



(10) **DE 10 2021 109 392 A1** 2022.10.20

(12) **Offenlegungsschrift**

(21) Aktenzeichen: **10 2021 109 392.9**

(22) Anmeldetag: **14.04.2021**

(43) Offenlegungstag: **20.10.2022**

(51) Int Cl.: **G01B 11/26 (2006.01)**

G01B 11/14 (2006.01)

(71) Anmelder:

**Bundesrepublik Deutschland, vertreten durch das
Bundesministerium für Wirtschaft und Energie,
dieses vertreten durch den Präsidenten der
Physikalisch-Technischen Bundesanstalt, 38116
Braunschweig, DE**

(72) Erfinder:

**Spichtinger, Jan Michael, 38100 Braunschweig,
DE**

(74) Vertreter:

**Gramm, Lins & Partner Patent- und Rechtsanwälte
PartGmbH, 38122 Braunschweig, DE**

(56) Ermittelte Stand der Technik:

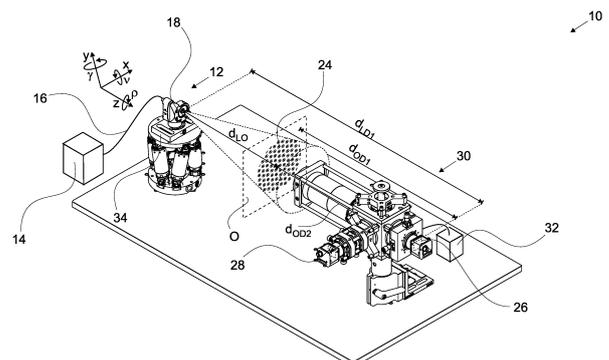
US	2007 / 0 008 550	A1
US	2011 / 0 157 599	A1
US	4 529 310	A
US	4 330 212	A

Prüfungsantrag gemäß § 44 PatG ist gestellt.

Die folgenden Angaben sind den vom Anmelder eingereichten Unterlagen entnommen.

(54) Bezeichnung: **Winkelmessgerät**

(57) Zusammenfassung: Die Erfindung betrifft ein Winkelmessgerät mit (a) einer Lichtquelle (12) zum Erzeugen von Licht (20), die zumindest ein Lichtabgabeelement (18) zum Befestigen an einem Prüfling (34) zum Abgeben des Lichts (20) an zumindest drei unterschiedlichen Stellen aufweist, sodass sich beim Betrieb der Lichtquelle (12) eine zweidimensionale Lichtintensitätsverteilung (24) ergibt, die eine Vielzahl an Extrema aufweist, (b) einer Detektionseinheit (30) zum Erfassen von Licht (20), die einen Bildsensor (26) aufweist, und (c) einer Auswerteeinheit (32). Erfindungsgemäß ist vorgesehen, dass (d) die Detektionseinheit (30) eine Linse (38) aufweist, die angeordnet ist zum Fokussieren des Lichts (20) in eine Fokalebene (F), (e) die Fokalebene (F) auf dem Bildsensor (26) liegt und (f) die Auswerteeinheit (32) ausgebildet ist zum automatischen (i) Erfassen von einer Positionsveränderung einer Position der Lichtintensitätsverteilung (24) auf dem Bildsensor (26) und (ii) Berechnen von zumindest je einer Orientierungswinkeländerung ($\Delta\rho$, Δv , $\Delta\gamma$) von zumindest zwei der Orientierungswinkel (ρ , v , γ) des Lichtabgabeelements (18) relativ zum Bildsensor (26) aus der Positionsveränderung.



Beschreibung

[0001] Die Erfindung betrifft ein Winkelmessgerät gemäß dem Oberbegriff von Anspruch 1.

[0002] Winkelmessgeräte werden verwendet, um einen Orientierungswinkel, also den Rollwinkel, den Gierwinkel oder den Nickwinkel, zwischen zwei Objekten zu messen. In der Regel wird der Winkel zwischen der Lichtquelle und der Detektionseinheit gemessen und daraus der Winkel zwischen den beiden Objekten bestimmt.

[0003] Wünschenswert ist bei Winkelmessgeräten, dass diese eine möglichst kleine Messunsicherheit haben.

[0004] Es wird zudem angestrebt, das Winkelmessgerät möglichst einfach aufzubauen, um die Komplexität und damit den Preis möglichst klein zu halten.

[0005] Häufig ist es zudem vorteilhaft, wenn nicht nur ein Orientierungswinkel, sondern zwei oder drei Orientierungswinkel simultan gemessen werden können.

[0006] Der Erfindung liegt die Aufgabe zugrunde, die Winkelmessung zu verbessern.

[0007] Die Erfindung löst das Problem durch ein gattungsgemäßes Winkelmessgerät, bei dem (d) die Detektionseinheit eine Linse aufweist, die angeordnet ist zum Fokussieren des Laserlichts in eine Fokalebene, (e) die Fokalebene auf dem Bildsensor liegt und (f) die Auswerteeinheit ausgebildet ist zum automatischen (i) Erfassen von einer Positionsveränderung einer Position der Lichtintensitätsverteilung auf dem Bildsensor und (ii) Berechnen von zumindest je einer Orientierungswinkeländerung von zumindest zwei der Orientierungswinkel des Lichtabgabeelements relativ zum Bildsensor aus der Positionsveränderung. Die Erfindung löst das Problem zudem durch ein Verfahren gemäß Anspruch 9.

