den Analysator bestimmten Polarisationskomponente empfangen.

[0079] Dabei kann die eingestrahlte Strahlung eine vorgegebene, insbesondere ebene oder kugelförmige Wellenfront aufweisen und die Aufnahmeeinrichtung kann die Form der Wellenfront analysieren und dabei insbesondere nach dem Hartmann-Prinzip (Blendenplatte und Aufnahmeeinheit), Shack-Hartmann-Prinzip((Mikro-)Linsenarray und Aufnahmeeinheit)), dem Moiré-Prinzip oder interferometrisch arbeiten. Auch in diesem Fall lassen sich mit einem Polarisator vor dem Objekt und einem Analysator nach dem Objekt die Reflexe von Vorder- und Rückseite erfindungsgemäß trennen.

[0080] Gemäß einer vorteilhaften Ausgestaltung kann die Vorrichtung eine Datenverarbeitungseinrichtung zur Analyse der mit der Aufnahmeeinrichtung empfangenen reflektierten Lichtstrahlung umfassen. Die Datenverarbeitungseinrichtung steuert dabei eine Auswertung der mit der Aufnahmeeinrichtung aufgenommenen reflektierten Lichtstrahlung. Ferner kann diese oder eine weitere Datenverarbeitungseinrichtung mit der Beleuchtungseinrichtung verbunden sein und die Mustererzeugung der Beleuchtungseinrichtung steuern. Die Beleuchtung kann flexibel oder auch fix sein.

[0081] Die Erfindung betrifft nach einem weiteren Aspekt ein Computerprogrammprodukt zum Bestimmen von Oberflächendaten und/oder Messdaten einer Oberfläche eines zumindest teilweise transparenten Objekts, insbesondere eines Brillenglases. Das Computerprogrammprodukt umfasst dabei ein computerlesbares Speichermedium, welches einen Programmcode beinhaltet, der dazu ausgebildet ist, ein Verfahren wie oben beschrieben auszuführen, wenn der Programmcode auf einer Datenverarbeitungseinrichtung ausgeführt wird.

Zeichnungen

[0082] Weitere Vorteile ergeben sich aus der folgenden Zeichnungsbeschreibung. In den Zeichnungen sind Ausführungsbeispiele der Erfindung dargestellt. Die Zeichnungen, die Beschreibung und die Ansprüche enthalten zahlreiche Merkmale in Kombination. Der Fachmann wird die Merkmale zweckmäßigerweise auch einzeln betrachten und zu sinnvollen weiteren Kombinationen zusammenfassen.

Es zeigen beispielhaft:

[0083] Fig. 1 Reflexionskoeffizienten für die Reflexion an einer Vorderfläche eines Objekts bei senkrecht und parallel zur Einfallsebene polarisiertem Licht;

[0084] Fig. 2 Reflexionskoeffizienten für die Reflexion an einer Rückfläche des Objekts von Fig. 1 bei senkrecht und parallel zur Einfallsebene polarisiertem Licht;

[0085] Fig. 3 eine schematische Darstellung einer Vorrichtung zum Bestimmen von Oberflächendaten und/oder Messdaten einer Oberfläche eines Objekts nach einem Ausführungsbeispiel der Erfindung mit einer Beleuchtungseinrichtung und einer Aufnahmeeinrichtung;

[0086] Fig. 4 eine Definition der Ein- und Ausfallswinkel von an der ersten und der zweiten Oberfläche des Objekts reflektierten Lichtstrahlen;

[0087] Fig. 5 eine schematische Darstellung einer Vorrichtung zum Bestimmen von Oberflächendaten

und/oder Messdaten einer Oberfläche eines Objekts nach einem weiteren Ausführungsbeispiel der Erfindung mit mehreren Beleuchtungseinrichtungen und mehreren Aufnahmeeinrichtungen;

[0088] Fig. 6 eine schematische Darstellung einer Aufnahme der Reflexion von an der Vorder- und Rückfläche eines Brillenglases reflektierten diskreten Musterelementen mit einer Vorrichtung und einem Verfahren nach einem Ausführungsbeispiel der Erfindung;

[0089] Fig. 7 eine schematische Darstellung der Aufnahme der Reflexion der diskreten Musterelemente von Fig. 6, wobei durch eine zur Analysatorstellung in Fig. 6 orthogonale Analysatorstellung der vorderflächige Reflex unterdrückt ist;

[0090] Fig. 8 eine schematische Darstellung der Aufnahme der Reflexion der diskreten Musterelemente von Fig. 6, wobei durch eine zu den Analysatorstellungen in den Fig. 6 und Fig. 7 verschiedenen Analysatorstellung der rückflächige Reflex unterdrückt ist;

[0091] Fig. 9 ein Flussdiagramm eines Verfahrens zum Bestimmen von Oberflächendaten und/oder Messdaten einer Oberfläche eines zumindest teilweise transparenten Objekts nach einem Ausführungsbeispiel der Erfindung;

[0092] Fig. 10 ein Flussdiagramm eines Verfahrens zum Bestimmen von Oberflächendaten und/oder Messdaten einer Oberfläche eines zumindest teilweise transparenten Objekts mit diskreten Musterelementen nach einem weiteren Ausführungsbeispiel der Erfindung;

[0093] Fig. 11 ein Flussdiagramm eines Verfahrens zum Bestimmen von Oberflächendaten und/oder Messdaten einer Oberfläche eines zumindest teilweise transparenten Objekts mit flächigen Mustern nach einem weiteren Ausführungsbeispiel der Erfindung; und

[0094] Fig. 12 ein Flussdiagramm für ein weiteres Ausführungsbeispiel des erfindungsgemäßen Verfahrens, bei dem Messungen mit zwei Analysatorstellungen durchgeführt werden.

Ausführungsformen der Erfindung

[0095] In den Figuren sind gleichartige oder gleichwirkende Komponenten mit gleichen Bezugszeichen beziffert. Die Figuren zeigen lediglich Beispiele und sind nicht beschränkend zu verstehen.

[0096] Fig. 1 zeigt Reflexionskoeffizienten für die Reflexion an einer Vorderfläche eines transparenten Objekts bei senkrecht (R_s) und parallel (R_p) zur Einfallsebene polarisiertem Licht als Funktion des Ein-

fallswinkels α . Bei Reflexion und Brechung kann linear polarisiertes Licht seine Polarisation ändern. Dies liegt daran, dass üblicherweise für die Komponente, die parallel zur Einfallsebene liegt (p), andere Reflexions- bzw. Transmissionskoeffizienten gelten als für die Komponente, die senkrecht zur Einfallsebene steht (s). Werden beide Komponenten in ihrer Intensität unterschiedlich beeinflusst, ändert sich die Richtung der resultierenden reflektierten bzw. gebrochenen Strahlung. **Fig. 1** zeigt die Reflexionskoeffizienten für die Reflexion an der Vorderfläche für ein Objekt aus einem Material mit dem Brechungsindex 2,0. Die Transmissionskoeffizienten ergänzen die entsprechenden Reflexionskoeffizienten zu jeweils 100%. Ebenfalls eingezeichnet ist der Brewster-Winkel, bei dem die Reflexion des parallel orientierten Lichts ausgelöscht ist.

[0097] In **Fig. 2** sind die entsprechenden Reflexionskoeffizienten für die Reflexion an einer Rückfläche des Objekts von **Fig. 1** bei senkrecht (R_s) und parallel (R_p) zur Einfallsebene polarisiertem Licht als Funktion des Einfallswinkels α dargestellt. Der Bereich der Totalreflexion an der Rückfläche des Objekts beginnt bereits bei einem Einfallswinkel von ca. 30° . Die Transmissionskoeffizienten ergänzen die entsprechenden Reflexionskoeffizienten zu jeweils 100%. Ebenfalls eingezeichnet ist der Brewster-Winkel, bei dem die Reflexion des parallel orientierten Lichts ausgelöscht ist.

