



(12) **Offenlegungsschrift**

(21) Aktenzeichen: **10 2013 219 440.4**

(22) Anmeldetag: **26.09.2013**

(43) Offenlegungstag: **26.03.2015**

(51) Int Cl.: **G01B 11/24 (2006.01)**

(71) Anmelder:

Hochschule Bremen, 28199 Bremen, DE

(74) Vertreter:

Fink Numrich Patentanwälte, 80634 München, DE

(72) Erfinder:

**Fleischmann, Friedrich, Prof. Dr.-Ing., 27751
Delmenhorst, DE; Henning, Thomas, Prof. Dr. rer.
nat., 28201 Bremen, DE**

(56) Ermittelter Stand der Technik:

DE 10 2005 007 243 A1

DE 10 2005 007 244 A1

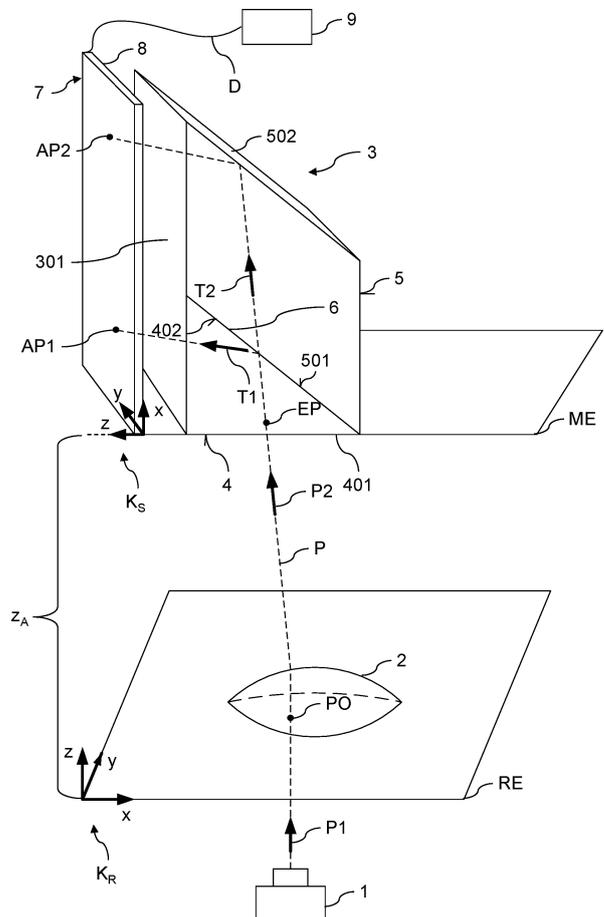
DE 10 2005 017 233 A1

Rechercheantrag gemäß § 43 Abs. 1 Satz 1 PatG ist gestellt.

Die folgenden Angaben sind den vom Anmelder eingereichten Unterlagen entnommen

(54) Bezeichnung: **Verfahren und Vorrichtung zur optischen Analyse eines Prüflings**

(57) Zusammenfassung: Die Erfindung betrifft eine Vorrichtung zur optischen Analyse eines Prüflings (2). Die erfindungsgemäße Vorrichtung umfasst eine Strahlquelle (1) zur Generierung eines Prüfstrahls (P), der im Betrieb der Vorrichtung auf den Prüfling (2) gerichtet wird und diesen passiert. Ferner ist ein Strahlteiler (3) zum Aufteilen des Prüfstrahls (P) nach Passieren des Prüflings (2) in mehrere Teilstrahlen (T1, T2) vorgesehen. Des Weiteren umfasst die Vorrichtung eine oder mehrere Detektionsschichten (7) zur ortsaufgelösten Detektion der mehreren Teilstrahlen (T1, T2), wobei die Detektionsschicht oder Detektionsschichten (7) jeweils eine Detektionsfläche (8) aufweist und auf die Detektionsfläche oder Detektionsflächen (8) die mehreren Teilstrahlen (T1, T2) auftreffen. Der Strahlteiler (3) ist derart ausgestaltet, dass die Teilstrahlen (T1, T2) unterschiedliche optische Weglängen bis zum Auftreffen auf der oder den Detektionsflächen (8) zurücklegen. Ferner beinhaltet die erfindungsgemäße Vorrichtung eine Auswerteeinheit (9) zur Bestimmung des Strahlverlaufs des Prüfstrahls (P) nach Passieren des Prüflings (2) unter Verwendung der ortsaufgelösten Detektion der mehreren Teilstrahlen (T1, T2).



Beschreibung

[0001] Die Erfindung betrifft eine Vorrichtung und ein Verfahren zur optischen Analyse eines Prüflings.

[0002] Aus dem Stand der Technik sind verschiedene Verfahren zur optischen Analyse von Werkstoffen bzw. optischen Komponenten bekannt. In der Druckschrift DE 10 2007 003 681 A1 ist ein Verfahren zur Analyse einer optischen Einrichtung beschrieben, bei dem ein Prüfstrahl die optische Einrichtung passiert und der Strahlverlauf des Prüfstrahls über dessen Auftreffpositionen in mehreren Detektionsebenen bestimmt wird. Hierzu wird ein flächiger Intensitätssensor in die jeweiligen Detektionsebenen verschoben. Dabei kann die Oberfläche der optischen Einrichtung mittels des Prüfstrahls abgerastert werden und hierdurch Eigenschaften der optischen Einrichtung bestimmt werden, wie z.B. die Form der Wellenfront nach Passieren der optischen Einrichtung. Nachteilig an dem Verfahren dieser Druckschrift ist, dass zur Bestimmung des Strahlverlaufs des Prüfstrahls ein Sensor mit entsprechender Detektionsschicht bewegt werden muss, so dass die Vermessung der optischen Einrichtung aufwändig ist und lange dauert.

[0003] Aufgabe der Erfindung ist es deshalb, eine Vorrichtung und ein Verfahren zu schaffen, mit dem einfach und schnell ein Prüfling optisch über einen Prüfstrahl analysiert werden kann.

[0004] Diese Aufgabe wird durch die Vorrichtung gemäß Patentanspruch 1 bzw. das Verfahren gemäß Patentanspruch 14 gelöst. Weiterbildungen der Erfindung sind in den abhängigen Ansprüchen definiert.

