



(12) **Patentschrift**

(21) Aktenzeichen: **197 48 802.1**  
 (22) Anmeldetag: **05.11.1997**  
 (43) Offenlegungstag: **28.05.1998**  
 (45) Veröffentlichungstag  
 der Patenterteilung: **09.09.2010**

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

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

(66) Innere Priorität:  
**196 48 018.3**      **20.11.1996**

(73) Patentinhaber:  
**Dr. Johannes Heidenhain GmbH, 83301 Traunreut, DE**

(72) Erfinder:  
**Holzapfel, Wolfgang, Dr., 83119 Obing, DE;**  
**Spanner, Erwin, Dipl.-Phys., 83278 Traunstein, DE**

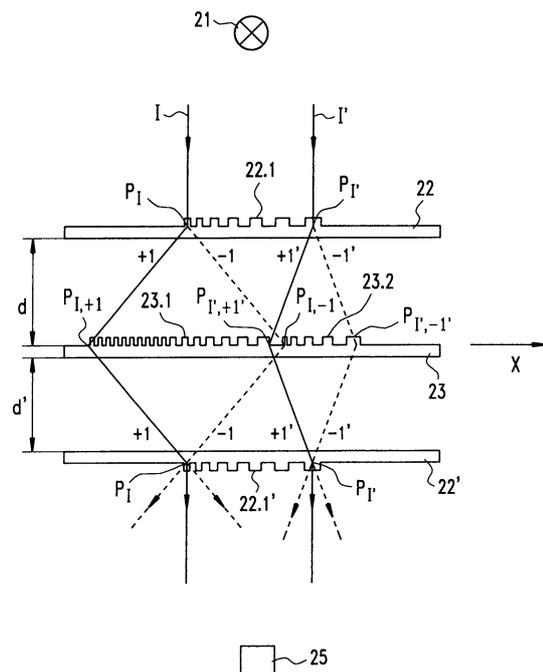
(56) Für die Beurteilung der Patentfähigkeit in Betracht  
 gezogene Druckschriften:

<b>DE</b>	<b>44 31 899</b>	<b>A1</b>
<b>DE</b>	<b>39 05 730</b>	<b>A1</b>
<b>DE</b>	<b>92 09 777</b>	<b>U1</b>
<b>EP</b>	<b>01 63 362</b>	<b>B1</b>

(54) Bezeichnung: **Optische Positionsmeßeinrichtung**

(57) Hauptanspruch: Optische Positionsmeßeinrichtung zur Bestimmung der Relativposition zweier zueinander beweglicher Objekte mit

- zwei Teilungsträgern (2, 3, 2', 3'; 12, 13; 22, 23; 52, 53) in definiertem Abtastabstand ( $d$ ), welche als Abtast- und Maßstab-Teilungsträger dienen und jeweils mit einem der beiden Objekte verbunden sind,
- mindestens einer dem Abtast-Teilungsträger (2, 2'; 12; 22; 52) und mindestens zwei dem Maßstab-Teilungsträger (3, 3'; 13; 23; 53) zugeordneten Referenzmarken-Teilungsstrukturen, die zur Erzeugung eines definierten Signales an einer bekannten Absolutposition dienen, wobei sowohl die dem Abtast-Teilungsträger (2, 2'; 12; 22; 52) als auch die dem Maßstab-Teilungsträger (3, 3'; 13; 23; 53) zugeordneten Referenzmarken-Teilungsstrukturen als Chirpfelder mit einer Gitterteilung mit stetig variabler Teilungsperiode ausgebildet sind und durch das dem Abtastteilungssträger (2, 2'; 12; 22; 52) zugeordnete Abtast-Chirpfeld (2.1; 12.1; 22.1; 52.1) die auftreffenden Strahlenbündel einer beleuchtungsseitig angeordneten Lichtquelle (1; 21; 51) mindestens in zwei Teilstrahlenbündel unterschiedlicher Beugungsordnung aufspaltbar sind und
- die auf...



**Beschreibung**

**[0001]** Die vorliegende Erfindung betrifft eine optische Positionsmeßeinrichtung, die insbesondere die Erzeugung eines hochauflösenden Referenzimpuls-Signales ermöglicht.

**[0002]** In bekannten optischen Positionsmeßeinrichtungen sind neben der inkrementalen Positionsinformation zur Herstellung eines absoluten Positionsbezuges auch sogenannte Referenzmarken in vielfältigen Ausführungen bekannt, über die Referenzimpuls-Signale erzeugbar sind. Hierbei ist erforderlich, daß beim Herstellen des Absolutbezuges über die Referenzmarken eine ähnlich hohe Auflösung hinsichtlich der Positionsbestimmung gewährleistet ist wie bei der inkrementalen Messung der Relativposition der beiden zueinander beweglichen Objekte. Insbesondere bei hochauflösenden, interferentiellen Positionsmeßeinrichtungen ist demzufolge ein möglichst schmaler Referenzimpuls wünschenswert, der mit der gleichen hohen Auflösung wie die Inkrementalspur die Bestimmung der jeweiligen Absolutposition eindeutig ermöglicht. Im Fall der Verwendung herkömmlicher, nicht-interferentieller Methoden zur Erzeugung von Referenzimpuls-Signalen ist diese gewünschte hohe Auflösung jedoch nicht realisierbar.

**[0003]** Zur Erzeugung von hochauflösenden Referenzimpuls-Signalen in interferentiellen Meßsystemen wird in der EP 0 513 427 A1 der Anmelderin deshalb vorgeschlagen, sogenannte gechirpte Gitter- bzw. Teilungsstrukturen einzusetzen. Die hierzu nötigen Teilungsstrukturen auf dem Maßstab-Teilungsträger und dem Abtast-Teilungsträger sind dabei mit ortsabhängiger, stetig ansteigender oder stetig fallender Teilungsperiode ausgebildet, d. h. die zur Referenzimpuls-Erzeugung herangezogenen Abtast- und Maßstabfelder weisen nicht über die gesamte Länge die gleiche Teilungsperiode auf. Die optische Wirkung derart ausgebildeter Abtast- und Maßstab-Teilungsstrukturen kann verständlich gemacht werden, indem näherungsweise von einem Gesamtgitter ausgegangen wird, das wiederum in eine Reihe kleinerer Teilgitter mit konstanter, aber unterschiedlicher Gitterkonstante zerlegt wird. Jedes der einzelnen Teilgitter liefert bei der optischen Abtastung einen definierten Beitrag unterschiedlicher Frequenz zum resultierenden Gesamtsignal. Aufgrund der Überlagerung der frequenzverschiedenen Signal-Beiträge der verschiedenen Teilgitter ergibt sich ein nichtperiodisches Überlagerungssignal mit einem scharfen, örtlich definierten Maximum, wobei an der Signalentstehung verschiedene Signalfrequenzen beteiligt sind. Durch die geeignete Variation der Gitter-Parameter gechirpter Gitterstrukturen läßt sich die Amplitude und die Phase der verschiedenen Signalbeiträge und damit die resultierende Signalform gezielt beeinflussen, insbesondere läßt sich derart die gewünschte hochaufgelöste Signalform für des Referenzimpuls-Signal

einstellen.

**[0004]** Bei einer Vergrößerung des Abtastabstandes in interferentiellen Positionsmeßsystemen, beispielsweise aufgrund von bestimmten Anbau-Gegebenheiten, ergehen sich jedoch Probleme, wenn ein Referenzimpuls-Signal basierend auf gechirpten Teilungsstrukturen erzeugt werden soll. So hat ein vergrößerter Abtastabstand zur Folge, daß die vom Abtastgitter aufgespaltenen Teilstrahlenbündel auf Maßstabbereiche treffen, die weiter voneinander entfernt liegen als dies bei vergleichsweise geringem Abtastabstand der Fall ist. Der gleiche Effekt tritt auf, wenn bei gegebenem Abtastabstand die lokale Teilungsperiode verkleinert wird, wie dies etwa für einen schmälere Referenzimpuls erforderlich ist.

**[0005]** Während beim geringeren Abtastabstand davon ausgegangen werden kann, daß die lokale Gitterkonstante der beaufschlagten, verschiedenen Maßstabbereiche annähernd identisch ist, sofern sich die Teilungsperiode nur langsam ändert, gilt diese Annahme bei einer deutlichen Vergrößerung des Abtastabstandes bzw. einer Verringerung der Breite des Referenzimpulses nicht mehr. An den verschiedenen Auftrefforten der aufgespaltenen Teilstrahlenbündel liegen vielmehr unterschiedliche lokale Gitterkonstanten vor. Um nunmehr ein Interferenzsignal zu erzeugen, müssen die von einem Punkt ausgehenden bzw. aufgespaltenen Teilstrahlenbündel jedoch wieder annähernd in einem gemeinsamen Punkt vereinigt werden. Hierbei sollen die in unterschiedliche Richtungen gebeugten Teilstrahlenbündel vorzugsweise die gleiche optische Weglänge durchlaufen haben. Dies ist aufgrund der unterschiedlichen Ablenkungswirkung der Bereiche unterschiedlicher lokaler Gitterkonstante für die verschiedenen Teilstrahlenbündel im Fall großer Abtastabstände jedoch nicht mehr möglich.

**[0006]** Eine Lösung dieser Problematik könnte darin bestehen, die Maßstab-Chirpfelder mit einer sehr langsam veränderlichen Teilungsperiode zu versehen. Hochauflösende Referenzsignal-Impulse bedingen aber entsprechend kleine lokale Gitterkonstanten mit einer großen Ablenkungswirkung. So ergeben sich großflächige Abtastfelder, was der Forderung nach einem kompakten Aufbau der Abtasteinheit widerspricht.

**[0007]** Neben der Forderung nach größeren möglichen Abtast-Abständen ist in interferentiellen, hochauflösenden Positionsmeßeinrichtungen ferner eine gewisse Unempfindlichkeit der erzeugten Referenzimpuls-Signale gegenüber sogenannten Moiré-Drehungen gewünscht. Hierbei sei unter Moiré-Drehung eine Verdrehung von Maßstabteilung und Abtastteilung um eine Achse senkrecht zur Maßstabteilung verstanden. Auch bei einer derartigen Drehung soll eine gleichbleibende Lage des Referenzimpuls-Sig-

nales relativ zum Inkrementalsignal gewährleistet bleiben.

**[0008]** Eine besonders justierunempfindliche optische Positionsmeßeinrichtung zur Erfassung der Lage zweier relativ zueinander beweglicher Objekte ist aus der DE 39 05 730 A1 der Anmelderin grundsätzlich bekannt. Die dort vorgeschlagene Positionsmeßeinrichtung arbeitet nach dem interferentiellen Prinzip und umfaßt neben den Abtast- und Maßstabteilungen mindestens ein retroreflektierendes Element, das nach dem erstmaligen Durchlaufen der Abtast- und Maßstabteilungen eine Ablenkung der Teilstrahlenbündel zurück in die Einfallsrichtung bewirkt, so daß Abtast- und Maßstabteilung nochmals durchlaufen werden. Insgesamt resultiert aufgrund der vorgesehenen Rückreflexion und dem nochmaligen Durchlaufen der Abtast- und Maßstabteilungen eine besonders justierunempfindliche Meßanordnung mit hoher Auflösung.

**[0009]** Hinsichtlich erforderlicher Maßnahmen zur Erzeugung eines hochauflösenden Referenzimpuls-Signals enthält diese Druckschrift jedoch keine weitergehenden Hinweise.

**[0010]** Aufgabe der vorliegenden Erfindung ist es daher, insbesondere innerhalb einer interferentiellen Positionsmeßeinrichtung möglichst hochaufgelöste Referenzimpuls-Signale zu erzeugen. Hierbei soll auch die Möglichkeit gegeben sein, größere Abtastabstände zwischen der Abtastteilung und der Maßstabteilung vorzusehen, um dadurch eine größere Flexibilität hinsichtlich verschiedener Anbaugegebenheiten zu erreichen.