[0098] **Fig. 3** zeigt eine schematische Darstellung einer Vorrichtung **100** zum Bestimmen von Oberflächendaten **16, 18** und/oder Messdaten zumindest einer Oberfläche **12, 14** eines Objekts **10**, insbesondere eines Brillenglases, nach einem Ausführungsbeispiel der Erfindung mit einer Beleuchtungseinrichtung **101** und einer Aufnahmeeinrichtung **102**. Die Vorrichtung **100** umfasst die Beleuchtungseinrichtung **101** mit einem in einer optischen Achse **106** nach der Beleuchtungseinrichtung **101** angeordneten Polarisator **108** mit einer Einstrahlpolarisation, die Aufnahmeeinrichtung **102** mit einem in einer optischen Achse **107** vor der Aufnahmeeinrichtung **102** angeordneten Analysator **110** mit einer Analysepolarisation, sowie eine Halterung **104** für das Objekt **10**. Bei dem erfindungsgemäßen Verfahren werden Lichtstrahlen **20** mit diskreten Musterelementen oder flächigen Mustern und/oder Wellenfronten **21** von der Beleuchtungseinrichtung **101** durch den Polarisator **108** auf das Objekt **10** eingestrahlt und von der Aufnahmeeinrichtung **102** durch den Analysator **110** empfangen. Die Vorrichtung umfasst weiter eine Datenverarbeitungseinrichtung **120** zur Steuerung der Beleuchtungseinrichtung **101** und Analyse der mit der Aufnahmeeinrichtung **102** empfangenen reflektierten Lichtstrahlung. Die Datenverarbeitungseinrichtung **120** steuert dabei Mustererzeugung der Beleuchtungseinrichtung **101** und Auswertung der

mit der Aufnahmeeinrichtung **102** aufgenommenen reflektierten Lichtstrahlung.

[0099] Das Objekt **10** in Form eines Brillenglases weist eine erste Oberfläche **12** (hier die Vorderfläche des Brillenglases) mit entsprechenden Oberflächendaten **16**, wie Höhendaten, Neigungsdaten, Krümmungsdaten, sowie eine zweite Oberfläche **14** (hier die Rückfläche des Brillenglases) mit entsprechenden Oberflächendaten **18** auf. Das Objekt **10** liegt mit seiner zweiten Oberfläche **14** auf dem Halter **104**, der vorteilhaft als Dreibein ausgeführt ist, um eine stabile und eindeutige Lagerung zu erfüllen. Der Halter **104** ist seinerseits auf einer Auflage **105** angeordnet. Das eingestrahelte Licht fällt mit einer vorgegebenen Intensitätsverteilung **20** oder Wellenfront **21** unter einem Winkel α gegen das auf einer Tangentialfläche **30** aufgestellte Lot **32** auf die Vorderfläche **12** des Objekts **10**. Das Licht wird teilweise an der Vorderfläche **12** reflektiert. Die Intensitätsverteilung **22** oder Wellenfront **24** des an der Vorderfläche **12** reflektierten Lichts wird von der Aufnahmeeinrichtung **102** durch den Analysator **110** gemessen. Der Teil des einfallenden Lichts, der nicht direkt reflektiert wird, dringt als Transmission in das Objekt **10** ein. An der Rückfläche **14** wird ein Teil des transmittierten Lichts reflektiert, durchdringt wieder das Objekt **10**, ein Teil dieses Lichts wird an der Vorderfläche **12** gebrochen und kann dann ebenfalls von der Aufnahmeeinrichtung **102** in der Intensitätsverteilung **23** oder Wellenfront **25** gemessen werden.

[0100] **Fig. 4** zeigt eine Definition der Ein- und Ausfallswinkel α , β , γ , δ , ϵ von an der ersten Oberfläche **12** und der zweiten Oberfläche **14** des Objekts **10** reflektierten Lichtstrahlen. Der Winkel α definiert den Ein- und Ausfallswinkel von an der ersten Oberfläche **12** reflektierten Strahlen, die als Intensitätsverteilung **22** oder Wellenfront **24** gemessen werden. Der Winkel β definiert den Ausfallswinkel, welcher der Brechung der einfallenden und in das Objekt eintretenden Strahlen an der ersten Oberfläche **12** entspricht. Der Winkel γ definiert den Ein- und Ausfallswinkel, der sich durch Brechung an der ersten Oberfläche **12** und Reflexion an der zweiten Oberfläche **14** ergibt. Die Winkel δ und ϵ definieren den Ein- bzw. Ausfallswinkel, die sich durch die Brechung der an der zweiten Oberfläche **14** reflektierten Strahlen an der ersten Oberfläche **12** ergeben, die nach dem Austritt als Intensitätsverteilung **23** oder Wellenfront **25** gemessen werden.

[0101] **Fig. 5** zeigt eine schematische Darstellung einer Vorrichtung **100** zum Bestimmen von Oberflächendaten **16, 18** und/oder Messdaten einer Oberfläche eines Objekts **10** nach einem weiteren Ausführungsbeispiel der Erfindung mit mehreren Beleuchtungseinrichtungen **101** und mehreren Aufnahmeeinrichtungen **102**. Dadurch lässt sich eine größere Oberfläche des Objekts **10** abdecken. Auch lassen

sich so innerhalb eines gegebenen Messvolumens Objekte mit stärker unterschiedlichen Oberflächenneigungen vermessen. Dies liegt daran, dass die jeweiligen Reflexions- und Transmissionskoeffizienten vom Einfallswinkel abhängen und sich durch mehrere Aufnahmeeinrichtungen, und/oder mehrere Beleuchtungseinrichtungen ein größerer Bereich von Neigungen mit ähnlichem Ein- bzw. Ausfallswinkel abdecken lässt.

[0102] Fig. 6 zeigt eine schematische Darstellung einer Aufnahme der Reflexion von an der Vorderfläche **12** und Rückfläche **14** eines Brillenglases reflektierten Musters aus **16** diskreten Musterelementen mit einer Vorrichtung **100**, wie in Fig. 3 dargestellt, und einem Verfahren nach dem Ausführungsbeispiel der Erfindung. Das Messobjekt (Kunststoffgläser) wurde mit einer LED-Beleuchtung angestrahlt, welche die Beleuchtungseinrichtung **100** darstellt und ein Muster aus jeweils vier Musterelementen in vier Zeilen einstrahlt. Die Abbildung wurde mit einer Industriekamera aufgenommen. Das eingestrahelte Licht wurde mit einem Stück einer Folie aus langkettigen Polymeren polarisiert. Ein weiteres Stück dieser Folie wurde als Analysator vor der Aufnahmeeinrichtung eingesetzt. Die Polarisationsrichtung des Analysators steht dabei senkrecht zu der Polarisationsrichtung des Analysators, die zur Aufnahme der in Fig. 7 gezeigten Abbildung verwendet wurde. Die Polarisationsrichtung des Polarisators entspricht dagegen der Polarisationsrichtung des Polarisators, die zur Aufnahme der in Fig. 7 gezeigten Abbildung verwendet wurde.

[0103] Fig. 7 zeigt im Vergleich dazu eine Aufnahme der Reflexion der diskreten Musterelemente von Fig. 6, wobei die Stellung des Polarisators vorgegeben war und die Stellung des Analysators derart gewählt wurde, dass der vorderflächige Reflex unterdrückt ist. Es ist nur noch der Reflex von der Rückseite des Brillenglases sichtbar.

[0104] Fig. 8 zeigt weiter eine schematische Darstellung der Aufnahme der Reflexion der diskreten Musterelemente von Fig. 6, wobei durch eine zu den Analysatorstellungen in den Fig. 6 und Fig. 7 verschiedenen Analysatorstellung der rückflächige Reflex unterdrückt ist.