[0005] Die erfindungsgemäße Vorrichtung umfasst eine Strahlquelle zur Generierung eines Prüfstrahls, der im Betrieb der Vorrichtung auf den Prüfling gerichtet wird und diesen passiert. Die Strahlquelle kann z.B. ein Laser zur Erzeugung eines Laserstrahls sein. Unter dem Begriff „Passieren des Prüflings“ fällt sowohl das Hindurchgehen des Prüfstrahls durch den Prüfling als auch die Reflexion des Prüfstrahls am Prüfling. Die Vorrichtung eignet sich somit zur Analyse von sowohl reflektierenden Prüflingen als auch transmittierenden Prüflingen. Reflektierende Prüflinge sind dabei gerichtet reflektierende Objekte, welche den Prüfstrahl gerichtet ablenken und nicht (ausschließlich) streuen.

[0006] Die erfindungsgemäße Vorrichtung umfasst ferner einen Strahlteiler zum Aufteilen des Prüfstrahls nach Passieren des Prüflings in mehrere Teilstrahlen. Der Begriff des Strahlteilers ist dabei weit zu verstehen und umfasst jede Art von Strahlteilerinrichtung, mit der der Prüfstrahl in zwei, drei oder mehr Teilstrahlen aufgeteilt werden kann. Darüber hinaus sind eine oder mehrere Detektionsschichten zur orts aufgelösten Detektion der mehreren Teilstrahlen vorgese-

hen, wobei eine jeweilige Detektionsschicht eine vorzugsweise ebene bzw. plane Detektionsfläche aufweist und auf die Detektionsfläche oder Detektionsflächen die mehreren Teilstrahlen auftreffen. Mittels der oder den Detektionsschichten werden somit die Auftreffpositionen der mehreren Teilstrahlen auf der oder den Detektionsflächen in einer ortsfesten Position der Detektionsschicht oder Detektionsschichten erfasst, wobei diese Position jedoch ggf. für eine Detektion mit einem neuen Prüfstrahl, der den Prüfling an einer anderen Stelle passiert, verändert werden kann. Die Detektion der Auftreffposition der Teilstrahlen muss dabei nicht unmittelbar an der Detektionsfläche erfolgen, sondern kann auch innerhalb der Schicht durchgeführt werden.

[0007] Der in der erfindungsgemäßen Vorrichtung verwendete Strahlteiler ist derart ausgestaltet, dass die Teilstrahlen unterschiedliche optische Weglängen bis zum Auftreffen auf der oder den Detektionsflächen zurücklegen. Ferner ist eine Auswerteeinheit zur Bestimmung des Strahlverlaufs des Prüfstrahls nach Passieren des Prüflings unter Verwendung der orts aufgelösten Detektion der mehreren Teilstrahlen vorgesehen.

[0008] Die erfindungsgemäße Vorrichtung zeichnet sich dadurch aus, dass durch die Verwendung eines Strahlteilers, mit dem verschiedene optische Weglängen von Teilstrahlen erreicht werden, der Strahlverlauf eines Prüfstrahls durch parallele Detektion von mehreren Teilstrahlen bestimmt werden kann, ohne dass Detektionsschichten bewegt werden müssen. Insbesondere entspricht die orts aufgelöste Detektion der mehreren Teilstrahlen einer orts aufgelösten Detektion des Prüfstrahls durch mehrere zueinander versetzte Detektionsschichten.

[0009] In einer besonders bevorzugten Ausführungsform ist die Auswerteeinheit dazu eingerichtet, Eigenschaften des Prüflings basierend auf den Strahlverläufen von mehreren Prüfstrahlen zu ermitteln, die den Prüfling an verschiedenen Positionen passieren. Insbesondere können als Eigenschaften des Prüflings die Form der Oberfläche des Prüflings und/oder die optische Wellenfront nach Passieren des Prüflings und/oder Größen bestimmt werden, welche von der Form der Oberfläche oder von der optischen Wellenfront abhängen (z.B. das Gradientenfeld der Wellenfront). Solche Eigenschaften können mit an sich bekannten Verfahren aus den Strahlverläufen der Prüfstrahlen ermittelt werden. Zum Beispiel kann eine zonale bzw. modale Integration durchgeführt werden oder es können die in der Druckschrift DE 10 2007 003 681 A1 beschriebenen Methoden (z.B. Zernike-Polynome) verwendet werden.

[0010] In einer weiteren Variante ist die erfindungsgemäße Vorrichtung derart ausgestaltet, dass der

Prüfstrahl den Strahlteiler vor dem Passieren des Prüflings durchläuft und nach Passieren des Prüflings wieder in den Strahlteiler eintritt, wobei dann die Aufteilung des Prüfstrahls in mehrere Teilstrahlen zur Bestimmung des Strahlverlaufs des Prüfstrahls genutzt wird. Hierdurch kann ein besonders kompakter Aufbau der Vorrichtung erreicht werden, wobei sich dieser Aufbau insbesondere zur Analyse von reflektierenden Prüflingen eignet.

[0011] In einer weiteren bevorzugten Ausgestaltung umfasst der Strahlteiler mehrere Reflexionsflächen, an denen jeweils der Prüfstrahl oder ein Teilstrahl reflektiert wird, wobei zumindest eine Reflexionsfläche eine strahlteilende Reflexionsfläche ist, an der eine Aufteilung des Prüfstrahls bzw. eines bereits erzeugten Teilstrahls in zwei Teilstrahlen durch Reflexion und Transmission bewirkt wird. Ferner ist vorzugsweise eine rein reflektierende Reflexionsfläche zur Ablenkung eines Teilstrahls vorgesehen. Diese rein reflektierende Reflexionsfläche reflektiert den gesamten Prüfstrahl, ohne dass ein Anteil durch die Reflexionsfläche hindurchgelassen wird. Eine besonders einfache Auswertung zur Bestimmung des Strahlverlaufs des Prüfstrahls wird dann erreicht, wenn die Reflexionsflächen ebene bzw. plane Flächen sind und/oder parallel verschoben zueinander angeordnet sind. Strahlteilende Reflexionsflächen bzw. rein reflektierende Reflexionsflächen sind an sich aus dem Stand der Technik bekannt. Diese können durch geeignete dielektrische Materialien gebildet werden.

