



(19)
 Bundesrepublik Deutschland
 Deutsches Patent- und Markenamt

(10) DE 10 2006 042 743 A1 2008.03.27

(12)

Offenlegungsschrift

(21) Aktenzeichen: 10 2006 042 743.2

(22) Anmeldetag: 12.09.2006

(43) Offenlegungstag: 27.03.2008

(51) Int Cl.⁸: **G01B 11/00** (2006.01)
G01D 5/38 (2006.01)

(71) Anmelder:

Dr. Johannes Heidenhain GmbH, 83301 Traunreut, DE

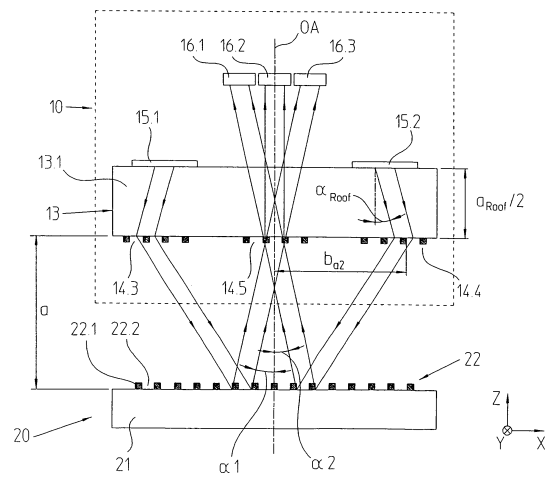
(72) Erfinder:

Sändig, Karsten, Dr., 83349 Palling, DE; Holzapfel, Wolfgang, Dr., 83119 Obing, DE

Die folgenden Angaben sind den vom Anmelder eingereichten Unterlagen entnommen

(54) Bezeichnung: **Positionsmesseinrichtung**

(57) Zusammenfassung: Die vorliegende Erfindung betrifft eine Positionsmesseinrichtung zur Erfassung der Relativposition einer Abtasteinheit sowie einer hierzu in mindestens einer Messrichtung beweglichen Reflexions-Maßverkörperung. Die Abtasteinheit umfasst mehrere optische Elemente, nämlich mindestens ein Retroreflektorelement, mindestens ein Vereinigungsgitter, mindestens ein Abtastgitter sowie mehrere Detektorelemente. Die optischen Elemente sind dergestalt in der Abtasteinheit angeordnet, dass die Strahlenbündel und/oder Teilstrahlenbündel mindestens zwei Mal die Reflexions-Maßverkörperung beaufschlagen und hierbei jeweils durch die einfallenden Strahlenbündel und/oder Teilstrahlenbündel einerseits und die reflektierten Teilstrahlenbündel andererseits eine Ebene aufgespannt wird, die senkrecht zur Ebene der Reflexions-Maßverkörperung orientiert ist. Über das Retroreflektorelement erfolgt eine Richtungsumkehr der darauf einfallenden Teilstrahlenbündel auf die Reflexions-Maßverkörperung senkrecht zur Messrichtung. Auf das Vereinigungsgitter trifft ein Paar von Teilstrahlenbündeln nichtparallel auf, wobei das Vereinigungsgitter die darauf eintreffenden Teilstrahlenbündel zur Interferenz bringt, so dass die Detektorelemente phasenverschobene Signale erfassen (Fig. 1b).



Beschreibung

[0001] Die vorliegende Erfindung betrifft eine optische Positionsmesseinrichtung.

[0002] Aus der WO 02/23131 A1 ist eine hochauflösende optische Positionsmesseinrichtung bekannt. Diese umfasst neben einer Reflexions-Maßverkörperung, z.B. ausgebildet als linearer Auflicht-Maßstab, eine relativ in mindestens einer Messrichtung hierzu verschiebbare Abtasteinheit. Auf Seiten der Abtasteinheit ist neben einem Abtastgitter, mehreren optoelektronischen Detektorelementen auch mindestens ein optisches Umlenk- bzw. Reflektorelement in Form eines Retroreflektors angeordnet. Über das Reflektorelement erfolgt eine Rückreflexion der von der Reflexions-Maßverkörperung erstmalig reflektierten Teilstrahlenbündel in Richtung der Reflexions-Maßverkörperung. Dort werden die Teilstrahlenbündel dann anschließend ein zweites Mal reflektiert, bevor schließlich interferierende Teilstrahlenbündel auf die Detektoren gelangen und dort verschiebungsabhängig modulierte Abtastsignale erzeugen. Das Reflektorelement ist in der gattungsgemäßen Positionsmesseinrichtung als Dachkantprisma mit optischer Retroreflektor-Funktionalität ausgebildet und mit seiner Dachkante parallel zur Messrichtung ausgerichtet. Hierbei wirkt das Dachkantprisma in einer Richtung als Retroreflektor, die senkrecht zur Messrichtung x ausgerichtet ist. Zur Erzeugung der phasenverschobenen Abtastsignale sind in den Abtaststrahlengängen polarisationsoptische Verzögerungselemente in Form von $\lambda/4$ -Plättchen sowie Polarisatoren vor den Detektorelementen angeordnet. Derartige polarisationsoptische Elemente erhöhen jedoch grundsätzlich die Komplexität und damit auch die Kosten entsprechend aufgebaute Positionsmesseinrichtungen.

[0003] Eine weitere optische Positionsmesseinrichtung, in der eine zweimalige Beaufschlagung der Reflexions-Maßverkörperung mit Hilfe eines Retroreflektorelements resultiert, ist aus der EP 0 387 520 A2 bekannt. In dieser Abtastkonfiguration ist erforderlich, dass die Teilstrahlenbündel in Strichrichtung der Reflexions-Maßverkörperung geneigt auf diese einfallen. Dadurch ergeben sich in dieser Positionsmesseinrichtung relativ geringe Toleranzen hinsichtlich des Abtastabstands.

[0004] Ferner sei zu derartigen Positionsmesseinrichtungen auf die DE 42 01 511 A1 verwiesen. Auch die daraus bekannte Positionsmesseinrichtung benötigt polarisationsoptische Bauelemente im Abtaststrahlengang. Es müssen deshalb die unterschiedlichen Beugungseffizienzen für die beiden Polarisationsachsen der Maßverkörperung berücksichtigt werden. Da das Verhältnis dieser Beugungseffizienzen über die Maßverkörperungsposition hinweg stark schwanken kann, wird in der DE 42 01 511 A1 deshalb vorgeschlagen, zwei zusätzliche $\lambda/2$ -Plättchen in die Abtaststrahlengänge einzufügen. Dies hat wiederum eine erhebliche Erhöhung des Aufwands bzw. der Kosten derartiger Systeme zur Folge. Außerdem ist eine Signalverbesserung auf diese Weise nur möglich, wenn die Strahlenbündel bei beiden Reflexionen an der Maßverkörperung mit gleichen Beugungseffizienzen für beide Polarisationsachsen gebeugt werden. In der Praxis ist dies aber nicht der Fall, da ein Versatz der Strahlenbündel von der ersten Reflexion zur zweiten Reflexion an der Maßverkörperung vorgesehen werden muss und an den beiden Reflexionsorten unterschiedliche Beugungsverhältnisse vorliegen.

[0005] Aufgabe der vorliegenden Erfindung ist es, eine optische Positionsmesseinrichtung zu schaffen, die eine Erzeugung phasenverschobener Abtastsignale ohne den Einsatz von polarisationsoptischen Bauelementen ermöglicht. Ferner soll die Positionsmesseinrichtung möglichst fehlertolerant gegenüber eventuellen Schwankungen des Abtastabstands sein.

[0006] Diese Aufgabe wird erfindungsgemäß durch eine Positionsmesseinrichtung mit den Merkmalen des Anspruchs 1 gelöst.

[0007] Vorteilhafte Ausführungen der erfindungsgemäßen Positionsmesseinrichtung ergeben sich aus den Maßnahmen in den abhängigen Ansprüchen.

[0008] Die erfindungsgemäße Positionsmesseinrichtung zur Erfassung der Relativposition einer Abtasteinheit sowie einer hierzu in mindestens einer Messrichtung beweglichen Reflexions-Maßverkörperung weist seitens der Abtasteinheit mehrere optische Elemente auf, nämlich mindestens ein Retroreflektorelement, mindestens ein Vereinigungsgitter, mindestens ein Abtastgitter sowie mehrere Detektorelemente. Die optischen Elemente in der Abtasteinheit sind vorzugsweise dergestalt angeordnet,

- dass Strahlenbündel und/oder Teilstrahlenbündel des Abtaststrahlengangs mindestens zwei Mal die Reflexions-Maßverkörperung beaufschlagen und hierbei jeweils durch die einfallenden Strahlenbündel und/oder Teilstrahlenbündel einerseits und die reflektierten Teilstrahlenbündel andererseits eine Ebene aufgespannt wird, die senkrecht zur Ebene der Reflexions-Maßverkörperung orientiert ist,

- dass über das Retroreflektorelement eine Richtungsumkehr der darauf einfallenden Teilstrahlenbündel auf die Reflexions-Maßverkörperung senkrecht zur Messrichtung (x) erfolgt und
- dass auf das Vereinigungsgitter ein Paar von Teilstrahlenbündeln nichtparallel auftrifft und das Vereinigungsgitter die darauf eintreffenden Teilstrahlenbündel zur Interferenz bringt, so dass die Detektorelemente phasenverschobene Signale erfassen.

[0009] Vorzugsweise trifft das Paar von Teilstrahlenbündeln symmetrisch, unter gleichen Winkeln zur optischen Achse auf das Vereinigungsgitter auf.

[0010] In einer möglichen Ausführungsform ist das Vereinigungsgitter als Transmissionsgitter ausgebildet ist und weist eine Teilungsperiode dergestalt aufweist, die gewährleistet, dass eine Ablenkung der auftreffenden Teilstrahlenbündel in mehrere kollinear austretende Beugungsordnungen erfolgt, die nachfolgend angeordnete Detektorelemente beaufschlagen.

[0011] Hierbei ist das Vereinigungsgitter vorzugsweise dergestalt ausgebildet, dass darüber eine Ablenkung der einfallenden Teilstrahlenbündel derart erfolgt, dass eine der kollinear austretenden Beugungsordnungen senkrecht zur Teilungsebene propagiert.

[0012] Ferner kann das Vereinigungsgitter als Phasengitter ausgebildet sein, bei dem die Steghöhe und Stegbreite derart dimensioniert sind, dass auf den nachgeordneten Detektorelementen drei um 120° phasenversetzte Signale detektierbar sind.

[0013] In einer möglichen Ausführungsform sind das Vereinigungsgitter und die Detektorelemente als strukturierte Detektoranordnung ausgebildet.

[0014] Das Vereinigungsgitter kann als ortsabhängiges Ablenkigitter ausgebildet sein.

[0015] Ferner kann die Abtasteinheit mehrere Abtastgitter sowie mindestens ein Vereinigungsgitter umfassen, wobei diese spiegelsymmetrisch angeordnet sind und wobei die Symmetrieebene senkrecht zur Messrichtung und parallel zur optischen Achse orientiert ist.

[0016] In einer möglichen Variante kann in der Abtasteinheit ein als Dachkantprisma ausgebildetes Retroreflektorelement angeordnet sein, dessen Dachkante parallel zur Messrichtung orientiert ist.

[0017] Alternativ kann das Retroreflektorelement in der Abtasteinheit mehrere kombinierte Ablenk-/Linsenelemente sowie mindestens ein planes Reflektorelement umfassen, wobei die Brennebene der Linsenelemente in der Ebene des mindestens einen planen Reflektorelements liegt.

[0018] Hierbei können die Linsenelemente als diffraktive Linsenelemente ausgebildet sein, die Ablenkelemente als Abtastgitter ausgebildet sein und zusammen als kombinierte, diffraktive Gitter-Linsen-Elemente ausgebildet sein.

[0019] In einer derartigen Variante können die Linsenelemente als diffraktive Linsenelemente in Form von Zylinderlinsen ausgebildet sein, die in Strichrichtung der Reflexions-Maßverkörperung eine fokussierende Wirkung besitzen.

[0020] Ferner ist es möglich, die Linsenelemente als diffraktive Linsenelemente in Form von zylindersymmetrischen Linsenelementen auszubilden, die sowohl in Strichrichtung der Reflexions-Maßverkörperung als auch in Messrichtung eine fokussierende Wirkung besitzen.

[0021] In einer weiteren Variante kann das Retroreflektorelement ein planparalleles Trägersubstrat umfassen, auf deren, der Reflexions-Maßverkörperung zugewandten Seite mehrere Gitter angeordnet sind und auf deren, zur Reflexions-Maßverkörperung abgewandten Seite das mindestens eine, plane Reflektorelement angeordnet ist.

[0022] Vorteilhafterweise können in einer möglichen Ausführungsform die Auftrefforte der beiden Teilstrahlenbündel am Vereinigungsgitter zusammentreffen.

[0023] Ferner kann das mindestens eine Retroreflektorelement als monolytische Baueinheit auf einem Trägerelement ausgebildet sein.

[0024] In einer weiteren Ausführungsform umfasst die Abtasteinheit mehrere Abtastgitter sowie mindestens ein Vereinigungsgitter, wobei diese spiegelsymmetrisch angeordnet sind und die Symmetrieebene parallel zur Messrichtung und parallel zur optischen Achse orientiert ist.

[0025] In einer derartigen Variante der erfindungsgemäßen Positionsmesseinrichtung ist die Abtasteinheit dergestalt ausgebildet, dass die von einer Lichtquelle emittierten Strahlenbündel nach einer Kollimation über eine Kollimatoroptik

- ein erstes Mal auf die Reflexions-Maßverkörperung auftreffen, wo eine Aufspaltung in zwei zur Abtasteinheit rückreflektierte Teilstrahlenbündel erfolgt, die zwei unterschiedlichen Beugungsordnungen entsprechen,
- die beiden rückreflektierten Teilstrahlenbündel in der Abtasteinheit über das Retroreflektorelement eine Rückreflexion in Richtung Reflexions-Maßverkörperung erfahren, wobei die Teilstrahlenbündel je zweimal Abtastgitter durchlaufen,
- die auf die Reflexions-Maßverkörperung ein zweites Mal auftreffenden Teilstrahlenbündel eine erneute Beugung und Rückreflexion in Richtung der Abtasteinheit erfahren,
- in der Abtasteinheit mindestens ein Paar rückreflektierter Teilstrahlenbündel unter symmetrischen Winkeln zur optischen Achse am gleichen Ort auf das Vereinigungsgitter auftrifft.

[0026] In einer weiteren Variante der erfindungsgemäßen Positionsmesseinrichtung ist die Abtasteinheit dergestalt ausgebildet, dass die von einer Lichtquelle emittierten Strahlenbündel nach einer Kollimation über eine Kollimatoroptik

- über ein Aufspaltgitter in der Abtasteinheit eine Aufspaltung in mindestens zwei Teilstrahlenbündel erfolgt, die zwei unterschiedlichen Beugungsordnungen entsprechen und diese Teilstrahlenbündel in Richtung Reflexions-Maßverkörperung propagieren,
- die Teilstrahlenbündel dann ein erstes Mal an unterschiedlichen Orten auf die Reflexions-Maßverkörperung auftreffen, wo jeweils eine Aufspaltung in mehrere zur Abtasteinheit rückreflektierte Teilstrahlenbündel erfolgt, die unterschiedlichen Beugungsordnungen entsprechen,
- die mindestens zwei zurückreflektierten Teilstrahlenbündel in der Abtasteinheit über das Retroreflektorelement eine Rückreflexion in Richtung Reflexions-Maßverkörperung erfahren und wobei die Teilstrahlenbündel je zweimal ein Abtastgitter durchlaufen,
- die auf die Reflexions-Maßverkörperung ein zweites Mal an unterschiedlichen Orten auftreffenden Teilstrahlenbündel eine erneute Beugung und Rückreflexion in Richtung der Abtasteinheit erfahren,
- in der Abtasteinheit mindestens ein Paar rückreflektierter Teilstrahlenbündel unter symmetrischen Winkeln zur optischen Achse am gleichen Ort auf das Vereinigungsgitter auftrifft.

[0027] Hierbei können die Abtastgitter in der Abtasteinheit als Fresnel-Zylinderlinsen ausgebildet sein, deren Brennlinsen sich in der Ebene der Reflektorelemente befinden und die Teilungsperiode des Aufspaltgitters identisch zur Teilungsperiode des Vereinigungsgitters und zur Teilungsperiode der Reflexions-Maßverkörperung gewählt sein.

[0028] Ferner kann hierbei die Teilungsperiode der Reflexions-Maßverkörperung dergestalt gewählt werden, dass sich die in Richtung Abtasteinheit zurückreflektierten Teilstrahlenbündel vor dem ersten Auftreffen auf ein Abtastgitter überkreuzen.

[0029] Desweiteren wird vorzugsweise die Teilungsperiode der Reflexions-Maßverkörperung kleiner als die Wellenlänge der verwendeten Lichtquelle gewählt ist.

[0030] Ferner kann das mindestens eine Retroreflektorelement als kombiniertes Ablenk-/Linsenelement ausgebildet werden.

[0031] In einer weiteren Variante der erfindungsgemäßen Positionsmesseinrichtung ist die Abtasteinheit dergestalt ausgebildet, dass die von einer Lichtquelle emittierten Strahlenbündel nach einer Kollimation über eine Kollimatoroptik

- über ein Aufspaltgitter eine Aufspaltung in zwei Teilstrahlenbündel erfolgt,
- die beiden Teilstrahlenbündel dann auf ein Hufspalt-Hilfsgitter gelangen, mit dem eine Umlenkung zumindest eines Teils der Teilstrahlenbündel dergestalt erfolgt, dass die in Richtung der Reflexions-Maßverkörperung propagierenden Teilstrahlenbündel am gleichen Auftreffort auf die Reflexions-Maßverkörperung auftreffen und
- die auf die Reflexions-Maßverkörperung auftreffenden Teilstrahlenbündel jeweils in mehrere zur Abtasteinheit rückreflektierte Teilstrahlenbündel aufgespalten werden, die unterschiedlichen Beugungsord-

nungen entsprechen,

- die mindestens zwei zurückreflektierten Teilstrahlenbündel in der Abtasteinheit über das Retroreflektorelement eine Rückreflexion in Richtung Reflexions-Maßverkörperung erfahren, wobei die Teilstrahlenbündel je zweimal ein Abtastgitter durchlaufen,
- die auf die Reflexions-Maßverkörperung ein zweites Mal am gleichen Ort auftreffenden Teilstrahlenbündel eine erneute Beugung und Rückreflexion in Richtung der Abtasteinheit erfahren,
- in der Abtasteinheit mindestens ein Paar rückreflektierter Teilstrahlenbündel an unterschiedlichen Orten auf ein Vereinigungs-Hilfsgitter auftrifft, wo eine erneute Beugung und Aufspaltung erfolgt, so dass mindestens zwei weiter propagierende Teilstrahlenbündel unter symmetrischen Winkeln zur optischen Achse am gleichen Ort auf das Vereinigungsgitter auftreffen.

[0032] In einer weiteren Variante der erfindungsgemäßen Positionsmesseinrichtung ist die Abtasteinheit dergestalt ausgebildet, dass die von einer Lichtquelle emittierten Strahlenbündel nach einer Kollimation über eine Kollimatoroptik

- ein erstes Mal auf die Reflexions-Maßverkörperung auftreffen, die als Auflicht-Beugungsgitter ausgebildet ist, wo eine Aufspaltung in zwei zur Abtasteinheit rückreflektierte Teilstrahlenbündel erfolgt, die zwei unterschiedlichen Beugungsordnungen entsprechen,
- die beiden rückreflektierten Teilstrahlenbündel in der Abtasteinheit über das Retroreflektorelement eine Rückreflexion in Richtung Reflexions-Maßverkörperung erfahren, wobei die Teilstrahlenbündel je zweimal ein Abtastgitter durchlaufen und beim ersten Durchlauf durch die Abtastgitter eine Punktfokussierung der Teilstrahlenbündel auf den gleichen Auftreffort an einem planen Reflektorelement resultiert,
- die auf die Reflexions-Maßverkörperung ein zweites Mal auftreffenden Teilstrahlenbündel eine erneute Beugung und Rückreflexion in Richtung der Abtasteinheit erfahren,
- in der Abtasteinheit mindestens ein Paar rückreflektierter Teilstrahlenbündel unter symmetrischen Winkeln zur optischen Achse am gleichen Ort auf das Vereinigungsgitter auftrifft.

[0033] Weitere Einzelheiten und Vorteile der vorliegenden Erfindung seien anhand der nachfolgenden Beschreibung von Ausführungsbeispielen in den Figuren erläutert.

[0034] Es zeigt hierbei:

[0035] [Fig. 1a](#) einen ersten Teil des Abtaststrahlenganges einer ersten Ausführungsform der erfindungsgemäßen Positionsmesseinrichtung;

[0036] [Fig. 1b](#) einen zweiten Teil des Abtaststrahlenganges der ersten Ausführungsform der erfindungsgemäßen Positionsmesseinrichtung;

[0037] [Fig. 1c](#) und [Fig. 1d](#) je eine Ansicht der Ober- und Unterseite der Abtastplatte der ersten Ausführungsform der erfindungsgemäßen Positionsmesseinrichtung;

[0038] [Fig. 2a](#) einen ersten Teil des Abtaststrahlenganges einer Abwandlung der ersten Ausführungsform der erfindungsgemäßen Positionsmesseinrichtung;

[0039] [Fig. 2b](#) den Teil des Abtaststrahlenganges aus [Fig. 2a](#) in einer anderen Ansicht;

[0040] [Fig. 2c](#) einen zweiten Teil des Abtaststrahlenganges der erfindungsgemäßen Positionsmesseinrichtung gemäß [Fig. 2a](#);

[0041] [Fig. 2d](#) den Teil des Abtaststrahlenganges aus [Fig. 2c](#) in einer anderen Ansicht;

[0042] [Fig. 2e](#) eine Draufsicht auf die Abtastplatte der erfindungsgemäßen Positionsmesseinrichtung gemäß [Fig. 2a](#);

[0043] [Fig. 3a](#) einen ersten Teil des Abtaststrahlenganges einer zweiten Ausführungsform der erfindungsgemäßen Positionsmesseinrichtung;

[0044] [Fig. 3b](#) einen zweiten Teil des Abtaststrahlenganges der zweiten Ausführungsform der erfindungsgemäßen Positionsmesseinrichtung;

[0045] [Fig. 3c](#) und [Fig. 3d](#) je eine Ansicht der Ober- und Unterseite der Abtastplatte der zweiten Ausführungsform der erfindungsgemäßen Positionsmesseinrichtung;

rungsform der erfindungsgemäßen Positionsmesseinrichtung;

[0046] [Fig. 4a](#) einen ersten Teil des Abtaststrahlenganges einer ersten Abwandlung der zweiten Ausführungsform der erfindungsgemäßen Positionsmesseinrichtung;

[0047] [Fig. 4b](#) einen zweiten Teil des Abtaststrahlenganges der Ausführungsform der erfindungsgemäßen Positionsmesseinrichtung gemäß [Fig. 4a](#);

[0048] [Fig. 4c](#) und [Fig. 4d](#) je eine Ansicht der Ober- und Unterseite der Abtastplatte der erfindungsgemäßen Positionsmesseinrichtung gemäß [Fig. 4a](#);

[0049] [Fig. 5a](#) einen ersten Teil des Abtaststrahlenganges einer zweiten Abwandlung der zweiten Ausführungsform der erfindungsgemäßen Positionsmesseinrichtung;

[0050] [Fig. 5b](#) den Teil des Abtaststrahlenganges aus [Fig. 5a](#) in einer anderen Ansicht;

[0051] [Fig. 5c](#) einen zweiten Teil des Abtaststrahlenganges der erfindungsgemäßen Positionsmesseinrichtung gemäß [Fig. 5a](#);

[0052] [Fig. 5d](#) den Teil des Abtaststrahlenganges aus [Fig. 5c](#) in einer anderen Ansicht;

[0053] [Fig. 5e](#) eine Draufsicht auf die Abtastplatte der erfindungsgemäßen Positionsmesseinrichtung gemäß [Fig. 5a](#);

[0054] [Fig. 6a](#) einen ersten Teil des Abtaststrahlenganges einer dritten Ausführungsform der erfindungsgemäßen Positionsmesseinrichtung;

[0055] [Fig. 6b](#) einen zweiten Teil des Abtaststrahlenganges der dritten Ausführungsform der erfindungsgemäßen Positionsmesseinrichtung;

[0056] [Fig. 6c](#) und [Fig. 6d](#) je eine Ansicht der Ober- und Unterseite der Abtastplatte der dritten Ausführungsform der erfindungsgemäßen Positionsmesseinrichtung;

[0057] [Fig. 7a](#) einen ersten Teil des Abtaststrahlenganges einer vierten Ausführungsform der erfindungsgemäßen Positionsmesseinrichtung;

[0058] [Fig. 7b](#) einen zweiten Teil des Abtaststrahlenganges der vierten Ausführungsform der erfindungsgemäßen Positionsmesseinrichtung;

[0059] [Fig. 7c](#) und [Fig. 7d](#) je eine Ansicht der Ober- und Unterseite der Abtastplatte der vierten Ausführungsform der erfindungsgemäßen Positionsmesseinrichtung;

[0060] [Fig. 8a](#) einen ersten Teil des Abtaststrahlenganges einer fünften Ausführungsform der erfindungsgemäßen Positionsmesseinrichtung;

[0061] [Fig. 8b](#) einen zweiten Teil des Abtaststrahlenganges der fünften Ausführungsform der erfindungsgemäßen Positionsmesseinrichtung;

[0062] [Fig. 8c](#) und [Fig. 8d](#) je eine Ansicht der Ober- und Unterseite der Abtastplatte der fünften Ausführungsform der erfindungsgemäßen Positionsmesseinrichtung.