[0105] In Fig. 9 ist ein Flussdiagramm des Verfahrens zum Bestimmen von Oberflächendaten **16**, **18** und/oder Messdaten einer Oberfläche **12**, **14** eines zumindest teilweise transparenten Objekts **10**, mit einer optisch wirksamen ersten Oberfläche **12** und einer gegenüberliegenden optisch wirksamen zweiten Oberfläche **14**, insbesondere eines Brillenglases, nach einem Ausführungsbeispiel der Erfindung dargestellt. Die Bezugszeichen beziehen sich dabei auf die Darstellung in Fig. 3. In Schritt S110 wird polarisiertes Licht mit einer Einstrahlpolarisation wenigstens einer Beleuchtungseinrichtung **101** auf einen zu

untersuchenden Analysebereich **34** des Objekts **10** eingestrahlt, wobei das Licht zur Einstellung der Einstrahlpolarisation durch der Beleuchtungseinrichtung **101** einen Polarisator **108** geleitet wird. In Schritt S120 wird an der ersten und/oder zweiten Oberfläche **12**, **14** reflektiertes Licht mit einer Analysepolarisierung mittels wenigstens einer Aufnahmeeinrichtung **102** empfangen, wobei das Licht durch einen der Aufnahmeeinrichtung **102** zugeordneten Analysator **110** geleitet wird. Schritt S130 beinhaltet das zumindest teilweise Unterdrücken einer von der ersten oder zweiten Oberfläche **12**, **14** reflektierten, von der Aufnahmeeinrichtung **102** empfangenen unerwünschten Lichtintensität durch Einstellen der Einstrahlpolarisation des Polarisators **108** und/oder der Analysepolarisierung des Analysators **110**. Alternativ können Polarisator **108** und Analysator **110** bereits vor Beginn der Messung auf geeignete, bereits bekannte, Stellungen zum Unterdrücken der unerwünschten Lichtintensität eingestellt werden. In Schritt S140 wird gegebenenfalls nach erfolgreichem zumindest teilweisem Unterdrücken der unerwünschten Lichtintensität in Schritt S130 eine Intensitätsverteilung **22**, **23** einer von der zweiten oder ersten Oberfläche **14**, **12** reflektierten, von der Aufnahmeeinrichtung **102** empfangenen Lichtintensität über den Analysebereich **34** gemessen, um Oberflächendaten **16**, **18** im Analysebereich **34** zu ermitteln, während in Schritt S150 daraus eine Abweichung der ermittelten Oberflächendaten **16**, **18** im Analysebereich **34** von Sollwerten im Analysebereich **34** bestimmt wird.

[0106] Die Einstrahlpolarisation und die Analysepolarisierung werden derart gewählt, dass in der gemessenen Intensitätsverteilung **22**, **23** die unerwünschte Lichtintensität dem von der Aufnahmeeinrichtung **102** empfangenen Licht entspricht, das zu der Analysepolarisierung verschieden polarisiert ist. Weiter werden die Einstrahlpolarisation und die Analysepolarisierung zweckmäßig derart gewählt, dass die erwünschte Lichtintensität dem von der Aufnahmeeinrichtung **102** empfangenen Licht entspricht, das gleich der Analysepolarisierung polarisiert ist, wobei die erwünschte Lichtintensität größer ist als die unerwünschte Lichtintensität. Die Einstrahlpolarisation und die Analysepolarisierung können vorteilhaft zueinander verschieden ausgerichtet werden, insbesondere zueinander orthogonal ausgerichtet. Vorteilhaft ist dabei die Einstrahlpolarisation senkrecht oder parallel polarisiert in Bezug auf die Einfallsebene, die durch das auf das Objekt **10** auftreffende Licht und das von der Aufnahmeeinrichtung **102** empfangene Licht aufgespannt wird. Insbesondere in diesem Fall werden die Einstrahl- und die Analysepolarisierung vorteilhafterweise zueinander orthogonal ausgerichtet. Mehrere Beleuchtungseinrichtungen **101** und/oder mehrere Aufnahmeeinrichtungen **102** können parallel eingesetzt werden, um so beispielsweise größere Analysebereiche **34** des Objekts **10** abzudecken.

[0107] Für ein zumindest teilweises Unterdrücken von an der ersten Oberfläche **12**, also der Vorderfläche des Objekts **10**, reflektiertem Licht (siehe **Fig. 4**) kann die Analysepolarisation rechnerisch bestimmt werden. Dazu wird das eingestrahlte polarisierte Licht in senkrecht und parallel polarisierte Komponenten in der Einfallsebene zerlegt. Dann wird die Lichtintensität beider Komponenten mit jeweils einem aus einem Einfallswinkel α und einem Brechungsindex eines Materials des Objekts **10** resultierenden Reflexionskoeffizienten multipliziert. Die so erhaltenen Komponenten des reflektierten Lichts werden zusammengesetzt, und daraus die Polarisationsrichtung des reflektierten Lichts bestimmt. Damit kann die Analysepolarisation des Analysators **110** zumindest näherungsweise senkrecht zur Polarisationsrichtung des reflektierten Lichts eingestellt werden.

[0108] Für ein zumindest teilweises Unterdrücken von an der zweiten Oberfläche **14**, also der Rückfläche des Objekts **10** reflektiertem Licht (siehe **Fig. 4**) kann die Analysepolarisation ebenfalls rechnerisch bestimmt werden. Dazu wird das eingestrahlte polarisierte Licht in senkrecht und parallel polarisierte Komponenten in einer ersten Einfallsebene des Lichts, die der Einfallsebene der Brechung an der ersten Oberfläche **12** entspricht, zerlegt, sowie die Lichtintensität beider Komponenten mit jeweils einem aus einem ersten Einfallswinkel α und dem Brechungsindex des Materials des Objekts **10** resultierenden Transmissionskoeffizienten multipliziert.

[0109] Diese Komponenten werden in die senkrecht und parallel polarisierten Komponenten in einer zweiten Einfallsebene, die der Einfallsebene der Reflexion an der zweiten Oberfläche **14** entspricht, umgerechnet und darauf die Lichtintensität beider Komponenten mit jeweils einem Reflexionskoeffizienten, der aus dem sich aus der Brechung an der ersten Oberfläche **12** sowie der zweiten Oberfläche **14** ergebenden Einfallswinkel γ und dem Brechungsindex des Materials des Objekts **10** und/oder einer Halterung **104** resultiert, multipliziert. Danach werden diese Komponenten in die senkrecht und parallel polarisierten Komponenten in einer dritten Einfallsebene, die der Einfallsebene der zweiten Brechung an der ersten Oberfläche **12** entspricht, umgerechnet und die Lichtintensität beider Komponenten mit jeweils einem zweiten Transmissionskoeffizienten, der aus dem sich aus der Reflexion an der zweiten Oberfläche **14** sowie der ersten Oberfläche **14** ergebenden Einfallswinkel δ und dem Brechungsindex des Materials des Objekts **10** resultiert, multipliziert. Darauf werden die so erhaltenen Komponenten des gebrochenen Lichts zusammengesetzt, daraus die Polarisationsrichtung des durch die erste Oberfläche **12** zum zweiten Mal gebrochenen Lichts bestimmt und damit die Analysepolarisation des Analysators **110** zumindest näherungsweise senkrecht oder zumindest näherungsweise parallel zur Polarisationsrichtung des

durch die erste Oberfläche **12** zum zweiten Mal transmittierten Lichts eingestellt.

[0110] Alternativ kann die Lichtintensität von an der ersten oder zweiten Oberfläche **12**, **14** reflektiertem Licht zumindest teilweise unterdrückt werden, indem die Stellung von Polarisator **108** und/oder Analysator **110** empirisch bestimmt wird. Dazu werden eine beliebige Stellung des Polarisators **108** und eine beliebige Stellung des Analysators **110** eingestellt, und damit die Intensitätsverteilungen **22**, **23** des an der ersten und an der zweiten Oberfläche **12**, **14** reflektierten Lichts gemessen. Der Kontrast zwischen dem an der ersten Oberfläche **12** reflektierten Licht und dem an der zweiten Oberfläche **14** reflektierten Licht wird gemessen. Danach werden die Stellungen von Polarisator **108** und/oder Analysator **110** iterativ verstellt, bis ein vorgegebener Kontrast zwischen dem an der ersten Oberfläche **12** reflektierten Licht und dem an der zweiten Oberfläche **14** reflektierten Licht erreicht ist oder ein Grenzwert für die Intensität des unerwünschten Lichts erreicht oder unterschritten wird.