[0012] In einer besonders bevorzugten Ausführungsform umfasst der Strahlteiler eine Mehrzahl von aneinander angrenzenden transparenten Körpern, welche z.B. aus Glas bestehen. Benachbarte transparente Körper liegen dabei über eine Grenzfläche aneinander an, wobei eine jeweilige Grenzfläche eine strahlteilende Reflexionsfläche ist. Vorzugsweise ist ferner eine Endfläche eines der transparenten Körper eine rein reflektierende Reflexionsfläche zur Ablenkung eines Teilstrahls.

[0013] Vorzugsweise wird durch die Mehrzahl von transparenten Körpern eine gemeinsame plane Fläche zum Austritt der Teilstrahlen aus dem Strahlteiler gebildet, wobei die plane Fläche auf die Detektionsfläche oder Detektionsflächen der Detektionsschicht oder Detektionsschichten zuweist. Hierdurch werden ein kompakter Aufbau des Strahlteilers und eine einfache Bestimmung des Strahlverlaufs mittels der Auswerteeinheit ermöglicht.

[0014] Die oben beschriebenen transparenten Körper sind vorzugsweise als Prismen ausgestaltet, welche ein erstes Prisma und ein daran angrenzendes zweites Prisma umfassen, wobei am ersten Prisma der noch nicht aufgeteilte Prüfstrahl eintritt und an der Grenzfläche des ersten Prismas zum zweiten Prisma

in zwei Teilstrahlen aufgeteilt wird. Insbesondere ist das erste Prisma dabei ein gerades Prisma mit einer dreieckigen Grundfläche, wohingegen das zweite Prisma ein schiefes Prisma mit einer rechteckigen Grundfläche ist. Dabei tritt der noch nicht aufgeteilte Prüfstrahl über eine Seitenfläche des geraden Prismas in den Strahlteiler ein, und an einer weiteren Seitenfläche des geraden Prismas ist die Grenzfläche zu einer Seitenfläche des zweiten Prismas vorgesehen. Gegebenenfalls können auf das zweite Prisma ein oder mehrere weitere zweite Prismen mit dazwischenliegenden strahlteilenden Grenzschichten folgen, um mehr als zwei Teilstrahlen durch den Strahlteiler zu erzeugen.

[0015] Um eine schnelle Vermessung des Prüflings zu gewährleisten, umfasst die erfindungsgemäße Vorrichtung vorzugsweise eine Aktorik zum Verändern der Relativposition der Strahlquelle in Bezug auf den Prüfling in eine oder mehrere Richtungen, welche die Auftreffposition des Prüfstrahls am Prüfling verändern. Je nach Ausgestaltung kann die Aktorik dabei nur die Strahlquelle bzw. nur den Prüfling bzw. sowohl die Strahlquelle als auch den Prüfling verschieben.

[0016] Die in der erfindungsgemäßen Vorrichtung verwendete Detektionsschicht bzw. verwendeten Detektionsschichten können auf unterschiedlichen Technologien beruhen. Insbesondere kann die Schicht einen CCD-Sensor und/oder einen CMOS-Sensor und/oder einen PSD-Sensor (PSD = Position Sensitive Device) umfassen. PSD-Sensoren umfassen z.B. Photodioden bzw. 4-Quadranten-Photodioden. All diese Sensorarten sind aus dem Stand der Technik bekannt und werden deshalb nicht näher im Detail erläutert.

[0017] Neben der oben beschriebenen Vorrichtung betrifft die Erfindung ferner ein Verfahren zur optischen Analyse eines Prüflings mit der erfindungsgemäßen Vorrichtung bzw. einer oder mehrerer bevorzugter Varianten der erfindungsgemäßen Vorrichtung. Der Prüfstrahl wird dabei auf den Prüfling gerichtet und fällt nach Passieren des Prüflings auf den Strahlteiler, wobei die durch den Strahlteiler aufgeteilten Teilstrahlen durch die Detektionsschicht oder Detektionsschichten orts aufgelöst detektiert werden und mittels der Auswerteeinheit der Strahlverlauf des Prüfstrahls nach Passieren des Prüflings unter Verwendung der orts aufgelösten Detektion der mehreren Teilstrahlen bestimmt wird.

[0018] Vorzugsweise werden mit dem erfindungsgemäßen Verfahren Eigenschaften des Prüflings basierend auf den Strahlverläufen von mehreren Prüfstrahlen ermittelt, die den Prüfstrahl an verschiedenen Positionen passieren. Insbesondere können dabei die bereits oben beschriebenen Eigenschaften bestimmt werden, insbesondere die Form der Oberfläche des

Prüflings bzw. die optische Wellenfront nach Passieren des Prüflings bzw. Größen, die von der Form der Oberfläche oder der optischen Wellenfront abhängen.

[0019] Ausführungsbeispiele der Erfindung werden nachfolgend anhand der beigegefügt Figuren detailliert beschrieben.

[0020] Es zeigen:

[0021] Fig. 1 eine schematische perspektivische Darstellung einer ersten Ausführungsform der erfindungsgemäßen Vorrichtung;

[0022] Fig. 2 eine Schnittansicht durch den Strahlteiler der Ausführungsform der Fig. 1, anhand der die Bestimmung des Verlaufs eines Prüfstrahls erläutert wird; und

[0023] Fig. 3 eine schematische Darstellung einer zweiten Ausführungsform der erfindungsgemäßen Vorrichtung.

[0024] Die in Fig. 1 gezeigte Ausführungsform der erfindungsgemäßen Vorrichtung dient zur Analyse eines transmittierenden Prüflings in der Form einer Linse 2. Die Vorrichtung umfasst eine Strahlquelle 1, mit der ein Prüfstrahl erzeugt wird. Die Strahlquelle kann z.B. eine Laserquelle zur Erzeugung eines Laserstrahls sein. Der Verlauf des Prüfstrahls ist in Fig. 1 durch eine gestrichelte Linie angedeutet, die mit dem Bezugszeichen P wiedergegeben ist. Der aus der Strahlquelle 1 austretende Prüfstrahl wird auf den Prüfling 2 gerichtet, wobei die Richtung des Prüfstrahls zwischen Strahlquelle und Prüfling durch den Pfeil P1 angedeutet ist. Der Prüfling ist dabei in einer Referenzebene RE angeordnet, für welche ein kartesisches Koordinatensystem K_R mit entsprechender x-, y- und z-Achse definiert ist. Der Prüfstrahl tritt an der Position PO innerhalb der Referenzebene RE in die Linse ein und wird durch diese abgelenkt. Der Strahlverlauf des Prüfstrahls nach Passieren der Linse 2 ist durch den Pfeil P2 angedeutet. Schließlich trifft der Prüfstrahl auf einen Strahlteiler 3, der ein wesentliches Element der erfindungsgemäßen Vorrichtung ist.

