



(12) **Offenlegungsschrift**

(21) Aktenzeichen: **10 2013 206 693.7**

(22) Anmeldetag: **15.04.2013**

(43) Offenlegungstag: **16.10.2014**

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

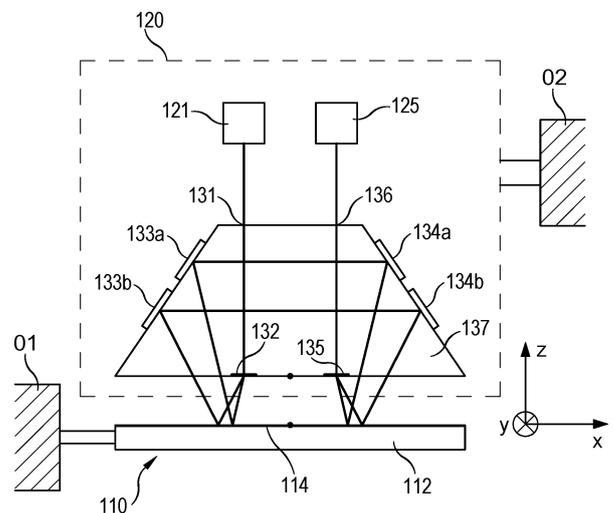
(71) Anmelder:  
**Dr. Johannes Heidenhain GmbH, 83301 Traunreut,  
DE**

(72) Erfinder:  
**Joerger, Ralph, Dr., 83278 Traunstein, DE; Huber,  
Walter, 83278 Traunstein, 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 zwischen zwei Objekten, die zueinander entlang mindestens einer Verschieberichtung beweglich angeordnet sind. Vorgesehen sind mindestens eine Lichtquelle sowie mindestens ein Aufspaltelement, welches ein von der Lichtquelle emittiertes Strahlenbündel an einem Aufspaltort in mindestens zwei Teilstrahlenbündel aufspaltet, die unter verschiedenen Winkeln weiterpropagieren. Ferner umfasst die Vorrichtung mindestens ein Umlenkelement, das eine Umlenkung der darauf einfallenden Teilstrahlenbündel in Richtung eines Vereinigungsorts bewirkt, wo die aufgespaltenen Teilstrahlenbündel zur interferierenden Überlagerung kommen und wobei die Strahlengänge der Teilstrahlenbündel zwischen dem Aufspaltort und dem Vereinigungsort dergestalt ausgebildet sind, dass die zurückgelegten optischen Weglängen der Teilstrahlenbündel zwischen dem Aufspaltort und dem Vereinigungsort im Fall einer Abstandsänderung zwischen den beiden Objekten identisch sind. Desweiteren ist mindestens eine Detektoranordnung zur Erfassung abstandsabhängiger Signale aus dem überlagerten Paar interferierender Teilstrahlenbündel vorgesehen.



**Beschreibung**

**[0001]** Die vorliegende Erfindung betrifft eine Vorrichtung zur interferentiellen Abstandsmessung.

**[0002]** Neben der Erfassung von Positionsänderungen zweier zueinander beweglicher Objekte in einer oder zwei lateralen Richtungen 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 den Druckschriften DE 10 2007 016 774 A1 oder DE 10 2011 005 937 offenbart sind.

**[0003]** Bei diesen interferentiellen Abstandsmessungen wird über geeignete diffraktive oder refraktive optische Elemente ein Strahlenbündel in zwei Teilstrahlenbündel, nämlich in ein Messstrahlenbündel und ein Referenzstrahlenbündel aufgespalten. Diese durchlaufen anschließend zugehörige Mess- und Referenzarme und werden an einem Vereinigungsort zur interferierenden Überlagerung gebracht. Der zu messende Abstand ist hierbei über die Phasendifferenz zwischen dem Messstrahlenbündel und dem Referenzstrahlenbündel kodiert. Im Fall einer vorliegenden Weglängendifferenz zwischen dem Messstrahlenbündel und dem Referenzstrahlenbündel resultiert eine Abhängigkeit des zu messenden Abstands von der jeweiligen Wellenlänge der einzelnen Strahlenbündel. Wünschenswert ist jedoch grundsätzlich eine Unabhängigkeit der interferentiellen Abstandsmessung von eventuellen Wellenlängenschwankungen. Dies ist bei den bekannten Verfahren aus den beiden o.g. Druckschriften jedoch nur in einem bestimmten Sollabstand gewährleistet, nicht über den gesamten Abstands-Messbereich.

**[0004]** Der vorliegenden Erfindung liegt das Problem zugrunde, eine Vorrichtung zur hochgenauen interferentiellen Abstandsmessung zu schaffen, bei der der gemessene Abstand über den gesamten Abstands-Messbereich unabhängig von der Wellenlänge der verwendeten Lichtquelle ist.

**[0005]** Diese Aufgabe wird erfindungsgemäß durch eine Vorrichtung mit den Merkmalen des Anspruchs 1 gelöst.

**[0006]** Vorteilhafte Ausführungen der erfindungsgemäßen Vorrichtung ergeben sich aus den Maßnahmen in den abhängigen Ansprüchen.

**[0007]** Die erfindungsgemäße Vorrichtung zur interferentiellen Abstandsmessung zwischen zwei Objekten, die zueinander entlang mindestens einer Verschieberichtung beweglich angeordnet sind, umfasst mindestens eine Lichtquelle, mindestens ein Aufspaltelement, mindestens ein Umlenkelement sowie mindestens eine Detektoranordnung. Über das Aufspaltelement erfolgt an einem Aufspaltort eine Aufspaltung des von der Lichtquelle emittierten Strahlenbündels in mindestens zwei Teilstrahlenbündel, die unter verschiedenen Winkeln weiterpropagieren. Das Umlenkelement bewirkt eine Umlenkung der darauf einfallenden Teilstrahlenbündel in Richtung eines Vereinigungsorts, wo die aufgespaltenen Teilstrahlenbündel zur interferierenden Überlagerung kommen und wobei die Strahlengänge der Teilstrahlenbündel zwischen dem Aufspaltort und dem Vereinigungsort dergestalt ausgebildet sind, dass die zurückgelegten optischen Weglängen der Teilstrahlenbündel zwischen dem Aufspaltort und dem Vereinigungsort im Fall einer Abstandsänderung zwischen den beiden Objekten identisch sind. Mit der Detektoranordnung sind abstandsabhängige Signale aus dem überlagerten Paar interferierender Teilstrahlenbündel erfassbar.

**[0008]** Es kann vorgesehen sein, dass

- mit einem Objekt mindestens eine Abtasteinheit verbunden ist, die mindestens eine Lichtquelle, mindestens eine Detektoranordnung und mindestens ein erstes Umlenkelement umfasst und
- mit dem anderen Objekt entweder ein Messreflektor oder ein Aufspaltelement verbunden ist.

**[0009]** Mit Vorteil propagieren hierbei die Teilstrahlenbündel in der Abtasteinheit zumindest in einem Teil des Strahlengangs symmetrisch bezüglich mindestens einer Symmetrieachse der Abtasteinheit.

**[0010]** Ferner ist es möglich dass

- entweder die Abtasteinheit zwei Teil-Abtasteinheiten aufweist, die spiegelsymmetrisch bezüglich einer Spiegelebene angeordnet sind, die parallel zur Verschieberichtung orientiert ist oder
- im Fall einer einzigen eingesetzten Abtasteinheit diese spiegelsymmetrisch bezüglich einer Spiegelebene ausgebildet ist, die parallel zur Verschieberichtung orientiert ist.

**[0011]** In einer vorteilhaften Ausführungsform der erfindungsgemäßen Vorrichtung ist über die Anordnung und/oder Ausbildung des mindestens einen Umlenkelements gewährleistet, dass die zurückgelegten optischen Weglängen der Teilstrahlenbündel zwischen dem Aufspaltort und dem Vereinigungsort im Fall einer Abstandsänderung zwischen den beiden Objekten identisch sind.

**[0012]** Desweiteren kann vorgesehen sein, dass

- das Aufspaltelement als eindimensionales Transmissionsgitter ausgebildet ist und
- die Abtasteinheit ferner mindestens eine erste Maßverkörperung umfasst, die ein zweidimensionales Transmissions-Kreuzgitter und einen parallel hierzu angeordneten Reflektor aufweist.

**[0013]** Hierbei können das Transmissions-Kreuzgitter und der Reflektor senkrecht zum Transmissionsgitter des Aufspaltelements angeordnet sein.

**[0014]** Es ist ferner möglich, dass das Umlenkelement als Umlenkprisma ausgebildet ist.

**[0015]** In einer möglichen Ausführungsform der erfindungsgemäßen Vorrichtung sind die verschiedenen Komponenten derart ausgebildet und angeordnet sind, dass

- das von der Lichtquelle emittierte Strahlenbündel am Aufspaltelement eine Aufspaltung in zwei Teilstrahlenbündel erfährt und die beiden Teilstrahlenbündel in Richtung der Abtasteinheit propagieren,
- in der Abtasteinheit über das Umlenkelement eine Umlenkung der Teilstrahlenbündel in Richtung der Maßverkörperung erfolgt,
- die Teilstrahlenbündel das Transmissions-Kreuzgitter der Maßverkörperung durchlaufen, dabei eine Ablenkung erfahren und dann auf den Reflektor auftreffen,
- vom Reflektor eine Rückreflexion in Richtung des Transmissions-Kreuzgitters erfolgt, wo nach dem erneuten Durchlaufen des Transmissions-Kreuzgitters einer weitere Ablenkung dergestalt resultiert, dass die Teilstrahlenbündel parallel versetzt zur Einfallrichtung zum Umlenkelement propagieren,
- am Umlenkelement eine Umlenkung der Teilstrahlenbündel in Richtung des Vereinigungsortes erfolgt und
- die überlagerten Teilstrahlenbündel sodann in Richtung Detektoranordnung propagieren.

**[0016]** Hierbei kann die Abtasteinheit ein zweites Umlenkelement sowie eine zweite Maßverkörperung umfassen, die aus einem zweidimensionalen Transmissions-Kreuzgitter und einem Reflektor besteht, wobei das zweite Umlenkelement und die zweite Maßverkörperung spiegelsymmetrisch zum ersten Umlenkelement und zur ersten Maßverkörperung in der Abtasteinheit angeordnet sind.

**[0017]** In einer weiteren Ausführungsform der der erfindungsgemäßen Vorrichtung ist vorgesehen, dass

- die mit einem Objekt verbundene Abtasteinheit ferner mindestens vier Umlenkelemente umfasst, die jeweils als eindimensionales Reflexionsgitter ausgebildet sind und mindestens ein Aufspaltelement, umfasst, das als eindimensionales Transmissionsgitter ausgebildet ist und
- mit dem anderen Objekt ein Messreflektor verbunden ist, der als Planspiegel ausgebildet ist.

**[0018]** Dabei kann die Abtasteinheit einen transparenten Trägerkörper mit pyramidenstumpfförmigem Querschnitt aufweisen, an dessen dem Messreflektor zugewandten Fläche das Aufspaltelement angeordnet ist und an dessen Seitenflächen die mindestens vier Umlenkelemente angeordnet sind.

**[0019]** In einer solchen Ausführungsform der erfindungsgemäßen Vorrichtung sind die verschiedenen Komponenten derart ausgebildet und angeordnet, dass

- das von der Lichtquelle emittierte Strahlenbündel am Aufspaltelement eine Aufspaltung in zwei Teilstrahlenbündel erfährt und die beiden Teilstrahlenbündel in Richtung des Messreflektors propagieren,
- vom Messreflektor eine Rückreflexion der Teilstrahlenbündel in Richtung der ersten und zweiten Umlenkelemente in der Abtasteinheit erfolgt, wo eine Umlenkung der Teilstrahlenbündel in Richtung der dritten und vierten Umlenkelemente resultiert und
- über die dritten und vierten Umlenkelemente eine Umlenkung der Teilstrahlenbündel zum Messreflektor erfolgt,
- von dem aus eine Rückreflexion der Teilstrahlenbündel in Richtung des Vereinigungsortes in der Abtasteinheit resultiert und
- die überlagerten Teilstrahlenbündel sodann in Richtung Detektoranordnung propagieren.

**[0020]** Ferner kann dabei noch vorgesehen werden, dass die in der Abtasteinheit angeordneten Umlenkelemente noch eine fokussierende Wirkung auf die in der Abtasteinheit propagierenden Teilstrahlenbündel dergestalt ausüben, dass ein Linienfokus in einem Symmetriezentrum der Abtasteinheit resultiert.

**[0021]** Als maßgeblicher Vorteil der erfindungsgemäßen Lösung resultiert eine Unabhängigkeit der Abstandsmessung von eventuellen Wellenlängenänderungen über den gesamten Abstands-Messbereich. Dies ist darauf zurückzuführen, dass die zurückgelegten optischen Weglängen der interferierenden Teilstrahlenbündel für alle Abstände im Messbereich identisch sind und derart im gesamten Messbereich abstandsabhängige Phasendifferenzen erzeugt werden. Eventuelle Wellenlängenschwankungen beeinflussen daher die Abstandsmessung in der erfindungsgemäßen Vorrichtung weder in der Nominallage noch bei eventuellen Verkippungen einzelner Komponenten aus der Sollposition.

**[0022]** Im Hinblick auf die Umsetzung der erfindungsgemäßen Vorrichtung existieren diverse Möglichkeiten, die je nach Anwendung geeignet gewählt werden können.

**[0023]** Weitere Einzelheiten und Vorteile der vorliegenden Erfindung seien anhand der nachfolgenden Beschreibung von Ausführungsbeispielen der erfindungsgemäßen Vorrichtung in Verbindung mit den Figuren erläutert.

