



(10) **DE 10 2013 203 211 A1** 2013.12.19

(12)

Offenlegungsschrift

(21) Aktenzeichen: **10 2013 203 211.0**

(22) Anmeldetag: **27.02.2013**

(43) Offenlegungstag: **19.12.2013**

(51) Int Cl.: **G01B 11/14 (2013.01)**

G01B 9/02 (2013.01)

(66) Innere Priorität:

10 2012 210 079.2 15.06.2012

(71) Anmelder:

**Dr. Johannes Heidenhain GmbH, 83301,
Traunreut, DE**

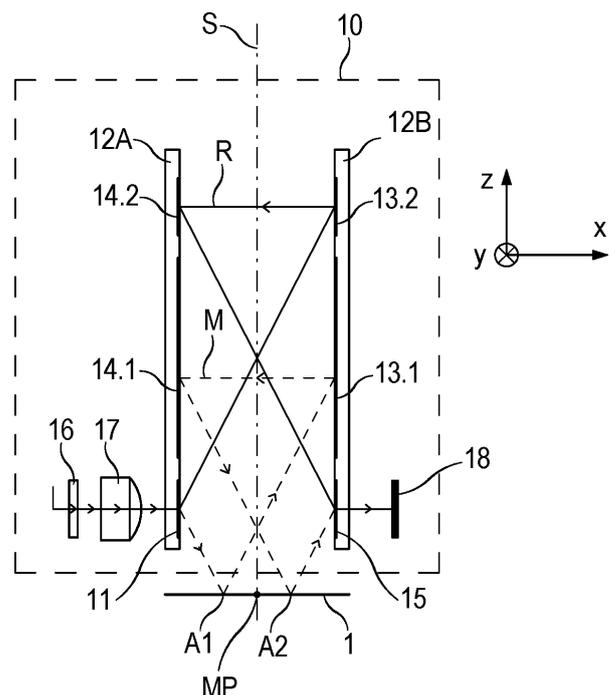
(72) Erfinder:

**Huber, Walter, Dipl.-Ing., 83278, Traunstein,
DE; Joerger, Ralph, Dr., 83278, Traunstein, DE;
Holzapfel, Wolfgang, Dr., 83119, Obing, DE**

Die folgenden Angaben sind den vom Anmelder eingereichten Unterlagen entnommen

(54) Bezeichnung: **Vorrichtung zur interferentiellen Abstandsmessung**

(57) Zusammenfassung: Die vorliegende Erfindung betrifft eine Vorrichtung zur interferentiellen Abstandsmessung. Diese umfasst einen Messreflektor, eine Lichtquelle, ein Aufspaltelement, ein Vereinigungselement sowie eine Detektoranordnung. Über das Aufspaltelement wird ein von der Lichtquelle emittiertes Strahlenbündel in mindestens ein Messstrahlenbündel und mindestens ein Referenzstrahlenbündel aufgespalten, wobei das Messstrahlenbündel im weiteren Strahlverlauf mindestens zweimal den Messreflektor beaufschlagt. Am Vereinigungselement gelangen das Messstrahlenbündel und das Referenzstrahlenbündel zur interferierenden Überlagerung. Über die Detektoranordnung ist mindestens ein Abstandssignal aus den interferierenden Mess- und Referenzstrahlenbündeln bezüglich des Abstands zwischen dem Messreflektor und ein oder mehreren anderen Komponenten der Vorrichtung entlang einer Messrichtung erzeugbar. Das Aufspaltelement ist als Aufspaltgitter ausgebildet, wobei die Lichtquelle das Strahlenbündel parallel zur Oberfläche des Messreflektors in Richtung des Aufspaltgitters emittiert. Das Aufspaltgitter ist senkrecht zur Oberfläche des Messreflektors angeordnet.



Beschreibung

[0001] Die vorliegende Erfindung betrifft eine Vorrichtung zur interferentiellen Abstandsmessung nach dem Oberbegriff von Anspruch 1.

[0002] Neben der Erfassung von Positionsänderungen zweier zueinander beweglicher Objekte in einer lateralen Richtung gibt es Messaufgaben, bei denen ausschließlich oder ggf. zusätzlich noch die Bestimmung des Abstands dieser Objekte in einer hierzu senkrechten, vertikalen Messrichtung erforderlich ist. Für eine hochgenaue Abstandsmessung entlang einer derartigen Messrichtung bieten sich interferentielle Verfahren an, wie sie etwa in der DE 10 2007 016 774 A1 oder in der DE 10 2010 003 157 A1 offenbart sind.

[0003] Die aus der DE 10 2007 016 774 A1 bekannte Vorrichtung zur interferentiellen Abstandsmessung umfasst eine auf einer Glasplatte angeordnete Strahler-Empfänger-Einheit, die in einem zu ermittelnden Abstand von einem Objekt platziert ist, wobei am Objekt ein Spiegel angeordnet ist. Auf der Glasplatte sind Aufspaltgitter angeordnet, die das von der Lichtquelle emittierte Strahlenbündel in mindestens ein Messstrahlenbündel und mindestens ein Referenzstrahlenbündel aufspalten. Das Messstrahlenbündel propagiert in Richtung des Spiegels am Objekt und wird darüber in Richtung der Strahler-Empfänger-Einheit zurückreflektiert; das Referenzstrahlenbündel propagiert ausschließlich in der Glasplatte und gelangt nach mehreren Reflexionen in der Strahler-Empfänger-Einheit zur interferierenden Überlagerung mit dem Messstrahlenbündel. Aus den derart gewonnenen Interferenzsignalen lässt sich der Abstand zwischen der Glasplatte und dem Objekt bzw. die Abstandsänderungen zwischen diesen Komponenten ermitteln. Nachteilig an dieser Vorrichtung ist zum einen, dass im Fall von Verkippungen zwischen der Glasplatte und dem Spiegel fehlerhafte Abstandssignale resultieren. Zum anderen erweist sich an dieser Vorrichtung nachteilig, dass das Messergebnis von der Wellenlänge der genutzten Lichtquelle abhängt. Die Wellenlänge kann sich aufgrund von Schwankungen der Umgebungsbedingungen verändern und derart Fehler bei der Abstandsmessung verursachen.

[0004] Die aus der DE 10 2010 003 157 A1 bekannte Vorrichtung löst die genannten Probleme aus der DE 10 2007 016 774 A1 durch eine geeignete Strahlführung der Mess- und Referenzstrahlenbündel. Zumindest in einem vorgegebenen Sollabstand ist hierbei eine Unabhängigkeit der Abstandsmessung von eventuellen Wellenlängenschwankungen sowie eine Verkippunempfindlichkeit gewährleistet.

[0005] Eine demgegenüber nochmals optimierte Vorrichtung zur interferentiellen Abstandsmessung

ist aus der Veröffentlichung „Non-contact displacement meter for pm resolution“ von Hideaki Tamiya bekannt (Precision Engineering Society of Japan; Spring Meeting March 2012) bekannt; von dieser Vorrichtung wurde bei der Bildung des Oberbegriffs von Anspruch 1 ausgegangen. Diese Vorrichtung umfasst einen Messreflektor, eine Lichtquelle, ein Aufspaltelement in Form eines Strahlteilerwürfels, ein Vereinigungselement sowie eine Detektoranordnung. Über das Aufspaltelement wird ein von der Lichtquelle emittiertes Strahlenbündel in mindestens ein Messstrahlenbündel und mindestens ein Referenzstrahlenbündel aufgespalten. Das Messstrahlenbündel beaufschlagt im weiteren Strahlverlauf vier Mal den Messreflektor, bevor es am Vereinigungselement zur interferierenden Überlagerung mit dem Referenzstrahlenbündel gelangt. Über die Detektoranordnung wird mindestens ein Abstandssignal aus den interferierenden Mess- und Referenzstrahlenbündeln bezüglich des Abstands zwischen dem Messreflektor und ein oder mehreren anderen Komponenten der Vorrichtung entlang der Messrichtung erzeugt.

[0006] Nachteilig an dieser vorgeschlagenen Vorrichtung ist, dass im Fall einer Abweichung der Ist-Wellenlänge von einer vorausgesetzten Nenn-Wellenlänge bei einer Verkippung des Messreflektors ein Messfehler bei der Abstandsbestimmung resultiert. Hierzu sei auf [Fig. 1](#) verwiesen, die eine vereinfachte Teil-Darstellung des Strahlengangs der Vorrichtung aus der erwähnten Veröffentlichung zeigt. Von links oben her fällt gemäß dieser Darstellung das Messstrahlenbündel M am Auftreffort A1 unter einem Einfallswinkel $\alpha = 45^\circ$ auf den Messreflektor MR ein, gelangt dann auf ein Gitter G und anschließend am Auftreffort A2 erneut auf den Messreflektor MR. Nach einer nicht-dargestellten Rückreflexion an einem Retroreflektor durchläuft das Messstrahlenbündel M diesen Weg in umgekehrter Richtung ein zweites Mal und beaufschlagt insgesamt vier Mal den Messreflektor MR, bevor es zur interferierenden Überlagerung mit dem – nicht gezeigten – Referenzstrahlenbündel kommt. Das derart resultierende Interferenzsignal stellt im Fall von Änderungen des Abstands des Messreflektors MR von den restlichen Komponenten entlang der in [Fig. 1](#) angegebenen Messrichtung z das zu bestimmende Abstandssignal dar.

[0007] Eine nicht im Detail dargestellte Betrachtung des k-Vektors des Messstrahlenbündels M im Verlauf des zurückgelegten Weges liefert im Fall einer Verkippung des Messreflektors MR um die angegebene y-Achse eine resultierende Phasenverschiebung Φ_K im Messstrahlenbündel M gemäß der nachfolgenden Gleichung (1):

$$\Phi_K = 8 \cdot \sqrt{2} \cdot \pi \cdot R_y \cdot \Delta x \cdot \left(\frac{1}{\lambda_0} - \frac{1}{\lambda} \right) \quad (\text{Gl. 1})$$

mit:

Φ_K := Phasenverschiebung bei Verkippung des Messreflektors MR um die y-Achse; 4 Wechselwirkungen des Messstrahlenbündels mit dem Messreflektor; $\alpha = 45^\circ$

R_y := Drehwinkel um die y-Achse

Δx := Entfernung der Auftreffpunkte A1, A2 von der Verkippungsachse in x-Richtung

λ := Ist-Wellenlänge

λ_0 := Nenn-Wellenlänge

Lichtquelle emittiertes Strahlenbündel in mindestens ein Messstrahlenbündel und mindestens ein Referenzstrahlenbündel aufgespalten, wobei das Messstrahlenbündel im weiteren Strahlverlauf mindestens zweimal den Messreflektor beaufschlagt. Am Vereinigungselement gelangen das Messstrahlenbündel und das Referenzstrahlenbündel zur interferierenden Überlagerung. Mittels der Detektoranordnung ist mindestens ein Abstandssignal aus den interferierenden Mess- und Referenzstrahlenbündeln bezüglich des Abstands zwischen dem Messreflektor und ein oder mehreren anderen Komponenten der Vorrichtung entlang einer Messrichtung erzeugbar. Das Aufspaltelement ist hierbei als Aufspaltgitter ausgebildet. Die Lichtquelle emittiert das Strahlenbündel parallel zur Oberfläche des Messreflektors in Richtung des Aufspaltgitters. Das Aufspaltgitter ist senkrecht zur Oberfläche des Messreflektors angeordnet.

[0008] Wie aus Gleichung (1) ersichtlich, resultiert bei einer derartigen Verkippung und einer Abweichung der Ist-Wellenlänge λ von der Nenn-Wellenlänge λ_0 eine Phasenverschiebung $\Phi_K \neq 0$ auf Seiten des Messstrahlenbündels M. Eine derartige Phasenverschiebung Φ_K entsteht durch die wellenlängenabhängige Ablenkung am Gitter G und die damit verbundene Verschiebung des Auftreffortes A2 im Fall $\lambda \neq \lambda_0$. Sie verursacht im erzeugten Abstandssignal eine Abstandsänderung, obwohl sich in Bezug auf den zu messenden Abstand entlang der Messrichtung z nichts geändert hat. Im Fall der Parameter $R_y = 5\text{mrad}$, $\Delta x = 5\text{mm}$; $\lambda_0 = 780\text{nm}$ und $\lambda = \lambda_0 + 5\text{nm}$ würde mit Gleichung (1) eine Phasenverschiebung $\Phi_K = 1,15 \cdot 2\pi$ im Messstrahlenbündel M resultieren, was einen erheblichen Fehler bei der Abstandsbestimmung verursacht.

[0014] Es ist möglich, dass die Lichtquelle, das Aufspaltgitter, das Vereinigungselement und die Detektoranordnung zusammen mit weiteren Komponenten in einer Abtasteinheit angeordnet sind, welche gegenüber dem Messreflektor mindestens entlang der Messrichtung abstandsvariabel angeordnet ist.

[0009] Die vorgeschlagene Vorrichtung aus der erwähnten Veröffentlichung ist demzufolge nicht unter allen Bedingungen unabhängig von möglicherweise resultierenden Wellenlängenänderungen; diese können z.B. durch sich ändernde Umgebungsbedingungen resultieren und bewirken bei Verkippungen des Messreflektors Fehlmessungen hinsichtlich des zu bestimmenden Abstands.

[0015] Es kann vorgesehen werden, dass das Aufspaltgitter auf einem plattenförmigen Trägerelement angeordnet ist und das Trägerelement senkrecht zur Oberfläche des Messreflektors orientiert angeordnet ist.

[0010] Der vorliegenden Erfindung liegt das Problem zugrunde, eine Vorrichtung zur hochgenauen interferentiellen Abstandsmessung zu schaffen, bei der der gemessene Abstand völlig unabhängig von der Wellenlänge der verwendeten Lichtquelle ist. Insbesondere sollen auch bei einer eventuellen Verkippung des Messreflektors keine Messfehler resultieren, wenn eine Abweichung der Ist-Wellenlänge von der Nenn-Wellenlänge vorliegt.

[0016] Mit Vorteil sind im Strahlengang des Referenzstrahlenbündels und des Messstrahlenbündels zwischen dem Aufspaltgitter und dem Vereinigungselement jeweils mindestens zwei Umlenkelemente angeordnet, wobei über jedes Umlenkelement auf das einfallende Strahlenbündel entweder eine Umlenkung entlang der Messrichtung (z) oder entlang und senkrecht zur Messrichtung (z) resultiert

[0011] Diese Aufgabe wird erfindungsgemäß durch eine Vorrichtung mit den Merkmalen des Anspruchs 1 gelöst.

[0017] Hierbei kann vorgesehen werden, dass über die Umlenkelemente

- ein darauf einfallendes kollimiertes Strahlenbündel ferner eine fokussierende Wirkung auf einen Linienfokus erfährt, wobei der Linienfokus sich entlang der Messrichtung erstreckt und
- auf ein darauf einfallendes divergierendes Strahlenbündel ferner eine kollimierende Wirkung resultiert.

[0012] Vorteilhafte Ausführungen der erfindungsgemäßen Vorrichtung ergeben sich aus den Maßnahmen in den abhängigen Ansprüchen.

[0018] Es ist möglich, dass die Umlenkelemente diffraktive Strukturen umfassen, die auf Trägerelementen angeordnet sind, welche senkrecht zum Messreflektor angeordnet sind.

[0013] Die erfindungsgemäße Vorrichtung zur interferentiellen Abstandsmessung umfasst einen Messreflektor, eine Lichtquelle, ein Aufspaltelement, ein Vereinigungselement sowie eine Detektoranordnung. Über das Aufspaltelement wird ein von der

[0019] Beispielsweise können die Umlenkelemente als reflektive Fresnel-Zylinderlinsen ausgebildet sein, wobei über die reflektiven Fresnel-Zylinderlinsen auf das einfallende Strahlenbündel neben einer fokussie-

renden Wirkung zusätzlich eine Umlenkung entlang der Messrichtung resultiert.

[0020] Ferner ist es möglich, dass über zwei der Umlenkelemente auf die einfallenden Strahlenbündel eine fokussierende Wirkung auf einen Linienfokus resultiert.

[0021] Desweiteren ist es möglich, dass die Umlenkelemente als transmittive Fresnel-Zylinderlinsen ausgebildet sind, die jeweils zusammen mit einem Reflektor an zwei Trägerelementen angeordnet sind, wobei

- die transmittiven Fresnel-Zylinderlinsen auf den einander zugewandten Seiten der Trägerelemente angeordnet sind und
- die Reflektoren auf den jeweils gegenüberliegenden Seiten der Trägerelemente angeordnet sind und deren reflektierende Seite in Richtung der transmittiven Fresnel-Zylinderlinsen orientiert ist, und
- die transmittiven Fresnel-Zylinderlinsen derart ausgebildet sind, dass ein darauf einfallendes kollimiertes Strahlenbündel eine linienförmige Fokussierung auf die reflektierende Seite der Reflektoren erfährt.

[0022] Alternativ können die Umlenkelemente auch als reflektive Off-Axis-Fresnel-Zylinderlinsen ausgebildet sind, die auf den einander zugewandten Seiten zweier Trägerelemente angeordnet sind.

[0023] Mit Vorteil ist vorgesehen, dass das Referenzstrahlenbündel zwischen dem Aufspaltgitter und dem Vereinigungselement ausschließlich in der Abtasteinheit propagiert.

