



(12) **Patentschrift**

(21) Aktenzeichen: **10 2020 201 976.2**
 (22) Anmeldetag: **18.02.2020**
 (43) Offenlegungstag: **19.08.2021**
 (45) Veröffentlichungstag
 der Patenterteilung: **28.04.2022**

(51) Int Cl.: **G01B 11/24 (2006.01)**
G01M 11/02 (2006.01)

Innerhalb von neun Monaten nach Veröffentlichung der Patenterteilung kann nach § 59 Patentgesetz gegen das Patent Einspruch erhoben werden. Der Einspruch ist schriftlich zu erklären und zu begründen. Innerhalb der Einspruchsfrist ist eine Einspruchsgebühr in Höhe von 200 Euro zu entrichten (§ 6 Patentkostengesetz in Verbindung mit der Anlage zu § 2 Abs. 1 Patentkostengesetz).

(73) Patentinhaber:
**Hochschule Bremen Körperschaft des
 öffentlichen Rechts, 28199 Bremen, DE**

(74) Vertreter:
**Fink Numrich Patentanwälte PartmbB, 80634
 München, DE**

(72) Erfinder:
**Fleischmann, Friedrich, 27751 Delmenhorst, DE;
 Henning, Thomas, 28201 Bremen, DE**

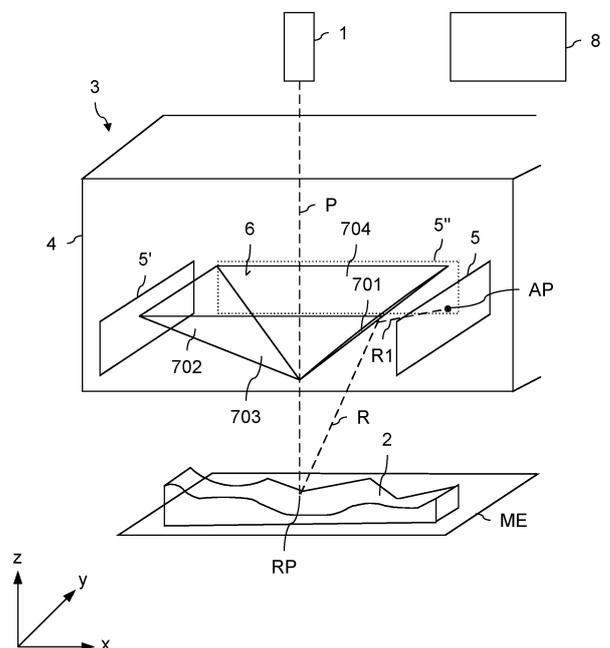
(56) Ermittelter Stand der Technik:

DE	10 2007 003 681	A1
DE	10 2013 219 436	A1
DE	10 2013 219 440	A1
DE	10 2016 209 090	A1
US	3 977 789	A

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

(57) Hauptanspruch: Vorrichtung zur optischen Analyse eines reflektierenden Prüflings (2), umfassend:

- eine Strahlquelle (1) zur Generierung eines Prüfstrahls (P), der im Betrieb der Vorrichtung auf den Prüfling (2) gerichtet wird, der den Prüfstrahl (P) an einem Reflexionspunkt (RP) reflektiert, wodurch ein reflektierter Prüfstrahl (R, R') erzeugt wird, der je nach Oberflächenstruktur des Prüflings (2) am Reflexionspunkt (RP) in unterschiedliche Richtungen zeigt;
- eine Detektionseinrichtung (3) mit einer oder mehreren Detektionsflächen (5, 5', 5''), um auf der oder den Detektionsflächen (5, 5', 5'') mehrere Strahl auftreffpositionen (AP, AP') von Strahlung des reflektierten Prüfstrahls (R, R') zu detektieren, wobei sich die optischen Weglängen der Strahlung des reflektierten Prüfstrahls (R, R') vom Reflexionspunkt (RP) bis zur entsprechenden Strahlauftreffposition (AP, AP') zwischen den mehreren Strahlauftreffpositionen (AP, AP') unterscheiden;
- eine Auswerteeinheit (8) zur Bestimmung des Strahlverlaufs des reflektierten Prüfstrahls (R, R') am Reflexionspunkt (RP) unter Verwendung der detektierten Strahlauftreffpositionen (AP, AP'); **dadurch gekennzeichnet**, dass die Detektionseinrichtung (3) mehrere ebene und zumindest teilreflektierende Reflexionsflächen (701, 702, 703, 704) umfasst, welche zumindest zum Teil geneigt zueinander angeordnet sind und dazu vorgesehen sind, jeweilige reflektierte Prüfstrahlen (R, R') erstmalig entlang ihrer Propagation zu den mehreren Strahlauftreffpositionen ...



Beschreibung

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

[0003] Die Druckschrift DE 10 2013 219 440 A1 offenbart eine Vorrichtung zur optischen Analyse eines Prüflings mit einer Strahlquelle zur Generierung eines Prüfstrahls sowie einem Strahlteiler zum Aufteilen des Prüfstrahls nach Passieren des zu analysierenden Prüflings in mehrere Teilstrahlen. Mittels eines Detektors wird die Auftreffposition der Teilstrahlen auf eine Detektionsfläche erfasst. Durch die Verwendung eines Strahlteilers, mit dem verschiedene optische Weglängen der Teilstrahlen zwischen Prüfling und der Detektionsfläche erreicht werden, kann der Strahlverlauf des Prüfstrahls in lediglich einer Detektionsebene bestimmt werden. Nachteilig an dieser Vorrichtung ist, dass die Auftreffpositionen der erzeugten Teilstrahlen weit auseinander liegen, so dass durch den Prüfling verursachte größere Ablenkungen der Teilstrahlen mit herkömmlichen Detektoren mangels ausreichend großer Detektionsfläche nicht erfasst werden können. Darüber hinaus ist der verwendete Strahlteiler in der Form mehrerer angrenzender Prismen komplex aufgebaut und weist große Abmessungen auf.

[0004] In dem Dokument DE 10 2016 209 090 A1, das eine Weiterentwicklung der Vorrichtung aus der Druckschrift DE 10 2013 219 440 A1 beschreibt, ist ein Strahlteiler zum Aufteilen eines Prüfstrahls in mehrere Teilstrahlen offenbart, welcher derart ausgestaltet ist, dass alle Teilstrahlen über die gleiche strahlteilende Fläche den Strahlteiler verlassen und anschließend auf einer entsprechenden Detektionsfläche detektiert werden. Mit dieser Vorrichtung kann der Akzeptanzwinkel, in dem Ablenkungen von Prüfstrahlen detektiert werden können, vergrößert werden. Darüber hinaus kann eine kleinere Bauform erreicht werden.

[0005] Das Dokument DE 10 2013 219 436 A1 offenbart eine Vorrichtung zur optischen Analyse eines reflektierenden Prüflings gemäß dem Oberbegriff des Anspruchs 1. Die Vorrichtung umfasst einen Sensor mit einer Detektionsschicht zur orts aufgelösten Detektion eines am Prüfling reflektierten Prüfstrahls, wobei die Detektionsschicht auf einer Seite eine Detektionsfläche aufweist, auf welche der Prüfstrahl auftrifft. Die Detektionsfläche ist eine freiliegende Fläche und der Prüfstrahl tritt an der freiliegenden Detektionsfläche aus dem Sensor aus. Diese Vorrichtung hat den Nachteil, dass es zu Unterbrechungen in der Detektionsschicht zum Austritt des Prüfstrahls hin zum Prüfling kommt. Solche Detektionsschichten sind nur mit großem Aufwand zu realisieren.

[0006] Die Druckschrift US 3 977 789 A offenbart eine Vorrichtung zur optischen Analyse eines reflektierenden Prüflings mittels einer Detektionseinrichtung, die mehrere Detektionsflächen sowie mehrere ebene und zumindest teilreflektierende Reflexionsflächen besitzt. Die Reflexionsflächen dienen dazu, sowohl jeweilige am Prüfling reflektierte Prüfstrahlen als auch reflektierte Referenzstrahlen entlang ihrer Propagation abzulenken.

[0007] Aufgabe der Erfindung ist es, eine Vorrichtung und ein Verfahren zur optischen Analyse eines reflektierenden Prüflings zu schaffen, die mittels eines neuartigen Aufbaus die Detektion von am Prüfling abgelenkten Prüfstrahlen ermöglichen.

[0008] Diese Aufgabe wird durch die Vorrichtung gemäß Patentanspruch 1 bzw. das Verfahren gemäß Patentanspruch 15 gelöst. Weiterbildungen der Erfindung sind in den abhängigen Ansprüchen definiert.

[0009] Die erfindungsgemäße Vorrichtung dient zur optischen Analyse eines reflektierenden Prüflings. Die Vorrichtung umfasst eine Strahlquelle zur Generierung eines Prüfstrahls, der im Betrieb der Vorrichtung auf den Prüfling gerichtet wird, der den Prüfstrahl an einem Reflexionspunkt reflektiert. Auf diese Weise wird ein reflektierter Prüfstrahl erzeugt, der je nach Oberflächenstruktur des Prüflings am Reflexionspunkt in unterschiedliche Richtungen zeigt.

[0010] Die Vorrichtung beinhaltet ferner eine Detektionseinrichtung mit einer oder mehreren Detektionsflächen, um auf der oder den Detektionsflächen mehrere Strahlauftreffpositionen von Strahlung des reflektierten Prüfstrahls zu detektieren, wobei sich die optischen Weglängen der Strahlung des reflektierten Prüfstrahls vom Reflexionspunkt bis zur entsprechenden Strahlauftreffposition zwischen den mehreren Strahlauftreffpositionen unterscheiden. Darüber hinaus ist eine Auswerteeinheit vorgesehen,

um den Strahlverlauf des reflektierten Prüfstrahls am Reflexionspunkt, d.h. unmittelbar nach seiner Reflexion am Reflexionspunkt, unter Verwendung der detektierten Strahl auftreffpositionen zu bestimmen.

[0011] Die Detektionseinrichtung der erfindungsgemäßen Vorrichtung umfasst mehrere ebene (d.h. plane) und zumindest teilreflektierende (d.h. voll- oder teilreflektierende) Reflexionsflächen, welche zumindest zum Teil geneigt zueinander angeordnet sind, d.h. zumindest eine Reflexionsfläche ist geneigt gegenüber wenigstens einer anderen Reflexionsfläche angeordnet. Vorzugsweise ist jede Reflexionsfläche gegenüber allen anderen Reflexionsflächen geneigt. Die Anordnung der Reflexionsflächen ist derart ausgestaltet, dass jeweilige reflektierte Prüfstrahlen erstmalig entlang ihrer Propagation zu den mehreren Strahlauftreffpositionen durch Reflexion an den Reflexionsflächen abgelenkt werden, wobei jede Reflexionsfläche (ausschließlich) jeweilige reflektierte Prüfstrahlen ablenkt, die am Reflexionspunkt in andere Richtungen zeigen als jeweilige reflektierte Prüfstrahlen (d.h. alle reflektierten Prüfstrahlen), welche alle anderen Reflexionsflächen ablenken.