**[0011]** Diese Aufgabe wird gelöst durch eine optische Positionsmeßeinrichtung mit den Merkmalen des Anspruchs 1.

**[0012]** Vorleilhafte Ausgestaltungen der erfindungsgemäßen optischen Positionsmeßeinrichtung ergeben sich aus den Maßnahmen in den abhängigen Ansprüchen.

**[0013]** Es resultiert aufgrund der erfindungsgemäßen Maßnahmen nunmehr eine optische Positionsmeßeinrichtung, bei der die Herstellung des Absolutbezuges über die Referenzimpuls-Signale mit der gleichen hohen Auflösung möglich ist wie die Bestimmung der Relativposition über die Inkrementalsignale. Insgesamt ergibt sich eine verbesserte Meßgenauigkeit des Gesamt-Systems.

**[0014]** Die erfindungsgemäß vorgesehene Anordnung von mindestens zwei separaten Maßstab-Chirpfeldern mit einer jeweils definierten räumlichen Anordnung der gechirpten Teilungsstrukturen ermöglicht nunmehr auch die Abtastung bei größeren Abtastabständen. Hierzu sind die separaten Maß-

stab-Chirpfelder derart angeordnet bzw. dimensioniert, daß die aufgespaltenen Teilstrahlenbündel, welche letztlich wieder zur Interferenz kommen, Maßstabbereiche bzw. einander zugeordnete Lagen beaufschlagen, in denen zumindest ähnliche lokale Gitterkonstanten vorliegen.

**[0015]** Hinsichtlich der möglichen Verteilung der Gitterstriche der Abtast- und Maßstab-Chirpfelder können eine Reihe von Ausführungsvarianten realisiert werden, d. h. die erfindungsgemäße optische Positionsmeßeinrichtung kann für verschiedenste Meßsystem-Anordnungen ausgelegt werden.

**[0016]** Die erfindungsgemäße optische Positionsmeßeinrichtung kann zudem sowohl als Winkel- wie auch als Längenmeßsystem ausgebildet werden. Ferner lassen sich Durchlicht-Varianten ebenso realisieren wie Auflicht-Varianten.

**[0017]** Als weiterer Vorteil der erfindungsgemäßen optischen Positionsmeßeinrichtung ist aufzuführen, daß nicht unbedingt eine Lichtquelle mit Kollimationsoptik erforderlich ist. Vielmehr ist es auch möglich, eine Lichtquelle einzusetzen, die ein z. B. divergentes Strahlenbündel liefert. Derart entfällt der Aufwand für eine ansonsten erforderliche Kollimationsoptik.

**[0018]** Insbesondere bei einer Ausbildung der erfindungsgemäßen optischen Positionsmeßeinrichtung gemäß Anspruch 9 ist darüberhinaus eine hohe Justier-Unempfindlichkeit des gesamten Meßsystems gewährleistet. Dies gilt nunmehr nicht nur für die Erzeugung der Inkrementalsignale, sondern auch für die erfindungsgemäß erzeugten Referenzimpuls-Signale und den räumlichen Bezug der verschiedenen Signale zueinander. Insbesondere bei einer sog. Moiré-Kippung, worunter eine Drehung oder Kippung der Abtastteilung um eine Achse senkrecht zur Maßstabteilung verstanden sei, ergeben sich bei dieser Ausführungsform Vorteile. So ist das erfindungsgemäß erzeugte Referenzimpuls-Signal dabei nicht nur stabil in der Amplitude sondern behält trotz der Kippung auch seine Lagebeziehung relativ zu den Inkrementalsignalen bei. Der derart erzeugte Referenzimpuls markiert demzufolge innerhalb grober Anbautoleranzen stets die gleiche Signalperiode der Inkrementalsignale. Eine ansonsten erforderliche Feinjustierung der Moiré-Kippung kann damit entfallen, was wiederum insbesondere bei hochauflösenden Positionsmeßeinrichtungen von großem Vorteil ist.

**[0019]** Weitere Vorteile sowie Einzelheiten der erfindungsgemäßen optischen Positionsmeßeinrichtung ergeben sich aus der nachfolgenden Beschreibung von Ausführungsbeispielen anhand der beiliegenden Zeichnungen.

**[0020]** Dabei zeigt

[0021] [Fig. 1](#) die seitliche Ansicht einer ersten Ausführungsform der erfindungsgemäßen optischen Positionsmeßeinrichtung;

[0022] [Fig. 2](#) den entfalteten Strahlengang der Ausführungsform gemäß [Fig. 1](#);

[0023] [Fig. 3](#) eine seitliche Prinzipdarstellung einer zweiten Ausführungsform der erfindungsgemäßen optischen Positionsmeßeinrichtung;

[0024] [Fig. 4](#) den entfalteten Strahlengang des Ausführungsbeispiels gemäß [Fig. 3](#);

[0025] [Fig. 5](#) eine geringfügig abgewandelte Variante der zweiten Ausführungsform der erfindungsgemäßen optischen Positionsmeßeinrichtung in einer anderen Ansicht, die insbesondere die räumliche Anordnung der einzelnen Komponenten veranschaulicht;

[0026] [Fig. 6a](#) und [Fig. 6b](#) die Draufsicht auf die Abtastplatte sowie auf den Maßstab einer dritten Ausführungsform der erfindungsgemäßen optischen Positionsmeßeinrichtung;

[0027] [Fig. 7](#) eine schematisierte seitliche Teilansicht einer vierten Ausführungsform der erfindungsgemäßen optischen Positionsmeßeinrichtung.

[0028] Eine erste Ausführungsform der erfindungsgemäßen Positionsmeßeinrichtung sei nachfolgend anhand der [Fig. 1](#) und [Fig. 2](#) erläutert, wobei [Fig. 2](#) den entfalteten Strahlengang der Positionsmeßeinrichtung aus [Fig. 1](#) zeigt. Der in [Fig. 2](#) dargestellte zweite Abtast-Teilungsträger **22'** ist demzufolge hinsichtlich seiner Funktion identisch mit dem einzigen Abtast-Teilungsträger **22** aus [Fig. 1](#), der dort zweimal von den verschiedenen Strahlenbündeln passiert wird.

[0029] In dieser Ausführungsform, die eine interferentielle Referenzimpuls-Signalerzeugung auf Grundlage bekannter Dreigittergeber vorsieht, ist der gewünschte größere Abtastabstand  $d$  zwischen Abtast- und Maßstabteilung aufgrund der erfindungsgemäßen Maßnahmen realisierbar, wobei im Fall der Aufsicht-Anordnung auch bei [Fig. 2](#)  $d = d'$  gilt. In [Fig. 1](#) und [Fig. 2](#) ist jeweils lediglich derjenige Teil der Positionsmeßeinrichtung dargestellt, der zur Erzeugung der Referenzimpuls-Signale dient. Nicht erkennbar ist hingegen der Teil der Positionsmeßeinrichtung, welcher zur Erzeugung der Inkrementalsignale in bekannter Art und Weise herangezogen wird und hierzu Abtast- und Maßstabteilungen mit jeweils konstanter Teilungsperiode umfaßt. Hierzu sei etwa auf die EP 0163 362 A1 verwiesen.

[0030] Die dargestellte Ausführungsform der erfindungsgemäß ausgebildeten optischen Positions-

meßeinrichtung eignet sich beispielsweise zum Einsatz in Werkzeugmaschinen, um die Relativposition von Werkzeug und Werkstück hochexakt zu bestimmen. Darüber hinaus sind jedoch vielfältige weitere Einsatzmöglichkeiten denkbar, beispielsweise bei der Positionierung verschiedener Elemente in der Halbleiterfertigung u. s. w.. Insbesondere im letztgenannten Einsatzgebiet kann dabei zur bloßen hochgenauen Positionierung auf eine in den folgenden Beispielen enthaltene Inkrementalspur verzichtet werden, d. h. es ist keine kontinuierliche Erfassung der Position über einen größeren Meßbereich nötig. Vielmehr reicht die genaue Kenntnis bestimmter Positionen zur gewünschten präzisen Relativpositionierung aus.

[0031] Die optische Positionsmeßeinrichtung im Ausführungsbeispiel der [Fig. 1](#) umfaßt beleuchtungsseitig eine Lichtquelle **21**, beispielsweise ausgebildet als Laserdiode mit vorgeordneter – nicht dargestellter – Kollimationsoptik. Das von der Lichtquelle **21** emittierte und kollimierte Licht gelangt zunächst auf einen ersten, transmittiven Abtast-Teilungsträger **22** und wird an dessen Abtastteilungen in verschiedene Raumrichtungen gebeugt, wobei im dargestellten Beispiel eine Ablenkung in die +1. und in die -1. Beugungsordnung erfolgt.

[0032] Dies als auch die nachfolgende Kurzbeschreibung des Strahlengangverlaufs gilt im übrigen sowohl für die Strahlenbündel, die zur Erzeugung der Inkrementalsignale herangezogen werden, wie auch für die Strahlenbündel, welche zum noch näher zu erläuternden Erzeugen der Referenzimpuls-Signale verwendet werden. Die vorab erwähnten Abtastteilungen umfassen deshalb in diesem Zusammenhang sowohl das dargestellte Abtast-Chirpfeld **22.1** als auch das nicht dargestellte Abtastfeld zur Erzeugung der Inkrementalsignale. Die an den Abtastteilungen in verschiedene Beugungsordnungen abgelenkten Teilstrahlenbündel gelangen anschließend auf einen reflektierend ausgebildeten Maßstab-Teilungsträger **23**, der in x-Richtung verschiebbar zum Abtast-Teilungsträger **22** angeordnet ist. Selbstverständlich kann sowohl in dieser wie auch in den weiteren beschriebenen Ausführungsformen auch der Abtast-Teilungsträger verschiebbar angeordnet sein, d. h. entscheidend ist lediglich die mögliche Relativverschiebung von Maßstab- und Abtast-Teilungsträger. Wie aus der Darstellung in [Fig. 2](#) hervorgeht kann der Maßstab-Teilungsträger prinzipiell auch durchlässig ausgebildet sein. Auch am Maßstab-Teilungsträger **23** bzw. dessen zugeordneten Teilungsstrukturen erfolgt eine Beugung und Ablenkung der auftreffenden Teilstrahlenbündel in Richtung der Abtastteilungen. Die wiederum auf die Abtastteilung gelangenden Teilstrahlenbündel interferieren schließlich nach dem zweiten Passieren der Abtastteilungen; die resultierenden Interferenzsignale werden detektorseitig mit ein oder mehreren optoelektronischen Detektore-

lementen **25** erfaßt und über eine nachgeordnete – nicht dargestellte – Auswerteeinheit in verschiebungsabhängige Signale umgewandelt.

**[0033]** Bei der erfolgenden Relativverschiebung der mit den beiden beweglichen Objekten verbundenen Teilungsträger **22**, **23** in der dargestellten Meßrichtung  $x$  ergibt sich ein definierter Phasenversatz zwischen den jeweils interferierenden Teilstrahlenbündeln, das heißt das mindestens eine Detektorelement **25** erfaßt verschiebungsabhängig modulierte Signale, die nachfolgend in bekannter Art und Weise auswertbar sind. Hierbei wird im Fall des Referenzimpuls-Signales ein Signal detektiert, welches in einer definierten Absolutposition, nachfolgend auch als Nulllage bezeichnet, seine maximale Amplitude aufweist.