[0008] Vorteilhaft an diesem Winkelmessgerät ist, dass es vergleichsweise einfach aufgebaut ist. Es ist daher in der Regel mit geringem Aufwand herstellbar. Insbesondere können zur Herstellung des Winkelmessgeräts zumeist Standardkomponenten verwendet werden.

[0009] Dennoch lassen sich mit dem erfindungsgemäßen Winkelmessgerät geringe Messunsicherheiten erreichen.

[0010] Erfindungsgemäßen ist zudem ein Winkel-Messaufbau mit einem erfindungsgemäßen Winkelmessgerät und einem Prüfling, an dem die Lichtquelle befestigt ist.

[0011] Vorteilhaft am erfindungsgemäßen Winkelmessgerät ist im Vergleich zu einem Autokollimator, dass es einen größeren Winkelmessbereich hat. Wegen der Lichtintensitätsverteilung existieren viele Strahlen, die in diesem Fall als durch die Maxima der Lichtintensitätsverteilung verlaufend angesehen werden können, die zur Bestimmung einer Winkeländerung verwendet werden können.

[0012] Im Rahmen der vorliegenden Beschreibung wird unter der Auswerteeinheit insbesondere ein System verstanden, das automatische Rechenschritte durchführen kann. Es ist möglich, nicht aber notwendig, dass diese Auswerteeinheit genau ein Gerät ist. Insbesondere ist es auch möglich, dass die Auswerteeinheit aus mehreren Teileinheiten besteht.

[0013] Unter dem Merkmal, dass die Auswerteeinheit ausgebildet ist zum automatischen Durchführen der angegebenen Schritte, wird insbesondere verstanden, dass die Auswerteeinheit ohne menschliches Eingreifen die angegebenen Schritte selbstständig, insbesondere kontinuierlich, durchführt.

[0014] Gemäß einer bevorzugten Ausführungsform ist die Lichtquelle eine Laserlichtquelle. In diesem Fall ist die zweidimensionale Lichtintensitätsverteilung ein zweidimensionales Interferenzmuster. In diesem Fall ist es ein Winkelmessgerät mit (a) einer Laserlichtquelle, die (i) einen Laser zum Erzeugen von Laserlicht und (ii) zumindest ein Lichtabgabeelement zum Befestigen an einem Prüfling zum Abgeben des Laserlichts an zumindest drei unterschiedlichen Stellen aufweist, sodass sich beim Betrieb der Laserlichtquelle ein zweidimensionales Interferenzmuster ergibt, das eine Vielzahl an Extrema aufweist, (b) einer Detektionseinheit zum Erfassen von Licht der Lichtquelle (das von den Lichtabgabeelementen abgegeben wurde), die einen Bildsensor aufweist, und (c) einer Auswerteeinheit, wobei (d) die Detektionseinheit eine Linse aufweist, die angeordnet ist zum Fokussieren des Lichts in eine Fokalebene, (e) die Fokalebene auf dem Bildsensor liegt und (f) die Auswerteeinheit ausgebildet ist zum automatischen (i) Erfassen von einer Positionsveränderung einer Position der Lichtintensitätsverteilung auf dem Bildsensor und (ii) Berechnen von zumindest einer, insbesondere zumindest zwei, Orientierungswinkeländerungen je eines Orientierungswinkels des Lichtabgabeelements.

[0015] Wenn im Folgenden von einer Laserlichtquelle gesprochen wird, ist damit stets auch eine Lichtquelle ganz allgemein gemeint.

[0016] Wenn im Folgenden von einem Interferenzmuster gesprochen wird, ist damit stets auch eine zweidimensionale Lichtintensitätsverteilung mit gemeint.

[0017] Unter dem Merkmal, dass die Linse das Laserlicht in eine Fokalebene fokussiert, wird insbesondere verstanden, dass die Linse parallel zueinander laufende Lichtstrahlen in eine Position in der Fokalebene bündelt. Insbesondere ist die Linse so angeordnet, dass die Position der Extrema des Interferenzmusters auf dem Bildsensor nur vom Einfallswinkel der durch die Extrema verlaufenden Strahlen auf die Linse abhängig ist.

[0018] Unter dem Merkmal, dass sich ein zweidimensionales Interferenzmuster ergibt, wird verstanden, dass das Interferenzmuster in der Wellenfrontebene existiert.

[0019] Unter der Positionsveränderung der Position der Lichtintensitätsverteilung auf dem Bildsensor wird insbesondere eine Verschiebung, insbesondere Änderung in einer Flächenkoordinate, oder eine Drehung verstanden.

[0020] Gemäß einer bevorzugten Ausführungsform umfasst die Laserlichtquelle zumindest zwei Scherplatten. Insbesondere bilden die Scherplatten das Lichtabgabeelement.

[0021] Alternativ besitzt die Laserlichtquelle zumindest drei Lichtleitfasern, die mit dem Laser zum Leiten des Laserlichts verbunden sind. Die Enden der Lichtleitfasern bilden das Lichtabgabeelement oder sind ein Teil eines Lichtabgabeelements.