[0025] In der hier beschriebenen Ausführungsform umfasst der Strahlteiler ein erstes Prisma 4 sowie ein dahinter liegendes zweites Prisma 5. Die beiden Prismen sind transparente Körper, welche insbesondere aus Glas geformt sind. Das erste Prisma 4 ist ein gerades Prisma mit dreieckiger Grundfläche, wohingegen das zweite Prisma 5 ein schiefes Prisma mit rechteckiger Grundfläche ist. Die Grundfläche des ersten Prismas 4 ist dabei dessen dreieckige Fläche, die senkrecht zu der weiter unten beschriebenen Detektionsschicht 7 verläuft. Die Grundfläche des zweiten Prismas 5 ist dessen rechteckige Fläche, die par-

allel zu der Detektionsschicht 7 verläuft. Über eine Seitenfläche 401 tritt der Prüfstrahl P an der Position EP in das erste Prisma 4 ein. Die Seitenfläche 401 liegt in einer Ebene ME, die als Messebene der Baugruppe aus Strahlteiler 3 und weiter unten erläuterte Detektionsschicht 7 angesehen werden kann. Die Messebene ist um den Abstand z_A zur Referenzebene RE versetzt. Die Ablenkung des Prüfstrahls durch Brechung am Übergang vom Medium Luft zu Glas an der Fläche 401 ist in dem Szenario der Fig. 1 sehr klein und deshalb nicht erkennbar. Die Ablenkung ist bei anderen Einfallswinkeln des Prüfstrahls wesentlich größer. Das Gleiche gilt für die Ablenkung der weiter unten beschriebenen Teilstrahlen an der Fläche 301, die bei anderen Winkeln deutlich größer ist.

[0026] Nach Durchtritt durch die Seitenfläche 401 gelangt der Prüfstrahl P zu einer Grenzfläche 6. An der Grenzfläche 6 erfolgt eine Aufteilung des Prüfstrahls in die zwei Teilstrahlen T1 und T2, welche durch entsprechende Pfeile angedeutet sind. An der Grenzfläche treffen dabei die Seitenfläche 402 des ersten Prismas 4 und die Seitenfläche 501 des zweiten Prismas 5 aufeinander. An der Grenzfläche ist eine geeignete Beschichtung aus dielektrischem Material vorgesehen, so dass beim Übergang vom Prisma 4 in das Prisma 5 ein Teil des Prüfstrahls an der Grenzfläche reflektiert und ein anderer Teil des Prüfstrahls durch die Grenzfläche hindurchgelassen wird. Vorzugsweise wird der Prüfstrahl dabei auf zwei Teilstrahlen mit der gleichen Intensität aufgeteilt. Entsprechende dielektrische Schichten zur Strahlteilung sind aus dem Stand der Technik bekannt und werden deshalb nicht näher erläutert.

[0027] Durch die zwei, der Detektionsschicht 7 gegenüberliegenden Flächen der Prismen 4 und 5 wird eine durchgängige plane Austrittsfläche 301 des Strahlteilers 3 gebildet. Der an der Grenzfläche 6 reflektierte Teilstrahl T1 tritt nach seiner Reflexion direkt aus dieser Austrittsfläche 301 aus. Demgegenüber wird der Teilstrahl T2 nochmals an der Seitenfläche 502 des Prismas 3 reflektiert. Hierzu ist auf der Fläche 502 wiederum eine geeignete dielektrische Schicht ausgebildet, welche nunmehr jedoch rein reflektierend ist, d.h. der Prüfstrahl wird im Wesentlichen ohne Intensitätsverlust an dieser Fläche umgelenkt. Der umgelenkte Prüfstrahl T2 tritt dann ebenfalls über die Fläche 301 aus dem Strahlteiler 3 aus. Benachbart zu der Fläche 301 ist eine Detektionsschicht 7 mit einer Detektionsfläche 8 auf deren Unterseite vorgesehen, auf welche die beiden Prüfstrahlen T1 und T2 auftreffen. Die Auftreffpositionen auf der Detektionsfläche 8 werden durch die Detektionsschicht 7 erfasst. Die Auftreffposition des Teilstrahls T1 ist dabei mit AP1 und die Auftreffposition des Teilstrahls T2 mit AP2 bezeichnet.

[0028] Die Auftreffpositionen werden in einem lokalen kartesischen Koordinatensystem der Detektions-

schicht **7** ermittelt, welches in **Fig. 1** mit K_S bezeichnet ist. Die z-Koordinate der Auftreffpositionen gemäß dem Koordinatensystem K_S weist dabei den Wert 0 auf. Die Ermittlung der Auftreffpositionen läuft vorzugsweise derart ab, dass die Intensitätsverteilung der auftreffenden Prüfstrahlen durch die Detektionsschicht gemessen wird und der Schwerpunkt dieser Intensitätsverteilung ermittelt wird. Dieser Schwerpunkt wird mit der entsprechenden Auftreffposition gleichgesetzt. Die Ermittlung der Auftreffpositionen kann dabei durch eine an die Detektionsschicht angeschlossene digitale oder analoge Elektronik erfolgen bzw. gegebenenfalls auch in der weiter unten beschriebenen Auswerteeinheit **9** vorgenommen werden.

[0029] In der Auswerteeinheit **9**, die über eine Datenleitung **D** an die Detektionsschicht **7** angebunden ist, werden die Auftreffpositionen der Teilstrahlen **T1** und **T2** geeignet verarbeitet. Dabei wird aus den Auftreffpositionen der Strahlverlauf des Prüfstrahls nach Passieren des Prüflings (angedeutet durch den Pfeil **P2**) bestimmt. Mit anderen Worten wird der Winkel des Prüfstrahls in Bezug auf die Messebene **ME** ermittelt. Gleichzeitig kann auch der Eintrittspunkt **EP** des Prüfstrahls in die Messebene **ME** bestimmt werden. Die Ermittlung des Strahlverlaufs des Prüfstrahls wird weiter unten beispielhaft für eine Dimension anhand von **Fig. 2** erläutert.