**[0034]** Wie bereits oben erwähnt ist in [Fig. 1](#) und [Fig. 2](#) nunmehr lediglich der Bereich bzw. Ausschnitt der optischen Positionsmeßeinrichtung dargestellt, der zur Erzeugung des Referenzimpuls-Signales dient. Erfindungsgemäß sind sowohl die der Abtastplatte als auch die dem Maßstab zugeordneten Referenzmarken-Teilungsstrukturen in Form von sogenannten Chirpfeldern ausgebildet. Hierunter versteht man Teilungsstrukturen, deren Gitterteilung eine stetig, ortsabhängig variable Teilungsperiode aufweist. Hinsichtlich weiterer Details und dem Funktionsprinzip zu derart ausgebildeten Teilungsstrukturen sei an dieser Stelle ergänzend auf die bereits erwähnte EP 0 513 427 A1 der Anmelderin sowie auf die obigen Ausführungen verwiesen.

**[0035]** Dem Abtast-Teilungsträger **22** ist im dargestellten Ausführungsbeispiel ein Abtast-Chirpfeld **22.1** zugeordnet, während dem Maßstab-Teilungsträger **23** erfindungsgemäß zwei, in Meßrichtung  $x$  getrennte Maßstab-Chirpfelder **23.1**, **23.2** zugeordnet sind.

**[0036]** Zur nachfolgenden Erläuterung der erfindungsmäßigen Anordnung der beiden Maßstab-Chirpfelder **23.1**, **23.2** sowie der erforderlichen Dimensionierung der Maßstab-Chirpfelder **23.1**, **23.2** wurden in [Fig. 1](#) und [Fig. 2](#) separate, einfallende Teilstrahlenbündel  $I$ ,  $I'$  eingezeichnet, die das Abtast-Chirpfeld **22.1** an den Orten  $P_i$ ,  $P_i'$  beaufschlagen, an denen deutlich unterschiedliche, lokale Teilungsperioden des Abtast-Chirpfeldes **22.1** vorliegen.

**[0037]** Um sicherzustellen, daß die an einem definierten Ort  $P_i$ ,  $P_i'$  des Abtast-Chirpfeldes **22.1** aufgespaltenen einfallenden Strahlenbündel  $I$ ,  $I'$  nach dem Passieren der Maßstab-Teilung miteinander interferieren können, muß zum einen gewährleistet sein, daß die jeweils von einem gemeinsamen Ort  $P_i$ ,  $P_i'$  ausgehenden Teilstrahlenbündel unterschiedlicher Beugungsordnung am gleichen Ort  $P_i$ ,  $P_i'$  beim zweiten Passieren des Abtast-Chirpfeldes **22.1** wieder-

vereinigt werden. Hierzu müssen die an einem Punkt  $P_i$ ,  $P_i'$  des Abtast-Chirpfeldes **22.1** aufgespaltenen Teilstrahlenbündel unterschiedlicher Beugungsordnung auf Orte  $P_{i,+1}$ ,  $P_{i,-1}$ , bzw.  $P_{i',+1}$ ,  $P_{i',-1}$  der Maßstab-Chirpfelder **23.1**, **23.2** gelangen, in denen jeweils möglichst identische oder zumindest ähnliche lokale Gitterkonstanten vorliegen, um auch zumindest ähnliche Ablenkwirkungen zu erzielen. Im Zusammenhang mit den Orten  $P_{i,+1}$ ,  $P_{i,-1}$  bzw.  $P_{i',+1}$ ,  $P_{i',-1}$  sei nachfolgend von den konjugierten Lagen eines aufgespaltenen Strahlenbündels die Rede. Es muß demzufolge an den erwähnten konjugierten Lagen jeweils die identische Ablenkwirkung für die verschiedenen Teilstrahlenbündel resultieren, die am gleichen Ort  $P_i$ ,  $P_i'$  des Abtast-Chirpfeldes **22.1** aufgespalten wurden.

**[0038]** Während dies wie vorab erläutert bei geringen Abtastabständen mit Hilfe eines einzigen Maßstab-Chirpfeldes sicherzustellen ist, dessen Teilungsperiode sich nur langsam ändert, sind im Fall größerer Abtastabstände  $d$  erfindungsgemäß hierzu mindestens zwei separate Maßstab-Chirpfelder **23.1**, **23.2** vorgesehen. Bei der Bestimmung der erforderlichen Position der zwei Maßstab-Chirpfelder **23.1**, **23.2** auf dem Maßstab-Teilungsträger **23** ist demzufolge der gewünschte Abtastabstand  $d$  zu berücksichtigen.

**[0039]** Vorzugsweise durchlaufen die interferierenden Teilstrahlenbündel zwischen Aufspaltung und Wiedervereinigung gleiche optische Weglängen. Hierdurch ist sichergestellt, daß etwa auch nicht-kohärente Lichtquellen innerhalb einer derartigen Positionsmeßeinrichtung eingesetzt werden könnten und ein Interferenz-Ausgangssignal zur Positionsbestimmung zur Verfügung steht.

**[0040]** Die lokalen Teilungsperioden an den Orten  $P_i$  bzw.  $P_i'$  sind im dargestellten Ausführungsbeispiel jeweils doppelt so groß wie die zugehörigen lokalen Teilungsperioden an den konjugierten Orten  $P_{i,+1}$ ,  $P_{i,-1}$  bzw.  $P_{i',+1}$ ,  $P_{i',-1}$ . Hierdurch ergeben sich symmetrische Ablenkwinkel zur optischen Achse, welche senkrecht zum Abtast- und Maßstab-Teilungsträger orientiert ist. Aufgrund der symmetrischen Ablenkwinkel bleiben die durchlaufenen optischen Weglängen auch dann annähernd gleich, wenn kleine Abstandsänderungen zwischen dem Abtast-Teilungsträger **22**, **22'** und dem Maßstab-Teilungsträger **23** auftreten.

**[0041]** Hinsichtlich der resultierenden Weglängenänderungen in sämtlichen Teilstrahlenbündeln bei einer Abstandsänderung von Maßstab- und Abtast-Teilung muß auch in Verbindung mit den gechirpten Teilungsstrukturen zur Erzeugung der Referenzimpuls-Signale berücksichtigt werden, daß sämtliche interferierenden Teilstrahlenbündel möglichst die gleiche Phasenverschiebung erfahren.

**[0042]** Im Zusammenhang mit der Dimensionierung der verschiedenen Chirpfelder **22.1**, **23.1**, **23.2** auf dem Abtast- und Maßstab-Teilungsträger ist neben den oben erläuterten Rahmenbedingungen zusätzlich zu berücksichtigen, daß im nicht-verschobenen Zustand von Abtast- und Maßstab-Teilungsträger, d. h. in der Nulllage, die zum Gesamtsignal beitragenden Frequenzkomponenten allesamt die gleichen Phasen aufweisen. Die Phasenlage einer Frequenzkomponente läßt sich dabei ändern, indem etwa die Steglagen in ein oder mehreren Chirpfeldern **22.1**, **23.1**, **23.2** an den Stellen jeweils zueinander leicht verschoben werden, die von den zu dieser Frequenzkomponente gehörenden Teilstrahlenbündeln durchlaufen werden. Eine sukzessive Anpassung der Phasen aller Frequenzkomponenten kann beispielsweise numerisch erfolgen.

**[0043]** Soll beispielsweise ein Referenzimpuls-Taktsignal erzeugt werden, so wählt man vorteilhafterweise für alle Frequenzkomponenten die Phase  $0^\circ$ , so daß ein Signalmaximum jeder Frequenzkomponente an der Nulllage auftritt. Für ein ggf. gewünschtes Referenzimpuls-Gegentaktsignal wählt man hingegen die Phasenlage  $180^\circ$  für alle Frequenzkomponenten, so daß sich ein Signalminimum an der Nulllage ergibt.

**[0044]** Im allgemeinen Fall kann ein beliebiges, in der Nähe der gewünschten Nulllage definiertes Referenzimpulssignal erzeugt werden, indem jede Frequenzkomponente des gewünschten -signals durch zugehörige Abschnitte der entsprechenden Chirpfelder mit einer entsprechenden Amplitude und Phasenlage erzeugt wird. Während dabei die Phasenlage, wie oben erläutert, durch Verschieben der Stegpositionen eingestellt werden kann, läßt sich die Amplitude durch die geeignete Variation von Strichlänge, Beugungseffizienz, Transmissions- bzw. Reflexionsgrad wählen. Besonders vorteilhaft ist dabei, die Amplitude durch einen entsprechenden, ortsabhängigen Verlauf der Teilungsperioden von Maßstab- und Abtast-Chirpfeldern einzustellen.

**[0045]** Dieser ortsabhängige Verlauf der Teilungsperioden der Abtast- und Maßstab-Chirpfelder **2.1**, **2.2**, **3.1**, **3.2**, **3.3**, **3.4** läßt sich durch sogenannte Chirpfunktionen beschreiben. Diese geben an, um welchen Betrag etwa die n-te Stegposition von einer Nominallage abweicht, bei der die Stege äquidistant, d. h. mit gleichbleibender Teilungsperiode im Abtastfeld angeordnet wären. Zur konkreten Dimensionierung der erforderlichen Chirp-Funktionen unter den angegebenen Randbedingungen sei auch an dieser Stelle auf die bereits mehrfach erwähnte EP 0 513 427 A1 verwiesen.

**[0046]** Im dargestellten ersten Ausführungsbeispiel der [Fig. 1](#) und [Fig. 2](#) ist detektorseitig lediglich ein einzelnes Detektorelement **25** schematisiert angedeutet. Wie auch beim bekannten Dreigittergeber

aus der EP 0163 362 A1 kann in Verbindung mit der erfindungsgemäßen Erzeugung von Referenzimpuls-Signalen vorgesehen werden, Signale von interferierenden Paaren von Teilstrahlenbündeln in unterschiedlichen Raumrichtungen zu erfassen. Beispielsweise erweist es sich als vorteilhaft, zwei Detektorelemente einzusetzen, die in unterschiedlichen Raumrichtungen relativ zur Abtastplatte definiert-phasenverschobene Interferenzsignale detektieren. Der jeweilige Phasenversatz zwischen den an beiden Detektorelementen anliegenden Signalen läßt sich durch die Dimensionierung des Abtast-Chirpfeldes **22.1** einstellen. So können etwa die Gitterparameter des Abtast-Chirpfeldes **22.1** wie Chirpfunktion, Stegbreite und/oder Steghöhe derart gewählt werden, daß ein Phasenversatz von  $180^\circ$  zwischen den in verschiedenen Raumrichtungen erfaßten Signalen resultiert. Es liegt damit zu jedem Referenzimpuls-Signal ein sogenanntes Gegentaktsignal vor, was auswerleseitig vorteilhaft zu nutzen ist, um etwa durch geeignete Verschallung der beiden Detektorelemente ein offsetfreies Referenzimpuls-Signal zu erzeugen.

**[0047]** Eine weitere Möglichkeit zur Erzeugung von Gegentaktsignalen für das Referenzimpuls-Signal besteht darin, ein zweites Abtast-Chirpfeld sowie zwei Maßstab-Chirpfelder seitlich benachbart zu den erstgenannten Chirpfeldern mit einem bestimmten Versatz anzuordnen und über ein weiteres Detektorelement die entsprechenden Interferenzsignale zu erfassen. Die entsprechenden Chirpfunktionen der verschiedenen Chirpfeld-Anordnungen sind dabei so gewählt, daß einmal ein Referenzimpuls-Taktsignal und einmal ein Referenzimpuls-Gegentaktsignal resultiert, die nachfolgend in bekannter Art und Weise auswertbar sind.