[0063] Über die nachfolgend im Detail beschriebenen Ausführungsformen der erfindungsgemäßen Positionsmesseinrichtung lassen sich die oben erwähnten Probleme lösen. Bevor die einzelnen Beispiele anhand der Figuren im Detail beschrieben werden, seien zunächst die Gemeinsamkeiten der nachfolgenden Varianten erläutert.

[0064] So liegt den verschiedenen Ausführungsformen jeweils ein ähnlicher Abtaststrahlengang zugrunde. Ein kollimiertes Strahlenbündel einer geeigneten Laser-Lichtquelle trifft in Strichrichtung (= y-Richtung) der Messteilung gesehen senkrecht auf eine Reflexions-Maßverkörperung. Das heißt, dass alle auf die Reflexions-Maßverkörperung auftreffenden und hiervon reflektierten Strahlenbündel senkrecht zur Strichrichtung ori-

entiert sind und damit in einer Ebene liegen, die von der Messrichtung und der normalen auf die Reflexions-Maßverkörperung aufgespannt wird. Je nach Ausführungsform kann vorgesehen sein, dass das kollimierte Strahlenbündel vorher abgelenkt bzw. aufgespalten wird, was über ein oder zwei Aufspaltgitter im Strahlengang erfolgen kann. Es ist jedoch auch möglich, dass keine derartige Ablenkung bzw. Aufspaltung erfolgt

[0065] An der Reflexions-Maßverkörperung erfolgt eine Reflexion, Aufspaltung und Rückreflexion des bzw. der einfallenden Strahlenbündel in mindestens je zwei Teilstrahlenbündel ($+/-1$. Beugungsordnung). Diese treffen dann in Messrichtung x vom hinlaufenden Teilstrahlenbündel jeweils getrennt auf separate Abtastgitter in der Abtasteinheit. Diese Abtastgitter, nachfolgend angeordnete Reflektorelemente oder evtl. zusätzliche 90° - oder Tripel-Prismen bewirken eine Richtungsumkehr des transversalen Strahlwinkels (d.h. eine transversale Retroreflexion) und kompensieren dadurch eine fehlerverursachende transversale Strahlablenkung bei einer eventuellen Moiré-Verkipfung der Maßverkörperung (sog. optische Moiré-Kompensation). Diese würde ansonsten zu einem deutlichen Einbruch im Signal-Modulationsgrad führen. Unter einer Moiré-Verkipfung ist hierbei eine Verkipfung der Reflexions-Maßverkörperung und der Abtasteinheit um eine Achse senkrecht auf die Reflexions-Maßverkörperung zu verstehen.

[0066] Die Teilstrahlenbündel erfahren demzufolge eine Retroreflexion zurück auf die Reflexions-Maßverkörperung, wo sie erneut gebeugt werden. Die Gitterkonstanten bzw. Teilungsperioden der Abtastgitter und der Reflexions-Maßverkörperung sind dabei so gewählt, dass nach der zweiten Beugung an der Reflexions-Maßverkörperung die auslaufenden Teilstrahlenbündel unter einen symmetrischen Winkel auf ein Vereinigungsgitter in der Abtasteinheit treffen und dort zur Interferenz gebracht werden. Das Vereinigungsgitter hat dazu eine Teilungsperiode, die so gewählt wird, dass jeweils eine der ersten Beugungsordnungen der auftreffenden Teilstrahlenbündel in Richtung der optischen Achse weiter propagiert. Damit überlagern sich jeweils die in 0. und $+/-1$. resultierender Beugungsordnung am Vereinigungsgitter austretenden Teilstrahlenbündel und interferieren miteinander. Die Struktur des Vereinigungsgitters, d.h. dessen Phasentiefe, Stegbreite und evtl. die Anordnung mehrerer Stege pro Periode (Überstruktur), wird so gewählt, dass eine definierte Phasenverschiebung zwischen den austretenden Teilstrahlenbündeln entsteht, die vorzugsweise zu 120° gewählt wird. Alternativ kann das Vereinigungsgitter auch so ausgelegt werden, dass wiederum beide Teilstrahlenbündel in den resultierenden Beugungsordnungen überlagert werden und die resultierenden $+/-1$. und $+/-2$. Beugungsordnungen detektiert werden. Die Auslegung der Struktur des Vereinigungsgitters erfolgt in diesem Fall derart, dass vier um jeweils ca. 90° phasenverschobene Signale in den vier detektierten Beugungsordnungen entstehen. Die phasenverschobenen Signale werden in einer nachfolgenden Elektronik verstärkt und in bekannter Weise zu offsetfreien 0° - und 90° -Signalen gewandelt.

[0067] Alternativ kann das Vereinigungsgitter auch als sog. ortsabhängiges Ablenk-gitter ausgebildet werden. Ferner ist es möglich, das Vereinigungsgitter und die Detektorelemente zusammen in einer Baueinheit als sog. strukturierte Detektoranordnung zusammenzufassen.

[0068] Eine derartige Erzeugung phasenverschobener Signale ohne Verwendung polarisationsoptischer Bauteile reduziert erheblich die Herstellkosten und Komplexität der entsprechenden Positionsmesseinrichtungen. Da Polarisatoren im Mittel die Hälfte der einfallenden Strahlleistung absorbieren, wird zudem die Energieeffizienz und damit das Positionsrauschen der Positionsmesseinrichtung gegenüber bekannten Systemen mit polarisationsoptischen Bauteilen deutlich verbessert.

[0069] Um die resultierenden Fehler der Positionsmesseinrichtung bei eventuellen Verkipfungen der Reflexions-Maßverkörperung klein zu halten und große Toleranzen bzgl. des Abtastabstandes zu erreichen, wird die Abtastoptik (im Strahlenverlauf zwischen der Aufspaltung und Vereinigung der Teilstrahlenbündel) symmetrisch zu einer Ebene parallel zur Strichrichtung der Messteilung auf der Reflexions-Maßverkörperung und zur optischen Achse aufgebaut und die Beleuchtungsrichtung parallel zur optischen Achse gewählt. Dadurch ergeben sich automatisch gleiche optische Weglängen für beide interferierenden Teilstrahlenbündel. In Strichrichtung betrachtet treffen die Teilstrahlenbündel senkrecht auf die Reflexions-Maßverkörperung und werden deshalb bei Abstandsänderungen nicht in Strichrichtung verschoben. In Messrichtung betrachtet, treten je nach Ausführungsform entweder keine Strahlverschiebungen oder nur symmetrische Strahlverschiebungen für beide Teilstrahlenbündel auf. Diese Verhältnisse bzgl. der Strahlverschiebungen ergeben einen effektiven Messort, der auch bei Änderungen des Abtastabstandes konstant bleibt. Damit ist eine wichtige Anforderung an hochgenaue Positionsmesseinrichtungen erfüllt.

[0070] Die nachfolgend beschriebenen Ausführungsbeispiele, die allesamt auf den vorab erläuterten erfindungsgemäßen Grundprinzipien basieren, unterscheiden sich u.a. durch die Lage des neutralen Drehpunktes, ihre Verschmutzungsempfindlichkeit sowie durch die jeweilige Energieeffizienz.

[0071] Anhand der [Fig. 1a–Fig. 1d](#) wird nachfolgend eine erste Ausführungsform der erfindungsgemäßen Positionsmesseinrichtung erläutert. Die [Fig. 1a](#) und [Fig. 1b](#) zeigen hierbei jeweils in schematisierter Form Teil-Abtaststrahlengänge in einer seitlichen Ansicht in der x-z-Ebene. In [Fig. 1a](#) ist der Abtaststrahlengang von der Lichtquelle **11** bis zum Auftreffen der Teilstrahlenbündel auf den Reflektorelementen **15.1**, **15.2** dargestellt, [Fig. 2b](#) zeigt den Abtaststrahlengang ab dem Auftreffen der Teilstrahlenbündel auf den Reflektorelementen **15.1**, **15.2** bis zu den Detektorelementen **16.1**, **16.2**, **16.3**. Die [Fig. 1c](#) und [Fig. 1d](#) zeigen jeweils Draufsichten auf die Ober- und Unterseite der Abtastplatte **13** mit den dort angeordneten optischen Elementen.

[0072] Die erfindungsgemäße Positionsmesseinrichtung umfasst in diesem Beispiel eine Reflexions-Maßverkörperung **20** sowie eine relativ hierzu in mindestens einer Messrichtung x bewegliche Abtasteinheit **10**. Mit der Reflexions-Maßverkörperung **20** und der Abtasteinheit **10** sind in bekannter Art und Weise die Objekte gekoppelt, deren Relativposition mit Hilfe der Positionsmesseinrichtung zu bestimmen ist. Hierbei kann es sich etwa um Maschinenteile handeln, deren Relativposition präzise erfasst werden muss. Die mittels der Positionsmesseinrichtung erzeugten Signale bzw. Positionsdaten werden von einer – nicht dargestellten – Folgeelektronik oder Auswerteeinheit beispielsweise zur Steuerung der Maschine weiterverarbeitet.

[0073] Im vorliegenden Ausführungsbeispiel ist eine Positionsmesseinrichtung zur Erfassung von Linearbewegungen mit einer sich linear erstreckenden Reflexions-Maßverkörperung **20** dargestellt; selbstverständlich können auch rotatorische Positionsmesseinrichtungen auf Basis der erfindungsgemäßen Überlegungen realisiert werden.

[0074] Im Folgenden sei der Abtaststrahlengang der ersten Ausführungsform der erfindungsgemäßen Positionsmesseinrichtung anhand der [Fig. 1a–Fig. 1d](#) im Detail beschrieben.

[0075] Das von Lichtquelle **11**, z.B. einer Laser-Lichtquelle, emittierte Strahlenbündel wird im dargestellten Beispiel zunächst über eine Kollimatoroptik **12** kollimiert, d.h. in ein paralleles Strahlenbündel umgewandelt. Anschließend durchtritt das kollimierte Strahlenbündel unabgelenkt, das Trägersubstrat **13.1** einer Abtastplatte **13**. Das Trägersubstrat **13.1** ist als planparallele Glasplatte ausgebildet. Auf deren Ober- und Unterseite sind verschiedene optische Elemente angeordnet, auf deren Funktion im Abtaststrahlengang nachfolgend noch im Detail eingegangen wird. Diese Elemente sind in den Ansichten der [Fig. 1c](#) und [Fig. 1d](#) erkennbar.

[0076] Das kollimierte Strahlenbündel trifft nach dem Passieren der Abtastplatte **13** ein erstes Mal auf die Reflexions-Maßverkörperung **20**, nämlich auf die sich dort in Messrichtung x erstreckende Messteilung **22**. Die Messteilung **22** besteht in bekannter Art und Weise aus einer in Messrichtung x periodischen Anordnung von Teilbereichen **22.1**, **22.2** mit unterschiedlichen optischen Reflexionseigenschaften. Die strichförmigen Teilbereiche **22.1**, **22.2** erstrecken sich senkrecht zur Messrichtung x in der angegebenen Richtung y (nachfolgend auch Strichrichtung genannt) und sind auf einem Trägerkörper **21** der Reflexions-Maßverkörperung **20** angeordnet. Im dargestellten Beispiel ist die Messteilung **22** als Auflicht-Phasengitter ausgebildet, bei dem die Teilbereiche **22.1**, **22.2** eine unterschiedliche phasenschiebende Wirkung auf die darauf eintreffenden Strahlenbündel besitzen. Vorteilhaft ist ferner eine Auslegung der Messteilung **22** dahingehend, dass die Beugungseffizienz in den ersten Ordnungen maximiert wird. Die Teilungsperiode der Messteilung **22** sei nachfolgend als TP_M bezeichnet und ist definiert als die Länge zweier aufeinanderfolgender Teilbereiche **22.1**, **22.2** in Messrichtung x. In einer möglichen Ausführungsform wird die Teilungsperiode TP_M im Bereich zwischen $1.1 \cdot \lambda$ und $10 \cdot \lambda$ gewählt, wobei λ die Wellenlänge der verwendeten Lichtquelle **11** ist. Im Fall einer als VCSEL oder LED ausgebildeten Lichtquelle mit $\lambda = 860 \text{ nm}$, könnte die Teilungsperiode TP_M demzufolge $TP_M = 2 \text{ }\mu\text{m}$ betragen.

[0077] Nach dem ersten Auftreffen auf der Reflexions-Maßverkörperung **20** auf einem ersten Auftreffort resultiert eine Aufspaltung des einfallenden Strahlenbündels in zwei zur Abtasteinheit **10** zurückreflektierte Teilstrahlenbündel, die den ± 1 . Beugungsordnungen entsprechen. In der Abtasteinheit **10** durchlaufen die zurückreflektierten Teilstrahlenbündel zunächst die in [Fig. 1a](#) dargestellten Abtastgitter **14.1**, **14.2** auf der Unterseite der Abtastplatte **13**. Die Abtastgitter **14.1**, **14.2** sind im vorliegenden Beispiel als Transmissionsgitter ausgebildet. Von den Abtastgittern **14.1**, **14.2** werden die Teilstrahlenbündel in definierter Art und Weise abgelenkt und gelangen dann auf plane Reflektorelemente **15.1**, **15.2**. auf der Oberseite der Abtastplatte **13**. Die beiden zuerst durchlaufenen Abtastgitter **14.1**, **14.2** besitzen die gleiche Teilungsperiode, die nachfolgend als TP_{AG1} bezeichnet wird. Im vorliegenden, ersten Ausführungsbeispiel wird die Teilungsperiode TP_{AG1} der Abtastgitter **14.1**, **14.2** unterschiedlich zur Teilungsperiode TP_M der Messteilung **22** gewählt. Aufgrund dieser Wahl der Teilungsperioden TP_{AG1} propagieren die Teilstrahlenbündel nach dem Durchtreten der Abtastgitter **14.1**, **14.2** nicht senkrecht zur Abtastplatte **13**.

[0078] Wie in [Fig. 1b](#) dargestellt, erfolgt an den Reflektorelementen **15.1**, **15.2** eine Rückreflexion der Teilstrahlenbündel in Richtung der Reflexions-Maßverkörperung **20**. Vor dem zweiten Auftreffen auf die Reflexions-Maßverkörperung **20** an zweiten Auftrefforten, die sich vom ersten Auftreffort unterscheiden, durchlaufen die Teilstrahlenbündel die beiden weiteren Abtastgitter **14.3**, **14.4**, die ebenfalls auf der Unterseite der Abtastplatte **13** angeordnet sind. Über diese Abtastgitter **14.3**, **14.4** erfolgt eine nochmalige Umlenkung der transmittierten Teilstrahlenbündel in Richtung des jeweiligen zweiten Auftreffortes auf der Reflexions-Maßverkörperung **20**. Die beiden nunmehr durchlaufenen Abtastgitter **14.3**, **14.4** besitzen die gleiche Teilungsperiode, die nachfolgend als TP_{AG2} bezeichnet wird.

[0079] Wie in der DE 10 2005 029 917.2 der Anmelderin beschrieben wird, weisen die Abtastgitter **14.1–14.4** eine optische Doppelfunktion auf. Sie wirken einerseits in Messrichtung x wie ein regelmäßig periodisches Ablenkgitter mit den Teilungsperioden TP_{AG1} bzw. TP_{AG2} . In der Strichrichtung y in der Maßverkörperungsebene andererseits wirken sie wie Zylinderlinsen, die die einfallenden Strahlenbündel auf die Reflektorelemente **15.1**, **15.2** fokussieren und anschließend wieder kollimieren. Im dargestellten Beispiel der [Fig. 1a](#) und [Fig. 1b](#) fokussieren die Abtastgitter **14.1**, **14.2**, während die Abtastgitter **14.3**, **14.4** die austretenden Strahlenbündel wieder kollimieren. Die Kombination aus Reflektorelement und Linse stellt – wie in der DE 10 2005 029 917.2 der Anmelderin beschrieben – ein Retroreflektorelement für die Strichrichtung y der Maßverkörperung **20** dar. Aufgrund des Versatzes in y -Richtung zwischen den Strahlenbündeln und den optischen Achsen der Zylinderlinsen wird gleichzeitig ein Versatz in y -Richtung zwischen den ersten und zweiten Auftrefforten auf der Reflexions-Maßverkörperung **20** bewirkt. Damit die Abtastgitter gleichzeitig all diese optischen Funktionen übernehmen können, müssen sie als Gitter mit gekrümmten Gitterlinien ausgebildet werden, wie dies in der erwähnten DE 10 2005 029 917.2 beschrieben und in der nachfolgenden [Fig. 1d](#) schematisiert angedeutet ist; nachfolgend sei in Bezug auf derartige Gitter-Strukturen auch von diffraktiven Ablenk/Linsenelementen die Rede.

[0080] Die Baueinheit, bestehend aus der Abtastplatte **13** mit dem Trägersubstrat **13.1**, den Abtastgittern **14.1**, **14.2**, **14.3**, **14.4** sowie den planen Reflektorelementen **15.1**, **15.2** fungiert im dargestellten ersten Ausführungsbeispiel demzufolge als Retroreflektorelement auf Seiten der Abtasteinheit **10**. Über dieses erfolgt eine Rück-Umlenkung der von der Reflexions-Maßverkörperung **20** kommenden Teilstrahlenbündel in Richtung der Reflexions-Maßverkörperung **20**, um diese ein zweites Mal zu beaufschlagen. Die Retroreflexion erfolgt hierbei in der angegebenen y -Richtung.

[0081] Eine alternative Ausbildung des Retroreflektorelements wird in der nachfolgenden Abwandlung der ersten Ausführungsform der erfindungsgemäßen Positionsmesseinrichtung anhand der [Fig. 2a–Fig. 2e](#) erläutert.

[0082] Auf der Reflexions-Maßverkörperung **20** resultiert im dargestellten ersten Ausführungsbeispiel der [Fig. 1a–Fig. 1d](#) an den jeweiligen zweiten Auftrefforten eine erneute Beugung und Rückreflexion der auftretenden Teilstrahlenbündel in Richtung der Abtasteinheit **10**. Die zur Signalerzeugung genutzten Teilstrahlenbündel treffen hierbei unter symmetrischen Winkeln α_1 , α_2 bzgl. der optischen Achse OA am gleichen Ort auf ein Vereinigungsgitter **14.5**, welches auf der Unterseite der Abtastplatte **13** angeordnet ist.

[0083] Die optische Achse OA ist hierbei parallel zu der in den Figuren angegebenen Richtung z orientiert. Die Richtung z steht hierbei senkrecht auf der durch die Messrichtung x und der Strichrichtung y aufgespannten Ebene.

[0084] Nach erneuter Beugung am Vereinigungsgitter **14.5** propagieren schließlich drei interferierende Paare von Teilstrahlenbündeln in Richtung der drei nachgeordneten Detektorelemente **16.1**, **16.2**, **16.3**. Hierzu ist die Teilungsperiode TP_{VG} des in diesem Beispiel ebenfalls als Transmissionsgitter ausgebildeten Vereinigungsgitters **14.5** dergestalt gewählt, dass mehrere resultierende Teilstrahlenbündel austreten, die jeweils aus kollinear überlagerten und damit interferierenden Anteilen beider einfallender Teilstrahlenbündel bestehen. Besonders vorteilhaft ist es, wenn jeweils eine der beiden ersten Beugungsordnungen des Vereinigungsgitters **14.5** die beiden einfallenden Teilstrahlenbündel parallel zur optischen Achse OA ablenkt. Hierbei interferieren Teilstrahlenbündel aus Beugungsordnungen, deren Beugungsordnungen sich um zwei unterscheiden.

[0085] Im Fall der Relativverschiebung von Reflexions-Maßverkörperung **20** und Abtasteinheit **10** resultieren jeweils Gangunterschiede zwischen den Paaren von interferierenden Teilstrahlenbündeln, die in Richtung der Detektorelemente **16.1**, **16.2**, **16.3** propagieren. An den Detektorelementen **16.1**, **16.2**, **16.3** liegen dann verschiebungsabhängig modulierte Signale, wobei diese von Detektorelement zu Detektorelement um je 120° phasenverschoben sind. Diese phasenverschobene Signale können von nachgeordneten – nicht dargestellten – Folgeelektroniken in bekannter Art und Weise weiterverarbeitet werden.

[0086] Die Phasenverschiebung der Signale kann durch eine geeignete Ausgestaltung des Vereinigungsgitters **14.5** sichergestellt werden, wie dies etwa aus der EP 163 362 B1 bekannt ist. Hierbei wird die unterschiedliche Phasenverschiebung der einzelnen Beugungsordnungen bei der Beugung am Vereinigungsgitter **14.5** durch die Wahl der Gitterstruktur entsprechend eingestellt. Vorteilhaft ist z.B. eine Phasengitterstruktur mit einer Stegbreite, die 1/3 oder 2/3 der Periodizität TP_{VG} des Vereinigungsgitters **14.4** entspricht; der Phasenhub der Stege wird zu 120° oder 240° gewählt. Alternativ hierzu können aber auch sog. Übergitterstrukturen auf Seiten des Vereinigungsgitters **14.5** verwendet werden, wie sie z.B. aus der EP 446 691 B1 bekannt sind.

[0087] Um den erläuterten Abtaststrahlengang zu realisieren, sind neben den bereits oben diskutierten Dimensionierungsregeln weitere bestimmte Dimensionierungsregeln bzgl. der Teilungsperioden der verschiedenen Abtastgitter **14.1**, **14.2**, **14.3**, **14.4** einzuhalten. Diese seien nachfolgend kurz skizziert.

[0088] Der Abstand b_{a1} des ersten Auftrefforts der Teilstrahlenbündel an der Unterseite der Abtastplatte **13.1** nach dem ersten Auftreffen auf der Reflexions-Maßverkörperung **20** (siehe [Fig. 1a](#)) von der optischen Achse OA ergibt sich gemäß nachfolgender Beziehung:

$$b_{a1} = a \cdot \tan(\arcsin(\lambda / TP_M)) \quad (\text{Gl. 1.1})$$

mit:

a : = Abtastabstand zwischen Reflexions-Maßverkörperung und Abtasteinheit

λ : = Wellenlänge der Lichtquelle

TP_M : = Teilungsperiode der Messteilung

[0089] Verfolgt man den Strahlengang vom Vereinigungsgitter **14.5** rückwärts, so erhält man den Abstand b_{a2} des Auftrefforts, an dem das Teilstrahlenbündel auf der Unterseite der Abtastplatte **13** vor dem zweiten Auftreffen auf die Reflexions-Maßverkörperung **20** ([Fig. 1b](#)) auftrifft:

$$b_{a2} = a \cdot ((\tan(\arcsin(\lambda / TP_{VG})) + \tan(\arcsin(\lambda / TP_{VG} + \lambda / TP_M)))) \quad (\text{Gl. 1.2})$$

mit:

TP_{VG} : = Teilungsperiode des Vereinigungsgitters

[0090] Aus dem optischen Weg a_{Roof} , der zwischen den zuerst durchlaufenen Abtastgittern **14.1**, **14.2** und den anschließend durchlaufenen Abtastgittern **14.3**, **14.4** in der Abtastplatte **13** zurückgelegt wird, ergibt sich der Strahlwinkel α_{Roof} zwischen den beiden Abtastgittern **14.1**, **14.2** einerseits und den Abtastgittern **14.3**, **14.4** andererseits:

$$\alpha_{Roof} = \arctan\left(\frac{b_{a1} - b_{a2}}{a_{Roof}}\right) \quad (\text{Gl. 1.3})$$

[0091] Daraus können nun die erforderlichen Teilungsperioden TP_{AG1} , TP_{AG2} der Abtastgitter **14.1–14.4** bestimmt werden:

$$\frac{1}{TP_{AG1}} = \frac{1}{TP_M} - \frac{n_a \cdot \sin(\alpha_{Roof})}{\lambda} \quad (\text{Gl. 1.4})$$

$$\frac{1}{TP_{AG2}} = \frac{1}{TP_M} + \frac{1}{TP_{VG}} + \frac{n_a \cdot \sin(\alpha_{Roof})}{\lambda} \quad (\text{Gl. 1.5})$$

mit:

n_a : = Brechungsindex der Abtastplatte

[0092] Maßgeblich für die Eigenschaften einer derartigen Positionsmesseinrichtung in der Praxis ist grundsätzlich die Lage des sog. neutralen Drehpunkts. Unter dem neutralen Drehpunkt sei hierbei derjenige Punkt verstanden, um den die Reflexions-Maßverkörperung verkippt werden kann, ohne dass sich der von der Positionsmesseinrichtung angezeigte Positionswert ändert.