[0024] In einer möglichen Ausführungsform ist ferner vorgesehen, dass die Strahlengänge des Mess- und Referenzstrahlenbündels zwischen dem Aufspaltgitter und dem Vereinigungselement jeweils spiegelsymmetrisch zu einer Symmetrieebene verlaufen, die senkrecht zur Oberfläche des Messreflektors orientiert ist.

[0025] Es ist ferner möglich, dass die Umlenkelemente als transmittive Fresnel-Zylinderlinsen ausgebildet sind, die auf gegenüberliegenden Seiten eines plattenförmigen Trägerelements angeordnet sind, das zwischen zwei äußeren plattenförmigen Trägerelementen platziert ist und an denen das Aufspaltgitter und ein Vereinigungselement angeordnet sind.

[0026] Hierbei kann vorgesehen sein, dass die Komponenten in der Abtasteinheit derart angeordnet und ausgebildet sind, dass

– das Messstrahlenbündel vom Aufspaltgitter in Richtung des Messreflektors propagiert und dort an einem ersten Auftreffort eine erste Reflexion in Richtung des ersten Umlenkelements in der Abtasteinheit erfährt und

– das Messstrahlenbündel dann am ersten Umlenkelement eine Umlenkung in Richtung eines zweiten Umlenkelements erfährt und

– das Messstrahlenbündel dann am zweiten Umlenkelement eine Umlenkung in Richtung des Messreflektors erfährt und dort an einem zweiten Auftreffort eine zweite Reflexion in Richtung des Vereinigungselements erfährt und

– das Referenzstrahlenbündel vom Aufspaltgitter in Richtung des ersten Umlenkelements propagiert und dort eine Umlenkung in Richtung des zweiten Umlenkelements erfährt und

– das Referenzstrahlenbündel am zweiten Umlenkelement eine Umlenkung in Richtung des Vereinigungselements erfährt.

[0027] In einer möglichen Ausführungsform ist vorgesehen, dass das Vereinigungselement als Vereinigungsgitter ausgebildet und senkrecht zur Oberfläche des Messreflektors angeordnet ist.

[0028] Als wichtiger Vorteil der erfindungsgemäßen Lösung resultiert eine völlige Unabhängigkeit der Abstandsmessung von eventuellen Wellenlängenänderungen. Dies ist darauf zurückzuführen, dass die zurückgelegten optischen Weglängen der interferierenden Mess- und Referenzstrahlenbündel für alle Abstände des Messreflektors identisch sind. Eventuelle Wellenlängenschwankungen beeinflussen daher die Abstandsmessung in der erfindungsgemäßen Vorrichtung weder im Normalbetrieb noch bei eventuellen Verkipnungen des Messreflektors.

[0029] Weiterhin vorteilhaft erweist sich aufgrund der symmetrischen Strahlführung in der erfindungsgemäßen Vorrichtung, dass sich der effektive Messpunkt auf dem Messreflektor auch bei Abstandsänderungen lagemäßig nicht verschiebt, sondern stets mittig zwischen den Auftreffpunkten des Messstrahlenbündels auf dem Messreflektor liegt.

[0030] Schließlich ist noch als Vorteil der erfindungsgemäßen Vorrichtung anzuführen, dass darin breitbandige Lichtquellen wie z.B. LEDs verwendet werden können.

[0031] Weitere Einzelheiten und Vorteile der vorliegenden Erfindung seien anhand der nachfolgenden Beschreibung von Ausführungsbeispielen der erfindungsgemäßen Vorrichtung in Verbindung mit den Figuren erläutert.

[0032] Es zeigt

[0033] [Fig. 1](#) eine schematisierte Darstellung zur Erläuterung einer bekannten Vorrichtung gemäß dem Stand der Technik;

[0034] [Fig. 2](#) eine analoge Darstellung zu [Fig. 1](#), anhand der die erfindungsgemäße Vorrichtung erläutert wird;

[0035] [Fig. 3](#) eine schematisierte Darstellung des Strahlengangs eines ersten Ausführungsbeispiels der erfindungsgemäßen Vorrichtung in einer ersten Ansicht;

[0036] [Fig. 4](#) eine Schnittansicht des Strahlengangs des ersten Ausführungsbeispiels der erfindungsgemäßen Vorrichtung;

[0037] [Fig. 5](#) eine Draufsicht auf Trägerelemente des ersten Ausführungsbeispiels mit den darauf angeordneten Umlenkelementen;

[0038] [Fig. 6](#) eine schematisierte Darstellung zum Strahlengang des ersten Ausführungsbeispiels im Fall einer Messreflektor-Verkipfung;

[0039] [Fig. 7](#) eine schematisierte Darstellung des Strahlengangs einer Variante des ersten Ausführungsbeispiels der erfindungsgemäßen Vorrichtung;

[0040] [Fig. 8](#) eine schematisierte Darstellung des Strahlengangs eines zweiten Ausführungsbeispiels der erfindungsgemäßen Vorrichtung in einer ersten Ansicht;

[0041] [Fig. 9a](#) eine schematisierte Darstellung des Strahlengangs des zweiten Ausführungsbeispiels der erfindungsgemäßen Vorrichtung in einer zweiten Ansicht;

[0042] [Fig. 9b](#) eine andere Darstellung des Strahlengangs der Ansicht aus [Fig. 9a](#);

[0043] [Fig. 10](#) eine Draufsicht auf Trägerelemente des zweiten Ausführungsbeispiels mit den dort angeordneten verschiedenen Umlenkelementen;

[0044] [Fig. 11](#) eine Draufsicht auf den Messreflektor des zweiten Ausführungsbeispiels mit den verschiedenen Auftrefforten des Messstrahlenbündels;

[0045] [Fig. 12](#) eine schematisierte Darstellung des Strahlengangs eines dritten Ausführungsbeispiels der erfindungsgemäßen Vorrichtung in einer ersten Ansicht;

[0046] [Fig. 13a](#) eine schematisierte Darstellung des Strahlengangs des dritten Ausführungsbeispiels der erfindungsgemäßen Vorrichtung in einer zweiten Ansicht;

[0047] [Fig. 13b](#) eine andere Darstellung des Strahlengangs der Ansicht aus [Fig. 13a](#);

[0048] [Fig. 14](#) eine Draufsicht auf Trägerelemente des dritten Ausführungsbeispiels mit den dort angeordneten verschiedenen Umlenkelementen;

[0049] [Fig. 15](#) eine Draufsicht auf den Messreflektor des dritten Ausführungsbeispiels mit den verschiedenen Auftrefforten des Messstrahlenbündels;

[0050] [Fig. 16](#) eine schematisierte Darstellung des Strahlengangs eines vierten Ausführungsbeispiels der erfindungsgemäßen Vorrichtung in einer ersten Ansicht;

[0051] [Fig. 17](#) eine Schnittansicht des Strahlengangs des vierten Ausführungsbeispiels der erfindungsgemäßen Vorrichtung;

[0052] [Fig. 18](#) mehrere Draufsichten auf verschiedene Elemente des vierten Ausführungsbeispiels.

[0053] Bevor nachfolgend die einzelnen Ausführungsbeispiele der erfindungsgemäßen Vorrichtung zur interferentiellen Abstandsmessung im Detail beschrieben werden, seien zunächst einige grundsätzliche Überlegungen zur erfindungsgemäßen Vorrichtung anhand von [Fig. 2](#) erläutert.

[0054] [Fig. 2](#) zeigt hierbei eine Teil-Darstellung des Verlaufs des Messstrahlenbündels M in einer möglichen Ausführungsform der erfindungsgemäßen Vorrichtung analog zu [Fig. 1](#). Das von oben her senkrecht auf das Aufspaltgitter AG einfallende Strahlenbündel SB wird an diesem in ein Messstrahlenbündel M sowie ein – nicht gezeigtes – Referenzstrahlenbündel aufgespalten. Das Messstrahlenbündel M beaufschlagt auf den Auftrefforten A1, A2 in dieser Variante zwei Mal den Messreflektor MR, wird mehrere Male durch senkrecht zum Messreflektor MR stehende Umlenkelemente bzw. Gitter umgelenkt und gelangt schließlich zur interferierenden Überlagerung mit dem Referenzstrahlenbündel.

[0055] Der k-Vektor k_0 des einfallenden Strahlenbündels SB sei gegeben gemäß

$$k_0 = \frac{2\pi}{\lambda} \quad (\text{Gl. 2.1})$$

mit

$$\lambda := \text{Wellenlänge}$$

[0056] Der Gittervektor k_G des Aufspaltgitters AG sei gegeben gemäß

$$k_G = \frac{2\pi}{d} \quad (\text{Gl. 2.2})$$

mit:

d := Gitterperiode des Aufspaltgitters AG

[0057] Die z-Komponente k_z des k-Vektors des auf den Messreflektor MR einfallenden Messstrahlenbündels M ergibt sich gemäß

$$k_z = \frac{2\pi}{d} \quad (\text{Gl. 3.1})$$

[0058] Die Änderung Δk_z der z-Komponente des k-Vektors des Messstrahlenbündels M nach einer Reflexion am Messreflektor MR ergibt sich gemäß

$$k_z = \frac{4\pi}{d} \quad (\text{Gl. 3.2})$$

[0059] Im Fall einer Verschiebung und/oder Verkippung des Messreflektors MR um die y-Achse resultieren für das Messstrahlenbündel M an den Auftrefforten A1, A2 die Phasenverschiebungen Φ_1, Φ_2 gemäß

$$\Phi_1 = \Delta k_1 \cdot \Delta z_1 = \frac{4\pi}{d} \cdot (\Delta z - R_y \cdot \Delta x) \quad (\text{Gl. 4.1})$$

$$\Phi_2 = \Delta k_2 \cdot \Delta z_2 = \frac{4\pi}{d} \cdot (\Delta z + R_y \cdot \Delta x) \quad (\text{Gl. 4.2})$$

mit:

Φ_1, Φ_2 := Phasenverschiebungen Φ_1, Φ_2 des Messstrahlenbündels an den Auftrefforten A1, A2

$\Delta k_1, \Delta k_2$:= Änderung der z-Komponente des k-Vektors des Messstrahlenbündels am Messreflektor an den Auftrefforten A1, A2

$\Delta z_1, \Delta z_2$:= Positionsverlagerung des Messreflektors in z-Richtung an den Auftrefforten A1, A2

Δz := Positionsverlagerung des Messreflektors in z-Richtung bei Verschiebung entlang der z-Achse

R_y := Drehwinkel des Messreflektors um eine Verkippachse, die parallel zur y-Achse durch den Punkt MP läuft

Δx := Abstand der Auftrefforte A1, A2 von der Verkippachse des Messreflektors entlang der x-Achse

[0060] Die gesamte resultierende Phasenverschiebung Φ ergibt sich dann gemäß

$$\Phi = \Phi_1 + \Phi_2 = \frac{4\pi}{d} \cdot 2\Delta z = \frac{8\pi}{d} \cdot \Delta z \quad (\text{Gl. 5})$$

[0061] In Gleichung 5 geht demzufolge im Unterschied zum eingangs diskutierten Stand der Technik (Gleichung 1) nicht die aktuelle Wellenlänge λ ein. Die Unabhängigkeit der Abstandsbestimmung von der Wellenlänge λ ist hierbei insbesondere auch für den Fall einer Verkippung des Messreflektors MR um

[0062] die y-Achse gegeben, d.h. wenn für diesen Fall $\Delta z = 0$ gilt, so ergibt sich aus den Gleichungen

(4.1), (4.2) und (5) $\Phi_K = 0$, da bei Addition der Phasenverschiebungen Φ_1 und Φ_2 der kippwinkelabhängige Term $R_y \cdot \Delta x$ wegfällt. Im Gegensatz hierzu wird der kippwinkelabhängige Term im eingangs diskutierten Stand der Technik durch Gleichung (1) beschrieben.

[0063] Eine eventuelle Verkippung des Messreflektors MR um die y-Achse bewirkt demzufolge in der erfindungsgemäßen Vorrichtung keine Phasenverschiebung Φ_K auf Seiten des Messstrahlenbündels M. Die Abstandsmessung ist in der erfindungsgemäßen Vorrichtung damit in allen Fällen unabhängig von einer eventuellen Wellenlängenänderung.

[0064] Maßgeblich für diese Unabhängigkeit verantwortlich ist in der erfindungsgemäßen Vorrichtung, dass das auf das Aufspaltgitter AG einfallende Strahlenbündel SB parallel zum Messreflektor MR verläuft und alle weiteren Strahlumlenkungen in Richtung des Messreflektors MR ebenfalls durch senkrecht zum Messreflektor MR stehende Umlenkelemente respektive Gitter erfolgen. Dadurch werden einerseits bei einer Wellenlängenänderung der Lichtquelle die beiden Auftreffpunkte A1, A2 stets gegenläufig, d.h. symmetrisch, zum Messpunkt MP verschoben. Andererseits sind die z-Komponenten k_z der k-Vektoren des Messstrahlenbündels M bei jedem Auftreffen auf den Messreflektor MR allein durch die Gitterkonstanten des Aufspaltgitters sowie der weiteren Gitter der verschiedenen Umlenkelemente gegeben und damit wellenlängenunabhängig. Folglich sind auch die Änderungen $\Delta k_1, \Delta k_2$ in Gleichung (4.1) und (4.2) und damit die Umsetzung der Verschiebungen $\Delta z_1, \Delta z_2$ in entsprechende Phasenverschiebungen Φ_1, Φ_2 jeweils wellenlängenunabhängig.

[0065] Anhand der [Fig. 3](#), [Fig. 4](#) und [Fig. 5](#) wird nachfolgend ein erstes Ausführungsbeispiel der erfindungsgemäßen Vorrichtung zur interferentiellen Abstandsmessung im Detail beschrieben. [Fig. 3](#) zeigt eine schematisierte Darstellung des Strahlengangs dieses Ausführungsbeispiels in einer ersten seitlichen Ansicht, [Fig. 4](#) einen Teil des Strahlengangs in einer zweiten Ansicht und [Fig. 5](#) eine Draufsicht auf Trägerelemente dieser Vorrichtung mit den darauf angeordneten Umlenkelementen.

[0066] Die erfindungsgemäße Vorrichtung umfasst einen Messreflektor **1** sowie eine Reihe weiterer Komponenten **11–18**, die im vorliegenden Ausführungsbeispiel in einer schematisiert angedeuteten Abtasteinheit **10** angeordnet sind. Zu den in der Abtasteinheit **10** vorgesehenen Komponenten **11–18** gehören eine Lichtquelle **16**, eine Kollimatoroptik **17**, eine Detektoranordnung **18** sowie zwei Trägerelemente **12A, 12B**, an denen weitere Komponenten mit optischer Funktionalität angeordnet sind; hierzu gehören etwa ein Aufspaltgitter **11**, Umlenkelemente

14.1, 14.2 am Trägerelement **12A** und ein als Vereinigungsgitter **15** ausgebildetes Vereinigungselement sowie weitere Umlenkelemente **13.1, 13.2** am Trägerelement **12B**.

[0067] Der Messreflektor **1** ist gegenüber der Abtasteinheit bzw. gegenüber zumindest einem Teil der anderen Komponenten **11–18** entlang einer Messrichtung abstandsvariabel angeordnet; die Messrichtung wird in den Figuren jeweils mit der Koordinate z bezeichnet. Beispielsweise können der Messreflektor **1** einerseits und die Abtasteinheit **10** andererseits mit – nicht dargestellten – Maschinenkomponenten verbunden sein, die entlang der Messrichtung z gegeneinander beweglich sind. Über die erfindungsgemäße Vorrichtung zur interferentiellen Abstandsmessung werden Abstandssignale bezüglich des Abstands bzw. bezüglich Abstandsänderungen zwischen dem Messreflektor **1** und der Abtasteinheit bzw. zumindest einem Teil der anderen Komponenten **11–18** entlang der Messrichtung z erzeugt. Diese Abstandssignale können dann von einer nachgeordneten, ebenfalls nicht dargestellten Maschinensteuerung weiterverarbeitet werden.

[0068] Alternativ zur Anordnung aller Komponenten **11–18** in einer gemeinsamen Abtasteinheit **10** kann im Rahmen der vorliegenden Erfindung z.B. auch vorgesehen sein, die Lichtquelle und/oder die Detektoranordnung örtlich getrennt von der Abtasteinheit anzuordnen und über Lichtwellenleiter mit der Abtasteinheit zu verbinden, in der die weiteren Komponenten angeordnet sind etc.

[0069] Zur Erzeugung der abstandsabhängigen Abstandssignale entlang der Messrichtung z wird in der erfindungsgemäßen Vorrichtung ein interferentielles optisches Prinzip genutzt. Der hierzu vorgesehene Abtaststrahlengang des ersten Ausführungsbeispiels wird nachfolgend im Detail erläutert.