[0012] Unter einer erstmaligen Reflexion eines jeweiligen reflektierten Prüfstrahls entlang seiner Propagation zu den mehreren Strahlauftreffpositionen ist hier und im Folgenden eine Reflexion zu verstehen, welche einen reflektierten Strahl erzeugt, der hin zu den mehreren Strahlauftreffpositionen propagiert. Ist dies nicht der Fall, d.h. bewegt sich der reflektierte Strahl nicht hin zu den entsprechenden Strahlauftreffpositionen, ist dies keine erstmalige Reflexion. In einer besonders bevorzugten Ausführungsform ist die erstmalige Reflexion auch die erstmalige Ablenkung des Prüfstrahls nach seiner Reflexion am Reflexionspunkt des Prüflings. Nichtsdestotrotz ist es gegebenenfalls auch möglich, dass der Prüfstrahl zuvor auf andere Weise als durch Reflexion entlang seiner Propagation zu den mehreren Strahlauftreffpositionen abgelenkt wurde.

[0013] Mit der erfindungsgemäßen Vorrichtung werden Reflexionsflächen geschaffen, die für disjunkte Raumwinkelbereiche von daraus stammenden (reflektierten) Prüfstrahlen vorgesehen sind und welche Prüfstrahlen zumindest zum Teil in unterschiedliche Richtungen ablenken. Auf diese Weise kann die Detektion von Prüfstrahlen auf einer oder mehreren Detektionsflächen erreicht werden, ohne dass die Detektionsflächen für einen Strahlaustritt des Prüfstrahls unterbrochen werden müssen.

[0014] In einer besonders bevorzugten Ausführungsform ist der Prüfstrahl an einer Position entlang des Prüfstrahls vor dessen Reflexion am Prüfling durch zumindest einige der Reflexionsflächen eingeschlossen. Hierdurch kann eine Vorrichtung mit

besonders kompakten Abmessungen erreicht werden.

[0015] In einer weiteren bevorzugten Ausführungsform sind zumindest einige der Reflexionsflächen die Flächen eines Polyeders. Die Flächen können beispielsweise geeignet beschichtet sein, um eine Reflexion zu ermöglichen. In einer Variante sind die Flächen vollreflektierend ausgestaltet. Nichtsdestotrotz können die Flächen auch teilreflektierend ausgestaltet sein, so dass ein Teil der Strahlung in das Innere des Polyeders tritt. In einer Ausführungsform ist der Polyeder, der die Reflexionsflächen umfasst, im Wesentlichen aus Vollmaterial gebildet. In einer anderen Variante ist der Polyeder im Wesentlichen hohl ausgestaltet.

[0016] In einer bevorzugten Variante der soeben beschriebenen Ausführungsform sind die Reflexionsflächen die Seitenflächen einer Pyramide oder eines Pyramidenstumpfs, wobei die Grundfläche der Pyramide bzw. des Pyramidenstumpfs als beliebiges Polygon ausgestaltet sein kann. Beispielsweise kann die Grundfläche ein Rechteck oder ein Dreieck sein. Im letzteren Fall stellt die Pyramide einen Tetraeder dar.

[0017] In einer bevorzugten Ausgestaltung der soeben beschriebenen Ausführungsform ist eine auf den Prüfling weisende Austrittsöffnung für den Prüfstrahl an dem Ende der Pyramide oder des Pyramidenstumpfs ausgebildet, das der Grundfläche der Pyramide oder des Pyramidenstumpfs gegenüber liegt. Dies ermöglicht wiederum einen sehr kompakten Aufbau der Vorrichtung.

[0018] In einer weiteren, besonders bevorzugten Ausführungsform sind eine oder zumindest einige der oben definierten Reflexionsflächen, strahlteilende Flächen. Mit Hilfe dieser strahlteilenden Flächen werden die unterschiedlichen optischen Weglängen der Strahlung des reflektierten Prüfstrahls bis zu den Strahlauftreffpositionen für zumindest einen Teil der durch die Detektionseinrichtung detektierbaren, am Prüfling reflektierten Prüfstrahlen erzeugt. Je nach Ausführungsform können die strahlteilenden Flächen auf verschiedene Weise erzeugt werden. In einer Variante sind eine oder mehrere der strahlteilenden Flächen Grenzflächen zwischen zwei Materialien, beispielsweise eine Grenzfläche innerhalb eines Strahlteilers. In einer bevorzugten Variante sind ferner eine oder mehrere weitere transmissive und/oder zumindest teilweise reflektierende Flächen vorgesehen, auf welche jeweilige reflektierte Prüfstrahlen fallen und welche die jeweiligen reflektierten Prüfstrahlen nicht erstmalig entlang ihrer Propagation zu den mehreren Strahlauftreffpositionen durch Reflexion ablenken.

[0019] In einer weiteren Ausführungsform ist die Detektionseinrichtung derart ausgestaltet, dass zumindest zwei der mehreren Detektionsflächen zur Detektion der mehreren Strahlaufftreffpositionen für zumindest einen Teil der durch die Detektionseinrichtung detektierbaren, am Prüfling reflektierten Prüfstrahlen vorgesehen sind. Diese Ausführungsform kann beispielsweise mit der oben beschriebenen Ausführungsform kombiniert werden, bei der eine oder mehrere Reflexionsflächen strahlteilende Flächen sind, so dass der durch Strahlteilung aufgeteilte Strahl auf unterschiedliche Detektionsflächen fällt.

[0020] In einer weiteren Ausführungsform ist die Detektionseinrichtung derart ausgestaltet, dass zumindest eine der einen oder mehreren Detektionsflächen eine bewegbare Detektionsfläche ist, die mittels einer Aktorik in unterschiedliche Position bewegt werden kann.

[0021] In einer bevorzugten Variante der soeben beschriebenen Ausführungsform wird eine einzelne bewegbare Detektionsfläche zur Detektion der mehreren Strahlaufftreffpositionen für zumindest einen Teil der durch die Detektionseinrichtung detektierbaren, am Prüfling reflektierten Prüfstrahlen genutzt. Dabei werden die mehreren Strahlaufftreffpositionen durch eine Detektion in unterschiedlichen Positionen der einzelnen bewegbaren Detektionsflächen generiert. Mit dieser Variante wird die Möglichkeit geschaffen, auf eine Aufteilung des Strahls zur Detektion von mehreren Strahlaufftreffpositionen zu verzichten.

[0022] In einer weiteren bevorzugten Ausführungsform ist die Detektionseinrichtung derart ausgestaltet, dass vor zumindest einer der einen oder mehreren Detektionsflächen jeweils ein strahlteilender Körper angeordnet ist, mit dem ein Strahl, der aus einem reflektierten Prüfstrahl von zumindest einem Teil der durch die Detektionseinrichtung detektierbaren, am Prüfling reflektierten Prüfstrahl resultiert, in mehrere Teilstrahlen aufgeteilt wird, die auf die entsprechende dahinter liegende Detektionsfläche fallen, wodurch die mehreren Strahlaufftreffpositionen erhalten werden. Insbesondere können dabei Strahlteiler verwendet werden, die in den obigen Druckschriften DE 10 2013 219 440 A1 und DE 10 2016 209 090 A1 beschrieben sind.

[0023] In einer weiteren bevorzugten Ausgestaltung schließen zumindest einige der Reflexionsflächen entlang der Ausbreitungsrichtung des Prüfstrahls vor dessen Reflexion am Prüfling aneinander an, wobei der Abstand der Reflexionsflächen zum Prüfstrahl und die Neigung der Reflexionsflächen gegenüber dem Prüfstrahl in Ausbreitungsrichtung des Prüfstrahls abnehmen. Mit dieser Vorrichtung kann

der Akzeptanzwinkel und hierdurch der Fangbereich der Detektionseinrichtung vergrößert werden.

[0024] In einer weiteren bevorzugten Ausführungsform ist zumindest eine der einen oder mehreren Detektionsflächen gegenüber der Ausbreitungsrichtung des Prüfstrahls geneigt. Auf diese Weise kann ein kompakter Aufbau der Detektionseinrichtung erreicht werden und das Problem vermieden werden, dass die Detektionseinrichtung den Prüfling bei Prüflingen mit größeren Höhenunterschieden berührt.

[0025] In einer weiteren, besonders bevorzugten Ausführungsform ist die Auswerteeinheit der erfindungsgemäßen Vorrichtung dazu eingerichtet, Eigenschaften des Prüflings und insbesondere die Form der Oberfläche des Prüflings basierend auf der Strahlverläufen von mehreren Prüfstrahlen zu ermitteln, die am Prüfling an verschiedenen Reflexionspunkten 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.

[0026] In einer weiteren bevorzugten Ausführungsform umfasst die erfindungsgemäße Vorrichtung eine Aktorik zum Verändern der Relativposition des Prüfstrahls in Bezug auf den Prüfling in eine oder mehrere Richtungen, um den Reflexionspunkt des Prüfstrahls am Prüfling zu verändern. Vorzugsweise bewirkt die Aktorik eine relative Verschiebung zwischen dem Prüfling und der Baugruppe aus Strahlquelle und Detektionseinrichtung. Je nach Ausgestaltung kann die Aktorik nur die Baugruppe bzw. nur den Prüfling bzw. sowohl die Baugruppe als auch den Prüfling verschieben.

[0027] Die in der erfindungsgemäßen Vorrichtung verwendeten Detektionsflächen können auf an sich bekannten Technologien beruhen. Insbesondere kann eine Detektionsfläche einen CCD-Sensor und/oder einen CMOS-Sensor und/oder einen PSD-Sensor (PSD = Position Sensitive Device) umfassen. All diese Sensoren sind aus dem Stand der Technik bekannt und werden deshalb nicht näher in Detail erläutert.

[0028] Neben der oben beschriebenen Vorrichtung betrifft die Erfindung ein Verfahren zur Analyse eines reflektierenden Prüflings mit der erfindungsgemäßen Vorrichtung bzw. einer oder mehreren bevorzugten Varianten der erfindungsgemäßen Vorrichtung. Dabei erzeugt die Strahlquelle der Vorrichtung einen Prüfstrahl, der auf den Prüfling gerichtet wird, der den Prüfstrahl an einen Reflexionspunkt reflektiert, wodurch ein reflektierter Prüfstrahl erzeugt

wird, der je nach Oberflächenstruktur des Prüflings am Reflexionspunkt in unterschiedliche Richtungen zeigt. Auf der oder den Detektionsflächen der in der Vorrichtung verbauten Detektionseinrichtung werden mehrere Strahlauftreffpositionen von Strahlung des reflektierten Prüfstrahls detektiert, wobei sich die optischen Weglängen der Strahlung des reflektierten Prüfstrahls vom Reflexionspunkt bis zur entsprechenden Strahlauftreffposition zwischen den mehreren Strahlauftreffpositionen unterscheiden und der reflektierte Prüfstrahl erstmalig entlang seiner Propagation zu den mehreren Strahlauftreffpositionen durch Reflexion an einer einzelnen der mehreren ebenen und zumindest teilreflektierenden Reflexionsflächen abgelenkt wird. Mittels der in der Vorrichtung verbauten Auswerteeinheit wird der Strahlverlauf des reflektierten Prüfstrahls am Reflexionspunkt unter Verwendung der detektierten Strahlauftreffpositionen bestimmt.

[0029] Ausführungsbeispiele der Erfindung werden nachfolgend anhand der beigefügten Figuren detailliert beschrieben.

[0030] Es zeigen:

Fig. 1 eine schematische perspektivische Darstellung einer ersten Ausführungsform einer erfindungsgemäßen Vorrichtung;

Fig. 2 und **Fig. 3** schematische Schnittansichten der Vorrichtung aus **Fig. 1** für in unterschiedliche Richtungen reflektierte Prüfstrahlen;

Fig. 4 bis **Fig. 10** schematische Schnittansichten zur Verdeutlichung von abgewandelten Varianten der Ausführungsform aus **Fig. 1** bis **Fig. 3**.