[0022] Günstig ist es, wenn die Auswerteeinheit ausgebildet ist zum automatischen Bestimmen einer Interferenzmusterbild-Rotation des Interferenzmusters auf dem Bildsensor und Bestimmen eines Rollwinkels ρ des Lichtabgabeelements. Unter der Interferenzmusterbild-Rotation wird die Drehung um die Normale des Bildsensors verstanden. Auf diese Weise kann eine Änderung des Rollwinkels automatisch kontinuierlich gemessen werden. Ist ein Nullpunkt für den Rollwinkel vorgegeben, kann daraus der Rollwinkel automatisch absolut gemessen werden.

[0023] Alternativ oder zusätzlich ist die Auswerteeinheit ausgebildet zum automatischen Bestimmen einer x-Richtung-Interferenzmusterbild-Verschiebung des Interferenzmusters auf dem Bildsensor und zum Bestimmen eines Gierwinkels γ des Lichtabgabeelements relativ zum Bildsensor aus der x-Richtung-Interferenzmusterbild-Verschiebung. Unter der x-Richtung wird diejenige Richtung verstanden, in die sich das Interferenzmusterbild auf dem Bildsensor verschiebt, wenn sich ausschließlich der Gierwinkel ändert.

[0024] Wiederum alternativ oder zusätzlich ist die Auswerteeinheit ausgebildet zum automatischen Bestimmen einer y-Richtung-Interferenzmusterbild-

Verschiebung des Interferenzmusters auf dem Bildsensor und zum Bestimmen eines Nickwinkels ν des Lichtabgabeelements relativ zum Bildsensor aus der y-Richtung-Interferenzmusterbild-Verschiebung. Unter der y-Richtung wird diejenige Richtung verstanden, in die sich das Interferenzmusterbild auf dem Bildsensor verschiebt, wenn sich ausschließlich der Nickwinkel ändert.

[0025] Vorzugsweise ist das Winkelmessgerät zudem ein Positionsmessgerät und damit ein Positions- und Winkelmessgerät. Dazu besitzt das Positions- und Winkelmessgerät vorzugsweise (a) einen zweiten Bildsensor und (b) einen Strahlteiler zum Ablenken des Interferenzmusters auf den zweiten Bildsensor, wobei (c) der Strahlteiler und der zweite Bildsensor so angeordnet sind, dass das Interferenzmuster auf den zweiten Bildsensor (28) abgebildet wird. Zwei Lichtstrahlen, die parallel zueinander auf die Linse fallen, fallen vorzugsweise auch parallel auf den zweiten Bildsensor.

[0026] Es ist möglich, dass der zweite Bildsensor und der erste Bildsensor Teil einer gemeinsamen Systems sind. So kann der zweite Bildsensor durch einen Abschnitt des ersten Bildsensors gebildet sein. In anderen Worten ist es möglich, dass ein Detektorelement sowohl den ersten Bildsensor als auch den zweiten Bildsensor bildet.

[0027] Der Strahlteiler kann in Lichtausbreitungsrichtung hinter der ersten Linse angeordnet sein oder davor.

[0028] Vorzugsweise ist die Auswerteeinheit ausgebildet zum automatischen (i) Bestimmen zumindest eines Extremum-Extremum-Abstands und/oder einer Extremum-Extremum-Abstandsänderung zweier Extrema zueinander und (ii) Berechnen eines ersten Lichtquelle-Detektor-Abstands des ersten Bildsensors vom Lichtabgabeelement aus dem zumindest einen Extremum-Extremum-Abstand und/oder der Extremum-Extremum-Abstandsänderung.

[0029] Unter einem Extremum wird insbesondere auch ein charakteristischer Punkt verstanden, aus dem eine Lageveränderung des Extremums im engeren Sinne berechenbar ist.

[0030] Unter dem Merkmal, dass der Extremum-Extremum-Abstand bestimmt wird, wird insbesondere auch verstanden, dass eine Größe berechnet wird, aus der der Extremum-Extremum-Abstand berechenbar ist. Beispielsweise können auch die Wendepunkte der Intensitätsverteilung bestimmt werden. Maßgeblich ist lediglich, dass ein Messwert gewonnen wird, der dem Extremum-Extremum-Abstand entspricht. Vorzugsweise ist der Extremum-Extremum-Abstand der Maximum-Maximum-

Abstand zweier benachbarter Maxima. Dieser Maximum-Maximum-Abstand ist besonders leicht zu bestimmen.

[0031] Alternativ oder zusätzlich ist die Auswertereinheit ausgebildet zum automatischen (i) Bestimmen einer x"-Richtung-Interferenzmusterbild-Verschiebung und/oder einer y"-Richtung-Interferenzmusterbild-Verschiebung des Interferenzmusters auf dem zweiten Bildsensor und (ii) Bestimmen einer Verschiebung des Lichtabgabeelements relativ zur Detektionseinheit aus der x"-Richtung-Interferenzmusterbild-Verschiebung und/oder der y"-Richtung-Interferenzmusterbild-Verschiebung. Diese Verschiebung bezieht sich auf die Verschiebung auf dem zweiten Bildsensor, daher tragen die Koordinaten zwei Apostrophe.

[0032] Um eine besonders hohe Messgenauigkeit zu erreichen, kann es vorteilhaft sein, die Intensitätsverteilung, die vom Bildsensor gemessen wird, zumindest lokal mittels einer Funktion anzupassen, beispielsweise mittels einer Parabel oder einer Gauß-Funktion.