[0070] Eine Lichtquelle **16**, beispielsweise ausgebildet als punktförmiger oder nahezu punktförmiger Halbleiterlaser, emittiert ein Strahlenbündel, das von einer Kollimationsoptik **17** kollimiert wird; als alternative Lichtquelle kommt auch eine LED an dieser Stelle in Betracht. Das kollimierte Strahlenbündel trifft dann auf ein Aufspaltelement auf, das als Aufspaltgitter **11** in Form eines Transmissions-Phasengitters ausgebildet ist. Wie aus [Fig. 3](#) ersichtlich, ist das Aufspaltgitter senkrecht zum Messreflektor **1** angeordnet, d.h. die Gitterebene des Aufspaltgitters steht senkrecht auf der Oberfläche des Messreflektors **1**. Die Lichtquelle **16** emittiert das abgegebene Strahlenbündel parallel zur Oberfläche des Messreflektors **1** in Richtung des Aufspaltgitters **11**. Diese Richtung ist in den Figuren als x -Richtung bezeichnet; nachfolgend sei hierbei auch die Rede von der Lichteinfallrichtung x .

[0071] Am Aufspaltgitter **11** wird das von der Lichtquelle **16** her einfallende, kollimierte Strahlenbündel in ein Messstrahlenbündel M und ein Referenzstrahlenbündel R aufgespalten. Das Aufspaltgitter **11** spaltet hierzu das einfallende Strahlenbündel in $+1.$ und $-1.$ Beugungsordnungen auf, wobei die $-1.$ Beugungsordnung nachfolgend als Messstrahlenbündel M fungiert und die $+1.$ Beugungsordnung als Referenzstrahlenbündel R . Im dargestellten Ausführungsbeispiel wird vom Aufspaltgitter **11** die $0.$ Beugungsordnung möglichst vollständig unterdrückt.

[0072] Das Messstrahlenbündel M propagiert vom Aufspaltgitter **11** sodann in Richtung des Messreflektors **1** und erfährt dort an einem ersten Auftreffort $A1$ eine erste Reflexion in Richtung eines ersten Umlenkelements **13.1** in der Abtasteinheit **10**. Das an einem Trägerelement **12B** angeordnete erste Umlenkelement **13.1** ist als reflektive Fresnel-Zylinderlinse mit zusätzlicher Umlenfunktion in Messrichtung z ausgebildet und übt bestimmte optische Wirkungen auf das darauf einfallende Messstrahlenbündel M aus.

[0073] So erfährt das auf das erste Umlenkelement **13.1** einfallende Messstrahlenbündel M hierbei eine Umlenkung entlang der Messrichtung z . Dies bedeutet, dass in der xz -Ebene das von schräg links unten auf das erste Umlenkelement **13.1** einfallende Messstrahlenbündel M wieder parallel zum auf das Aufspaltgitter **11** einfallende Beleuchtungsstrahlenbündel ausgerichtet wird. Das vom ersten Umlenkelement **13.1** umgelenkte bzw. reflektierte Messstrahlenbündel M propagiert somit parallel zur Oberfläche des Messreflektors **1** entgegengesetzt zur Lichteinfallrichtung x in Richtung des zweiten Umlenkelements **14.1** am gegenüberliegenden Trägerelement **12A**.

[0074] Neben der Umlenkung entlang der Messrichtung z übt das erste Umlenkelement **13.1** auf das darauf einfallende kollimierte Messstrahlenbündel M eine weitere optische Wirkung aus. So erfährt das kollimierte Messstrahlenbündel M über das erste Umlenkelement **13.1** ferner eine fokussierende Wirkung auf einen Linienfokus L hin, d.h. das kollimierte Messstrahlenbündel M wird über das erste Umlenkelement **13.1** linienförmig fokussiert. Der resultierende Linienfokus L erstreckt sich hierbei – wie insbesondere aus [Fig. 4](#) ersichtlich – entlang der Messrichtung z und liegt genau in der Mitte zwischen den beiden Trägerelementen **12A, 12B**.

[0075] Die beiden senkrecht zum Messreflektor **1** orientierten Trägerelemente **12A, 12B** sind im vorliegenden Ausführungsbeispiel als Glasplatten ausgebildet. Aufgrund der Orientierung der beiden Trägerelemente **12A, 12B** sind damit alle darauf angeordneten Elemente, d.h. die verschiedenen Umlenkelemente **13.1, 13.2, 14.1, 14.2** sowie die Aufspalt-

und Vereinigungsgitter **11**, **15**, ebenfalls senkrecht zur Oberfläche des Messreflektors **1** angeordnet.

[0076] Wie aus **Fig. 3** ersichtlich, propagiert das Messstrahlenbündel **M** entgegengesetzt zur Lichteinfallrichtung x dann zu einem zweiten Umlenkelement **14.1**, das am gegenüberliegenden Trägerelement **12A** angeordnet ist. Das zweite Umlenkelement **14.1** ist im vorliegenden Ausführungsbeispiel ebenfalls als Fresnel-Zylinderlinse mit zusätzlicher Umlenkfunktion in z -Richtung ausgebildet, die identisch zur Fresnel-Zylinderlinse des ersten Umlenkelements **13.1** ist.

[0077] Über das zweite Umlenkelement **14.1** wird zum einen wieder eine Umlenkung auf das darauf einfallende Messstrahlenbündel **M** entlang der Messrichtung z in der xz -Ebene ausgeübt. Das von rechts auf das zweite Umlenkelement **14.2** einfallende Messstrahlenbündel wird dabei vom zweiten Umlenkelement **14.2** nach rechts unten in Richtung des Messreflektors **1** umgelenkt; dort trifft es an einem zweiten Auftreffort **A2** erneut auf den Messreflektor **1**. Der erste und zweite Auftreffort **A1**, **A2** des Messstrahlenbündels **M** auf dem Messreflektor **1** liegen in der Lichteinfallrichtung x voneinander beabstandet.

[0078] Neben einer derartigen Umlenkung resultiert auch über das zweite Umlenkelement **14.2** eine weitere optische Wirkung auf das darauf einfallende Messstrahlenbündel **M**. Wie aus **Fig. 4** ersichtlich propagiert ab dem Linienfokus **L** ein divergierendes Messstrahlenbündel **M** in Richtung des zweiten Umlenkelements **14.1**. Das zweite Umlenkelement **14.1** übt auf das einfallende divergierende Messstrahlenbündel **M** neben der erwähnten Umlenkung ferner eine kollimierende Wirkung aus, d.h. in Richtung des zweiten Auftrefforts **A2** auf dem Messreflektor **1** propagiert wieder ein kollimiertes Messstrahlenbündel **M**.

[0079] Am zweiten Auftreffort **A2** am Messreflektor **1** erfährt das Messstrahlenbündel **M** eine zweite Reflexion und propagiert schließlich in Richtung des Vereinigungsgitters **15** in der Abtasteinheit **10**.

[0080] Das am Aufspaltgitter **11** als +1. Beugungsordnung resultierende Referenzstrahlenbündel **R** propagiert zunächst in Richtung eines dritten Umlenkelements **13.2**, das am Trägerelement **12B** in Messrichtung z oberhalb des ersten Umlenkelements **13.1** angeordnet ist. Das dritte Umlenkelement **13.2** ist ebenfalls als Fresnel-Zylinderlinse mit zusätzlicher Umlenkfunktion in z -Richtung ausgebildet, die wiederum identisch zu den Fresnel-Zylinderlinsen des ersten und zweiten Umlenkelements **13.1**, **14.1** ist. Das dritte Umlenkelement **13.2** übt aufgrund der identischen Ausbildung wie das erste Umlenkelement **13.1** und aufgrund identischer Einfallswinkel des Referenzstrahlenbündels **R** auf das dritte Umlenkele-

ment **13.2** und des Messstrahlenbündels **M** auf das erste Umlenkelement **13.1** die identischen optischen Wirkungen auf das einfallende Referenzstrahlenbündel **R** aus wie das erste Umlenkelement **13.1** auf das einfallende Messstrahlenbündel **M**. Neben der Umlenkung entlang der Messrichtung z resultiert demzufolge darüber die oben erwähnte fokussierende Wirkung auf einen Linienfokus in der Mitte zwischen den Trägerelementen **12A**, **12B** auf das Referenzstrahlenbündel **R**.

[0081] Vom dritten Umlenkelement **13.2** propagiert das derart beeinflusste Referenzstrahlenbündel **R** sodann zu einem vierten Umlenkelement **14.2**, das in Messrichtung z oberhalb des zweiten Umlenkelements **14.1** am Trägerelement **12A** angeordnet ist. Als viertes Umlenkelement **14.2** fungiert wie im Fall der anderen drei Umlenkelemente **13.1**, **13.2**, **14.1** eine reflektive Fresnel-Zylinderlinse mit zusätzlicher Umlenkfunktion in z -Richtung, die identisch zu diesen drei Umlenkelementen **13.1**, **13.2**, **14.1** ausgebildet ist. Am vierten Umlenkelement **14.2** erfährt das darauf entgegen der Lichteinfallrichtung x einfallende Referenzstrahlenbündel **R** demzufolge eine Umlenkung nach rechts unten in Richtung des Vereinigungsgitters **15**. Ferner wird das divergent auf das vierte Umlenkelement **14.2** einfallende Referenzstrahlenbündel **R** von diesem kollimiert, d.h. in Richtung des Vereinigungsgitters **15** propagiert das kollimierte Referenzstrahlenbündel **R**.

[0082] Wie aus der Beschreibung des Strahlengangs des Referenzstrahlenbündels **R** und den zugehörigen Figuren ersichtlich, propagiert in diesem Ausführungsbeispiel das Referenzstrahlenbündel **R** zwischen dem Aufspaltgitter **11** und dem Vereinigungsgitter **15** ausschließlich in der Abtasteinheit **10**.

[0083] Am Vereinigungsgitter **15** treffen das Referenz- und Messstrahlenbündel **R**, **M** aufgrund der gewählten identischen Ausbildung der Umlenkelemente **13.1**, **13.2**, **14.1**, **14.2** und deren vorgesehener Anordnung in der Abtasteinheit **10** unter entgegengesetzt symmetrischen Einfallswinkeln auf und kommen dort zur interferierenden Überlagerung.

[0084] Über die dem Vereinigungsgitter **15** nachgeordnete Detektoranordnung **18** kann im Fall von Abstandsänderungen zwischen dem Messreflektor **1** und der Abtasteinheit **10** entlang der Messrichtung z ein periodisches Abstandssignal erfasst werden, das zur Weiterverarbeitung zur Verfügung steht. Um hierbei auch Informationen bzgl. der Richtung einer Abstandsänderung verfügbar zu haben, ist die Erzeugung mehrerer phasenverschobener Abstandssignale vorteilhaft. So können beispielsweise drei um jeweils 120° phasenverschobene Abstandssignale oder aber vier um jeweils 90° zueinander phasenverschobene Abstandssignale erzeugt werden. Zur Erzeugung phasenverschobener Abstandssignale ste-

hen grundsätzlich verschiedene bekannte Möglichkeiten zur Verfügung, die jeweils in der erfindungsgemäßen Vorrichtung zum Einsatz kommen können.

[0085] So lassen sich etwa drei um 120° phasenverschobene Abstandssignale erzeugen, indem das Steg-Lücke-Verhältnis und die Ätztiefe bzw. der Phasenhub des Vereinigungsgitters **15** geeignet gewählt wird.

[0086] Eine Erzeugung von vier um 90° phasenverschobenen Abstandssignalen ist über die Erzeugung eines Vernierstreifenmusters in der Detektionsebene und der Anordnung eines sog. strukturierten Detektors in der Detektoranordnung **18** möglich. In diesem Fall wäre die Teilungsperiode des Vereinigungsgitters **15** geringfügig abweichend von der Teilungsperiode des Aufspaltgitters **11** zu wählen.

[0087] Schließlich ist eine Erzeugung von vier um 90° phasenverschobenen Abstandssignalen auch polarisationsoptisch realisierbar. Hierzu wären geeignete polarisationsoptische Bauelemente in den Strahlengängen des Messstrahlenbündels M und des Referenzstrahlenbündels R anzuordnen.

[0088] Zu den drei angedeuteten Möglichkeiten, in der erfindungsgemäßen Vorrichtung mehrere phasenverschobene Abstandssignale zu erzeugen, sei an dieser Stelle ausdrücklich auf die DE 10 2010 003 157 A1 verwiesen. Die dort beschriebenen Maßnahmen können in Bezug auf die Erzeugung phasenverschobener Abstandssignale auch in der vorliegenden Erfindung genutzt werden.

[0089] Aufgrund des beschriebenen Abtaststrahlengangs der erfindungsgemäßen Vorrichtung ist eine völlige Unabhängigkeit der Abstandsmessung von der Lichtquellen-Wellenlänge gewährleistet, da die zurückgelegten optischen Weglängen des Messstrahlenbündels M und des Referenzstrahlenbündels R für alle Abstände des Messreflektors **1** von der Abtasteinheit **10** gleich sind. Eventuell resultierende Wellenlängenänderungen beeinflussen die aus den resultierenden Abstandssignalen generierten Positionswerte nicht, insbesondere auch nicht im Fall einer eventuellen Verkippung des Messreflektors **1**.

[0090] Wegen der Spiegelsymmetrie des Abtaststrahlengangs in der xz-Ebene zu einer mittigen Symmetrieebene S zwischen den beiden Trägerelementen **12A**, **12B** verschiebt sich bei Abstandsänderungen entlang der Messrichtung z zudem der effektive Messpunkt MP auf dem Messreflektor **1** nicht. Die Symmetrieebene S ist gemäß [Fig. 1](#) wie die Trägerelemente **12A**, **12B** senkrecht in Bezug auf den Messreflektor **1** orientiert. Wie aus [Fig. 3](#) ferner ersichtlich, liegt der effektive Messpunkt MP in Lichteinfallrichtung x mittig zwischen den beiden Auftref-

orten A1, A2 des Messstrahlenbündels M auf dem Messreflektor **1**.

[0091] In einer möglichen konkreten Ausführung des ersten Ausführungsbeispiels der erfindungsgemäßen Vorrichtung wird eine Lichtquelle **16** verwendet, die Strahlung mit einer Wellenlänge $\lambda = 850\text{nm}$ emittiert; die Teilungsperioden des Aufspaltgitters **11** und des Vereinigungsgitters **15** betragen jeweils 960nm . Auch die effektive Ablenkung der Umlenkelemente **13.1**, **13.2**, **14.1**, **14.2** in z-Richtung, d.h. der fokussierenden Elemente mit Umlenkelemente, entspricht an jeder Stelle einem Gitter mit einer Teilungsperiode von 960nm . Der Abstand der beiden Trägerelemente **12A**, **12B** in x-Richtung wird mit 12mm gewählt. Für die periodischen Abstandssignale resultiert im Fall einer Abstandsänderung zwischen dem Messreflektor **1** und der Abtasteinheit **10** eine Signalperiode der Abstandssignale von 240nm .

[0092] Sowohl im vorliegenden ersten Ausführungsbeispiel wie auch in den nachfolgenden Ausführungsbeispielen der erfindungsgemäßen Vorrichtung ist jeweils vorgesehen, dass die Umlenkelemente diffraktive Strukturen bzw. Gitterteilungen umfassen, die jeweils senkrecht zum Messreflektor **1** angeordnet sind. Im Detail unterscheiden sich die jeweils vorgesehenen diffraktiven Strukturen der verschiedenen Varianten, wie dies nachfolgend im Einzelnen noch erläutert wird.

[0093] Anhand von [Fig. 6](#) sei nachfolgend noch veranschaulicht, wie sich beim ersten Ausführungsbeispiel der erfindungsgemäßen Vorrichtung die Ausrichtung des Messstrahlenbündels M gegenüber dem Referenzstrahlenbündel R im Fall einer Verkippung des Messreflektors MR um die y-Achse verändert. Dargestellt ist hier in schematischer Form der Strahlengang des Mess- und Referenzstrahlenbündels bei einer Verkippung des Messreflektors MR um den Kippwinkel α .

[0094] In der [Fig. 6](#) bezeichnen β , α und δ die nachfolgenden Größen:

β := Beugungswinkel der Umlenkelemente bzw. der hierzu genutzten diffraktiven Strukturen
 α := Kippwinkel des Messreflektors bei Verkippung um die y-Achse
 δ := Winkel zwischen Messstrahlenbündel M und Referenzstrahlenbündel R nach dem Vereinigungsgitter

[0095] Für den Winkel δ ergibt sich hierbei:

$$2\delta = 2 \cdot N \cdot \sin\beta \cdot \alpha \quad (\text{Gl. 6})$$

mit:
 α , β , δ wie vorab definiert und

N:= Anzahl der Wechselwirkungen des Messstrahlenbündels mit dem Messreflektor (N = 2 im ersten Ausführungsbeispiel; N = 4 im zweiten und dritten Ausführungsbeispiel)

[0096] Gemäß Gleichung 6 hängt die Strahlrichtungsdifferenz zwischen dem Messstrahlenbündel M und dem Referenzstrahlenbündel R nur in höherer Ordnung von einer Verkippung des Messreflektors MR um die y-Achse ab. Dies bedeutet, dass sich eine derartige Verkippung des Messreflektors MR um die y-Achse im vorliegenden Ausführungsbeispiel der erfindungsgemäßen Vorrichtung nur gering auf den Modulationsgrad und die Amplitude der erzeugten Abstandssignale auswirkt. Eine mögliche Verkippung des Messreflektors MR um die y-Achse muss daher nicht mittels abbildender optischer Elemente im Strahlengang des Messstrahlenbündels M kompensiert werden; dies ist im vorliegenden Ausführungsbeispiel lediglich in Bezug auf eine eventuelle Verkippung des Messreflektors um die x-Achse erforderlich.