[0093] Ein Abtaststrahlengang gemäß der ersten Ausführungsform der erfindungsgemäßen Positionsmesseinrichtung hat nunmehr zur Folge, dass der neutrale Drehpunkt des Systems unterhalb der Reflexions-Maßverkörperungsebene zu liegen kommt. Wird dafür gesorgt, dass der neutrale Drehpunkt in der sog. neutralen Faser der Reflexions-Maßverkörperung zu liegen kommt, so lässt sich der negative Einfluss eventueller Verbiegungen der Reflexions-Maßverkörperung vorteilhaft minimieren.

[0094] Die beschriebene erste Ausführungsform kann auch dadurch geringfügig abgewandelt werden, indem statt der +1. (-1.) Beugungsordnung der Reflexions-Maßverkörperung jeweils die -1. (+1.) Beugungsordnung verwendet wird. In den oben aufgeführten Dimensionierungsformeln muss in diesem Fall TP_M durch $-TP_M$, TP_{AG1} durch $-TP_{AG1}$ und TP_{AG2} durch $-TP_{AG2}$ ersetzt werden. Der neutrale Drehpunkt liegt in diesem Fall dann oberhalb der Reflexions-Maßverkörperung.

Abwandlung der ersten Ausführungsform

[0095] Eine weitere Abwandlung der ersten Ausführungsform der erfindungsgemäßen Positionsmesseinrichtung ist in den [Fig. 2a–Fig. 2e](#) dargestellt.

[0096] Der maßgebliche Unterschied zur vorher erläuterten Variante in den [Fig. 1a–Fig. 1d](#) besteht hierbei in einer anderen Ausgestaltung des Retroreflektorelements. Das Retroreflektorelement ist nunmehr als Dachkantprisma **618** mit einem Prismenwinkel von 90° ausgebildet, dessen Dachkante **618.1** parallel zur Messrichtung x orientiert ist. Auf der Unterseite des Dachkantprismas **618** sind die Abtastgitter **614.1–614.4** als auch das Vereinigungsgitter **614.5** angeordnet, wie aus der Draufsicht auf die Unterseite des Dachkantprismas **618** in [Fig. 1e](#) ersichtlich. In Bezug auf derartige Retroreflektorelemente sei auch auf die eingangs erwähnte WO 2002/023131 A1 verwiesen.

[0097] Ansonsten entspricht der grundsätzlich Abtaststrahlengang demjenigen des Beispiels aus den [Fig. 1a–Fig. 1d](#).

[0098] Die [Fig. 2a](#) und [Fig. 2b](#) zeigen in verschiedenen Ansichten den Abtaststrahlengang von der Lichtquelle **611** über die Kollimatoroptik **612**, das erste Auftreffen des kollimierten Strahlenbündels auf der Messteilung **622** der Reflexions-Maßverkörperung, der Rückreflexion der gebeugten Teilstrahlenbündel in Richtung der Abtasteinheit **610**, das Durchtreten der Abtastgitter **614.1**, **614.2** bis etwa zur Mitte des Dachkantprismas **618**. In den [Fig. 2c](#) und [Fig. 2d](#) ist in verschiedenen Ansichten der weitere Abtaststrahlengang in Form der Rückumlenkung der Teilstrahlenbündel in Richtung Reflexions-Maßverkörperung **620**, das Durchtreten der Abtastgitter **614.3**, **614.4**, das zweite Auftreffen auf der Reflexions-Maßverkörperung **620**, die zweite Rückreflexion in Richtung Abtasteinheit **610**, das Durchtreten des Vereinigungsgitters **614.5** und das Propagieren der drei Paare interferierender Teilstrahlenbündel zu den drei Detektorelementen **616.1**, **616.2**, **616.3** gezeigt.

[0099] Wie oben erwähnt, wird in dieser Abwandlung der ersten Ausführungsform der erfindungsgemäßen Positionsmesseinrichtung zur Retroreflexion anstelle der Abtastplatten-Baueinheit mit diffraktiven Zylinderlinsen bzw. diffraktiven Ablenk-/Linsenelementen und planen Reflektorelementen aus den [Fig. 1a–Fig. 1d](#) nunmehr ein Dachkantprisma **618** in Form eines 90° -Umlenkprismas verwendet; dessen Dachkante **618.1** ist parallel zur Messrichtung x orientiert. Im zentralen Bereich weist das Dachkantprisma **618** zwei Bohrungen **618.2**, **618.3** bzw. optisch-unwirksame Durchlassöffnungen auf, durch die das Beleuchtungs-Strahlenbündel zur Reflexions-Maßverkörperung **620** bzw. die rückreflektierten Teilstrahlenbündel zu den Detektorelementen **616.1**, **616.2**, **616.3** propagieren können. Die Abtastgitter **614.1–614.4** sind als periodische Gitter mit geraden Gitterstegen ausgebildet, die nur in Messrichtung x eine Ablenkung auf die verschiedenen Teilstrahlenbündel ausüben.

[0100] Diese Variante der ersten Ausführungsform der erfindungsgemäßen Positionsmesseinrichtung erfordert keine derart fein strukturierten Abtastgitter wie das obige Beispiel und ist dann vorteilhaft, wenn die Herstellung derart feiner Gitterstrukturen technologiebedingt zu aufwändig ist oder etwa die Polarisierungseigenschaften zu feiner Gitter sich nachteilig auswirken.

[0101] Grundsätzlich lassen sich auch nachfolgend noch zu erläuternden Ausführungsformen jeweils mit den beiden vorab beschriebenen Varianten des Retroreflektorelements ausführen. Das heißt, dass in einem Fall das Retroreflektorelement aus diffraktiven Zylinderlinsen, die der in Messrichtung ablenkenden Wirkung der Abtastgitter überlagert wird (diffraktiven Ablenk-/Linsenelementen), und den Reflektorelementen auf der Oberseite der Abtastplatte gebildet wird. Im anderen Fall ist das Retroreflektorelement in Form eines 90° -Dachkantprismas mit einer Dachkante parallel zur Messrichtung x ausgebildet.

[0102] Eine zweite Ausführungsform der erfindungsgemäßen Positionsmesseinrichtung sei nachfolgend anhand der [Fig. 3a–Fig. 3d](#) erläutert. Prinzipiell zeigen diese Figuren wieder die gleichen Ansichten der Positionsmesseinrichtung wie im obigen Beispiel der [Fig. 1a–Fig. 1d](#).

[0103] Auch in diesem Beispiel ist über den realisierten Abtaststrahlengang bzw. die Anordnung der verschiedenen optischen Elemente insbesondere in der Abtasteinheit **110** wiederum sichergestellt, dass auf dem Vereinigungsgitter **114.5** vor den Detektorelementen ein Paar von Teilstrahlenbündeln nichtparallel auftrifft und nach dem Vereinigungsgitter **114.5** mehrere Paare kollinear und interferierender Teilstrahlenbündel in Richtung der Detektorelemente **116.1–116.3** propagieren.

[0104] Nachfolgend seien nur die wesentlichen Unterschiede zum ersten Ausführungsbeispiel aus [Fig. 1a–Fig. 1d](#) erläutert. So ist ergänzend zum ersten Beispiel vorgesehen, ein Aufspaltgitter **114.6** in Form eines Transmissionsgitters im kollimierten Strahlengang des Strahlenbündels nach der Kollimatoroptik **112** anzuordnen. Das Aufspaltgitter **114.6** besitzt hierbei eine Teilungsperiode TP_{AG0} , die der Teilungsperiode TP_{VG} des im Abtaststrahlengang nachfolgend angeordneten Vereinigungsgitters **114.5** entspricht, d.h. $TP_{AG0} = TP_{VG}$. Über das Aufspaltgitter **114.6** erfolgt eine Aufspaltung des Strahlenbündels in zwei gebeugte Teilstrahlenbündel, die dann in Richtung der Reflexions-Maßverkörperung **120** propagieren. Auf der Reflexions-Maßverkörperung **120** treffen die beiden Teilstrahlenbündel in dieser Variante an unterschiedlichen Orten auf die Messteilung **122** auf, wo dann wiederum jeweils eine Aufspaltung in weitere Teilstrahlenbündel erfolgt, die in Richtung der Abtasteinheit **110** zurückreflektiert werden. Die zurückreflektierten Teilstrahlenbündel, die an der Reflexions-Maßverkörperung **120** in +1. und –1. Beugungsordnungen abgelenkt werden, treffen auf die Abtastgitter **114.1**, **114.2**. Diese lenken die Teilstrahlenbündel in Messrichtung x jeweils so ab, dass sie in dieser x-Richtung parallel zur optischen Achse OA verlaufen. In y-Richtung wirken die Abtastgitter **114.1**, **114.2** gemäß der obigen Ausführungsform in [Fig. 1a–Fig. 1d](#) wie diffraktive Zylinderlinsen, die die Teilstrahlenbündel wiederum auf die Reflektorelemente **115.1**, **115.2** fokussieren. Nachfolgend kollimieren die Abtastgitter **114.3**, **114.4** die Teilstrahlenbündel in y-Richtung und lenken sie in Messrichtung x geneigt auf die Reflexions-Maßverkörperung **120**. Die Abtastgitter fungieren demzufolge als diffraktive Ablenk-/Linsenelemente. Der nachfolgende Strahlengangverlauf entspricht demjenigen des Ausführungsbeispiels aus [Fig. 1a–Fig. 1d](#).

[0105] Über das Einbringen des Aufspaltgitters **114.6** in den Abtaststrahlengang wird in diesem zweiten Ausführungsbeispiel gewährleistet, dass die auf das Vereinigungsgitter **114.5** einfallenden Teilstrahlenbündel am gleichen Punkt auf dieses -gitter **114.5** auftreffen. Im Gegensatz zum ersten Ausführungsbeispiel gilt dies für alle Abtastabstände zwischen Reflexions-Maßverkörperung **120** und Abtasteinheit **110**. Diese Ausführungsform der erfindungsgemäßen Positionsmesseinrichtung liefert daher stabilere Ausgangssignale, die auch unabhängig von Schwankungen der genutzten Lichtwellenlänge sind.

[0106] Die Retroreflektorfunktionalität wird in der Abtasteinheit **110** wie im Beispiel der [Fig. 1a–Fig. 1d](#) über die Baueinheit mit der Abtastplatte **113** realisiert. Auf dessen Unterseite, die der Reflexions-Maßverkörperung zugewandt ist, sind wie in [Fig. 3d](#) ersichtlich die Abtastgitter **114.1–114.4**, das Vereinigungsgitter **114.5** sowie das Aufspaltgitter **114.6** angeordnet. Auf der Oberseite der Abtastplatte **113** sind gemäß der Draufsicht in [Fig. 3c](#) die beiden planen Reflektorelemente **115.1**, **115.2** angeordnet.

[0107] Die Teilungsperioden TP_{AG1} der Abtastgitter **114.1**, **114.2** sowie die Teilungsperioden TP_{AG2} der Abtastgitter **114.3**, **114.4** werden in diesem Beispiel vorzugsweise nach folgender Gleichung (2.1) bestimmt:

$$\frac{1}{TP_{AG1}} = \frac{1}{TP_{AG2}} = \frac{1}{TP_M} + \frac{1}{TP_{VG}} \quad (\text{Gl. 2.1})$$

mit:

TP_M : = Teilungsperiode der Messteilung
 TP_{VG} : = Teilungsperiode des Vereinigungsgitters.

[0108] Ähnlich wie im ersten Beispiel ergibt sich auch in dieser Ausführungsform die Lage des neutralen Drehpunkts unterhalb der Reflexions-Maßverkörperungsebene. Wiederum kann eine Modifikation dieser Ausführungsform durch Ersetzen von TP_M durch $-TP_M$, TP_{AG1} durch $-TP_{AG1}$ sowie von TP_{AG2} durch $-TP_{AG2}$ beschrieben werden, wobei der neutrale Drehpunkt dann oberhalb der Reflexions-Maßverkörperung **120** zu liegen kommt.

Erste Abwandlung der zweiten Ausführungsform

[0109] Eine erste Abwandlung der zweiten Ausführungsform sei nachfolgend anhand der [Fig. 4a–Fig. 4d](#) erläutert. Diese Figuren zeigen wieder die gleichen Ansichten der Positionsmesseinrichtung wie im obigen zweiten Ausführungsbeispiel.

[0110] Bezüglich des prinzipiellen Abtaststrahlengangs entspricht diese Variante dem vorherigen Beispiel mit dem Aufspaltgitter **214.5** nach der Kollimatoroptik **212**. Dessen Teilungsperiode TP_{AG0} wird in diesem Beispiel gemäß folgender Beziehung (3.1) gewählt:

$$TP_{AG0} = TP_{VG} = TP_M \quad (\text{Gl. 3.1})$$

mit:

TP_{VG} : = Teilungsperiode des Vereinigungsgitters
 TP_M : = Teilungsperiode der Reflexions-Maßverkörperung

[0111] Die vorliegende Variante stellt einen Spezialfall der zweiten Ausführungsform dar, mit $1/TP_{AG1} = 1/TP_{AG2} = 0$. Das heißt, die entsprechende Struktur auf der Abtastplatte **213** lenkt nicht mehr in Messrichtung x ab und ist damit als reine Fresnel-Zylinderlinse in y -Richtung ausgebildet.

[0112] Die Abtastgitter **214.1–214.4** auf der Unterseite der Abtastplatte **213** sind somit in dieser Variante im Unterschied zum vorherigen Beispiel als Fresnel-Zylinderlinsen in y -Richtung ausgebildet, d.h. nicht als Gitter-Zylinderlinsen-Strukturen wie in den [Fig. 3a–Fig. 3d](#); hierzu sei insbesondere auf die [Fig. 4d](#) verwiesen, die die Unterseite der Abtastplatte **313** mit den dort angeordneten Elementen zeigt.

[0113] Alternativ hierzu ist auch eine Ausbildung der Abtastgitter **214.1–214.4** als geblazte Fresnel-Zylinderlinsen oder als off-axis-Fresnellinsen möglich.

[0114] Aufgrund dieser Ausbildung der Abtastgitter **214.1–214.4** in der Abtasteinheit **210** resultiert im dargestellten Beispiel ein geringfügig anderer Abtaststrahlengang als im vorherigen Beispiel der [Fig. 3a–Fig. 3d](#). So werden die erstmalig auf die Reflexions-Maßverkörperung **220** auftreffenden Teilstrahlenbündel bzw. die zur Signalerzeugung genutzten Beugungsordnungen wie in [Fig. 4a](#) ersichtlich nunmehr senkrecht zurück zur Abtasteinheit **210** zurückreflektiert.

[0115] Als Konsequenz aus diesem anderen Abtaststrahlengang ergibt sich bei diesem Beispiel eine andere Lage des neutralen Drehpunktes. So liegt dieser im Unterschied zur vorher beschriebenen Variante etwa in der Höhe des doppelten Abtastabstands über der Reflexions-Maßverkörperungsebene. Für bestimmte Applikationen der erfindungsgemäßen Positionsmesseinrichtung resultieren damit flexible Möglichkeiten, durch die gezielte Auslegung des Abtaststrahlengangs die Lage des neutralen Drehpunktes an die gewünschte Stelle zu legen.

[0116] Darüberhinaus entspricht der Abtaststrahlengang dieses Beispiels grundsätzlich demjenigen aus den [Fig. 3a–Fig. 3d](#).

[0117] Ersetzt man in einer weiteren Modifikation dieser Variante die Kombination aus Fresnel-Zylinderlinsen **214.1–214.4** und Reflektorelemente **215.1**, **215.2** durch ein Dachkantprisma analog zum Beispiel in den [Fig. 2a–Fig. 2d](#), so können die Abtastgitter **214.1–214.4** vollständig entfallen, da weder eine ablenkende Wirkung in Messrichtung x noch eine Linsenswirkung in y -Richtung benötigt wird. Die geringe Anzahl durchlaufener Gitter hat eine besonders hohe Signalstärke einer entsprechenden Positionsmesseinrichtung zur Folge.

Zweite Abwandlung der zweiten Ausführungsform

[0118] Eine zweite Abwandlung der zweiten Ausführungsform der erfindungsgemäßen Positionsmesseinrichtung ist in den [Fig. 5a–Fig. 5e](#) dargestellt. Diese Figuren zeigen wieder die gleichen Ansichten der Positionsmesseinrichtung wie im obigen Beispiel der [Fig. 2a–Fig. 2e](#).

[0119] Die Variante aus den [Fig. 5a–Fig. 5e](#) unterscheidet sich zum einen von den beiden vorherigen Beispielen in der Wahl der Teilungsperioden des Aufspaltgitters und der Teilungsperiode TP_M der Reflexions-Maßverkörperung **320**. Insbesondere die Teilungsperiode TP_M der Reflexions-Maßverkörperung **320** ist dergestalt

gewählt, dass die erstmalig auf die Reflexions-Maßverkörperung **320** auftreffenden Teilstrahlenbündel so zur Abtasteinheit **310** zurück umgelenkt werden, dass sich die von verschiedenen Orten in Beugung zurückreflektierten Teilstrahlenbündel kreuzen, bevor dieser auf die ersten Abtastgitter **314.1**, **314.2** im Abtaststrahlengang auftreffen.

[0120] Zum anderen ist in dieser Variante vorgesehen, zur Umsetzung der Retroreflektorfunktionalität in der Abtasteinheit **310** wiederum ein Dachkantprisma **318** anzuordnen und nicht die Ausgestaltung wie vorher beschrieben zu nutzen. Wie bereits im Beispiel der [Fig. 2a–Fig. 2e](#) ist die Dachkante **318.1** des Dachkantprismas **318** parallel zur Messrichtung x angeordnet. Das Dachkantprisma **318** weist ebenfalls zwei Bohrungen **318.2**, **318.3** bzw. optischunwirksame Durchlassöffnungen auf, durch die das Beleuchtungs-Strahlenbündel zur Reflexions-Maßverkörperung **320** bzw. zu den Detektorelementen **316.1**, **316.2**, **316.3** propagieren kann. Auf der Unterseite des Dachkantprismas **318** sind gemäß der Darstellung in [Fig. 5e](#) die verschiedenen Abtastgitter **314.1–314.4** sowie das Aufspaltgitter **314.6** und das Vereinigungsgitter **314.5** angeordnet.

[0121] Ansonsten verläuft der prinzipielle Abtaststrahlengang dieser Variante analog zu den Abtaststrahlengängen des zweiten Ausführungsbeispiels.

[0122] Diese zweite Abwandlung der zweiten Ausführungsform ist insbesondere für sehr kleine Teilungsperioden TP_M auf Seiten der Reflexions-Maßverkörperung vorteilhaft. Durch die in Messrichtung x schräge Beleuchtung der Messteilung können auch Reflexions-Maßverkörperungen abgetastet werden, deren Teilungsperioden TP_M kleiner als die Wellenlänge λ der verwendeten Lichtquelle ist. Die theoretisch minimal abtastbare Teilungsperiode TP_M entspricht hierbei $\lambda/2$.

[0123] Abschließend seien auch in Bezug auf diese Variante noch einige Dimensionierungsregeln kurz erläutert.

[0124] Werden in der oben aufgeführten Gleichung (2.1) TP_M durch $-TP_M$, TP_{AG1} durch $-TP_{AG1}$ sowie TP_{AG2} durch $-TP_{AG2}$ ersetzt, so gilt hier für die verschiedenen Teilungen:

$$\frac{1}{TP_{AG1}} = \frac{1}{TP_{AG2}} = \frac{1}{TP_M} - \frac{1}{TP_{VG}} \quad (\text{Gl. 4.1})$$

mit:

TP_M : = Teilungsperiode der Messteilung
 TP_{VG} : = Teilungsperiode des Vereinigungsgitters.

[0125] Damit eine Strahlentrennung derjenigen Strahlenbündel möglich ist, die einerseits das Aufspaltgitter **314.6** durchtreten und andererseits von der Reflexions-Maßverkörperung **320** in Richtung Abtastplatte zurücklaufen, muss die nachfolgende Bedingung (4.2) eingehalten werden:

$$TP_{AG1} > 2 \cdot TP_M \quad (\text{Gl. 4.2})$$

[0126] Geeignet gewählte Werte sind beispielsweise $TP_M = 0.5 \mu\text{m}$, $TP_{AG1} = TP_{AG2} = 1.3 \mu\text{m}$ bei einer Wellenlänge $\lambda = 670 \text{ nm}$.

Dritte Ausführungsform

[0127] Eine dritte Ausführungsform der erfindungsgemäßen Positionsmesseinrichtung ist in den [Fig. 6a–Fig. 6d](#) gezeigt. Die Darstellung entspricht wiederum denjenigen der vorher erläuterten Varianten der [Fig. 1a–Fig. 1d](#), [Fig. 3a–Fig. 3d](#) und [Fig. 4a–Fig. 4d](#). Nachfolgend sei i.w. nur auf die maßgeblichen Unterschiede zu diesen Beispielen eingegangen.

[0128] So ist nunmehr vorgesehen, dass das nach der Kollimatoroptik **412** parallele Strahlenbündel auf ein Aufspaltgitter **414.6** auf der Oberseite der Abtastplatte **413** auftrifft und dort in zwei Teilstrahlenbündel aufgespalten wird. Die beiden Teilstrahlenbündel gelangen anschließend auf ein Aufspalt-Hilfsgitter **414.7** auf der Unterseite der Abtastplatte **413**. Über das Aufspalt-Hilfsgitter **414.7** wird sichergestellt, dass die beiden aufgespaltenen Teilstrahlenbündel am gleichen Auftreffort auf die Reflexions-Maßverkörperung **420** auftreffen. Wie aus der Ansicht in [Fig. 6d](#) ersichtlich ist, kann das Aufspalt-Hilfsgitter **414.7** auch aus zwei separaten Gitterstrukturen bestehen.

[0129] Nach der erstmaligen Rückreflexion von der Reflexions-Maßverkörperung **420** gelangen die Teilstrahlenbündel wie in den vorherigen Beispielen zunächst auf die Abtastgitter **414.1**, **414.2**, werden dann von den Reflektorelementen **415.1**, **415.2** wieder in Richtung der Reflexions-Maßverkörperung umgelenkt und durchtreten die Abtastgitter **414.3**, **414.4**, bevor die Teilstrahlenbündel ein zweites Mal am gleichen Ort auf die Reflexions-Maßverkörperung **420** auftreffen. Von dort erfolgt wiederum die Rückreflexion in Richtung der Abtasteinheit **410**. In der Abtasteinheit treffen nunmehr Teilstrahlenbündel unter symmetrischen Winkeln auseinanderlaufend auf ein Vereinigungs-Hilfsgitter **414.5** auf der Unterseite der Abtastplatte; auch das Vereinigungs-Hilfsgitter **424.5** kann wie aus [Fig. 6c](#) ersichtlich, aus zwei separaten Gitterstrukturen bestehen. Das Vereinigungs-Hilfsgitter **414.5** stellt sicher, dass die Teilstrahlenbündel unter den symmetrischen Winkeln $\alpha_1 = \alpha_2$ wieder zusammenlaufend auf das Vereinigungsgitter **414.8** auftreffen, bevor drei Paare interferierender Teilstrahlenbündel in Richtung der Detektorelemente **416.1**, **416.2**, **416.3** propagieren.

[0130] In diesem Beispiel ist demzufolge sichergestellt, dass die zunächst über das Aufspaltgitter **414.6** aufgespaltenen Teilstrahlenbündel am gleichen Ort auf die Reflexions-Maßverkörperung **420** bzw. die Messteilung **422** auftreffen. Dies ist insbesondere bei lokalen Verschmutzungen von Bedeutung, die dann alle Signalanteile gleichmäßig beeinflussen.

[0131] Im Hinblick auf die Dimensionierung der verschiedenen Gitter ergeben sich in diesem Beispiel die nachfolgenden, einzuhaltenden Bedingungen:

$$a_1 \cdot \tan(\arcsin(\lambda / (n_A \cdot TP_{AG}))) = a_2 \cdot \tan(\arcsin(\lambda / TP_{AHG})) \quad (\text{Gl. 5.1})$$

mit:

- a1: = Abstand zwischen den Gitterebenen der Abtastplatte
- a2: = Abtastabstand zwischen Reflexions-Maßverkörperung und Abtasteinheit
- n_A : = Brechungsindex der Abtastplatte
- TP_{AG} : = Teilungsperiode des Aufspaltgitters **414.6**
- TP_{AHG} : = Teilungsperiode des Aufspalt-Hilfsgitters **414.7**

[0132] Weiterhin muss im Fall dieses Ausführungsbeispiels gelten:

$$\frac{1}{TP_{AG1}} = \frac{1}{TP_M} + \frac{1}{TP_{AHG}} - \frac{1}{TP_{AG}} \quad (\text{Gl. 5.2})$$

$$TP_{VG} = TP_{AG} \quad (\text{Gl. 5.3a})$$

$$TP_{AHG} = TP_{VHG} \quad (\text{Gl. 5.3b})$$

mit:

- TP_{AG} : = Teilungsperiode des Aufspaltgitters
- TP_{AHG} : = Teilungsperiode des Aufspalt-Hilfsgitters
- TP_{AG1} : = Teilungsperiode des Abtastgitters **414.2**
- TP_M : = Teilungsperiode der Reflexions-Maßverkörperung
- TP_{VG} : = Teilungsperiode des Vereinigungsgitters
- TP_{VHG} : = Teilungsperiode des Vereinigungs-Hilfsgitters

[0133] Wenn in diesem Beispiel die oben erwähnten Dimensionierungsregeln eingehalten werden, liegt der neutrale Drehpunkt des Systems in der Ebene der Reflexions-Maßverkörperung **420**.