[0033] Vorzugsweise besitzt das Position- und Winkelmessgerät eine zweite Linse, die das Interferenzmuster auf den zweiten Bildsensor abbildet. Ist die erste Linse vorhanden, bilden die erste Linse und die zweite Linse zusammen die Intensitätsverteilung bzw. das Interferenzmuster auf den Bildsensor ab. Insbesondere sind der Strahlteiler, die zweite Linse und der zweite Bildsensor so angeordnet, dass zwei Lichtstrahlen, die parallel zueinander auf die Linse fallen, auch parallel auf den zweiten Bildsensor fallen.

[0034] Um eine möglichst geringe Messunsicherheit erreichen, ist es vorteilhaft, wenn der Laser frequenzstabilisiert ist. Beispielsweise kann der Laser mittels einer Absorptionzelle stabilisiert sein.

[0035] Um ein Interferenzmuster mit ausgeprägten Extrema zu erzeugen, ist es von Vorteil, wenn die Kohärenzlänge zumindest so lang ist wie der Weg zwischen Lichtquelle und dem Ort, an dem sich das Interferenzmuster bildet, beispielsweise also vom Laser bis hinter zumindest eine Scherplatte. Günstig ist es, wenn die Kohärenzlänge zumindest 1 Meter beträgt. Als gut geeignet hat sich ein Helium-Neon-Laser herausgestellt.

[0036] Es hat sich als günstig herausgestellt, wenn das Laserlicht vom Lichtabgabeelement an zumindest drei Lichtabgabeöffnungen abgegeben wird, die ein gleichseitiges Dreieck bilden.

[0037] Die Wellenlänge des Lasers und der erste Lichtquelle-Detektor-Abstand sind so gewählt, dass zumindest zwei Extrema auf dem Bildsensor liegen.

Es ist dann stets möglich, die Orientierungswinkeländerungen zu Erfassen.

[0038] Um einen möglichst geringen systematischen Messfehler zu verursachen, ist es vorteilhaft, wenn die erste Linse und/oder die zweite Linse für in Normalenrichtung parallel zur optischen Achse auftreffendes Licht im Wesentlichen aberrationsfrei ist. Unter diesem Merkmal wird insbesondere verstanden, dass die erste Linse und/oder die zweite Linse so wenig Aberration zeigen, dass die Aberration zu einer Verschiebung der Extrema um höchstens 50 nm relativ zu derjenigen Position führt, die bei einer idealen Linse erhalten würde.

[0039] Es hat sich herausgestellt, dass CMOS-Sensoren besonders gut als Bildsensor geeignet sind.

[0040] Im Folgenden wird die Erfindung anhand der beigefügten Zeichnungen näher erläutert. Dabei zeigt

Fig. 1 ein erfindungsgemäßes Winkelmessgerät in Form eines Positions- und Winkelmessgeräts zum Durchführen eines erfindungsgemäßen Verfahrens in einer perspektivischen Ansicht,

Fig. 2 in **Fig. 2a** den schematischen Aufbau des Winkelmessgeräts gemäß **Fig. 1**, in **Fig. 2b** eine schematische perspektivische Ansicht zweier Scherplatten des Winkelmessgeräts, in **Fig. 2c** eine schematische Frontansicht auf ein Lichtabgabeelement, und

Fig. 3 in **Fig. 3a** Bilder, die vom ersten Bildsensor aufgenommen wurden, und in **Fig. 3b**, die vom zweiten Bildsensor aufgenommen wurden.

Fig. 4 zeigt schematisch eine alternative Lichtquelle für ein erfindungsgemäßes Winkelmessgerät.

[0041] **Fig. 1** zeigt ein Winkelmessgerät 10, das im vorliegenden Fall als Positions- und Winkelmessgerät ausgebildet ist und eine Lichtquelle 12 in Form einer Laserlichtquelle aufweist. Die Laserlichtquelle 12 besitzt einen Laser 14, der mittels eines Lichtleiters 16 mit einem Lichtabgabeelement 18 verbunden ist. Das Lichtabgabeelement 18 besitzt drei Lichtabgabeöffnungen 22.i (i = 1, 2, 3), aus denen Licht 20, im vorliegenden Fall Laserlicht 20, des Lasers 14 austritt.

[0042] Das Laserlicht 20, das aus den drei Lichtabgabeöffnungen 22.i austritt, ist kohärent und die Teilstrahlen, die aus den Lichtabgabeöffnungen 22.i austreten weisen eine feste Phasenbeziehung untereinander auf. Es bildet sich daher ein zweidimensionales Interferenzmuster 24.

[0043] Das Laserlicht 20 fällt auf einen ersten Bildsensor 26 und einen zweiten Bildsensor 28 einer Detektionseinheit 30. Die Bildsensoren nehmen mit einer Bildaufnahmefrequenz f_B Bilder auf und senden diese an eine Auswerteeinheit 32. Vorzugsweise liegt die Bildaufnahmefrequenz bei zumindest $f_B = 5$ Hz und/oder bei maximal $f_B = 1$ kHz.

[0044] Das Lichtabgabeelement ist an einem Prüfling 34 befestigt und aus der Lage des Lichtabgabeelements 18 kann daher bestimmt werden, unter welchen Orientierungswinkeln der Prüflings 34 orientiert ist. Die Orientierungswinkel sind der Rollwinkel ρ , der Nickwinkel ν und der Gierwinkel γ . Eine Orientierungswinkeländerung ist eine Rollwinkeländerung $\Delta\rho$, eine Nickwinkeländerung $\Delta\nu$ oder eine Gierwinkeländerung $\Delta\gamma$.