[0097] Eine geringfügig abgewandelte Variante des ersten Ausführungsbeispiels der erfindungsgemäßen Vorrichtung zur interferentiellen Abstandsmessung ist in [Fig. 7](#) schematisiert dargestellt. Im Folgenden seien lediglich die maßgeblichen Unterschiede zum ersten Ausführungsbeispiel erläutert.

[0098] So ist nunmehr zum einen in der Abtasteinheit 10' in der Verbindungslinie zwischen der Lichtquelle 16' und der Detektoranordnung 18' eine Blende 19 angeordnet. Die Blende 19 verhindert, dass eine ggf. am Aufspaltgitter 11' resultierende 0. Beugungsordnung in Richtung des Vereinigungsgitters 15' gelangt und durch den dadurch bedingten Gleichlichtanteil die Modulationsgrade der Abstandssignale verschlechtert werden.

[0099] Ferner ist auf der Unterseite der Abtasteinheit 10', die dem Messreflektor 1' zugewandt ist, ein Deckglas 21 vorgesehen und auf der entgegengesetzten Seite der Abtasteinheit 10' ein Rückflächenreflektor 20. Das wie im ersten Ausführungsbeispiel ausschließlich in der Abtasteinheit 10' propagierende Referenzstrahlenbündel R wird nach der Aufspaltung am Aufspaltgitter 11' zunächst ein erstes Mal am Rückflächenreflektor 20 reflektiert, bevor es auf das dritte Umlenkelement 13.2' auftrifft. Ferner erfolgt eine nochmalige Umlenkung des Referenzstrahlenbündels R am Rückflächenreflektor 20 zwischen dem vierten Umlenkelement 14.2' und dem Vereinigungsgitter 15'.

[0100] Als Vorteil einer derartigen Variante des ersten Ausführungsbeispiels der erfindungsgemäßen Vorrichtung wäre zu erwähnen, dass lediglich eine Kippkompensation um die x-Achse mittels abbildender Elemente notwendig ist. Modulationsgrade und

Signalamplituden der Abstandssignale hängen dann nur schwach von eventuellen Kippungen Rx, Ry des Messreflektors 1' ab.

[0101] Ein zweites Ausführungsbeispiel der erfindungsgemäßen Vorrichtung zur interferentiellen Abstandsmessung ist in den [Fig. 8](#), [Fig. 9a](#), [Fig. 9b](#), [Fig. 10](#) und [Fig. 11](#) dargestellt. Die [Fig. 8](#), [Fig. 9a](#) und [Fig. 9b](#) zeigen jeweils eine schematisierte Darstellung des Strahlengangs dieses Ausführungsbeispiels in unterschiedlichen Ansichten, [Fig. 10](#) eine Draufsicht auf die Trägerelemente mit den darauf angeordneten transmittiven Fresnel-Zylinderlinsen und den darauf einfallenden Mess- bzw. Referenzstrahlenbündeln M, R und [Fig. 11](#) eine Draufsicht auf den Messreflektor mit den verschiedenen Auftrefforten des Messstrahlenbündels.

[0102] Im Folgenden werden i.w. wieder nur die maßgeblichen Unterschiede zum ersten Ausführungsbeispiel erläutert.

[0103] Anstelle einer detaillierten Beschreibung des Strahlengangs des Messstrahlenbündels M und des Referenzstrahlenbündels R ist nachfolgend angegeben, in welcher Reihenfolge die verschiedenen Elemente der erfindungsgemäßen Vorrichtung vom Messstrahlenbündel M sowie vom Referenzstrahlenbündel R zwischen dem Aufspaltgitter 111 und dem Vereinigungsgitter 115 im zweiten Ausführungsbeispiel beaufschlagt werden. Hierzu sei desweiteren auch auf die [Fig. 8](#), [Fig. 9a](#), [Fig. 9b](#), [Fig. 10](#) und [Fig. 11](#) verwiesen.

Strahlengang Messstrahlenbündel M:

[0104] Aufspaltgitter 111 → Messreflektor 100, Auftreffort A1 → Umlenkelement 113.1a → Reflektor 120 → Umlenkelement 113.1b → Messreflektor 100, Auftreffort A2 → Umlenkelement 123 → Umlenkelement 125 → Messreflektor 100, Auftreffort A3 → Umlenkelement 114.1a → Reflektor 121 → Umlenkelement 114.1b → Messreflektor 100, Auftreffort A4 → Vereinigungsgitter 115

Strahlengang Referenzstrahlenbündel R:

[0105] Aufspaltgitter 111 → Umlenkelement 113.2a → Reflektor 120 → Umlenkelement 113.2b → Umlenkelement 122 → Umlenkelement 124 → Umlenkelement 114.2a → Reflektor 121 → Umlenkelement 114.2b → Vereinigungsgitter 115

[0106] Wie aus dieser Strahlengangcharakterisierung und den zugehörigen Figuren ersichtlich ist, unterscheiden sich insbesondere die im zweiten Ausführungsbeispiel eingesetzten Umlenkelemente in den Strahlengängen des Mess- und Referenzstrahlenbündels M, R von denjenigen des ersten Ausführungsbeispiels.

[0107] Als Umlenkelemente **113.1a**, **113.1b**, **113.2a**, **113.2b**, **114.1a**, **114.1b**, **114.2a**, **114.2b** dienen nunmehr zum einen transmittive Fresnel-Zylinderlinsen, die jeweils zusammen mit einem Reflektor **120**, **121** an den Trägerelementen **112A**, **112B** angeordnet sind. Diese, als transmittive Fresnel-Zylinderlinsen ausgebildeten Umlenkelemente **113.1a**, **113.1b**, **113.2a**, **113.2b**, **114.1a**, **114.1b**, **114.2a**, **114.2b** sind hierbei auf den einander zugewandten Seiten der Trägerelemente **112A**, **112B** angeordnet, die Reflektoren **120**, **121** auf den jeweils gegenüberliegenden Seiten der Trägerelemente **112A**, **112B**. Die reflektierende Seite der Reflektoren **120**, **121** ist jeweils in Richtung der als transmittive Fresnel-Zylinderlinsen ausgebildeten Umlenkelemente **113.1a**, **113.1b**, **113.2a**, **113.2b**, **114.1a**, **114.1b**, **114.2a**, **114.2b** orientiert. Über diese Umlenkelemente **113.1a**, **113.1b**, **113.2a**, **113.2b**, **114.1a**, **114.1b**, **114.2a**, **114.2b** des zweiten Ausführungsbeispiels werden zum einen wieder definierte Umlenkwirkungen auf die darauf einfallenden Strahlenbündel (Messstrahlenbündel M, Referenzstrahlenbündel R) ausgeübt. Im Unterschied zum obigen Ausführungsbeispiel resultiert nunmehr jedoch über die Umlenkelemente **113.1a**, **113.1b**, **113.2a**, **113.2b**, **114.1a**, **114.1b**, **114.2a**, **114.2b** eine Umlenkwirkung auf die einfallenden Strahlenbündel in y-Richtung als auch Messrichtung z. Es liegen also Umlenkwirkungen entlang der Messrichtung z als auch senkrecht zur Messrichtung z vor.

[0108] Analog hierzu haben auch die Umlenkelemente **113.2a**, **113.2b**, **114.2a**, **114.2b** im Strahlengang des Referenzstrahlenbündels R entsprechende Umlenkwirkungen in z-Richtung und y-Richtung.

[0109] Neben der optischen Umlenkwirkung resultiert über die Umlenkelemente **113.1a**, **113.1b**, **113.2a**, **113.2b**, **114.1a**, **114.1b**, **114.2a**, **114.2b** des zweiten Ausführungsbeispiels wie oben eine fokussierende Wirkung bzw. eine kollimierende Wirkung auf die darauf einfallenden Strahlenbündel. So werden etwa kollimiert auf die Umlenkelemente **113.1b**, **113.2a**, **114.1a**, **114.2a** einfallende Strahlenbündel linienförmig auf den jeweils zugeordneten Reflektor **120**, **121** fokussiert; der Linienfokus erstreckt sich hierbei wiederum entlang der Messrichtung z. Divergent auf die Umlenkelemente **113.1b**, **113.2b**, **114.1b**, **114.2b** einfallende Strahlenbündel werden darüber kollimiert.

[0110] Zusätzlich sind im Vergleich zum ersten Ausführungsbeispiel auf den Trägerelementen **112A**, **112B** noch weitere Umlenkelemente **122**, **123** bzw. **124**, **125** angeordnet, welche als Reflexionsgitter ausgebildet sind und die vom Messstrahlenbündel M sowie vom Referenzstrahlenbündel R wie angegeben beaufschlagt werden. Die Umlenkelemente **122**, **123** bzw. **124**, **125** bewirken im vorliegenden Ausführungsbeispiel lediglich eine Umlenkung der darauf einfallenden Strahlenbündel (Messstrahlenbündel M,

Referenzstrahlenbündel R) in der xz-Ebene, d.h. entlang der Messrichtung z; eine fokussierende bzw. kollimierende optische Wirkung üben diese Umlenkelemente **122–125** auf die darauf einfallenden Strahlenbündel nicht aus.

[0111] Insgesamt beaufschlagt das Messstrahlenbündel M aufgrund des vorgesehenen Strahlengangs in diesem Ausführungsbeispiel somit zwischen dem Aufspaltgitter **111** und dem Vereinigungsgitter **115** viermal den Messreflektor **100** auf den Auftrefforten A1–A4 als auch die vier Umlenkelemente **113.1a**, **113.1b**, **114.1a**, **114.1b**. Dies hat zur Folge, dass im Vergleich zum ersten Ausführungsbeispiel die resultierende Signalperiode der Abstandssignale halbiert wird, d.h. es steht eine höhere Messauflösung aufgrund des gewählten Strahlengangs zur Verfügung.

[0112] Ein drittes Ausführungsbeispiel der erfindungsgemäßen Vorrichtung zur interferentiellen Abstandsmessung wird nachfolgend anhand der [Fig. 12](#), [Fig. 13a](#), [Fig. 13b](#), [Fig. 14](#) und [Fig. 15](#) beschrieben. Die [Fig. 12](#), [Fig. 13a](#) und [Fig. 13b](#) zeigen analog zum vorherigen Ausführungsbeispiel wiederum schematisierte Darstellungen des Strahlengangs dieses Ausführungsbeispiels in unterschiedlichen Ansichten, [Fig. 14](#) eine Draufsicht auf die Trägerelemente mit den darauf angeordneten Umlenkelementen und den darauf einfallenden Mess- bzw. Referenzstrahlenbündeln M, R und [Fig. 15](#) eine Draufsicht auf den Messreflektor mit den Auftrefforten des Messstrahlenbündels auf dem Messreflektor.

[0113] Wie im vorhergehenden Ausführungsbeispiel wird auch im vorliegenden dritten Ausführungsbeispiel bezüglich des Strahlengangs des Messstrahlenbündels M und des Referenzstrahlenbündels R nachfolgend angegeben, in welcher Reihenfolge die verschiedenen Elemente der erfindungsgemäßen Vorrichtung vom Messstrahlenbündel M sowie vom Referenzstrahlenbündel R zwischen dem Aufspaltgitter **211** und dem Vereinigungsgitter **215** beaufschlagt werden. Zusätzlich sei in diesem Zusammenhang auf die [Fig. 12](#), [Fig. 13a](#), [Fig. 13b](#), [Fig. 14](#) und [Fig. 15](#) verwiesen.

Strahlengang Messstrahlenbündel M:

[0114] Aufspaltgitter **211** → Messreflektor **200**, Auftreffort A1 → Umlenkelement **213.1** → Messreflektor **200**, Auftreffort A2 → Umlenkelement **223** → Umlenkelement **224** → Messreflektor **200**, Auftreffort A3 → Umlenkelement **214.1** → Messreflektor **200**, Auftreffort A4 → Vereinigungsgitter **215**

Strahlengang Referenzstrahlenbündel R:

[0115] Aufspaltgitter **211** → Umlenkelement **213.2** → Umlenkelement **222** → Umlenkelement **225** → Umlenkelement **214.2** → Vereinigungsgitter **215**

[0116] Das dritte Ausführungsbeispiel unterscheidet sich von den vorherigen beiden Ausführungsbeispielen i.w. durch die nunmehr vorgesehenen Umlenkelemente **213.1**, **213.2**, **214.1**, **214.2**, **222**, **223**, **224**, **225**.

[0117] Hierbei sind die Umlenkelemente **213.1**, **213.2**, **214.1**, **214.2** als lineare Reflexionsphasengitter mit schräggestellten Teilungsstrichen ausgebildet. Die darauf einfallenden Strahlenbündel (Messstrahlenbündel M, Referenzstrahlenbündel R) erfahren über diese Umlenkelemente **213.1**, **213.2**, **214.1**, **214.2** eine Umlenkung senkrecht zur Messrichtung z in der xy-Ebene als auch eine Umlenkung entlang der Messrichtung z in der xz-Ebene, wie dies etwa aus den Ansichten in den **Fig. 12** und **Fig. 13a** ersichtlich ist. Beispielsweise wird das Messstrahlenbündel M, das vom Auftreffort A1 her kommend auf das Umlenkelement **213.1** trifft nach schräg unten in Richtung des Auftreffpunkts A2 auf dem Messreflektor **200** umgelenkt. Eine Fokussierung bzw. Kollimation der darauf einfallenden Strahlenbündel resultiert über die Umlenkelemente **213.1**, **213.2**, **214.1**, **214.2** nicht.

[0118] Die desweiteren vorgesehenen Umlenkelemente **222**, **223**, **224**, **225** sind in diesem Ausführungsbeispiel als reflektive off-axis Fresnel-Zylinderlinsen ausgebildet. Über sie erfahren die darauf einfallenden Strahlenbündel eine Umlenkung entlang der Messrichtung z sowie in der y-Richtung. Über das Umlenkelement **222** etwa wird das vom Umlenkelement **213.2** her einfallende Referenzstrahlenbündel R in Richtung des gegenüberliegenden Umlenkelements **225** umgelenkt.

[0119] Zum anderen resultiert über die Umlenkelemente **222**, **223**, **224**, **225** eine fokussierende bzw. kollimierende Wirkung, wenn darauf ein kollimiertes bzw. divergentes Strahlenbündel einfällt. So wird z.B. das kollimiert auf das Umlenkelement **222** einfallende Referenzstrahlenbündel R linienförmig in die Mitte zwischen den Trägerelementen **212A**, **212B** fokussiert; der Linienfokus L erstreckt sich wie aus **Fig. 13b** ersichtlich wiederum entlang der Messrichtung z. Das anschließend divergent auf das Umlenkelement **225** einfallende Referenzstrahlenbündel R wird von diesem kollimiert und in der y-Richtung und in der z-Richtung in Richtung auf das Umlenkelement **214.2** umgelenkt.

[0120] Wie im zweiten Ausführungsbeispiel beaufschlagt das Messstrahlenbündel M aufgrund des vorgesehenen Strahlengangs zwischen dem Aufspaltgitter **211** und dem Vereinigungsgitter **215** wiederum viermal den Messreflektor **200**. Im Vergleich zum ersten Ausführungsbeispiel resultiert deshalb wieder eine halbierte Signalperiode der Abstandssignale.

[0121] Ein viertes Ausführungsbeispiel der erfindungsgemäßen Vorrichtung zur interferentiellen

Abstandsmessung sei abschließend anhand der **Fig. 16**, **Fig. 17** und **Fig. 18** erläutert. Die **Fig. 16** und **Fig. 17** zeigen jeweils wieder schematisierte Darstellungen des Strahlengangs dieses Ausführungsbeispiels in unterschiedlichen Ansichten; **Fig. 18** zeigt verschiedene Draufsichten auf mehrere Elemente dieses Ausführungsbeispiels.

[0122] Als wichtigster Unterschied zu den vorher erläuterten Ausführungsbeispielen ist ein in der der Abtasteinheit **310** mittig angeordnetes, drittes plattenförmiges Trägerelement **330** zu erwähnen, an dem nunmehr die beiden Umlenkelemente **330.1**, **330.2** angeordnet sind. Die Umlenkelemente **330.1**, **330.2** sind im Gegensatz zu den bisherigen Ausführungsbeispielen als diffraktive Strukturen in Form von Transmissionsgittern ausgebildet, die bestimmte optische Wirkungen auf die darauf einfallenden Strahlenbündel ausüben. Als drittes Trägerelement **330** ist vorzugsweise eine transparente Glasplatte vorgesehen, wobei auf der dem ersten Trägerelement **312A** zugewandten Seite das erste Umlenkelement **330.1** angeordnet ist und auf der dem zweiten Trägerelement **312B** zugewandten Seite das zweite Umlenkelement **330.2**.

[0123] Die Abtasteinheit **310** wird in Richtung des Messreflektors **300** hin durch eine transparente Glasplatte **340** abgeschlossen, an der entgegengesetzten Seite der Abtasteinheit **310** ist eine weitere Glasplatte **342** angeordnet. Zwischen dem mittigen, dritten Trägerelement **330** und den beiden äußeren Trägerelementen **312A**, **312B** sind wie aus **Fig. 16** ersichtlich noch Ausgleichselemente **341.1**, **341.2** angeordnet, die ebenfalls als Glasplatten mit bestimmten Dicken ausgebildet sind und sich jeweils zwischen dem mittigen dritten Trägerelement **330** und den benachbarten Trägerelementen **312A**, **312B** erstrecken; zu deren Funktion sei auf die nachfolgende Beschreibung des Abtaststrahlengangs dieses Ausführungsbeispiels verwiesen.