[0111] **Fig. 10** zeigt ein Flussdiagramm des Verfahrens zum Bestimmen von Oberflächendaten **16**, **18** und/oder Messdaten einer Oberfläche **12**, **14** eines zumindest teilweise transparenten Objekts **10** mit diskreten Musterelementen nach einem Ausführungsbeispiel der Erfindung. Das eingestrahlte Licht strahlt diskrete Musterelemente auf die ersten und zweiten Oberflächen **12**, **14** des Objekts **10**. In Schritt S210 wird die Position wenigstens eines reflektierten Musterelements in der von der Aufnahmeeinrichtung **102** empfangenen Intensitätsverteilung **22**, **23** detektiert, während in Schritt S220 das reflektierte Musterelement zu der Oberfläche **12**, **14**, an der die Reflexion erfolgt ist, zugeordnet wird. In Schritt S230 wird die Position des Musterelements auf der Beleuchtungseinrichtung **101** und der Position des reflektierten Musterelements in der gemessenen Intensitätsverteilung **22**, **23** zur Bestimmung von Oberflächendaten **16**, **18** zu einer der Oberflächen **12**, **14** verwendet. Bei der Zuordnung des zumindest einen Musterelements zu der Oberfläche **12** oder **14**, an der die Reflexion erfolgt ist, kann zweckmäßigerweise die Lichtintensität des jeweiligen reflektierten Musterelements mit einem vorgegebenen oder aus der gemessenen Intensitätsverteilung **22**, **23** ermittelten Schwellwert verglichen werden. Auch kann bei der Zuordnung des zumindest einen Musterelements zu der Oberfläche **12**, **14**, an der die Reflexion erfolgt ist, auf Basis der gemessenen Intensitätsverteilung **22**, **23** die Polarisationsrichtung des jeweiligen reflektierten Musterelements zumindest näherungsweise ermittelt werden. Die Polarisationsrichtung eines Reflexes kann dabei vorteilhaft durch zwei Messungen mit zueinander orthogonalen Stellungen des Analysators **108** bestimmt werden.

[0112] **Fig. 11** zeigt ein Flussdiagramm des Verfahrens zum Bestimmen von Oberflächendaten **16**, **18**

und/oder Messdaten einer Oberfläche **12, 14** eines zumindest teilweise transparenten Objekts **10** mit flächigen Mustern nach einem weiteren Ausführungsbeispiel der Erfindung. Das eingestrahelte Licht strahlt flächige Muster, insbesondere Linien, Balken, beispielsweise mit konstantem oder sinusförmigem Intensitätsverlauf oder eine kontinuierliche Intensitätsverteilung, auf die ersten und zweiten Oberflächen **12, 14** des Objekts **10**. In Schritt S310 wird die Lichtintensität, die durch Reflexion an der zumindest einen Oberfläche **12, 14** erzeugt und von der Aufnahmeeinrichtung **102** empfangen wird, für zumindest einen Punkt in der gemessenen Intensitätsverteilung **22, 23** detektiert, während in Schritt S320 der Position auf der Beleuchtungseinrichtung **101**, von der das Licht stammt, das durch Reflexion an der Oberfläche **12, 14** in den Punkt der gemessenen Intensitätsverteilung **22, 23** abgebildet wird, der entsprechende Punkt zugeordnet wird. In Schritt S330 schließlich wird die Position des Punktes in der gemessenen Intensitätsverteilung **22, 23** und der zugeordneten Position auf der Beleuchtungseinrichtung **101** zur Bestimmung von Oberflächendaten der zugeordneten Oberfläche **12, 14** verwendet. Bei der Zuordnung der Position des zumindest einen Punktes auf der Beleuchtungseinrichtung **101** auf Basis der gemessenen Intensitätsverteilung **22, 23** kann zweckmäßigerweise die Polarisation des jeweiligen reflektierten Punktes zumindest näherungsweise ermittelt werden.

verbleibenden Elemente zur Vorderfläche zugeordnet. Diese Menge entspricht der Menge der in **Fig. 8** schematisch dargestellten Musterelemente. So können die vorderflächigen Reflexe durch Ausschluss der rückflächigen Reflexe festgestellt werden. Dieses Verfahren ist besonders dann geeignet, wenn eine Unterdrückung der rückseitigen Reflexe auf Grund der Geometrie oder der Materialeigenschaften des Objekts **10** schwierig ist.

[0113] **Fig. 12** zeigt weiter ein Flussdiagramm für ein Ausführungsbeispiel des erfindungsgemäßen Verfahrens, bei dem Messungen mit zwei Analysatorstellungen durchgeführt werden. Solche Messungen können beispielsweise mit diskreten Musterelementen durchgeführt werden. Das eingestrahelte Licht strahlt diskrete Musterelemente auf die ersten und zweiten Oberflächen **12, 14** des Objekts **10**. In Schritt S410 wird eine erste Messung mit einer Stellung von Analysator **108** und Polarisator **110** derart aufgenommen, dass die Reflexe der Vorderfläche **12** des Objekts **10** geschwächt werden. Sodann werden in Schritt S420 Musterelemente in der ersten Bildaufnahme selektiert und die Musterelemente, deren Intensität einen ersten Schwellwert überschreitet, zur Menge der rückflächigen Messreflexe zugeordnet. Diese Menge entspricht der Menge der in **Fig. 7** schematisch dargestellten Musterelemente. In Schritt S430 wird eine zweite Messung nach Drehen der Polarisationssebene des Analysators **110**, vorzugsweise um 90° bzw. nach einem erfindungsgemäß zuvor ermittelten Winkel, durchgeführt. In Schritt S440 werden Musterelemente in der zweiten Bildaufnahme selektiert und die Musterelemente, deren Intensität einen zweiten Schwellwert überschreitet zur Menge aller Messreflexe zugeordnet. Diese Menge entspricht der Menge aller in **Fig. 6** schematisch dargestellten Musterelemente. In Schritt S450 werden die Elemente der Menge der rückflächigen Messreflexe aus der Menge aller Messreflexe herausgenommen und die

ZITATE ENTHALTEN IN DER BESCHREIBUNG

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

Zitierte Patentliteratur

- DE 102004020419 B3 [0007]
- DE 10014964 C2 [0007]
- EP 2799832 A2 [0007, 0009]

Zitierte Nicht-Patentliteratur

- D. Malacara, Optical Shop Testing, Wiley Interscience 1992 [0007]
- H. Gross, B. Dörband (Autor), H. Müller, Non Interferometric Wavefront Sensing, in Metrology of Optical Components and Systems, Kapitel 47, Band 5, Handbook of Optical Systems, (H. Gross (Hrsg.)), Wiley-VCH, 2012 [0007]

Patentansprüche

1. Verfahren zum Bestimmen von Oberflächendaten (16, 18) und/oder Messdaten einer Oberfläche (12, 14), insbesondere zur Qualitätskontrolle eines zumindest teilweise transparenten Objekts (10), insbesondere eines Brillenglases, mit einer optisch wirksamen ersten Oberfläche (12) und einer gegenüberliegenden optisch wirksamen zweiten Oberfläche (14), umfassend

- Einstrahlen von polarisiertem Licht mit einer Einstrahlpolarisation wenigstens einer Beleuchtungseinrichtung (101) auf einen zu untersuchenden Analysebereich (34) des Objekts (10), wobei das Licht zur Einstellung der Einstrahlpolarisation durch einen der Beleuchtungseinrichtung (101) zugeordneten oder in diese integrierten Polarisator (108) geleitet wird,
- Empfangen von an der ersten und/oder zweiten Oberfläche (12, 14) reflektiertem Licht mit einer Analysepolarisation mittels wenigstens einer Aufnahmeeinrichtung (102), wobei das Licht durch einen der Aufnahmeeinrichtung (102) zugeordneten oder in diese integrierten Analysator (110) geleitet wird,
- zumindest teilweises Unterdrücken einer von der ersten oder zweiten Oberfläche (12, 14) reflektierten, von der Aufnahmeeinrichtung (102) empfangenen unerwünschten Lichtintensität durch Einstellen der Einstrahlpolarisation des Polarisators (108) und/oder der Analysepolarisation des Analysators (110),
- Messen einer Intensitätsverteilung (22, 23) oder einer Wellenfront (24, 25) des mit der Analysepolarisation empfangenen Lichts, um die Oberflächendaten (16, 18) und/oder Messdaten der Oberfläche (12, 14) im Analysebereich (34) zu ermitteln.

2. Verfahren nach Anspruch 1, wobei im Analysebereich (34) eine Abweichung der Oberflächendaten (16, 18) von Sollwerten zu Oberflächendaten (16, 18) und/oder eine Abweichung der Messdaten einer Oberfläche (12, 14) von Sollwerten zu Messdaten der Oberfläche (12, 14) bestimmt wird.