[0134] Die Gesamt-Effizienz einer Positionsmesseinrichtung basierend auf diesem Beispiel kann durch den Einsatz geblazter Gitter für das Aufspalt-Hilfsgitter **414.7** und das Vereinigungs-Hilfsgitter **414.5** verbessert werden, die auf die Effizienz der genutzten ersten Beugungsordnung optimiert sind. Der gleiche Effekt kann auch durch in y-Richtung schräge Beleuchtung erreicht werden. Das Aufspalt-Hilfsgitter **414.7** und das Vereinigungs-Hilfsgitter **414.5** werden dann so ausgebildet, dass die Reflexions-Maßverkörperung **420** in y-Richtung senkrecht beleuchtet wird.

Vierte Ausführungsform

[0135] Nachfolgend sei anhand der [Fig. 7a–Fig. 7d](#) ein viertes Ausführungsbeispiel der erfindungsgemäßen

Positionsmesseinrichtung erläutert.

[0136] Von der Anzahl der genutzten Gitter im Abtaststrahlengang zwischen Lichtquelle **511** und Detektorelementen **516.1–516.3** entspricht diese Variante derjenigen aus den [Fig. 1a–Fig. 1d](#), d.h. dem ersten erläuterten Ausführungsbeispiel. Im Unterschied hierzu sind allerdings die Abtastgitter **514.1–514.4** dergestalt ausgebildet, dass darüber eine Punkt-Fokussierung der von der Reflexions-Maßverkörperung **520** kommenden Teilstrahlenbündel auf das einzige vorgesehene Reflektorelement **515** auf der Oberseite der Abtastplatte **513** erfolgt. Ansonsten entspricht der grundsätzliche Abtaststrahlengang demjenigen des ersten Beispiels.

[0137] In Bezug auf die Teilungsperioden der verschiedenen Gitter im Abtaststrahlengang ist bei diesem Beispiel folgende Bedingung zu beachten:

$$TP_{VG} = TP_M \quad (\text{Gl. 6})$$

mit:

TP_{VG} : = Teilungsperiode des Vereinigungsgitters
 TP_M : = Teilungsperiode der Reflexions-Maßverkörperung

[0138] Die Abtastgitter **514.1**, **514.2** stellen wiederum ein Ablenk- gitter kombiniert mit einer diffraktiven Linse dar. In dieser Ausführungsform ist diese diffraktive Linse als zylinder-symmetrische Linse zentriert auf der optischen Achse OA der Abtastoptik ausgebildet. Sie fokussiert die Teilstrahlenbündel auf das Reflektorelement **515** auf der Oberseite der Abtastplatte **513**. Das überlagerte Ablenk- gitter lenkt mit einer effektiven Teilungsperiode $TP_{AG1} = TP_M$ ab.

[0139] Die Abtastgitter **514.3**, **514.4** sind ausschließlich als zylindersymmetrische diffraktive Linsen zentriert auf der optischen Achse OA der Abtastoptik ausgebildet. Sie üben keine zusätzlich überlagerte ablenkende Wirkung aus ($1/TP_{AG2} = 0$), sondern kollimieren die auf der Oberseite der Abtastplatte **513** fokussierten Teilstrahlenbündel.

[0140] Der neutrale Drehpunkt liegt bei Einhaltung dieser Bedingungen im vorliegenden Beispiel etwa in Höhe der Abtastgitter oberhalb der Reflexions-Maßverkörperung.

Fünfte Ausführungsform

[0141] Eine fünfte Ausführungsform der erfindungsgemäßen Positionsmesseinrichtung ist in den [Fig. 8a–Fig. 8d](#) gezeigt. Die Darstellung entspricht wiederum denjenigen der vorher erläuterten Varianten. Nachfolgend sei wiederum nur auf die maßgeblichen Unterschiede zu den vorhergehenden Beispielen eingegangen.

[0142] Die dargestellte fünfte Ausführungsform entspricht weitgehend der vorher erläuterten dritten Ausführungsform, die anhand der [Fig. 5a–Fig. 5d](#) erläutert wurde. Im Unterschied zur dritten Ausführungsform wurde das als Retroreflektorelement vorgesehene Dachkantprisma durch kombinierte Ablenk/Linsenelemente **714.1–714.4** ersetzt, die zudem anstelle von Zylinderlinsenelementen normale Linsenelemente aufweisen. Die einfallenden Teilstrahlenbündel werden dadurch sowohl in Strichrichtung y der Reflexions-Maßverkörperung **720** als auch in Messrichtung x auf die Reflektorelemente **715.1**, **715.2** fokussiert bzw. nach der Reflexion wieder kollimiert. Dies bewirkt eine vollständige Richtungsumkehr der einfallenden Teilstrahlenbündel. Diese vollständige Richtungsumkehr hat zur Folge, dass nach der zweiten Reflexion an der Reflexions-Maßverkörperung **720** die Strahlrichtungen der beiden Teilstrahlenbündel nicht mehr von einer eventuellen Verkippung der Reflexions-Maßverkörperung **720** abhängen. Dies lässt sich vorteilhaft ausnutzen, wenn die nach dem Vereinigungsgitter austretenden Teilstrahlenbündel durch Linsen **717.1**, **717.2**, **717.3** auf kleine Detektorelemente **716.1**, **716.2**, **716.3** fokussiert werden. Der Auftreffort auf den Detektorelementen **716.1**, **716.2**, **716.3** bleibt auch bei einer eventuellen Verkippung der Reflexions-Maßverkörperung **720** stabil. Es lassen sich deshalb besonders kleine und damit schnell ansprechende Detektorelemente **716.1**, **716.2**, **716.3** verwenden, ferner können zur Detektion auch optische Fasern verwendet werden.

[0143] Neben den erläuterten Beispielen resultieren im Rahmen der vorliegenden Erfindung selbstverständlich weitere Ausführungsmöglichkeiten.

[0144] So ist es etwa möglich verschiedene Lichtquellen wie LEDs oder Laser mit transversaler Monomode-

oder Multimodestruktur einzusetzen. Transversal multimodige, vertikal-emittierende Laserdioden (VCSEL) oder LEDs sind besonders vorteilhaft, da damit eine störende Speckle-Bildung vermieden werden kann. Da bei allen Ausführungsformen vorteilhafterweise die Auftrefforte der beiden einfallenden Teilstrahlenbündel am Vereinigungsgitter zusammentreffen, ergibt sich auch bei einer transversal multimodigen Lichtquelle eine hohe Signalmodulation.

[0145] Statt des Vereinigungsgitters und der Photoelemente für die einzelnen, austretenden, resultierenden Beugungsordnungen können auch sog. strukturierte Detektoranordnungen eingesetzt werden. Strukturierte Detektoranordnungen sind z.B. aus der DE 100 22 6619 A1 bekannt und bestehen aus parallel angeordneten, streifenförmigen Photodetektoren, wobei jeweils jeder N-te Photodetektor elektrisch verbunden ist. Eine solche strukturierte Detektoranordnung liefert N Signale, die um $360^\circ/N$ zueinander phasenverschoben sind, N ist vorzugsweise 3 oder 4.

[0146] Die in allen Ausführungsbeispielen unter einem Winkel zusammenlaufenden Teilstrahlenbündel interferieren am Ort des Vereinigungsgitters und bilden ein Streifensystem aus, dessen Streifenperiode der halben Teilungsperiode des Vereinigungsgitters entspricht. Durch eine geeignete Wahl der Teilungsperioden TP_M , TP_{AG1} , TP_{AG2} kann die Streifenmusterperiode so groß eingestellt werden, dass sie von einer strukturierten Detektoranordnung erfasst werden kann. Die Streifenmusterperiode sollte dazu vorteilhafterweise Werte von 40 μm oder mehr aufweisen. Die strukturierte Detektoranordnung wird vorzugsweise im Kreuzungspunkt der beiden zusammenlaufenden Teilstrahlenbündel platziert. Die gitterförmige Photoelementstruktur stellt in diesem Fall das Vereinigungsgitter dar. Durch die entsprechende Wahl der Teilungsperioden TP_M , TP_{AG1} , TP_{AG2} kann der Kreuzungspunkt vorteilhafterweise in eine Ebene oberhalb der Abtastplatte gelegt werden.

[0147] In einer weiteren Detektionsvariante kann das Vereinigungsgitter auch als ortsabhängiges Ablenk-gitter ausgeführt werden. Ein solches ortsabhängiges Ablenk-gitter ist beispielsweise aus der US 5497226 bekannt. Das Streifenmustersystem, das sich durch Interferenz der beiden Teilstrahlenbündel am Ort des Vereinigungs- bzw. ortsabhängigen Ablenk-gitters ausbildet, wechselwirkt mit dem ortsabhängigen Ablenk-gitter, das dieselbe Teilungsperiode wie das Streifenmustersystem besitzt. Das ortsabhängige Ablenk-gitter besitzt mehrere streifenförmige Teilbereiche in jeder Teilungsperiode. Jeder solcher Teilbereich wiederum trägt ein Subgitter mit kleiner Teilungsperiode. Die einzelnen Teilbereiche unterscheiden sich in der Teilungsperiode und/oder in der Orientierung der Subgitter zur Messrichtung x. Sie lenken beide auftreffenden Teilstrahlenbündel auf einen jeweils dem Teilbereich zugeordneten Detektorelement. Je nach der Lage der Maxima des Streifenmustersystems relativ zu den einzelnen Teilbereichen des ortsabhängigen Ablenk-gitters werden die einzelnen Teilbereiche unterschiedlich stark beleuchtet, so dass die zugehörigen Detektoren ein moduliertes Signal abgeben.

[0148] Diese Ausführungsvariante ist vorteilhaft bei großen Teilungsperioden TP_{VG} des Vereinigungsgitters einsetzbar, da dann die Winkelaufspaltung der auslaufenden Teilstrahlenbündel klein ist und diese damit nicht getrennt auf Photoelemente gelenkt werden können.

[0149] Bei kleinen Teilungsperioden der Reflexions-Maßverkörperung kann dessen Beugungseffizienz und Phasenverschiebungswirkung von der Polarisierung des einfallenden Strahlenbündels abhängen. Um eine Beeinträchtigung der Signale durch solche Polarisationsabhängigkeiten zu vermeiden, ist es vorteilhaft, ausschließlich linear polarisierte Strahlenbündel mit einer gemeinsamen Polarisationsrichtung zu verwenden, die entweder parallel zur Strichrichtung oder parallel zur Messrichtung verlaufen. Dazu kann entweder die Laserdiode entsprechend orientiert angeordnet werden oder aber ein entsprechend ausgerichteter Polarisator im Beleuchtungsstrahlengang eingesetzt werden.

[0150] Bei Verwendung von kombinierten diffraktiven Linsen und Ablenkelementen können aufgrund der gekrümmten Gitterstege über den Strahlquerschnitt veränderliche Polarisationszustände auftreten. Um eventuelle polarisationsabhängige Signalverzerrungen zu vermeiden, kann es deshalb weiterhin vorteilhaft sein, in die Strahlengänge beider Teilstrahlenbündel jeweils nach dem letzten durchlaufenden diffraktiven Linsenelement ebenfalls einen Polarisator einzufügen. Die Ausrichtung der Polarisatoren ist in diesem Fall vorzugsweise wiederum parallel zur Messrichtung oder parallel zur Strichrichtung des Maßstabs zu wählen.

[0151] Abschließend sei in Bezug auf alternative Ausführungsformen noch darauf hingewiesen, dass das Retroreflektorelement der oben erläuterten fünften Ausführungsform ([Fig. 8a–Fig. 8d](#)) mit einer Fokussierung sowohl in Messrichtung x als auch in Strichrichtung y der Maßverkörperung selbstverständlich auch mit den anderen Ausführungsbeispielen kombinierbar ist usw..

Patentansprüche

1. Positionsmesseinrichtung zur Erfassung der Relativposition einer Abtasteinheit sowie einer hierzu in mindestens einer Messrichtung (x) beweglichen Reflexions-Maßverkörperung, wobei die Abtasteinheit mehrere optische Elemente umfasst, nämlich mindestens ein Retroreflektorelement, mindestens ein Vereinigungsgitter, mindestens ein Abtastgitter sowie mehrere Detektorelemente und wobei die optischen Elemente in der Abtasteinheit dergestalt angeordnet sind,
 - dass Strahlenbündel und/oder Teilstrahlenbündel des Abtaststrahlengangs mindestens zwei Mal die Reflexions-Maßverkörperung beaufschlagen und hierbei jeweils durch die einfallenden Strahlenbündel und/oder Teilstrahlenbündel einerseits und die reflektierten Teilstrahlenbündel andererseits eine Ebene aufgespannt wird, die senkrecht zur Ebene der Reflexions-Maßverkörperung orientiert ist,
 - dass über das Retroreflektorelement eine Richtungsumkehr der darauf einfallenden Teilstrahlenbündel auf die Reflexions-Maßverkörperung senkrecht zur Messrichtung (x) erfolgt und
 - dass auf das Vereinigungsgitter ein Paar von Teilstrahlenbündeln nichtparallel auftrifft und das Vereinigungsgitter die darauf eintreffenden Teilstrahlenbündel zur Interferenz bringt, so dass die Detektorelemente phasenverschobene Signale erfassen.
2. Positionsmesseinrichtung nach Anspruch 1, wobei das Paar von Teilstrahlenbündeln symmetrisch, unter gleichen Winkeln (α_1 , α_2) zur optischen Achse (OA) auf das Vereinigungsgitter auftrifft.
3. Positionsmesseinrichtung nach Anspruch 1, wobei das Vereinigungsgitter als Transmissionsgitter ausgebildet ist und eine Teilungsperiode (TP_{VG}) dergestalt aufweist, die gewährleistet, dass eine Ablenkung der auftreffenden Teilstrahlenbündel in mehrere kollinear austretende Beugungsordnungen erfolgt, die nachfolgend angeordnete Detektorelemente beaufschlagen.
4. Positionsmesseinrichtung nach Anspruch 3, wobei das Vereinigungsgitter dergestalt ausgebildet ist, dass darüber eine Ablenkung der einfallenden Teilstrahlenbündel derart erfolgt, dass eine der kollinear austretenden Beugungsordnungen senkrecht zur Teilungsebene propagiert.
5. Positionsmesseinrichtung nach Anspruch 4, wobei das Vereinigungsgitter als Phasengitter ausgebildet ist und die Steghöhe und Stegbreite desselben derart dimensioniert sind, dass auf den nachgeordneten Detektorelementen drei um 120° phasenversetzte Signale detektierbar sind.
6. Positionsmesseinrichtung nach Anspruch 1, wobei das Vereinigungsgitter und die Detektorelemente als strukturierte Detektoranordnung ausgebildet sind.
7. Positionsmesseinrichtung nach Anspruch 1, wobei das Vereinigungsgitter als ortsabhängiges Ablenk-gitter ausgebildet ist.
8. Positionsmesseinrichtung nach Anspruch 1, wobei die Abtasteinheit mehrere Abtastgitter sowie mindestens ein Vereinigungsgitter umfasst und diese spiegelsymmetrisch angeordnet sind, wobei die Symmetrieebene senkrecht zur Messrichtung (x) und parallel zur optischen Achse (OA) orientiert ist.
9. Positionsmesseinrichtung nach mindestens einem der vorhergehenden Ansprüche, wobei in der Abtasteinheit ein als Dachkantprisma ausgebildetes Retroreflektorelement angeordnet ist, dessen Dachkante parallel zur Messrichtung (x) orientiert ist.
10. Positionsmesseinrichtung nach mindestens einem der vorhergehenden Ansprüche, wobei das Retroreflektorelement in der Abtasteinheit mehrere kombinierte Ablenk-/Linsenelemente sowie mindestens ein planes Reflektorelement umfasst und die Brennebene der Linsenelemente in der Ebene des mindestens einen planen Reflektorelements liegt.
11. Positionsmesseinrichtung nach Anspruch 10, wobei die Linsenelemente als diffraktive Linsenelemente ausgebildet sind, die Ablenkelemente als Abtastgitter ausgebildet sind und zusammen als kombinierte, diffraktive Gitter-Linsen-Elemente ausgebildet sind.
12. Positionsmesseinrichtung nach Anspruch 10, wobei die Linsenelemente als diffraktive Linsenelemente in Form von Zylinderlinsen ausgebildet sind, die in Strichrichtung (y) der Reflexions-Maßverkörperung eine fokussierende Wirkung besitzen.

13. Positionsmesseinrichtung nach Anspruch 10, wobei die Linsenelemente als diffraktive Linsenelemente in Form von zylindersymmetrischen Linsenelementen ausgebildet sind, die sowohl in Strichrichtung (y) der Reflexions-Maßverkörperung als auch in Messrichtung (x) eine fokussierende Wirkung besitzen.

14. Positionsmesseinrichtung nach Anspruch 10, wobei das Retroreflektorelement ein planparalleles Trägersubstrat umfasst, auf deren, der Reflexions-Maßverkörperung zugewandten Seite mehrere Gitter angeordnet sind und auf deren, zur Reflexions-Maßverkörperung abgewandten Seite das mindestens eine, plane Reflektorelement angeordnet ist.

15. Positionsmesseinrichtung nach Anspruch 1, wobei die Auftrefforte der beiden Teilstrahlenbündel am Vereinigungsgitter zusammentreffen.

16. Positionsmesseinrichtung nach Anspruch 1, wobei das mindestens eine Retroreflektorelement als monolytische Baueinheit auf einem Trägerelement ausgebildet ist

17. Positionsmesseinrichtung nach Anspruch 1, wobei die Abtasteinheit mehrere Abtastgitter sowie mindestens ein Vereinigungsgitter umfasst und diese spiegelsymmetrisch angeordnet sind, wobei die Symmetrieebene parallel zur Messrichtung (x) und parallel zur optischen Achse (OA) orientiert ist.

18. Positionsmesseinrichtung nach mindestens einem der Ansprüche 1–16, wobei die Abtasteinheit (10) dergestalt ausgebildet ist, dass die von einer Lichtquelle (11) emittierten Strahlenbündel nach einer Kollimation über eine Kollimatoroptik (12)

– ein erstes Mal auf die Reflexions-Maßverkörperung (20) auftreffen, wo eine Aufspaltung in zwei zur Abtasteinheit (10) rückreflektierte Teilstrahlenbündel erfolgt, die zwei unterschiedlichen Beugungsordnungen entsprechen,

– die beiden rückreflektierten Teilstrahlenbündel in der Abtasteinheit (10) über das Retroreflektorelement eine Rückreflexion in Richtung Reflexions-Maßverkörperung (20) erfahren, wobei die Teilstrahlenbündel je zweimal Abtastgitter (14.1, 14.2, 14.3, 14.4) durchlaufen,

– die auf die Reflexions-Maßverkörperung (20) ein zweites Mal auftreffenden Teilstrahlenbündel eine erneute Beugung und Rückreflexion in Richtung der Abtasteinheit (10) erfahren,

– in der Abtasteinheit (10) mindestens ein Paar rückreflektierter Teilstrahlenbündel unter symmetrischen Winkeln (α_1 , α_2) zur optischen Achse (OA) am gleichen Ort auf das Vereinigungsgitter (14.5) auftrifft.

19. Positionsmesseinrichtung nach mindestens einem der Ansprüche 1–17, wobei die Abtasteinheit (110; 210; 310; 710) dergestalt ausgebildet ist, dass die von einer Lichtquelle (111; 211; 311; 711) emittierten Strahlenbündel nach einer Kollimation über eine Kollimatoroptik (112; 212; 312; 712)

– über ein Aufspaltgitter (114.6; 214.6; 314.6; 714.6) in der Abtasteinheit (110; 210; 310; 710) eine Aufspaltung in mindestens zwei Teilstrahlenbündel erfolgt, die zwei unterschiedlichen Beugungsordnungen entsprechen und diese Teilstrahlenbündel in Richtung Reflexions-Maßverkörperung (120; 220; 320; 720) propagieren,

– die Teilstrahlenbündel dann ein erstes Mal an unterschiedlichen Orten auf die Reflexions-Maßverkörperung (120; 220; 320; 720) auftreffen, wo jeweils eine Aufspaltung in mehrere zur Abtasteinheit (110; 210; 310; 710) rückreflektierte Teilstrahlenbündel erfolgt, die unterschiedlichen Beugungsordnungen entsprechen,

– die mindestens zwei zurückreflektierten Teilstrahlenbündel in der Abtasteinheit (110; 210; 310; 710) über das Retroreflektorelement eine Rückreflexion in Richtung Reflexions-Maßverkörperung (120; 220; 320; 720) erfahren und wobei die Teilstrahlenbündel je zweimal ein Abtastgitter (114.1–114.4; 214.1–214.4; 314.1–314.4; 714.1–714.4) durchlaufen,

– die auf die Reflexions-Maßverkörperung (120; 220; 320; 720) ein zweites Mal an unterschiedlichen Orten auftreffenden Teilstrahlenbündel eine erneute Beugung und Rückreflexion in Richtung der Abtasteinheit (110; 210; 310; 710) erfahren,

– in der Abtasteinheit (110; 210; 310; 710) mindestens ein Paar rückreflektierter Teilstrahlenbündel unter symmetrischen Winkeln (α_1 , α_2) zur optischen Achse (OA) am gleichen Ort auf das Vereinigungsgitter (114.5; 214.5; 314.5; 714.5) auftrifft.

20. Positionsmesseinrichtung nach Anspruch 19, wobei

– die Abtastgitter (214.1–214.4) in der Abtasteinheit (210) als Fresnel-Zylinderlinsen ausgebildet sind, deren Brennlinien sich in der Ebene der Reflektorelemente (215.1, 215.2) befinden und

– die Teilungsperiode (TP_{AG0}) des Aufspaltgitters (214.6) identisch zur Teilungsperiode (TP_{AG1}) des Vereinigungsgitters (214.4) und zur Teilungsperiode (TP_M) der Reflexions-Maßverkörperung (220) gewählt ist.

21. Positionsmesseinrichtung nach Anspruch 19, wobei die Teilungsperiode (TP_M) der Reflexions-Maßver-

körperung (**320; 720**) dergestalt gewählt ist, dass sich die in Richtung Abtasteinheit (**310; 710**) zurückreflektierten Teilstrahlenbündel vor dem ersten Auftreffen auf ein Abtastgitter (**314.1–314.4; 714.1–714.4**) überkreuzen.

22. Positionsmesseinrichtung nach Anspruch 21, wobei die Teilungsperiode (TP_M) der Reflexions-Maßverkörperung (**320; 720**) kleiner als die Wellenlänge (λ) der verwendeten Lichtquelle (**311; 711**) gewählt ist.

23. Positionsmesseinrichtung nach Anspruch 20, wobei das mindestens eine Retroreflektorelement als kombiniertes Ablenk-/Linsenelement (**714.1, 714.2, 714.3, 714.4**) ausgebildet ist.

24. Positionsmesseinrichtung nach mindestens einem der Ansprüche 1–17, wobei die Abtasteinheit (**410**) dergestalt ausgebildet ist, dass die von einer Lichtquelle (**411**) emittierten Strahlenbündel nach einer Kollimation über eine Kollimatoroptik (**412**)

- über ein Aufspaltgitter (**414.6**) eine Aufspaltung in zwei Teilstrahlenbündel erfolgt,
- die beiden Teilstrahlenbündel dann auf ein Hufspalt-Hilfsgitter (**414.7**) gelangen, mit dem eine Umlenkung zumindest eines Teils der Teilstrahlenbündel dergestalt erfolgt, dass die in Richtung der Reflexions-Maßverkörperung (**420**) propagierenden Teilstrahlenbündel am gleichen Auftreffort auf die Reflexions-Maßverkörperung (**420**) auftreffen und
- die auf die Reflexions-Maßverkörperung (**420**) auftreffenden Teilstrahlenbündel jeweils in mehrere zur Abtasteinheit (**410**) rückreflektierte Teilstrahlenbündel aufgespalten werden, die unterschiedlichen Beugungsordnungen entsprechen,
- die mindestens zwei zurückreflektierten Teilstrahlenbündel in der Abtasteinheit (**410**) über das Retroreflektorelement eine Rückreflexion in Richtung Reflexions-Maßverkörperung (**420**) erfahren, wobei die Teilstrahlenbündel je zweimal ein Abtastgitter (**414.1, 414.2, 414.3, 414.4**) durchlaufen,
- die auf die Reflexions-Maßverkörperung (**420**) ein zweites Mal am gleichen Ort auftreffenden Teilstrahlenbündel eine erneute Beugung und Rückreflexion in Richtung der Abtasteinheit (**410**) erfahren,
- in der Abtasteinheit (**410**) mindestens ein Paar rückreflektierter Teilstrahlenbündel an unterschiedlichen Orten auf ein Vereinigungs-Hilfsgitter (**414.4**) auftrifft, wo eine erneute Beugung und Aufspaltung erfolgt, so dass mindestens zwei weiter propagierende Teilstrahlenbündel unter symmetrischen Winkeln zur optischen Achse am gleichen Ort auf das Vereinigungsgitter (**414.8**) auftreffen.

