



(12) **Offenlegungsschrift**

(21) Aktenzeichen: **10 2013 219 436.6**

(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:

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

(56) Ermittelter Stand der Technik:

**DE 10 2004 025 210 B4**

**DE 10 2006 033 779 A1**

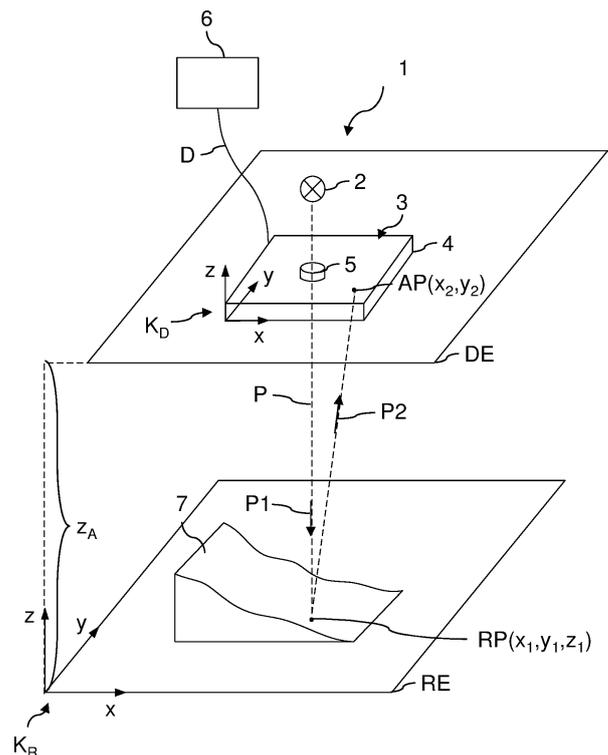
**US 2005 / 0 286 058 A1**

Prüfungsantrag gemäß § 44 PatG ist gestellt.

**Die folgenden Angaben sind den vom Anmelder eingereichten Unterlagen entnommen**

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

(57) Zusammenfassung: Die Erfindung betrifft eine Vorrichtung zur optischen Analyse eines reflektierenden Prüflings (7). Die erfindungsgemäße Vorrichtung umfasst einen Sensor (1) mit einer Strahlquelle (2) zur Generierung eines Prüfstrahls (P), der im Betrieb der Vorrichtung auf den Prüfling (7) gerichtet und an diesem reflektiert wird, und einer Detektionsschicht (3) zur orts aufgelösten Detektion des reflektierten Prüfstrahls (P), wobei die Detektionsschicht (3) auf einer Seite eine Detektionsfläche (4) aufweist, auf welche der Prüfstrahl auftrifft. Ferner ist eine Auswerteeinheit (6) zur Bestimmung des Strahlverlaufs des reflektierten Prüfstrahls (P) unter Verwendung der orts aufgelösten Detektion des reflektierten Prüfstrahls (P) vorgesehen. Die erfindungsgemäße Vorrichtung zeichnet sich dadurch aus, dass der Sensor (1) derart ausgestaltet ist, dass die Detektionsfläche (4) eine freiliegende Fläche des Sensors (1) ist und der Prüfstrahl (P) an der freiliegenden Detektionsfläche (4) aus dem Sensor (1) austritt.



**Beschreibung**

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

**[0002]** Aus dem Stand der Technik sind unterschiedliche Verfahren zur Analyse von Prüflingen und insbesondere zur Bestimmung der Oberflächenform von Werkstücken bekannt. Zur Vermessung technischer Oberflächen gibt es taktile Verfahren, welche jedoch die Gefahr einer lokalen Beschädigung der zu vermessenden Oberfläche aufgrund des verfahrensbedingt erforderlichen mechanischen Kontakts zwischen Prüfsonde und Werkstück haben.

**[0003]** Darüber hinaus gibt es berührungslose optische Verfahren, mit denen Prüflinge vermessen werden können, wie z.B. interferometrische Verfahren und Verfahren basierend auf Deflektrometrie bzw. Streifenprojektion oder Streifenreflexion. Darüber ist die Vermessung reflektierender Objekte mittels Konfokalsensoren bekannt. Ferner gibt es Sensoren, welche basierend auf optischer Triangulation eine Oberfläche vermessen.

**[0004]** In der Druckschrift DE 295 12 741 U1 ist eine Messsonde zur orts aufgelösten Triangulations- und Streulichtmessung beschrieben. Die Sonde umfasst eine Vielzahl von optischen Lichtwellenleitern, mit denen Prüfling von einer Strahlquelle zum Messobjekt geführt und zugleich das an dem Messobjekt gestreute Licht zurück zu einem Detektor geleitet wird.

**[0005]** In der Druckschrift DE 101 51 332 B4 ist eine Vorrichtung zur optischen Messung von Oberflächeneigenschaften offenbart, bei der eine gekrümmte Sensorstruktur aus einer Vielzahl von Sensoren mit vorgeschalteten Linsen zur Erfassung von an dem Messobjekt reflektierten Licht verwendet wird.

**[0006]** Die Druckschrift DE 10 2007 003 681 A1 offenbart ein Verfahren zur Analyse einer optischen Einrichtung mit räumlich getrennter Strahlquelle und Bildaufnehmer. Durch die Strahlquelle wird ein Prüfstrahl erzeugt, der nach Passieren der zu analysierenden optischen Einrichtung von dem Bildaufnehmer in verschiedenen Detektionsebenen erfasst wird. Hierüber wird der Strahlverlauf des Prüfstrahls ermittelt, woraus optische Eigenschaften der optischen Einrichtung bestimmt werden können.

**[0007]** Die bekannten optischen Verfahren zur Analyse von Prüflingen weisen den Nachteil auf, dass stark gekrümmte Oberflächen bzw. Freiformflächen gar nicht oder nur schwer vermessbar sind, da größere lokale Ablenkungen des Prüfstrahls nicht in den Fangbereich des Detektors fallen, so dass komplizierte Bewegungsanordnungen zum Verschieben des Detektors erforderlich sind.

**[0008]** Aufgabe der Erfindung ist es deshalb, eine Vorrichtung und ein Verfahren zur optischen Analyse eines reflektierenden Prüflings zu schaffen, mit denen auf einfache Weise Prüflinge mit unterschiedlichsten Strukturen vermessen werden können.

**[0009]** 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.

**[0010]** Die erfindungsgemäße Vorrichtung dient zur optischen Analyse eines reflektierenden Prüflings, wobei unter einem reflektierenden Prüfling ein gerichtet reflektierender Prüfling zu verstehen ist, d.h. ein Objekt, an dem ein Prüfstrahl gemäß dem Reflexionsgesetz gerichtet abgelenkt und nicht (ausschließlich) gestreut wird. Die Vorrichtung umfasst einen Sensor mit einer Strahlquelle zur Generierung eines Prüfstrahls, der im Betrieb der Vorrichtung auf den Prüfling gerichtet ist und an diesem reflektiert ist. Die Strahlquelle kann dabei z.B. eine Laserlichtquelle sein.