**[0048]** Eine zweite Ausführungsform der erfindungsgemäßen optischen Positionsmeßeinrichtung sei nachfolgend anhand der [Fig. 3–Fig. 5](#) beschrieben, wobei die [Fig. 3](#) und [Fig. 4](#) lediglich zur Prinzip-Erläuterung herangezogen werden. [Fig. 4](#) zeigt analog zur vorhergehenden Beschreibung den entfalteteten Strahlengang ohne das in [Fig. 3](#) dargestellte retroreflektierende Element. Auf die Darstellung der refraktiven Wirkung dieses Elementes wurde in [Fig. 4](#) dabei verzichtet. Eine mögliche räumliche Anordnung der einzelnen Komponenten in einer konkreten Ausführungsform zeigt [Fig. 5](#).

**[0049]** Die dargestellte Anordnung basiert auf dem Prinzip der aus der erwähnten DE 39 05 730 A1 prinzipiell bereits bekannten Positionsmeßeinrichtung, wobei nunmehr jedoch veranschaulicht werden soll, wie auch dort über die erfindungsgemäßen Maßnahmen eine Erzeugung hochauflösender Referenzimpuls-Signale möglich ist. Diese optische Positionsmeßeinrichtung zeichnet sich insbesondere durch eine hohe Justier-Unempfindlichkeit bzw. Moiré-Un-

empfindlichkeit auch hinsichtlich der Referenzsignal-Erzeugung aus. So ergibt sich in dieser Ausführungsform der erfindungsgemäßen optischen Positionsmesseinrichtung im Fall der oben erwähnten Moiré-Kippung ein gleichbleibender Bezug der Referenzimpuls-Signale zu den Inkrementalsignalen. Grundsätzlich entspricht der dargestellte Aufbau der Positionsmesseinrichtung einem sog. Viergitter-Geber, da die Abtast- und Maßstabteilungsträger **2**, **3** bzw. der entsprechenden Teilungsstrukturen nach dem ersten Passieren und der Rückreflexion mittels eines mit dem Abtast-Teilungsträger starr verbundenen, retroreflektierenden Elementes **4** insgesamt viermal passiert werden, bevor die interferierenden Teilstrahlenbündel über ein oder mehrere Detektorelemente **5** erfaßt werden; dargestellt ist dabei wiederum lediglich ein einzelnes Detektorelement **5**. Die an dem oder den Detektorelementen **5** anliegenden, verschiebungsabhängig modulierten Signale werden in bekannter Art und Weise zur Positionsbestimmung weiterverarbeitet Grundsätzlich gelten auch in dieser Ausführungsform die gleichen Überlegungen wie beim vorab erläuterten Beispiel. Dies bedeutet, daß die zur Erzeugung der hochauflösenden Referenzimpuls-Signale verwendeten gechirpten Gitterstrukturen bestimmten Randbedingungen genügen müssen und demzufolge eine bestimmte Anordnung derselben die Folge ist. So muß auch in dieser Ausführungsform sichergestellt sein, daß beim gewünschten größeren Abtastabstand  $d$  die am eintrittsseitigen Abtast-Chirpfeld **2.1** an einem bestimmten Ort mit definierter lokaler Teilungsperiode aufgespaltenen Teilstrahlenbündel an einem Ort des austrittsseitigen Abtast-Chirpfeldes **2.2** wiedervereinigt werden, der möglichst die gleiche lokale Gitterkonstante aufweist wie der Aufspaltort.

**[0050]** Einfallsseitig ergibt sich damit auch in diesem Ausführungsbeispiel eine räumlich getrennte Anordnung zweier Maßstab-Chirpfelder **3.1**, **3.2** auf dem Maßstab-Teilungsträger **3**. Hierdurch ist gewährleistet, daß auch beim gewünschten größeren Abtastabstand  $d$  die an einem Ort des einfallsseitigen Abtast-Chirpfeldes **2.1** in zwei Beugungsordnungen aufgespaltenen zwei Teilstrahlenbündel auf Bereiche der nunmehr zwei Maßstab-Chirpfelder **3.1**, **3.2** auftreffen, in denen ebenfalls zumindest ähnliche lokale Gitterkonstanten vorliegen. Die am Abtast-Chirpfeld **3.1** in unterschiedliche Beugungsordnungen abgelenkten Teilstrahlenbündel liegen beim gewählten Abtastabstand  $d$  in der Ebene der Maßstab-Chirpfelder **3.1**, **3.2** räumlich getrennt voneinander vor und beaufschlagen dort auch die beiden räumlich getrennten Maßstab-Chirpfelder **3.1**, **3.2**. In der Darstellung von [Fig. 3](#) bedeutet dies, daß die gebeugten Teilstrahlenbündel  $+1$ . Ordnung der von der Lichtquelle **1** her einfallenden Strahlenbündel auf das linke Maßstab-Chirpfeld **3.1** auftreffen, während die gebeugten Teilstrahlenbündel  $-1$ . Ordnung auf das rechte der beiden einfallsseitig vorgesehenen Maß-

stab-Chirpfelder **3.2** treffen.

**[0051]** Nach dem Passieren der Maßstab-Chirpfelder **3.1**, **3.2** werden die verschiedenen Teilstrahlenbündel mit Hilfe des retroreflektierenden Elementes **4**, das mit dem Abtast-Teilungsträger **2** starr verbunden ist, wieder in die Einfallrichtung zurückgelenkt und passieren dabei ein zweites Mal Maßstab- und Abtast-Chirpfelder **3.3**, **3.4**, **2.2**. Ein- und austretende Strahlenbündel sind hierbei parallel zueinander orientiert. Aufgrund des gewählten Strahlenganges handelt es sich austrittsseitig um Chirpfelder, die räumlich getrennt von den erstgenannten, einfallsseitigen Chirpfeldern angeordnet sind. Um dabei sicherzustellen, daß die an einem Aufspaltort des einfallsseitigen Abtast-Chirpfeldes **2.1** mit definierter lokaler Gitterkonstante auch an einem Ort des austrittsseitigen Abtast-Chirpfeldes **2.2** mit der gleichen Gitterkonstanten wiedervereinigt werden, sind innerhalb des Gesamtsystems ferner bestimmte Symmetriebedingungen hinsichtlich der Anordnung der austrittsseitigen Maßstab- und Abtast-Chirpfelder **3.3**, **3.4**, und **2.2** einzuhalten.

**[0052]** Im Fall eines als Tripelprisma ausgebildeten retroreflektierenden Elementes **4** sind die eintrittsseitigen und die austrittsseitigen Abtast- und Maßstab-Chirpfelder **2.1**, **3.1**, **3.2**, **2.2**, **3.3**, **3.4** punktsymmetrisch zu einer Achse **6** des Tripelprismas auf den jeweiligen Teilungsträgern angeordnet, die durch die Spitze des Tripelprismas verläuft und im dargestellten Ausführungsbeispiel senkrecht zur Ein- und Austrittsfläche des Tripelprismas orientiert ist. Dies bedeutet etwa, daß aufgrund der erforderlichen Punktsymmetrie der beiden Maßstab-Chirpfelder **3.2** und **3.3** diese einen entgegengesetzt orientierten Chirpverlauf aufweisen. So nimmt beim einfallsseitigen Maßstab-Chirpfeld **3.2** die Teilungsperiode die Teilungsperiode von links nach rechts zu, während die Teilungsperiode des austrittsseitigen Maßstab-Chirpfeldes **3.3** von links nach rechts abnimmt. Analoge Symmetrie-Überlegungen gelten sowohl für die beiden anderen Maßstab-Chirpfelder **3.1** und **3.4** als auch für die Abtast-Chirpfelder **2.1** und **2.2**.

**[0053]** Das jeweils eingesetzte retroreflektierende Element weist in einer derartigen Ausführungsform der erfindungsgemäßen optischen Positionsmesseinrichtung demzufolge eine Symmetrieachse auf, die sich aus der Symmetrie der ein- und austretenden Strahlenbündel ergibt. Auf den beiden Teilungsträgern schneidet die Symmetrieachse jeweils Punkte, gegenüber denen eine Punktsymmetrie der darauf angeordneten Chirpfelder inclusive deren Chirpfunktionen existiert. Ferner ist die retroreflektierende Eigenschaft dieses Elementes derart gewählt, daß die diejenigen Strahlenbündel, die einfallsseitig gemeinsam ein Abtast-Chirpfeld durchtreten, auch allesamt wieder das gleiche austrittsseitige Abtast-Chirpfeld passieren und anschließend interferieren.

**[0054]** Während die in den [Fig. 3](#) und [Fig. 4](#) gezeigte Anordnung lediglich zur Erläuterung der erwähnten Symmetrieanforderungen diente, zeigt [Fig. 5](#) eine Ansicht eines konkreten Ausführungsbeispiels der erfindungsgemäßen Positionsmeßeinrichtung mit der entsprechenden Relativanordnung einzelner Komponenten. Gezeigt ist dabei eine Ansicht aus der Meßrichtung, d. h. die Meßrichtung  $x$  ist demzufolge senkrecht zur Zeichenebene orientiert. Deutlich erkennbar ist hierbei nunmehr auch die auf dem Abtast-Teilungsträger **52** angeordnete Abtasteilung **57** zur Erzeugung der Inkrementalsignale sowie die damit auf dem Maßstab-Teilungsträger **53** abgetastete Maßstabteilung **56**. Sowohl die Maßstabteilung **56** wie auch die Abtasteilung **57** weisen konstante Teilungsperioden in Meßrichtung  $x$  auf. Seitlich benachbart zur Abtasteilung **57** sind auf dem Abtast-Teilungsträger **52** das eintrittsseitige Abtast-Chirpfeld **52.1** sowie das austrittsseitige Abtast-Chirpfeld **52.2** angeordnet. Über das eintrittsseitige Abtast-Chirpfeld **52.1** werden die von der Lichtquelle **51** kommenden Strahlenbündel senkrecht zur Zeichenebene in die verschiedenen Beugungsordnungen aufgespalten und gelangen auf die mindestens zwei einfallsseitigen Maßstab-Chirpfelder **53.2**, die in  $x$ -Richtung benachbart zueinander angeordnet sind, weshalb in der Darstellung von [Fig. 5](#) lediglich eines erkennbar ist. Nach der Reflexion in Richtung des retroreflektierenden Elementes **54** gelangen die Teilstrahlenbündel zur Erzeugung der Referenzimpuls-Signale auf die ebenfalls in  $x$ -Richtung benachbart angeordneten, austrittsseitigen Maßstab-Chirpfelder **53.3**, von denen in der Darstellung von [Fig. 5](#) ebenfalls wieder nur eines erkennbar ist. Nach der entsprechenden Reflexion erfolgt die Umlenkung in Richtung des austrittsseitigen Abtast-Chirpfeldes **52.2**, wo die aufgespaltenen Teilstrahlenbündel wiedervereinigt werden und auf dem oder den nachgeordneten Detektorelementen **55** die verschiebungsabhängig modulierten Interferenzsignale erzeugen.

**[0055]** Eine Draufsicht auf die Abtastplatte und den Maßstab einer Ausführungsform der erfindungsgemäßen optischen Positionsmeßeinrichtung, wie sie etwa auch in der zuletzt beschriebenen Variante gemäß [Fig. 5](#) eingesetzt werden können, ist jeweils in [Fig. 6a](#) und [Fig. 6b](#) dargestellt. [Fig. 6a](#) zeigt hierbei die Draufsicht auf den Abtast-Teilungsträger **12**, auf dem in der Mitte eine Abtasteilung **17** angeordnet ist, über die die Inkrementalsignale durch Abtastung der in [Fig. 6b](#) dargestellten Maßstabteilung in bekannter Art und Weise erzeugt werden. Die Abtasteilung **17** weist hierbei in Meßrichtung  $x$  eine gleichbleibende Teilungsperiode über das gesamte Abtastfeld auf. Seitlich benachbart zur Spur mit der Abtasteilung **17** bzw. senkrecht zur Meßrichtung  $x$  sind die beiden Abtast-Chirpfelder **12.1**, **12.2** auf dem Teilungsträger **12** angeordnet. Das untere der beiden Abtast-Chirpfelder **12.1** fungiert hierbei in der Terminologie des ersten Ausführungsbeispiels als eintrittsseitiges Ab-

tast-Chirpfeld, während das obere als austritts- oder detektorseitiges Abtast-Chirpfeld **12.2** dient.