**[0024]** Es zeigt

**[0025]** Fig. 1 eine schematisierte Darstellung zur Erläuterung zugrundeliegender Prinzipien der vorliegenden Erfindung;

**[0026]** Fig. 2 eine schematisierte Darstellung mit dem Strahlengang eines ersten Ausführungsbeispiels der erfindungsgemäßen Vorrichtung;

**[0027]** Fig. 3a, Fig. 3b jeweils eine schematisierte Schnittansicht zur Erläuterung des Strahlengangverlaufs im ersten Ausführungsbeispiel;

**[0028]** Fig. 4a–Fig. 4c jeweils eine Draufsicht auf unterschiedliche Komponenten des ersten Ausführungsbeispiels der erfindungsgemäßen Vorrichtung;

**[0029]** Fig. 5 eine schematisierte Darstellung des Strahlengangs in einer Variante des ersten Ausführungsbeispiels der erfindungsgemäßen Vorrichtung;

**[0030]** Fig. 6a, Fig. 6b jeweils eine schematisierte Schnittansicht zur Erläuterung des Strahlengangverlaufs in der Variante des ersten Ausführungsbeispiels der erfindungsgemäßen Vorrichtung;

**[0031]** Fig. 7a, Fig. 7b jeweils eine Draufsicht auf unterschiedliche Komponenten der Variante des ersten Ausführungsbeispiels der erfindungsgemäßen Vorrichtung;

**[0032]** Fig. 8 eine schematisierte Darstellung eines zweiten Ausführungsbeispiels der erfindungsgemäßen Vorrichtung;

**[0033]** Fig. 9a, Fig. 9b jeweils eine schematisierte Ansicht des zweiten Ausführungsbeispiels der erfindungsgemäßen Vorrichtung aus unterschiedlichen Perspektiven;

**[0034]** Fig. 10 eine gestreckte Darstellung der maßgeblichen Strahlengänge im zweiten Ausführungsbeispiel der erfindungsgemäßen Vorrichtung;

**[0035]** Fig. 11 Draufsichten auf verschiedene Komponenten der Abtasteinheit des im zweiten Ausführungsbeispiels der erfindungsgemäßen Vorrichtung;

**[0036]** Fig. 12 eine schematisierte Ansicht einer Variante des zweiten Ausführungsbeispiels der erfindungsgemäßen Vorrichtung;

**[0037]** Fig. 13 eine gestreckte Darstellung der maßgeblichen Strahlengänge in der Variante des zweiten Ausführungsbeispiels der erfindungsgemäßen Vorrichtung;

**[0038]** Fig. 14 Draufsichten auf verschiedene Komponenten der Abtasteinheit der Variante des zweiten Ausführungsbeispiels der erfindungsgemäßen Vorrichtung.

**[0039]** Bevor nachfolgend die einzelnen Ausführungsbeispiele der erfindungsgemäßen Vorrichtung zur interferentiellen Abstandsmessung im Detail beschrieben werden, seien anhand von **Fig. 1** zunächst einige grundsätzliche Überlegungen im Zusammenhang mit der vorliegenden Erfindung erläutert.

**[0040]** Im Rahmen der vorliegenden Erfindung ist vorgesehen, über den gesamten Abstands-Messbereich, der mit der Vorrichtung messtechnisch erfassbar ist, bei sich exakt kompensierenden Weglängendifferenzen zwischen den aufgespaltenen Teilstrahlenbündeln eine abstandsabhängige Phasendifferenz zu erzeugen. Über diese Phasendifferenz kann eine weglängenunabhängige und damit wellenlängenunabhängige Abstandsmessung kodiert bzw. sichergestellt werden. Dieses Prinzip sei anhand der schematischen Darstellung in **Fig. 1** erläutert, in der aus Gründen der besseren Übersichtlichkeit lediglich ein Teil der erforderlichen Komponenten der erfindungsgemäßen Vorrichtung dargestellt ist.

**[0041]** Das von einer – nicht in **Fig. 1** gezeigten – Lichtquelle emittierte Strahlenbündel S trifft auf einen Aufspaltort auf dem in der Ebene  $E_A$  angeordneten Aufspaltelements  $G_A$  und wird darüber in zwei Teilstrahlenbündel TS1, TS2 aufgespalten. Die Teilstrahlenbündel propagieren sodann unter verschiedenen Winkeln  $\theta_1$ ,  $\theta_2$  gegenüber der Normalen  $N_A$  auf die Ebene  $E_A$  weiter. Beide Teilstrahlenbündel TS1, TS2 treffen dann auf die in der Ebene  $E_S$  angeordneten Umlenkelemente  $G_1$ ,  $G_2$ , über die eine Umlenkung der Teilstrahlenbündel TS1, TS2 in Richtung der Ebene  $E_R$  erfolgt. Wie aus **Fig. 1** ersichtlich ist die Ebene  $E_S$  und damit auch die Umlenkelemente  $G_1$ ,  $G_2$  gegenüber der Einfallsrichtung des Strahlenbündels S um den Winkel  $\theta_S$  verkippt angeordnet. Als Umlenkelemente  $G_1$ ,  $G_2$  fungieren hier Reflexionsgitter, die die Gitterperioden  $d_1$  und  $d_2$  aufweisen. Mit Hilfe des Umlenkelements  $G_1$  wird eine Umlenkung des unter dem Winkel  $\alpha_1$  gegenüber der Normalen  $N_S$  auf die Ebene  $E_S$  einfallenden Teilstrahlenbündels TS1 dergestalt bewirkt, dass dieses unter dem Winkel  $\beta_1$  gegenüber der Normalen  $N_S$  auf die Ebene  $E_S$  weiterpropagiert; das Umlenkelement  $G_2$  bewirkt eine Umlenkung des unter dem Winkel  $\alpha_2$  auf die Ebene  $E_S$  einfallenden Teilstrahlenbündels TS2, so dass dieses unter dem Winkel  $\beta_2$  gegenüber der Normalen  $N_S$  in Richtung der Ebene  $E_R$  weiterpropagiert. Die Winkel  $\beta_1$  und  $\beta_2$ , unter denen die Teilstrahlenbündel TS1, TS2 von den Umlenkelementen  $G_1$ ,  $G_2$  wegpropagieren, sind wie aus der Figur ersichtlich verschieden. Über eine geeignete Wahl der Gitterperioden  $d_1$  und  $d_2$  der Umlenkelemente  $G_1$ ,  $G_2$  werden z.B. die gewünschten Winkel  $\theta_1$ ,  $\theta_2$  eingestellt. In der Ebene  $E_R$  befindet sich ein Messreflektor MR, der die darauf einfallenden Teilstrahlenbündel TS1, TS2 entgegengesetzt zur Einfallsrichtung x zurückreflektiert, so dass die Teilstrahlenbündel TS1, TS2 nach der erneuten Umlenkung über die Umlenkelemente  $G_1$ ,  $G_2$  in der Ebene  $E_A$  an einem Vereinigungsort wieder zur Überlagerung kommen. Im Fall einer Positionsänderung der Ebene  $E_A$  gegenüber den restlichen Komponenten entlang der z-Richtung ist derart ein abstandsabhängiges Interferenzsignal erzeugbar, das über eine – nicht dargestellte – nachgeordnete Detektoranordnung erfassbar ist. Die von den Teilstrahlenbündeln TS1, TS2 zwischen den Ebenen  $E_A$  und  $E_R$ , d.h. zwischen Aufspaltung und Wiedervereinigung, zurückgelegten Weglängen  $W_1$ ,  $W_2$  ergeben sich als rein geometrische Funktionen in Abhängigkeit der Winkel  $\theta_1$ ,  $\theta_2$  und  $\theta_S$ . Die wellenlängenabhängige, erfindungsgemäß zu eliminierende Weglängendifferenz  $\Delta W = W_1 - W_2$  lässt sich damit unabhängig von einer Abstandsänderung  $\Delta z$  durch die geeignete Wahl der Winkel  $\theta_1$ ,  $\theta_2$  und  $\theta_S$  gleich Null setzen, d.h. es gilt

$$\Delta W(\theta_1, \theta_2, \theta_S) = W_1 - W_2 = f(\Delta z) \left( \frac{(1 + \sin(\theta_1))}{\sin(\theta_S + \theta_1)} - \frac{(1 + \sin(\theta_2))}{\sin(\theta_S + \theta_2)} \right) = 0 \quad (\text{Gl. 1})$$

mit:

- $\Delta W$  := optische Weglängendifferenz
- $W_1$  := optische Weglänge des ersten Teilstrahlenbündels
- $W_2$  := optische Weglänge des zweiten Teilstrahlenbündels
- $\theta_1$  := Beugungswinkel des ersten Teilstrahlenbündels am Aufspaltelement
- $\theta_2$  := Beugungswinkel des zweiten Teilstrahlenbündels am Aufspaltelement
- $\theta_S$  := Neigungswinkel der Ebene  $E_S$  gegenüber der Messrichtung z

**[0042]** Die Phasen  $P_1$ ,  $P_2$  der Teilstrahlenbündel T1, T2 ergeben sich dagegen als Funktionen des Produkts des jeweiligen z-abhängigen Auftreffortes auf den Umlenkelementen  $G_1$  bzw.  $G_2$  und den jeweiligen hiervon unabhängigen reziproken Gitterperioden  $d_1$  bzw.  $d_2$ . Die im Fall einer Abstandsänderung  $\Delta z$  resultierende Phasendifferenz  $\Delta P(\Delta z) = P_1(\Delta z) - P_2(\Delta z)$  ist daher im Allgemeinen eine Funktion der Abstandsänderung  $\Delta z$ :

$$\Delta P(\Delta z, \theta_1, \theta_2, \theta_S) = P_1 - P_2 = 4\pi\Delta z \left( \frac{(m_1 \sin(\theta_1))}{d_1 \sin(\theta_S + \theta_1)} - \frac{(m_2 \sin(\theta_2))}{d_2 \sin(\theta_S + \theta_2)} \right) \quad (\text{Gl. 2})$$

mit:

|            |                                                                                              |
|------------|----------------------------------------------------------------------------------------------|
| $\Delta P$ | := Phasendifferenz zwischen den beiden Teilstrahlenbündeln                                   |
| $P_1$      | := Phase des ersten Teilstrahlenbündels am Vereinigungsort                                   |
| $P_2$      | := Phase des zweiten Teilstrahlenbündels am Vereinigungsort                                  |
| $\theta_1$ | := Beugungswinkel des ersten Teilstrahlenbündels am Aufspaltelement                          |
| $\theta_2$ | := Beugungswinkel des zweiten Teilstrahlenbündels am Aufspaltelement                         |
| $\theta_S$ | := Neigungswinkel der Ebene $E_S$ gegenüber der Messrichtung $z$                             |
| $\Delta z$ | := relative Verschiebung der zueinander beweglichen Komponenten entlang der Messrichtung $z$ |
| $m_{1/2}$  | := Beugungsordnung des ersten bzw. zweiten Teilstrahlenbündels am Aufspaltelement            |

**[0043]** Durch eine geeignete Wahl der Gitterperioden  $d_1, d_2$  der Umlenkelemente  $G1, G2$  zur definierten Einstellung der Winkel  $\theta_1, \theta_2$  und die Wahl eines passenden Winkels  $\theta_S$  lässt sich somit eine geeignete Abhängigkeit der Abstandsänderung  $\Delta z$  von der resultierenden Phasendifferenz  $\Delta P(\Delta z)$  und damit eine geeignete Signalperiode für die Abstandsmessung realisieren. Gleichzeitig ist die Nebenbedingung  $\Delta W = 0$  eingehalten und somit eine Unabhängigkeit von eventuellen Wellenlängenschwankungen gewährleistet.

**[0044]** Das erläuterte erfindungsgemäße Grundprinzip für eine achromatische, interferentielle Abstandsmessung kann dabei in Verbindung mit einer beliebigen Anzahl von diffraktiven und/oder geometrischen Umlenkungen der Teilstrahlenbündel  $TS1, TS2$  realisiert werden. Auf diese Art und Weise ist es möglich, erfindungsgemäße Vorrichtungen zu schaffen, die neben der gewünschten Wellenlängenunabhängigkeit auch eine Unempfindlichkeit gegenüber Verkippungen einzelner Komponenten um bestimmte Achsen aufweist.

**[0045]** Nachfolgend werden Ausführungsbeispiele der erfindungsgemäßen Vorrichtung zur interferentiellen Abstandsmessung im Detail erläutert, in denen u.a. jeweils eine unterschiedliche Anzahl derartiger Umlenkungen vorgesehen ist.

**[0046]** Ein erstes Ausführungsbeispiel der erfindungsgemäßen Vorrichtung zur interferentiellen Abstandsmessung ist in den **Fig. 2, Fig. 3a, Fig. 3b** und **Fig. 4a–Fig. 4c** schematisiert in unterschiedlichen Darstellungen bzw. Teildarstellungen gezeigt.

**[0047]** Die Vorrichtung dient hierbei zur Bestimmung des Abstands zweier Objekte  $O1, O2$  entlang der vertikalen Verschieberichtung  $z$ . Bei den in **Fig. 2** lediglich schematisch angedeuteten Objekten  $O1, O2$  kann es sich z.B. um Maschinenkomponenten handeln, die mindestens entlang der Verschieberichtung  $z$  beweglich zueinander angeordnet sind. Über die erfindungsgemäße Vorrichtung werden hierbei abstandsabhängige Signale bzgl. des Abstands der beiden Objekte  $O1, O2$  erzeugt. Diese Signale können von einer nachgeordneten, nicht gezeigten Maschinensteuerung weiterverarbeitet werden. Neben der Abstandserfassung entlang der Verschieberichtung  $z$  kann desweiteren eine Positionserfassung entlang der orthogonalen, horizontalen Verschieberichtungen  $x, y$  vorgesehen sein, entlang der die beiden Objekte  $O1, O2$  ggf. ebenfalls noch beweglich angeordnet sind.