**[0011]** Der Sensor umfasst ferner eine Detektionsschicht zur orts aufgelösten Detektion des reflektierten Prüfstrahls, wobei die Detektionsschicht auf einer Seite eine vorzugsweise ebene bzw. plane Detektionsfläche aufweist, auf welche der Prüfstrahl auftrifft. Mit anderen Worten wird über die Detektionsschicht die Auftreffposition des Prüfstrahls auf der Detektionsfläche erfasst. Die Detektionsfläche ist dabei eine äußere Fläche der Detektionsschicht. Die Auftreffposition muss nicht unmittelbar an der Detektionsfläche bestimmt werden, sondern sie kann ggf. auch innerhalb der Schicht ermittelt werden. Vorzugsweise wird die Auftreffposition über eine orts aufgelöste Intensitätsmessung des Lichts des auftreffenden Prüfstrahls ermittelt, wobei der Schwerpunkt der gemessenen Intensitätsverteilung mit der Auftreffposition gleichgesetzt wird. Neben dem Sensor umfasst die Vorrichtung eine Auswerteeinheit zur Bestimmung des Strahlverlaufs des reflektierten Prüfstrahls unter Verwendung der orts aufgelösten Detektion des reflektierten Prüfstrahls. Unter einem Strahlverlauf des reflektierten Prüfstrahls ist dabei die Richtung des Prüfstrahls in Bezug auf eine definierte Referenzrichtung bzw. Referenzfläche zu verstehen, wie z.B. einer Fläche, auf der der Prüfling angeordnet ist.

**[0012]** Die erfindungsgemäße Vorrichtung zeichnet sich dadurch aus, dass ihr Sensor derart ausgestaltet ist, dass die Detektionsfläche eine freiliegende Fläche des Sensors ist und der Prüfstrahl an der freiliegenden Detektionsfläche aus dem Sensor austritt. Der Begriff der freiliegenden Detektionsfläche ist dabei derart zu verstehen, dass in Draufsicht auf die Detektionsfläche in Richtung des reflektierten Prüfstrahls keine weiteren Bauteile (wie z.B. optische Komponenten) des Sensors vor der Detektionsfläche

liegen. Zum Beispiel kann die freiliegende Detektionsfläche als eine Fläche in dem Gehäuse des Sensors vorgesehen sein.

**[0013]** Die Erfindung verwendet das in der eingangs erwähnten Druckschrift DE 10 2007 003 681 A1 offenbarte Messprinzip. Dabei wird jedoch ein neuartiger Sensor mit freiliegender Detektionsfläche und daraus austretendem Prüfstrahl eingesetzt. Dieser Sensor ermöglicht es, die Detektionsfläche sehr nah an den Prüfling heranzuführen, so dass ein großer Fangbereich von am Prüfling reflektierten Prüfstrahlen gewährleistet ist und hierdurch beliebige Prüflinge auch mit stark gekrümmten Oberflächen bzw. großen Änderungen der lokalen Oberflächenkrümmung einfach und effizient vermessen werden können.

**[0014]** In einer besonders bevorzugten Ausführungsform ist die Auswerteeinheit der erfindungsgemäßen Vorrichtung dazu eingerichtet, Eigenschaften des Prüflings und insbesondere die Form der Oberfläche des Prüflings basierend auf den Strahlverläufen von mehreren Prüfstrahlen zu ermitteln, die an verschiedenen Positionen an der Oberfläche des Prüflings reflektiert werden. Dabei wird in an sich bekannter Weise aus dem Strahlverlauf des jeweiligen Prüfstrahls der Gradient der Oberfläche des Prüflings ermittelt. Aus einer Vielzahl von solchen Gradienten für unterschiedliche Oberflächenpositionen kann dann mit ebenfalls bekannten Verfahren (insbesondere über zonale bzw. modale Integration) die Oberflächenform bestimmt werden.

**[0015]** In einer bevorzugten Ausführungsform ist in der Detektionsschicht ein Loch vorgesehen, über welches der Prüfstrahl an der freiliegenden Detektionsfläche aus dem Sensor austritt. Gegebenenfalls kann dabei in dem Loch eine Optik zur Formung des Prüfstrahls vorgesehen sein.

**[0016]** In einer weiteren bevorzugten Variante ist die Strahlquelle auf einer von dem reflektierenden Prüfling abgewandten Seite der Detektionsschicht mit der freiliegenden Detektionsfläche angeordnet und der Prüfstrahl tritt durch das Loch hindurch. Der Prüfstrahl kann dabei als Freistrahle oder gegebenenfalls mittels eines Lichtwellenleiters zu dem Loch geführt werden.

**[0017]** In einer alternativen Ausgestaltung wird der Prüfstrahl durch eine Strahlquelle generiert, welche in der Detektionsschicht mit der freiliegenden Detektionsfläche eingesetzt ist oder welche auf der freiliegenden Detektionsfläche befestigt ist. Dabei kann gegebenenfalls das oben beschriebene Loch in der Detektionsschicht vorgesehen sein, um in dieses die Strahlquelle einzusetzen. Als Strahlquelle wird vorzugsweise eine kleine Diode, insbesondere eine Laserdiode, verwendet. Gegebenenfalls kann auch eine zusätzliche Optik zum Auskoppeln des Prüfstrahls

in der Detektionsschicht bzw. einem entsprechenden Loch der Detektionsschicht vorgesehen sein.

**[0018]** Um ein effizientes Erfassen von reflektierten Prüfstrahlen aus verschiedenen Richtungen zu gewährleisten, ist der Sensor vorzugsweise derart ausgestaltet, dass der Prüfstrahl an einer im Wesentlichen mittig in der freiliegenden Detektionsfläche angeordneten Austrittsposition aus dem Sensor austritt und/oder dass der Prüfstrahl senkrecht zur freiliegenden Detektionsfläche an dieser austritt.

**[0019]** In einer besonders bevorzugten Ausführungsform wird zum Bestimmen des Strahlverlaufs die Auftreffposition des Prüfstrahls in zwei, in Richtung des reflektierten Prüfstrahls zueinander versetzten Relativpositionen der Detektionsfläche in Bezug zum Prüfling erfasst. Aus der Differenz dieser beiden Auftreffpositionen ergibt sich dann in einfacher Weise die Richtung des Prüfstrahls. Dabei umfasst die Vorrichtung eine Aktorik (z.B. einen elektromechanischen Aktor bzw. einen Elektromotor) zum Verändern der Relativposition der Detektionsschicht mit der freiliegenden Detektionsfläche in Bezug auf den Prüfling entlang der Richtung des aus der freiliegenden Detektionsfläche austretenden Prüfstrahls. Das heißt, mit der Aktorik kann die Detektionsfläche in verschiedene versetzte Relativpositionen entlang des Prüfstrahls angeordnet werden. Dabei kann je nach Ausgestaltung der Aktorik die Detektionsschicht selbst oder auch der Prüfling und gegebenenfalls Detektionsschicht und Prüfling bewegt werden. Im Rahmen des Messvorgangs wird der Prüfstrahl in zumindest zwei Relativpositionen durch die freiliegende Detektionsfläche detektiert und die Auswerteeinheit ist dazu eingerichtet, den Strahlverlauf des Prüfstrahls basierend auf der orts aufgelösten Detektion des Prüfstrahls über die Detektionsschicht mit der freiliegenden Detektionsfläche in den zumindest zwei Relativpositionen zu bestimmen.