[0124] Das von der Lichtquelle **316** emittierte Strahlenbündel wird analog zu den anderen Ausführungsbeispielen von einer Kollimationsoptik **317** kollimiert und trifft dann auf das Aufspaltelement auf, das wiederum als Aufspaltgitter **311** in Form eines Transmissions-Phasengitters ausgebildet und wie in den anderen Ausführungsbeispielen an einem ersten Trägerelement **312A** angeordnet ist.

[0125] Über das Aufspaltgitter **311** erfolgt die Aufspaltung des von der Lichtquelle **316** her einfallenden, kollimierten Strahlenbündels in ein Messstrahlenbündel M und ein Referenzstrahlenbündel R, wozu wiederum eine Aufspaltung in +1. und -1. Beugungsordnungen erfolgt; die -1. Beugungsordnung fungiert nachfolgend als Messstrahlenbündel M, die +1. Beugungsordnung als Referenzstrahlenbündel R. Im dargestellten Ausführungsbeispiel wird vom

Aufspaltgitter **311** die 0. Beugungsordnung möglichst vollständig unterdrückt; um sicherzustellen, dass eine ggf. doch vorhandene 0. Beugungsordnung nicht unnötig den Interferenzkontrast und damit die Signalgüte der Abtastsignale verschlechtert, ist in der Abtasteinheit **310** eine Blende **350** benachbart zum Aufspaltgitter **311** platziert.

[0126] Das Messstrahlenbündel M propagiert vom Aufspaltgitter **311** dann in Richtung des Messreflektors **300** und erfährt dort am ersten Auftreffort A1 eine erste Reflexion in Richtung des ersten Umlenkelements **330.1** in der Abtasteinheit **310**. Das am mittleren Trägerelement **330** angeordnete erste Umlenkelement **330.1** ist wie oben angedeutet als transmittive Fresnel-Zylinderlinse ausgebildet und übt bestimmte optische Wirkungen auf das darauf einfallende Messstrahlenbündel M aus.

[0127] So erfährt das auf das erste Umlenkelement **330.1** einfallende Messstrahlenbündel M hierbei eine Umlenkung entlang der Messrichtung z. Dies bedeutet, dass in der xz-Ebene das von schräg links unten auf das erste Umlenkelement **330.1** einfallende Messstrahlenbündel M wieder parallel zum auf das Aufspaltgitter **311** einfallenden Beleuchtungsstrahlenbündel ausgerichtet wird. Das vom ersten Umlenkelement **330.1** umgelenkte bzw. transmittierte Messstrahlenbündel M propagiert somit parallel zur Oberfläche des Messreflektors **300** in Lichteinfallrichtung x in Richtung des zweiten Umlenkelements **330.2** an der gegenüberliegenden Seite des mittleren Trägerelements **330**.

[0128] Neben der Umlenkung entlang der Messrichtung z übt das erste Umlenkelement **330.1** auch in diesem Ausführungsbeispiel auf das darauf einfallende kollimierte Messstrahlenbündel M eine weitere optische Wirkung aus. So erfährt das kollimierte Messstrahlenbündel M über das erste Umlenkelement **330.1** ferner eine fokussierende Wirkung auf einen Linienfokus L hin, d.h. das kollimierte Messstrahlenbündel M wird über das erste Umlenkelement **330.1** linienförmig fokussiert. Der resultierende Linienfokus L erstreckt sich hierbei – wie aus [Fig. 17](#) ersichtlich – entlang der Messrichtung z und liegt genau in der Mitte zwischen den beiden äußeren Trägerelementen **312A**, **312B**.

[0129] Wie aus [Fig. 16](#) ersichtlich, propagiert das Messstrahlenbündel M parallel zur Lichteinfallrichtung x dann zu einem zweiten Umlenkelement **330.2**, das an der gegenüberliegenden Seite des dritten Trägerelement **330** angeordnet ist. Das zweite Umlenkelement **330.2** ist im vorliegenden Ausführungsbeispiel ebenfalls als transmittive Fresnel-Zylinderlinse mit zusätzlicher Umlenkfunktion in z-Richtung ausgebildet, identisch zur Fresnel-Zylinderlinse des ersten Umlenkelements **330.1**.

[0130] Über das zweite Umlenkelement **330.2** wird zum einen wieder eine Umlenkung auf das darauf einfallende Messstrahlenbündel M entlang der Messrichtung z in der xz-Ebene ausgeübt. Das von links auf das zweite Umlenkelement **330.2** einfallende Messstrahlenbündel M wird dabei vom zweiten Umlenkelement **330.2** nach rechts unten in Richtung des Messreflektors **300** umgelenkt; dort trifft es an einem zweiten Auftreffort A2 erneut auf den Messreflektor **300**. Der erste und zweite Auftreffort A1, A2 des Messstrahlenbündels M auf dem Messreflektor **300** liegen in der Lichteinfallrichtung x voneinander beabstandet.

[0131] Neben einer derartigen Umlenkung resultiert auch über das zweite Umlenkelement **330.2** wiederum eine weitere optische Wirkung auf das darauf einfallende Messstrahlenbündel M. Wie aus [Fig. 17](#) ersichtlich propagiert ab dem Linienfokus L ein divergierendes Messstrahlenbündel M in Richtung des zweiten Umlenkelements **330.2**. Das zweite Umlenkelement **330.2** übt auf das einfallende divergierende Messstrahlenbündel M neben der erwähnten Umlenkung ferner eine kollimierende Wirkung aus, d.h. in Richtung des zweiten Auftrefforts A2 auf dem Messreflektor **300** propagiert wieder ein kollimiertes Messstrahlenbündel M.

[0132] Am zweiten Auftreffort A2 am Messreflektor **300** erfährt das Messstrahlenbündel M eine zweite Reflexion und propagiert schließlich in Richtung des Vereinigungselements, ausgebildet als Vereinigungsgitter **315**, in der Abtasteinheit **310**. Das Vereinigungsgitter **315** ist wie in den vorherigen Ausführungsbeispielen am zweiten Trägerelement **312B** angeordnet.

[0133] Die beiden senkrecht zum Messreflektor **300** orientierten Trägerelemente **312A**, **312B** sind analog zu den vorhergehenden Ausführungsbeispielen als Glasplatten ausgebildet, ebenso das hier vorgesehene, zusätzliche dritte Trägerelement **330**. Aufgrund der Orientierung der Trägerelemente **312A**, **312B** und **330** sind damit alle darauf angeordneten Elemente, d.h. die verschiedenen Umlenkelemente **330.1**, **330.2** sowie die Aufspalt- und Vereinigungsgitter **311**, **315**, ebenfalls senkrecht zur Oberfläche des Messreflektors **300** angeordnet.

[0134] Das am Aufspaltgitter **311** als +1. Beugungsordnung resultierende Referenzstrahlenbündel R propagiert zunächst in Richtung des ersten Umlenkelements **330.1**, das am mittleren Trägerelement **330** angeordnet ist. Das erste Umlenkelement **330.1** übt aufgrund der identischen Einfallswinkel von Messstrahlenbündel M und Referenzstrahlenbündels R die identischen optischen Wirkungen auf das einfallende Referenzstrahlenbündel R aus wie oben erläutert auf das darauf einfallende Messstrahlenbündel M. Neben der Umlenkung entlang der Messrichtung z

resultiert demzufolge darüber die oben erwähnte fokussierende Wirkung auf einen Linienfokus L in der Mitte des dritten Trägerelements **330**.

[0135] Vom ersten Umlenkelement **330.1** propagiert das derart beeinflusste Referenzstrahlenbündel R sodann zum zweiten Umlenkelement **330.2**, das an der gegenüberliegenden Seite des dritten Trägerelements **330** angeordnet ist. Auf das darauf parallel zur Lichteinfallrichtung x einfallende Referenzstrahlenbündel R resultiert demzufolge wieder eine Umlenkung nach rechts unten in Richtung des Vereinigungsgitters **315**. Ferner wird das divergent auf das zweite Umlenkelement **330.2** einfallende Referenzstrahlenbündel R von diesem kollimiert, d.h. in Richtung des Vereinigungsgitters **315** propagiert das kollimierte Referenzstrahlenbündel R.

[0136] Wie in den vorher erläuterten Ausführungsbeispielen propagiert auch in diesem Ausführungsbeispiel das Referenzstrahlenbündel R zwischen dem Aufspaltgitter **311** und dem Vereinigungsgitter **315** ausschließlich in der Abtasteinheit **310**.

[0137] Am Vereinigungsgitter **315** treffen das Referenz- und Messstrahlenbündel R, M unter entgegengesetzt symmetrischen Einfallswinkeln auf und kommen dort zur interferierenden Überlagerung.

[0138] Über die dem Vereinigungsgitter **315** nachgeordnete Detektoranordnung **318** kann im Fall von Abstandsänderungen zwischen dem Messreflektor **300** und der Abtasteinheit **310** entlang der Messrichtung z ein periodisches Abstandssignal erfasst werden, das zur Weiterverarbeitung zur Verfügung steht. Um hierbei auch Informationen bzgl. der Richtung einer Abstandsänderung verfügbar zu haben, ist die Erzeugung mehrerer phasenverschobener Abstandssignale vorteilhaft. So können wie bereits oben erwähnt beispielsweise drei um jeweils 120° phasenverschobene Abstandssignale oder aber vier um jeweils 90° zueinander phasenverschobene Abstandssignale erzeugt werden; hierzu sei auch auf unsere obigen Ausführungen verwiesen.

[0139] Wie aus [Fig. 16](#) ersichtlich, durchläuft das Messstrahlenbündel M zwischen dem Aufspaltgitter **311** und dem Vereinigungsgitter **315** viermal die Glasplatte **340**, die die Abtasteinheit **310** in Richtung des Messreflektors **300** abschließt. Um den dabei resultierenden, geänderten optischen Weg des Messstrahlenbündels M zu kompensieren, sind im Strahlengang des Referenzstrahlenbündels R in der Abtasteinheit ebenfalls zwei Ausgleichselemente **341.1**, **341.2** in Form von Glasplatten angeordnet. Da das Referenzstrahlenbündel R das Ausgleichselement **341.1** genau einmal und das Ausgleichselement **341.2** ebenfalls genau einmal durchläuft, weisen die Ausgleichselemente **341.1**, **341.2** jeweils die doppelte Dicke der Glasplatte **340** auf. Auf diese Art und

Weise durchlaufen das Mess- und das Referenzstrahlenbündel M, R identische Glaswege in der Abtasteinheit **310**; Phasenunterschiede in den Strahlenbündeln M, R resultieren ausschließlich aufgrund von Abstandsänderungen zwischen dem Messreflektor **300** und der Abtasteinheit **310**, da sich hierbei das Messstrahlenbündel M relativ zu den Umlenkelementen **330.1**, **330.2** verschiebt.

[0140] Alternativ zur erläuterten Ausführungsform wäre es in einer abgewandelten Variante auch möglich, die ersten und zweiten Umlenkelemente **330.1**, **330.2** jeweils zweiteilig auszubilden, d.h. nicht als sich in z-Richtung erstreckendes einzelnes Transmissionsgitter sondern in Form je zweier Transmissionsgitter, die nur lokal im Bereich der Auftreffpunkte der Mess- und Referenzstrahlenbündel M, R vorgesehen sind.

[0141] Ebenso ist es denkbar, die Umlenkelemente **330.1**, **330.2** getrennt auf zwei dünnen Glasplatten anzuordnen, die links und rechts von der Symmetriemitte der Anordnung senkrecht zum Messreflektor **300** orientiert platziert sind. Der Abstand dieser beiden Glasplatten wäre dann so zu wählen, dass die optischen Wege der Strahlenbündel zwischen dem ersten und zweiten Umlenkelement **330.1**, **330.2** identisch wären zum Fall der oben beschriebenen Ausführungsform mit der dicken Glasplatte **330**.

[0142] Als Vorteil der vierten Ausführungsform der erfindungsgemäßen Vorrichtung wäre zu erwähnen, dass eine in z-Richtung deutlich kompaktere Abtasteinheit im Vergleich zu den vorherigen Varianten resultiert. Hinzu kommt eine größere Unempfindlichkeit gegenüber eventuellen Verkippungen des Messreflektors **300**, da bei eventuellen Verkippungen des Messreflektors **300** die relativen Verschiebungen von Mess- und Referenzstrahlenbündel am Ort der Interferenz geringer sind.

[0143] Neben den konkret erläuterten Ausführungsbeispielen gibt es selbstverständlich noch weitere Möglichkeiten, die erfindungsgemäße Vorrichtung zur interferentiellen Abstandsmessung alternativ auszugestalten.

[0144] In allen beschriebenen Ausführungsbeispielen sind aus Symmetriegründen im Strahlengang des Referenzstrahlenbündels die gleichen abbildenden optischen Elemente bzw. optischen Funktionalitäten in den Umlenkelementen vorgesehen wie beim Messstrahlenbündel. Da eine Kippung des Messreflektors keinen Einfluss auf das Referenzstrahlenbündel hat, könnten in weiteren möglichen Ausführungsformen die Umlenkelemente im Strahlengang des Referenzstrahlenbündels auch als rein umlenkende Elemente ohne zusätzliche optische Funktionalität ausgebildet werden.

[0145] Desweiteren muss das Vereinigungselement nicht wie in den verschiedenen Ausführungsbeispielen gezeigt als Vereinigungsgitter ausgebildet werden. Es wäre im Rahmen der vorliegenden Erfindung auch grundsätzlich denkbar, als Vereinigungselement z.B. einen geeigneten Strahlteiler an dieser Stelle vorzusehen.

[0146] Schließlich sind als äquivalent zu den erläuterten Lösungen Strahlengänge realisierbar, bei welchen die Lichtquelle und die Gitter sich virtuell an den gleichen Stellen befinden wie in den hier beschriebenen Ausführungsbeispielen. Dies könnte z.B. durch zusätzliche spiegelnde Elemente im Strahlengang erreicht werden etc..

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 102007016774 A1 [[0002](#), [0003](#), [0004](#)]
- DE 10201003157 A1 [[0002](#)]
- DE 102010003157 A1 [[0004](#), [0088](#)]

Patentansprüche

1. Vorrichtung zur interferentiellen Abstandsmessung mit

- einem Messreflektor,
- einer Lichtquelle,
- einem Aufspaltelement, welches ein von der Lichtquelle emittiertes Strahlenbündel in mindestens ein Messstrahlenbündel und mindestens ein Referenzstrahlenbündel aufspaltet, wobei das Messstrahlenbündel im weiteren Strahlverlauf mindestens zweimal den Messreflektor beaufschlagt,
- einem Vereinigungselement, an dem das Messstrahlenbündel und das Referenzstrahlenbündel zur interferierenden Überlagerung gelangen sowie mit
- einer Detektoranordnung, über die mindestens ein Abstandssignal aus den interferierenden Mess- und Referenzstrahlenbündeln bezüglich des Abstands zwischen dem Messreflektor und ein oder mehreren anderen Komponenten der Vorrichtung entlang einer Messrichtung (z) erzeugbar ist,

dadurch gekennzeichnet,

dass das Aufspaltelement als Aufspaltgitter (**11; 111; 211**) ausgebildet ist und die Lichtquelle (**16; 116; 216**) das Strahlenbündel parallel zur Oberfläche des Messreflektors (**1; 100; 200**) in Richtung des Aufspaltgitters (**11; 111; 211**) emittiert, wobei das Aufspaltgitter (**11; 111; 211**) senkrecht zur Oberfläche des Messreflektors (**1; 100; 200**) angeordnet ist.

2. Vorrichtung nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, dass die Lichtquelle (**16; 116; 216**), das Aufspaltgitter (**11; 111; 211**), das Vereinigungselement und die Detektoranordnung (**18; 118; 218**) zusammen mit weiteren Komponenten in einer Abtasteinheit (**10; 110; 210**) angeordnet sind, welche gegenüber dem Messreflektor (**1; 100; 200**) mindestens entlang der Messrichtung (z) abstandsvariabel angeordnet ist.

3. Vorrichtung nach Anspruch 1 oder 2, dadurch gekennzeichnet, dass das Aufspaltgitter (**11; 111; 211**) auf einem plattenförmigen Trägerelement (**12A, 12B; 112A, 112B; 212A, 212B**) angeordnet ist und das Trägerelement (**12A, 12B; 112A, 112B; 212A, 212B**) senkrecht zur Oberfläche des Messreflektors (**1; 100; 200**) orientiert angeordnet ist.

4. Vorrichtung nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, dass im Strahlengang des Referenzstrahlenbündels (R) und des Messstrahlenbündels (M) zwischen dem Aufspaltgitter (**11; 111; 211**) und dem Vereinigungselement jeweils mindestens zwei Umlenkelemente (**13.1, 13.2, 14.1, 14.2; 113.1a, 113.1b, 113.2a, 113.2b, 114.1a, 114.1b, 114.2a, 114.2b; 213.1, 213.2, 214.1, 214.2**) angeordnet sind, wobei über jedes Umlenkelement (**13.1, 13.2, 14.1, 14.2; 113.1a, 113.1b, 113.2a, 113.2b, 114.1a, 114.1b, 114.2a, 114.2b; 213.1, 213.2, 214.1, 214.2**) auf das einfallende Strahlenbündel entweder eine Umlenk-

wirkung entlang der Messrichtung (z) oder entlang und senkrecht zur Messrichtung (z) resultiert.