**[0048]** Eines der beiden Objekte  $O1$  ist im vorliegenden Ausführungsbeispiel mit einer Komponente **10** der erfindungsgemäßen Vorrichtung gekoppelt bzw. verbunden. Das andere Objekt  $O2$  ist mit einer Abtasteinheit **20** gekoppelt bzw. verbunden, welche hier aus zwei Teil-Abtasteinheiten **20.1, 20.2** besteht, die die Komponente **10** umgreifen. Zwischen den beiden Teil-Abtasteinheiten **20.1, 20.2** ist die mit dem anderen Objekt  $O1$  verbundene Komponente **10** der erfindungsgemäßen Vorrichtung entlang der Verschieberichtung  $z$  relativ beweglich gegenüber der Abtasteinheit **20** angeordnet. Die erfindungsgemäße Vorrichtung gestattet nunmehr die hochpräzise Bestimmung des von Abstandsänderungen zwischen der Komponente **10** und der Abtasteinheit **20**, beispielsweise die Bestimmung des in **Fig. 2** angegebenen Abstands  $d_z$  zwischen der oberen Teil-Abtasteinheit **20** und der Komponente **10**.

**[0049]** Die mit dem Objekt  $O1$  verbundene Komponente **10** der dargestellten Vorrichtung umfasst mindestens ein Aufspaltelement **11**, das im vorliegenden Beispiel als eindimensionales Transmissionsgitter bzw. Transmissions-Phasengitter, mit der Teilungsperiode  $TP_1$  ausgebildet und auf einem transparenten Trägersubstrat **12** angeordnet ist. Das Transmissionsgitter besteht aus periodisch mit der Teilungsperiode  $TP_1$  entlang der angegebenen  $y$ -Richtung angeordneten Teilungsbereichen, die unterschiedliche phasenschiebende Wirkungen auf das durchfallende Licht ausüben. Wie aus der Draufsicht auf die Komponente **10** in **Fig. 4b** ersichtlich, ist in  $x$ -Richtung parallel benachbart zum Transmissionsgitter des Aufspaltelements **11** ein weiteres eindimensionales Transmissionsgitter auf dem Trägersubstrat **12** der Komponente **10** angeordnet: das zweite Trans-

missionsgitter fungiert im vorliegenden Ausführungsbeispiel der erfindungsgemäßen Vorrichtung als Vereinigungselement **13**.

**[0050]** Die Abtasteinheit **20** umfasst mindestens eine Lichtquelle **21.1**, ein Umlenkelement **23.1** sowie eine Detektoranordnung **25.1**. Als Lichtquelle **21.1** kommt z.B. ein Laser oder eine Laserdiode in Betracht, das Umlenkelement **23.1** ist als Umlenkprisma mit einer Umlenkfläche **23.1a** ausgebildet, als Detektoranordnung **25.1** dient ein sog. strukturierter Fotodetektor, der aus einer Mehrzahl periodisch angeordneter lichtempfindlicher Detektorbereiche besteht.

**[0051]** Desweiteren ist im dargestellten Ausführungsbeispiel in der ersten Teil-Abtasteinheit **20.1** eine Kollimatoroptik **22.1** vorgesehen; in der zweiten Teil-Abtasteinheit **20.2** ist ferner eine Maßverkörperung **24.1** angeordnet, die ein zweidimensionales Transmissions-Kreuzgitter **24.1a** aufweist, das auf einer Seite eines transparenten Trägersubstrats **24.1c** angeordnet ist, während auf der gegenüberliegenden Seite des Trägersubstrats **24.1c** parallel zum Transmissions-Kreuzgitter **24.1a** ein Reflektor **24.1b** angeordnet ist; das Transmissions-Kreuzgitter **24.1a** und der Reflektor **24.1b** sind senkrecht in Bezug auf das Transmissionsgitter des Aufspaltelements **11** angeordnet. Wie aus **Fig. 4c** ersichtlich, besitzt das Transmissions-Kreuzgitter **24.1a** entlang der x-Richtung die Teilungsperiode  $TP_x$ , entlang der Verschieberichtung z die Teilungsperiode  $TP_z$ .

**[0052]** Spiegelsymmetrisch in Bezug auf eine Symmetrieebene  $S_E$  sind zu den oben erwähnten Elementen der Abtasteinheit **20** im dargestellten Ausführungsbeispiel im rechten Teil der Abtasteinheit **20** die identischen Komponenten angeordnet, nämlich eine zweite Lichtquelle **21.2**, eine zweite Kollimatoroptik **22.2**, eine zweite Detektoranordnung **25.2**, ein zweites Umlenkelement **23.2**, sowie eine zweite Maßverkörperung **24.2**. Nachfolgend sei in Bezug auf den linken Abtaststrahlengang von einem ersten Abstandssensor die Rede, in Bezug auf den rechten Strahlengang von einem zweiten Abstandssensor.

**[0053]** Im vorliegenden, ersten Ausführungsbeispiel der erfindungsgemäßen Vorrichtung erfolgt somit über die in **Fig. 2** links angeordneten Elemente, d.h. über den ersten Abstandssensor, die Erzeugung eines ersten Abstands-Messwerts  $d_{z1}$ , über die rechts angeordneten Elemente, d.h. den zweiten Abstandssensor, die Erzeugung eines zweiten Abstands-Messwerts  $d_{z2}$ .

**[0054]** Im folgenden sei nunmehr der Strahlengang zu Erzeugung der abstandsabhängigen Signale im ersten Ausführungsbeispiel der erfindungsgemäßen Vorrichtung erläutert; dies erfolgt anhand des in **Fig. 2** links gezeigten Abtaststrahlengangs des ersten Abstandssensors; der Abtaststrahlengang im rechten Teil der erfindungsgemäßen Vorrichtung, d.h. im zweiten Abstandssensor, ist prinzipiell identisch hierzu.

**[0055]** Das von der Lichtquelle **21.1** emittierte Strahlenbündel erfährt über die vorgeordnete Kollimatoroptik **22.1** zunächst eine Kollimation, verlässt dann die Teil-Abtasteinheit **20.1** und trifft in der Komponente **10** auf das Aufspaltelement **11**. Dort erfährt das Strahlenbündel eine Aufspaltung in zwei Teilstrahlenbündel, indem das einfallende Strahlenbündel am Transmissionsgitter in die 0. und  $-1$ . Beugungsordnung gebeugt wird. Die Teilstrahlenbündel propagieren in der zweiten Teil-Abtasteinheit **20.2** sodann in Richtung des Umlenkelements **23.1** und erfahren an dessen Umlenkfläche **23.1a** eine Reflexion bzw. Umlenkung in Richtung der Maßverkörperung **24.1**. Dort durchlaufen die beiden Teilstrahlenbündel zunächst das Transmissions-Kreuzgitter **24.1a**, wobei sie jeweils eine Ablenkung in z-Richtung und x-Richtung, d.h. senkrecht zur Zeichenebene in **Fig. 2**, erfahren; die hierbei resultierende Ablenkung in x-Richtung ist in der Draufsichts-Darstellung der Strahlengänge in **Fig. 3b** ersichtlich. Daraufhin treffen die beiden Teilstrahlenbündel nach dem Passieren des Trägersubstrats **24.1c** auf den Reflektor **24.1b** der Maßverkörperung **24.1**, über den sie in Richtung des Transmissions-Kreuzgitters **24.1a** zurückreflektiert werden. Beim erneuten Durchlaufen des Transmissions-Kreuzgitters **24.1a** erfahren die Teilstrahlenbündel eine erneute Ablenkung in z-Richtung und x-Richtung, so dass sie dann parallel versetzt zur Einfallrichtung zum Umlenkelement **23.1** weiterpropagieren. Der Versatz der auf die Maßverkörperung **24.1** ein- und ausfallenden Teilstrahlenbündel in x-Richtung ist hierbei zur räumlichen Trennung der Beleuchtungs- und Signalstrahlenbündel erforderlich, um letztere detektieren zu können. Zwischen dem ersten und zweiten Auftreffen der aufgespaltenen Teilstrahlenbündel auf der Umlenkfläche **23.1a** des Umlenkelements **23.1**, d.h. zumindest in einem Teil des Strahlengangs, verlaufen die Teilstrahlenbündel symmetrisch zu einer Symmetrieachse  $S_y$  der Teil-Abtasteinheit **20.2**. Über das Umlenkelement **23.1** erfolgt an der Umlenkfläche **23.1a** sodann eine Umlenkung der Teilstrahlenbündel in Richtung des Vereinigungsortes in der Komponente **10**, wo die Teilstrahlenbündel überlagert zur Interferenz kommen. Der Vereinigungsort befindet sich in der Komponente **10** in x-Richtung versetzt gegenüber dem Aufspaltort auf dem Vereinigungsgitter **13**. Die Teilungsperiode  $TP_1$  des Transmissionsgitters des Aufspaltelements **11** wird im vorliegenden Ausführungsbeispiel geringfügig verschieden von der Teilungsperiode  $TP_2$  des Transmissionsgitters des Vereinigungselements **13** gewählt. Derart resultiert nach dem Durchgang der überlagerten Teilstrahlenbündel durch das Vereinigungs-

gitter ein sog. Vernierstreifenmuster, das mithilfe des strukturierten Fotodetektors der Detektoranordnung **25.1** in abstandsabhängige, phasenverschobene Signale umsetzbar ist; aus diesen wiederum kann in bekannter Art und Weise im ersten Abstandssensor der erste Abstands-Messwert  $d_{z1}$  gewonnen werden.

**[0056]** Über den prinzipiell analogen Strahlengang erfolgt die Erzeugung des zweiten Abstands-Messwerts  $d_{z2}$  im zweiten Abstandssensor, also im rechten Teil der dargestellten erfindungsgemäßen Vorrichtung.

**[0057]** Aus der Verrechnung der Abstands-Messwerte  $d_{z1}$ ,  $d_{z2}$  des ersten und zweiten Abstandssensors, die aus den jeweiligen Strahlengängen in der erfindungsgemäßen Vorrichtung gewonnen werden, lässt sich eine resultierende Positionsphase  $\Phi$  erzeugen, die eindeutig einer Abstandsänderung  $\Delta z$  zwischen den beiden Objekten O1, O2 entlang der Verschieberichtung z zugeordnet werden kann, gemäß

$$z = (d_{z1} + d_{z2})/2 = (TP_z)^2 \cdot \Phi / (2\lambda \cdot 2\pi) \quad (\text{Gl. 3})$$

mit:

z := Abstandsmesswert bzgl. des Abstands der Objekte O1, O2  
 $d_{z1}$  := Abstandsmesswert des ersten Abstandssensors  
 $d_{z2}$  := Abstandsmesswert des zweiten Abstandssensors  
 $TP_z$  := Teilungsperiode des Transmissions-Kreuzgitters entlang der Verschieberichtung z  
 $\Phi$  := Positionsphase  
 $\lambda$  := Wellenlänge der Lichtquelle

**[0058]** Im vorliegenden, ersten Ausführungsbeispiel der erfindungsgemäßen Vorrichtung erfolgt die definierte Einstellung der zurückgelegten Weglängen der Teilstrahlenbündel zwischen Aufspaltung und Wiedervereinigung durch die geeignete Wahl des Anordnungswinkels der Umlenflächen **23.1a**, **23.2a** der Umlenkelemente **23.1**, **23.2**; dieser Winkel wird so gewählt, dass für beliebige Abstände zwischen den beiden Objekten O1, O2 die zurückgelegten Weglängen zwischen dem Aufspaltort und dem Vereinigungsort identisch sind.

**[0059]** Im erläuterten ersten Ausführungsbeispiel der erfindungsgemäßen Vorrichtung erfolgte die Erzeugung mehrerer phasenverschobener, abstandsabhängiger Signale über eine sog. Vernierabtastung, d.h. über die Erzeugung eines Streifenmusters und die Abtastung desselbigen mittels eines strukturierten Fotodetektors. Alternativ hierzu ist auch die Erzeugung der phasenverschobenen Signale über eine Polarisationsauswertung oder aber über eine geeignete Ausbildung des Vereinigungselements denkbar. In Bezug auf die grundsätzlich bekannten Möglichkeiten zur Erzeugung phasenverschobener, abstandsabhängiger Signale in interferentiellen Abstandsmessungs-Vorrichtungen sei etwa auf die DE 10 2011 005 937 A1 der Anmelderin verwiesen.

**[0060]** Eine Variante des ersten Ausführungsbeispiels der erfindungsgemäßen Vorrichtung ist in den **Fig. 5**, **Fig. 6a**, **Fig. 6b** sowie **Fig. 7a** und **Fig. 7b** in Teilansichten gezeigt. Nachfolgend werden lediglich die maßgeblichen Unterschiede zum vorab beschriebenen Ausführungsbeispiel erläutert.

**[0061]** Diese Variante umfasst einen ersten Abstandssensor mit einem Aufbau bzw. Strahlengang, wie er im ersten beschriebenen Ausführungsbeispiel in **Fig. 2** im linken Teil gezeigt ist. Dieser erste Abstandssensor wird in der vorliegenden Variante um einen zweiten Abstandssensor ergänzt, der jedoch nunmehr in x-Richtung versetzt zum ersten Abstandssensor angeordnet ist. Auf Seiten des zweiten Abstandssensors werden zur Signalerzeugung am Aufspaltelement **14'** die +/-1. Beugungsordnungen genutzt. **Fig. 5** zeigt lediglich den zweiten Abstandssensor in einer schematischen Darstellung; die Strahlengänge der Teilstrahlenbündel in den beiden Abstandssensoren sind in den Ansichten der **Fig. 6a** und **Fig. 6b** zu erkennen. Da diese Strahlengänge grds. denjenigen aus dem ersten Ausführungsbeispiel entsprechen, wird auf eine erneute detaillierte Beschreibung derselbigen verzichtet.