**[0020]** Gegebenenfalls kann die Vorrichtung auch eine Aktorik zum Verändern der Relativposition der Detektionsschicht mit der freiliegenden Detektionsfläche in Bezug auf den Prüfling in eine oder mehrere Richtungen umfassen, welche die Reflexionsposition des Prüfstrahls am Prüfling verändern. Vorzugsweise wird dabei die Relativposition in Richtung senkrecht zur Richtung des an der freiliegenden Detektionsfläche austretenden Prüfstrahls variiert. Mit einer derartigen Aktorik kann auf einfache Weise die Oberfläche des Prüfstrahls abgerastert werden.

**[0021]** Gegebenenfalls kann zur Bestimmung des Strahlverlaufs des Prüfstrahls auch ein Sensor mit mehreren Detektionsflächen verwendet werden. In diesem Fall umfasst der Sensor zusätzlich zu der Detektionsschicht mit der freiliegenden Detektionsfläche eine oder mehrere weitere Detektionsschichten mit einer jeweiligen Detektionsfläche zur orts aufgelösten

Detektion des reflektierten Prüfstrahls, wobei die weitere oder die weiteren Detektionsschichten in Richtung entgegengesetzt zur Strahlrichtung des aus dem Sensor austretenden Prüfstrahls versetzt und parallel zu der Detektionsschicht mit der freiliegenden Detektionsfläche angeordnet sind. Vorzugsweise sind die Detektionsflächen der weiteren Detektionsschichten plane bzw. ebene Flächen. In dieser Variante ist die Detektionsschicht mit der freiliegenden Detektionsfläche transparent für den am Prüfling reflektierten Prüfstrahl, damit dieser auch von den weiteren Detektionsschichten erfasst werden kann. Die Auswerteeinheit der Vorrichtung ist dazu eingerichtet, den Strahlverlauf des Prüfstrahls basierend auf der orts aufgelösten Detektion des Prüfstrahls über die Detektionsschicht mit der freiliegenden Detektionsfläche und über die weitere oder die weiteren Detektionsschichten zu bestimmen.

**[0022]** In einer bevorzugten Variante der soeben beschriebenen Ausführungsform weisen die weitere oder die weiteren Detektionsschichten jeweils ein Loch zum Durchtritt des Prüfstrahls auf, wobei dieses Loch oder diese Löcher vorzugsweise fluchtend entlang der Richtung des durch das oder die Löcher hindurchtretenden Prüfstrahls mit einem Loch zum Austritt des Prüfstrahls an der freiliegenden Detektionsfläche angeordnet sind.

**[0023]** Die Detektionsschicht mit der freiliegenden Detektionsfläche bzw. die weiteren Detektionsschichten können auf unterschiedlichen Technologien beruhen. Insbesondere können diese Schichten einen CCD-Sensor und/oder einen CMOS-Sensor und/oder einen PSD-Sensor (PSD = Position Sensitive Device) umfassen. All diese Sensorarten sind aus dem Stand der Technik bekannt und werden deshalb nicht näher im Detail erläutert.

**[0024]** Neben der oben beschriebenen Vorrichtung betrifft die Erfindung ferner ein Verfahren zur Analyse eines reflektierenden Prüflings mit der erfindungsgemäßen Vorrichtung bzw. einer oder mehrerer bevorzugter Varianten der erfindungsgemäßen Vorrichtung. Dabei wird der Prüfstrahl nach Austritt aus der freiliegenden Detektionsfläche des Sensors direkt (d.h. ohne Zwischenschaltung weiterer optischer Komponenten) auf den Prüfling gerichtet. Ebenso wird der an dem Prüfling reflektierte Prüfstrahl direkt (d.h. ohne Zwischenschaltung weiterer optischer Komponenten) über die Detektionsschicht mit der freiliegenden Detektionsfläche orts aufgelöst detektiert. Unter Verwendung der orts aufgelösten Detektion des reflektierten Prüfstrahls wird dann mittels der Auswerteeinheit der erfindungsgemäßen Vorrichtung der Strahlverlauf des reflektierten Prüfstrahls bestimmt.

**[0025]** In einer besonders bevorzugten Ausführungsform werden mittels der Auswerteeinheit Eigen-

schaften des Prüflings und insbesondere die Form der Oberfläche des Prüflings basierend auf den Strahlverläufen von mehreren Prüfstrahlen ermittelt, die an verschiedenen Positionen an der Oberfläche reflektiert werden.

**[0026]** In einer weiteren Ausführungsform des erfindungsgemäßen Verfahrens wird der Prüfstrahl zur Bestimmung seines Strahlverlaufs in zumindest zwei Relativpositionen orts aufgelöst detektiert, wobei die zumindest zwei Relativpositionen von der Detektionsschicht mit der freiliegenden Detektionsfläche oder von der Detektionsschicht mit der freiliegenden Detektionsfläche und einer oder mehreren weiteren Detektionsschichten in Bezug auf den Prüfling entlang der Richtung des an der freiliegenden Detektionsfläche austretenden Prüfstrahls eingenommen werden. In dieser Variante des Verfahrens kann z.B. die oben beschriebene Vorrichtung mit der Aktorik zum Verändern der Relativposition der Detektionsschicht mit der freiliegenden Detektionsfläche in Bezug auf den Prüfling entlang der Richtung des aus der freiliegenden Detektionsfläche austretenden Prüfstrahls verwendet werden. Ebenso kann in dieser Variante des Verfahrens die oben beschriebene Vorrichtung mit mehreren Detektionsschichten eingesetzt werden.

**[0027]** Ausführungsbeispiele der Erfindung werden nachfolgend detailliert anhand der beigefügten Figuren beschrieben.

**[0028]** Es zeigen:

**[0029]** Fig. 1 eine schematische perspektivische Darstellung einer ersten Ausführungsform der erfindungsgemäßen Vorrichtung;

**[0030]** Fig. 2 eine schematische perspektivische Darstellung einer zweiten Ausführungsform der erfindungsgemäßen Vorrichtung; und

**[0031]** Fig. 3 eine Schnittansicht im Bereich eines Lochs in einer Detektionsschicht gemäß einer dritten Ausführungsform der Erfindung.

**[0032]** Fig. 1 zeigt eine erste Ausführungsform einer erfindungsgemäßen Vorrichtung, mit der die Oberfläche eines gerichtet reflektierenden Prüflings vermessen wird. Die Vorrichtung umfasst einen Sensor **1**, an den über eine Datenleitung **D** eine Auswerteeinheit **6** in der Form einer Rechneinheit angeschlossen ist, welche die Daten des Sensors **1** geeignet verarbeitet und hieraus die Oberflächenform des mit Bezugszeichen **7** bezeichneten Prüflings berechnet.