[0031] **Fig. 1** zeigt eine erste Ausführungsform einer erfindungsgemäßen Vorrichtung zur Analyse eines Prüflings. Die Vorrichtung umfasst eine Strahlquelle 1 zur Generierung eines kollimierten Prüfstrahls P. Die Strahlquelle ist in **Fig. 1** oberhalb eines quaderförmig angedeuteten Gehäuses 4 einer Detektionseinrichtung 3 angeordnet. Nichtsdestotrotz ist es auch möglich, dass die Strahlquelle 1 innerhalb dieses Gehäuses positioniert ist. Ferner kann der Prüfstrahl auch aus der innerhalb oder außerhalb des Gehäuses liegenden Strahlquelle ausgekoppelt und über ein oder mehrere strahlführende Elemente zu einer Austrittsstelle geleitet werden, von der aus er auf den zu analysierenden Prüfling 2 gerichtet wird. Die Strahlquelle kann beispielsweise eine Laserlichtquelle zur Erzeugung eines Laserstrahls sein. Ebenso kann die Strahlquelle eine LED-basierte Lichtquelle oder eine andere Art von Lichtquelle sein.

[0032] Der Prüfstrahl P wird über die Detektionseinrichtung 3 auf den zu analysierenden Prüfling 2 gerichtet, der in einer Messebene ME angeordnet ist. Die Messebene erstreckt sich dabei parallel zur

der x-y-Ebene des in **Fig. 1** dargestellten kartesischen Koordinatensystems. Die z-Richtung dieses Koordinatensystems entspricht der vertikalen Richtung (d.h. der Höhenrichtung). Der Prüfling 2 reflektiert den Prüfstrahl P an seiner Oberfläche an dem Reflexionspunkt RP, so dass hieraus ein reflektierter Prüfstrahl R resultiert. Dieser reflektierte Prüfstrahl wird von der Detektionseinrichtung 3 erfasst und anschließend mittels der mit Bezugszeichen 8 bezeichneten Auswerteeinheit ausgewertet, die den Verlauf des reflektierten Prüfstrahls R ermittelt, wie weiter unten noch näher erläutert wird. Die Auswerteeinheit 8 ist lediglich in **Fig. 1** gezeigt, wird jedoch auch von den Vorrichtungen in allen anderen Figuren zur Auswertung des Prüfstrahls genutzt.

[0033] Die Detektionseinrichtung 3 umfasst einen Polyeder in der Form einer auf dem Kopf stehenden Pyramide 6, die aus transparentem Material, wie z.B. Glas, besteht. Die Pyramide 6 umfasst die vier Seitenflächen 701 bis 704, nämlich die rechte Seitenfläche 701, die linke Seitenfläche 702, die vordere Seitenfläche 703 und die hintere Seitenfläche 704. Die Seitenflächen 701 bis 704 sind in dem gezeigten Ausführungsbeispiel vollreflektierende Seitenflächen, was mit einer geeigneten Beschichtung erreicht werden kann. Nichtsdestotrotz können die Seitenflächen 701 bis 704 gegebenenfalls auch teilreflektierend ausgestaltet sein, d.h. sie reflektieren nur einen Teil von darauf fallender Strahlung, wohingegen der andere Teil über die entsprechende Seitenfläche in das Innere der Pyramide 6 eindringt. Die Seitenflächen 701 bis 704 der Pyramide 6 stellen Ausführungsbeispiele von Reflexionsflächen im Sinne des Patentanspruchs 1 dar.

[0034] Der Prüfstrahl P dringt über die oben gelegene Grundfläche in die Pyramide 6 ein, wobei die Pyramide an ihrer Spitze eine (nicht ersichtliche) Abflachung aufweist, durch welche eine transparente Austrittsöffnung für den Prüfstrahl aus der Pyramide 6 gebildet wird. Gegebenenfalls kann der Prüfstrahl auch auf andere Weise durch die Detektionseinrichtung 3 geführt werden. Insbesondere muss er bei einem anderen Aufbau auch nicht durch die Pyramide laufen. Ebenso ist es möglich, dass innerhalb der Pyramide ein geeigneter Kanal zum Durchlaufen des Prüfstrahls ausgebildet ist. Beispielsweise kann sich die Pyramide aus mehreren Teilblöcken zusammensetzen, wobei Kanten der Teilblöcke im Inneren der Pyramide aneinander anliegen. Durch entsprechende Fasen an diesen Kanten kann dann ein Durchgang für den Prüfstrahl gebildet werden.

[0035] Benachbart zu jeder der Seitenflächen 701 bis 704 sind Detektionsflächen zur orts aufgelösten Detektion von an den jeweiligen Seitenflächen reflektierten Strahlen vorgesehen. Beispielsweise können diese Detektionsflächen als CCD-Sensor bzw. CMOS-Sensor oder auch als PSD-Sensor ausge-

staltet sein. Aus Übersichtlichkeitsgründen sind von den vier vorhandenen Detektionsflächen nur die Detektionsflächen 5, 5' und 5" dargestellt. Die Detektionsfläche 5 liegt gegenüber der Seitenfläche 701, die Detektionsfläche 5' gegenüber der Seitenfläche 702 und die Detektionsfläche 5", die gestrichelt wiedergegeben ist, gegenüber der Seitenfläche 704. Die Detektionsfläche, die der vorderen Seitenfläche 703 gegenüber liegt, ist nicht ersichtlich.

[0036] In dem Szenario der **Fig. 1** wird der reflektierte Prüfstrahl R auf die Seitenfläche 701 geworfen und dort reflektiert, wodurch der Strahl R1 entsteht. Die Auftreffposition AP dieses Strahls wird durch die Detektionsfläche 5 erfasst. Trifft der Strahl R1 aufgrund einer anderen Oberflächenbeschaffenheit und damit Ablenkung am Reflexionspunkt RP auf eine andere der Seitenflächen, wird er auch von einer anderen, der entsprechenden Seitenfläche benachbarten Detektionsfläche erfasst.

[0037] Ein wesentliches Merkmal der Vorrichtung der **Fig. 1** besteht darin, dass die als Reflexionsflächen fungierenden Seitenflächen 701 bis 704 den reflektierten Prüfstrahl R erstmalig nach seiner Entstehung (d.h. nach Reflexion am Reflexionspunkt RP) reflektieren und jede Seitenfläche reflektierte Prüfstrahlen aus anderen Raumwinkelbereichen detektiert. Es gibt somit disjunkte Raumwinkelbereiche, wobei jede Seitenfläche ausschließlich für die Reflexion von Prüfstrahlen aus dem zugeordneten Raumwinkelbereich zuständig ist. Auf diese Weise wird ein kompakter Aufbau der Detektionseinrichtung erreicht. Ferner ist es nicht erforderlich, eine Öffnung in einer Detektionsfläche zum Passieren des Prüfstrahls vorzusehen, wie dies in der Vorrichtung der DE 10 2013 219 436 A1 der Fall ist.

[0038] Mit der Detektionseinrichtung 3 müssen zumindest zwei Auftreffpositionen AP des Strahlengangs des reflektierten Prüfstrahls R detektiert werden. Diese beiden Auftreffpositionen werden benötigt, um hierüber die Orientierung des reflektierten Prüfstrahls R (d.h. dessen Strahlverlauf unmittelbar nach Reflexion am Reflexionspunkt RP) zu bestimmen. In der Ausführungsform der **Fig. 1** werden zwei Strahlauftrittspositionen dadurch erhalten, dass für den gerade vermessenen Reflexionspunkt RP die Detektionsfläche 5 mittels einer Aktorik (nicht aus **Fig. 1** ersichtlich) durch Verschiebung entlang der x-Richtung in zwei zueinander versetzte Positionen angeordnet wird und in jeder Position die Auftreffposition AP bestimmt wird. Diese Auftreffpositionen werden somit für verschiedene optische Weglängen des Strahlengangs des reflektierten Prüfstrahls R ermittelt. In gleicher Weise werden zumindest zwei Strahlauftrittspositionen auch für die anderen Detektionsflächen ermittelt, die ebenfalls über eine Aktorik in verschiedene Positionen angeordnet werden können.

[0039] Die Bestimmung der Orientierung des Prüfstrahls R über zumindest zwei Strahl auftreffpositionen AP beruht auf dem Fachmann geläufigen geometrischen Berechnungen unter Verwendung bekannter Positionsdaten betreffend die Positionen der entsprechenden Detektionsflächen bei Detektion der Auftreffpositionen und betreffend die Positionen der Seitenflächen und der Messebene. Die Bestimmung dieser Orientierung wird durch die Auswertereinheit 8 durchgeführt, welcher die entsprechenden Auftreffpositionen zur Verfügung gestellt werden.

[0040] In einer abgewandelten Ausführungsform der **Fig. 1** kann zur Detektion von mehreren Auftreffpositionen auch auf eine entsprechende Aktorik zur Verschiebung der Detektionsflächen verzichtet werden. Stattdessen kann ein Strahlteiler genutzt werden, der vor jede der Detektionsflächen 5 bis 5" angeordnet wird. Insbesondere kann beispielsweise der in der Druckschrift DE 10 2013 219 440 A1 beschriebene Strahlteiler oder auch der in der Druckschrift DE 10 2016 209 090 A1 offenbarte Strahlteiler benutzt werden. Diese Strahlteiler teilen den entsprechenden, auf die Detektionsfläche gerichteten Strahl in mehrere Teilstrahlen auf, die an unterschiedlichen Auftreffpositionen auf der benachbarten Detektionsfläche erfasst werden. Mit den in den genannten Druckschriften offenbarten Berechnungen kann dann der Einfallswinkel des entsprechenden Strahls und hieraus die Flächennormale an dem entsprechenden Reflexionspunkt bestimmt werden.

[0041] Sofern in der Ausführungsform der **Fig. 1** und auch in Ausführungsformen der weiteren Figuren die Orientierung des reflektierten Prüfstrahls ohne Verschiebung von Detektionsflächen ermittelt wird, ist durch geeignete Maßnahmen, wie z.B. Abschattung mittels einer Blende, sicherzustellen, dass reflektierte Prüfstrahlen nicht direkt ohne Ablenkung auf eine Detektionsfläche fallen. Diese Maßnahme ist bei der Bestimmung des Strahlverlaufs des reflektierten Prüfstrahls über die Verschiebung von Detektionsflächen nicht zwangsläufig erforderlich, denn in diesem Fall entstehen die unterschiedlichen Auftreffpositionen auf den Detektionsflächen nicht über Strahlaufteilung des reflektierten Prüfstrahls, so dass erkannt werden kann, dass der Prüfstrahl vom Prüfling direkt zur Detektionsfläche verläuft, woraus sich der Gradient der Oberfläche des Prüflings ermitteln lässt.

[0042] **Fig. 2** und **Fig. 3** zeigen schematische, nicht maßstabgetreue Schnittansichten der Vorrichtung aus **Fig. 1** entlang der x-z-Ebene, wobei im Unterschied zu **Fig. 1** die Strahlquelle 1 aus Übersichtlichkeitsgründen innerhalb des Gehäuses 4 wiedergegeben ist. Die Neigung der Seitenfläche 702 gegenüber der Grundfläche der Pyramide 6 wird durch den Winkel α und die Neigung der Seitenfläche 701 gegenüber der Grundfläche der Pyramide 6 durch den Winkel β repräsentiert. In **Fig. 2** und **Fig. 3** sind diese

Winkel gleich groß, jedoch können sie auch unterschiedlich groß gewählt sein. Darüber hinaus können die einzelnen Seitenflächen 701 bis 704 auch zu anderen Arten von Polyedern als einer Pyramide gehören, wodurch sich auch die Anzahl der Seitenflächen verändert. Ist der Polyeder beispielsweise ein Tetraeder, sind nur drei Seitenflächen vorhanden. Darüber hinaus muss die Pyramide bzw. ein entsprechender Polyeder nicht zwangsläufig aus Vollmaterial bestehen. Vielmehr der Polyeder auch hohl ausgestaltet sein, d.h. er kann nur die entsprechenden Seitenflächen umfassen, welche die Form des Polyeders bilden.