**[0062]** In **Fig. 7a** ist ferner die in x-Richtung benachbarte Anordnung der Aufspaltelemente **11'**, **14'** und der Vereinigungselemente **13'**, **15'** des ersten und zweiten Abstandssensors dargestellt; **Fig. 7b** zeigt die Anordnung verschiedener Komponenten des ersten und zweiten Abstandssensors in der Teil-Abtasteinheit **20.1'**, nämlich die Lichtquellen **21.1'**, **21.3'**, die Kollimator-Optiken **22.1'**, **22.3'** und die Detektoranordnungen **25.1'**, **25.3'** für die beiden Abstandssensoren.

**[0063]** Der zweite Abstandssensor dieser Variante des ersten Ausführungsbeispiels der erfindungsgemäßen Vorrichtung liefert aufgrund der vorgesehenen Nutzung der +/-1. Beugungsordnungen im Fall einer Relativverschiebung der Objekte O1, O2 entlang der Verschieberichtung z keine Phasenverschiebung; es wird darüber

vielmehr eine Phasenverschiebung im Fall einer Relativbewegung der Objekte O1, O2 entlang der y-Richtung erfasst. Das heißt, es steht ein Messwert bzgl. einer Positionsänderung der Objekte O1, O2 entlang der y-Richtung zur Verfügung. Der eigentlich gewünschte, weitere Messwert für eine Abstandsänderung der Objekte O1, O2 entlang der Verschieberichtung z lässt sich hier jedoch über eine Differenzbildung aus den Positionsphasen des ersten und zweiten Abstandssensors ermitteln. Eine Abstandsänderung  $\Delta z$  im Fall einer Relativbewegung der Objekte O1, O2 entlang der Verschieberichtung z ergibt sich näherungsweise folgendermaßen:

$$\Delta z = ((TP_z)^2/2\lambda) \cdot (\Phi_1/2\pi - K \cdot \Phi_2/4\pi) \quad (\text{Gl. 4})$$

mit:

$\Delta z$  := Änderung des Abstands der Objekte O1, O2 entlang der Verschieberichtung z  
 $TP_z$  := Teilungsperiode des Transmissions-Kreuzgitters entlang der Verschieberichtung z  
 $\lambda$  := Wellenlänge der Lichtquelle  
 $\Phi_1$  := Positionsphase des ersten Abstandssensors  
 $\Phi_2$  := Positionsphase des zweiten Abstandssensors  
 $K$  := Verhältnis der Teilungsperioden der Aufspaltelemente bzw. Transmissionsgitter des zweiten zum ersten Abstandssensor

**[0064]** Ein zweites Ausführungsbeispiel der erfindungsgemäßen Vorrichtung zur interferentiellen Abstandsmessung wird nachfolgend anhand der schematisierten **Fig. 8**, **Fig. 9a**, **Fig. 9b**, **Fig. 10** und **Fig. 11** erläutert. Die **Fig. 8** sowie **Fig. 9a** und **Fig. 9b** zeigen verschiedene Ansichten der entsprechenden Vorrichtung, **Fig. 10** die Strahlengänge zur Erzeugung der abstandsabhängigen Signale in gestreckter Darstellung sowie **Fig. 11** eine Draufsicht auf verschiedene optisch-funktionsrelevante Elemente, die in den Strahlengängen beaufschlagt werden. Erläutert seien nachfolgend wieder nur die maßgeblichen Unterschiede zu den bislang beschriebenen Ausführungsbeispielen.

**[0065]** Zur Erfassung des Abstands der beiden Objekte O1, O2 entlang der wiederum vertikalen Verschieberichtung z umfasst das zweite Ausführungsbeispiel der erfindungsgemäßen Vorrichtung i.w. einen Messreflektor **110**, der mit einem Objekt O1 verbunden ist sowie eine Abtasteinheit **120**, die mit einem Objekt O2 verbunden ist.

**[0066]** Der Messreflektor **110** besteht aus einem Trägersubstrat **112**, auf dem ein Planspiegel **114** angeordnet ist. Die reflektierende Seite des Planspiegels **114** ist in Richtung der Abtasteinheit **120** orientiert.

**[0067]** Auf Seiten der Abtasteinheit **120** ist eine Lichtquelle **121**, eine Detektoranordnung **125** sowie ein transparenter Trägerkörper **137**, z.B. aus Glas, vorgesehen; alternativ wäre als Trägerkörper im Übrigen auch ein geeigneter Hohlkörper verwendbar. Der Trägerkörper **137** besitzt gemäß der Ansicht in **Fig. 8** einen pyramidenstumpfförmigen Querschnitt; am Trägerkörper **137** sind eine Reihe optisch-funktionsrelevanter Elemente angeordnet. Zu diesen Elementen gehören ein auf der dem Messreflektor **110** zugewandten Fläche des Trägerkörpers **137** angeordnetes Aufspaltelement **132** und ein Vereinigungselement **135** sowie vier an den Trägerkörper-Seitenflächen angeordnete Umlenkelemente **133a**, **133b**, **134a**, **134b**; hierbei sind an der in **Fig. 8** linken Seitenfläche des Trägerkörpers **137** ein erstes Umlenkelement **133a** und ein zweites Umlenkelement **133b** angeordnet, an der rechten Seitenfläche des Trägerkörpers **137** ein drittes Umlenkelement **134a** und ein viertes Umlenkelement **134b**. Das Aufspaltelement **132** ist ebenso wie das Vereinigungselement **135** als Transmissionsgitter mit definiert gewählten Teilungsperioden ausgebildet; als Umlenkelemente **133a**, **133b**, **134a**, **134b** fungieren in diesem Ausführungsbeispiel nunmehr Reflexionsgitter mit geeignet gewählten Teilungsperioden, wobei deren reflektierende Flächen in Richtung des Inneren des Trägerkörpers **137** orientiert sind.

**[0068]** Nachfolgend sei der Strahlengang des zweiten Ausführungsbeispiels der erfindungsgemäßen Vorrichtung zur interferentiellen Abstandsmessung erläutert. Hierbei durchtritt das von der Lichtquelle **121** emittierte Strahlenbündel zunächst einen optisch-unwirksamen Bereich **131** derjenigen Seite des Trägerkörpers **137**, die der Lichtquelle **121** zugewandt ist. Nach dem Durchlaufen des Trägerkörpers **137** gelangt das Strahlenbündel auf einen Aufspaltort am Aufspaltelement **132** und erfährt hier eine Aufspaltung in zwei Teilstrahlenbündel, die wie aus **Fig. 8** ersichtlich unter verschiedenen Winkeln in Richtung des Messreflektors **110** weiterpropagieren und diesen an ersten Auftrefforten ein erstes Mal beaufschlagen. Am Planspiegel **114** des Messreflektors **110** erfahren die Teilstrahlenbündel eine Rückreflexion in Richtung der Abtasteinheit **120**, und zwar in Richtung des ersten Umlenkelements **133a** und des zweiten Umlenkelements **133b**. Von diesen Umlenkelementen **133a**, **133b** werden die Teilstrahlenbündel dann in Richtung des dritten Umlenkelements **134a** und des vierten Um-

lenkelements **134b** umgelenkt. Über das dritte und vierte Umlenkelement **134a**, **134b** erfolgt eine Umlenkung der Teilstrahlenbündel in Richtung des Planspiegels **114** des Messreflektors **110**, den die Teilstrahlenbündel an zweiten Auftrefforten ein zweites Mal beaufschlagen. Die zweiten Auftrefforte auf dem Planspiegel **114** können hierbei gegenüber den ersten Auftrefforten der Teilstrahlenbündel in der angegebenen x-Richtung versetzt sein. Von den zweiten Auftrefforten **114** erfolgt schließlich eine Rückreflexion der Teilstrahlenbündel auf einen Vereinigungsort am Vereinigungselement **135**. Vom Vereinigungselement **135** schließlich propagiert ein überlagertes Paar interferierender Teilstrahlenbündel durch den Trägerkörper **137**, verlässt diesen durch den optisch-unwirksamen Bereich **136** und gelangt zur Detektoranordnung **125**. Über die Detektoranordnung sind wiederum mehrere phasenverschobene, abstandsabhängige Signale detektierbar.

**[0069]** Zur Erzeugung der Mehrzahl phasenverschobener Signale können auch in diesem Ausführungsbeispiel unterschiedliche Varianten zum Einsatz kommen. So ist es etwa möglich, eine sog. Vernierabtastung vorzusehen, bei der das Transmissionsgitter des Aufspaltelements **132** eine geringfügig unterschiedliche Teilungsperiode zum Transmissionsgitter des Vereinigungselements **135** aufweist. Das dann resultierende Streifenmuster kann mittels eines strukturierten Photodetektors in der Detektoranordnung **125** detektiert und in mehrere abstandabhängige phasenverschobene Signale umgesetzt werden. Alternativ wäre aber auch wie oben die Erzeugung der phasenverschobenen Signale über eine Polarisationsauswertung oder aber über eine geeignete Ausbildung des Vereinigungselements denkbar. In Bezug auf die grundsätzlich bekannten Möglichkeiten zur Erzeugung phasenverschobener abstandsabhängiger Signale in interferentiellen Abstandsmessungs-Vorrichtungen sei wiederum auf die bereits mehrfach erwähnte DE 10 2011 005 937 A1 der Anmelderin verwiesen.

**[0070]** Auch im zweiten Ausführungsbeispiel der erfindungsgemäßen Vorrichtung ist sichergestellt, dass im Fall einer Abstandsänderung entlang der Verschieberichtung z die zurückgelegten optischen Weglängen der Teilstrahlenbündel zwischen Aufspaltung und Wiedervereinigung für beide Teilstrahlenbündel gleich bleiben und damit die geforderte Wellenlängenunabhängigkeit der Abstandsmessung gewährleistet ist. Dies wird hier zum einen durch die Anordnungswinkel der vorgesehenen vier Umlenkelemente **133a**, **133b**, **134a**, **134b** sichergestellt, die geeignet gewählt werden. Zum anderen ist über die Ausbildung der Reflexionsgitter der Umlenkelemente **133a**, **133b**, **134a**, **134b**, insbesondere durch die Wahl der Teilungsperioden dieser Reflexionsgitter, ein symmetrischer Verlauf zumindest in einem Teil des Strahlengangs der aufgespaltenen Teilstrahlenbündel gewährleistet.

**[0071]** Als Vorteil des zweiten Ausführungsbeispiels der erfindungsgemäßen Vorrichtung ist noch anzuführen, dass aufgrund der vorgesehenen Symmetrie bezüglich der yz-Ebene eine Kippunempfindlichkeit gegenüber einer eventuellen Verkippung um die y-Achse resultiert.

**[0072]** Eine Variante des zweiten Ausführungsbeispiels der erfindungsgemäßen Vorrichtung zur interferentiellen Abstandsmessung sei abschließend anhand der **Fig. 12**, **Fig. 13** und **Fig. 14** erläutert. Hierbei seien wiederum nur die maßgeblichen Unterschiede zum soeben beschriebenen zweiten Ausführungsbeispiel erwähnt.

**[0073]** So ist der Strahlengang zur Erzeugung der abstandsabhängigen Signale in dieser Variante grundsätzlich identisch zu demjenigen aus dem zweiten Ausführungsbeispiel aus den **Fig. 8–Fig. 11**. Im Unterschied hierzu ist lediglich vorgesehen, dass die in der Abtasteinheit propagierenden Teilstrahlenbündel zwischen der Beaufschlagung der ersten und zweiten Umlenkelemente **133a'**, **133b'** und dem Beaufschlagen der dritten und vierten Umlenkelemente **134'**, **134b'** auf einen Linienfokus L fokussiert werden, der sich entlang der z-Richtung erstreckt. Hierzu ist eine entsprechende Ausbildung der Umlenkelemente **133a'**, **133b'**, **134a'**, **134b'** in Form reflektierender Zylinderlinsen vorgesehen, die an den Seitenflächen des Trägerkörpers angeordnet sind. Die Umlenkelemente **133a'**, **133b'**, **134a'**, **134b'** bzw. Zylinderlinsen besitzen neben der ablenkenden optischen Wirkung auf die Teilstrahlenbündel gemäß dem vorher erläuterten Ausführungsbeispiel ferner noch eine in y-Richtung resultierende fokussierende Wirkung; es resultiert ein Linienfokus L in einem Symmetriezentrum der Abtasteinheit. Auf diese Art und Weise wird neben der bereits vorhandenen Invarianz bei Verkippungen von Komponenten der erfindungsgemäßen Vorrichtung um die y-Achse desweiteren noch eine Unempfindlichkeit bei eventuellen Verkippungen um die x-Achse erreicht.

**[0074]** Das heißt, im Fall einer eventuellen Verkippung von Komponenten der erfindungsgemäßen Vorrichtung um eine dieser Achsen resultieren keine Fehler bei der Abstandsbestimmung.

**[0075]** Alternativ zur Verwendung reflektierender Zylinderlinsen könnte eine derartige fokussierende Wirkung auch durch zusätzlich in den Strahlengängen platzierte refraktive Linsen erreicht werden.