[0030] Bei der Bestimmung des Strahlverlaufs macht man sich die Erkenntnis zunutze, dass durch den Strahlteiler **3** eine Verlängerung der optischen Weglänge des Teilstrahls **T2** gegenüber dem Teilstrahl **T1** derart erfolgt, dass die Auftreffposition **AP2** des Teilstrahls **T2** einer Auftreffposition auf einer weiteren Detektionsschicht entsprechen würde, die gegenüber der Detektionsschicht **7** um die entsprechende Verlängerung der Wegstrecke des Teilstrahls **T2** entlang der z-Achse des Koordinatensystems K_S versetzt ist. Die beiden Auftreffpositionen **AP1** und **AP2** können somit mit Durchstoßpunkten des Prüfstrahls durch zwei versetzte Detektionsschichten gleichgesetzt werden, woraus sich die Steigung des Prüfstrahls und somit sein Strahlverlauf nach Passieren des Prüflings **2** ergibt.

[0031] **Fig. 2** zeigt beispielhaft die Bestimmung des Strahlverlaufs eines in der x-z-Ebene des Koordinatensystems K_S einfallenden Prüfstrahls. In **Fig. 2** ist dabei eine Schnittansicht durch den Strahlteiler **3** der **Fig. 1** entlang der x-z-Ebene des Koordinatensystems K_S wiedergegeben. Sollte der Prüfstrahl schräg zur x-z-Ebene des Koordinatensystems einfallen, können die nachfolgenden Berechnungen in analoger Weise sowohl für die Projektion des Prüfstrahls in die x-z-Ebene als auch in eine weitere Ebene des Koordinatensystems (y-z-Ebene bzw. x-y-Ebene) durchgeführt werden, wodurch die dreidimensionale Raumrichtung des Prüfstrahls erhalten

wird. Gemäß **Fig. 2** werden die dargestellten Positionen in einem Koordinatensystem mit horizontal verlaufender x-Achse und vertikal verlaufender z-Achse erfasst. Im Unterschied zu dem Koordinatensystem K_S der **Fig. 1** wird die z-Koordinate von der Unterseite des Strahlteilers **3** aus gemessen, d.h. an der Unterseite befindet sich der Nullpunkt der z-Koordinate. Der Ursprung der x-Koordinate beginnt analog zu **Fig. 1** an der Seitenfläche **401** des Prismas **4**.

[0032] Der Prüfstrahl **P** sowie die Teilstrahlen **T1** und **T2** sind in **Fig. 2** durch dicke Linien angedeutet. Wie man erkennt, tritt der Prüfstrahl **P** an dem Eintrittspunkt **EP** mit der Koordinate z_i ein. Die im Strahlteiler generierten Prüfstrahlen **T1** und **T2** treffen jeweils an den entsprechenden Positionen x_1 bzw. x_2 auf die Detektionsfläche **8**. Die beiden Auftreffpositionen wurden über die Detektionsschicht **7** (**Fig. 1**) bestimmt. Ferner ist die Länge der oberen Fläche des ersten Prismas **4** und des zweiten Prismas **5** in x-Richtung bekannt. Beide Flächen weisen die Länge a auf, d.h. die Fläche des ersten Prismas endet an der x-Position a , wohingegen die Fläche des zweiten Prismas an der x-Position $2a$ endet. Der Prüfstrahl vor Passieren des Prüflings ist horizontal auf den Prüfling gerichtet. Zu bestimmen ist nunmehr die Ablenkung bzw. der Winkel α' des Prüfstrahls gegenüber der Horizontalen. Im Folgenden wird die Berechnung des Winkels α des Prüfstrahls nach Eintritt in den Strahlteiler beschrieben. Aus diesem Winkel kann in an sich bekannter Weise über das Brechungsgesetz der Winkel α' bestimmt werden. Die beiden (bekannten) Positionen x_1 und x_2 der Teilstrahlen **T1** und **T2** können über folgende Gleichungen beschrieben werden:

$$x_1 = z_i + a \tan(\alpha) \quad (1),$$

$$x_2 = z_i + a[1 + 2 \tan(\alpha)] \quad (2).$$

[0033] Hieraus ergibt sich der Abstand Δx zwischen den beiden Positionen x_1 und x_2 wie folgt:

$$\Delta x = x_2 - x_1 = a[1 + \tan(\alpha)] \quad (3).$$

[0034] Demzufolge kann mit der obigen Gleichung (3) durch entsprechende Umformung der Winkel α ermittelt werden, da der Abstand Δx sowie die Länge a bekannt sind. Darüber hinaus kann die Eintrittsposition z_i mit Hilfe der obigen Gleichung (1) aus der Position x_1 und dem zuvor ermittelten Winkel α berechnet werden. Man erhält somit den Strahlverlauf des Prüfstrahls, der durch den Winkel α bzw. den Winkel α' charakterisiert ist, sowie die entsprechende Eintrittsposition z_i des Prüfstrahls an der Seitenfläche **401**.

[0035] Die in **Fig. 1** dargestellte Vorrichtung weist ferner eine Aktorik (nicht gezeigt) auf, mit der die Strahlquelle **1** und der Prüfling **2** entlang der Ebene **RE** relativ zueinander versetzt werden können. Je nach Ausgestaltung kann dabei nur die Strahlquel-

le oder nur der Prüfling bzw. gegebenenfalls auch die Strahlquelle und der Prüfling bewegt werden. Die Position der Baugruppe aus Detektionsschicht **7** und Strahlteiler **3** kann je nach Ausgestaltung relativ zur Strahlquelle oder relativ zum Prüfling fest sein. Gegebenenfalls kann diese Position jedoch auch sowohl relativ zur Strahlquelle als auch relativ zum Prüfling veränderbar sein. Im Rahmen der Analyse des Prüflings wird über die Aktorik eine Vielzahl von Positionen auf der Linse **2** angefahren und die entsprechenden Strahlverläufe der Prüfstrahlen für die jeweiligen Positionen ermittelt. Hieraus ergibt sich in an sich bekannter Weise das Gradientenfeld der Wellenfront nach Passieren der Linse. In ebenfalls an sich bekannter Weise wird dann durch zonale bzw. modale Integration die optische Wellenfront nach Passieren der Linse und somit wichtige optische Eigenschaften der Linse bestimmt. Zur Bestimmung der optischen Wellenfront können insbesondere die in der Druckschrift DE 10 2007 003 681 A1 beschriebenen Methoden (z.B. Zernike-Polynome) eingesetzt werden. Die soeben dargelegten Berechnungen werden durch die Auswerteeinheit **9** durchgeführt.