25. Positionsmesseinrichtung nach mindestens einem der Ansprüche 1–16, wobei die Abtasteinheit (**510**) dergestalt ausgebildet ist, dass die von einer Lichtquelle (**511**) emittierten Strahlenbündel nach einer Kollimation über eine Kollimatoroptik (**512**)

- ein erstes Mal auf die Reflexions-Maßverkörperung (**520**) auftreffen, die als Huflicht-Beugungsgitter ausgebildet ist, wo eine Aufspaltung in zwei zur Abtasteinheit (**510**) rückreflektierte Teilstrahlenbündel erfolgt, die zwei unterschiedlichen Beugungsordnungen entsprechen,
- die beiden rückreflektierten Teilstrahlenbündel in der Abtasteinheit (**510**) über das Retroreflektorelement eine Rückreflexion in Richtung Reflexions-Maßverkörperung (**520**) erfahren, wobei die Teilstrahlenbündel je zweimal ein Abtastgitter (**514.1, 514.2, 514.3, 514.4**) durchlaufen und beim ersten Durchlauf durch die Abtastgitter (**514.1, 514.2, 514.3, 514.4**) eine Punktfokussierung der Teilstrahlenbündel auf den gleichen Auftreffort an einem planen Reflektorelement (**515**) resultiert,
- die auf die Reflexions-Maßverkörperung (**520**) ein zweites Mal auftreffenden Teilstrahlenbündel eine erneute Beugung und Rückreflexion in Richtung der Abtasteinheit (**510**) erfahren,
- in der Abtasteinheit (**510**) mindestens ein Paar rückreflektierter Teilstrahlenbündel unter symmetrischen Winkeln zur optischen Achse (OA) am gleichen Ort auf das Vereinigungsgitter (**514.5**) auftrifft.