[0045] Fig. 2 a zeigt schematisch den Aufbau der Detektionseinheit 30 des Winkelmessgeräts 10. Eingezeichnet sind hypothetische Lichtstrahlen 36.j, die Linien durch jeweilige Intensitätsmaxima des Interferenzmusters 24 (siehe Fig. 1) darstellen.

[0046] Es ist zu erkennen, dass das Winkelmessgerät 10 eine erste Linse 38 aufweist. Die erste Linse 38 fokussiert das Laserlichts 20 in eine Fokalebene F, die auf dem Bildsensor 26 liegt. Genauer gesagt fokussiert die erste Linse 38 jeden gedachten Strahl, der durch jeweils ein Maximum der Lichtintensitätsverteilung verläuft, auf einen Punkt in der Fokalebene, dessen Position auf dem Bildsensor von dem Winkel des Strahls vor der Linse 38 abhängt. Für entlang der optischen Achse A einfallendes Licht ist die erste Linse 38 im vorliegenden Fall im Wesentlichen aberrationsfrei.

[0047] Fig. 3a zeigt im linken Teilbild ein Bild, das vom Bildsensor 26 aufgenommen wurde. Das mittlere Teilbild zeigt das Bild aus dem linken Teilbild nach Anwendung eines Gauß-Filters. Im rechten Teilbild sind die Maxima N eingezeichnet, die von der Auswerteeinheit 32 durch Anpassen mit einer Parabel erhalten wurden.

[0048] Die Auswerteeinheit 32 bestimmt aus den Koordinaten der Maxima $N(t)$ in Abhängigkeit von der Zeit t eine Interferenzmusterbild-Rotation in Form der Drehung der Maxima um eine gedachte Drehachse um einen Rotationswinkel α . Eine Änderung des Rollwinkels ρ entspricht einer Rotationswinkeländerung $\Delta\alpha$ des Rotationswinkels α .

[0049] Vorteilhaft ist, wenn der Bildsensor so angeordnet ist, dass die Drehachse senkrecht durch den Bildsensormittelpunkt verläuft.

[0050] Die Auswerteeinheit 32 bestimmt zudem eine x-Richtung-Interferenzmusterbild-Verschiebung in eine x'-Richtung und/oder eine y-Richtung-Interfe-

renzmusterbild-Verschiebung in eine y'-Richtung. Es sei angemerkt, dass dieses Koordinatensystem nicht dem in Fig. 1 angegebenen Koordinatensystem für den Prüfling entspricht. Aus diesen Verschiebungen werden die Änderungen der Gierwinkel γ und der Nickwinkel ν bestimmt. Sofern ein Nullpunkt für einen der Orientierungswinkel ρ , γ , ν festgelegt ist, kann der entsprechende Orientierungswinkel absolut bestimmt werden.

[0051] Der Gierwinkel folgt aus der Gleichung

$$\gamma = \arctan \frac{\Delta x}{f_{38}},$$

wobei f_{38} die Brennweite der ersten Linse 38 ist und Δx die x-Richtung-Interferenzmusterbild-Verschiebung.

[0052] Fig. 2a zeigt zudem, dass das Winkelmessgerät eine zweite Linse 40 aufweist, die das Interferenzmuster 24 auf den zweiten Bildsensor 28 projiziert. Die zweite Linse 40 ist hinter einem Strahlteiler 42 angeordnet.

[0053] Fig. 3b zeigt ganz links ein Bild, wie es vom zweiten Bildsensor 28 aufgenommen wird. Das mittlere Teilbild zeigt das Bild nach Anwendung eines Gauß-Filters. Im rechten Teilbild ist das Maximum eingezeichnet, das durch Anpassen mittels einer Parabel von der Auswerteeinheit 32 berechnet wurde.

[0054] Die Auswerteeinheit 32 berechnet einen Extremum-Extremum-Abstand $d_{EE}(t)$ in Abhängigkeit von der Zeit t . Aus diesem Extremum-Extremum-Abstand $d_{EE}(t)$ berechnet sich ein erster Lichtquelle-Detektor-Abstand d_{LD1} (vergleiche Fig. 1) gemäß

$$d_{LD1} = d_{LO} + d_{OD1} = \frac{d_{EE}(t)}{M * \tan\beta} + d_{OD1}$$

mit dem ersten Lichtquelle-Detektor-Abstand d_{LD1} , dem Lichtquelle-Objektebene-Abstand d_{LO} und dem ersten Objektebene-Detektor-Abstand d_{OD1} . Dabei gilt

$$d_{LO} = \frac{d_{EE}(t)}{M * \tan\beta}$$

mit der Vergrößerung M durch die optischen Bauteile, insbesondere die Linsen 38, 40, und dem Winkel β zwischen zwei Strahlen durch benachbarte Extrema. d_{LO} ist der Abstand zwischen dem Lichtabgabeelement 18 und einer Objektebene O.