5. Vorrichtung nach Anspruch 4, dadurch gekennzeichnet, dass über die Umlenkelemente (**13.1, 13.2, 14.1, 14.2; 113.1a, 113.1b, 113.2a, 113.2b, 114.1a, 114.1b, 114.2a, 114.2b; 213.1, 213.2, 214.1, 214.2**) – ein darauf einfallendes kollimiertes Strahlenbündel ferner eine fokussierende Wirkung auf einen Linienfokus (L) erfährt, wobei der Linienfokus (L) sich entlang der Messrichtung (z) erstreckt und – auf ein darauf einfallendes divergierendes Strahlenbündel ferner eine kollimierende Wirkung resultiert.

6. Vorrichtung nach Anspruch 4, dadurch gekennzeichnet, dass die Umlenkelemente diffraktive Strukturen umfassen, die auf Trägerelementen (**12A, 12B; 112A, 112B; 212A, 212B**) angeordnet sind, welche senkrecht zum Messreflektor (**1; 100; 200**) angeordnet sind.

7. Vorrichtung nach Anspruch 5, dadurch gekennzeichnet, dass die Umlenkelemente (**13.1, 13.2, 14.1, 14.2**) als reflektive Fresnel-Zylinderlinsen ausgebildet sind, wobei über die reflektiven Fresnel-Zylinderlinsen auf das einfallende Strahlenbündel neben einer fokussierenden Wirkung zusätzlich eine Umlenk- wirkung entlang der Messrichtung (z) resultiert.

8. Vorrichtung nach Anspruch 7, dadurch gekennzeichnet, dass über zwei der Umlenkelemente (**13.1, 13.2, 14.1, 14.2**) auf die einfallenden Strahlenbündel eine fokussierende Wirkung auf einen Linienfokus (L) resultiert.

9. Vorrichtung nach Anspruch 5, dadurch gekennzeichnet, dass die Umlenkelemente (**113.1a, 113.1b, 113.2a, 113.2b, 114.1a, 114.1b, 114.2a, 114.2b**) als transmittive Fresnel-Zylinderlinsen ausgebildet sind, die jeweils zusammen mit einem Reflektor (**120, 121**) an zwei Trägerelementen (**112A, 112B**) angeordnet sind, wobei

- die transmittiven Fresnel-Zylinderlinsen auf den einander zugewandten Seiten der Trägerelemente (**112A, 112B**) angeordnet sind und

- die Reflektoren (**120, 121**) auf den jeweils gegenüberliegenden Seiten der Trägerelemente (**112A, 112B**) angeordnet sind und deren reflektierende Seite in Richtung der transmittiven Fresnel-Zylinderlinsen orientiert ist, und

- die transmittiven Fresnel-Zylinderlinsen derart ausgebildet sind, dass ein darauf einfallendes kollimiertes Strahlenbündel eine linienförmige Fokussierung auf die reflektierende Seite der Reflektoren (**120, 121**) erfährt.

10. Vorrichtung nach Anspruch 5, dadurch gekennzeichnet, dass die Umlenkelemente (**213.1, 213.2, 214.1, 214.2**) als reflektive Off-Axis-Fresnel-Zylinderlinsen ausgebildet sind, die auf den einander

zugewandten Seiten zweier Trägerelemente (**212A**, **212B**) angeordnet sind.

11. Vorrichtung nach Anspruch 2, dadurch gekennzeichnet, dass das Referenzstrahlenbündel (R) zwischen dem Aufspaltgitter (**11**; **111**; **211**) und dem Vereinigungselement ausschließlich in der Abtasteinheit (**10**; **110**; **210**) propagiert.

12. Vorrichtung nach mindestens einem der vorhergehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, dass die Strahlengänge des Mess- und Referenzstrahlenbündels (M, R) zwischen dem Aufspaltgitter (**11**; **111**; **211**) und dem Vereinigungselement jeweils spiegelsymmetrisch zu einer Symmetrieebene (S) verlaufen, die senkrecht zur Oberfläche des Messreflektors (**1**; **100**; **200**) orientiert ist.

13. Vorrichtung nach Anspruch 4, dadurch gekennzeichnet, dass die Umlenkelemente (**330.1**, **330.2**) als transmittive Fresnel-Zylinderlinsen ausgebildet sind, die auf gegenüberliegenden Seiten eines plattenförmigen Trägerelement (**330**) angeordnet sind, das zwischen zwei äußeren plattenförmigen Trägerelementen (**312A**, **312B**) platziert ist und an denen das Aufspaltgitter (**311**) und ein Vereinigungselement angeordnet sind.

14. Vorrichtung nach Anspruch 13, dadurch gekennzeichnet, dass die Komponenten in der Abtasteinheit (**310**) derart angeordnet und ausgebildet sind, dass

- das Messstrahlenbündel (M) vom Aufspaltgitter (**311**) in Richtung des Messreflektors (**300**) propagiert und dort an einem ersten Auftreffort (A1) eine erste Reflexion in Richtung des ersten Umlenkelements (**330.1**) in der Abtasteinheit (**310**) erfährt und
- das Messstrahlenbündel (M) dann am ersten Umlenkelement (**330.1**) eine Umlenkung in Richtung eines zweiten Umlenkelements (**330.2**) erfährt und
- das Messstrahlenbündel (M) dann am zweiten Umlenkelement (**330.2**) eine Umlenkung in Richtung des Messreflektors (**300**) erfährt und dort an einem zweiten Auftreffort (A2) eine zweite Reflexion in Richtung des Vereinigungselements erfährt und
- das Referenzstrahlenbündel (R) vom Aufspaltgitter (**311**) in Richtung des ersten Umlenkelements (**330.1**) propagiert und dort eine Umlenkung in Richtung des zweiten Umlenkelements (**330.2**) erfährt und
- das Referenzstrahlenbündel (R) am zweiten Umlenkelement (**330.2**) eine Umlenkung in Richtung des Vereinigungselements erfährt.

15. Vorrichtung nach mindestens einem der vorhergehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, dass das Vereinigungselement als Vereinigungsgitter (**15**; **115**; **215**) ausgebildet und senkrecht zur Oberfläche des Messreflektors (**1**; **100**; **200**) angeordnet ist.