3. Verfahren nach Anspruch 1 oder 2, wobei die Einstrahlpolarisation und/oder die Analysepolarisation derart gewählt werden, dass in der gemessenen Intensitätsverteilung (22, 23) die unerwünschte Lichtintensität dem von der Aufnahmeeinrichtung (102) empfangenen Licht entspricht, das zu der Analysepolarisation verschieden polarisiert ist, und/oder eine erwünschte Lichtintensität dem von der Aufnahmeeinrichtung (102) empfangenen Licht entspricht, das gleich der Analysepolarisation polarisiert ist, wobei der detektierte Anteil der erwünschten Lichtintensität größer ist als der detektierte Anteil der unerwünschten Lichtintensität.

4. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche, wobei die Einstrahlpolarisation senkrecht oder parallel polarisiert in Bezug auf eine Einfallsebene ist, die durch das auf das Objekt (10) auftreffende

de Licht und das von der Aufnahmeeinrichtung (102) empfangene Licht aufgespannt wird.

5. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche, wobei die Einstrahlpolarisation und die Analysepolarisation zueinander verschieden ausgerichtet werden, insbesondere zueinander orthogonal ausgerichtet werden.

6. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche, wobei mehrere Beleuchtungseinrichtungen (101) und/oder mehrere Aufnahmeeinrichtungen (102) parallel eingesetzt werden.

7. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche, wobei das eingestrahelte Licht diskrete Musterelemente auf die erste und zweite Oberfläche (12, 14) des Objekts (10) einstrahlt und wobei das Bestimmen der Oberflächendaten (16, 18) und/oder Messdaten im Analysebereich (34) einer der beiden Oberflächen (12, 14) des Objekts (10) aus der gemessenen Intensitätsverteilung (22, 23) umfasst

- Detektieren der Position wenigstens eines reflektierten Musterelements in der von der Aufnahmeeinrichtung (102) empfangenen Intensitätsverteilung (22, 23),
- Zuordnen des reflektierten Musterelements zu der Oberfläche (12, 14), an der die Reflexion erfolgt ist,
- Verwenden der Position des Musterelements auf der Beleuchtungseinrichtung (101) und der Position des reflektierten Musterelements in der gemessenen Intensitätsverteilung (22, 23) zur Bestimmung der Oberflächendaten (16, 18) und/oder Messdaten.

8. Verfahren nach Anspruch 7, wobei bei der Zuordnung des zumindest einen Musterelements zu der Oberfläche (12, 14), an der die Reflexion erfolgt ist, die Lichtintensität des jeweiligen reflektierten Musterelements mit einem vorgegebenen oder aus der Intensitätsverteilung (22, 23) ermittelten Schwellwert verglichen wird.

9. Verfahren nach Anspruch 7, wobei bei der Zuordnung des zumindest einen Musterelements zu der Oberfläche (12, 14), an der die Reflexion erfolgt ist, auf Basis der gemessenen Intensitätsverteilung (22, 23) die Polarisation des jeweiligen reflektierten Musterelements zumindest näherungsweise ermittelt wird.

10. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 6, wobei das eingestrahelte Licht flächige oder linienförmige Muster, insbesondere Linien, Balken oder eine kontinuierliche Intensitätsverteilung, auf die erste und zweite Oberfläche (12, 14) des Objekts (10) einstrahlt und wobei das Bestimmen der Oberflächendaten (16, 18) und/oder Messdaten im Analysebereich (34) einer der beiden Oberflächen (12, 14) des Objekts (10) aus der gemessenen Intensitätsverteilung (22, 23) umfasst

- Bestimmen der Lichtintensität, die durch Reflexion an der zumindest einen Oberfläche (**12, 14**) erzeugt und von der Aufnahmeeinrichtung (**102**) empfangen wird, für zumindest einen Punkt in der gemessenen Intensitätsverteilung (**22, 23**),
- Zuordnen des Punktes zu der Position auf der Beleuchtungseinrichtung (**101**), von der das Licht stammt, das durch Reflexion an der Oberfläche (**12, 14**) in den Punkt der gemessenen Intensitätsverteilung (**22, 23**) abgebildet wird,
- Verwenden der Position des Punktes in der gemessenen Intensitätsverteilung (**22, 23**) und der zugeordneten Position auf der Beleuchtungseinrichtung (**101**) zur Bestimmung der Oberflächendaten (**16, 18**) und/oder Messdaten einer Oberfläche (**12, 14**).

11. Verfahren nach Anspruch 10, wobei bei der Zuordnung der Position des zumindest einen Punktes auf der Beleuchtungseinrichtung (**101**) auf Basis der gemessenen Intensitätsverteilung (**22, 23**) die Polarisation des jeweiligen reflektierten Punktes zumindest näherungsweise ermittelt wird.

12. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche, wobei für ein zumindest teilweises Unterdrücken oder Hervorheben von an der ersten Oberfläche (**12**) reflektiertem Licht die Analysepolarisation rechnerisch bestimmt wird, umfassend

- Zerlegen des eingestrahlt polarisierten Lichts in senkrecht und parallel polarisierte Komponenten in einer Einfallsebene,
- Multiplizieren der Lichtintensität beider Komponenten mit jeweils einem aus einem Einfallswinkel (α) und einem Brechungsindex eines Materials des Objekts (**10**) resultierenden Reflexionskoeffizienten,
- Zusammensetzen der so erhaltenen Komponenten des reflektierten Lichts,
- Bestimmen der Polarisationsrichtung des reflektierten Lichts,
- Einstellen der Analysepolarisation des Analysators (**110**) zumindest näherungsweise senkrecht, oder zumindest näherungsweise parallel zur Polarisationsrichtung des reflektierten Lichts.

13. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche, wobei für ein zumindest teilweises Unterdrücken oder Hervorheben von an der zweiten Oberfläche (**14**) reflektiertem Licht die Analysepolarisation rechnerisch bestimmt wird, umfassend

- Zerlegen des eingestrahlt polarisierten Lichts in senkrecht und parallel polarisierte Komponenten in einer ersten Einfallsebene des Lichts auf die erste Oberfläche (**12**),
- Multiplizieren der Lichtintensität beider Komponenten mit jeweils einem aus einem ersten Einfallswinkel (α) und dem Brechungsindex des Materials des Objekts (**10**) resultierenden Transmissionskoeffizienten,
- Umrechnen dieser Komponenten in senkrecht und parallel polarisierte Komponenten in einer zweiten

Einfallsebene der Reflexion an der zweiten Oberfläche (**14**),

- Multiplizieren der Lichtintensität beider Komponenten mit einem aus einem zweiten Einfallswinkel (γ) und dem Brechungsindex des Materials des Objekts (**10**) und/oder einer Halterung (**104**) resultierenden Reflexionskoeffizienten,
- Umrechnen dieser Komponenten in senkrecht und parallel polarisierte Komponenten in eine dritte Einfallsebene der zweiten Brechung an der ersten Oberfläche (**12**),
- Multiplizieren der Lichtintensität beider Komponenten mit jeweils einem aus einem dritten Einfallswinkel (δ) und dem Brechungsindex des Materials des Objekts (**10**) resultierenden zweiten Transmissionskoeffizienten,
- Zusammensetzen der so erhaltenen Komponenten des transmittierten Lichts,
- Bestimmen einer Polarisationsrichtung des an der ersten Oberfläche (**12**) zum zweiten Mal gebrochenen Lichts,
- Einstellen der Analysepolarisation des Analysators (**110**) zumindest näherungsweise senkrecht oder zumindest näherungsweise parallel zur Polarisationsrichtung des durch die erste Oberfläche (**12**) zum zweiten Mal gebrochenen Lichts.

14. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 11, wobei für ein zumindest teilweises Unterdrücken der Lichtintensität von an der ersten oder zweiten Oberfläche (**12, 14**) reflektiertem Licht die Stellung von Polarisator (**108**) und/oder Analysator (**110**) empirisch bestimmt wird, umfassend

- Einstellen einer beliebigen Stellung des Polarisators (**108**) und einer beliebigen Stellung des Analysators (**110**),
- Messen der Intensitätsverteilungen (**22, 23**) des an der ersten und an der zweiten Oberfläche (**12, 14**) reflektierten Lichts,
- Bewerten des Kontrasts zwischen dem an der ersten Oberfläche (**12**) reflektierten Licht und dem an der zweiten Oberfläche (**14**) reflektierten Licht,
- Iteratives Verstellen der Stellungen von Polarisator (**108**) und/oder Analysator (**110**), bis ein vorgegebener oder maximal zu erzielender Kontrast zwischen dem an der ersten Oberfläche (**12**) reflektierten Licht und dem an der zweiten Oberfläche (**14**) reflektierten Licht erreicht ist oder ein Grenzwert für die Intensität der unerwünschten Lichtintensität erreicht oder unterschritten wird.