[0055] d_{OD1} ist der konstante erste Objektebene-Detektor-Abstand zwischen der Objektebene O und dem ersten Bildsensor 26, der im Rahmen einer Kalibrierung einmalig gemessen werden kann. Da

der erste Objektebene-Detektor-Abstand d_{OD1} . konstant ist, kann er für die Messung eine Veränderung des ersten Lichtquelle-Detektor-Abstands d_{LD1} ignoriert werden.

[0056] Fig. 2b zeigt schematisch eine erste Scherplatte 46.1 und eine zweite Scherplatte 46.2. Laserlicht 20 vom Laser 14 (vergleiche **Fig. 1**) trifft auf die erste Scherplatte 46.1. Durch zweifache Reflexion an den Oberflächen entstehen zwei Teilstrahlen 48.1, 48.2. Diese Teilstrahlen fallen auf die zweite Scherplatte 46.2, sodass vier Teilstrahlen 50.1, 50.2, 50.3, 50.4 entstehen. Diese interferieren miteinander und bilden das Interferenzmuster 24.

[0057] Fig. 4 zeigt schematisch eine alternative Lichtquelle 12 für ein erfindungsgemäßes Winkelmessgerät, die ein Lichtabgabeelement in Form einer Leuchtdiode 44 und ein Mikrolinsenarray 52 aufweist.

Bezugszeichenliste

10	Winkelmessgerät
12	Lichtquelle, Laserlichtquelle
14	Laser
16	Lichtleiter
18	Lichtabgabeelement
20	Licht, Laserlicht
22	Lichtausgabeöffnungen
24	Lichtintensitätsverteilung, Interferenzmuster
26	erster Bildsensor
28	zweiter Bildsensor
30	Detektionseinheit
32	Auswerteeinheit
34	Prüfling
36	Lichtstrahlen
38	erste Linse
40	zweite Linse
42	Strahlteiler
44	Leuchtdiode
46	Scherplatte
48	Teilstrahl
50	Teilstrahl
52	Mikrolinsenarray
α	Rotationswinkel
β	Winkel zwischen zwei Strahlen durch benachbarte Extrema

ρ	Rollwinkel
γ	Gierwinkel
ν	Nickwinkel
Δx	x-Richtung-Interferenzmusterbild-Verschiebung
Δy	y-Richtung-Interferenzmusterbild-Verschiebung
A	optische Achse
Δd_{EE}	Extremum-Extremum-Abstandsänderung
d_{EE}	Extremum-Extremum-Abstand
d_{LO}	Lichtquelle-Objektebene-Abstand
d_{OD1}	erster Objektebene-Detektor-Abstand
d_{OD2}	zweiter Objektebene-Detektor-Abstand
d_{LD1}	erster Lichtquelle-Detektor-Abstand
f_{38}	Brennweite der ersten Linse
f_{52}	Brennweite des Mikrolinsenarrays
i	Laufindex
j	Laufindex
F	Fokalebene
O	Objektebene
N	Maxima des Interferenzmusters
t	Zeit

Patentansprüche

1. Winkelmessgerät mit
 - (a) einer Lichtquelle (12) zum Erzeugen von Licht (20), die zumindest ein Lichtabgabeelement (18) zum Befestigen an einem Prüfling (34) zum Abgeben des Lichts (20) an zumindest drei unterschiedlichen Stellen aufweist, sodass sich beim Betrieb der Lichtquelle (12) eine zweidimensionale Lichtintensitätsverteilung (24) ergibt, die eine Vielzahl an Extrema aufweist,
 - (b) einer Detektionseinheit (30) zum Erfassen von Licht (20), die einen Bildsensor (26) aufweist, und
 - (c) einer Auswerteeinheit (32), **dadurch gekennzeichnet**, dass
 - (d) die Detektionseinheit (30) eine Linse (38) aufweist, die angeordnet ist zum Fokussieren des Lichts (20) in eine Fokalebene (F),
 - (e) die Fokalebene (F) auf dem Bildsensor (26) liegt und
 - (f) die Auswerteeinheit (32) ausgebildet ist zum automatischen
 - (i) Erfassen von einer Positionsveränderung einer Position der Lichtintensitätsverteilung (24) auf dem Bildsensor (26) und
 - (ii) Berechnen von zumindest je einer Orientierungswinkeländerung ($\Delta\rho$, $\Delta\nu$, $\Delta\gamma$) von zumindest zwei

der Orientierungswinkel (ρ , v , γ) des Lichtabgabeelements (18) relativ zum Bildsensor (26) aus der Positionsveränderung.

2. Winkelmessgerät nach Anspruch 1, **dadurch gekennzeichnet**, dass die Lichtquelle (12) eine Laserlichtquelle (12) ist, die (i) einen Laser (14) zum Erzeugen von Licht (20) in Form von Laserlicht (20) aufweist,

(ii) wobei das Lichtabgabeelement (18) zum Abgeben des Laserlichts (20) an zumindest drei unterschiedlichen Stellen ausgebildet ist, sodass sich beim Betrieb der Laserlichtquelle (12) eine zweidimensionale Lichtintensitätsverteilung (24) in Form eines zweidimensionalen Interferenzmusters (24) ergibt,

3. Winkelmessgerät nach einem der vorstehenden Ansprüche, **dadurch gekennzeichnet**, dass die Laserlichtquelle (12)

(a) zumindest zwei Scherplatten (46.1, 46.2) und/oder

(b) zumindest drei Lichtleitfasern aufweist.