**[0076]** Eine derartige Unempfindlichkeit gegenüber Verkippungen um die y-Achse und die x-Achse lässt sich auch in einer weiteren alternativen Ausgestaltung des zweiten Ausführungsbeispiels der erfindungsgemäßen Vorrichtung gewährleisten. So kann anstelle der Ausbildung der vier Umlenkelemente in Form reflektierender Zylinderlinsen vorgesehen werden, dass in der Abtasteinheit die aufgespaltenen Teilstrahlenbündel jeweils auf insgesamt drei Umlenkelemente auftreffen, bevor sie wiedervereinigt werden; für die aufgespaltenen Teilstrahlenbündel sind demzufolge insgesamt sechs Umlenkelemente vorgesehen. Als Umlenkelemente fungieren dabei Reflexionsgitter, die an den Seitenflächen eines Trägerkörpers angeordnet werden, der nunmehr als dreiseitiger Pyramidenstumpf ausgebildet ist. Eine solche Anordnung entspricht einer Strahlinversion wie sie analog hierzu mit einem refraktiven Tripelprisma realisierbar ist. Als Vorteil dieser Variante gegenüber der zuvor erläuterten ist anzuführen, dass sämtliche verwendeten Gitter mit konstanten Teilungsperioden ausgebildet werden können.

**[0077]** Neben den konkret erläuterten Ausführungsbeispielen gibt es selbstverständlich noch weitere Möglichkeiten, die erfindungsgemäße Vorrichtung zur interferentiellen Abstandsmessung alternativ auszugestalten.

**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]
- DE 102011005937 [0002]
- DE 102011005937 A1 [0059, 0069]

## Patentansprüche

1. Vorrichtung zur interferentiellen Abstandsmessung zwischen zwei Objekten (O1, O2), die zueinander entlang mindestens einer Verschieberichtung (z) beweglich angeordnet sind, mit
  - mindestens einer Lichtquelle (**21.1, 21.2; 21.1', 21.3'; 121**),
  - mindestens einem Aufspaltelement ( $G_A$ ; **11; 11', 14'; 132; 132'**), welches ein von der Lichtquelle (**21.1, 21.2; 21.1', 21.3'; 121**) emittiertes Strahlenbündel an einem Aufspaltort in mindestens zwei Teilstrahlenbündel (TS1, TS2) aufspaltet, die unter verschiedenen Winkeln ( $\theta_1, \theta_2$ ) weiterpropagieren,
  - mindestens einem Umlenkelement ( $G_1, G_2$ ; **23.1, 23.2; 23.1', 23.3'; 133a, 133b, 134a, 134b; 133a', 133b', 134a', 134b'**), das eine Umlenkung der darauf einfallenden Teilstrahlenbündel (TS1, TS2) in Richtung eines Vereinigungsorts bewirkt, wo die aufgespaltenen Teilstrahlenbündel (TS1, TS2) zur interferierenden Überlagerung kommen und wobei die Strahlengänge der Teilstrahlenbündel (TS1, TS2) zwischen dem Aufspaltort und dem Vereinigungsort dergestalt ausgebildet sind, dass die zurückgelegten optischen Weglängen der Teilstrahlenbündel (TS1, TS2) zwischen dem Aufspaltort und dem Vereinigungsort im Fall einer Abstandsänderung ( $\Delta z$ ) zwischen den beiden Objekten (O1, O2) identisch sind,
  - mindestens einer Detektoranordnung (**25.1, 25.2; 25.1', 25.3'; 125**) zur Erfassung abstandsabhängiger Signale aus dem überlagerten Paar interferierender Teilstrahlenbündel (TS1, TS2).
2. Vorrichtung nach Anspruch 1, wobei
  - mit einem Objekt (O2) mindestens eine Abtasteinheit (**20; 120**) verbunden ist, die mindestens eine Lichtquelle (**21.1, 21.2; 21.1', 21.3'; 121**), mindestens eine Detektoranordnung (**25.1, 25.2; 25.1', 25.3'; 125**) und mindestens ein erstes Umlenkelement ( $G_1, G_2$ ; **23.1, 23.2; 23.1', 23.3'; 133a, 133b, 134a, 134b; 133a', 133b', 134a', 134b'**) umfasst und
  - mit dem anderen Objekt (O1) entweder ein Messreflektor (**110**) oder ein Aufspaltelement ( $G_A$ ; **11; 11', 14'; 132; 132'**) verbunden ist.
3. Vorrichtung nach Anspruch 2, wobei die Teilstrahlenbündel (TS1, TS2) in der Abtasteinheit (**20; 120**) zumindest in einem Teil des Strahlengangs symmetrisch bezüglich mindestens einer Symmetrieachse ( $S_y$ ) der Abtasteinheit (**20; 120**) propagieren.
4. Vorrichtung nach Anspruch 2, wobei
  - entweder die Abtasteinheit (**20**) zwei Teil-Abtasteinheiten (**20.1, 20.2**) aufweist, die spiegelsymmetrisch bezüglich einer Spiegelebene ( $S_E$ ) angeordnet sind, die parallel zur Verschieberichtung (z) orientiert ist oder
  - im Fall einer einzigen eingesetzten Abtasteinheit (**120**) diese spiegelsymmetrisch bezüglich einer Spiegelebene ( $S_E$ ) ausgebildet ist, die parallel zur Verschieberichtung (z) orientiert ist.
5. Vorrichtung nach mindestens einem der vorhergehenden Ansprüche, wobei über die Anordnung und/oder Ausbildung des mindestens einen Umlenkelements ( $G_1, G_2$ ; **23.1, 23.2; 23.1', 23.3'; 133a, 133b, 134a, 134b; 133a', 133b', 134a', 134b'**) gewährleistet ist, dass die zurückgelegten optischen Weglängen der Teilstrahlenbündel (TS1, TS2) zwischen dem Aufspaltort und dem Vereinigungsort im Fall einer Abstandsänderung ( $\Delta z$ ) zwischen den beiden Objekten (O1, O2) identisch sind.
6. Vorrichtung nach Anspruch 2, wobei
  - das Aufspaltelement (**11; 11', 14'**) als eindimensionales Transmissionsgitter ausgebildet ist und
  - die Abtasteinheit (**20**) ferner mindestens eine erste Maßverkörperung (**24.1, 24.2; 24.3'**) umfasst, die ein zweidimensionales Transmissions-Kreuzgitter (**24.1a, 24.2a; 24.3a'**) und einen parallel hierzu angeordneten Reflektor (**24.1a, 24.2a; 24.3a'**) aufweist.
7. Vorrichtung nach Anspruch 6, wobei das Transmissions-Kreuzgitter (**24.1a, 24.2a; 24.3a'**) und der Reflektor (**24.1a, 24.2a; 24.3a'**) senkrecht zum Transmissionsgitter des Aufspaltelements (**11; 11', 14'**) angeordnet sind.
8. Vorrichtung nach Anspruch 6, wobei das Umlenkelement (**23.1, 23.2; 23.1', 23.3'**) als Umlenkprisma ausgebildet ist.
9. Vorrichtung nach mindestens einem der Ansprüche 6–8, wobei die verschiedenen Komponenten derart ausgebildet und angeordnet sind, dass
  - das von der Lichtquelle (**21.1, 21.2; 21.1', 21.3'**) emittierte Strahlenbündel am Aufspaltelement (**11; 11', 14'**) eine Aufspaltung in zwei Teilstrahlenbündel (TS1, TS2) erfährt und die beiden Teilstrahlenbündel (TS1, TS2) in Richtung der Abtasteinheit (**20**) propagieren,

- in der Abtasteinheit (20) über das Umlenkelement ( $G_1, G_2$ ; 23.1, 23.2; 23.1', 23.3') eine Umlenkung der Teilstrahlenbündel (TS1, TS2) in Richtung der Maßverkörperung (24.1a, 24.2a; 24.3a') erfolgt,
- die Teilstrahlenbündel (TS1, TS2) das Transmissions-Kreuzgitter (24.1a, 24.2a; 24.3a') der Maßverkörperung (24.1a, 24.2a; 24.3a') durchlaufen, dabei eine Ablenkung erfahren und dann auf den Reflektor (24.1a, 24.2a; 24.3a') auftreffen,
- vom Reflektor eine Rückreflexion in Richtung des Transmissions-Kreuzgitters (24.1a, 24.2a; 24.3a') erfolgt, wo nach dem erneuten Durchlaufen des Transmissions-Kreuzgitters (24.1a, 24.2a; 24.3a') einer weitere Ablenkung dergestalt resultiert, dass die Teilstrahlenbündel (TS1, TS2) parallel versetzt zur Einfallsrichtung zum Umlenkelement ( $G_1, G_2$ ; 23.1, 23.2; 23.1', 23.3') propagieren,
- am Umlenkelement ( $G_1, G_2$ ; 23.1, 23.2; 23.1', 23.3') eine Umlenkung der Teilstrahlenbündel (TS1, TS2) in Richtung des Vereinigungsortes erfolgt und
- die überlagerten Teilstrahlenbündel (TS1, TS2) sodann in Richtung Detektoranordnung (25.1, 25.2; 25.1', 25.3') propagieren.

10. Vorrichtung nach Anspruch 6, wobei die Abtasteinheit (20) ein zweites Umlenkelement (23.2) sowie eine zweite Maßverkörperung (24.2) umfasst, die aus einem zweidimensionalen Transmissions-Kreuzgitter (24.2a) und einem Reflektor (24.2b) besteht, wobei das zweite Umlenkelement (23.2) und die zweite Maßverkörperung (24.2) spiegelsymmetrisch zum ersten Umlenkelement (23.1) und zur ersten Maßverkörperung (24.1) in der Abtasteinheit (20) angeordnet sind.

11. Vorrichtung nach Anspruch 2, wobei
- die mit einem Objekt (O2) verbundene Abtasteinheit (120) ferner mindestens vier Umlenkelemente (133a, 133b, 134a, 134b; 133a', 133b', 134a', 134b') umfasst, die jeweils als eindimensionales Reflexionsgitter ausgebildet sind und mindestens ein Aufspaltelement (132; 132'), umfasst, das als eindimensionales Transmissionsgitter ausgebildet ist und
  - mit dem anderen Objekt (O1) ein Messreflektor (110) verbunden ist, der als Planspiegel ausgebildet ist.

12. Vorrichtung nach Anspruch 11, wobei die Abtasteinheit (120) einen transparenten Trägerkörper (137) mit pyramidenstumpfförmigem Querschnitt aufweist und an dessen dem Messreflektor (110) zugewandten Fläche das Aufspaltelement (132; 132') angeordnet ist und an dessen Seitenflächen die mindestens vier Umlenkelemente (133a, 133b, 134a, 134b; 133a', 133b', 134a', 134b') angeordnet sind.

13. Vorrichtung nach Anspruch 11, wobei die verschiedenen Komponenten derart ausgebildet und angeordnet sind, dass
- das von der Lichtquelle (121) emittierte Strahlenbündel am Aufspaltelement (132; 132') eine Aufspaltung in zwei Teilstrahlenbündel (TS1, TS2) erfährt und die beiden Teilstrahlenbündel in Richtung des Messreflektors (110) propagieren,
  - vom Messreflektor (110) eine Rückreflexion der Teilstrahlenbündel (TS1, TS2) in Richtung der ersten und zweiten Umlenkelemente (133a, 133b; 133a', 133b') in der Abtasteinheit (120) erfolgt, wo eine Umlenkung der Teilstrahlenbündel (TS1, TS2) in Richtung der dritten und vierten Umlenkelemente (134a, 134b; 134a', 134b') resultiert und
  - über die dritten und vierten Umlenkelemente (134a, 134b; 134a', 134b') eine Umlenkung der Teilstrahlenbündel (TS1, TS2) zum Messreflektor (110) erfolgt,
  - von dem aus eine Rückreflexion der Teilstrahlenbündel (TS1, TS2) in Richtung des Vereinigungsorts in der Abtasteinheit (120) resultiert und
  - die überlagerten Teilstrahlenbündel (TS1, TS2) sodann in Richtung Detektoranordnung (125) propagieren.

14. Vorrichtung nach Anspruch 11, wobei die in der Abtasteinheit (120) angeordneten Umlenkelemente (133a', 133b', 134a', 134b') ferner noch eine fokussierende Wirkung auf die in der Abtasteinheit (120) propagierenden Teilstrahlenbündel (TS1, TS2) dergestalt ausüben, dass ein Linienfokus (L) in einem Symmetriezentrum der Abtasteinheit (120) resultiert.