15. Vorrichtung (**100**) zum Bestimmen von Oberflächendaten (**16, 18**) und/oder Messdaten einer Oberfläche (**12, 14**) eines zumindest teilweise transparenten Objekts (**10**), insbesondere eines Brillenglasses, mit einem Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 14, umfassend

- wenigstens eine Beleuchtungseinrichtung (**101**) mit einem in einer optischen Achse (**106**) nach oder als

Teil der Beleuchtungseinrichtung (**101**) angeordneten Polarisator (**108**) mit einer Einstrahlpolarisation,
– wenigstens eine Aufnahmeeinrichtung (**102**) mit einem in einer optischen Achse (**107**) vor oder als Teil der Aufnahmeeinrichtung (**102**) angeordneten Analysator (**110**) mit einer Analysepolarisierung,
– eine Halterung (**104**) für das Objekt (**10**).

16. Vorrichtung nach Anspruch 15, wobei diskrete Musterelemente und/oder flächige oder linienförmige Muster von der Beleuchtungseinrichtung (**101**) durch den Polarisator (**108**) auf das Objekt (**10**) einstrahlbar sind und von der Aufnahmeeinrichtung (**102**) durch den Analysator (**110**) empfangbar sind.

17. Vorrichtung nach Anspruch 15, wobei die Beleuchtungseinrichtung (**101**) mit dem Polarisator (**108**) Strahlung mit einer vorgegebenen Einstrahlpolarisation auf das Objekt (**10**) einstrahlt und die Aufnahmeeinrichtung (**102**) mit dem Analysator (**110**) eine Wellenfront (**24, 25**) einer durch den Analysator (**110**) bestimmten Polarisationskomponente empfängt, wobei die eingestrahlte Strahlung eine vorgegebene, insbesondere ebene oder kugelförmige Wellenfront (**21**) aufweist und die Aufnahmeeinrichtung (**102**) die Form der Wellenfront (**24, 25**) analysiert und dabei insbesondere nach dem Hartmann-Prinzip, Shack-Hartmann-Prinzip, dem Moiré-Prinzip oder interferometrisch arbeitet.

18. Vorrichtung nach einem der Ansprüche 15 bis 17, umfassend eine Datenverarbeitungseinrichtung (**120**), wobei die Datenverarbeitungseinrichtung (**120**) eine Auswertung der mit der Aufnahmeeinrichtung (**102**) empfangenen reflektierten Lichtstrahlung steuert.

19. Vorrichtung nach Anspruch 18, wobei die Datenverarbeitungseinrichtung (**120**) oder eine weitere Datenverarbeitungseinrichtung eine Mustererzeugung der Beleuchtungseinrichtung (**101**) steuert.

20. Computerprogrammprodukt zum Bestimmen von Oberflächendaten (**16, 18**) und/oder Messdaten einer Oberfläche (**12, 14**) eines zumindest teilweise transparenten Objekts (**10**), insbesondere eines Brillenglases, umfassend ein computerlesbares Speichermedium, welches einen Programmcode beinhaltet, der dazu ausgebildet ist, ein Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 14 auszuführen, wenn der Programmcode auf einer Datenverarbeitungseinrichtung (**120**) ausgeführt wird.