Es folgen 24 Blatt Zeichnungen

FIG. 1b

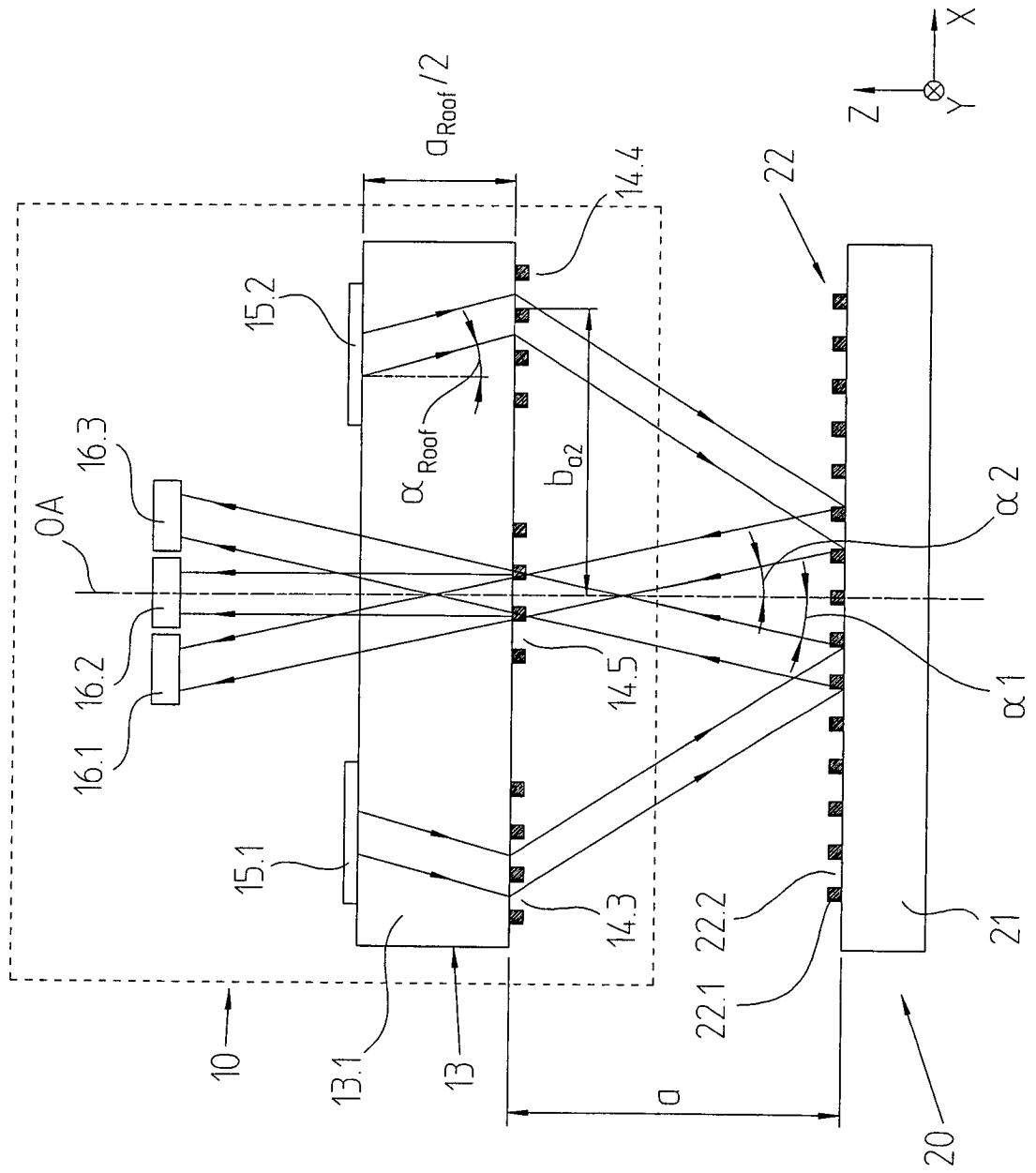


FIG. 1c

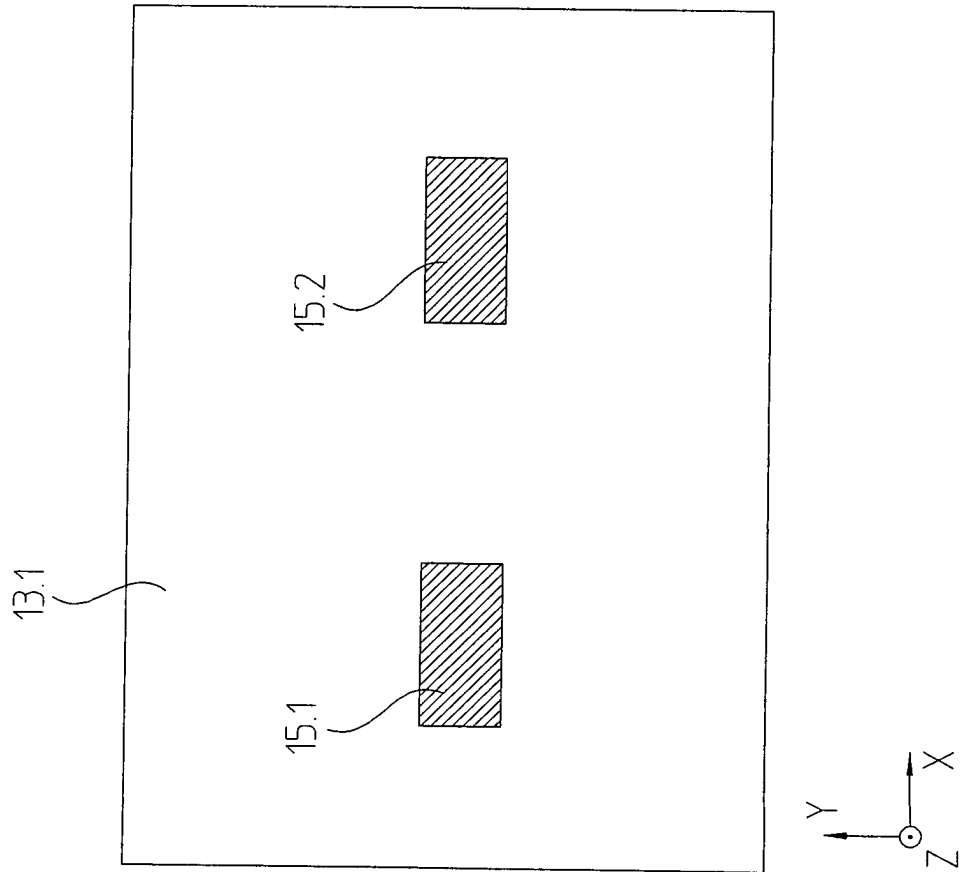


FIG. 1d

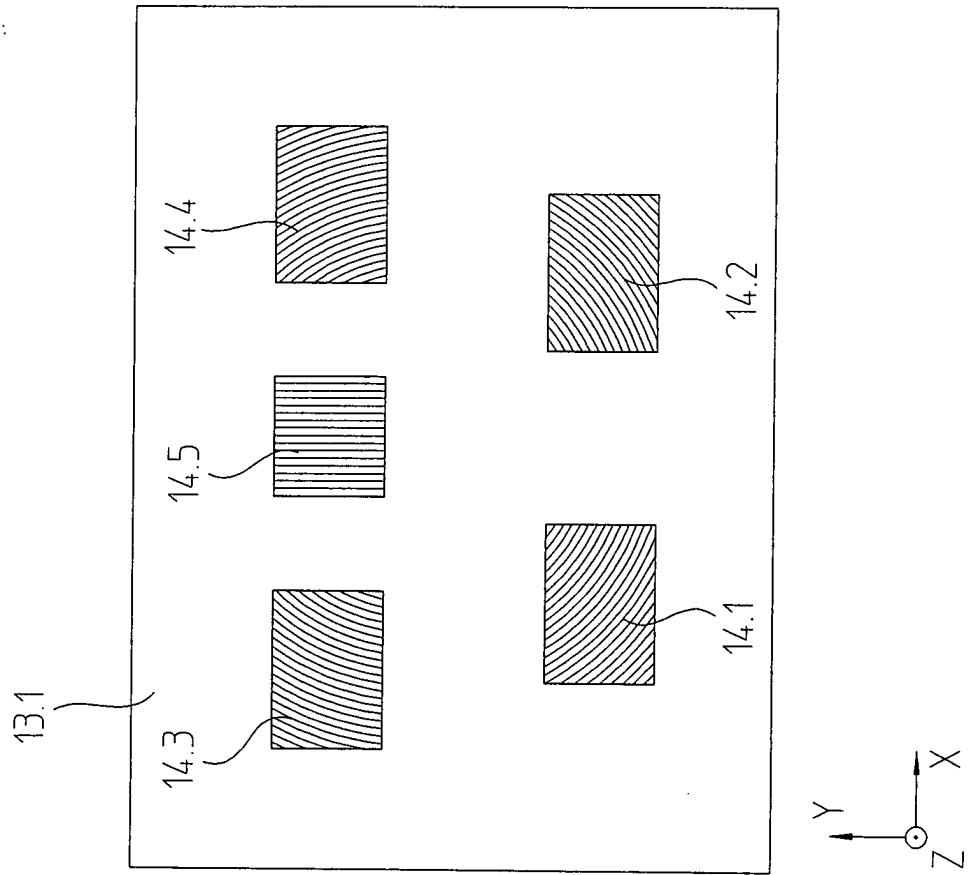


FIG. 2a

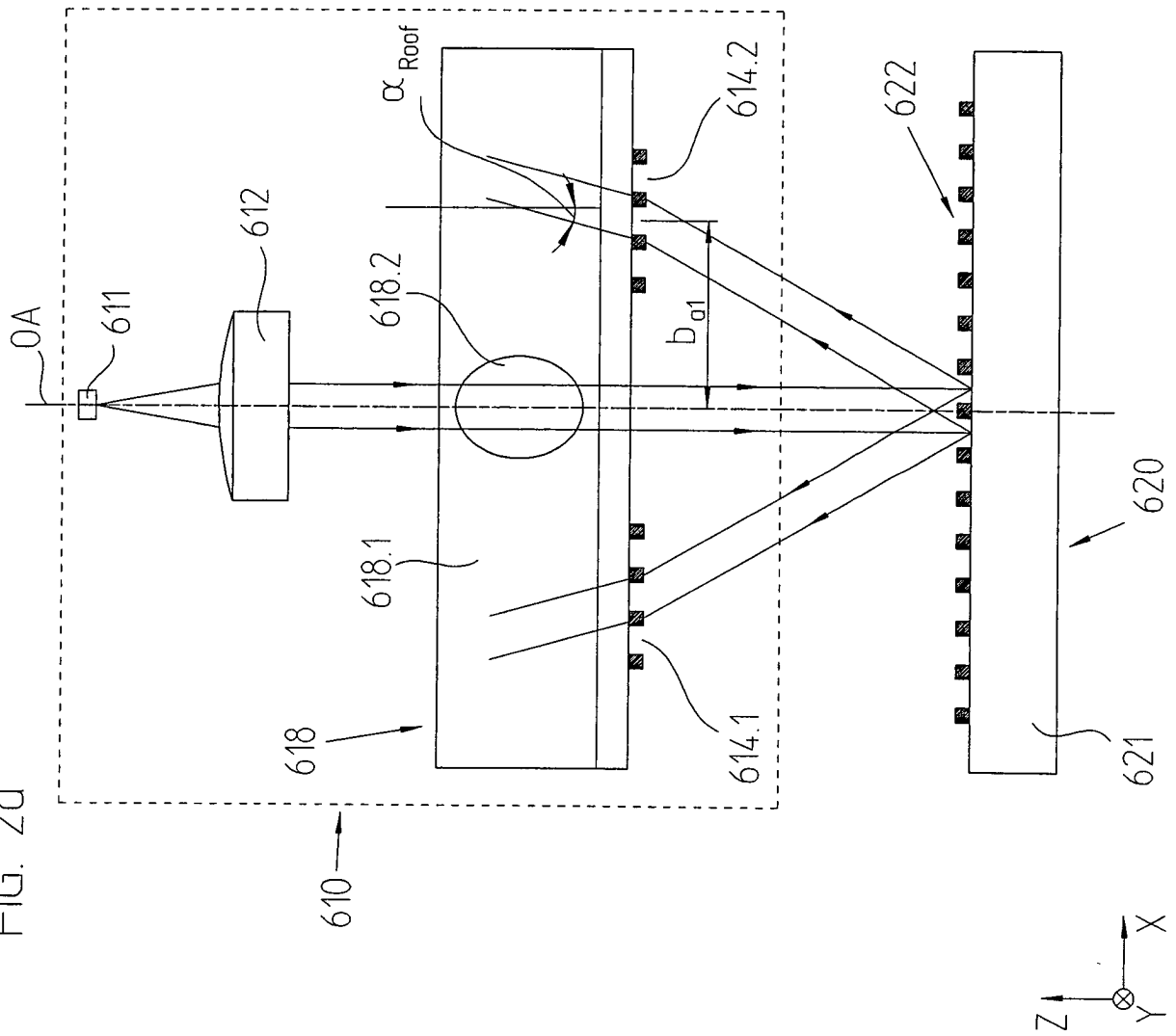


FIG. 2b

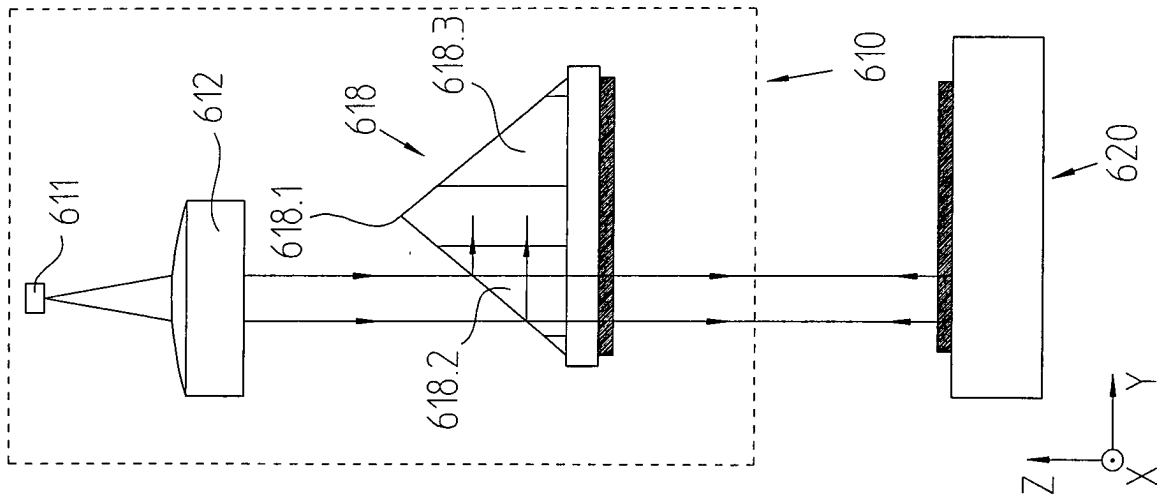


FIG. 2d

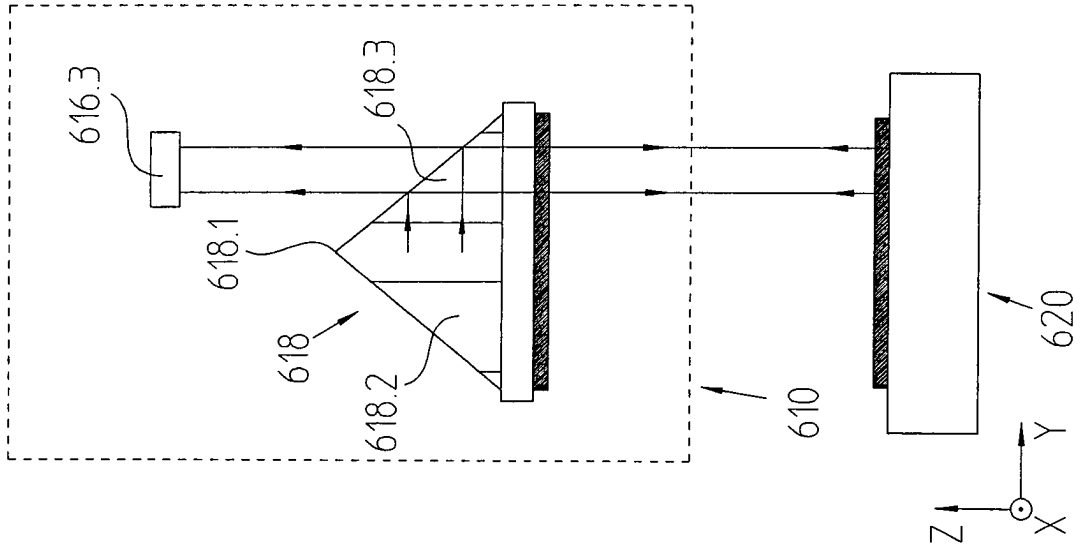


FIG. 2c

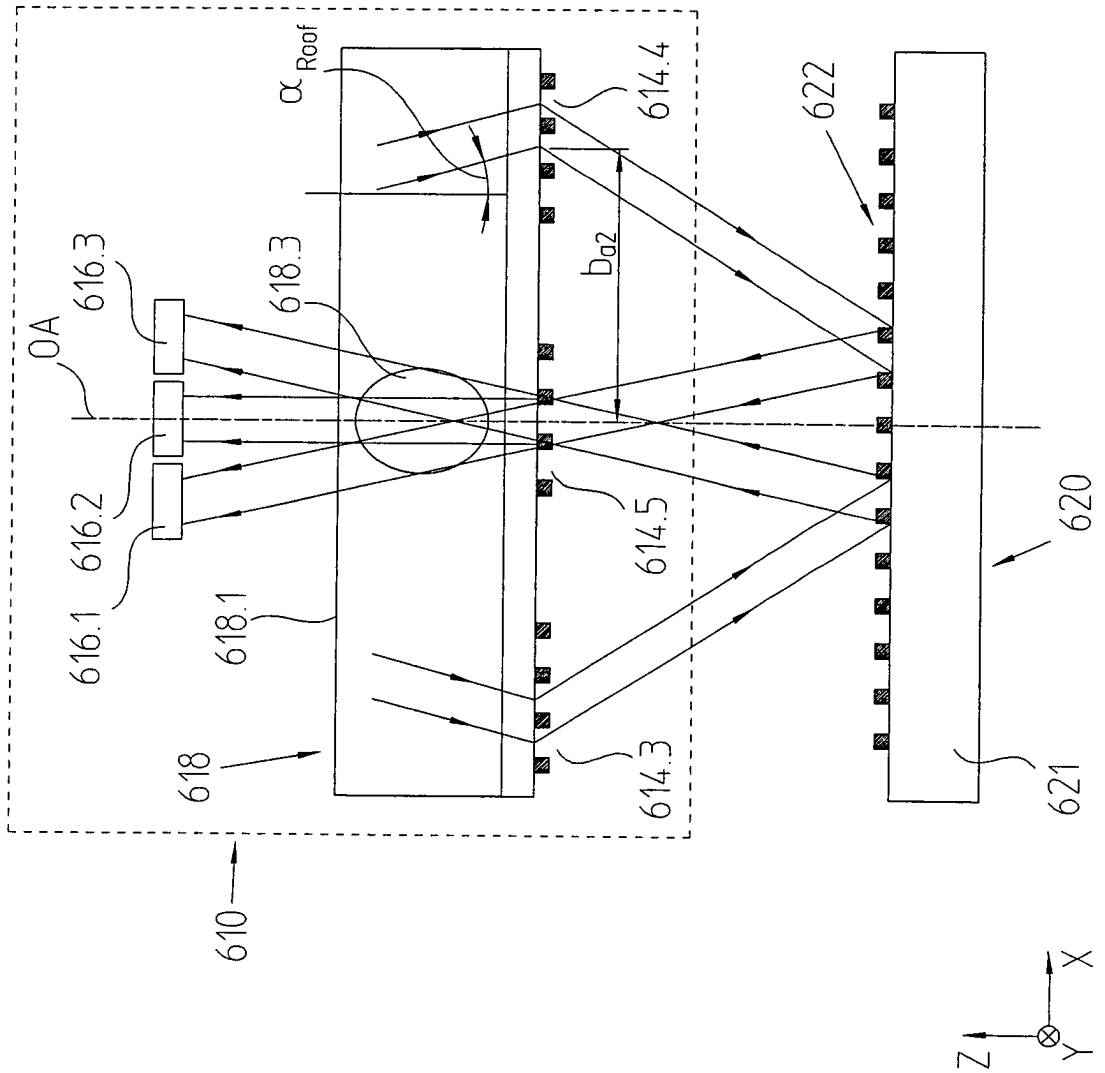


FIG. 2e

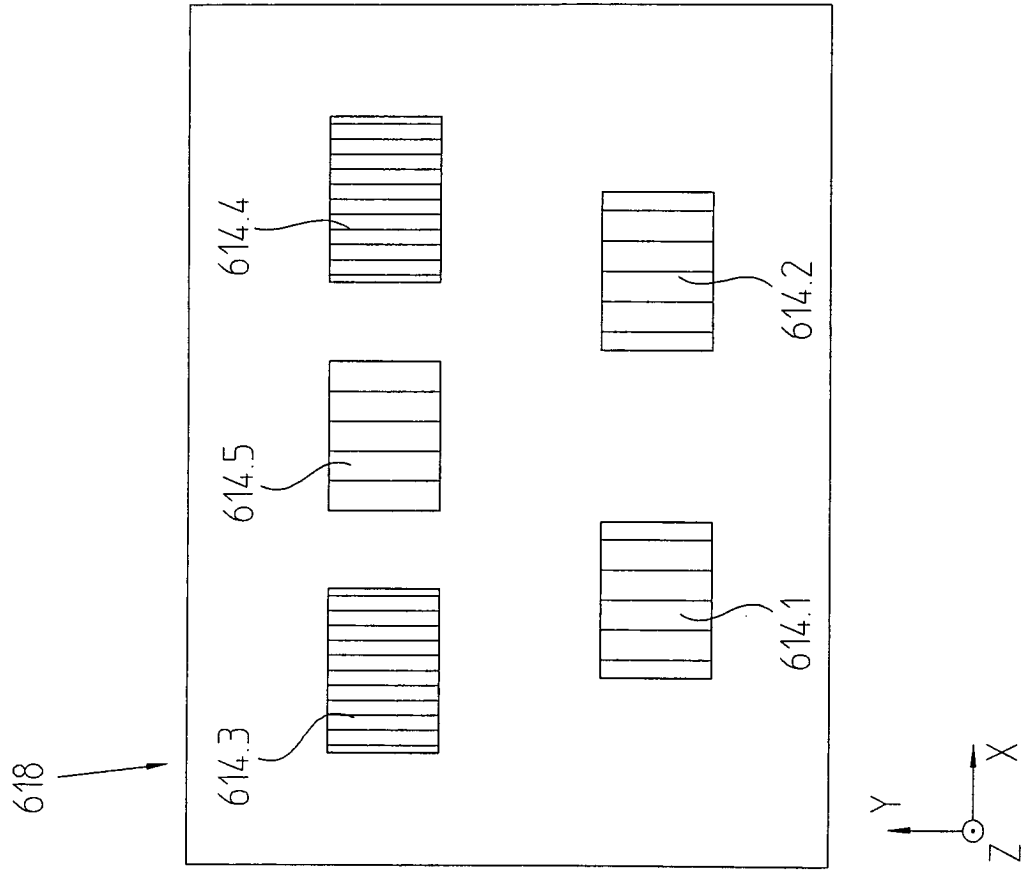


FIG. 3a

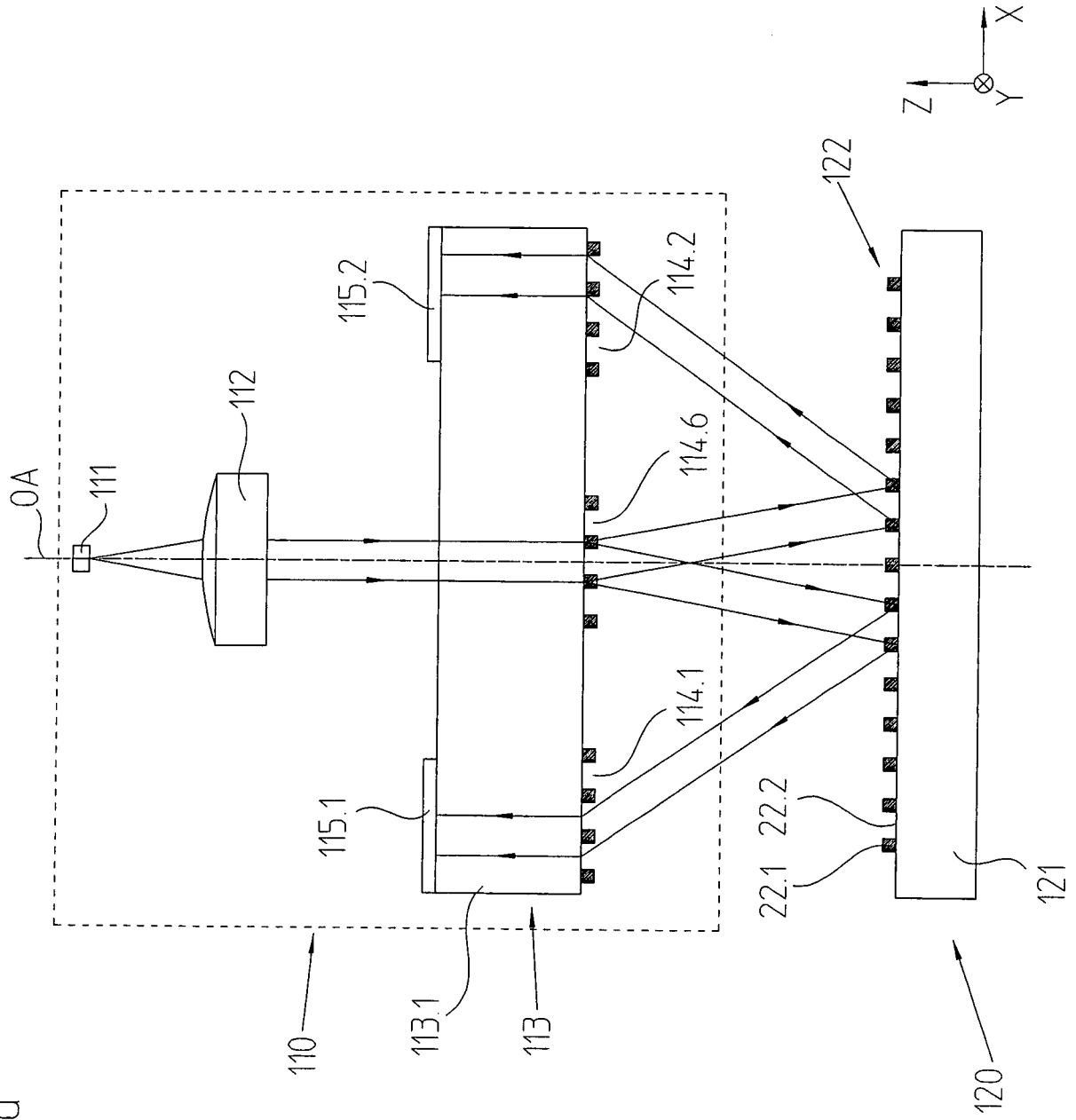


FIG. 3b

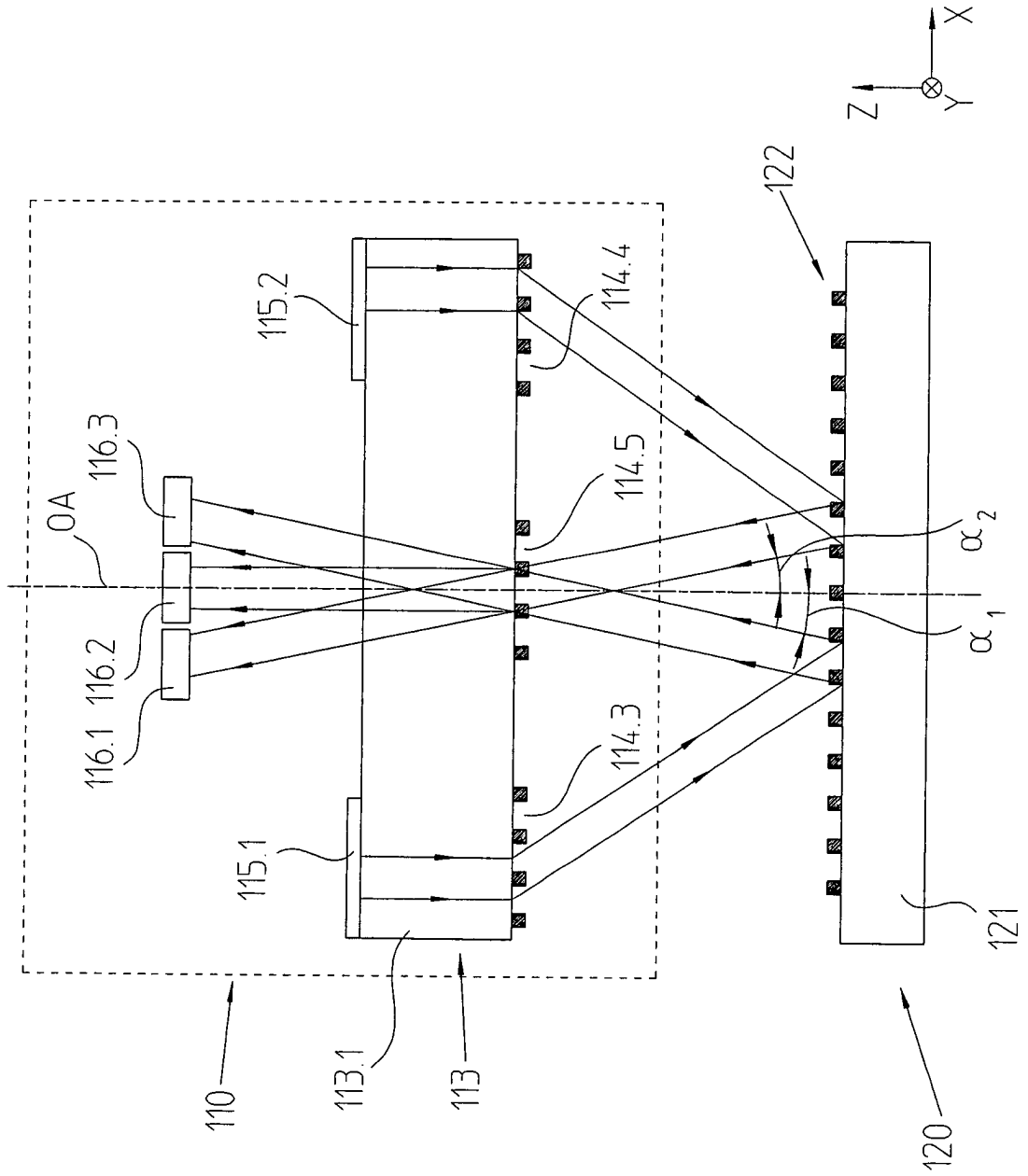


FIG. 3d