Es folgen 11 Seiten Zeichnungen

Anhängende Zeichnungen

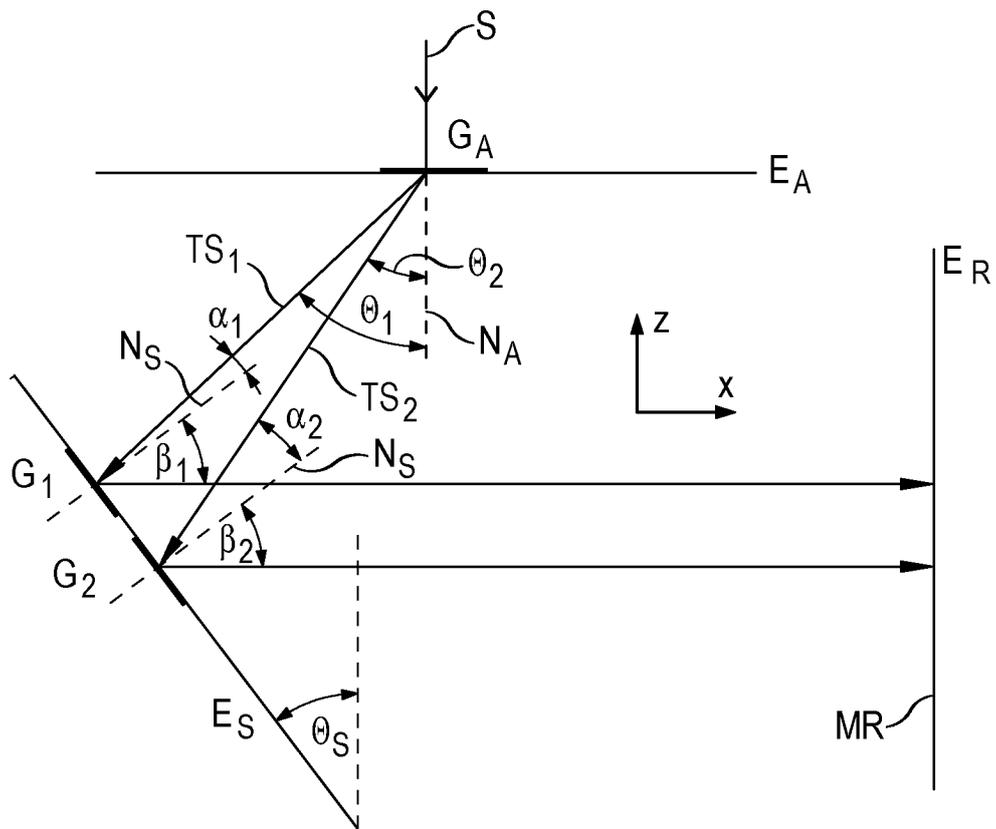


Fig. 1

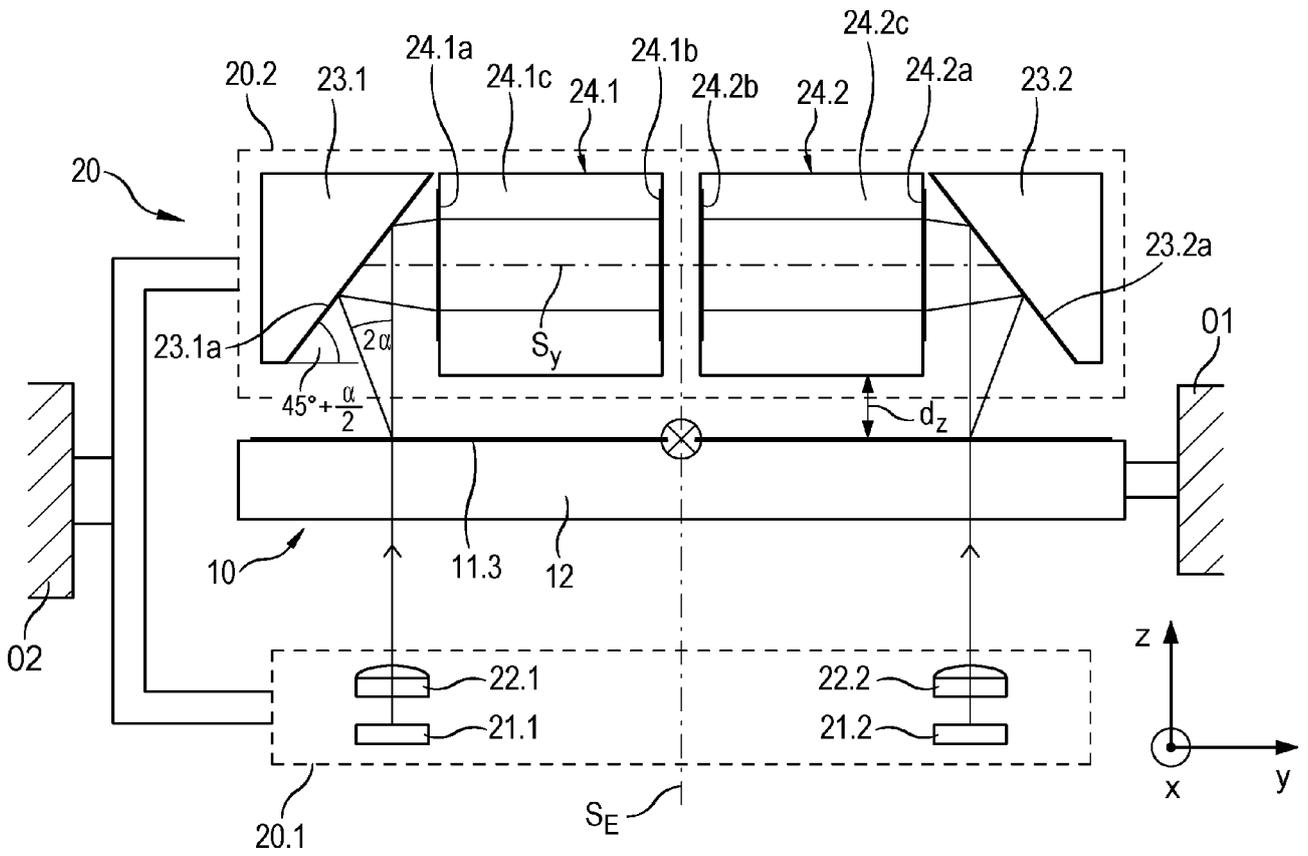


Fig. 2

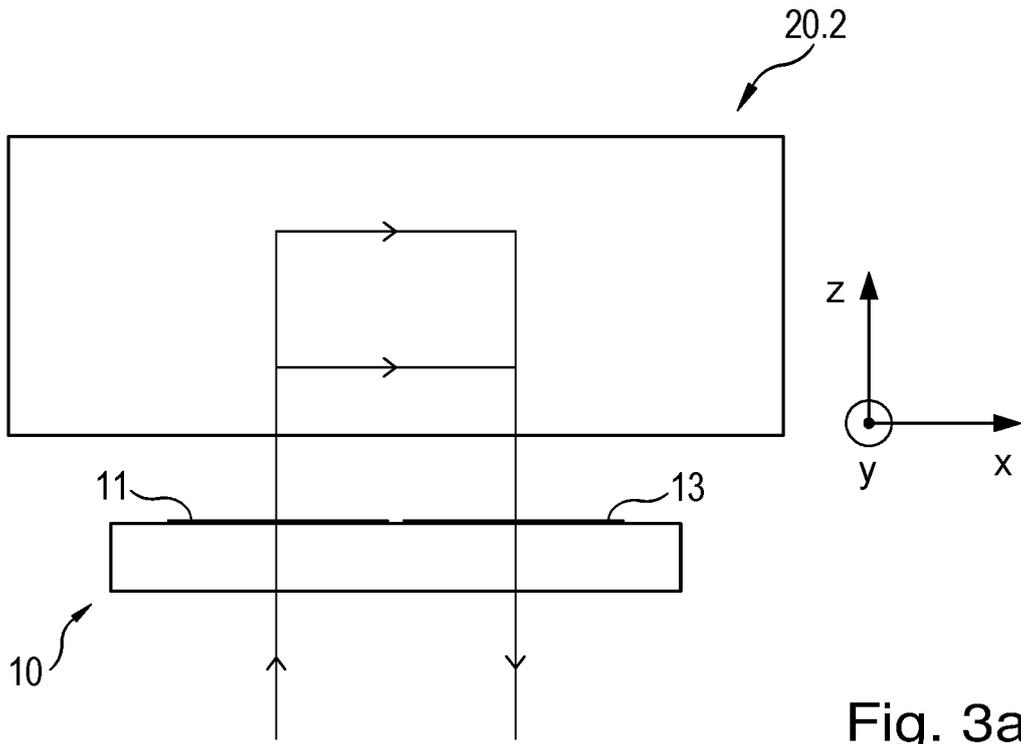


Fig. 3a

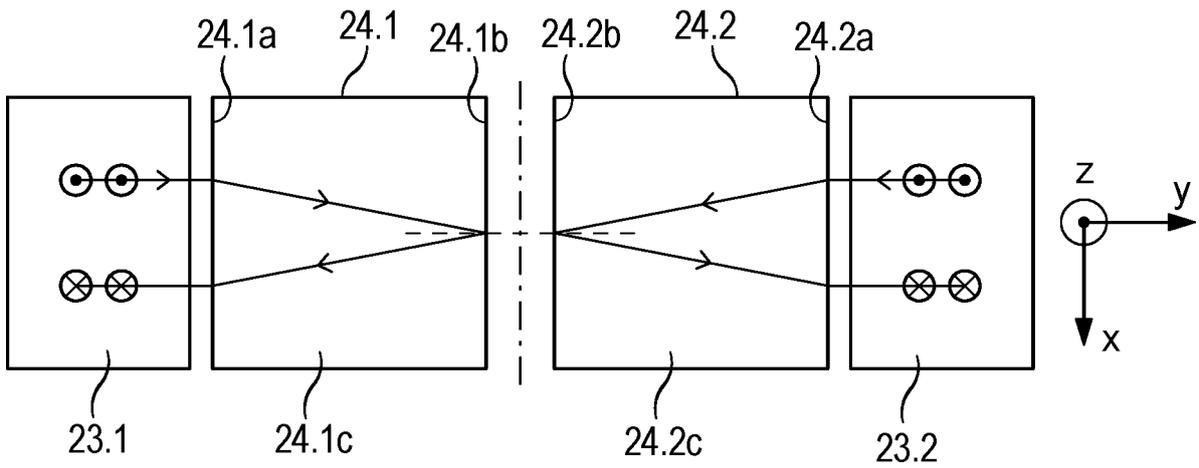


Fig. 3b

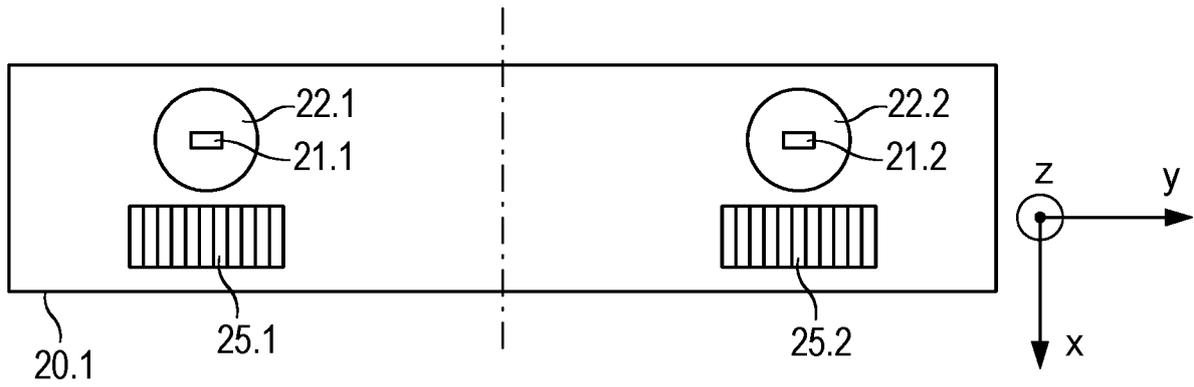


Fig. 4a