**[0033]** Der Sensor **1** umfasst eine Lichtquelle **2**, welche z.B. als eine Laserlichtquelle ausgestaltet ist. Diese Lichtquelle sendet einen Lichtstrahl in der Form eines Prüfstrahls **P** aus, der durch gestrichelte Linien

angedeutet ist. Die Richtung des Prüfstrahls hin zu dem Prüfling **7** ist dabei durch den Pfeil P1 angezeigt, wohingegen die Richtung des am Prüfling reflektierten Prüfstrahls durch den Pfeil P2 angedeutet ist. Vor der Lichtquelle **2** befindet sich eine Detektionsschicht **3** mit einer Detektionsfläche **4** auf der Unterseite. Die Detektionsfläche ist eine plane Fläche, die in der Detektionsebene DE liegt. Die Detektionsschicht dient zur orts aufgelösten Erfassung des am Prüfling reflektierten Prüfstrahls. D.h., die Auftreffposition des Prüfstrahls auf der Detektionsschicht bzw. Detektionsfläche wird bestimmt. Die Detektionsschicht kann dabei als CMOS-Sensor, als CCD-Sensor oder auch auf andere Weise, z.B. als PSD-Sensor (PSD = Position Sensitive Device), ausgestaltet sein. All diese Sensorarten sind an sich aus dem Stand der Technik bekannt. PSD-Sensoren verwenden zur orts aufgelösten Detektion z.B. Photodioden bzw. Vier-Quadranten-Photodioden. In einer bevorzugten Ausführungsform wird die Intensitätsverteilung des auf die Detektionsfläche **4** auftreffenden Prüfstrahls ermittelt. Anschließend wird der Schwerpunkt der Intensitätsverteilung berechnet, der dann mit der Auftreffposition des Prüfstrahls auf der Detektionsfläche **4** gleichgesetzt wird. Die Berechnungen können dabei durch eine Logik im Sensor selbst bzw. gegebenenfalls auch durch die Auswerteeinheit **6** durchgeführt werden.

**[0034]** In dem Szenario der Fig. 1 trifft der Prüfstrahl an der Position AP auf die Detektionsfläche auf. Diese Auftreffposition wird in dem lokalen kartesischen Koordinatensystem  $K_D$  der Detektionsschicht gemessen. Die z-Koordinate der Auftreffposition ist dabei konstant, da die Detektionsfläche in eine Ebene mit fester z-Position ( $z = 0$ ) angeordnet ist. Man erhält somit eine zweidimensionale Auftreffposition, die in Fig. 2 mit  $(x_2, y_2)$  bezeichnet ist. Diese Auftreffposition korrespondiert mit einer entsprechenden Reflexionsposition RP des Prüfstrahls am Prüfling **7**. Der Prüfling befindet sich dabei in einer vorgegebenen Referenzebene RE, welche parallel zur Detektionsebene DE ist und deren Abstand  $z_A$  zur Detektionsebene bekannt ist. Durch die Referenzebene ist ein kartesisches Koordinatensystem  $K_R$  definiert, und die Reflexionsposition RP weist in diesem Koordinatensystem die Koordinaten  $(x_1, y_1, z_1)$  auf. Die Koordinatenwerte  $x_1$  und  $y_1$  sind dabei bekannt. Ziel der Messung gemäß Fig. 1 ist es nunmehr, den Gradienten der Oberfläche des Prüflings **7** und hierüber die Form der Oberfläche und damit die Koordinate  $z_1$  an jeweiligen Reflexionspositionen RP zu bestimmen.

**[0035]** Wie aus Fig. 1 ersichtlich ist, befindet sich in der Detektionsschicht **3** eine Apertur bzw. ein Loch **5**, über das der Prüfstrahl P durch die Detektionsfläche **4** hindurchtritt. Ferner ist die Detektionsfläche **4** freiliegend in dem Sinne, dass sich keine weiteren Bauteile und insbesondere keine optischen Bauteile des Sensors vor der Detektionsfläche befinden, so dass der Prüfstrahl direkt auf den Prüfling gerichtet werden

kann. Durch diese freiliegende Detektionsfläche sowie den Austritt des Prüfstrahls aus der Detektionsfläche über das Loch **5** können besondere Vorteile erreicht werden. Insbesondere kann die Detektionsfläche sehr nah an den Prüfling positioniert werden, so dass ein großer Fangbereich des Sensors für die reflektierten Prüfstrahlen erreicht wird. Mit anderen Worten können über die Detektionsfläche Prüfstrahlen erfasst werden, welche um einen großen Winkel abgelenkt werden. Somit sind mit dem Sensor auch Freiformflächen bzw. stark gekrümmte Oberflächen messbar.

**[0036]** In der Vorrichtung der Fig. 1 kann die Relativposition der Detektionsfläche **4** entlang der Detektionsebene DE in Bezug auf den Prüfling **7** verändert werden. Ferner kann die Relativposition der Detektionsfläche **3** in Richtung senkrecht zu der Detektionsebene DE in Bezug auf den Prüfling **7** verändert werden. Im Rahmen der Messung wird durch Verändern der Relativposition der Detektionsfläche **4** entlang der Detektionsebene DE die Oberfläche des Prüflings **7** abgerastert, d.h. es werden reflektierte Prüfstrahlen für eine Vielzahl von unterschiedlichen Reflexionspositionen auf der Oberfläche des Prüflings erfasst. Für eine jeweilige Reflexionsposition wird die Auftreffposition des Prüfstrahls auf der Detektionsfläche für zwei unterschiedliche Relativpositionen der Detektionsfläche senkrecht zur Detektionsebene in Bezug auf den Prüfling ermittelt. In an sich bekannter Weise ergibt sich aus den beiden Auftreffpositionen dann der Strahlverlauf des Prüfstrahls, d.h. die Richtung des Prüfstrahls in Bezug auf die Detektionsebene DE bzw. die dazu parallele Referenzebene RE. Dieser Strahlverlauf korreliert wiederum in an sich bekannter Weise mit dem Gradienten der Oberfläche. Mittels der Gradienten der Oberfläche für eine Vielzahl von Reflexionspositionen kann dann mit bekannten Rechenmethoden über zonale oder modale Integration die Oberfläche des Prüflings rekonstruiert werden. Insbesondere können hierzu die bereits in der Druckschrift DE 10 2007 003 681 A1 erwähnten Methoden (z.B. Zernicke-Polynome) eingesetzt werden.

**[0037]** Die Vorrichtung gemäß Fig. 1 umfasst eine (nicht gezeigte) Aktorik, um die Relativposition der Detektionsfläche **4** in Bezug auf den Prüfling **7** sowohl entlang der Detektionsebene DE als auch senkrecht dazu zu verändern. Je nach Ausgestaltung kann dabei nur die Detektionsschicht **3** oder auch nur der Prüfling **7** bzw. ggf. auch sowohl die Detektionsschicht **3** als auch der Prüfling **7** bewegt werden. Vorzugsweise ist dabei in der Auswerteeinheit **6** ein Messprogramm hinterlegt, welches automatisiert nach einem vorbestimmten Schema die Oberfläche des Prüflings abrastert und für jede Reflexionsposition durch Messung in zwei versetzten Detektionsebenen die Strahlrichtung des Prüfstrahls ermittelt. Als Endergebnis wird schließlich die rekonstruierte Form der Oberfläche des Prüflings ausgegeben, z.B. über

eine entsprechende Benutzerschnittstelle. Insbesondere kann der Prüfling dabei als dreidimensionales Objekt wiedergegeben werden.