4. Winkelmessgerät nach einem der vorstehenden Ansprüche, **dadurch gekennzeichnet**, dass die Auswerteeinheit ausgebildet ist zum automatischen

(i) Bestimmen einer Interferenzmusterbild-Rotation des Interferenzmusters (24) auf dem Bildsensor (26) und Bestimmen eines Rollwinkels (ρ) des Lichtabgabeelements (18) relativ zum Bildsensor (26) aus der Interferenzmusterbild-Rotation und/oder

(ii) Bestimmen einer x' -Richtung-Interferenzmusterbild-Verschiebung ($\Delta x'$) des Interferenzmusters (24) auf dem Bildsensor (26) und Bestimmen eines Gierwinkels (γ) des Lichtabgabeelements (18) relativ zum Bildsensor aus der x' -Richtung-Interferenzmusterbild-Verschiebung ($\Delta x'$) und/oder

(iii) Bestimmen einer y' -Richtung-Interferenzmusterbild-Verschiebung ($\Delta y'$) des Interferenzmusters (24) auf dem Bildsensor (26) und Bestimmen eines Nickwinkels (v) des Lichtabgabeelements (18) relativ zum Bildsensor (26) aus der y' -Richtung-Interferenzmusterbild-Verschiebung ($\Delta y'$).

5. Positions- und Winkelmessgerät nach einem der vorstehenden Ansprüche, **gekennzeichnet durch**

(a) einen zweiten Bildsensor (28) und

(b) einen Strahlteiler (42) zum Ablenken des Interferenzmusters (24) auf den zweiten Bildsensor (28), (c) wobei der Strahlteiler (42) und der zweite Bildsensor (28) so angeordnet sind, dass das Interferenzmuster (24) auf den zweiten Bildsensor (28) abgebildet wird,

(d) wobei die Auswerteeinheit (32) ausgebildet ist zum automatischen

(i) Bestimmen zumindest eines Extremum-Extremum-Abstands (d_{EE}) und/oder einer Extremum-

Extremum-Abstandsänderung (Δd_{EE}) zweier Extrema zueinander und

(ii) Berechnen eines ersten Lichtquelle-Detektor-Abstands (d_{LD1}) des ersten Bildsensors (26) vom Lichtabgabeelement (18) aus dem zumindest einen Extremum-Extremum-Abstand (d_{EE}) und/oder der Extremum-Extremum-Abstandsänderung (Δd_{EE})

(e) wobei die Auswerteeinheit (32) ausgebildet ist zum automatischen

(i) Bestimmen einer x'' -Richtung-Interferenzmusterbild-Verschiebung ($\Delta x''$) und/oder einer y'' -Richtung-Interferenzmusterbild-Verschiebung ($\Delta y''$) des Interferenzmusters (24) auf dem zweiten Bildsensor (28) und

(ii) Bestimmen einer Verschiebung (Δx , Δy) des Lichtabgabeelements (18) relativ zur Detektionseinheit (30) aus der x'' -Richtung-Interferenzmusterbild-Verschiebung ($\Delta x''$) und/oder der y'' -Richtung-Interferenzmusterbild-Verschiebung ($\Delta y''$).

6. Positions- und Winkelmessgerät nach Anspruch 5, **gekennzeichnet durch** eine zweite Linse (40), die das Interferenzmuster (24) auf den zweiten Bildsensor (28) abbildet.

7. Positions- und Winkelmessgerät nach einem der vorstehenden Ansprüche, **dadurch gekennzeichnet**, dass der Laser (14)

(a) frequenzstabilisiert ist und/oder

(b) eine Kohärenzlänge von zumindest 1 Meter hat.

8. Positions- und Winkelmessgerät nach einem der vorstehenden Ansprüche, **dadurch gekennzeichnet**, dass

(a) die Lichtabgabeöffnungen (22) ein gleichseitiges Dreieck bilden und/oder

(b) die Wellenlänge des Lasers (14) und der erste Lichtquelle-Detektor-Abstand (d_{LD1}) so gewählt sind, dass zumindest zwei Extrema auf dem ersten Bildsensor (26) liegen.

9. Verfahren zur Winkelmessung, mit den automatisch durchgeführten Schritten:

(a) Aussenden von Laserlicht (20) mittels einer Laserlichtquelle (12), die

(i) einen Laser (14) zum Erzeugen des Laserlichts (20) und

(ii) zumindest ein Lichtabgabeelement (18), das an einem Prüfling (34) befestigt ist, aufweist, an zumindest drei unterschiedlichen Stellen, sodass sich ein zweidimensionales Interferenzmuster (24) ergibt, das eine Vielzahl an Extrema aufweist,

(b) Erfassen von Laserlicht (20) der Lichtquelle (12), das von den Lichtabgabeelementen (18) abgegeben wurde, mittels eines Bildsensors (26) einer Detektionseinheit (30),

(c) wobei die Detektionseinheit eine Linse (38) aufweist, die angeordnet ist zum Fokussieren des Laserlichts (20) in eine Fokalebene (F), wobei die Fokalebene (F) auf dem Bildsensor (26) liegt,

(d) Erfassen von einer Positionsveränderung einer Position des Interferenzmusters (24) auf dem Bildsensor (26) und

(e) Berechnen von zumindest je einer Orientierungswinkeländerung ($\Delta\rho$, Δv , $\Delta\gamma$) von zumindest einem der Orientierungswinkel (ρ, v, γ) des Lichtabgabeelements (18) relativ zum Bildsensor (26) aus der Positionsveränderung.