**[0056]** Der in [Fig. 6b](#) dargestellte Maßstab-Teilungsträger **13** weist in der Mitte eine Maßstab-Teilung **18** auf, über die im Zusammenwirken mit der Abtasteilung **17** die Inkrementalsignale erzeugt werden. Seitlich benachbart zur Spur mit der Maßstab-Teilung **18** sind jeweils zwei Maßstab-Chirpfelder **13.1**, **13.2**, **13.3**, **13.4** angeordnet, über die im Zusammenwirken mit den beiden Abtast-Chirpfeldern **12.1**, **12.2** die Erzeugung hochauflösender Referenzimpuls-Signale möglich ist, wie dies vorab anhand der [Fig. 4](#) und [Fig. 5](#) erläutert wurde.

**[0057]** Wie ebenfalls vorab erläutert weisen die neben den Abtast- und Maßstabteilungen **17**, **18** angeordneten Chirpfelder unterschiedlich orientierte Chirpverläufe auf, damit die erwähnten Symmetriebedingungen eingehalten werden. Während z. B. die Teilungsperiode des oberen Abtast-Chirpfeldes **12.2** von links nach rechts größer wird, ist beim unteren Abtast-Chirpfeld **12.1** vorgesehen, daß die Teilungsperiode von links nach rechts kleiner wird, d. h. die seitlich benachbart zur Inkremental-Abtasteilung angeordneten Abtast-Chirpfelder **12.1**, **12.2** weisen einen entgegengesetzten Chirpverlauf auf. Bei den Maßstab-Chirpfeldern **13.1**, **13.2**, **13.3**, **13.4** ist ebenfalls die Orientierung der Chirpverläufe auf unterschiedlichen Seiten der Maßstabteilung **18** angeordneten Felder entgegengesetzt orientiert. Identisch ausgerichtet sind hingegen die Orientierungen der Chirpverläufe bei den Maßstab-Chirpfeldern **13.1**, **13.2**, **13.3**, **13.4** auf jeweils einer Seite der Maßstab-Teilung **18**.

**[0058]** Zur bereits beim ersten Ausführungsbeispiel erwähnten, zweiten Möglichkeit zur Erzeugung von Gegentakt-Referenzimpuls-Signalen müßte in dieser Ausführungsform demnach vorgesehen werden, zwei zusätzliche Abtast-Chirpfelder sowie vier zusätzliche Maßstab-Chirpfelder in Meßrichtung  $x$  oder senkrecht dazu versetzt relativ zu den dargestellten Chirpfeldern anzuordnen. Die Chirpfunktionen sind dabei so zu wählen, daß einmal ein Referenzimpuls-Taktsignal sowie einmal ein Referenzimpuls-Gegentaktsignal erzeugt werden.

**[0059]** Bei beiden beschriebenen Ausführungsformen ist jeweils zu beachten, daß die Auflösung bzw. Signalperiode des erfindungsgemäß erzeugten Referenzimpuls-Signales vorzugsweise an die Auflösung bzw. Signalperiode des Inkremental-Signales angepasst ist. Die Auflösung der Referenzimpuls-Signale ist bei der erfindungsgemäßen Erzeugung dieser Signale im wesentlichen durch die mittlere lokale Gitterkonstante der Maßstab-Chirpfelder bestimmt. In einer vorteilhaften Ausführungsform kann die mittlere lokale Gitterkonstante der Maßstab-Chirpfelder ca. dem 2,7-fachen der Gitterkonstante der Maßstab-In-

krementalteilung entsprechen, wobei auch bei den Maßstab-Chirpfeldern das gleiche lokale Verhältnis von Signalperiode zur Gitterkonstante vorliegt wie bei der Inkrementalteilung.

**[0060]** Darüberhinaus sind die Chirpfunktionen der verschiedenen Chirpfelder nach der gewünschten Unterdrückung von Nebenmaxima des resultierenden Signales zu wählen. Vorteilhafterweise wird dazu die größte lokale Teilungsperiode größer oder gleich der doppelten mittleren Teilungsperiode festgelegt. Ebenso sollte die kleinste lokale Teilungsperiode kleiner oder gleich  $2/3$  der mittleren Teilungsperiode betragen.

**[0061]** Für die mindestens zwei Maßstab-Chirpfelder und deren Chirpfunktionen ist desweiteren zu beachten, daß – wie bereits erwähnt – sichergestellt sein muß, daß an derjenigen Position der Maßstabteilung, an der das Referenzimpuls-Signal sein Maximum hat, die am Abtast-Chirpfeld interferierenden Teilstrahlenbündel unterschiedlicher Beugungsordnung jeweils die gleiche optische Weglänge durchlaufen haben. Hierzu werden vorzugsweise die lokalen Gitterkonstanten an den Auftrefforten zusammengehöriger, miteinander interferierender Teilstrahlenbündel auf den beiden benachbarten Maßstab-Chirpfelder **3.1** und **3.2** identisch gewählt.

**[0062]** In den bislang beschriebenen Ausführungsbeispielen war entweder explizit oder aber indirekt eine Lichtquelle mit vorgeordneter Kollimationsoptik vorgesehen, die jeweils ein kollimiertes Strahlenbündel liefert, welches auf die erste beleuchtungsseitig angeordnete Teilungsstruktur auftrifft. Innerhalb der erfindungsmäßigen optischen Positionsmeßeinrichtung ist es jedoch auch möglich, auf die separate Kollimationsoptik zu verzichten, d. h. es kann auch eine Lichtquelle eingesetzt werden, die ein nicht-kollimiertes, beispielsweise divergentes, Strahlenbündel auf den beleuchtungsseitig angeordneten Abtast-Teilungsträger auftreffen läßt. Im Fall des Ausführungsbeispiels der **Fig. 1** und **Fig. 2** könnte das eintrittsseitige Abtast-Chirpfeld dann etwa so ausgelegt werden, daß die eintreffenden Strahlenbündel in die 0. und  $-1$ . Beugungsordnung aufgespalten werden und anschließend auf die getrennten Maßstab-Chirpfelder auftreffen etc.. Durch die entsprechend gewählte Aufteilungs- bzw. Beugungswirkung des eintrittsseitigen Abtast-Chirpfeldes läßt sich demzufolge eine ansonsten erforderliche Kollimationsoptik einsparen. Zwischen den verschiedenen Chirpfeldern ist der Strahlengang auch bei einer derartigen Beleuchtungskonfiguration identisch mit dem Strahlengang in den erläuterten Ausführungsbeispielen.

**[0063]** Eine vierte Ausführungsform der erfindungsgemäßen optischen Positionsmeßeinrichtung ist in **Fig. 7** in einer seitlichen Teilansicht schematisch dargestellt.

**[0064]** Diese Ausführungsform zeichnet sich hierbei insbesondere durch eine größere Abstandsunempfindlichkeit gegenüber den bislang erläuterten Varianten der erfindungsgemäßen optischen Positionsmeßeinrichtung aus. So ist etwa im Fall üblicher Abtastbedingungen und bei einer vorgegebenen Form des erzeugten Referenzimpulssignales im Ausführungsbeispiel der **Fig. 1** erforderlich, daß das Abtast-Chirpfeld **22.1** in Meßrichtung  $x$  eine nur geringe räumliche Ausdehnung aufweist, um eine möglichst vollständige Trennung der Teilstrahlenbündel in die beiden Maßstab-Chirpfelder **23.1**, **23.2** zu gewährleisten. In Meßrichtung  $x$  variieren demzufolge die Teilungsperioden stark, womit sich auch lokal stark variierende Ablenkwirkungen für die auftreffenden Teilstrahlenbündel ergeben. Bei einer Variation des Abtastabstandes  $d$  während der Messung kann daher der Fall auftreten, daß die Teilstrahlenbündel einer Beugungsordnung von den Maßstab-Chirpfeldern **23.1**, **23.2** nicht wie gefordert am gleichen Ort des Abtastchirpfeldes **22.1** wiedervereinigt werden und zur Interferenz gelangen. Die von den Maßstab-Chirpfeldern **23.1**, **23.2** kommenden Teilstrahlenbündel können vielmehr auf Bereiche des Abtastchirpfeldes gelangen, die zwar nah beieinanderliegen, jedoch stark unterschiedliche Teilungsperioden aufweisen und damit eine Ablenkung in unterschiedliche Raumrichtungen verursachen. Das heißt, die zur Interferenz und damit zur Erzeugung des Referenzimpulssignales erforderlichen Voraussetzungen sind in diesem Fall nicht mehr gegeben.

**[0065]** Um auch unter diesen Bedingungen eine größere Abstandsunempfindlichkeit bei der Positionsmessung zu erreichen, ist im Ausführungsbeispiel der **Fig. 7** auf Seiten des Abtast-Teilungsträgers **72** vorgesehen, mehrere Teil-Abtast-Chirpfelder **72.1a**, **72.1b**, **72.1c**, **72.1d** in Meßrichtung  $x$  beabstandet voneinander anzuordnen. Es erfolgt damit letztlich eine Aufteilung des ursprünglich nur einen Abtast-Chirpfeldes in verschiedene Teil-Abtast-Chirpfelder. Die Teilungsperioden  $TP_{An}$  ( $n = 1 \dots 5$  im Ausführungsbeispiel) der verschiedenen Teil-Abtast-Chirpfelder **72.1a**, **72.1b**, **72.1c**, **72.1d** variieren dabei in der in **Fig. 7** angedeuteten Art und Weise. So ist vorgesehen, daß die Teilungsperioden  $TP_{An}$  an den Rändern von aneinandergrenzenden Teil-Abtast-Chirpfeldern **72.1a**, **72.1b**, **72.1c**, **72.1d** entsprechend dem erforderlichen Chirp-Verlauf identisch sind bzw. zumindest in ähnlichen Größenordnungen liegen. Innerhalb der jeweiligen Teil-Abtast-Chirpfelder **72.1a**, **72.1b**, **72.1c**, **72.1d** ist dabei selbstverständlich auch ein bestimmter Chirpverlauf bzgl. der Teilungsperioden vorgesehen, so daß bei der Kombination aller Teil-Abtast-Chirpfelder **72.1a**, **72.1b**, **72.1c**, **72.1d** insgesamt der gewünschte, kontinuierliche Chirpverlauf resultiert.

**[0066]** Jedem der vier dargestellten Teil-Abtast-Chirpfelder **72.1a**, **72.1b**, **72.1c**, **72.1d** sind nun-

mehr jeweils zwei Maßstab-Chirpfelder auf der Seite des Maßstab-Teilungsträgers zugeordnet, d. h. es sind dort in diesem Ausführungsbeispiel insgesamt acht Teil-Maßstab-Chirpfelder **73.1a**, **73.2a**, **73.1b**, **73.2b**, **73.1c**, **73.2c**, **73.1d**, **73.2d** erforderlich. In Bezug auf die Teilungsperioden  $TP_{Mn}$  in den einzelnen Teil-Maßstab-Chirpfeldern sei auf die prinzipielle Darstellung der [Fig. 7](#) verwiesen; diese zeigt jedoch keinesfalls eine maßstäbliche Wiedergabe der Teilungsperiodenverhältnisse.