**[0038]** Das Abrastern des Prüflings sowie die Detektion des Prüfstrahls in zwei versetzten Detektionsebenen können in verschiedener Reihenfolge ablaufen. Vorzugsweise wird zuerst für eine feste Position der Detektionsebene der Prüfstrahl an eine Vielzahl von unterschiedlichen Reflexionspositionen bewegt und die Auftreffposition erfasst. Anschließend wird die Detektionsebene verschoben und nochmals in gleicher Weise die Auftreffposition des Prüfstrahls für die gleichen Reflexionspositionen bestimmt.

**[0039]** In einer Abwandlung der in **Fig. 1** gezeigten Ausführungsform wird die Oberfläche des Prüflings ermittelt, ohne dass die Detektionsfläche **4** versetzt wird. Mit anderen Worten wird nur aus einer einzigen ermittelten Auftreffposition der Verlauf eines jeweiligen Prüfstrahls bestimmt. Um dies zu ermöglichen, läuft in der Auswerteeinheit **6** ein Programm ab, das an einer Reflexionsposition des Prüfstrahls startet, für welche auch die z-Position  $z_1$  bekannt ist. Mit dieser bekannten Reflexionsposition und der einzelnen ermittelten Auftreffposition kann wiederum der Strahlverlauf ermittelt werden. Anschließend wird zu einer benachbarten Reflexionsposition verfahren. Für diese neue Reflexionsposition wird dann mittels des an der vorhergehenden Reflexionsposition ermittelten Gradienten der Oberfläche die z-Position  $z_1$  berechnet. Mit dieser berechneten z-Position sowie der neu bestimmten Auftreffposition auf der Detektionsfläche **4** kann dann wieder eine neue Strahlrichtung bestimmt werden. In gleicher Weise wird für die nachfolgend eingenommenen Reflexionspositionen verfahren, wobei bei jeder neuen Reflexionsposition deren z-Position über den Gradienten der Oberfläche bestimmt wird.

**[0040]** **Fig. 2** zeigt eine Abwandlung der Ausführungsform der **Fig. 1**. Dabei werden gleiche bzw. einander entsprechende Bauteile mit den gleichen Bezugszeichen bezeichnet. Aus Übersichtlichkeitsgründen sind die Koordinatensysteme  $Z_R$ ,  $Z_D$ , die Detektionsebene DE sowie die Auswerteeinheit **6** weggelassen. Nichtsdestotrotz ist der Sensor der **Fig. 2** auch an eine entsprechende Auswerteeinheit angeschlossen. Im Unterschied zur Ausführungsform der **Fig. 1** umfasst der Sensor neben der Detektionsschicht **3** mit der freiliegenden Detektionsfläche **4** eine weitere Detektionsschicht **3'** mit entsprechender Detektionsfläche **4'** und einer Loch **5'** zum Durchtritt des Prüfstrahls. Die Detektionsschicht **3'** erfasst in analoger Weise wie die Detektionsschicht **3** die Auftreffposition des Prüfstrahls. Beispielhaft ist eine solche Auftreffposition in **Fig. 2** mit AP' bezeichnet. In dem Sensor der **Fig. 2** ist die Detektionsschicht **3** teildurchlässig ausgestaltet, d.h. sie ist durchlässig für einen auf deren Unterseite auftreffenden Prüfstrahl. Solche

Arten von Detektionsschichten sind aus dem Stand der Technik bekannt. Aufgrund dieser Teildurchlässigkeit durchdringt der reflektierte Prüfstrahl die Detektionsschicht **3**, so dass neben seiner Auftreffposition AP auf der Detektionsschicht **3** auch seine Auftreffposition AP' auf der Detektionsschicht **3'** ermittelt werden kann. Die Ausführungsform der **Fig. 2** hat den Vorteil, dass bei jeder Messung für eine bestimmte Reflexionsposition des Prüfstrahls direkt zwei Auftreffpositionen AP und AP' bestimmt werden. Mittels des bekannten Abstands der Detektionsschichten **3** und **3'** kann dann ohne Verschiebung einer Detektionsschicht der Strahlverlauf des Prüfstrahls bestimmt werden. Es muss somit die Oberfläche des Prüfstrahls nur für eine einzige z-Position des Sensors abgerastert werden. In gleicher Weise wie in **Fig. 1** wird nach Durchführung des Messvorgangs wiederum die Form der Oberfläche des Prüflings **7** erhalten.

**[0041]** Die Ausführungsform der **Fig. 2** kann dahingehend erweitert werden, dass noch weitere Detektionsschichten oberhalb der Detektionsschicht **3'** vorgesehen werden. In diesem Fall ist auch die Detektionsschicht **3'** und ggf. weitere Detektionsschichten analog zur Schicht **3** teildurchlässig ausgestaltet. Alle weiteren Detektionsschichten umfassen wiederum ein Loch, über das der Prüfstrahl der Lichtquelle **2** durch die Detektionsschicht hindurchtritt. Mit dieser abgewandelten Ausführungsform können für eine Reflexionsposition des Prüfstrahls mehr als zwei Auftreffpositionen bestimmt werden, so dass der Strahlverlauf des Prüfstrahls mit größerer Genauigkeit ermittelt werden kann. Eine höhere Genauigkeit der Bestimmung des Strahlverlaufs kann gegebenenfalls auch in der oben beschriebenen Ausführungsform der **Fig. 1** dadurch erreicht werden, dass die Auftreffposition des Prüfstrahls in mehr als zwei zueinander versetzten Detektionsebenen bestimmt wird.

**[0042]** **Fig. 3** zeigt eine geschnittene Detailansicht einer Detektionsschicht **3** mit freiliegender Detektionsfläche **4** sowie entsprechendem Loch **5** in einer abgewandelten Ausführungsform eines erfindungsgemäßen Sensors. Gemäß **Fig. 3** ist die Stahlquelle **2** zur Generierung des Prüfstrahls nunmehr nicht entfernt von der Detektionsschicht **3**, sondern innerhalb des Lochs **5** der Detektionsschicht angeordnet. Die Strahlquelle ist dabei als sehr kompakte VCSEL-Laserdiode ausgebildet (VCSEL = Vertical-Cavity Surface-Emitting Laser). Die elektrische Kontaktierung der Laserdiode erfolgt über schematisch angedeutete Drähte **9**. Da die Laserdiode **2** einen Strahl mit einer relativ hohen Divergenz erzeugt, ist direkt an der Austrittsöffnung der Detektionsfläche **4** eine Auskopelloptik **8** vorgesehen. Hierdurch werden die erforderlichen Strahleigenschaften des Prüfstrahls P hinter dem Sensor gewährleistet. In **Fig. 3** weist der Prüfstrahl eine taillierte Form auf. Vorzugweise wird der Prüfling dabei am Ort des niedrigsten Querschnitts (d.h. in der Fokusebene des Prüfstrahls) positioniert.