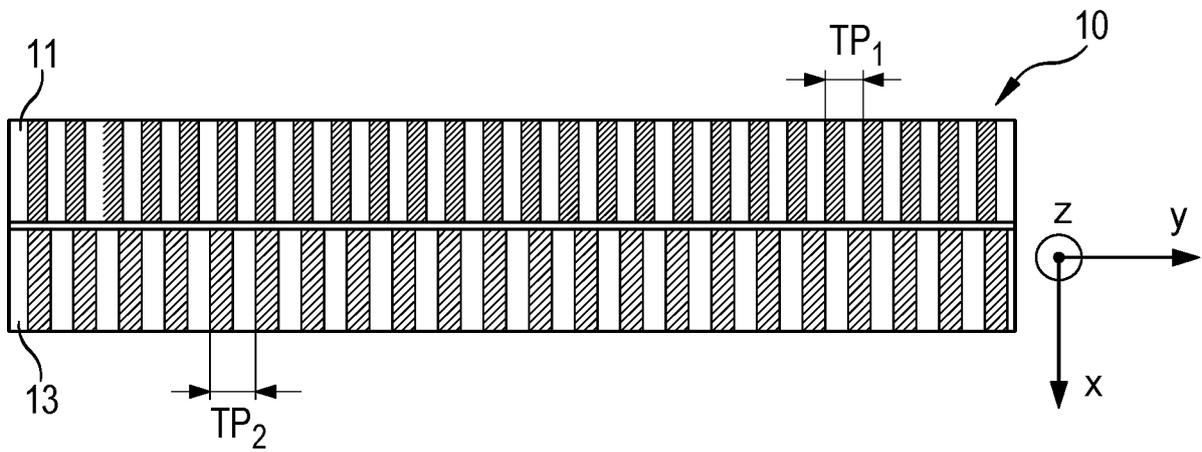


Fig. 4b

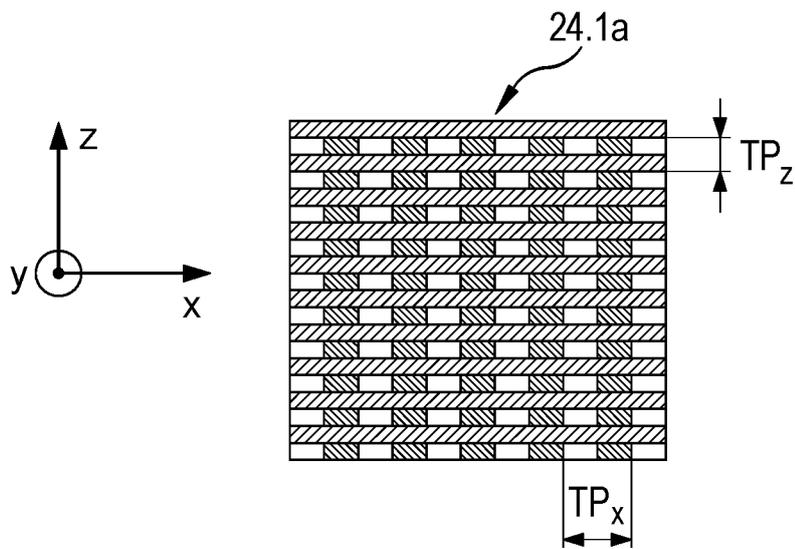


Fig. 4c

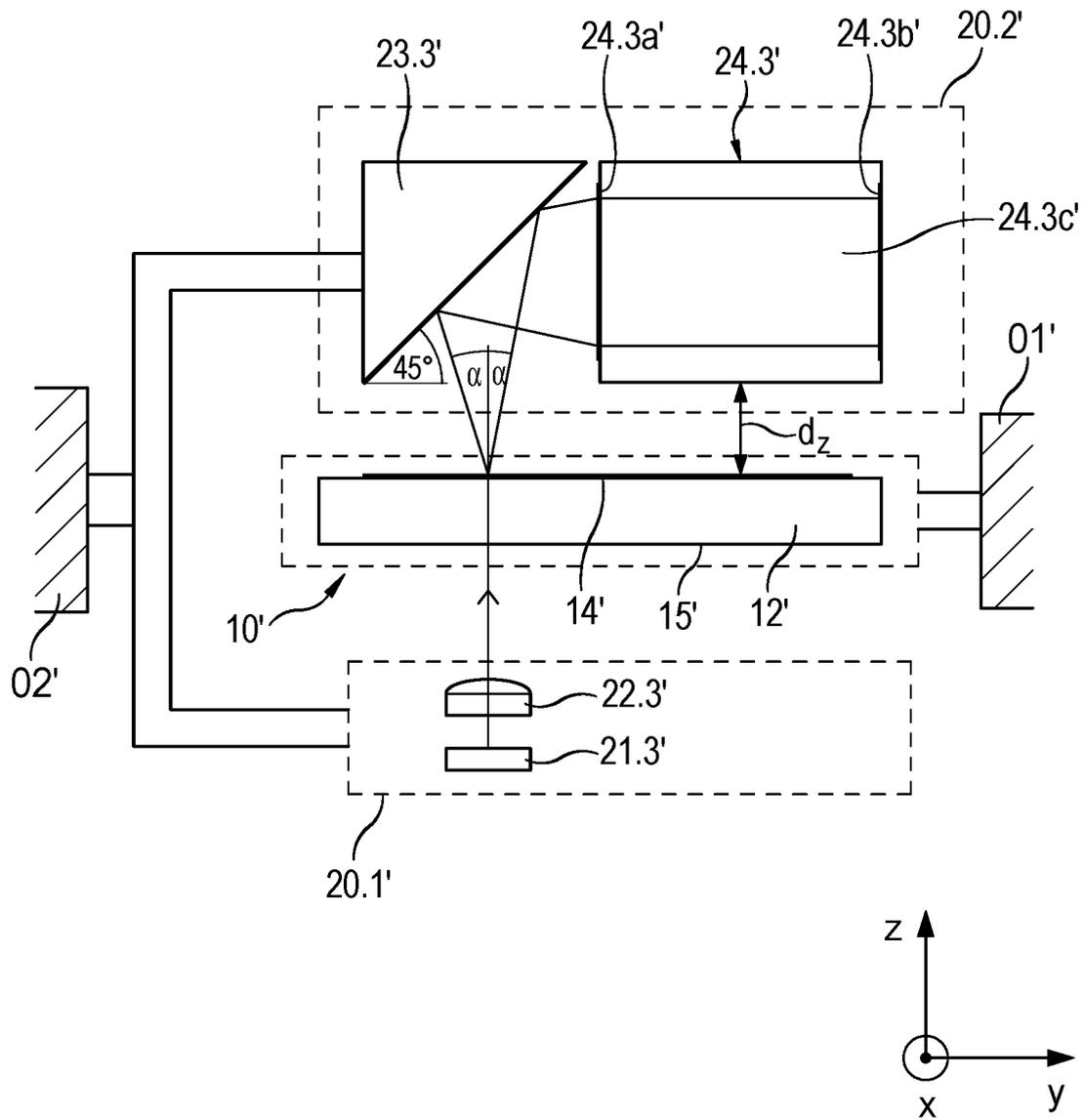


Fig. 5

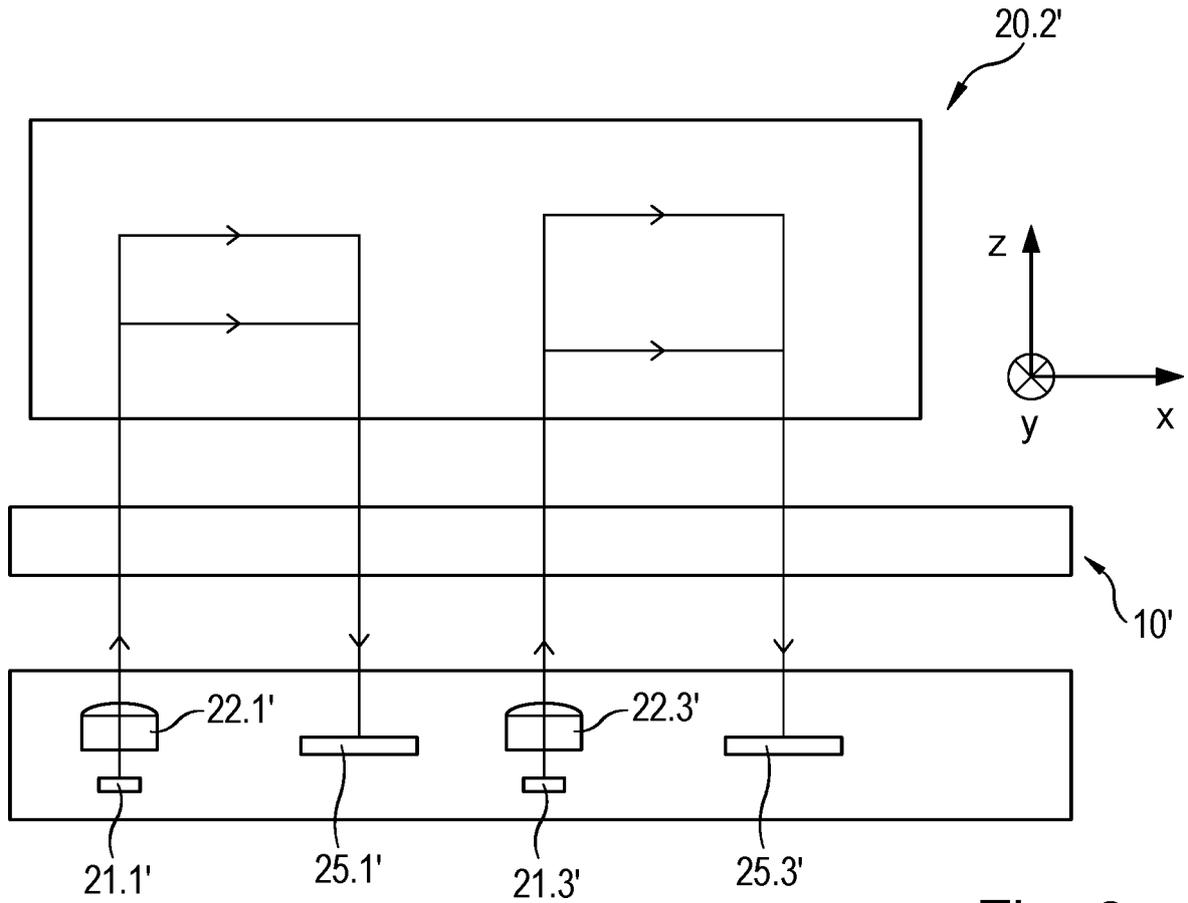


Fig. 6a

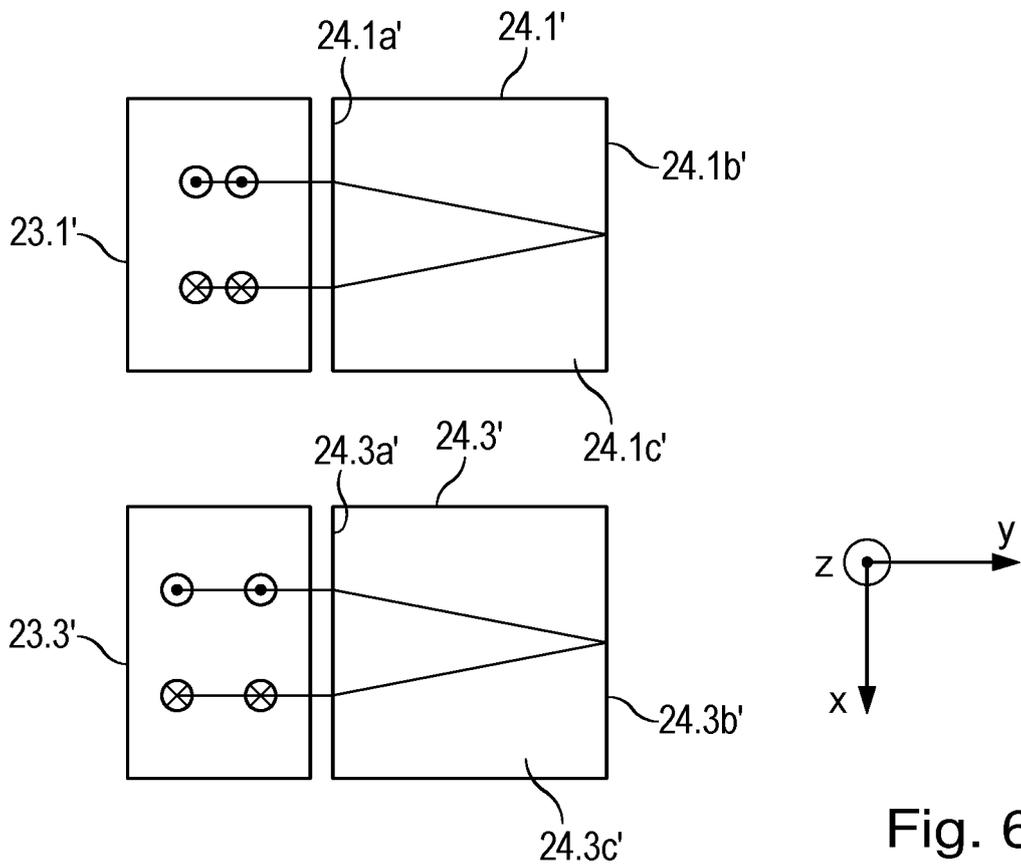


Fig. 6b

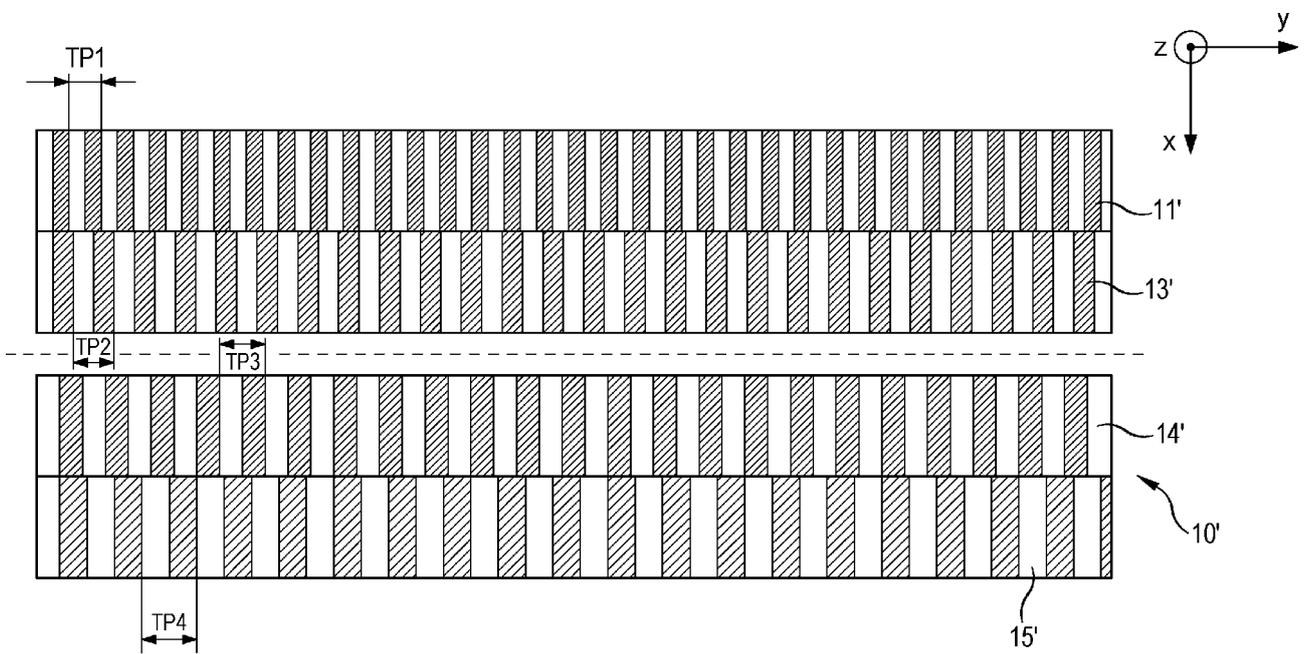


Fig. 7a