[0043] Aus **Fig. 2** sind neben den Seitenflächen 701 und 702 auch die beiden Detektionsflächen 5 und 5' ersichtlich. Ferner ist schematisch die bereits oben erwähnte Aktorik 10 bzw. 10' angedeutet, wobei die Aktorik 10 zur Verschiebung der Detektionsfläche 5 und die Aktorik 10' zur Verschiebung der Detektionsfläche 5' dient, um zwei unterschiedliche Auftreffpositionen zu bestimmen und hieraus den Strahlverlauf des reflektierten Prüfstrahls R abzuleiten. **Fig. 2** zeigt ein Szenario, bei dem der Prüfstrahl analog zu **Fig. 1** über die Reflexionsfläche 701 hin zu der Detektionsfläche 5 gelenkt wird. **Fig. 3** unterscheidet sich von **Fig. 2** lediglich darin, dass ein Prüfling 2 mit einer anderen Oberflächenform verwendet wird, so dass der Prüfstrahl am Reflexionspunkt RP in eine andere Richtung abgelenkt wird. Wie man erkennt, fällt der reflektierte Prüfstrahl R in dem Szenario der **Fig. 3** nunmehr auf die Reflexionsfläche 702, so dass der daraus entstehende reflektierte Prüfstrahl R1 auf die Detektionsfläche 5' trifft.

[0044] Gegebenenfalls können in der Ausführungsform der **Fig. 1** bis **Fig. 3** die Aktoren auch in Kombination mit den entsprechenden Strahlteilern aus den Druckschriften DE 10 2013 219 440 A1 bzw. DE 10 2016 209 090 A1 verwendet werden. In diesem Fall werden die Aktoren nicht zur Bestimmung unterschiedlicher Auftreffpositionen, sondern dafür genutzt, den Fangbereich der Detektionseinrichtung für die reflektierten Prüfstrahlen zu erhöhen. Die Aktoren sind dabei vorzugsweise derart ausgestaltet, dass sie sowohl in der x-z-Ebene als auch in x-y-Ebene sowie auch in der z-y-Ebene verschiebbar sind. Auf diese Weise können durch entsprechende Verschiebung der Detektionsfläche in geeignete Richtungen auch noch Prüfstrahlen erfasst werden, die bei einer feststehenden Detektionsfläche nicht mehr darauf auftreffen würden.

[0045] Die in **Fig. 1** bis **Fig. 3** und auch in den weiteren Figuren gezeigte Vorrichtung umfasst ferner eine weitere, nicht gezeigte Aktorik. Mit dieser Aktorik kann die Relativposition zwischen Prüfling 2 und Prüfstrahl P entlang der x-y-Ebene verändert werden, wodurch unterschiedliche Oberflächenpositionen und damit Reflexionspunkte RP auf dem Prüfling

2 durch den Prüfstrahl P angefahren werden. Die Oberfläche des Prüflings kann auf diese Weise komplett abgerastert werden, wodurch sich eine Vielzahl von Flächennormalen an entsprechenden Reflexionspunkten der Oberfläche des Prüflings ergeben. Mittels zonaler bzw. modaler Integration über die Flächennormalen ergibt sich dann die Form der Oberfläche des Prüflings.

[0046] **Fig. 4** zeigt in schematischer Schnittansicht eine Abwandlung der Vorrichtung aus **Fig. 2** und **Fig. 3**, wobei aus Übersichtlichkeitsgründen nur der linke Teil der Detektionseinrichtung im Detail dargestellt ist. Im Unterschied zu der zuvor beschriebenen Ausführungsform sind die Seitenflächen 701 bis 704 der Pyramide 6 nunmehr strahlteilend ausgebildet, so dass an einer entsprechenden Auftreffposition des Prüfstrahls R auf der jeweiligen Seitenfläche ein Teil des Prüfstrahls reflektiert wird und ein anderer Teil des Prüfstrahls gebrochen und in das Innere der Pyramide geleitet wird. Darüber hinaus ist neben der Detektionsfläche 5' auch eine weitere Detektionsfläche 5'' vorgesehen, die nunmehr oberhalb der Grundfläche der Pyramide 6 angeordnet ist und welche analog zur Detektionsfläche 5' über eine entsprechende Aktorik 10'' bewegt werden kann. Die Aktorik 10' bzw. 10'' wird in der Ausführungsform der **Fig. 4** nicht zwangsläufig zur Erzeugung von mehreren Auftreffpositionen benötigt. Vielmehr wird die Aktorik dazu eingesetzt, um den Fangbereich der Detektionseinrichtung durch entsprechende Verschiebung der Detektionsflächen geeignet zu erweitern.

[0047] In der Ausführungsform der **Fig. 4** ist ein Szenario gezeigt, in dem der Prüfstrahl P an der Reflexionsposition RP nach rechts geworfen wird. Der Prüfstrahl wird dann beim Auftreffen auf die strahlteilende Fläche 702 in den reflektierten Prüfstrahl R1 und den gebrochenen Prüfstrahl R2 geteilt, wobei der gebrochene Prüfstrahl durch nochmalige Brechung beim Übergang von der Grundfläche der Pyramide nach außen leicht abgelenkt wird und in den Strahl R3 übergeht. Der Strahl R1 fällt auf die Strahlauftreffposition AP auf der Detektionsfläche 5', wohingegen der Strahl R3 auf die Strahlauftreffposition AP' auf der Detektionsfläche 5'' fällt. Wie man erkennt, hat der Strahlengang gemäß den Strahlen R und R1 eine andere optische Weglänge als der Strahlengang gemäß den Strahlen R, R2 und R3. Demzufolge gehören die beiden Auftreffpositionen AP und AP' zu zwei unterschiedlichen optischen Weglängen, was es ohne Verschiebung der Detektionsflächen 5' und 5'' ermöglicht, den Strahlverlauf des Prüfstrahls R am Reflexionspunkt RP mit bekannten Berechnungen zu bestimmen.

[0048] **Fig. 5** zeigt eine weitere Abwandlung einer erfindungsgemäßen Vorrichtung. Im Unterschied zu der Vorrichtung aus **Fig. 4** sind in der Pyramide

zusätzliche, zumindest teilweise reflektierende Flächen 9 bzw. 9' eingearbeitet. Die reflektierenden Flächen 9 und 9' reflektieren den Prüfstrahl R nicht erstmalig entlang seiner Propagation zu den Strahlauf-treffpositionen. Sie sind somit keine Reflexionsflächen im Sinne des Anspruchs 1. Durch die reflektierenden Flächen 9 und 9' werden wiederum verschiedene optische Weglängen des reflektierten Prüfstrahls zur Erzeugung unterschiedlicher Auftreffpositionen AP und AP' generiert, wobei erreicht wird, dass diese Auftreffpositionen im Unterschied zu Fig. 4 auf der gleichen Detektionsfläche 5 liegen.

[0049] Wie aus Fig. 5 ersichtlich, wird der reflektierte Prüfstrahl R an der strahlteilenden Fläche 701 in einen reflektierten Prüfstrahl R1 und einen gebrochenen R2 aufgeteilt. Der Prüfstrahl R1 fällt auf die Auftreffposition AP der Detektionsfläche 5. Der Strahl R2 wird an der Reflexionsfläche 9 reflektiert, woraus der Strahl R3 resultiert, der auf die Auftreffposition AP' der Detektionsfläche 5 fällt. Es entsteht somit der Strahlengang aus den Strahlen R und R1 und der Strahlengang aus den Strahlen R, R2 und R3, die sich in ihren optischen Weglängen unterscheiden. Über die bekannte Geometrie der Anordnung kann dann mit der entsprechenden Auswerteeinheit aus den Auftreffpositionen AP und AP' der Strahlverlauf des Prüfstrahls R bzw. die Flächennormale an dem Reflexionspunkt RP über bekannte Berechnungen abgeleitet werden.

[0050] Fig. 6 zeigt eine schematische Teilansicht einer Abwandlung einer erfindungsgemäßen Detektionseinrichtung. Von dem Prüfling 2 ist dabei nur dessen Oberflächenform O wiedergegeben. In der Detektionseinrichtung der Fig. 6 wird die Reflexionsfläche 701 durch eine strahlteilende Grenzfläche innerhalb eines Strahlteilers 11 gebildet. An der rechten Seitenfläche des Strahlteilers 11 ist dabei die Detektionsfläche 5 angeordnet.

[0051] Demgegenüber ist die weitere Detektionsfläche 5" in einem Abstand zu der oberen Seitenfläche des Strahlteilers 11 positioniert. Auch diese Anordnung ermöglicht die Detektion von zwei unterschiedlichen Auftreffpositionen AP und AP', ohne dass die Detektionsflächen zueinander verschoben werden müssen.

[0052] Die Grenzfläche 701 stellt in der Ausführungsform der Fig. 6 und auch in der weiter unten beschriebenen Ausführungsform der Fig. 7 eine Reflexionsfläche im Sinne von Anspruch 1 dar. Dies liegt daran, dass der reflektierte Prüfstrahl R, der beim Eintritt in den Strahlteiler 11 geringfügig gebeugt wird, erstmalig an dieser Grenzfläche nach seiner Entstehung am Reflexionspunkt RP reflektiert wird. Zwar tritt beim Eintritt in den Strahlteiler 11 auch eine geringfügige Reflexion des Prüfstrahls R auf. Diese Reflexion ist jedoch vernachlässigbar und es

handelt sich auch nicht um eine Reflexion entlang der Propagation des Prüfstrahls hin zu einer Auftreffposition entsprechend der Definition des Anspruchs 1. Vielmehr wird der reflektierte Strahl aus der Detektionseinrichtung heraus geführt.

[0053] Gemäß dem Szenario der Fig. 6 wird der reflektierte Prüfstrahl R an der Grenzfläche 701 in einen reflektierten Prüfstrahl R2 und einen gebrochenen Prüfstrahl R3 aufgeteilt. Der Prüfstrahl R2 gelangt direkt auf die Detektionsfläche 5. Demgegenüber fällt der Prüfstrahl R3 nach nochmaliger geringfügiger Brechung bei Austritt aus dem Strahlteiler 11 auf die Detektionsfläche 5". Wie man erkennt, entstehen wieder unterschiedliche optische Weglängen für die entsprechenden Strahlengänge, die zu den Auftreffpositionen AP und AP' führen. Somit kann aus dieser Information über die entsprechende Auswerteeinheit wieder der Strahlverlauf des Prüfstrahls R bei Reflexion am Reflexionspunkt RP ermittelt werden.

[0054] Fig. 7 zeigt eine Abwandlung der Ausführungsform der Fig. 6. Diese Ausführungsform unterscheidet sich von der Fig. 6 lediglich dahingehend, dass die Detektionsfläche 5 in einem Abstand von der benachbarten Außenfläche des Strahlteilers angeordnet ist, so dass der Strahl R2 nochmals bei Austritt aus der strahlteilenden Fläche geringfügig gebrochen wird. Auch in dieser Ausführungsform werden unterschiedliche optische Weglängen für die beiden Auftreffpositionen AP und AP' erreicht.