**[0043]** Die im Vorangegangenen beschriebenen Ausführungsformen der Erfindung weisen eine Reihe von Vorteilen auf. Insbesondere können auf einfache Weise die Eigenschaften eines gerichtet reflektierenden Prüflings über die Bestimmung des Strahlverlaufs von reflektierten Prüfstrahlen ermittelt werden. Dabei kann der zur Messung verwendete Sensor aufgrund seiner freiliegenden Detektionsfläche und des daraus austretenden Prüfstrahls sehr nahe an dem Prüfling positioniert werden. Auf diese Weise wird ein großer Fangbereich des Sensors für reflektierte Prüfstrahlen erreicht, so dass auch stark gekrümmte Oberflächen und großformatige Freiformflächen vermessen werden können.

**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 29512741 U1 [0004]
- DE 10151332 B4 [0005]
- DE 102007003681 A1 [0006, 0013, 0036]

## Patentansprüche

1. Vorrichtung zur optischen Analyse eines reflektierenden Prüflings (7), umfassend:

- einen Sensor (1) mit einer Strahlquelle (2) zur Generierung eines Prüfstrahls (P), der im Betrieb der Vorrichtung auf den Prüfling (7) gerichtet und an diesem reflektiert wird, und einer Detektionsschicht (3) zur orts aufgelösten Detektion des reflektierten Prüfstrahls (P), wobei die Detektionsschicht (3) auf einer Seite eine Detektionsfläche (4) aufweist, auf welche der Prüfstrahl auftrifft;

- eine Auswerteeinheit (6) zur Bestimmung des Strahlverlaufs des reflektierten Prüfstrahls (P) unter Verwendung der orts aufgelösten Detektion des reflektierten Prüfstrahls (P);

**dadurch gekennzeichnet**, dass

der Sensor (1) derart ausgestaltet ist, dass die Detektionsfläche (4) eine freiliegende Fläche des Sensors (1) ist und der Prüfstrahl (P) an der freiliegenden Detektionsfläche (4) aus dem Sensor (1) austritt.

2. Vorrichtung nach Anspruch 1, **dadurch gekennzeichnet**, dass die Auswerteeinheit (6) dazu eingerichtet ist, Eigenschaften des Prüflings (7) und insbesondere die Form der Oberfläche des Prüflings (7) basierend auf den Strahlverläufen von mehreren Prüfstrahlen (P) zu ermitteln, die an verschiedenen Positionen (RP) an der Oberfläche des Prüflings (7) reflektiert werden.

3. Vorrichtung nach Anspruch 1 oder 2, **dadurch gekennzeichnet**, dass in der Detektionsschicht (3) mit der freiliegenden Detektionsfläche (4) ein Loch (5) vorgesehen ist, über welches der Prüfstrahl (P) an der freiliegenden Detektionsfläche (4) aus dem Sensor (1) austritt.

4. Vorrichtung nach Anspruch 3, **dadurch gekennzeichnet**, dass in dem Loch (5) eine Optik (8) zur Formung des Prüfstrahls (P) vorgesehen ist.

5. Vorrichtung nach Anspruch 3 oder 4, **dadurch gekennzeichnet**, dass die Strahlquelle (2) auf einer von dem reflektierenden Prüfling (7) abgewandten Seite der Detektionsschicht (3) mit der freiliegenden Detektionsfläche (4) angeordnet ist und der Prüfstrahl (P) durch das Loch (5) hindurchtritt.

6. Vorrichtung nach Anspruch 5, **dadurch gekennzeichnet**, dass der Prüfstrahl (P) als Freistrahle oder mittels eines Lichtwellenleiters zu dem Loch (5) geführt wird.

7. Vorrichtung nach einem der Ansprüche 1 bis 3, **dadurch gekennzeichnet**, dass die Strahlquelle (2) zur Generierung des Prüfstrahls (P) in der Detektionsschicht (3) mit der freiliegenden Detektionsfläche (4) eingesetzt ist oder auf der freiliegenden Detektionsfläche (4) befestigt ist.

8. Vorrichtung nach einem der vorhergehenden Ansprüche, **dadurch gekennzeichnet**, dass der Sensor (1) derart ausgestaltet ist, dass der Prüfstrahl (P) an einer im Wesentlichen mittig in der freiliegenden Detektionsfläche (4) angeordneten Austrittsposition aus dem Sensor (1) austritt und/oder dass der Prüfstrahl (P) senkrecht zur freiliegenden Detektionsfläche (4) an dieser austritt.

9. Vorrichtung nach einem der vorhergehenden Ansprüche, **dadurch gekennzeichnet**, dass die Vorrichtung eine Aktorik zum Verändern der Relativposition der Detektionsschicht (3) mit der freiliegenden Detektionsfläche (4) in Bezug auf den Prüfling (7) entlang der Richtung des an der freiliegenden Detektionsfläche (4) austretenden Prüfstrahls (P) umfasst, um den Prüfstrahl (P) in zumindest zwei Relativpositionen durch die freiliegende Detektionsfläche (4) zu detektieren, wobei die Auswerteeinheit (6) dazu eingerichtet ist, den Strahlverlauf des Prüfstrahls (P) basierend auf der orts aufgelösten Detektion des Prüfstrahls über die Detektionsschicht (3) mit der freiliegenden Detektionsfläche (4) in den zumindest zwei Relativpositionen zu bestimmen.

10. Vorrichtung nach einem der vorhergehenden Ansprüche, **dadurch gekennzeichnet**, dass die Vorrichtung eine Aktorik zum Verändern der Relativposition der Detektionsschicht (3) mit der freiliegenden Detektionsfläche (4) in Bezug auf den Prüfling (7) in eine oder mehrere Richtungen umfasst, welche die Reflexionsposition (RP) des Prüfstrahls (P) am Prüfling verändern.

11. Vorrichtung nach einem der vorhergehenden Ansprüche, **dadurch gekennzeichnet**, dass der Sensor (1) eine oder mehrere weitere Detektionsschichten (3') mit einer jeweiligen Detektionsfläche (4') zur orts aufgelösten Detektion des reflektierten Prüfstrahls (P) umfasst, wobei die weitere oder die weiteren Detektionsschichten (4') in Richtung entgegengesetzt zur Strahlrichtung (P1) des aus dem Sensor (1) austretenden Prüfstrahls (P) versetzt und parallel zu der Detektionsschicht (3) mit der freiliegenden Detektionsfläche (4) angeordnet sind, wobei die Detektionsschicht (3) mit der freiliegenden Detektionsfläche (4) transparent für den am Prüfling (7) reflektierten Prüfstrahl (P) ist und wobei die Auswerteeinheit (6) dazu eingerichtet ist, den Strahlverlauf des Prüfstrahls (P) basierend auf der orts aufgelösten Detektion des Prüfstrahls (P) über die Detektionsschicht (3) mit der freiliegenden Detektionsfläche (4) und über die weitere oder die weiteren Detektionsschichten (3') zu bestimmen.