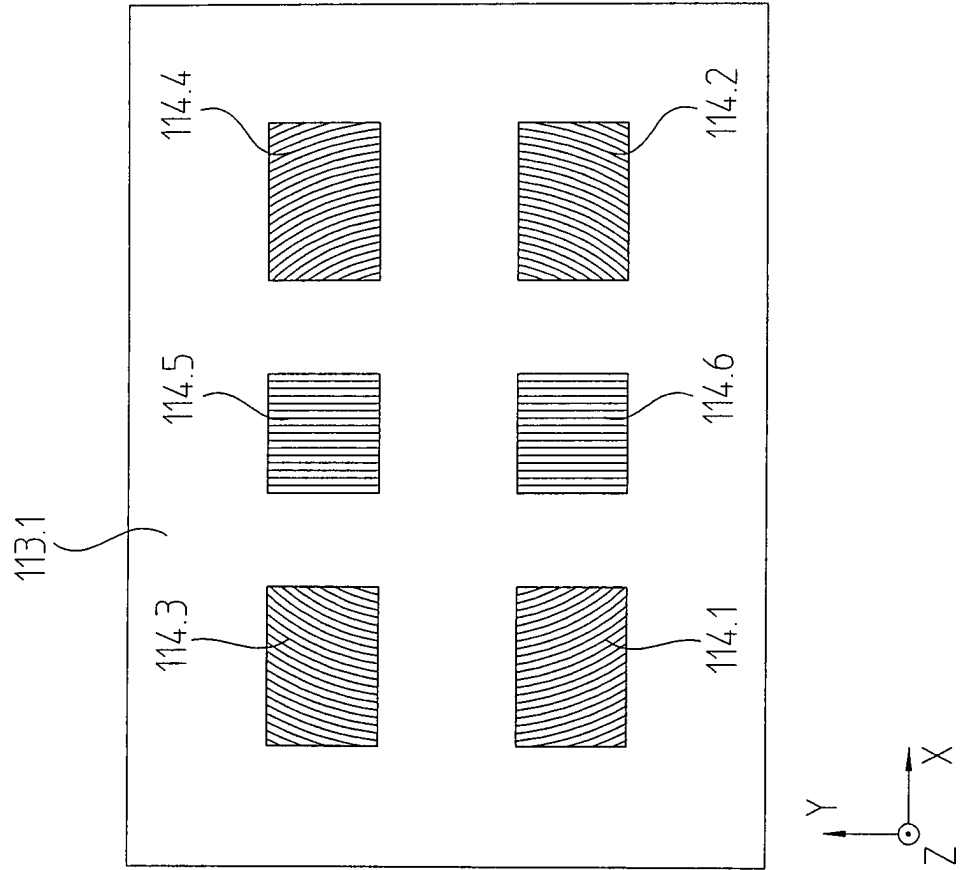


FIG. 3c

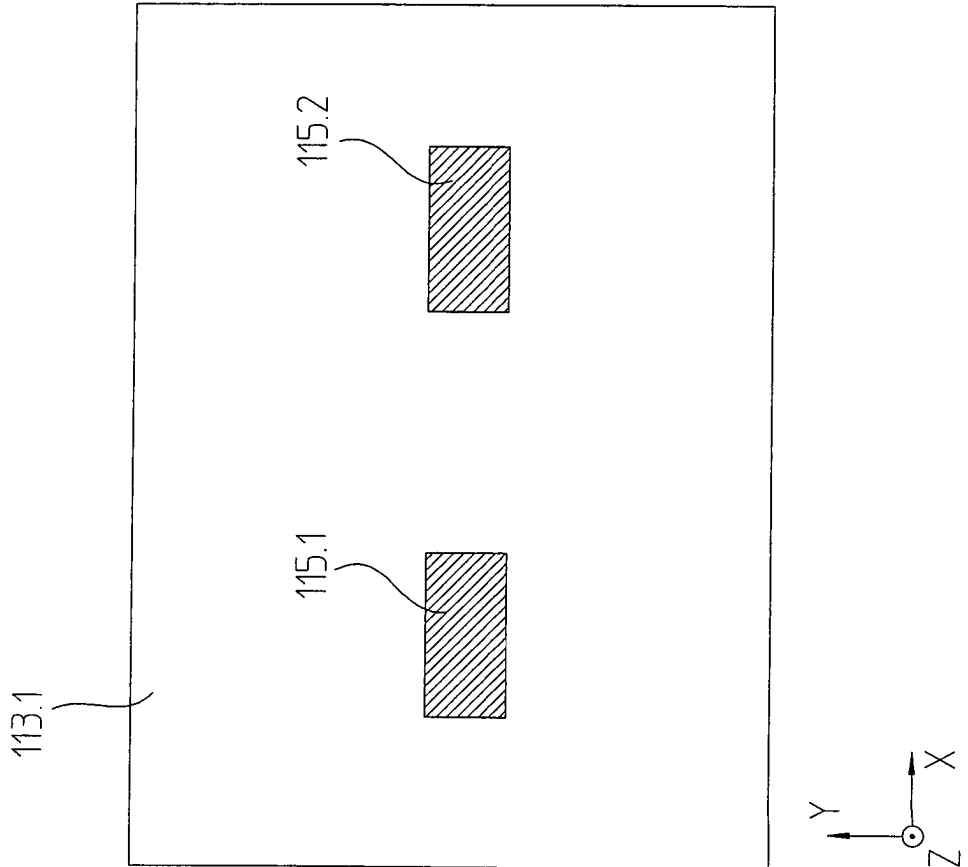


FIG. 4a

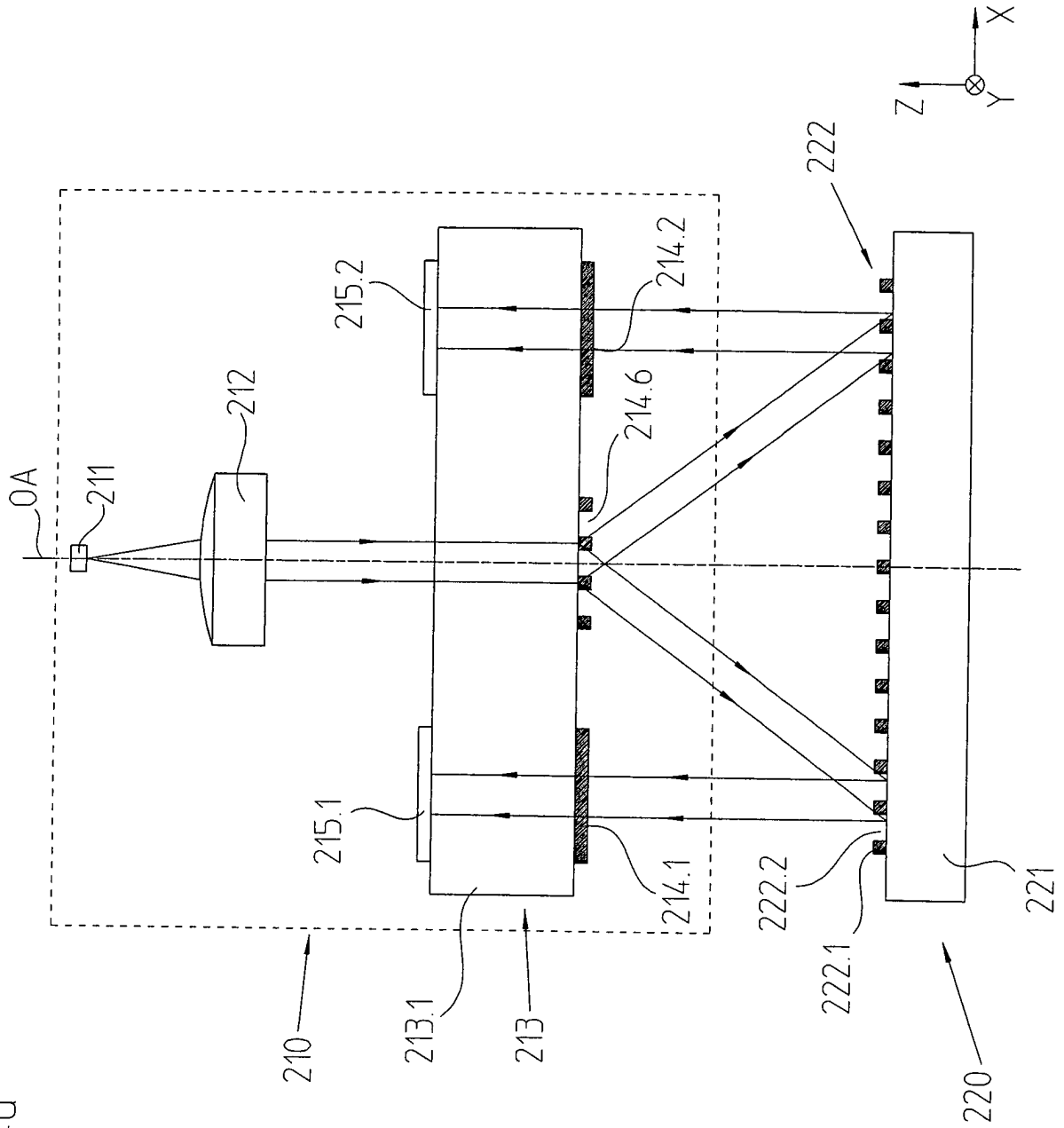


FIG. 4b

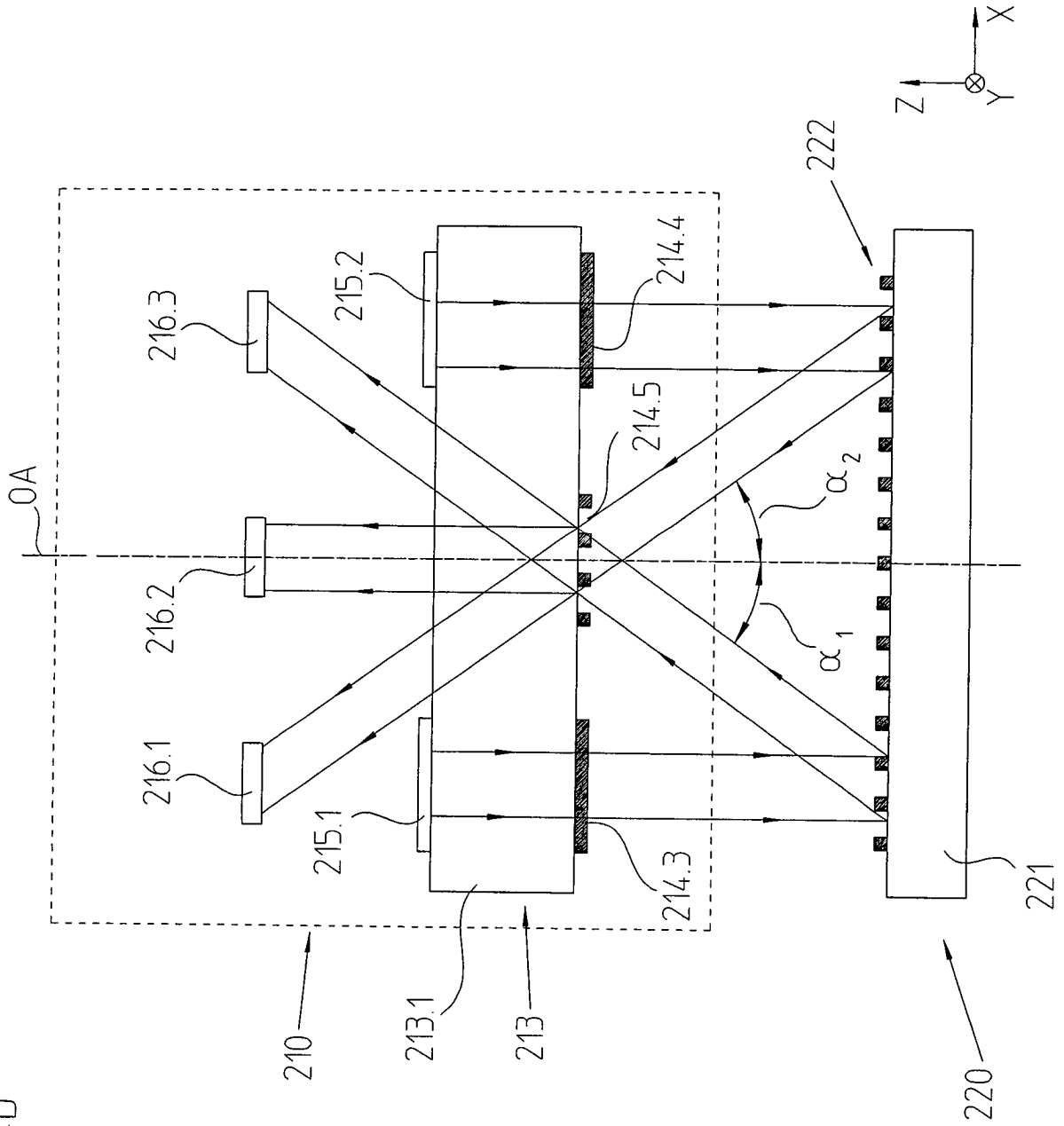


FIG. 4c

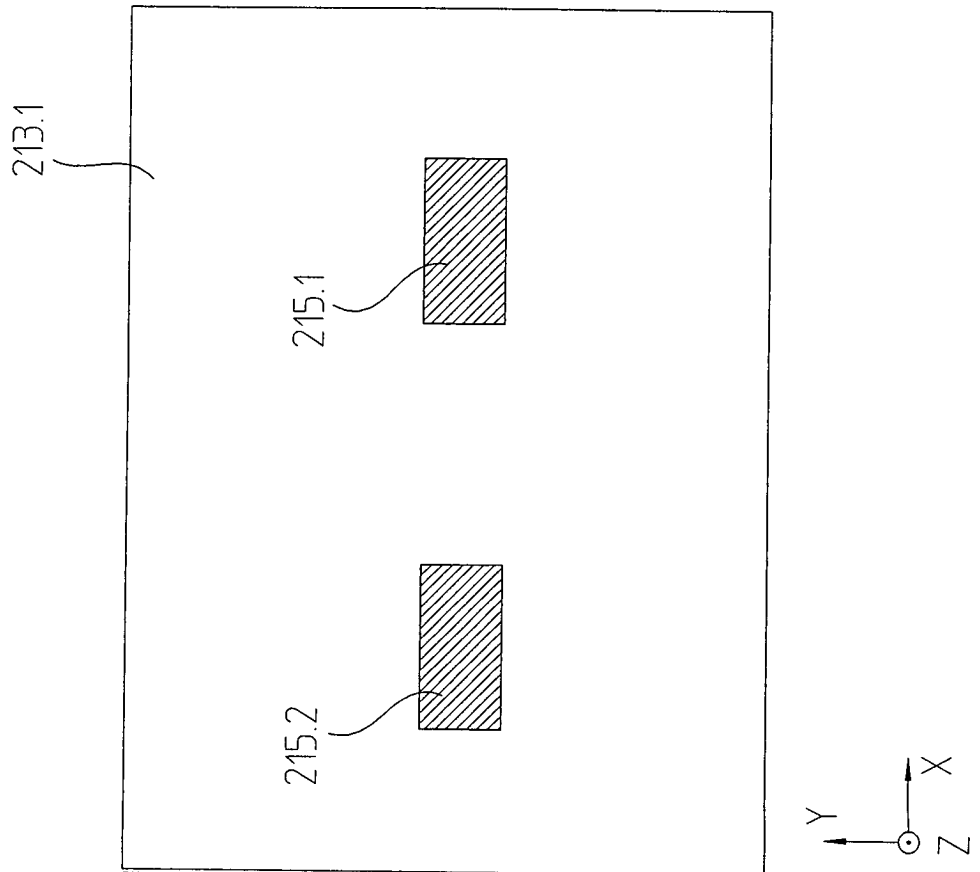


FIG. 4d

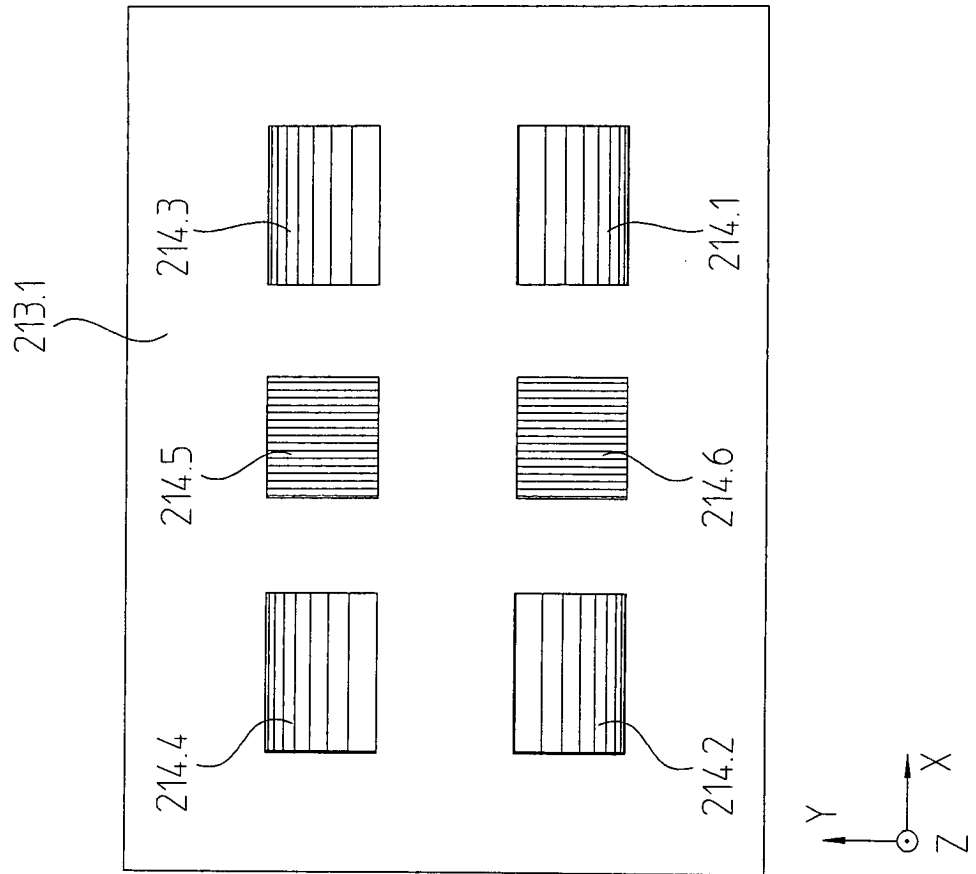


FIG. 5a

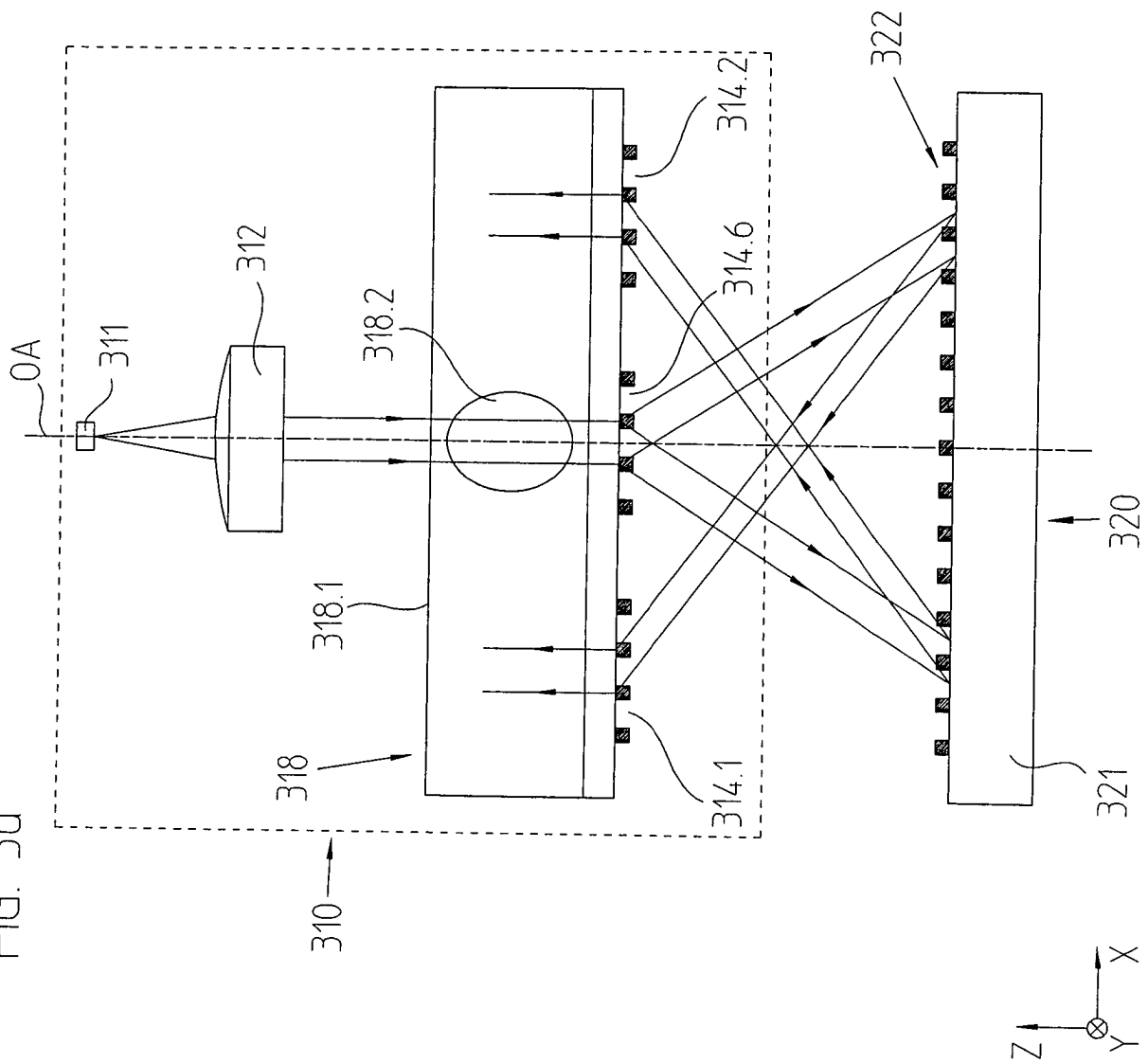


FIG. 5b

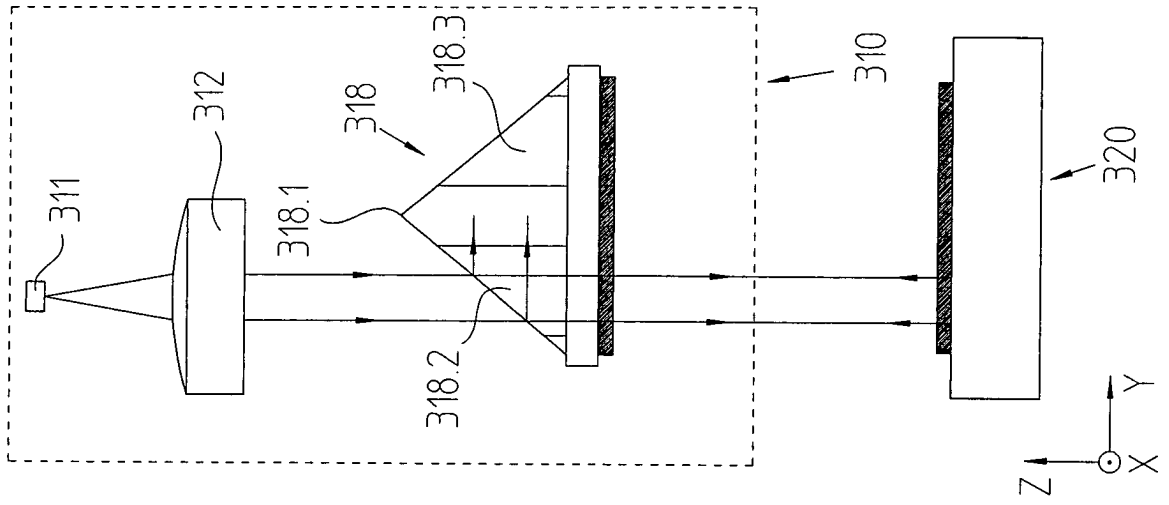


FIG. 5c

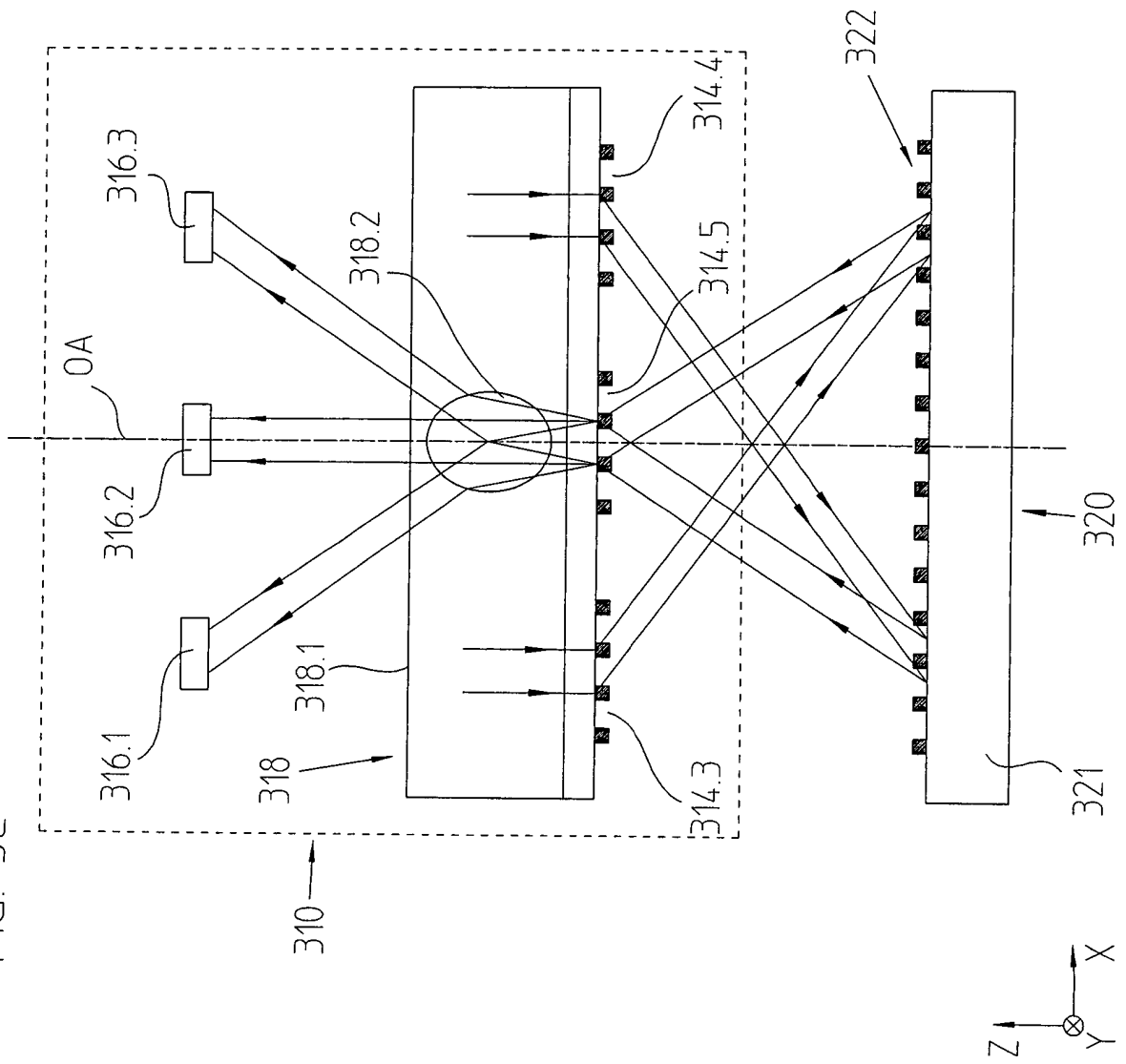


FIG. 5d

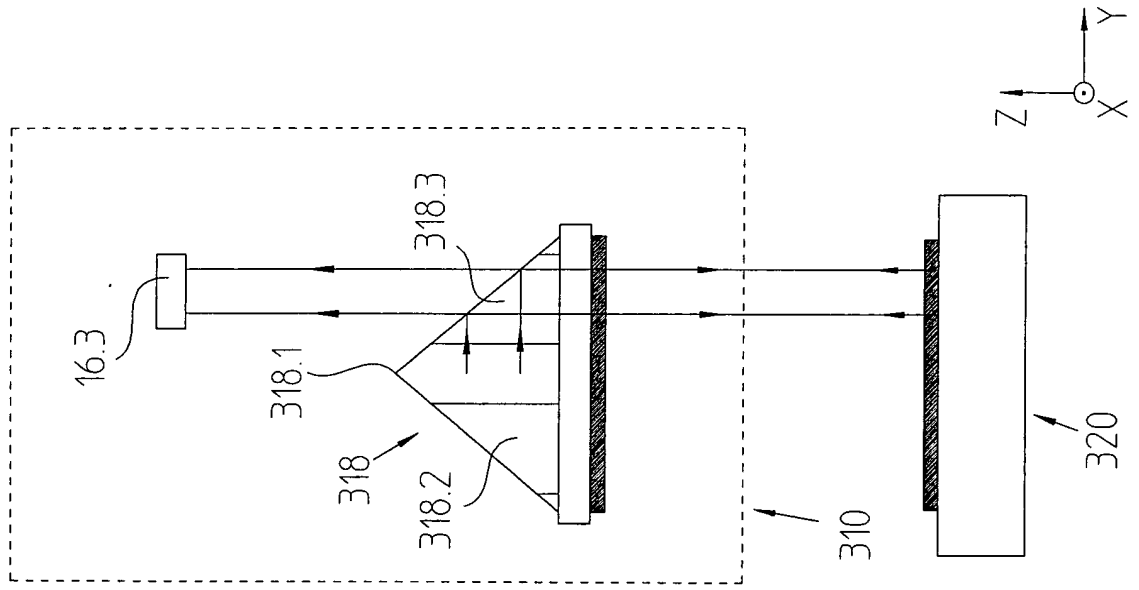


FIG. 5e

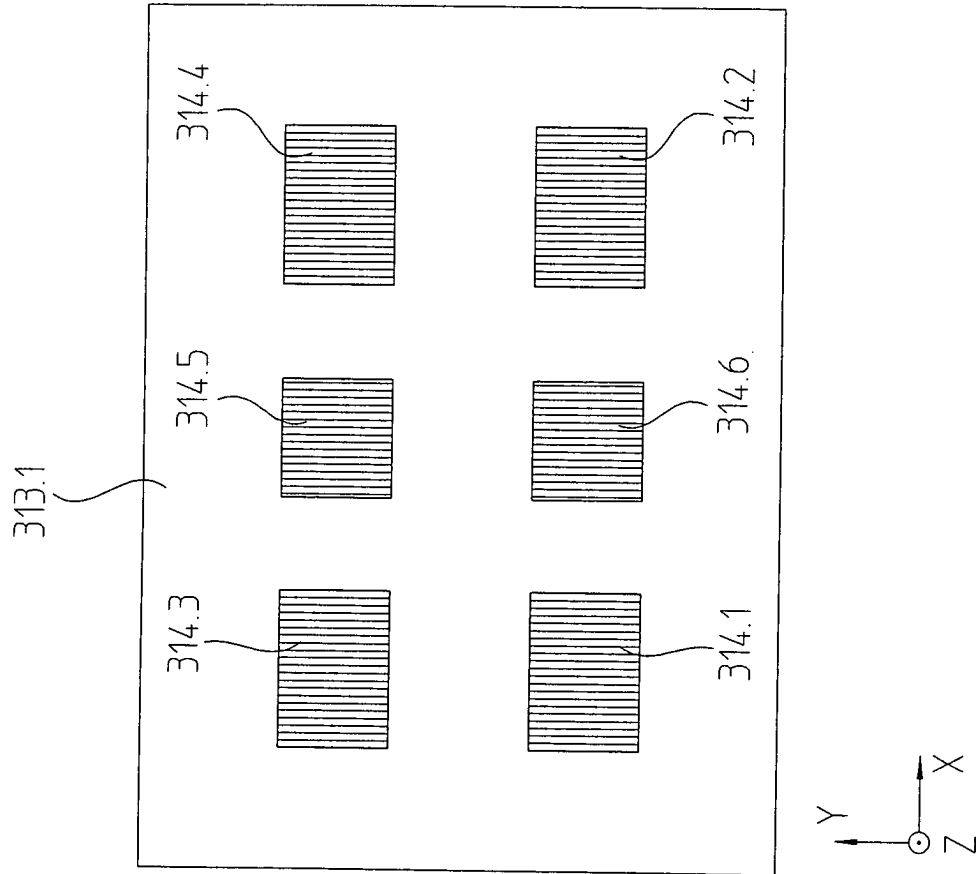


FIG. 6a