[0055] Fig. 8 zeigt in schematischer Teilansicht eine weitere abgewandelte Ausführungsform, bei der sich eine entsprechende Seite einer Pyramide 6 aus mehreren vollreflektierenden und zueinander geneigten Seitenflächen 701, 702, 703 und 704 zusammensetzt. Die einzelnen Seitenflächen sind wiederum Reflexionsflächen im Sinne von Anspruch 1, denn sie dienen zur erstmaligen Reflexion entsprechender Prüfstrahlen aus unterschiedlichen Raumwinkelbereichen. In Fig. 8 sind für zwei unterschiedliche Oberflächenformen O und O' des Prüflings die reflektierten Prüfstrahlen R bzw. R' wiedergegeben, die am Reflexionsort RP entstehen. Wie man erkennt, wird der Prüfstrahl R am oberen Ende der Seitenfläche 701 reflektiert, wodurch der Prüfstrahl R1 entsteht, der an der Auftreffposition AP auf die Detektionsfläche 5 trifft. Im Unterschied hierzu wird der Prüfstrahl R' an der Seitenfläche 704 reflektiert, wodurch der Prüfstrahl R1' entsteht, der an der Auftreffposition AP' auf die Detektionsfläche 5 fällt.

[0056] In der Ausführungsform der Fig. 8 haben die Reflexions- bzw. Seitenflächen mit größerem Abstand zum Prüfstrahl P eine größere Neigung gegenüber diesem Prüfstrahl. Auf diese Weise wird der Fangbereich der Detektionseinrichtung vergrößert. Um in der Vorrichtung der Fig. 8 für einen

entsprechenden reflektierten Prüfstrahl wiederum zwei Auftreffpositionen zu erhalten, kann ein Strahlteiler gemäß den oben genannten Druckschriften DE 10 2013 219 440 A1 bzw. DE 10 2016 209 090 A1 vor der Detektionsfläche 5 angeordnet sein oder die Detektionsfläche kann in zumindest zwei verschiedene Positionen mittels einer entsprechenden (nicht gezeigten) Aktorik verschoben werden.

[0057] Fig. 9 zeigt eine Abwandlung der Ausführungsform der Fig. 8. Der einzige Unterschied zwischen Fig. 9 und Fig. 8 liegt darin, dass die Detektionsfläche 5 in Fig. 9 nicht mehr in der vertikalen z-Richtung verläuft, sondern gekippt angeordnet ist. Auf diese Weise kann ein kompakter Aufbau der Detektionseinrichtung erreicht werden.

[0058] Dieser kompakte Aufbau verringert die seitliche Ausdehnung der Detektionseinrichtung in der Nähe des zu vermessenden Prüflings und vermeidet somit das Problem, dass die Detektionseinrichtung den Prüfling bei Prüflingen mit größeren Höhenunterschieden berührt.

[0059] Fig. 10 zeigt eine Abwandlung der Ausführungsform der Fig. 9. Im Unterschied zu Fig. 9 sind die Flächen 701 bis 704 nunmehr keine vollreflektierenden Flächen mehr, sondern sie stellen strahlteilende Flächen dar, so dass an den Auftreffpositionen der entsprechenden Prüfstrahlen R bzw. R' auf der Fläche 701 bzw. 704 nunmehr auch die gebrochenen Strahlen R2 bzw. R2' erzeugt werden, die durch die Pyramide 6 laufen. Deshalb ist benachbart zur oberen Grenzfläche der Pyramide eine weitere Detektionsfläche 5'' angeordnet, die zur Detektion der Strahlen R2 bzw. R2' an Auftreffpositionen AP bzw. AP' auf der Detektionsfläche 5'' dient. Demzufolge werden in der Vorrichtung der Fig. 10 ohne Verschiebung der Detektionsflächen bereits zwei Auftreffpositionen mit unterschiedlichen optischen Weglängen für einen reflektierten Prüfstrahl generiert, woraus dann der Strahlverlauf des Prüfstrahl bzw. die Flächennormale bestimmt werden kann.

[0060] Alle Ausführungsformen der Fig. 1 bis Fig. 10 können derart realisiert werden, dass vor einer oder mehreren der Detektionsflächen jeweilige strahlteilender Körper entsprechend den oben genannten Druckschriften DE 10 2013 219 440 A1 bzw. DE 10 2016 209 090 A1 angeordnet werden, so dass immer durch eine einzelne Detektionsfläche mehrere Auftreffpositionen erfasst werden. Auf diese Weise wird die Anzahl der Auftreffpositionen erhöht, die zur Bestimmung des Strahlverlaufs des reflektierten Prüfstrahls R verarbeitet werden. Dies führt zu einer höheren Genauigkeit bei der Bestimmung des Strahlverlaufs.

[0061] Die im Vorangegangenen beschriebenen Ausführungsformen der Erfindung weisen eine Reihe von Vorteilen auf. Insbesondere wird eine kompakt aufgebaute Detektionseinrichtung für die Analyse eines reflektierenden Prüflings geschaffen. Dabei kann ein großer Fangbereich für reflektierte Prüfstrahlen erreicht werden, ohne dass es erforderlich ist, eine Unterbrechung in den entsprechenden Detektionsflächen zum Passieren des Prüfstrahls vorzusehen.

Patentansprüche

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

- eine Strahlquelle (1) zur Generierung eines Prüfstrahls (P), der im Betrieb der Vorrichtung auf den Prüfling (2) gerichtet wird, der den Prüfstrahl (P) an einem Reflexionspunkt (RP) reflektiert, wodurch ein reflektierter Prüfstrahl (R, R') erzeugt wird, der je nach Oberflächenstruktur des Prüflings (2) am Reflexionspunkt (RP) in unterschiedliche Richtungen zeigt;

- eine Detektionseinrichtung (3) mit einer oder mehreren Detektionsflächen (5, 5', 5''), um auf der oder den Detektionsflächen (5, 5', 5'') mehrere Strahlauftreffpositionen (AP, AP') von Strahlung des reflektierten Prüfstrahls (R, R') zu detektieren, wobei sich die optischen Weglängen der Strahlung des reflektierten Prüfstrahls (R, R') vom Reflexionspunkt (RP) bis zur entsprechenden Strahlauftreffposition (AP, AP') zwischen den mehreren Strahlauftreffpositionen (AP, AP') unterscheiden;

- eine Auswerteeinheit (8) zur Bestimmung des Strahlverlaufs des reflektierten Prüfstrahls (R, R') am Reflexionspunkt (RP) unter Verwendung der detektierten Strahlauftreffpositionen (AP, AP'); **dadurch gekennzeichnet**, dass die Detektionseinrichtung (3) mehrere ebene und zumindest teilreflektierende Reflexionsflächen (701, 702, 703, 704) umfasst, welche zumindest zum Teil geneigt zueinander angeordnet sind und dazu vorgesehen sind, jeweilige reflektierte Prüfstrahlen (R, R') erstmalig entlang ihrer Propagation zu den mehreren Strahlauftreffpositionen (AP, AP') durch Reflexion abzulenken, wobei jede Reflexionsfläche (701, 702, 703, 704) jeweilige reflektierte Prüfstrahlen (R, R') ablenkt, die am Reflexionspunkt (RP) in andere Richtungen zeigen als jeweilige reflektierte Prüfstrahlen (R, R'), welche alle anderen Reflexionsflächen (701, 702, 703, 704) ablenken.

2. Vorrichtung nach Anspruch 1, **dadurch gekennzeichnet**, dass der Prüfstrahl (P) an einer Position entlang des Prüfstrahls (P) vor dessen Reflexion am Prüfling (2) durch zumindest einige der Reflexionsflächen (701, 702, 703, 704) eingeschlossen ist.

3. Vorrichtung nach Anspruch 1 oder 2, **dadurch gekennzeichnet**, dass zumindest einige der Reflexionsflächen (701, 702, 703, 704) die Flächen eines Polyeders (6) sind.

4. Vorrichtung nach Anspruch 3, **dadurch gekennzeichnet**, dass die Reflexionsflächen (701, 702, 703, 704) die Seitenflächen einer Pyramide oder eines Pyramidenstumpfs sind, wobei vorzugsweise eine auf den Prüfling (2) weisende Austrittsöffnung für den Prüfstrahl (P) an dem Ende der Pyramide oder des Pyramidenstumpfs ausgebildet ist, das der Grundfläche der Pyramide oder des Pyramidenstumpfs gegenüber liegt.

5. Vorrichtung nach Anspruch 3 oder 4, **dadurch gekennzeichnet**, dass der Polyeder (6) im Wesentlichen aus Vollmaterial gebildet ist oder im Wesentlichen hohl ist.

6. Vorrichtung nach einem der vorhergehenden Ansprüche, **dadurch gekennzeichnet**, dass eine oder zumindest einige der Reflexionsflächen (701, 702, 703, 704) strahlteilende Flächen sind, mit Hilfe derer die unterschiedlichen optischen Weglängen der Strahlung des reflektierten Prüfstrahls (R, R') bis zu den Strahlauftreffpositionen (AP, AP') für zumindest einen Teil der durch die Detektionseinrichtung (3) detektierbaren, am Prüfling (2) reflektierten Prüfstrahlen (R, R') erzeugt werden, wobei vorzugsweise eine oder mehrere weitere transmissive und/oder zumindest teilweise reflektierende Flächen (9, 9') vorgesehen sind, auf welche jeweilige reflektierte Prüfstrahlen (R, R') fallen und welche die jeweiligen reflektierten Prüfstrahlen (R, R') nicht erstmalig entlang ihrer Propagation zu den mehreren Strahlauftreffpositionen (AP, AP') durch Reflexion ablenken.

7. Vorrichtung nach einem der vorhergehenden Ansprüche, **dadurch gekennzeichnet**, dass die Detektionseinrichtung (3) derart ausgestaltet ist, dass zumindest zwei der mehreren Detektionsflächen (5, 5', 5'') zur Detektion der mehreren Strahlauftreffpositionen (AP, AP') für zumindest einen Teil der durch die Detektionseinrichtung (3) detektierbaren, am Prüfling (2) reflektierten Prüfstrahlen (R, R') vorgesehen sind.

8. Vorrichtung nach einem der vorhergehenden Ansprüche, **dadurch gekennzeichnet**, dass die Detektionseinrichtung (3) derart ausgestaltet ist, dass zumindest eine der einen oder mehreren Detektionsflächen (5, 5', 5'') eine bewegbare Detektionsfläche (5, 5', 5'') ist, die mittels einer Aktorik (10, 10', 10'') in unterschiedliche Positionen bewegt werden kann.

9. Vorrichtung nach Anspruch 8, **dadurch gekennzeichnet**, dass eine einzelne bewegbare

Detektionsfläche (5, 5', 5'') zur Detektion der mehreren Strahlauftreffpositionen (AP, AP') für zumindest einen Teil der durch die Detektionseinrichtung (3) detektierbaren, am Prüfling (2) reflektierten Prüfstrahlen (R, R') vorgesehen ist, wobei die mehreren Strahlauftreffpositionen (AP, AP') durch eine Detektion in unterschiedlichen Positionen der einzelnen bewegbaren Detektionsfläche (5, 5', 5'') generiert werden.

10. Vorrichtung nach einem der vorhergehenden Ansprüche, **dadurch gekennzeichnet**, dass die Detektionseinrichtung (3) derart ausgestaltet ist, dass vor zumindest einer der oder einer oder mehreren Detektionsflächen (5, 5', 5'') jeweils ein strahlteilender Körper angeordnet ist, mit dem ein Strahl, der aus einem reflektierten Prüfstrahl (R, R') von zumindest einem Teil der durch die Detektionseinrichtung (3) detektierbaren, am Prüfling (2) reflektierten Prüfstrahlen (R, R') resultiert, in mehrere Teilstrahlen aufgeteilt wird, die auf die entsprechende dahinter liegende Detektionsfläche (5, 5', 5'') fallen, wodurch die mehreren Strahl auftreffpositionen (AP, AP') erhalten werden.