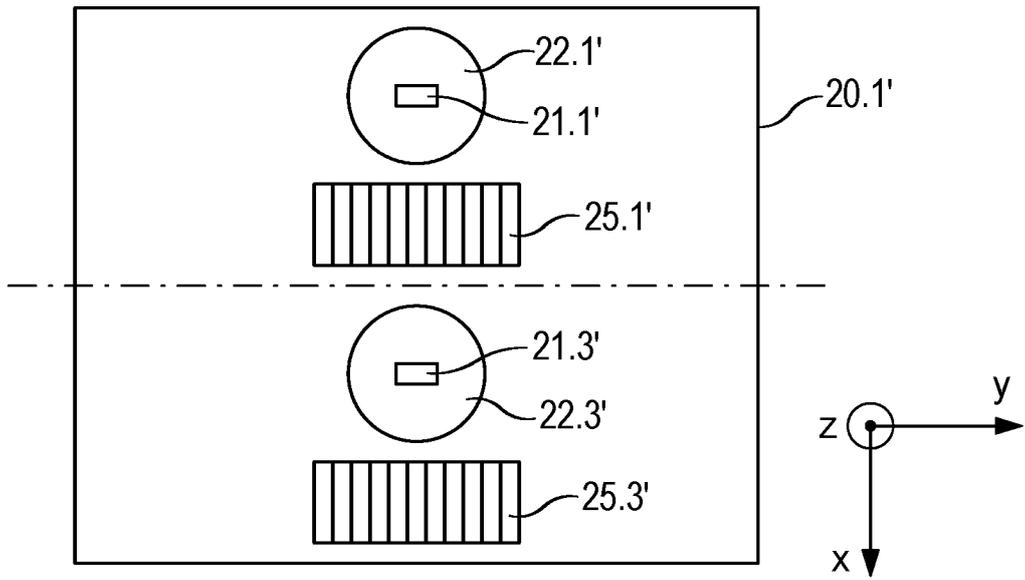


Fig. 7b

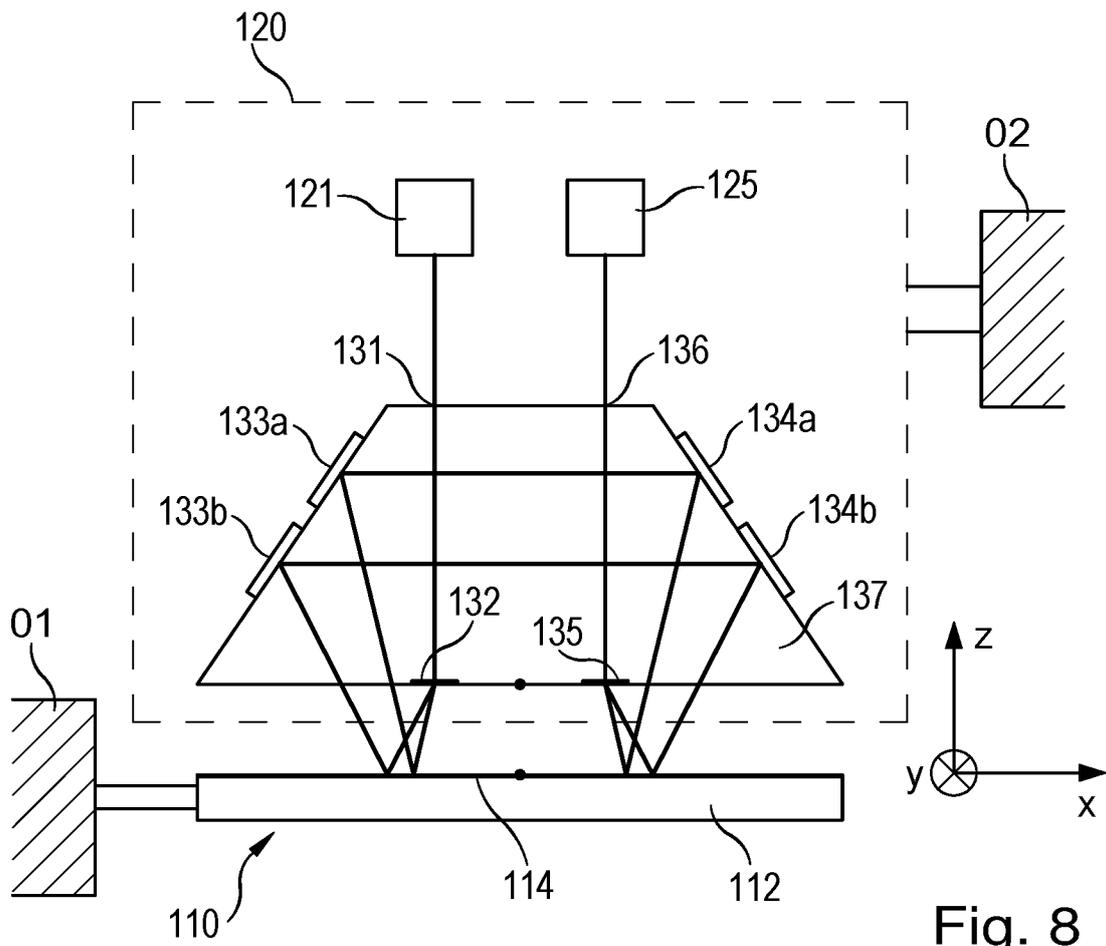


Fig. 8

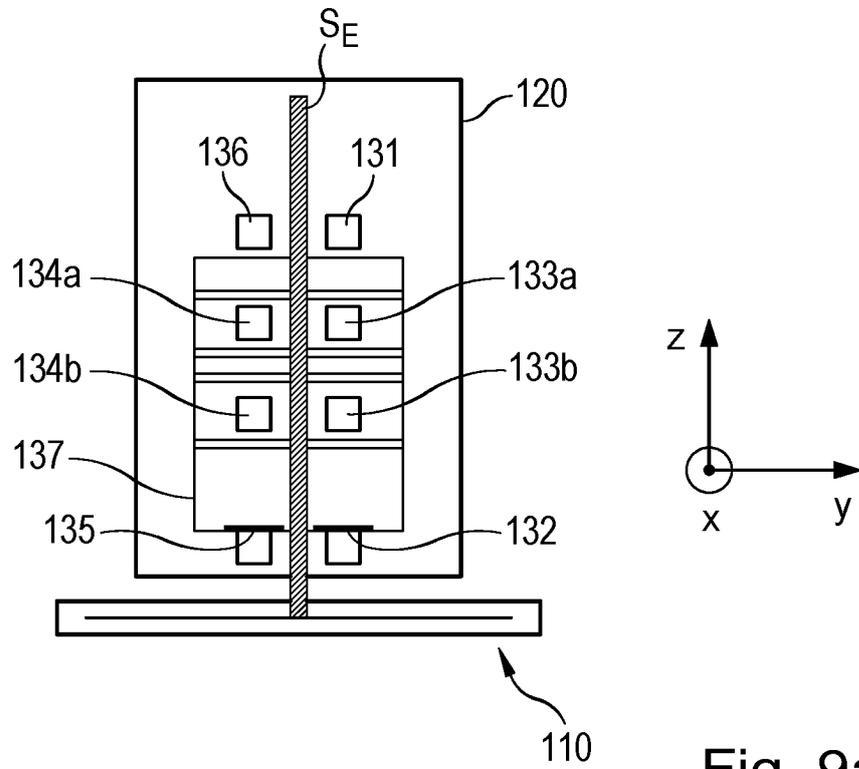


Fig. 9a

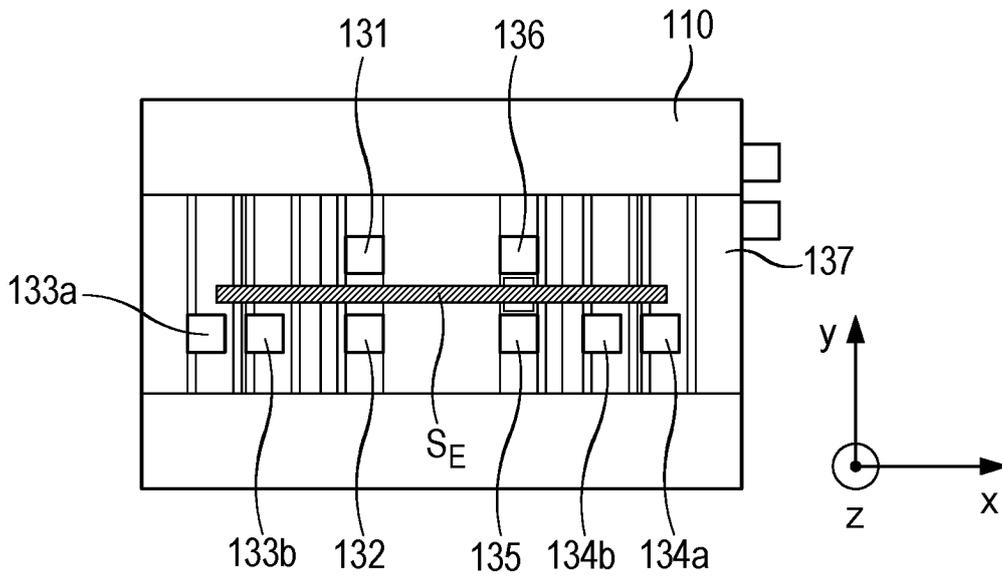


Fig. 9b

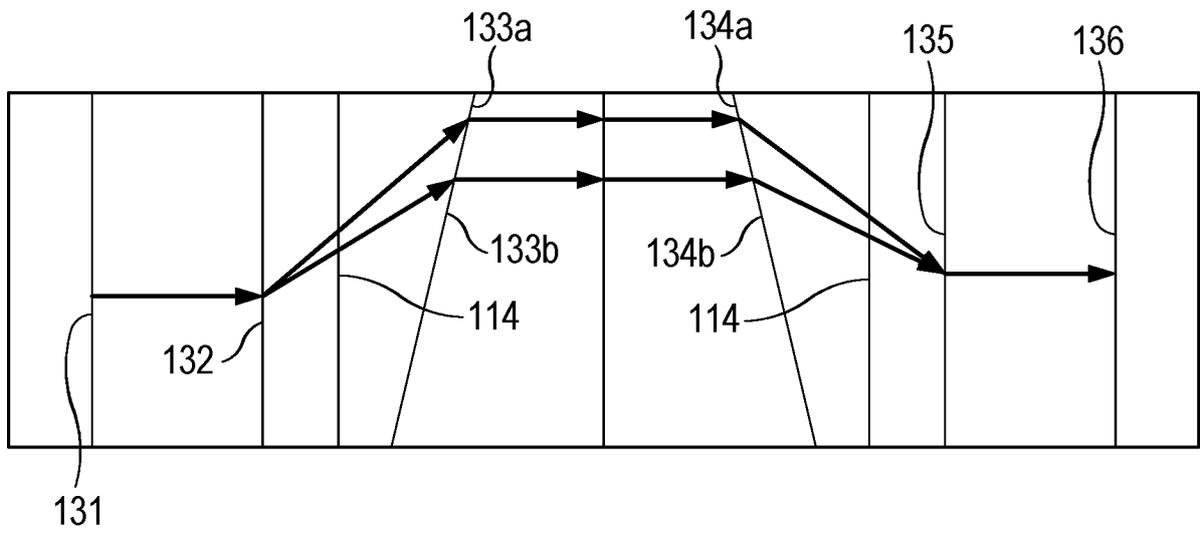


Fig. 10

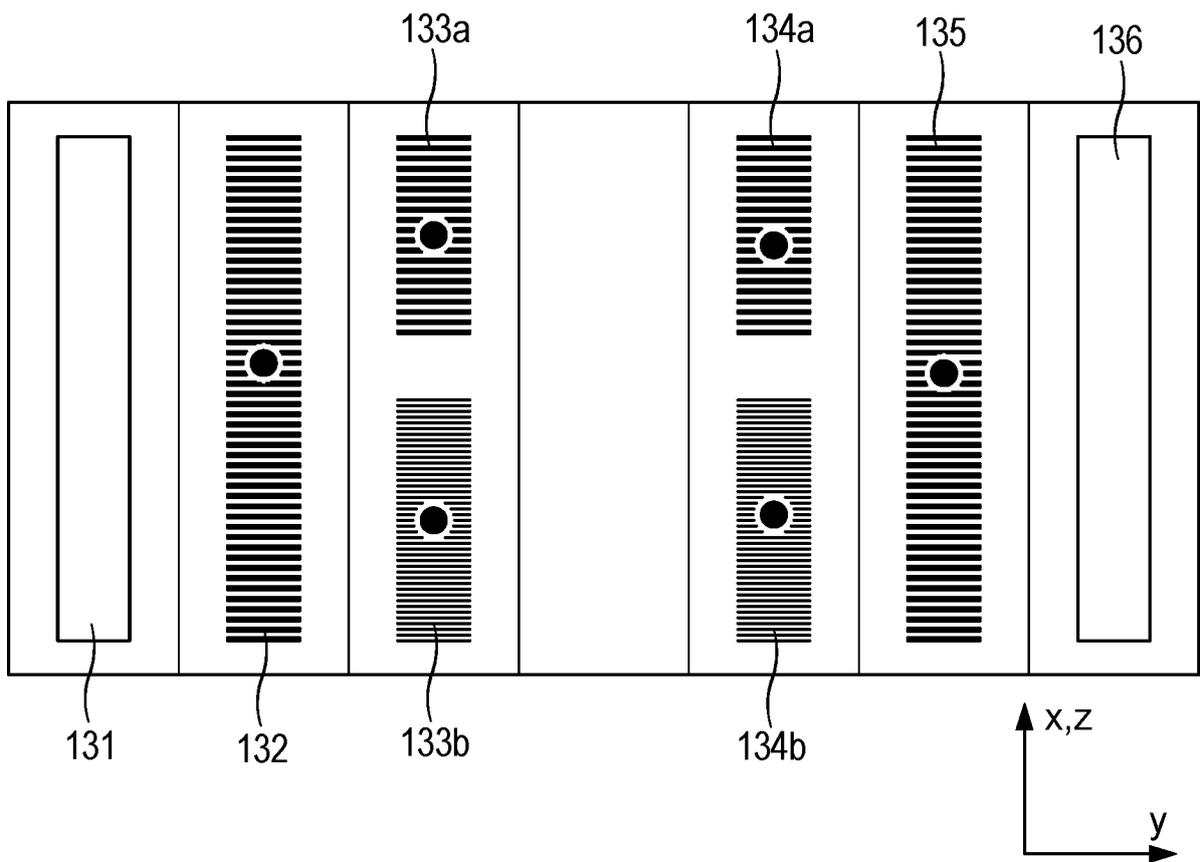


Fig. 11