Es folgen 6 Seiten Zeichnungen

Anhängende Zeichnungen

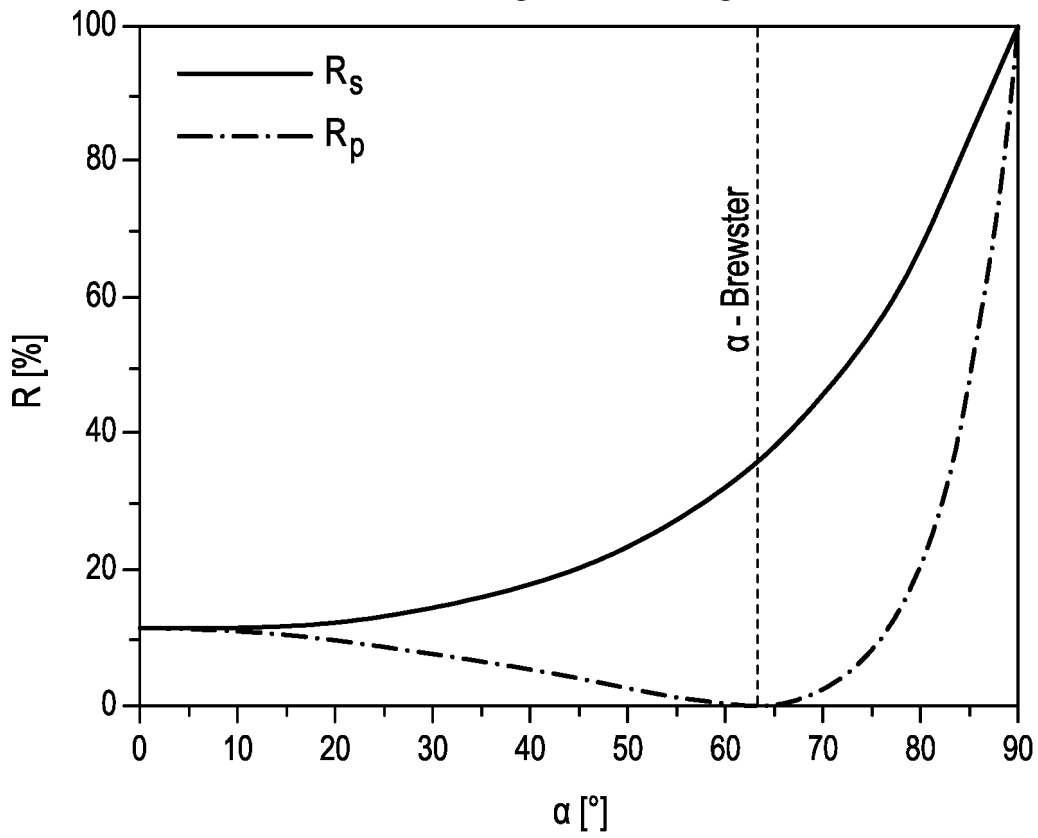


Fig. 1

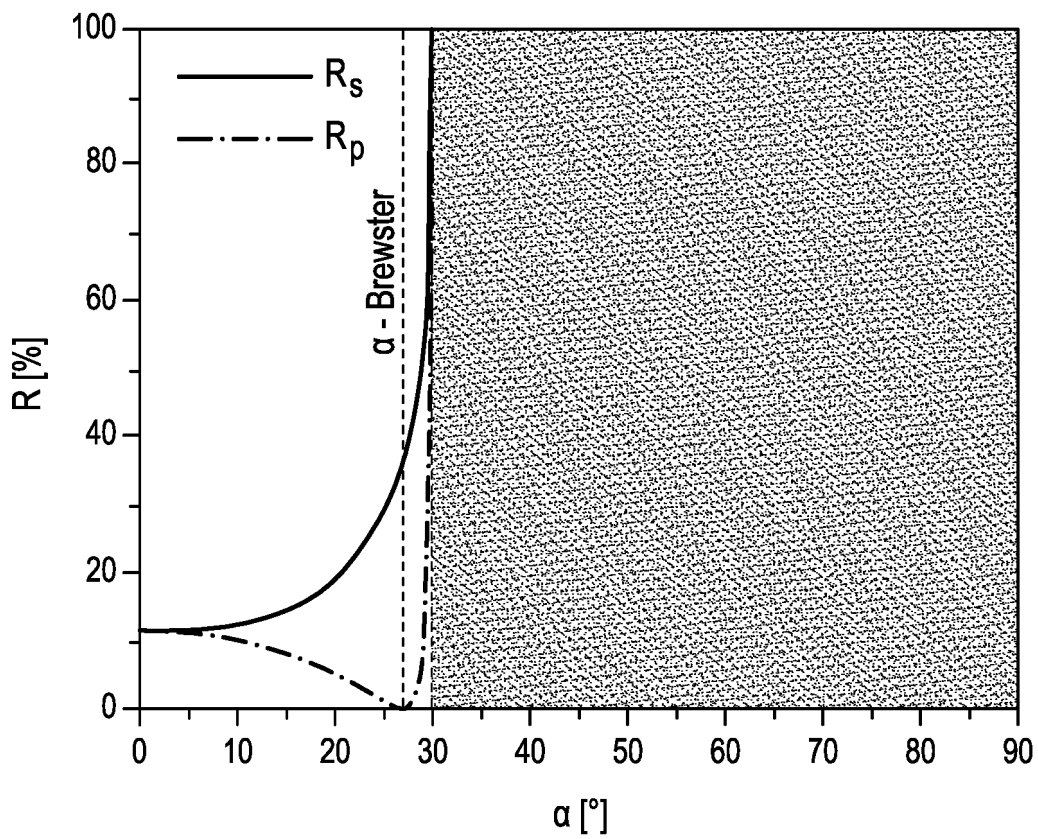


Fig. 2

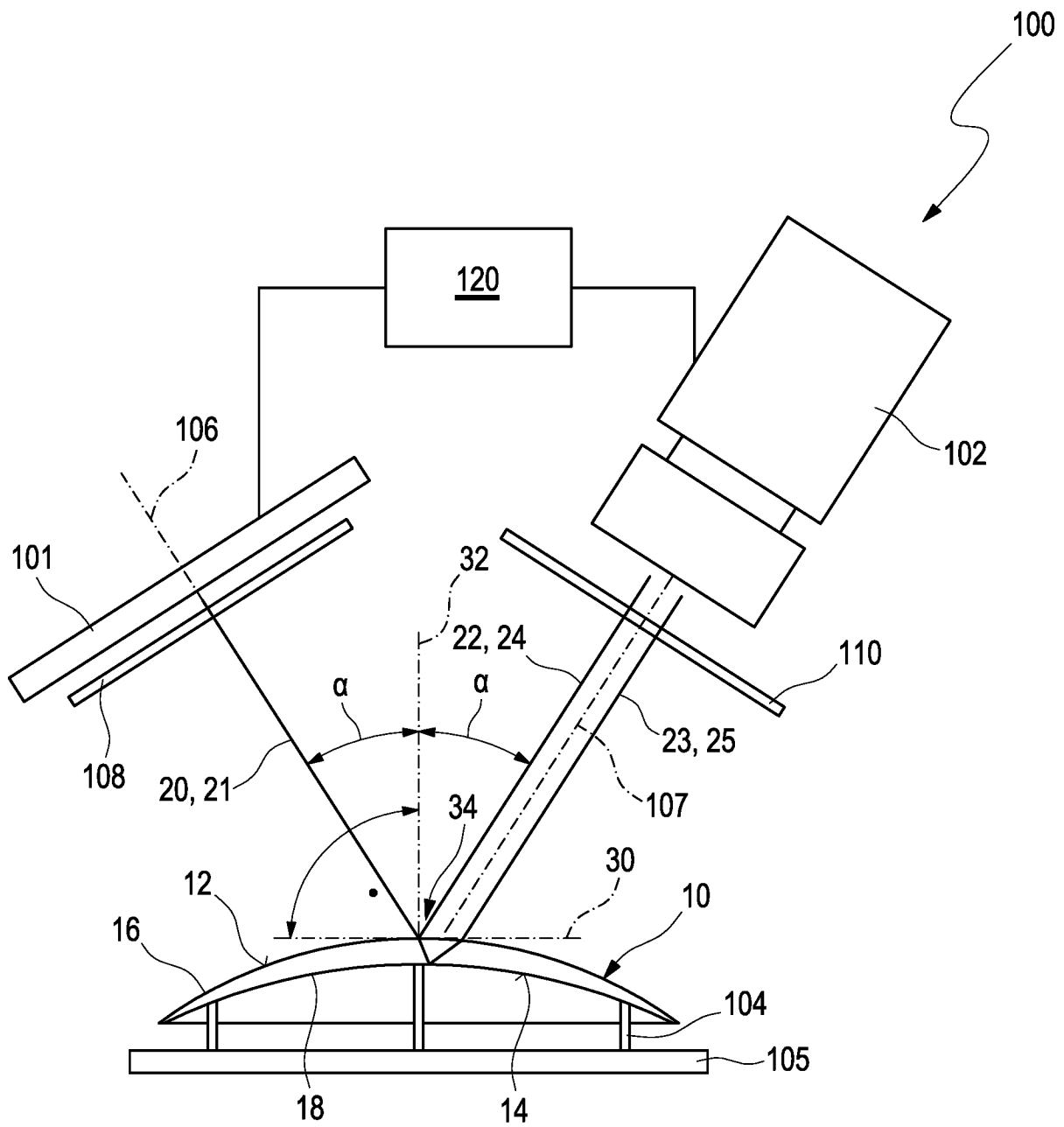


Fig. 3

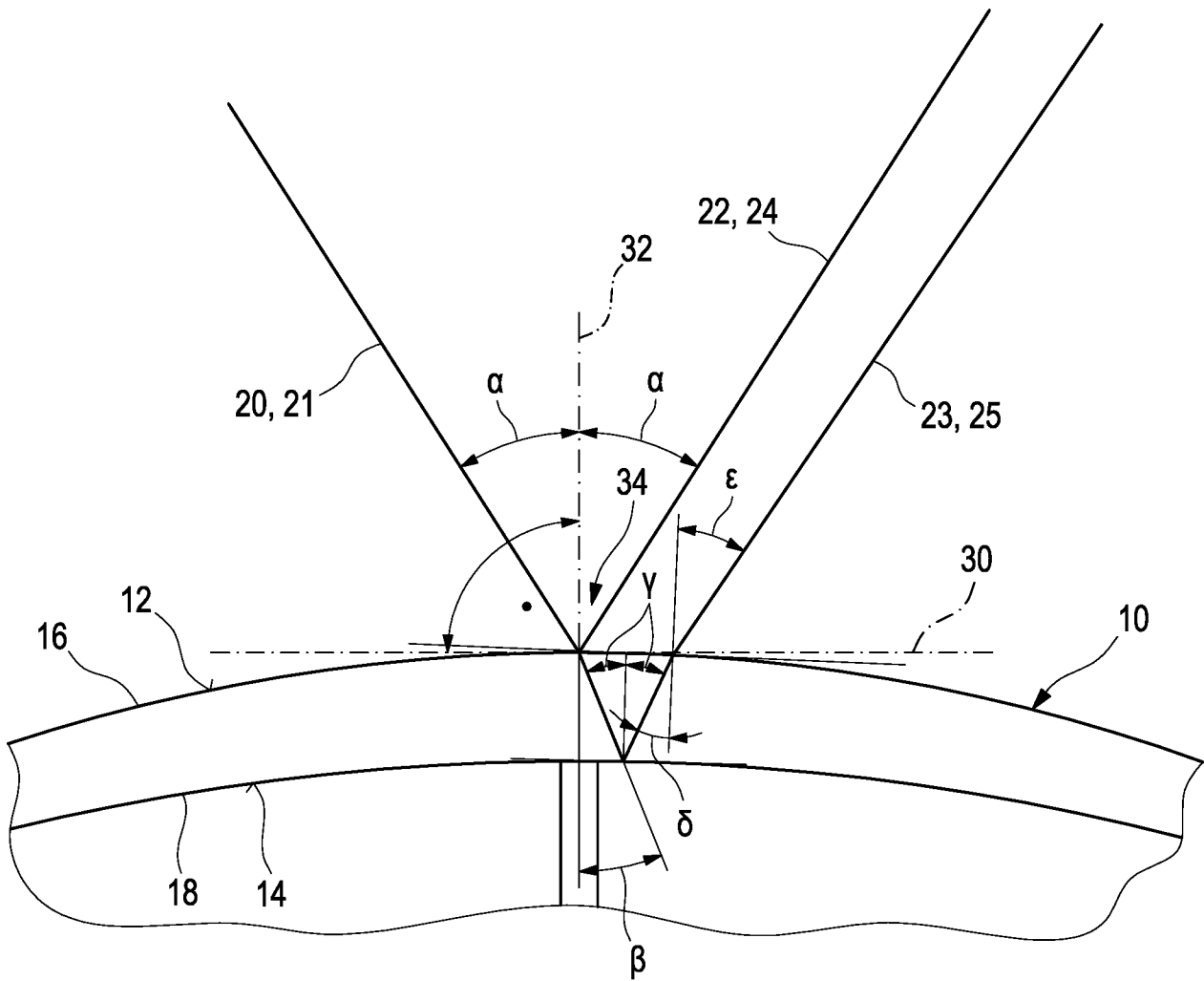


Fig. 4

100

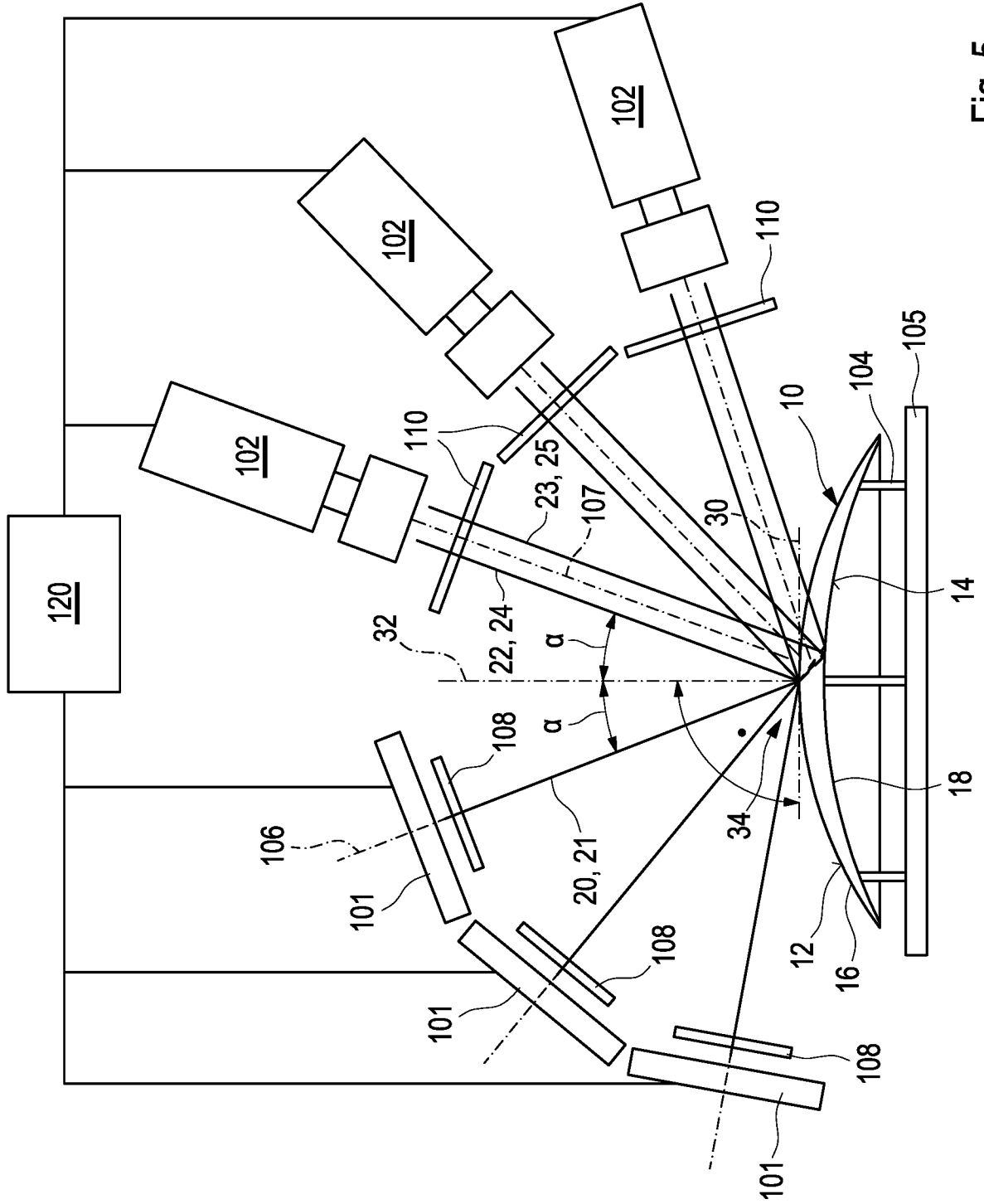


Fig. 5