11. Vorrichtung nach einem der vorhergehenden Ansprüche, **dadurch gekennzeichnet**, dass sich zumindest einige der Reflexionsflächen (701, 702, 703, 704) entlang der Ausbreitungsrichtung des Prüfstrahls (P) vor dessen Reflexion am Prüfling (2) aneinander anschließen, wobei der Abstand der Reflexionsflächen (701, 702, 703, 704) zum Prüfstrahl (P) und die Neigung der Reflexionsflächen (701, 702, 703, 704) gegenüber dem Prüfstrahl (P) in Ausbreitungsrichtung des Prüfstrahls (P) abnehmen.

12. Vorrichtung nach einem der vorhergehenden Ansprüche, **dadurch gekennzeichnet**, dass zumindest eine der einen oder mehreren Detektionsflächen (5, 5', 5'') gegenüber der Ausbreitungsrichtung des Prüfstrahls (P) geneigt ist.

13. Vorrichtung nach einem der vorhergehenden Ansprüche, **dadurch gekennzeichnet**, dass die Auswerteeinheit (8) dazu eingerichtet ist, Eigenschaften des Prüflings (2) basierend auf den Strahlverläufen von mehreren Prüfstrahlen (P) zu ermitteln, die am Prüfling (2) an verschiedenen Reflexionspunkten (RP) reflektiert werden.

14. Vorrichtung nach einem der vorhergehenden Ansprüche, **dadurch gekennzeichnet**, dass die Vorrichtung eine Aktorik zum Verändern der Relativposition des Prüfstrahls (P) in Bezug auf den Prüfling (2) in eine oder mehrere Richtungen umfasst, um den Reflexionspunkt (RP) des Prüfstrahls (P) am Prüfling (2) zu verändern.

15. Verfahren zur Analyse eines reflektierenden Prüflings (2) mit einer Vorrichtung nach einem der vorhergehenden Ansprüche, **dadurch gekennzeichnet**, dass

- die Strahlquelle (1) einen Prüfstrahl (P) generiert, der auf den Prüfling (2) gerichtet wird, der den Prüfstrahl (P) an einem Reflexionspunkt (RP) reflektiert, wodurch ein reflektierter Prüfstrahl (R, R') erzeugt wird, der je nach Oberflächenstruktur des Prüflings (2) am Reflexionspunkt (RP) in unterschiedliche Richtungen zeigt;
- auf der oder den Detektionsflächen (5, 5', 5'') der Detektionseinrichtung (3) mehrere Strahlauffreppositionen (AP, AP') von Strahlung des reflektierten Prüfstrahls (R, R') detektiert werden, wobei sich die optischen Weglängen der Strahlung des reflektierten Prüfstrahls (R, R') vom Reflexionspunkt (RP) bis zur entsprechenden Strahlauffrepposition (AP, AP') zwischen den mehreren Strahlauffreppositionen (AP, AP') unterscheiden und der reflektierte Prüfstrahl (R, R') erstmalig entlang seiner Propagation zu den mehreren Strahlauffreppositionen (AP, AP') durch Reflexion an einer einzelnen der mehreren Ebenen und zumindest teilreflektierenden Reflexionsflächen (701, 702, 703, 704) abgelenkt wird; und
- die Auswerteeinheit (8) den Strahlverlauf des reflektierten Prüfstrahls (R, R') am Reflexionspunkt (RP) unter Verwendung der detektierten Strahlauffreppositionen (AP, AP') bestimmt.