Es folgen 13 Blatt Zeichnungen

Anhängende Zeichnungen

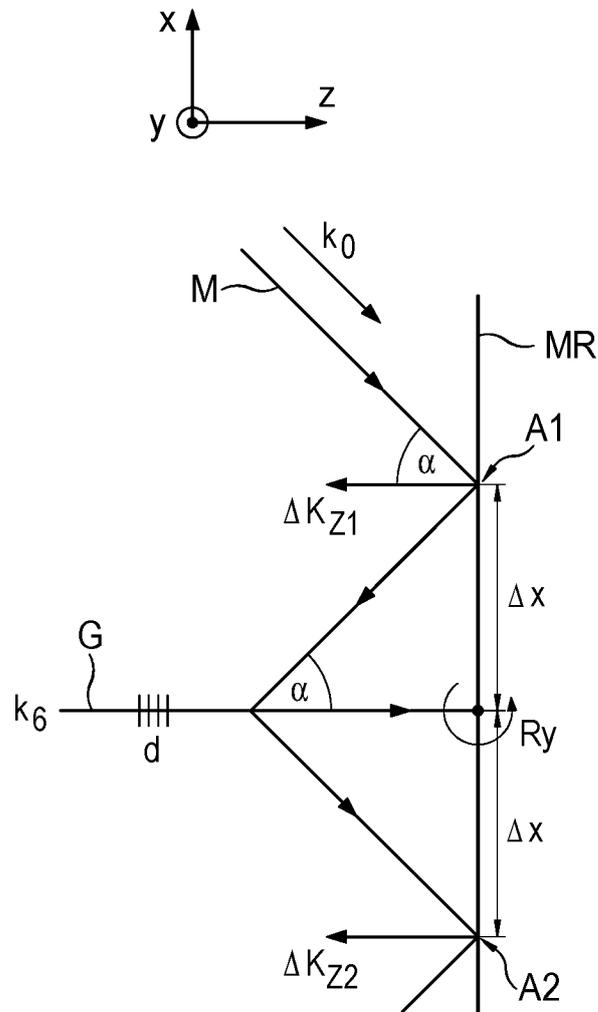


Fig. 1 Stand der Technik

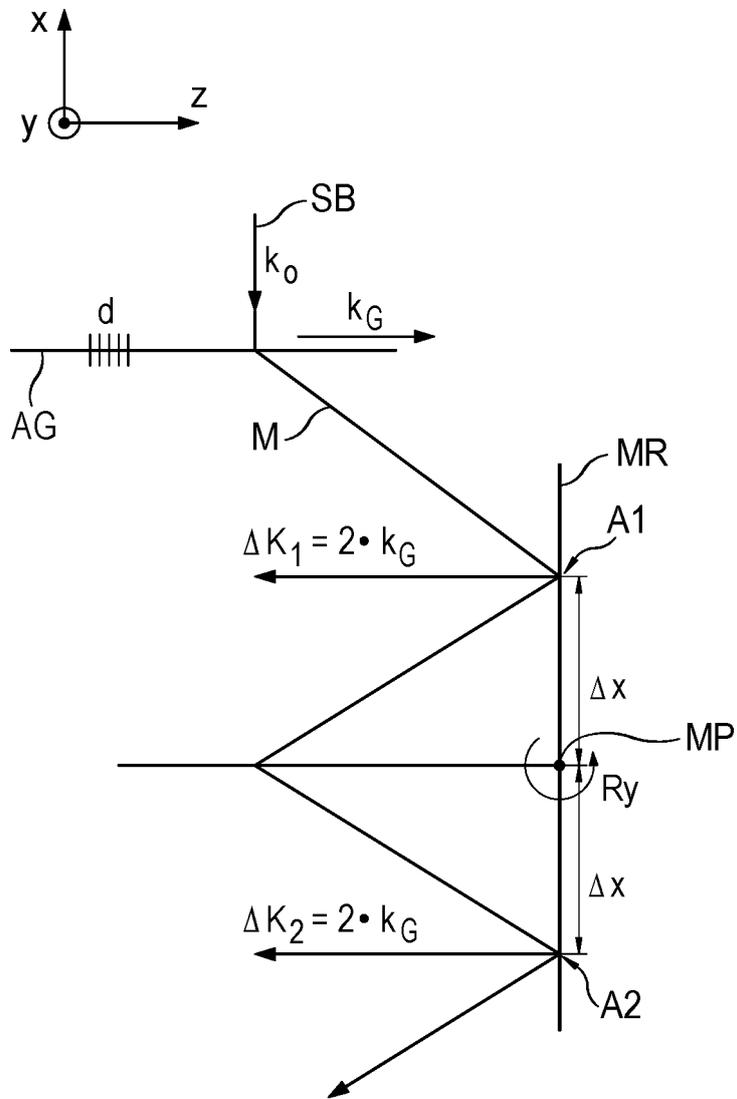


Fig. 2

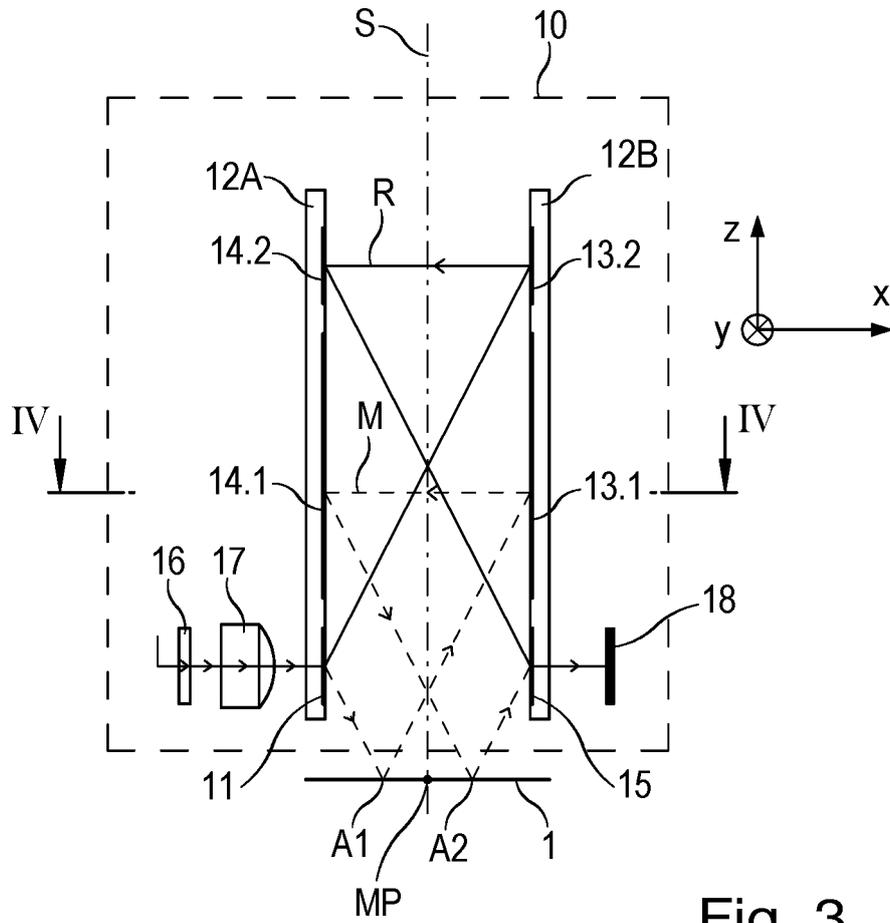


Fig. 3

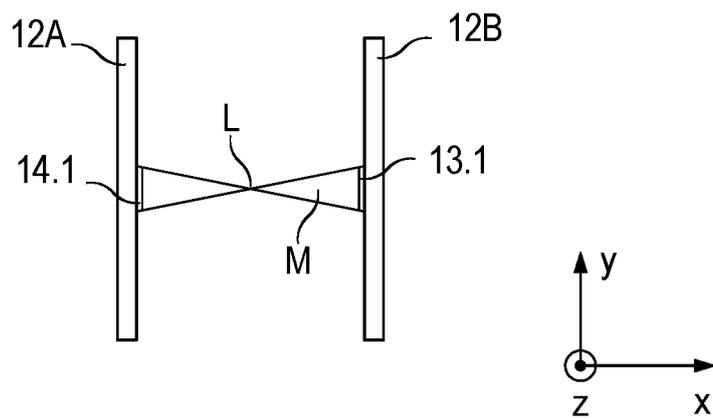


Fig. 4

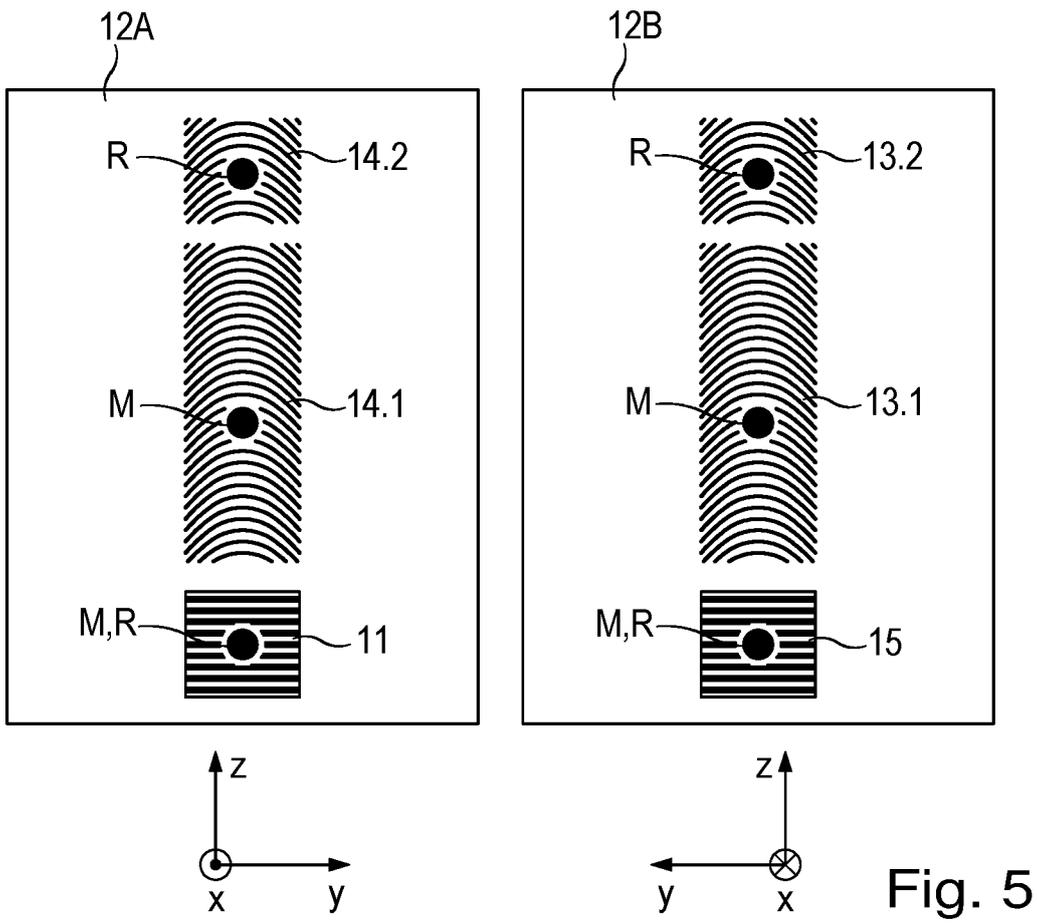


Fig. 5

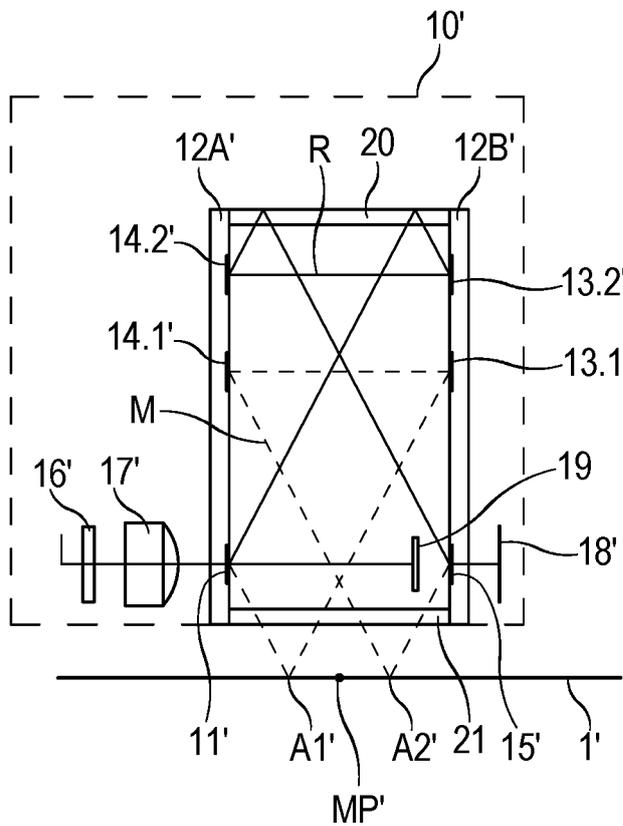


Fig. 7

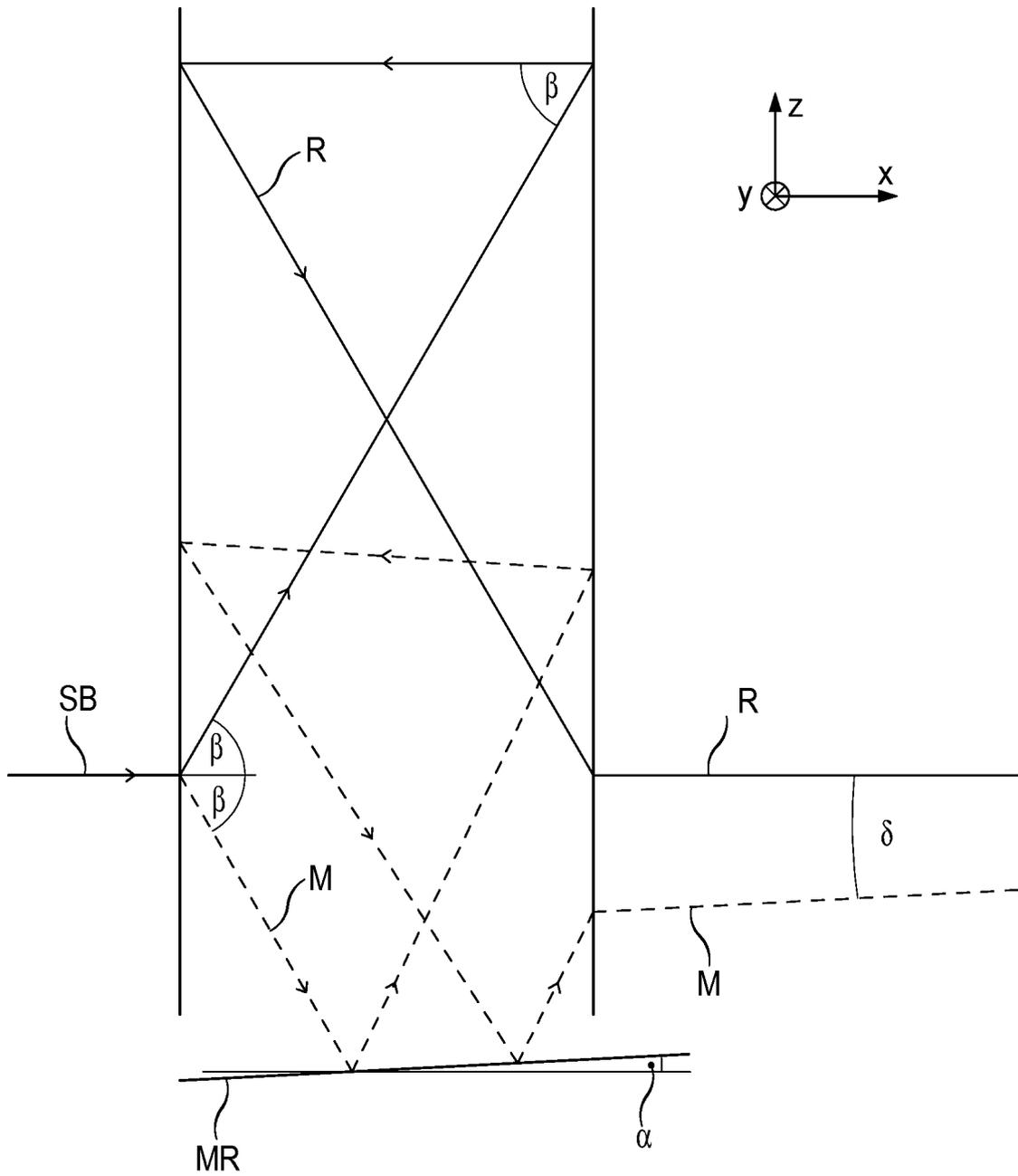


Fig. 6

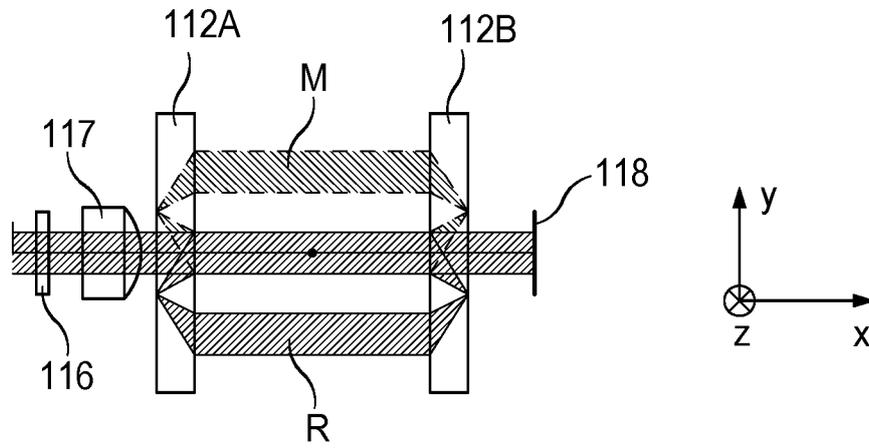


Fig. 9b

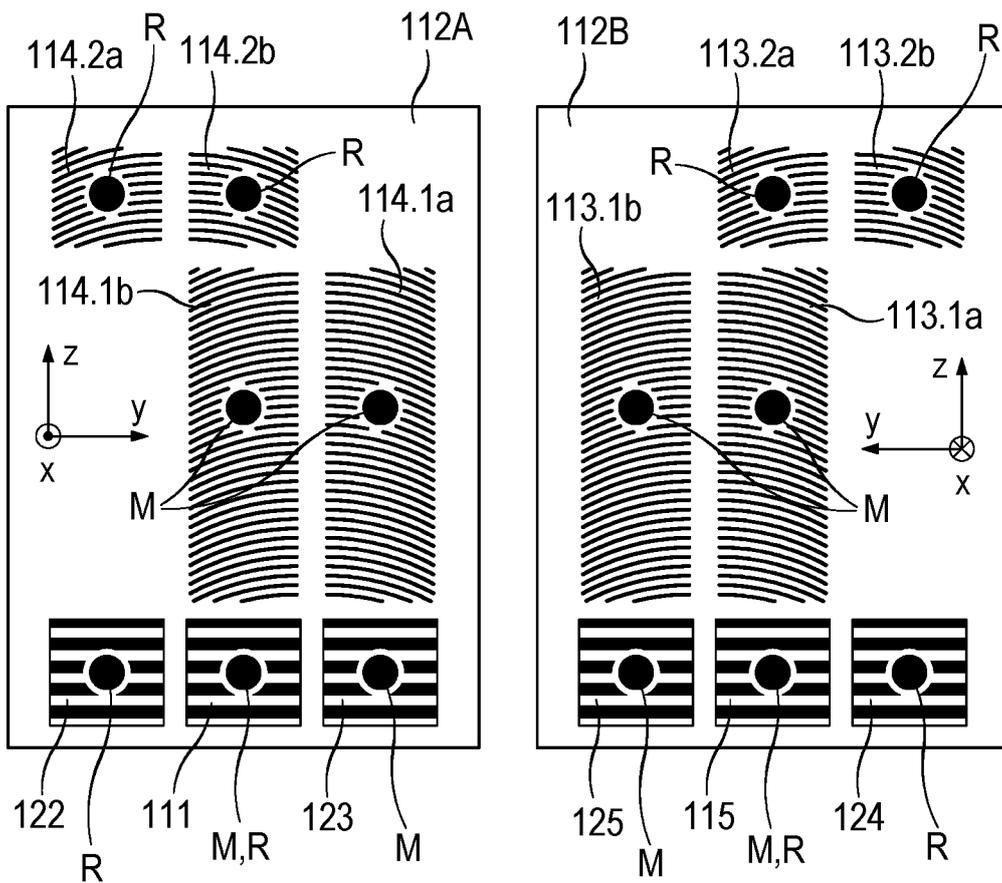


Fig. 10

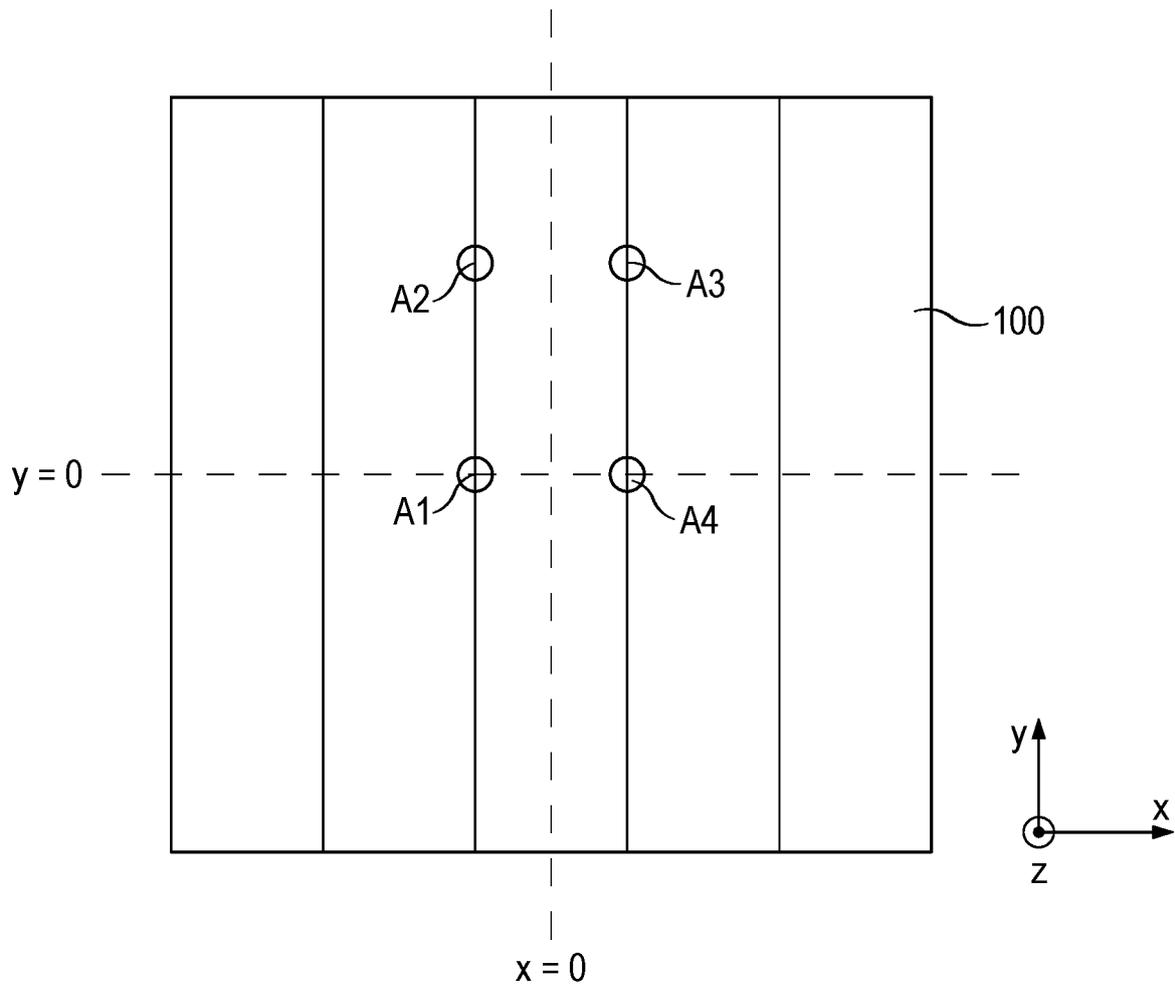
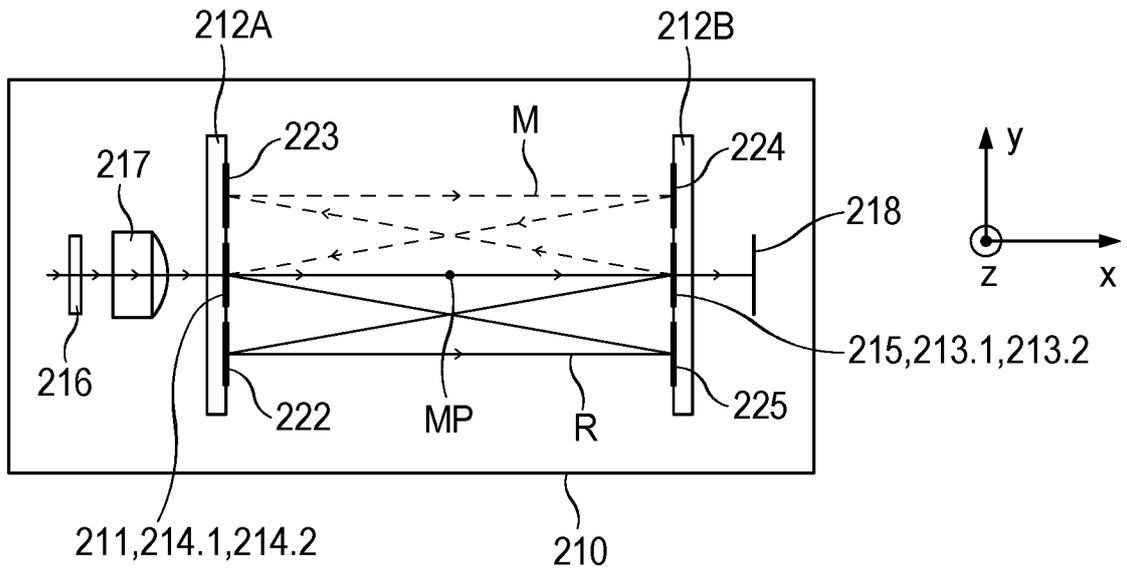
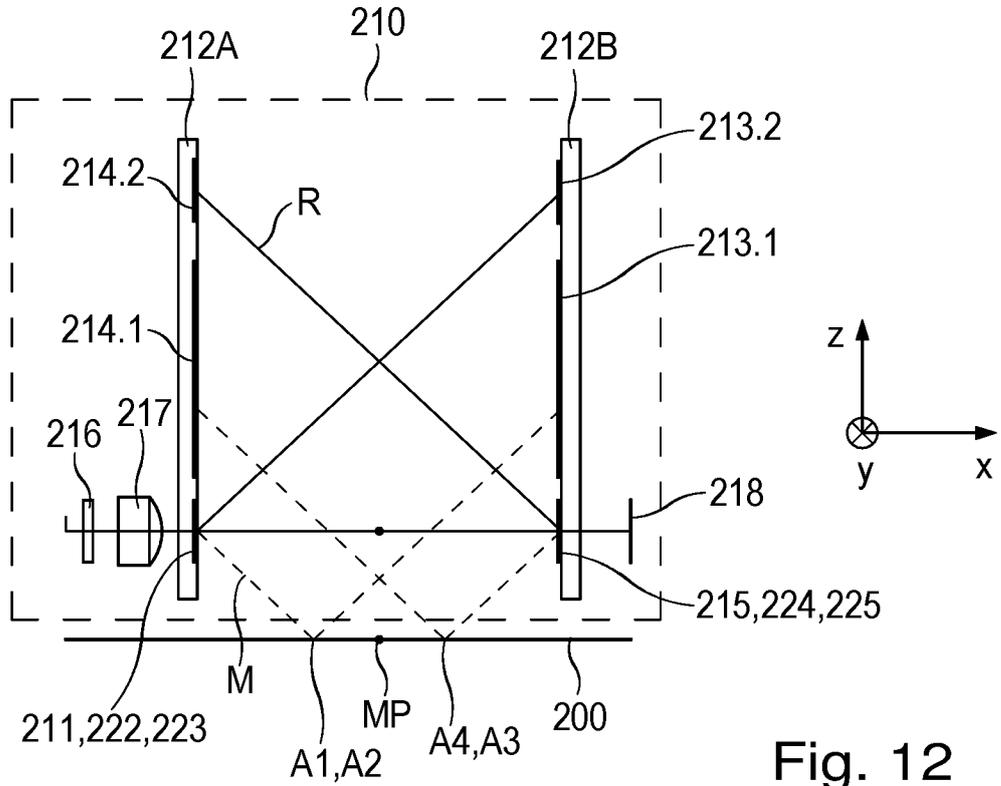