**[0067]** Für jedes Teilsystem bestehend aus einem Teil-Abtast-Chirpfeld sowie den jeweils zwei zugeordneten Teil-Maßstab-Chirpfeldern gelten hinsichtlich der Dimensionierung des jeweiligen Chirpverlaufes bzw. der Anordnung auf dem jeweiligen Teilungsträger prinzipiell die gleichen Überlegungen wie in den bisherigen Ausführungsbeispielen. Hierzu gehört u. a., daß die Teilungsperioden  $TP_{An}$  auf Seiten der Teil-Abtast-Chirpfelder **72.1a**, **72.1b**, **72.1c**, **72.1d** vorzugsweise jeweils doppelt so groß gewählt sind wie die Teilungsperioden  $TP_{Mn}$  auf der Seite der Teil-Maßstab-Chirpfelder **73.1a**, **73.2a**, **73.1b**, **73.2b**, **73.1c**, **73.2c**, **73.1d**, **73.2d**. Es gilt somit analog zu den oben erläuterten Beispielen  $TP_{An} = 2 \cdot TP_{Mn}$ .

**[0068]** Bei einer derartigen Ausgestaltung der vorliegenden Erfindung sind nunmehr auf Seiten der Teil-Abtast-Chirpfelder **72.1a**, **72.1b**, **72.1c**, **72.1d** keine so großen Änderungen der Teilungsperioden  $TP_{An}$  innerhalb kleiner Bereiche erforderlich, d. h. es ist ein Chirpverlauf bzgl. der Teilungsperioden  $TP_{An}$  vorgesehen, bei dem sich die Teilungsperioden  $TP_{An}$  benachbarter Bereiche nur geringfügig unterscheiden. Damit ist auch bei ggf. variierendem Abtastabstand  $d$  gewährleistet, daß die jeweils von den Teil-Maßstab-Chirpfeldern **73.1a**, **73.2a**, **73.1b**, **73.2b**, **73.1c**, **73.2c**, **73.1d**, **73.2d** kommenden Teilstrahlenbündel auf Bereiche der Teil-Abtast-Chirpfelder **72.1a**, **72.1b**, **72.1c**, **72.1d** gelangen, die nur geringe Unterschiede in den Teilungsperioden  $TP_{An}$  aufweisen und deshalb auch interferieren können.

**[0069]** Selbstverständlich lassen sich die anhand der vorherigen Ausführungsbeispiele erläuterten, verschiedensten Einzelmaßnahmen auch in Verbindung mit dieser Ausführungsform der erfindungsgemäßen optischen Positionsmeßeinrichtung kombinieren.

**[0070]** Wie aus der vorangehenden Beschreibung verschiedener Ausführungsbeispiele hervorgeht, ergeben sich somit eine Reihe von Möglichkeiten, wie die erfindungsgemäße Erzeugung von hochauflösenden Referenzsignal-Impulsen bei großen Abtastabständen in interferentiellen Meßsystemen auf verschiedenste Art und Weise umgesetzt werden kann.

## Patentansprüche

1. Optische Positionsmeßeinrichtung zur Bestimmung der Relativposition zweier zueinander beweglicher Objekte mit

– zwei Teilungsträgern (**2**, **3**, **2'**, **3'**; **12**, **13**; **22**, **23**; **52**, **53**) in definiertem Abtastabstand ( $d$ ), welche als Abtast- und Maßstab-Teilungsträger dienen und jeweils mit einem der beiden Objekte verbunden sind,  
 – mindestens einer dem Abtast-Teilungsträger (**2**, **2'**; **12**; **22**; **52**) und mindestens zwei dem Maßstab-Teilungsträger (**3**, **3'**; **13**; **23**; **53**) zugeordneten Referenzmarken-Teilungsstrukturen, die zur Erzeugung eines definierten Signales an einer bekannten Absolutposition dienen, wobei sowohl die dem Abtast-Teilungsträger (**2**, **2'**; **12**; **22**; **52**) als auch die dem Maßstab-Teilungsträger (**3**, **3'**; **13**; **23**; **53**) zugeordneten Referenzmarken-Teilungsstrukturen als Chirpfelder mit einer Gitterteilung mit stetig variabler Teilungsperiode ausgebildet sind und durch das dem Abtastteilungssträger (**2**, **2'**; **12**; **22**; **52**) zugeordnete Abtast-Chirpfeld (**2.1**; **12.1**; **22.1**; **52.1**) die auftreffenden Strahlenbündel einer beleuchtungsseitig angeordneten Lichtquelle (**1**; **21**; **51**) mindestens in zwei Teilstrahlenbündel unterschiedlicher Beugungsordnung aufspaltbar sind und

– die auf dem Maßstab-Teilungsträger (**3**, **3'**; **13**; **23**; **53**) angeordneten, mindestens zwei Maßstab-Chirpfelder (**3.1**, **3.2**, **3.3**, **3.4**; **13.1**, **13.2**, **13.3**, **13.4**; **23.1**, **23.2**; **53.2**, **53.3**) mit jeweils einem der zwei Teilstrahlenbündel Wechselwirken und derart räumlich getrennt angeordnet sind, daß beim gewählten Abtastabstand ( $d$ ) sichergestellt ist, daß die mindestens zwei Teilstrahlenbündel unterschiedlicher Beugungsordnung auf Bereiche in den getrennten Maßstab-Chirpfeldern (**3.1**, **3.2**, **3.3**, **3.4**; **13.1**, **13.2**, **13.3**, **13.4**; **23.1**, **23.2**; **53.2**, **53.3**) mit zumindest ähnlicher lokaler Teilungsperiode auftreffen, so daß eine Wiedervereinigung dieser Teilstrahlenbündel am gleichen Ort eines Abtast-Chirpfeldes (**2.1**, **2.2**; **12.2**; **22.1**, **22.1'**; **52.2**) möglich ist und das resultierende, interferierende Paar von Teilstrahlenbündeln mittels mindestens eines Detektorelementes (**5**; **25**; **55**) erfaßbar ist.

2. Optische Positionsmeßeinrichtung nach Anspruch 1, wobei zwei Maßstab-Chirpfelder (**3.1**, **3.2**, **3.3**, **3.4**; **13.1**, **13.2**, **13.3**, **13.4**; **23.1**, **23.2**; **53.2**, **53.3**) in Richtung der Relativbewegung der beiden beweglichen Objekte zueinander benachbart auf dem Maßstab-Teilungsträger (**3**, **3'**; **13**; **23**; **53**) angeordnet sind.

3. Optische Positionsmeßeinrichtung nach Anspruch 1, wobei die lokalen Gitterparameter des (der) Abtast-Chirpfeldes(er) (**2.1**, **2.2**, **2.1'**; **12.1**, **12.2**; **22.1**, **22.1'**; **52.1**, **52.2**) derart dimensioniert ist (sind), daß detektorseitig mindestens zwei Signale mit unterschiedlichem Signalverlauf erzeugbar sind.

4. Optische Positionsmeßeinrichtung nach Anspruch 2, wobei mindestens ein weiteres Abtast-Chirpfeld sowie mindestens zwei weitere Maßstab-Chirpfelder auf dem Abtast- und dem Maßstab-Teilungsträger mit einem definierten Versatz zum erstgenannten Abtast-Chirpfeld sowie den mindestens zwei weiteren Maßstab-Chirpfeldern angeordnet sind, und den weiteren Abtast- und Maßstab-Chirpfeldern mindestens ein weiteres Detektorelement zugeordnet ist, über das mindestens ein weiteres Referenzimpuls-Signal mit einem unterschiedlichen Signalverlauf erfaßbar ist.

5. Optische Positionsmeßeinrichtung nach Anspruch 3 oder 4, wobei die mindestens zwei Signale ein Referenzimpuls-Taktsignal sowie ein Referenzimpuls-Gegentaktsignal bilden.

6. Optische Positionsmeßeinrichtung nach Anspruch 1, wobei der Chirpverlauf der verschiedenen Chirpfelder nach eindimensionalen, stetig monoton steigenden oder stetig monoton fallenden Funktionen gewählt ist.

7. Optische Positionsmeßeinrichtung nach Anspruch 1, wobei die mindestens zwei Maßstab-Chirpfelder (3.1, 3.2, 3.3, 3.4; 13.1, 13.2, 13.3, 13.4; 23.1, 23.2; 53.2, 53.3) eine mittlere lokale Gitterkonstante aufweisen, die dem 2.7-fachen der Gitterkonstante der Maßstab-Inkrementalteilung (18; 56) entspricht.

8. Optische Positionsmeßeinrichtung nach Anspruch 1, wobei die lokale Gitterkonstante der Maßstab-Chirpfelder (3.1, 3.2, 3.3, 3.4; 13.1, 13.2, 13.3, 13.4; 23.1, 23.2; 53.2, 53.3) an den Auftrefforten ( $P_{l,+1}$ ,  $P_{l,-1}$ ;  $P_{r,+1}$ ,  $P_{r,-1}$ ) von miteinander interferierenden Teilstrahlenbündeln der halben Gitterkonstanten des Aufspaltortes ( $P_l$ ,  $P_r$ ) am zugeordneten Abtast-Chirpfeld (2.1; 12.1; 22.1; 52.1) entspricht.

9. Optische Positionsmeßeinrichtung nach mindestens einem der Ansprüche 1–8, mit einem retroreflektierenden optischen Element (4; 54), das nach dem ersten Passieren der dem Abtast-Teilungsträger (3; 53) zugeordneten Teilungsstrukturen durchlaufen wird und welches derart dimensioniert ist, daß die das retroreflektierende Element (4; 54) verlassenden Teilstrahlenbündel gleiche oder weitere Maßstab- und Abtastteilungsstrukturen ein weiteres Mal durchlaufen und nach der austrittseitig letzten Teilungsstruktur miteinander interferieren.

10. Optische Positionsmeßeinrichtung nach Anspruch 9, wobei das retroreflektierende optische Element (4; 54) als Tripelprisma ausgebildet ist.

11. Optische Positionsmeßeinrichtung nach Anspruch 9, die aus beleuchtungsseitiger Richtung betrachtet einen ersten lichtdurchlässigen Abtast-Teilungsträger (2) und einen lichtdurchlässigen Maß-

stab-Teilungsträger (3) umfaßt.

12. Optische Positionsmeßeinrichtung nach Anspruch 9, die aus beleuchtungsseitiger Richtung betrachtet einen ersten lichtdurchlässigen Abtast-Teilungsträger (52) sowie einen reflektierenden Maßstab-Teilungsträger (53) umfaßt und das retroreflektierende Element (54) auf der Seite des Maßstab-Teilungsträgers (53) angeordnet ist, die der Lichtquelle (51) zugewandt ist.

13. Optische Positionsmeßeinrichtung nach Anspruch 10, wobei eintrittsseitige und austrittsseitige Abtast- und Maßstab-Chirpfelder (2.1, 3.1, 3.2, 2.2, 3.3, 3.4) punktsymmetrisch zu einer Achse (6) des Tripelprismas (4) auf den jeweiligen Teilungsträgern (2; 3) angeordnet sind und die Achse (6) durch die Spitze des Tripelprismas (4) verläuft und im wesentlichen senkrecht zur Ein- und Austrittsfläche des Tripelprismas (4) orientiert ist.

14. Optische Positionsmeßeinrichtung nach Anspruch 9, wobei die Abtast- (2.1, 2.2, 2.1'; 12.1, 12.2; 22.1, 22.1'; 52.1, 52.2) und Maßstab-Chirpfelder (3.1, 3.2, 3.3, 3.4; 13.1, 13.2, 13.3, 13.4; 23.1, 23.2; 53.2, 53.3) jeweils seitlich benachbart zu einer Abtastteilung (17; 57) und zu einer Maßstabteilung (18; 56) auf dem Abtast-Teilungsträger (2, 2'; 12.; 22; 52) und dem Maßstab-Teilungsträger (3, 3'; 13; 23; 53) angeordnet sind.