Es folgen 7 Seiten Zeichnungen

Anhängende Zeichnungen

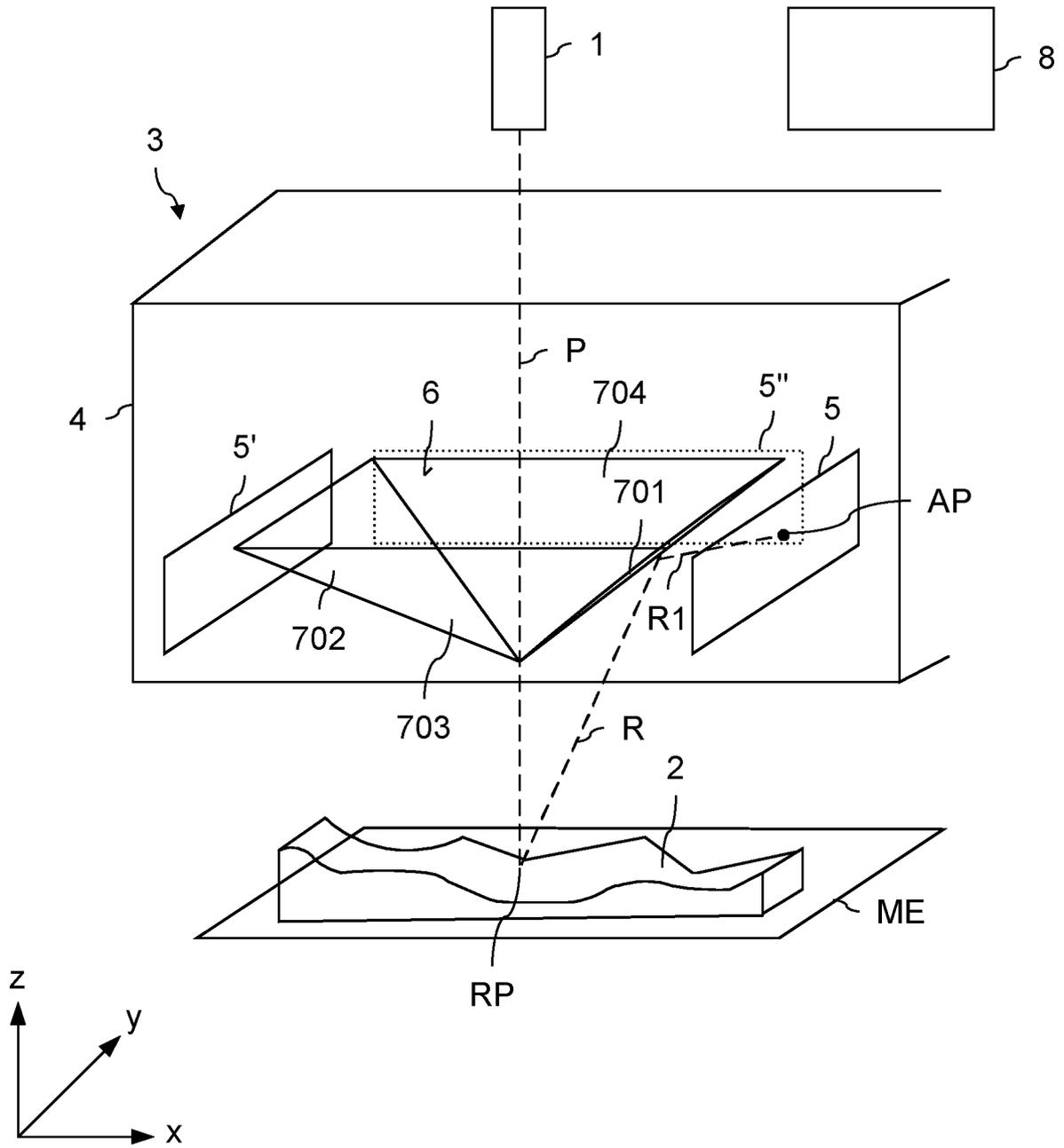


Fig. 1

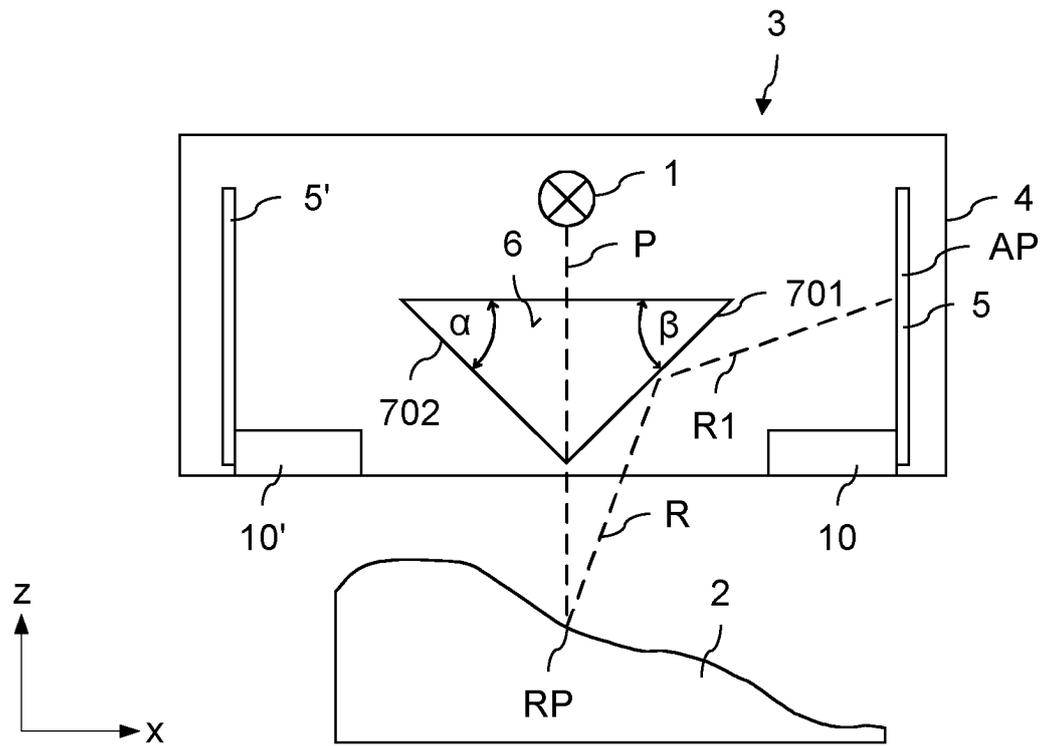


Fig. 2

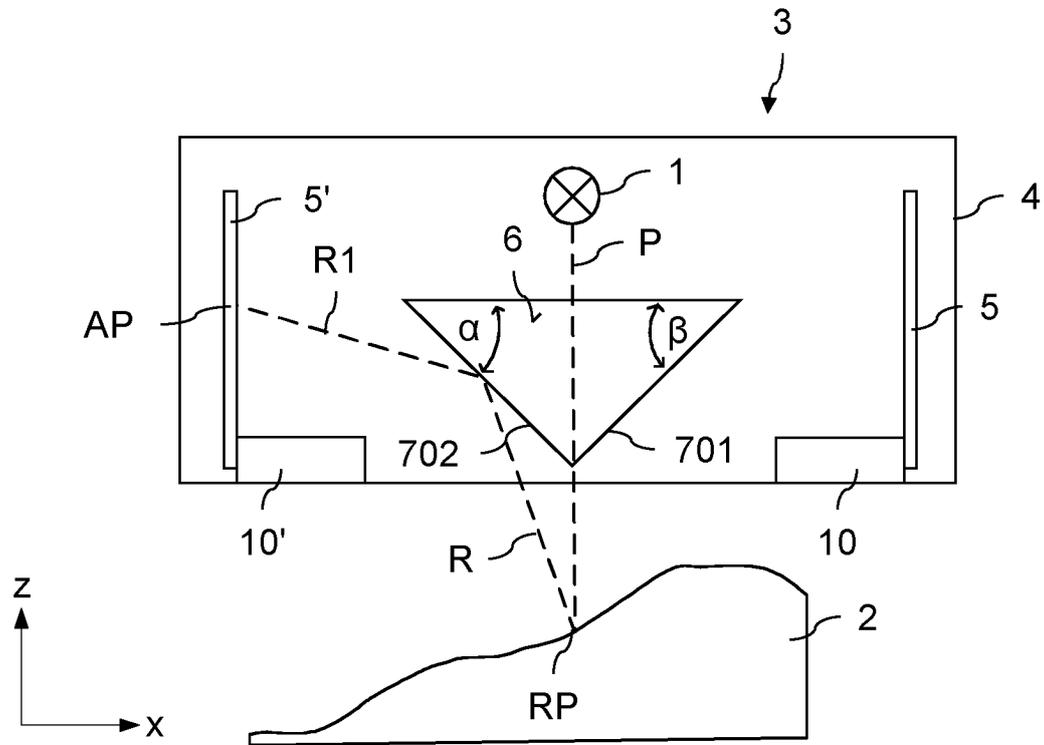
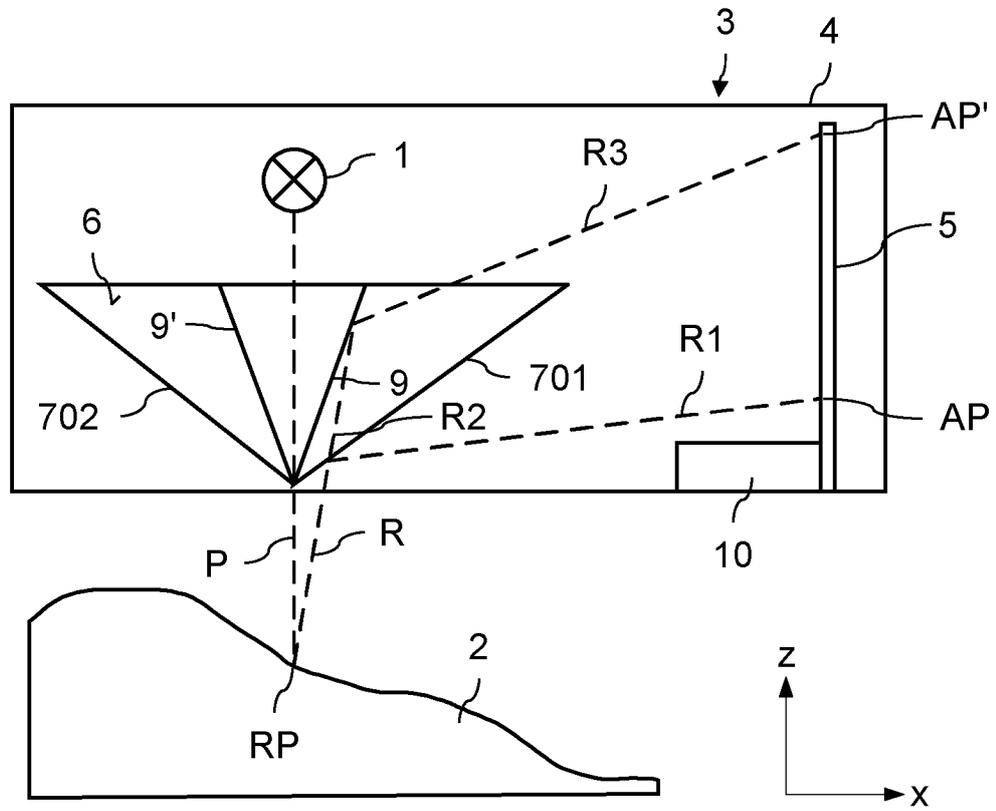
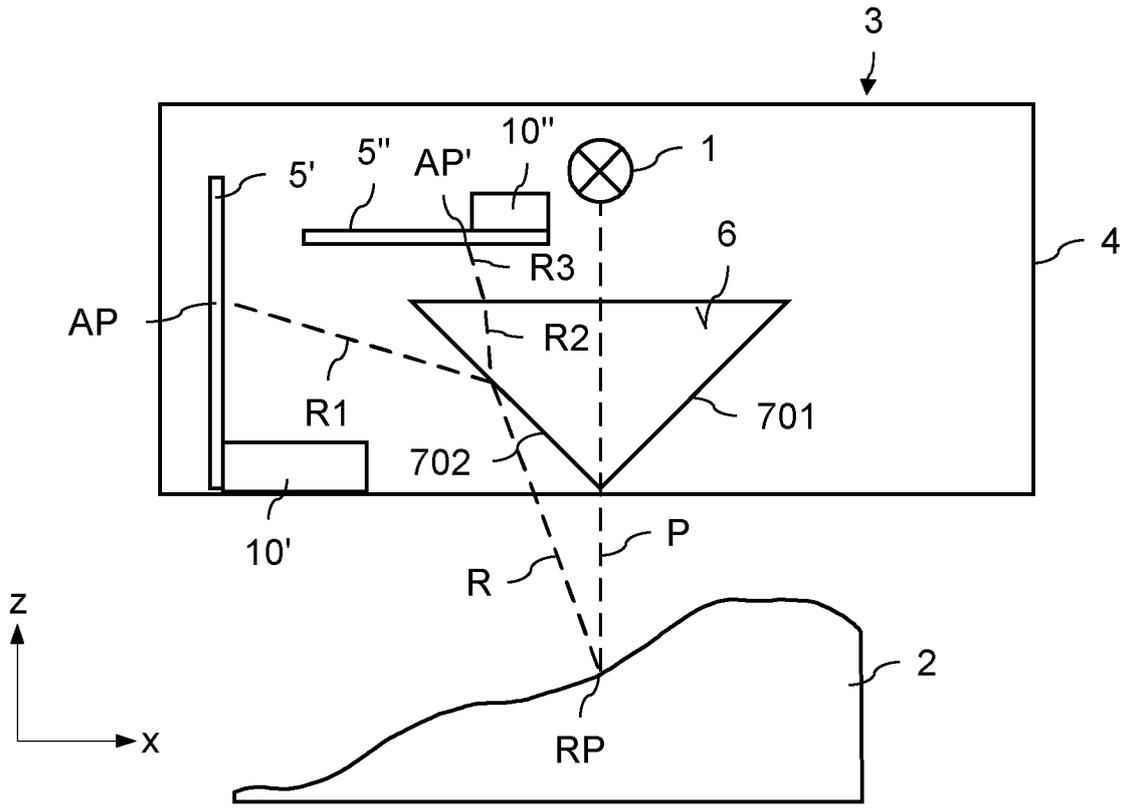