[0036] Fig. 3 zeigt eine zweite Ausführungsform einer erfindungsgemäßen Vorrichtung, welche im Unterschied zur Ausführungsform der Fig. 1 zur Analyse von reflektierenden Prüflingen dient. Demzufolge ist in Fig. 2 schematisiert ein Prüfling **2** mit welliger reflektierender Oberfläche dargestellt. Die Oberfläche ist dabei gerichtet reflektierend, d.h. ein Strahl wird gerichtet durch die Oberfläche abgelenkt und nicht gestreut. In Analogie zu Fig. 1 wird in der Ausführungsform der Fig. 3 der gleiche Strahlteiler **3** sowie die gleiche Detektionsschicht **7** mit Detektionsfläche **8** verwendet. Im Unterschied zu Fig. 1 ist die Strahlquelle **1** jedoch hinter dem Strahlteiler **3** gegenüberliegend zur Fläche **502** angeordnet. Der Prüfstrahl **P** läuft ausgehend von der Strahlquelle **1** zunächst in Richtung **P0** und betritt an der Fläche **502** den Strahlteiler. Dort verläuft der Prüfstrahl in Richtung **P1**, wobei er die Grenzfläche **6** durchläuft und über die Fläche **401** wieder aus dem Strahlteiler austritt, um auf den reflektierenden Prüfling an der Position **P0** zu fallen. Die Flächen **502** und **6** sind dabei derart ausgestaltet, dass sie in Richtung **P1** des Prüfstrahls semitransparent sind.

[0037] Nach der Reflexion an dem Prüfling **2** gelangt der Prüfstrahl entsprechend der Richtung **P2** wieder in den Strahlteiler **3** und wird dort analog zur Ausführungsform der Fig. 1 in die Teilstrahlen **T1** und **T2** aufgeteilt. Wie in Fig. 1 wird in einer entsprechenden Auswerteeinheit, die in Fig. 3 nicht gezeigt ist, der Strahlverlauf des Prüfstrahls für viele Positionen auf der Oberfläche des Prüflings bestimmt. Hieraus kann dann der Gradient der Oberfläche und über zonale bzw. modale Integration die Form der Oberfläche des Prüflings ermittelt werden. Die Ausführungsform der Fig. 3 ermöglicht eine besonders kompakte Ausge-

staltung der Vorrichtung, da die Strahlquelle nahe an der Baugruppe aus Strahlteiler und Detektionsschicht angeordnet wird.

[0038] Die im Vorangegangenen beschriebenen Ausführungsformen der Erfindung weisen eine Reihe von Vorteilen auf. Insbesondere wird auf einfache Weise die Bestimmung von Strahlverläufen von Prüfstrahlen ermöglicht, ohne dass ein Detektor mit zugeordneter Detektionsschicht in verschiedene Positionen verschoben werden muss. Stattdessen wird der Prüfstrahl in der erfindungsgemäßen Vorrichtung mittels eines Strahlteilers in Teilstrahlen aufgeteilt, welche unterschiedliche optische Weglängen aufweisen. Hierdurch werden die Auftreffpositionen des Prüfstrahls in zueinander versetzten Detektionsebenen simuliert, was wiederum eine Bestimmung des Strahlverlaufs des Prüfstrahls ermöglicht. Die erfindungsgemäße Vorrichtung gewährleistet dabei eine wesentlich schnellere Vermessung von Prüflingen, denn für die Bestimmung eines Strahlverlaufs ist lediglich eine Messung mit ortsfester Detektionsschicht bzw. ortsfesten Detektionsschichten erforderlich, wohingegen im Stand der Technik zumindest zwei Messungen in unterschiedlichen Detektorpositionen durchgeführt werden müssen.

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 102007003681 A1 [0002, 0009, 0035]

Patentansprüche

1. Vorrichtung zur optischen Analyse eines Prüflings (2), umfassend:

- eine Strahlquelle (1) zur Generierung eines Prüfstrahls (P), der im Betrieb der Vorrichtung auf den Prüfling (2) gerichtet wird und diesen passiert;
- einen Strahlteiler (3) zum Aufteilen des Prüfstrahls (P) nach Passieren des Prüflings (2) in mehrere Teilstrahlen (T1, T2);
- eine oder mehrere Detektionsschichten (7) zur orts aufgelösten Detektion der mehreren Teilstrahlen (T1, T2), wobei die Detektionsschicht oder Detektionsschichten (7) jeweils eine Detektionsfläche (8) aufweisen und auf die Detektionsfläche oder Detektionsflächen (8) die mehreren Teilstrahlen (T1, T2) auftreffen;
- wobei der Strahlteiler (3) derart ausgestaltet ist, dass die Teilstrahlen (T1, T2) unterschiedliche optische Weglängen bis zum Auftreffen auf der oder den Detektionsflächen (8) zurücklegen;
- eine Auswerteeinheit (9) zur Bestimmung des Strahlverlaufs des Prüfstrahls (P) nach Passieren des Prüflings (2) unter Verwendung der orts aufgelösten Detektion der mehreren Teilstrahlen (T1, T2).

2. Vorrichtung nach Anspruch 1, **dadurch gekennzeichnet**, dass die Auswerteeinheit (9) dazu eingerichtet ist, Eigenschaften des Prüflings (2) basierend auf den Strahlverläufen von mehreren Prüfstrahlen (P) zu ermitteln, die den Prüfling (2) an verschiedenen Positionen (PO) passieren.

3. Vorrichtung nach Anspruch 2, **dadurch gekennzeichnet**, dass die Auswerteeinheit (9) dazu eingerichtet ist, als Eigenschaften des Prüflings (2) die Form der Oberfläche des Prüflings (2) und/oder die optische Wellenfront nach Passieren des Prüflings (2) und/oder Größen zu bestimmen, welche von der Form der Oberfläche oder von der optischen Wellenfront abhängen.