12. Vorrichtung nach Anspruch 11, **dadurch gekennzeichnet**, dass die weitere oder die weiteren Detektionsschichten (3') jeweils ein Loch (5') zum Durchtritt des Prüfstrahls (P) aufweisen, wobei dieses Loch (5') oder diese Löcher (5') vorzugsweise fluch-

tend entlang der Richtung des durch das oder die Löcher (5') hindurchtretenden Prüfstrahls (P) mit einem Loch (5) zum Austritt des Prüfstrahls (P) an der freiliegenden Detektionsfläche (4) angeordnet sind.

13. Vorrichtung nach einem der vorhergehenden Ansprüche, **dadurch gekennzeichnet**, dass die Detektionsschicht (4) und/oder die weitere oder die weiteren Detektionsschichten (3') einen CCD-Sensor und/oder einen CMOS-Sensor und/oder einen PSD-Sensor umfassen.

14. Verfahren zur Analyse eines reflektierenden Prüflings (7) mit einer Vorrichtung nach einem der vorhergehenden Ansprüche, **dadurch gekennzeichnet**, dass der Prüfstrahl (P) nach Austritt an der freiliegenden Detektionsfläche (4) direkt auf den Prüfling (7) gerichtet wird und der an dem Prüfling (7) reflektierte Prüfstrahl (P) direkt mittels der freiliegenden Detektionsfläche (4) orts aufgelöst detektiert wird, wobei über die Detektionsschicht (3) mit der Auswerteeinheit (6) unter Verwendung der orts aufgelösten Detektion des reflektierten Prüfstrahls (P) der Strahlverlauf des reflektierten Prüfstrahls (P) bestimmt wird.

15. Verfahren nach Anspruch 14, **dadurch gekennzeichnet**, dass mittels der Auswerteeinheit (6) Eigenschaften des Prüflings (7) und insbesondere die Form der Oberfläche des Prüflings (7) basierend auf den Strahlverläufen von mehreren Prüfstrahlen (P) ermittelt werden, die an verschiedenen Positionen (RP) an der Oberfläche reflektiert werden.

16. Verfahren nach Anspruch 14 oder 15, **dadurch gekennzeichnet**, dass der Prüfstrahl (P) zur Bestimmung seines Strahlverlaufs in zumindest zwei Relativpositionen orts aufgelöst detektiert wird, wobei die zumindest zwei Relativpositionen von der Detektionsschicht (3) mit der freiliegenden Detektionsfläche (4) oder von der Detektionsschicht (3) mit der freiliegenden Detektionsfläche (4) und einer oder mehreren weiteren Detektionsschichten (4') in Bezug auf den Prüfling (7) entlang der Richtung des an der freiliegenden Detektionsfläche (4) austretenden Prüfstrahls (P) eingenommen werden.