Fig. 3



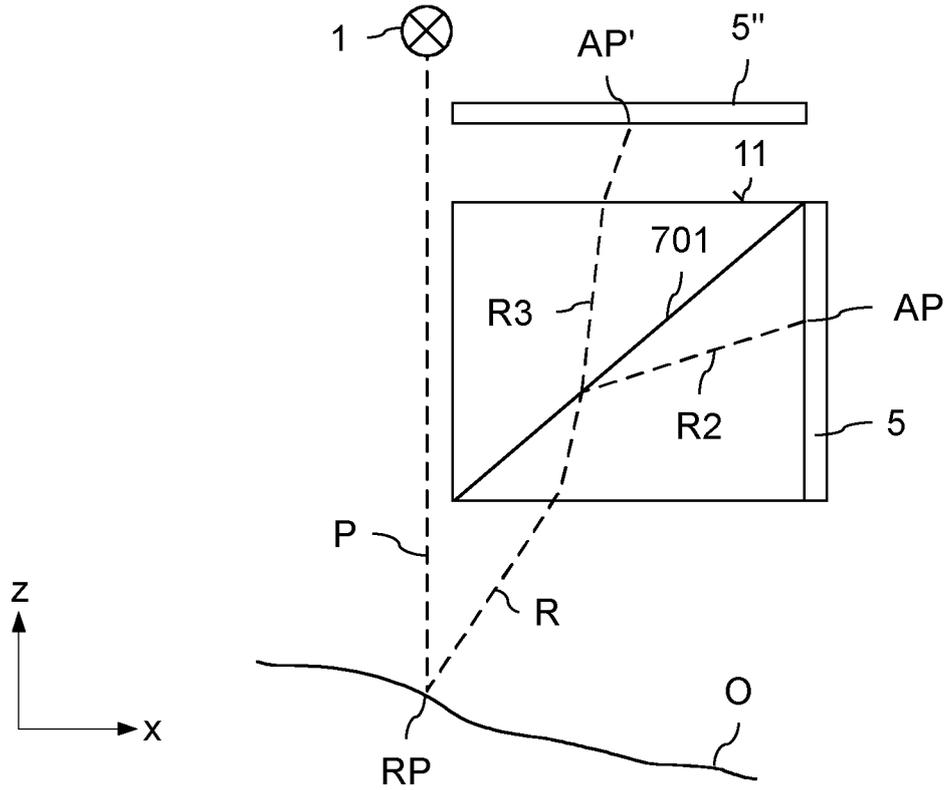


Fig. 6

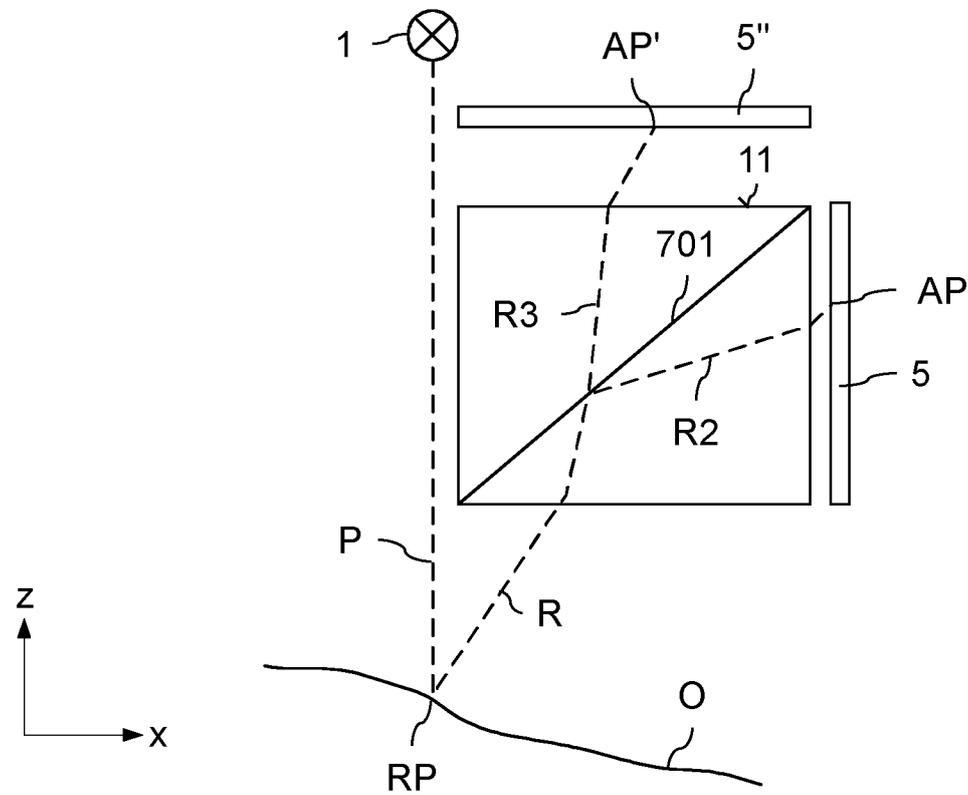


Fig. 7

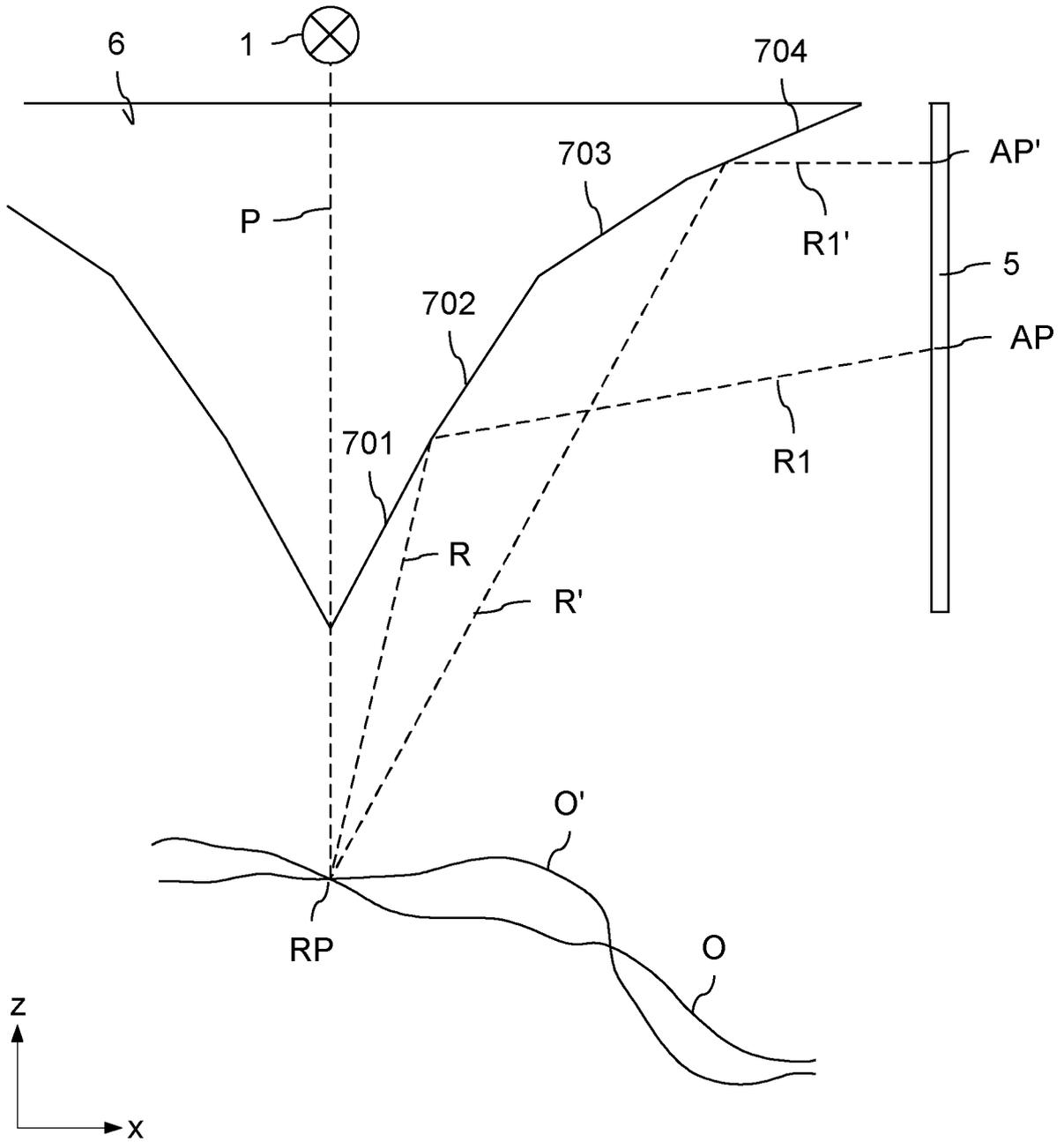


Fig. 8

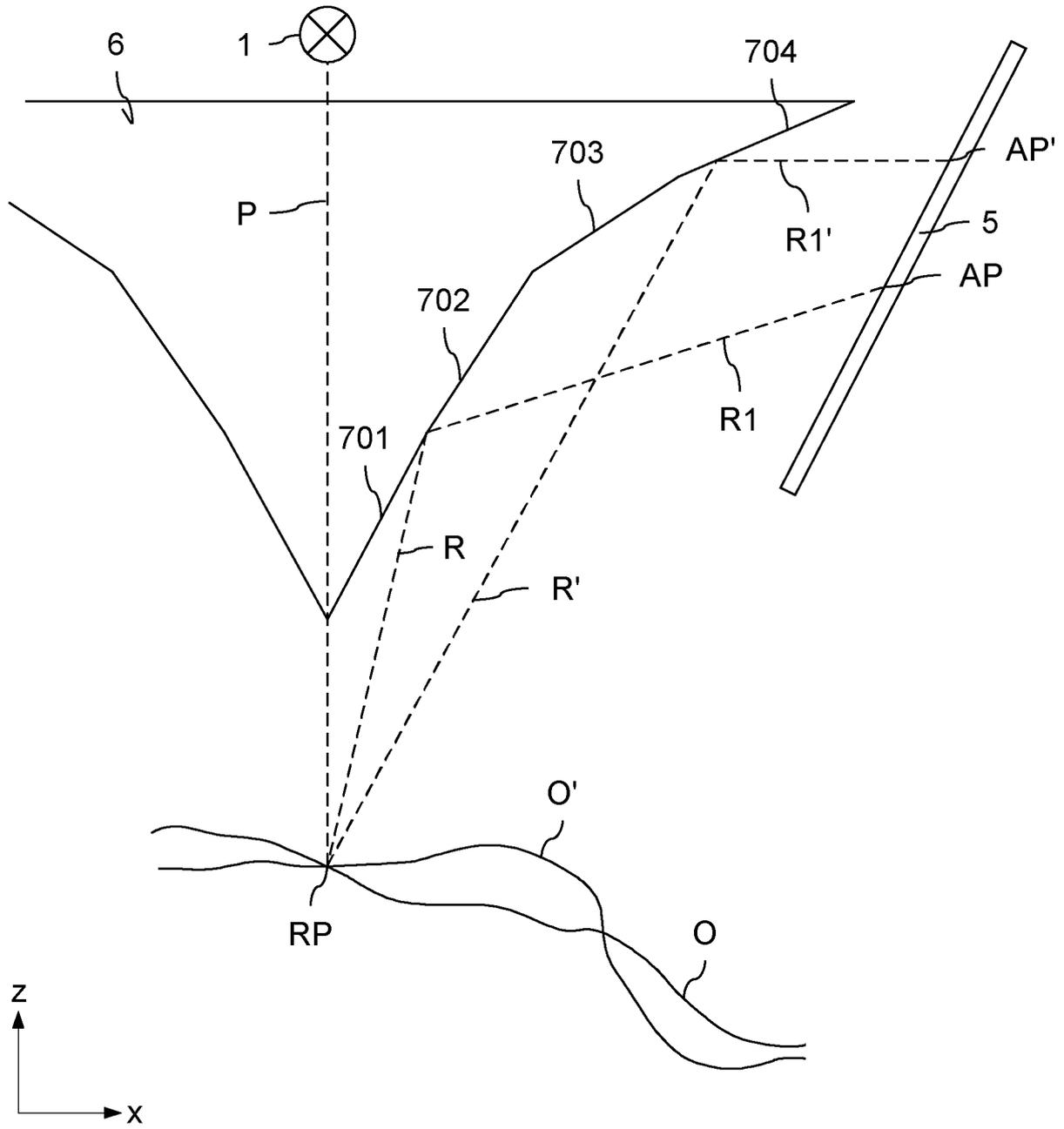


Fig. 9

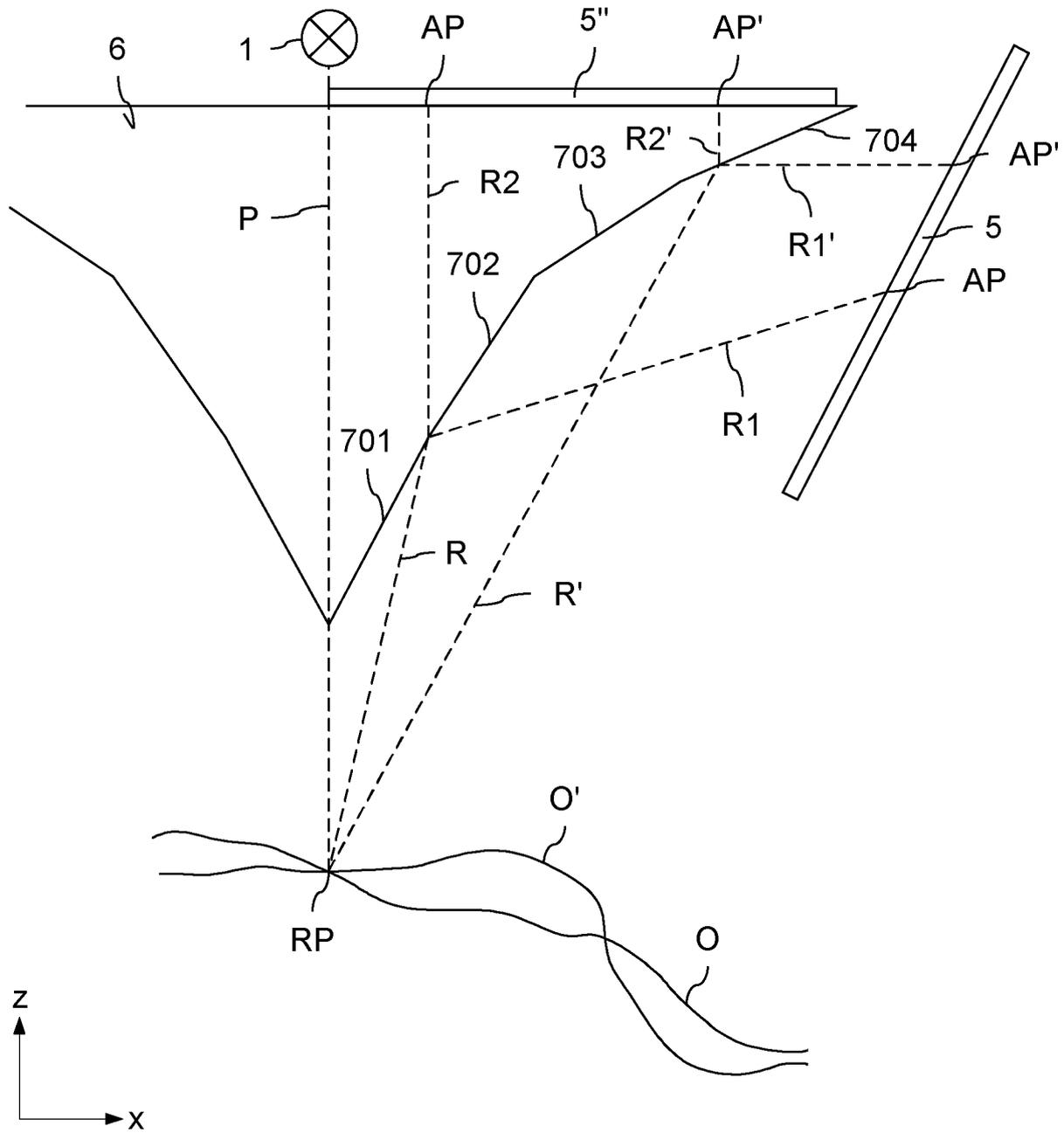


Fig. 10