4. Vorrichtung nach einem der vorhergehenden Ansprüche, **dadurch gekennzeichnet**, dass die Vorrichtung derart ausgestaltet ist, dass der Prüfstrahl (P) den Strahlteiler (3) vor dem Passieren des Prüflings (2) durchläuft und nach Passieren des Prüflings (2) wieder in den Strahlteiler (3) eintritt, wobei dann die Aufteilung des Prüfstrahls (P) in mehrere Teilstrahlen (T1, T2) zur Bestimmung des Strahlverlaufs des Prüfstrahls (P) genutzt wird.

5. Vorrichtung nach einem der vorhergehenden Ansprüche, **dadurch gekennzeichnet**, dass der Strahlteiler (3) mehrere Reflexionsflächen (6, 502) umfasst, an denen jeweils der Prüfstrahl (P) oder ein Teilstrahl (T1, T2) reflektiert wird, wobei zumindest eine Reflexionsfläche eine strahlteilende Reflexionsfläche (6) ist, an der eine Aufteilung in zwei Teilstrahlen (T1, T2) durch Reflexion und Transmission be-

wirkt wird, wobei vorzugsweise ferner eine rein reflektierende Reflexionsfläche (502) zur Ablenkung eines Teilstrahls (T2) vorgesehen ist.

6. Vorrichtung nach Anspruch 5, **dadurch gekennzeichnet**, dass die Reflexionsflächen (6, 502) plane Flächen sind und/oder parallel verschoben zueinander angeordnet sind.

7. Vorrichtung nach Anspruch 5 oder 6, **dadurch gekennzeichnet**, dass der Strahlteiler (3) eine Mehrzahl von aneinander angrenzenden transparenten Körpern (4, 5) umfasst, wobei benachbarte transparente Körper (4, 5) über eine Grenzfläche (6) aneinander anliegen, wobei eine jeweilige Grenzfläche (6) eine strahlteilende Reflexionsfläche ist, wobei vorzugsweise ferner eine Endfläche eines der transparenten Körper (5) eine rein reflektierende Reflexionsfläche (502) zur Ablenkung eines Teilstrahls (T2) ist.

8. Vorrichtung nach Anspruch 7, **dadurch gekennzeichnet**, dass durch die Mehrzahl von transparenten Körpern (4, 5) eine gemeinsame plane Fläche (301) zum Austritt der Teilstrahlen (T1, T2) aus dem Strahlteiler (3) gebildet wird, wobei die plane Fläche (301) auf die Detektionsfläche oder Detektionsflächen (8) der Detektionsschicht oder Detektionsschichten (7) zuweist.

9. Vorrichtung nach Anspruch 7 oder 8, **dadurch gekennzeichnet**, dass die Mehrzahl von transparenten Körpern (4, 5) Prismen sind, welche ein erstes Prisma (4) und ein daran angrenzendes zweites Prisma (5) umfassen, wobei am ersten Prisma (4) der noch nicht aufgeteilte Prüfstrahl (P) eintritt und an der Grenzfläche (6) des ersten Prismas (4) zum zweiten Prisma (5) in zwei Teilstrahlen (T1, T2) aufgeteilt wird.

10. Vorrichtung nach Anspruch 9, **dadurch gekennzeichnet**, dass das erste Prisma (4) ein gerades Prisma mit einer dreieckigen Grundfläche ist und das zweite Prisma (5) ein schiefes Prisma mit einer rechteckigen Grundfläche ist, wobei der noch nicht aufgeteilte Prüfstrahl (P) über eine Seitenfläche (401) des geraden Prismas (4) in den Strahlteiler (3) eintritt und wobei an einer weiteren Seitenfläche (402) des geraden Prismas (4) die Grenzfläche (6) zu einer Seitenfläche (501) des zweiten Prismas (5) vorgesehen ist.

11. Vorrichtung nach Anspruch 10, **dadurch gekennzeichnet**, dass auf das zweite Prisma (5) ein oder mehrere weitere zweite Prismen mit dazwischen liegenden strahlteilenden Grenzschichten folgen, um mehr als zwei Teilstrahlen (T1, T2) durch den Strahlteiler (3) zu erzeugen.

12. Vorrichtung nach einem der vorhergehenden Ansprüche, **dadurch gekennzeichnet**, dass die Vorrichtung eine Aktorik zum Verändern der Relativposition der Strahlquelle (1) in Bezug auf den Prüfling (2)

in eine oder mehrere Richtungen umfasst, welche die Auftreffposition (PO) des Prüfstrahls (P) am Prüfling verändern.

13. Vorrichtung nach einem der vorhergehenden Ansprüche, **dadurch gekennzeichnet**, dass die Detektionsschicht oder Detektionsschichten (7) jeweils einen CCD-Sensor und/oder einen CMOS-Sensor und/oder einen PSD-Sensor umfassen.

14. Verfahren zur optischen Analyse eines Prüflings (2) mit einer Vorrichtung nach einem der vorhergehenden Ansprüche, **dadurch gekennzeichnet**, dass der Prüfstrahl (P) auf den Prüfling (2) gerichtet wird und nach Passieren des Prüflings (2) auf den Strahlteiler (3) fällt, wobei die durch den Strahlteiler (3) aufgeteilten Teilstrahlen (T1, T2) durch die Detektionsschicht oder Detektionsschichten (7) ortsauflösend detektiert werden und mittels der Auswerteeinheit (9) der Strahlverlauf des Prüfstrahls (P) nach Passieren des Prüflings unter Verwendung der ortsauflösenden Detektion der mehreren Teilstrahlen (P) bestimmt wird.

15. Verfahren nach Anspruch 14, **dadurch gekennzeichnet**, dass mittels der Auswerteeinheit (9) Eigenschaften des Prüflings (2) basierend auf den Strahlverläufen von mehreren Prüfstrahlen (P) ermittelt werden, die den Prüfling (2) an verschiedenen Positionen (PO) passieren.