15. Optische Positionsmeßeinrichtung nach Anspruch 14, wobei

– auf dem Abtast-Teilungsträger (12; 52) seitlich benachbart zur Abtastteilung (17; 57) für die Inkrementalsignal-Erzeugung jeweils mindestens ein Abtast-Chirpfeld (12.1, 12.2; 52.1, 52.2) angeordnet ist und diese Abtast-Chirpfelder (12.1, 12.2; 52.1, 52.2) entgegengesetzt zueinander orientierte Richtungen des Chirpverlaufes aufweisen und

– auf dem Maßstab-Teilungsträger (13; 53) seitlich benachbart zur Maßstabteilung (18; 56) für die Inkrementalsignal-Erzeugung je zwei Maßstab-Chirpfelder (13.1, 13.2, 13.3, 13.4; 53.2, 53.3) angeordnet sind, wobei auf jeder Seite die Maßstab-Chirpfelder 13.1, 13.2, 13.3, 13.4; 53.2, 53.3) gleich orientierte Richtungen des Chirpverlaufes aufweisen, aber die Richtungen der Chirpverlaufes der gegenüberliegend angeordneten Maßstab-Chirpfelder 13.1, 13.2, 13.3, 13.4; 53.2, 53.3) entgegengesetzt zueinander orientiert sind.

16. Optische Positionsmeßeinrichtung nach einem oder mehreren der vorangehenden Ansprüche, wobei auf dem Abtast-Teilungsträger (72) mehrere Teil-Abtast-Chirpfelder (72.1a, 72.1b, 72.1c, 72.1d) in Meßrichtung (x) beabstandet voneinander angeordnet sind und auf dem Maßstab-Teilungsträger (73) jedem Teil-Abtast-Chirpfeld (72.1a, 72.1b, 72.1c, 72.1d) zwei Teil-Maßstab-Chirpfelder (73.1a, 73.2a,

**73.1b, 73.2b, 73.1c, 73.2c, 73.1d, 73.2d**) zugeordnet sind, die in Meßrichtung (x) benachbart zueinander angeordnet sind.