Es folgen 3 Seiten Zeichnungen

Anhängende Zeichnungen

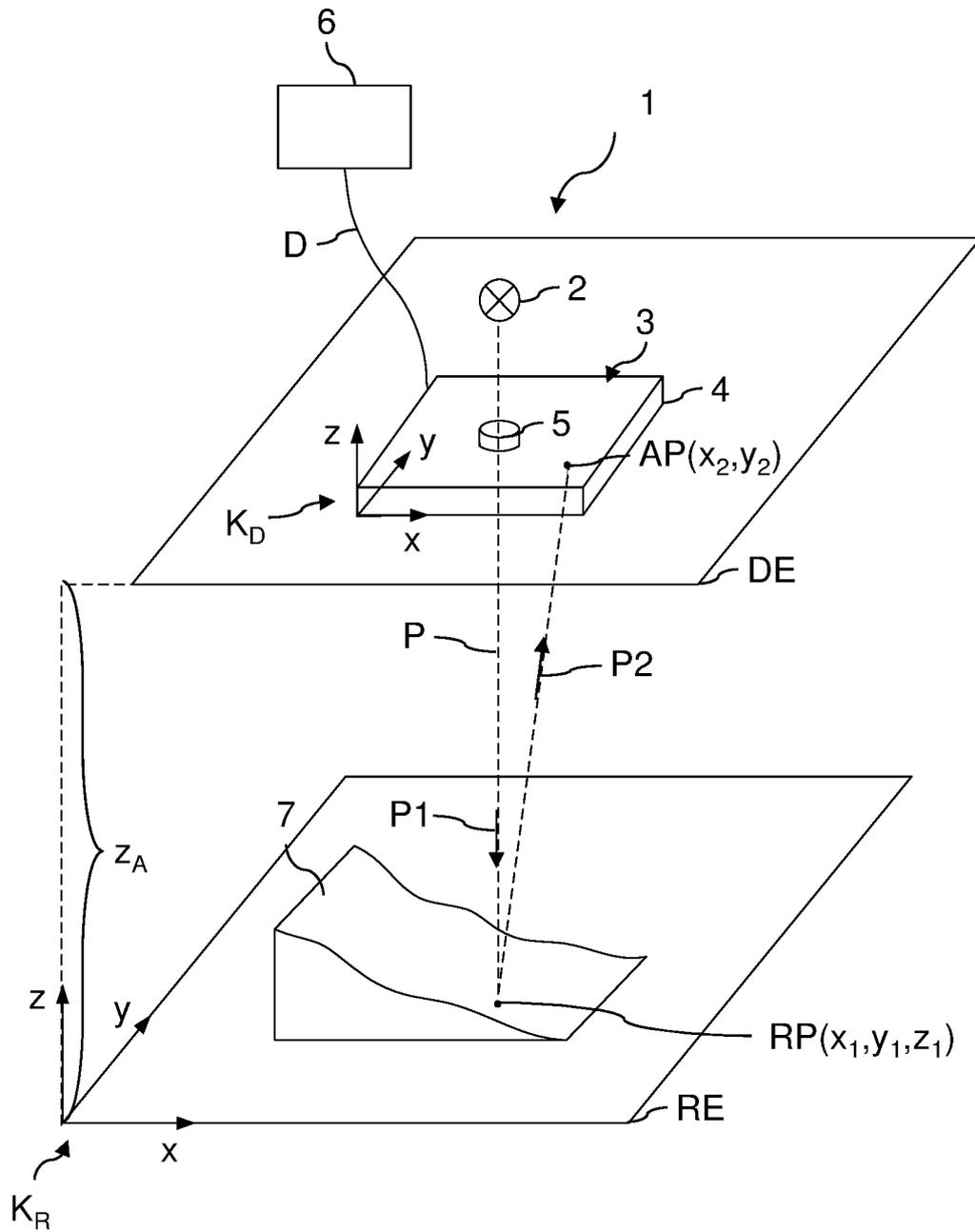


Fig. 1

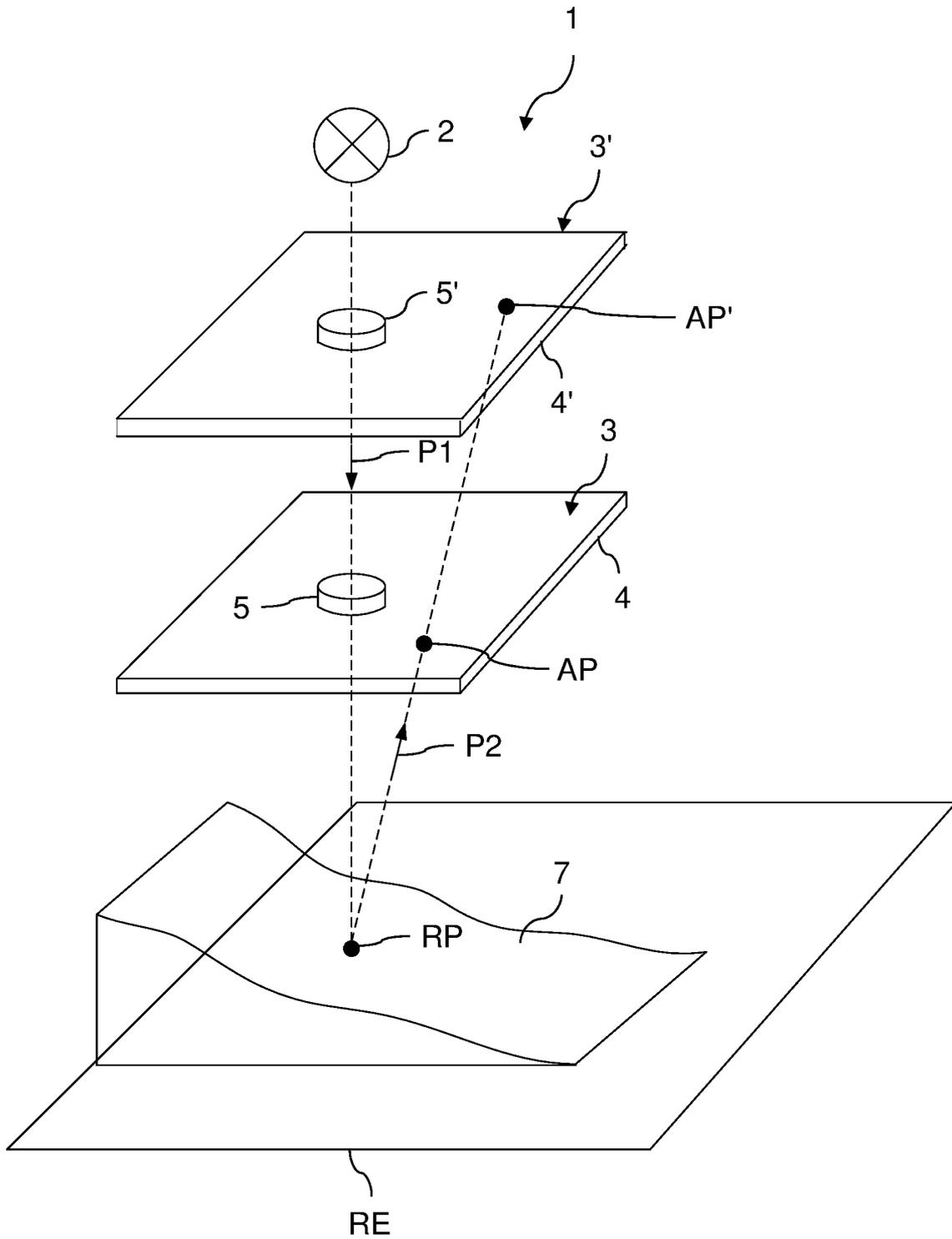


Fig. 2

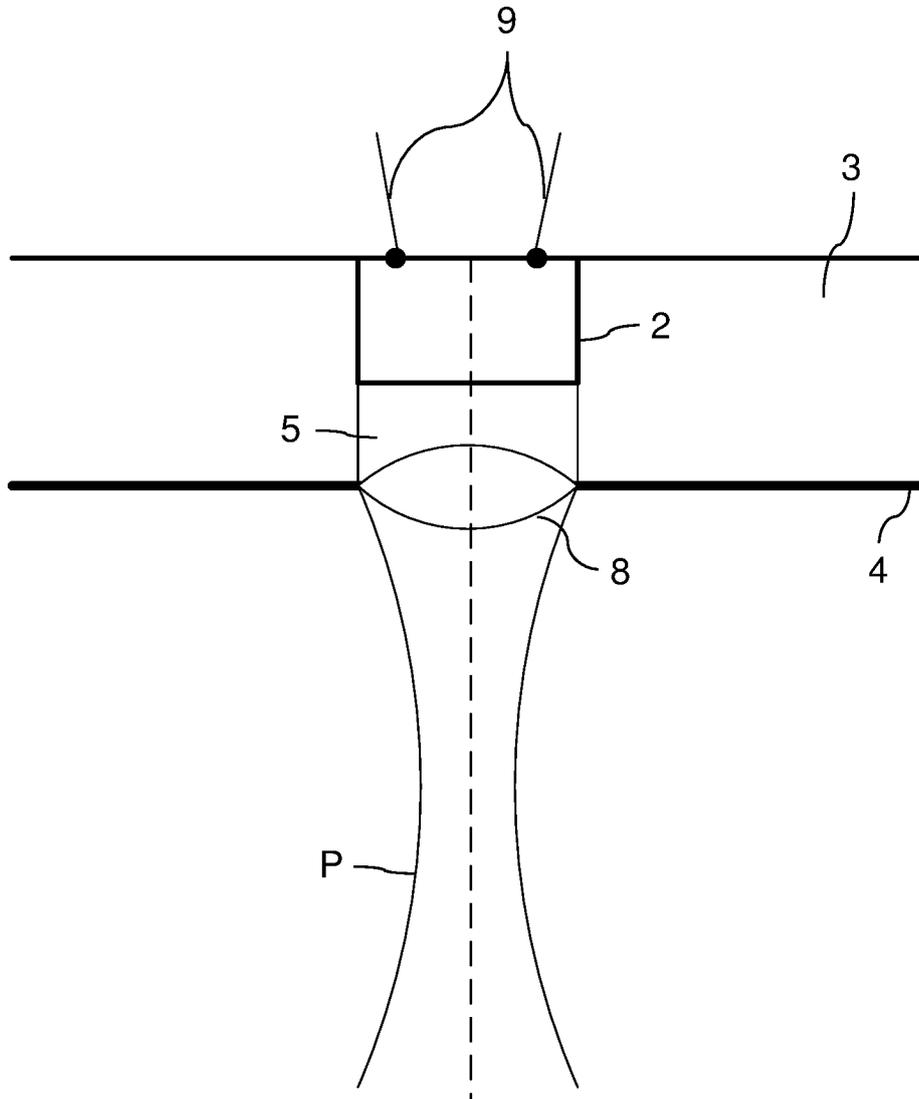


Fig. 3