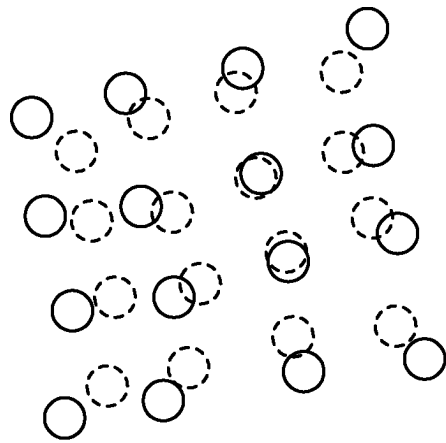


Fig. 6

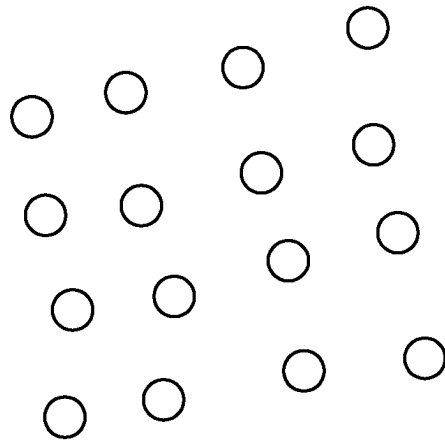


Fig. 7

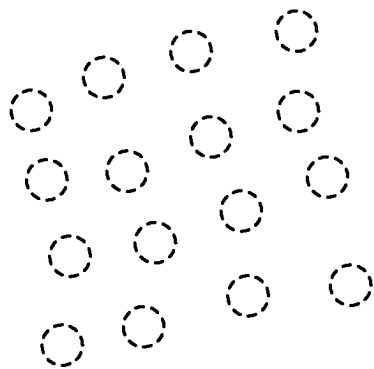


Fig. 8

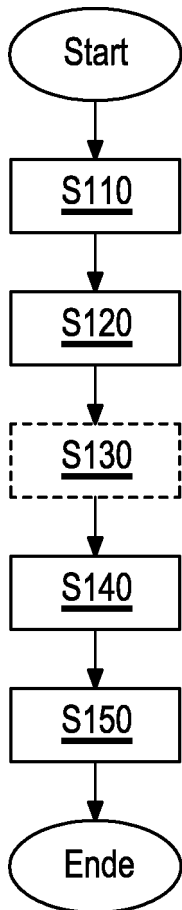


Fig. 9

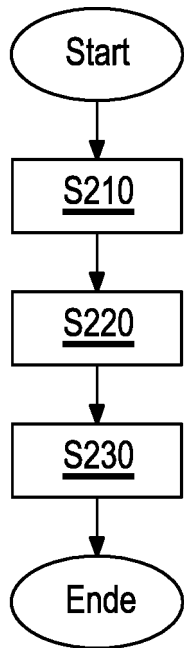


Fig. 10

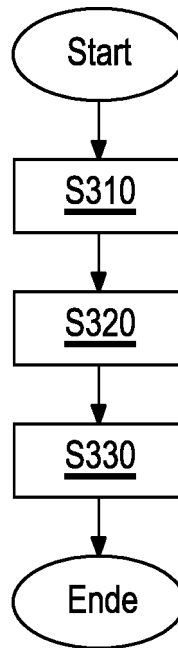


Fig. 11

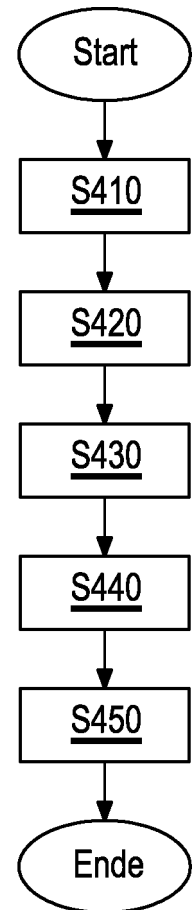


Fig. 12