Es folgen 7 Blatt Zeichnungen

Anhängende Zeichnungen

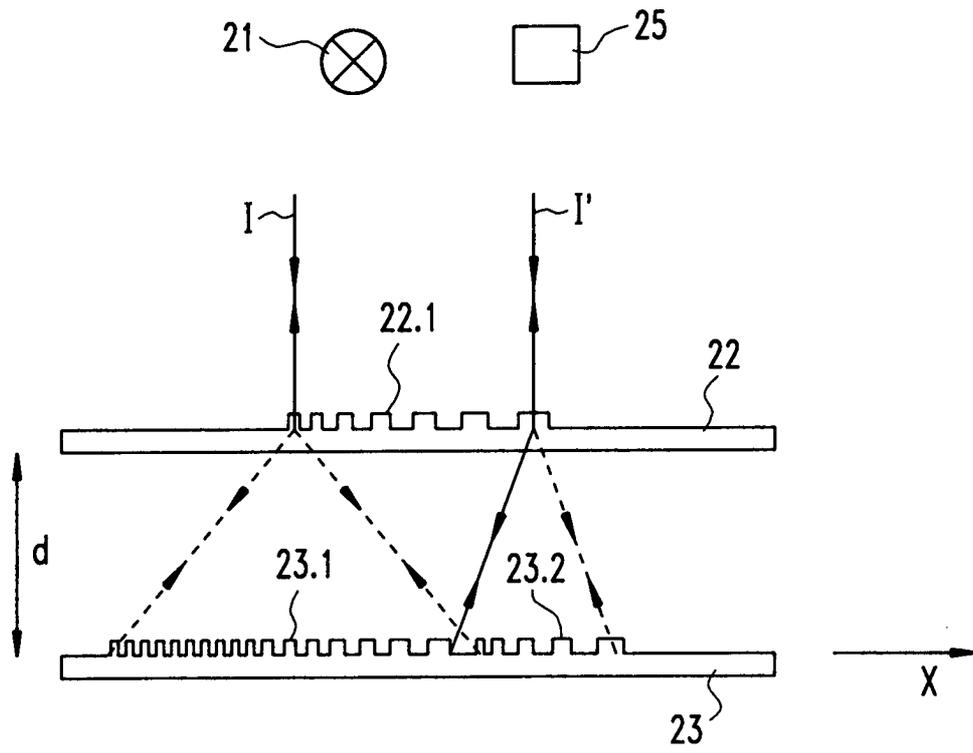


Fig.1

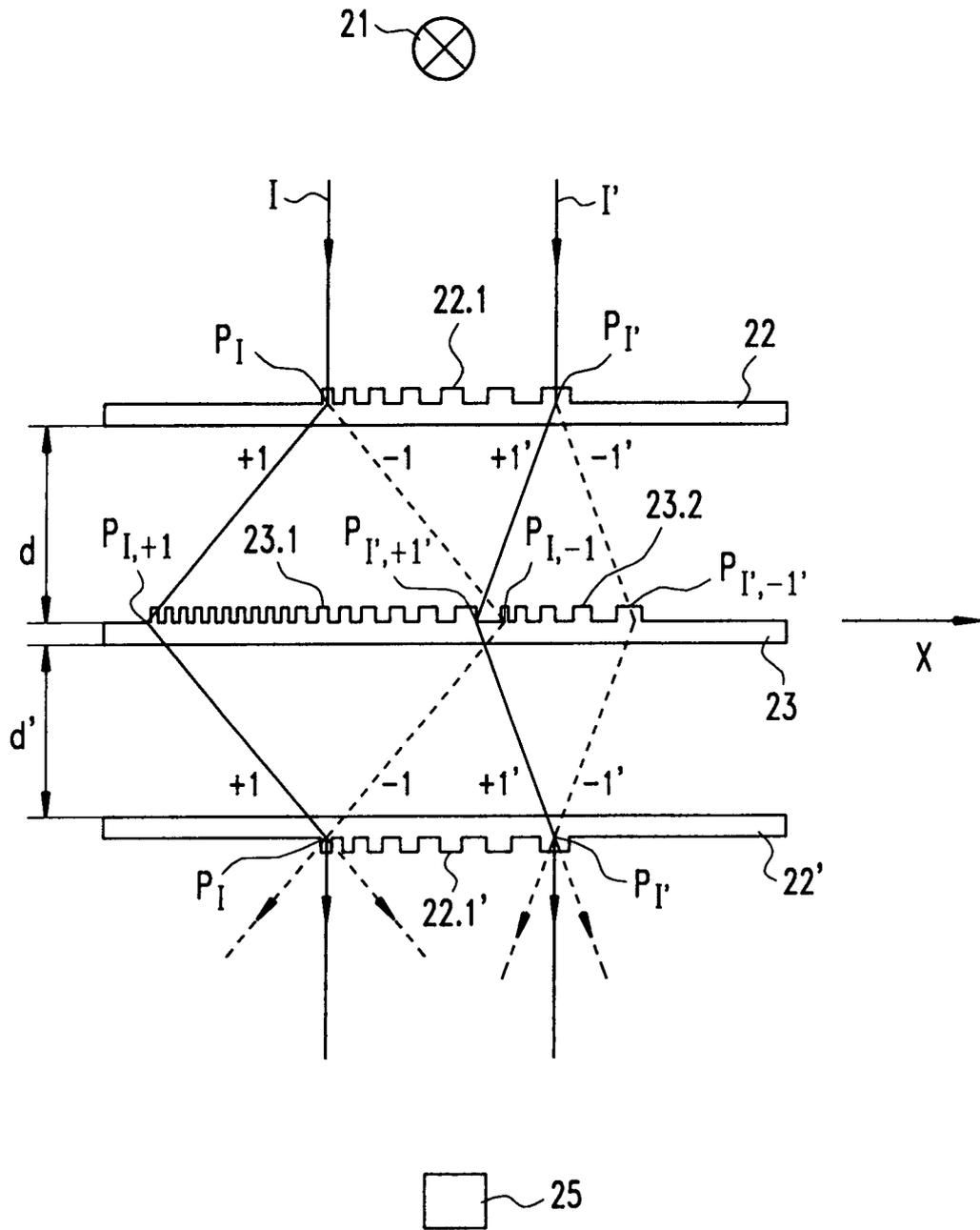


Fig.2



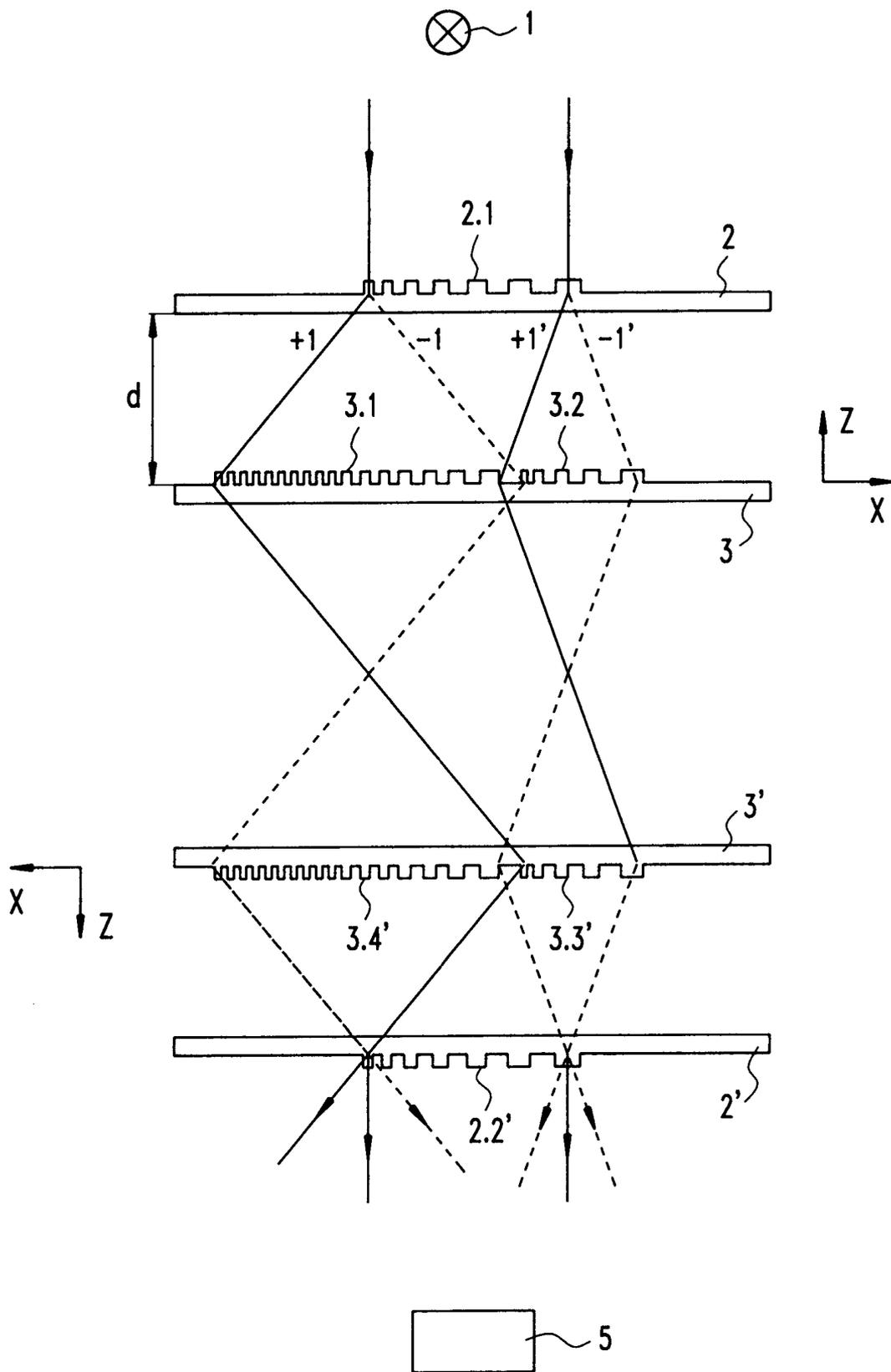


Fig.4

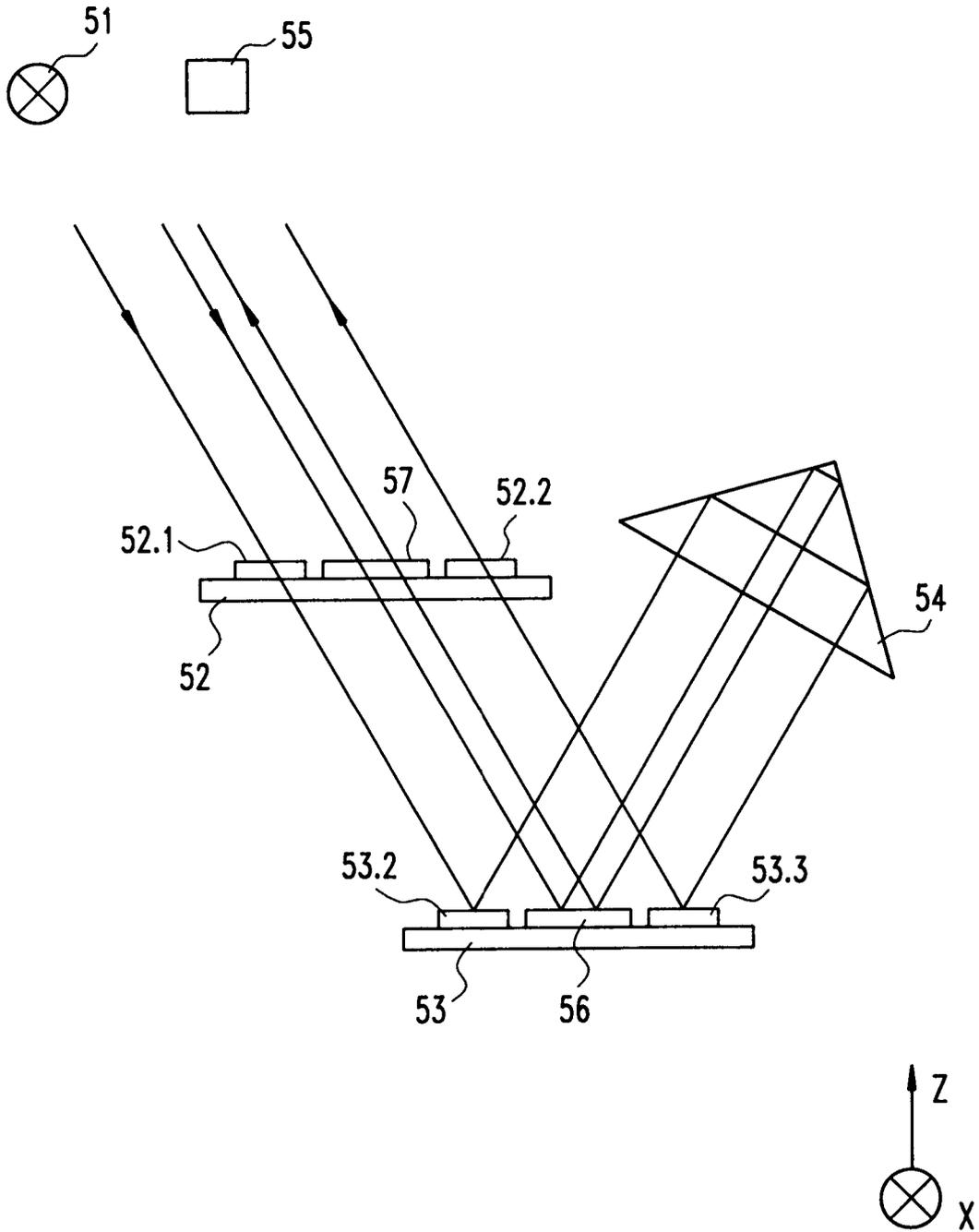


Fig.5

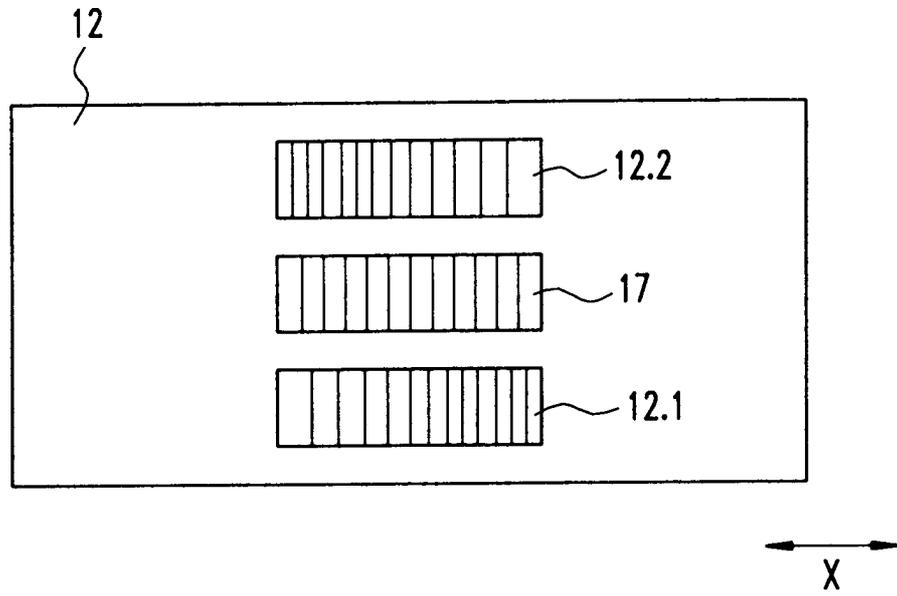


Fig. 6a

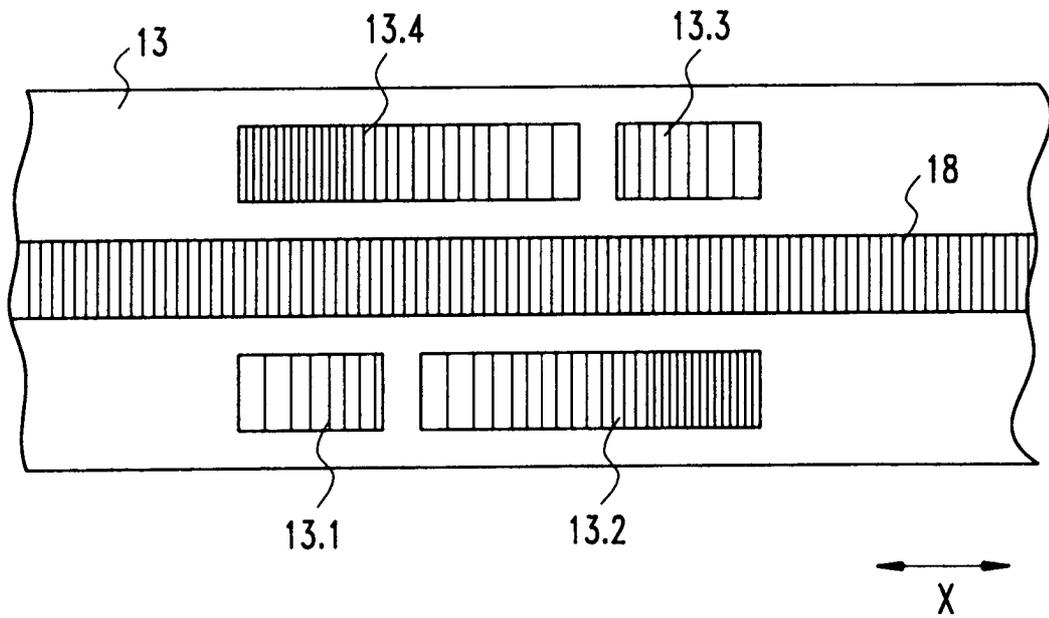


Fig. 6b

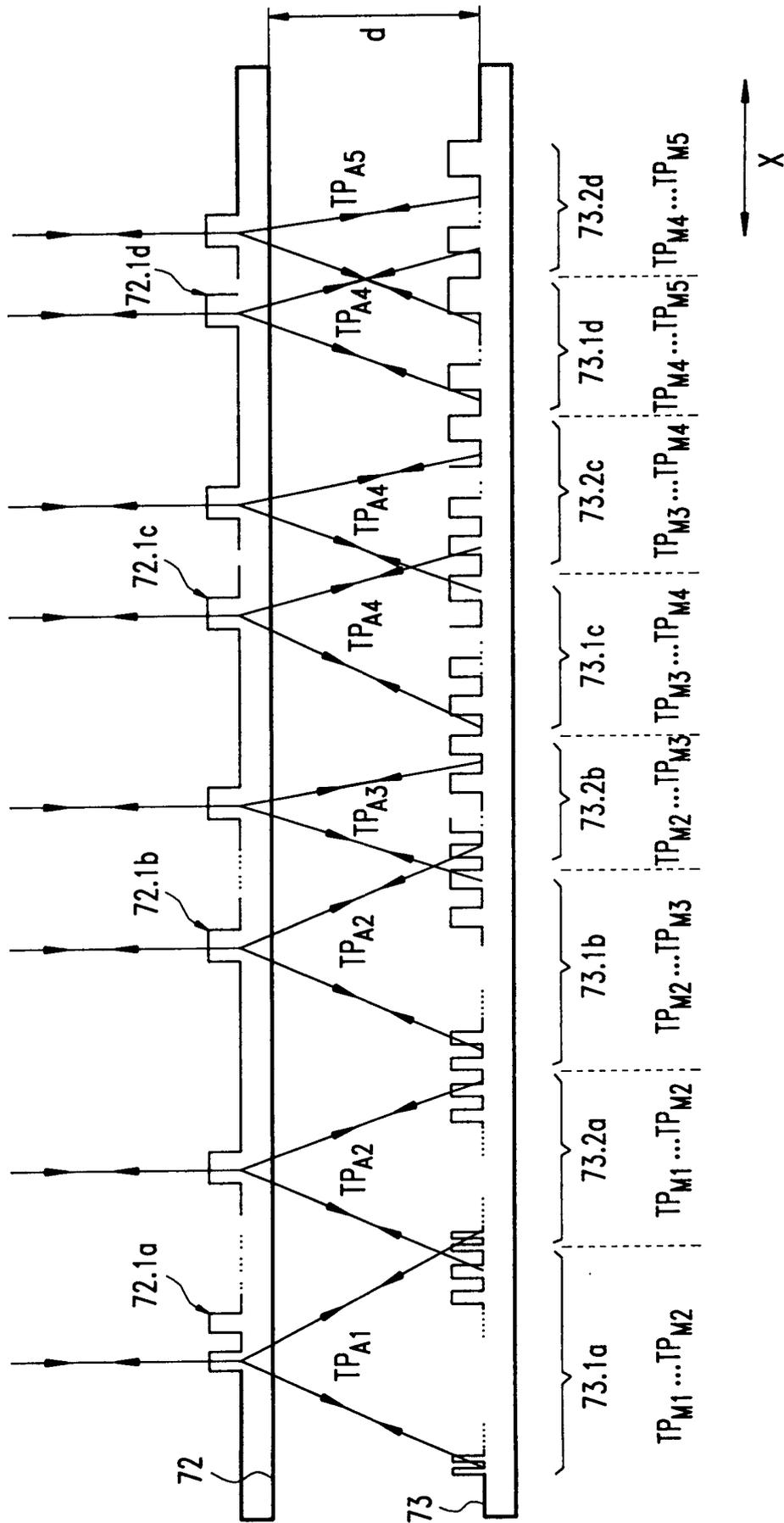


Fig.7