Fig. 11



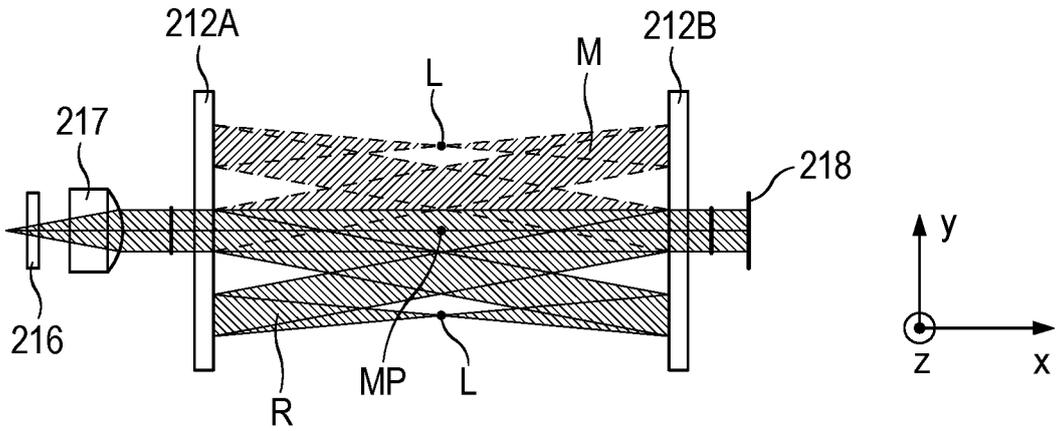


Fig. 13b

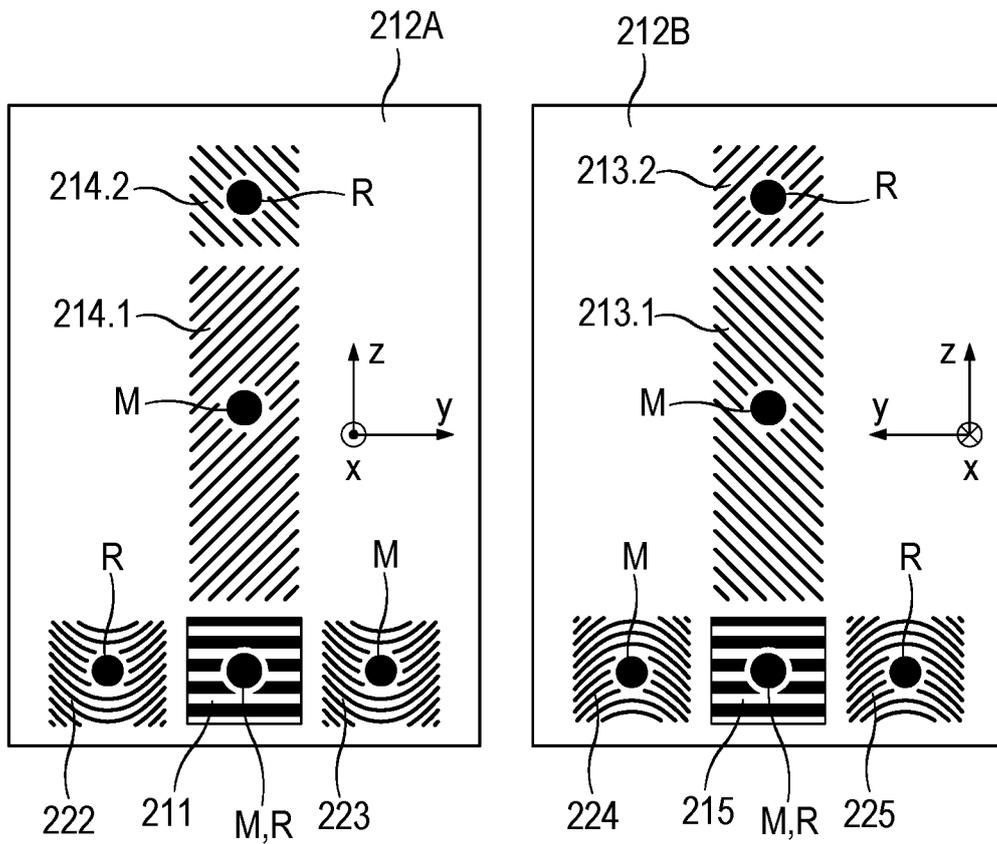


Fig. 14

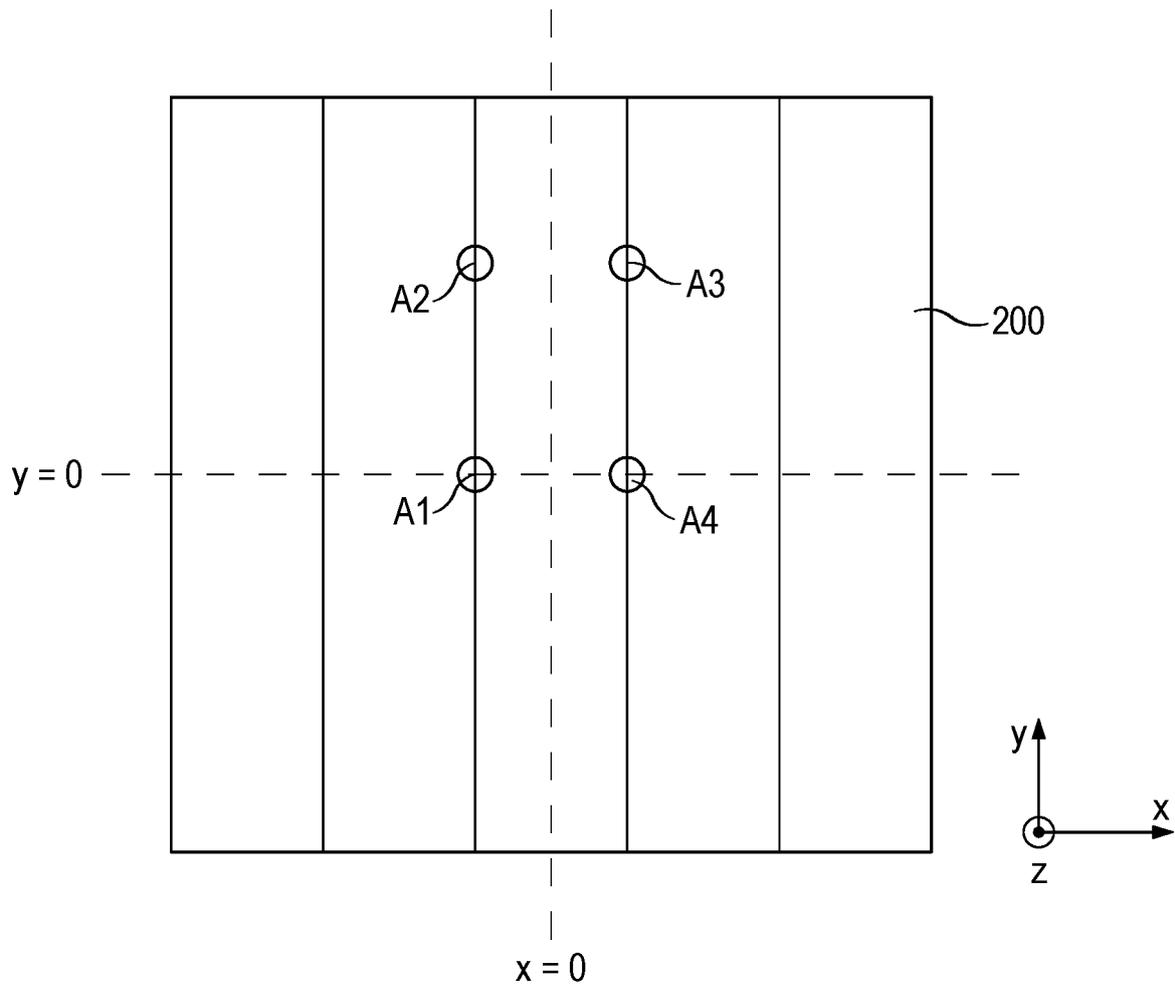


Fig. 15

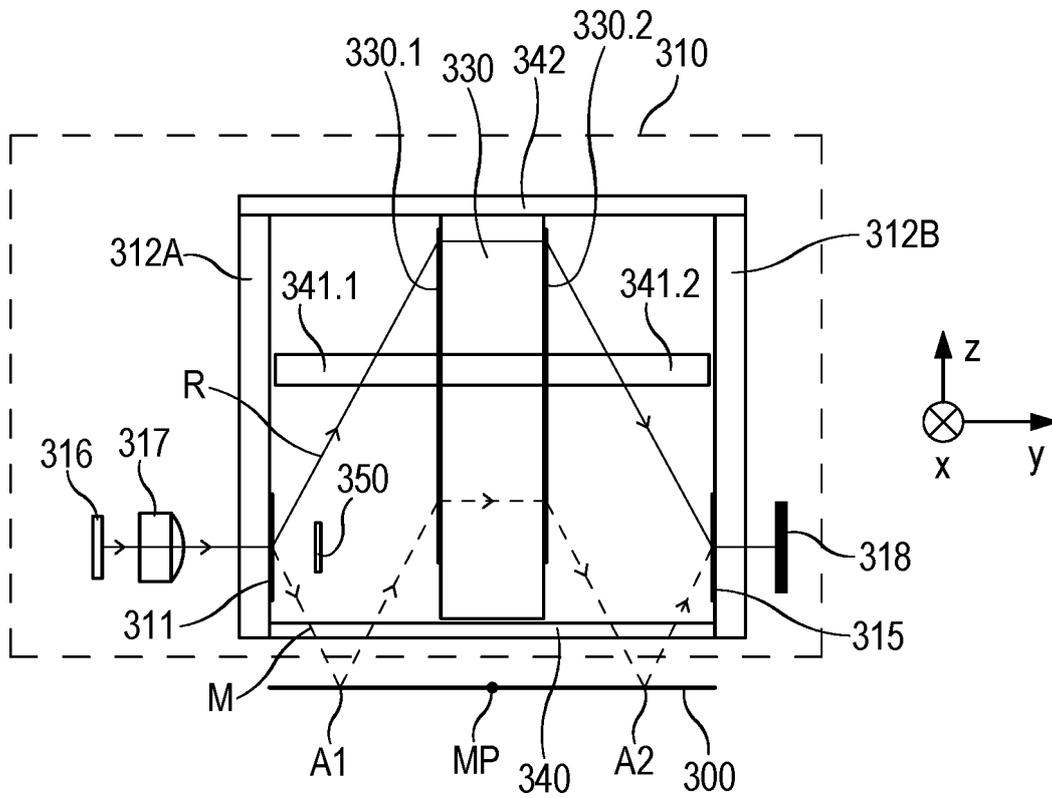


Fig. 16

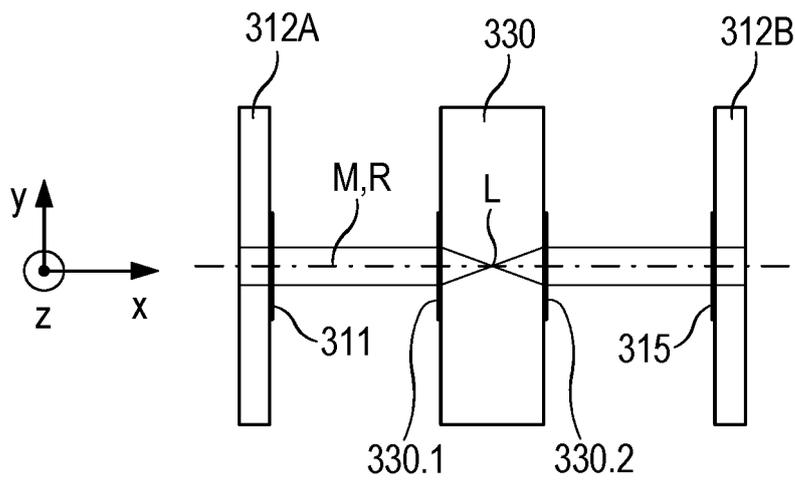


Fig. 17

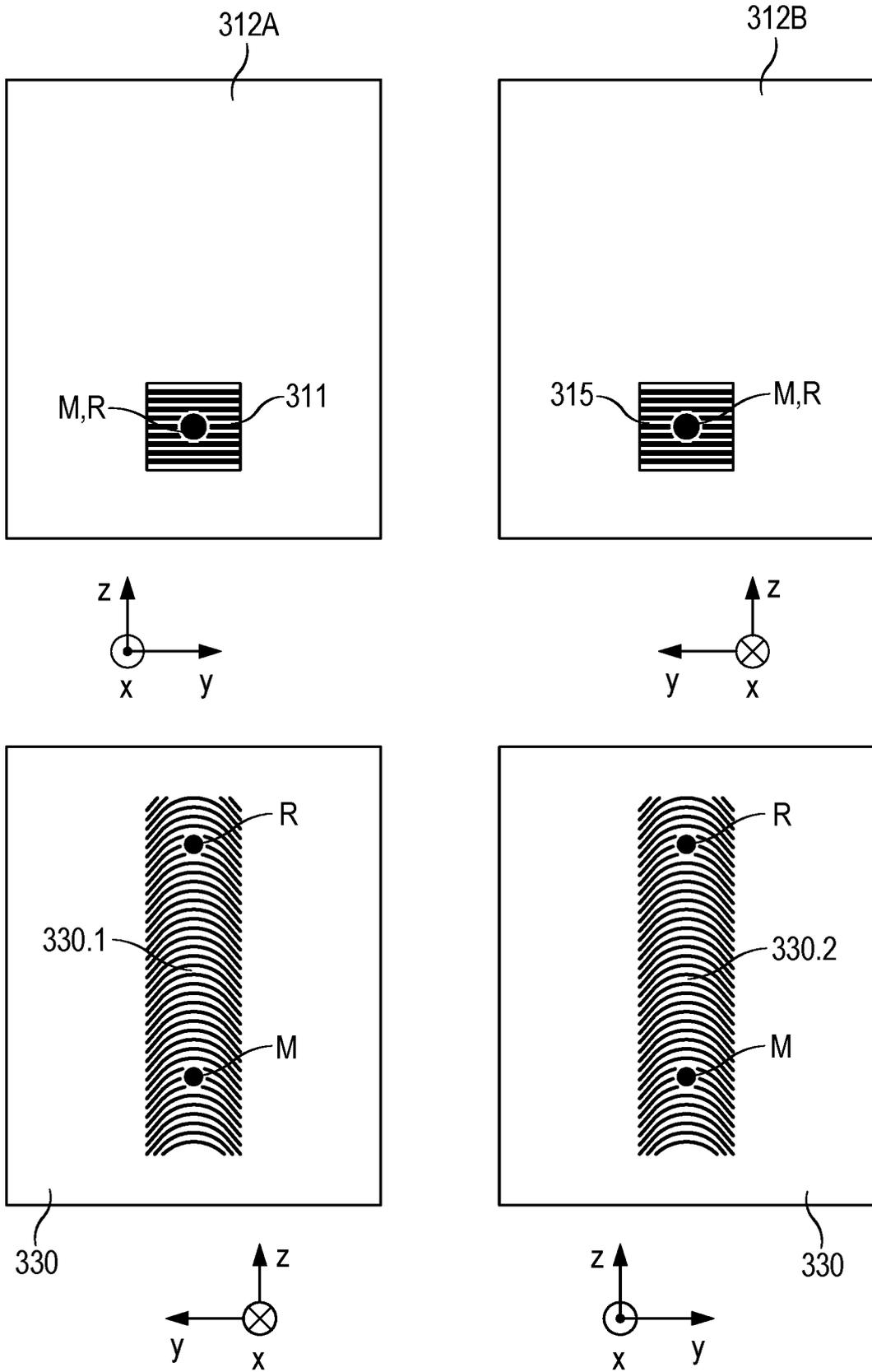


Fig. 18