Es folgen 3 Seiten Zeichnungen

Anhängende Zeichnungen

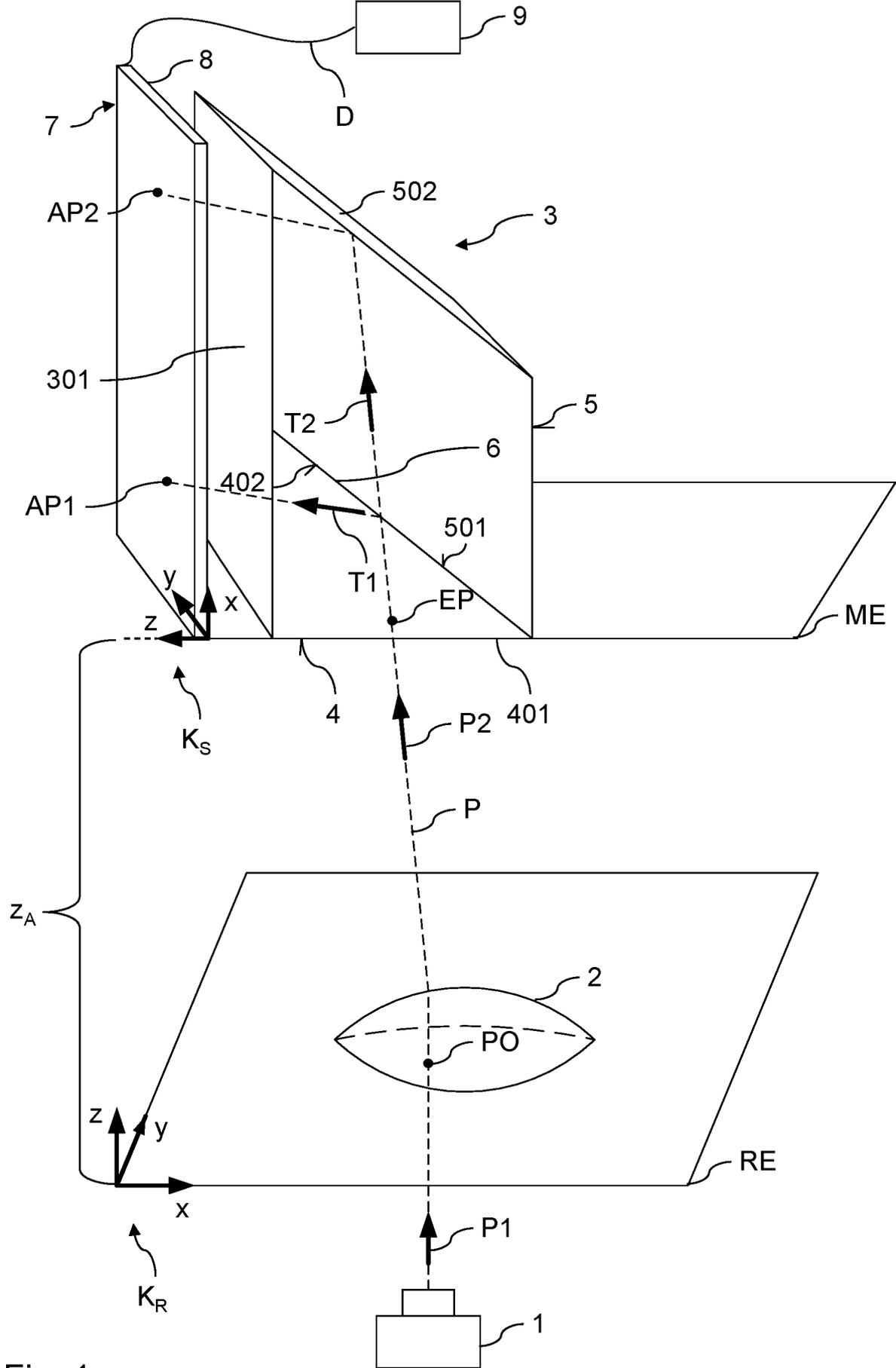


Fig. 1

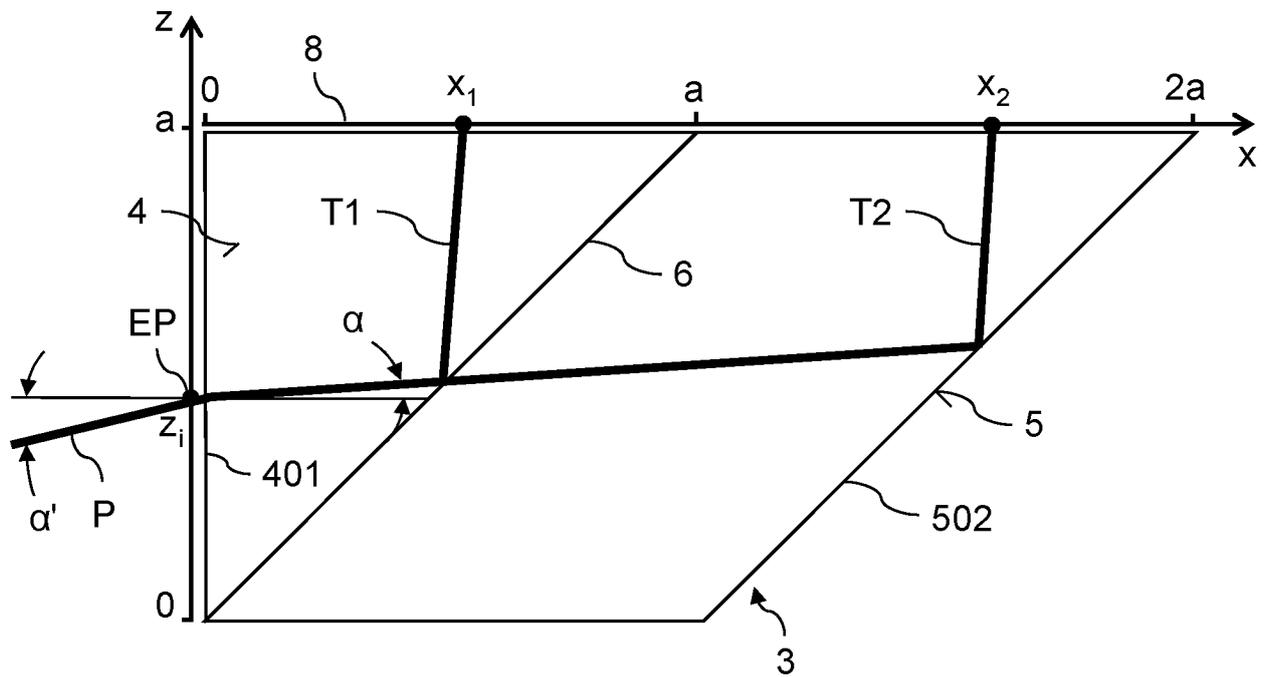


Fig. 2