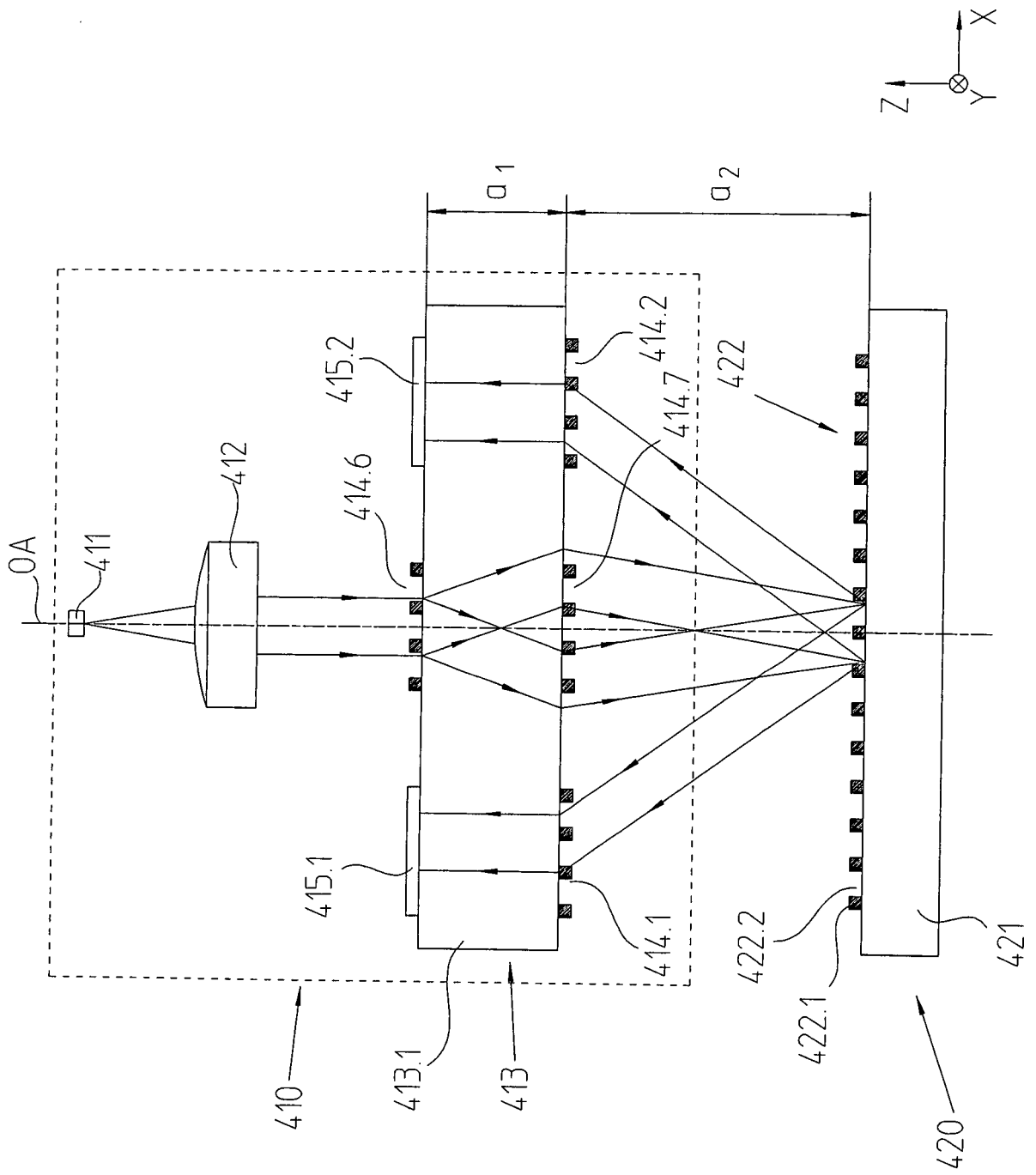


FIG. 6b

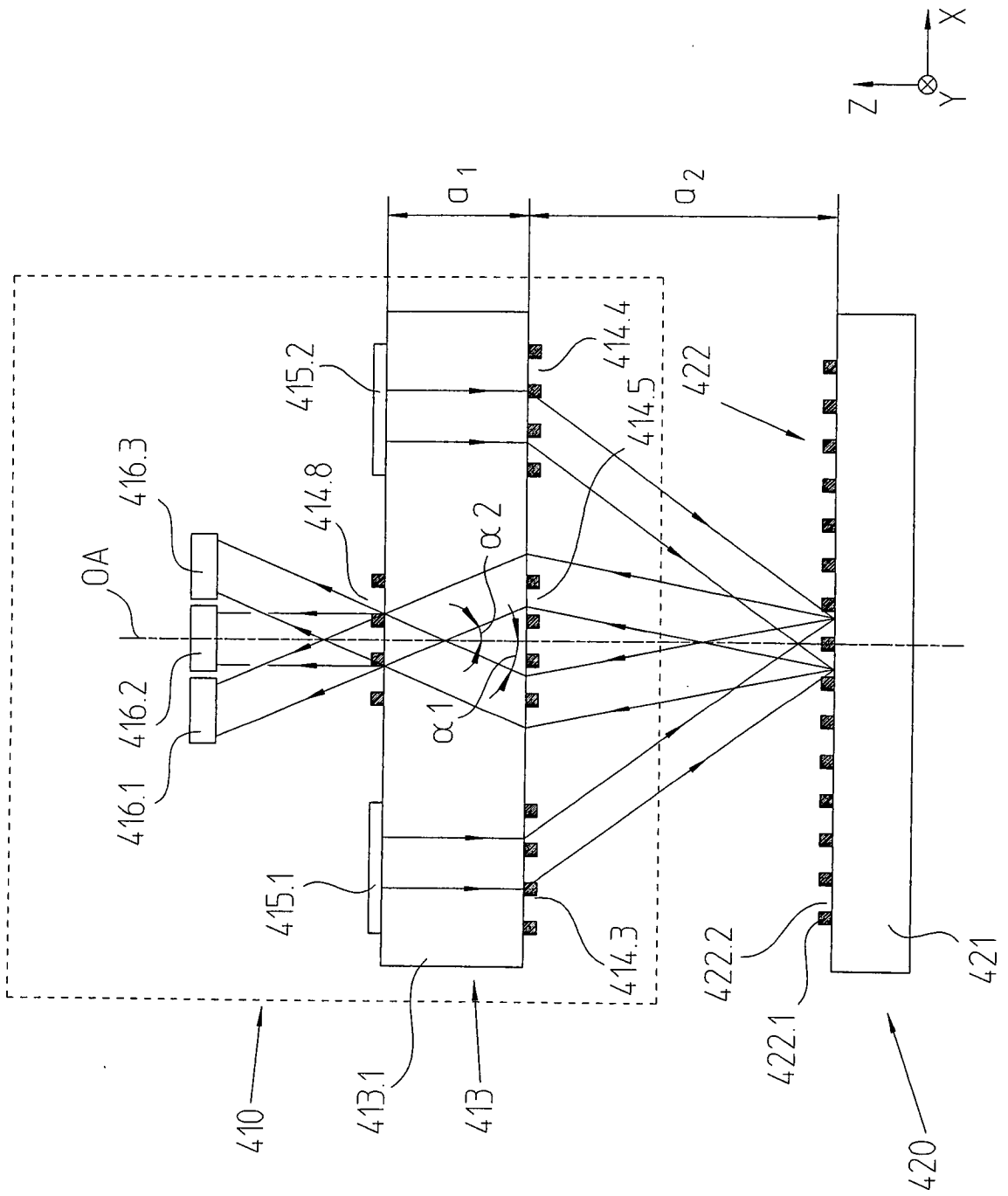


FIG. 6c

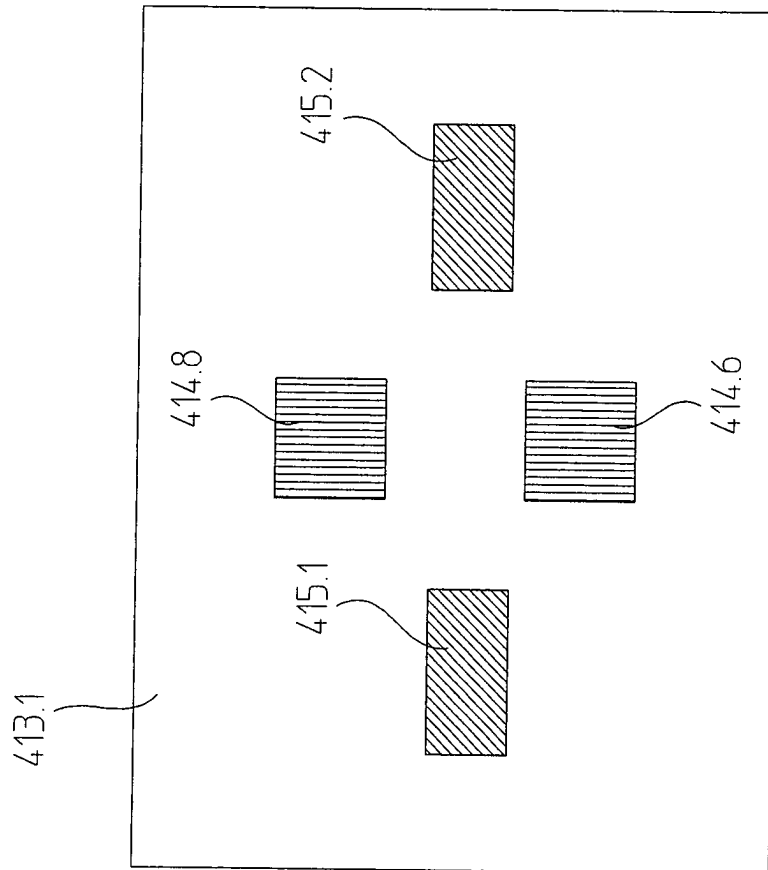


FIG. 6d

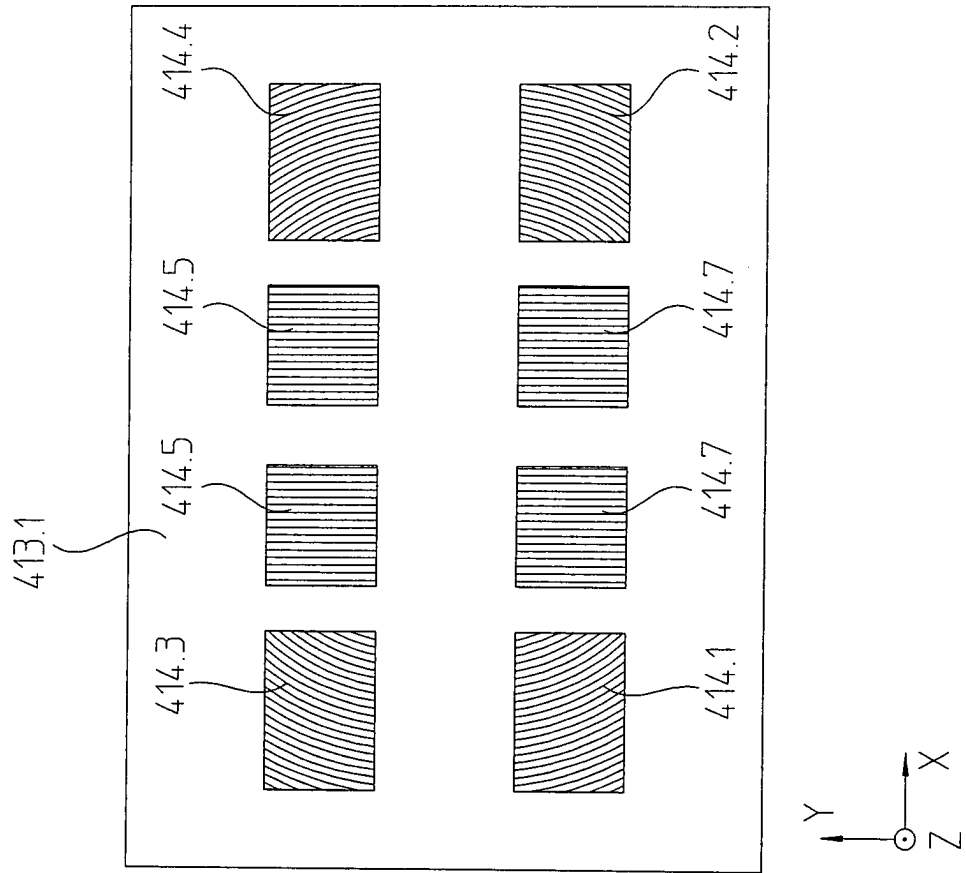


FIG. 7a

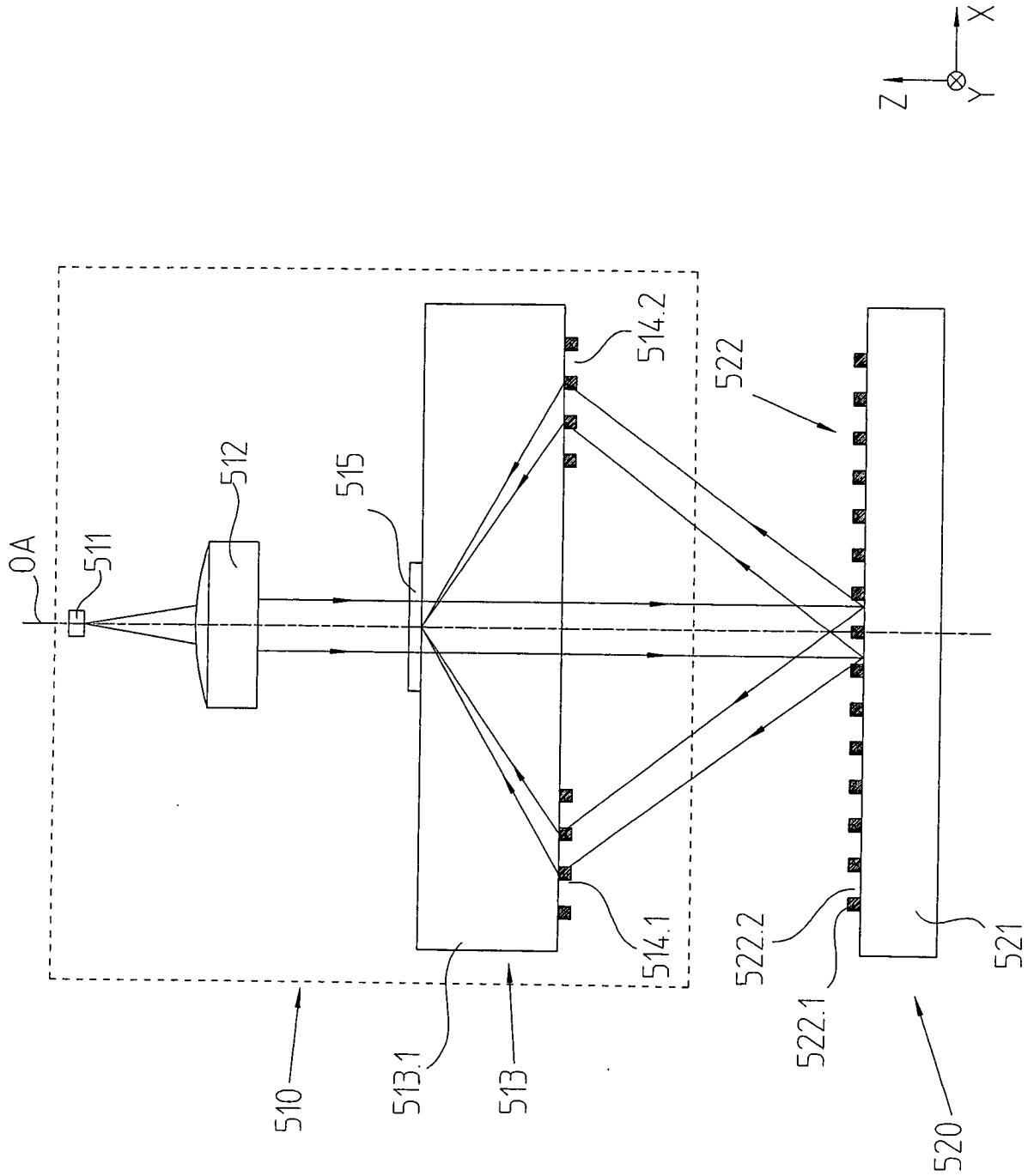


FIG. 7b

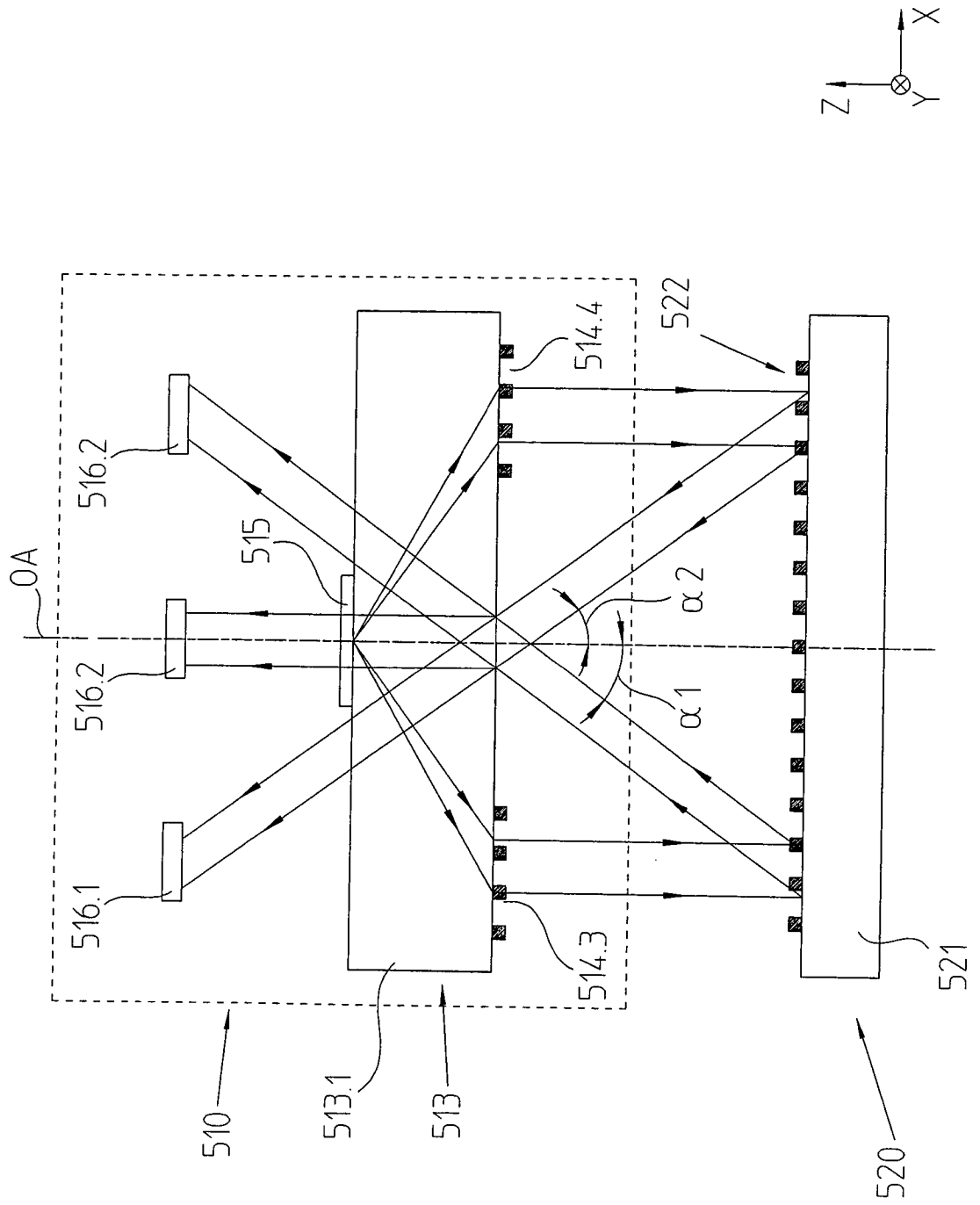


FIG. 7c

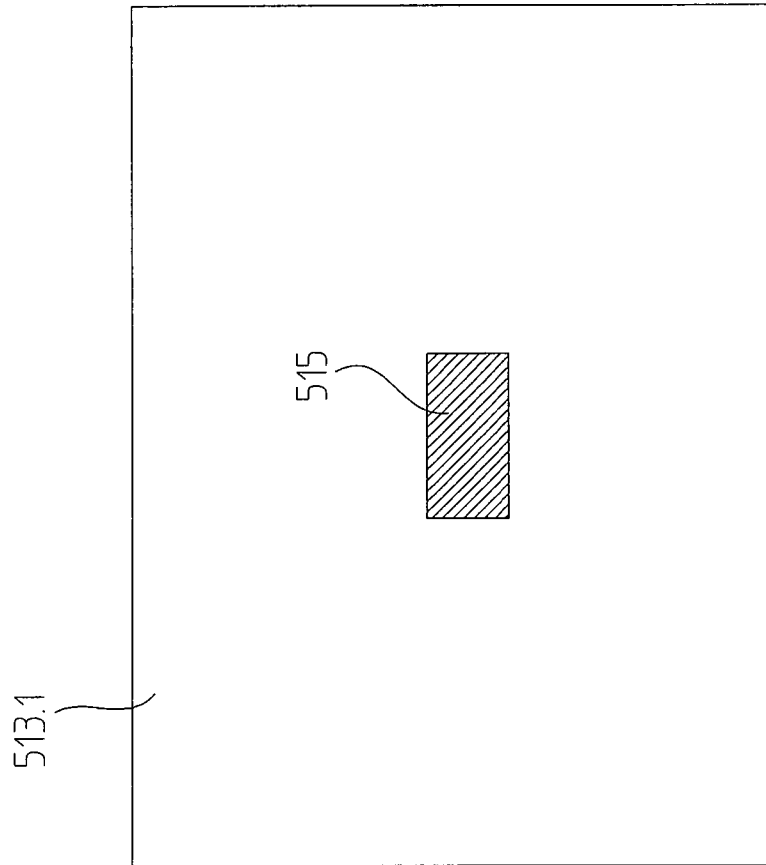


FIG. 7d

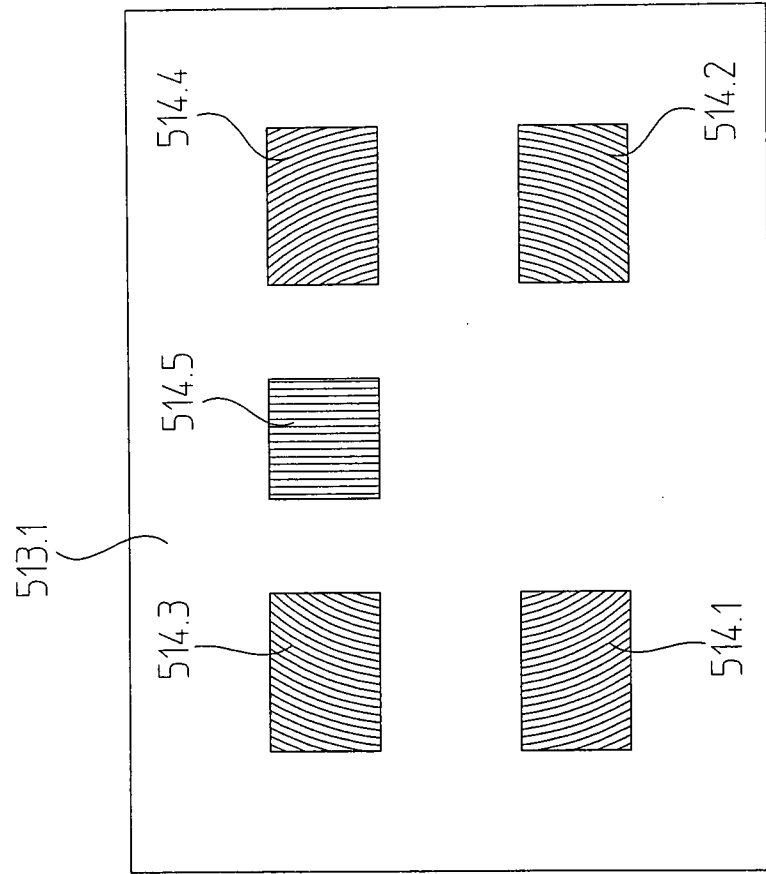


FIG. 8a

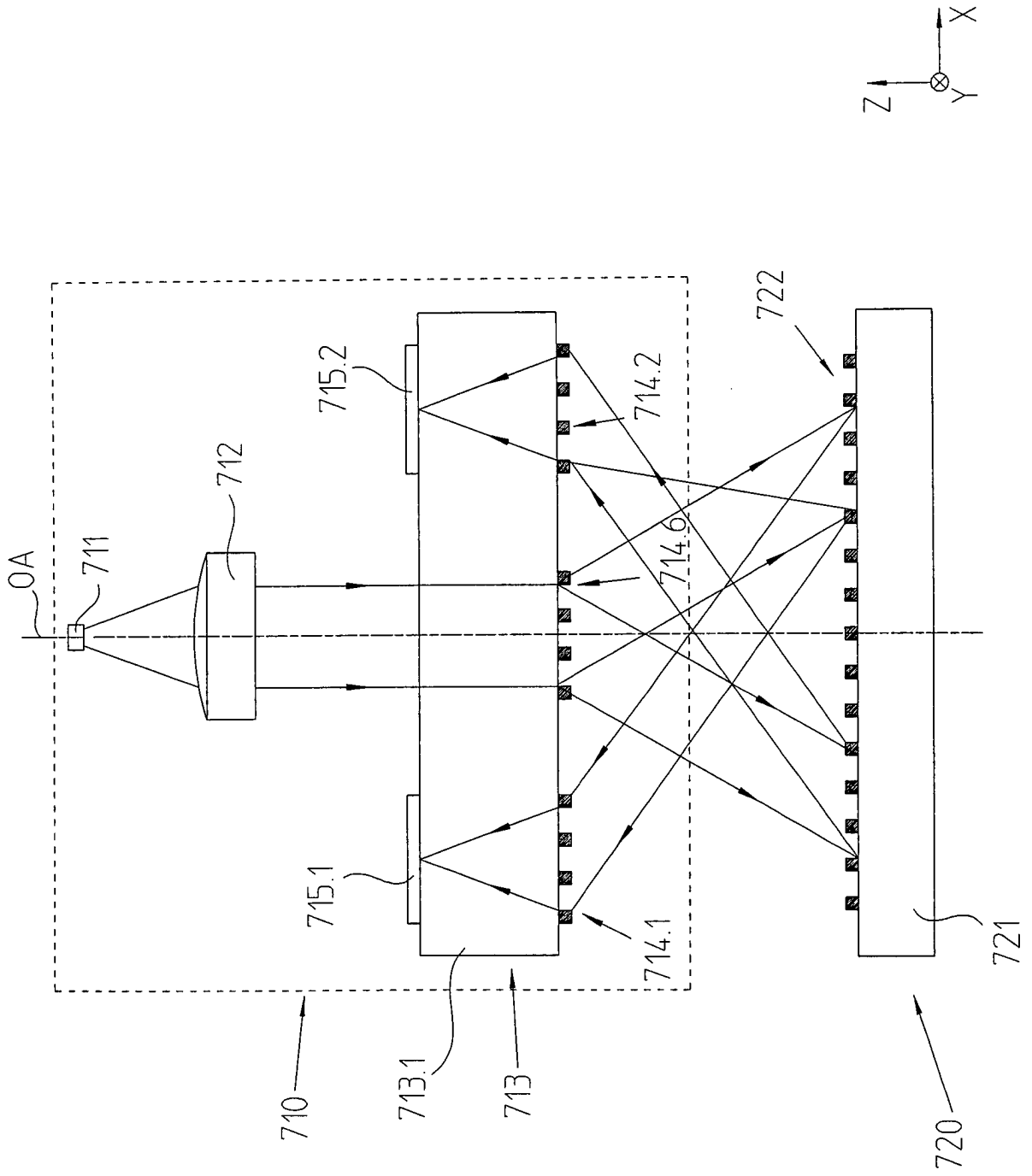


FIG. 8b

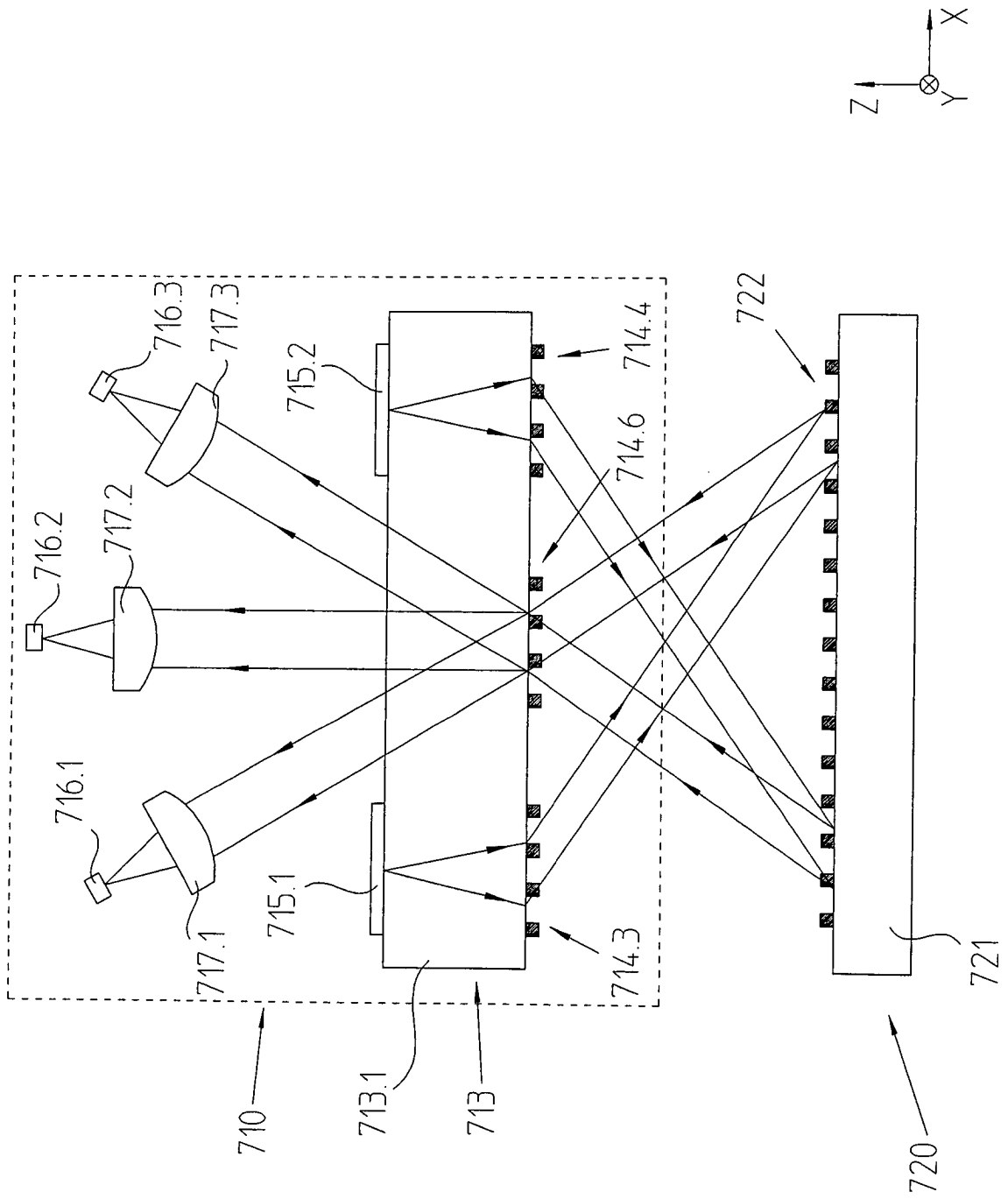


FIG. 8d

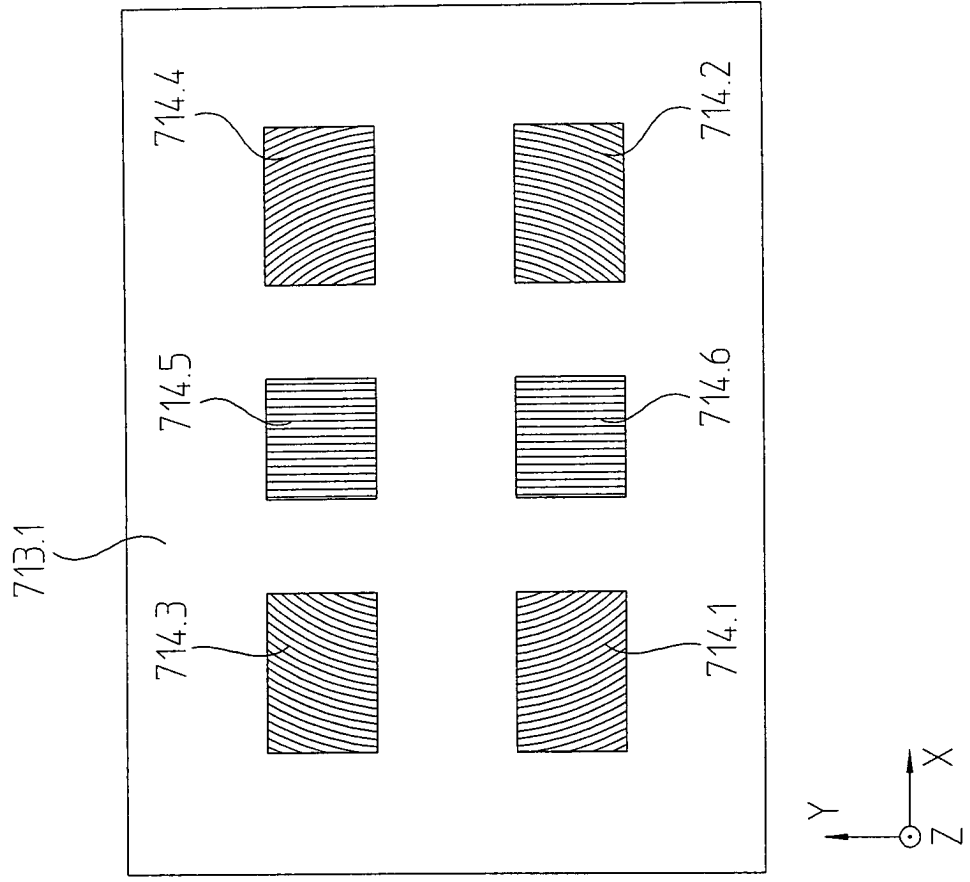


FIG. 8c