10. Verfahren nach Anspruch 9, **gekennzeichnet durch** die Schritte:

(a) Bestimmen einer Interferenzmusterbild-Rotation des Interferenzmusters (24) auf dem Bildsensor (26) und Bestimmen eines Rollwinkels (ρ) des Lichtabgabeelements (18) relativ zum Bildsensor (26) aus der Interferenzmusterbild-Rotation und/oder

(b) Bestimmen einer x'-Richtung-Interferenzmusterbild-Verschiebung des Interferenzmusters auf dem Bildsensor (26) und Bestimmen eines Gierwinkels (γ) des Lichtabgabeelements (18) relativ zum Bildsensor (26) aus der x'-Richtung-Interferenzmusterbild-Verschiebung und/oder

(c) Bestimmen einer y'-Richtung-Interferenzmusterbild-Verschiebung des Interferenzmusters auf dem Bildsensor und

Bestimmen eines Nickwinkels (v) des Lichtabgabeelements (18) relativ zum Bildsensor (26) aus der y'-Richtung-Interferenzmusterbild-Verschiebung.

Es folgen 4 Seiten Zeichnungen

Anhängende Zeichnungen

10 ↙

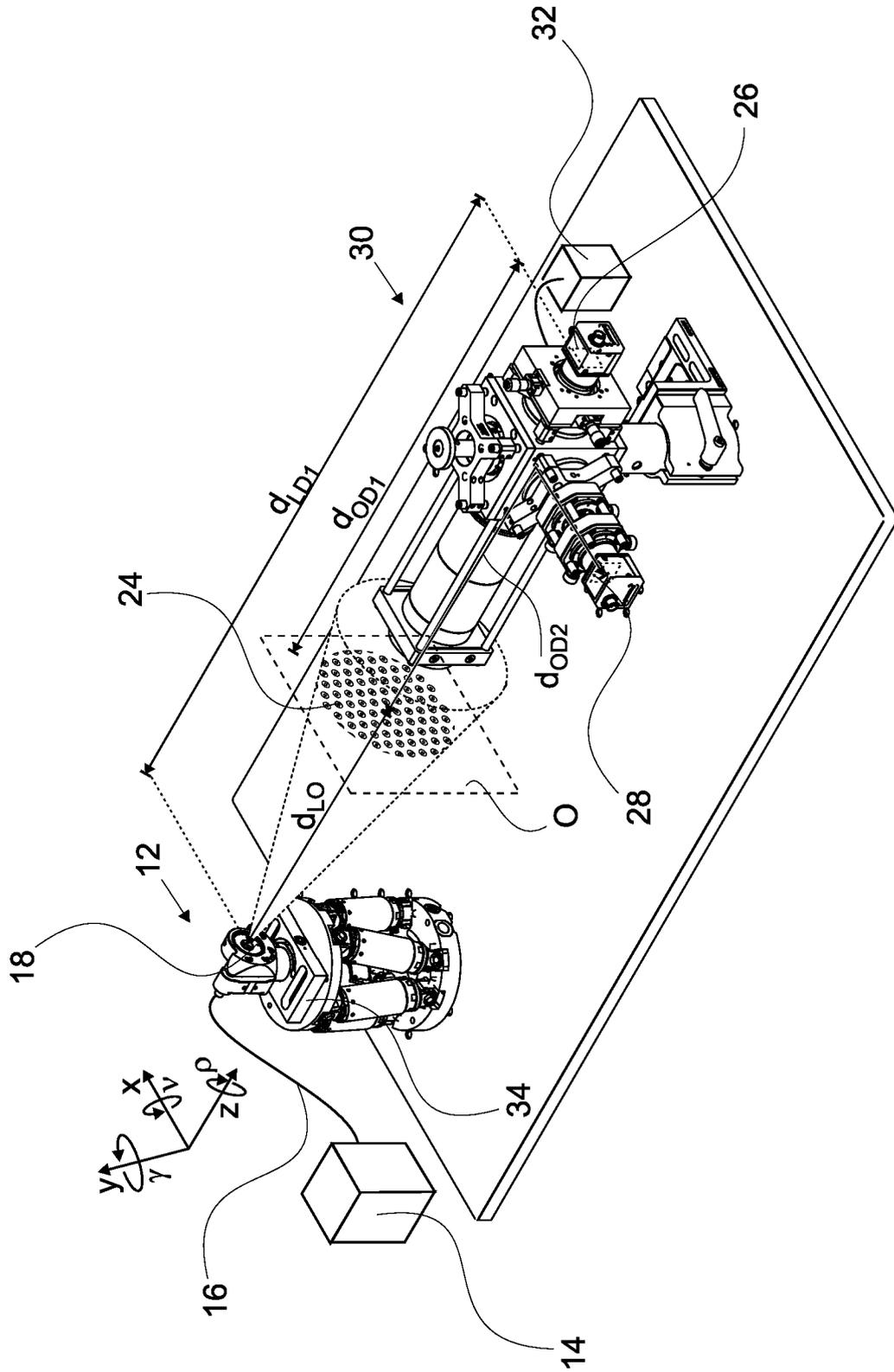


Fig. 1

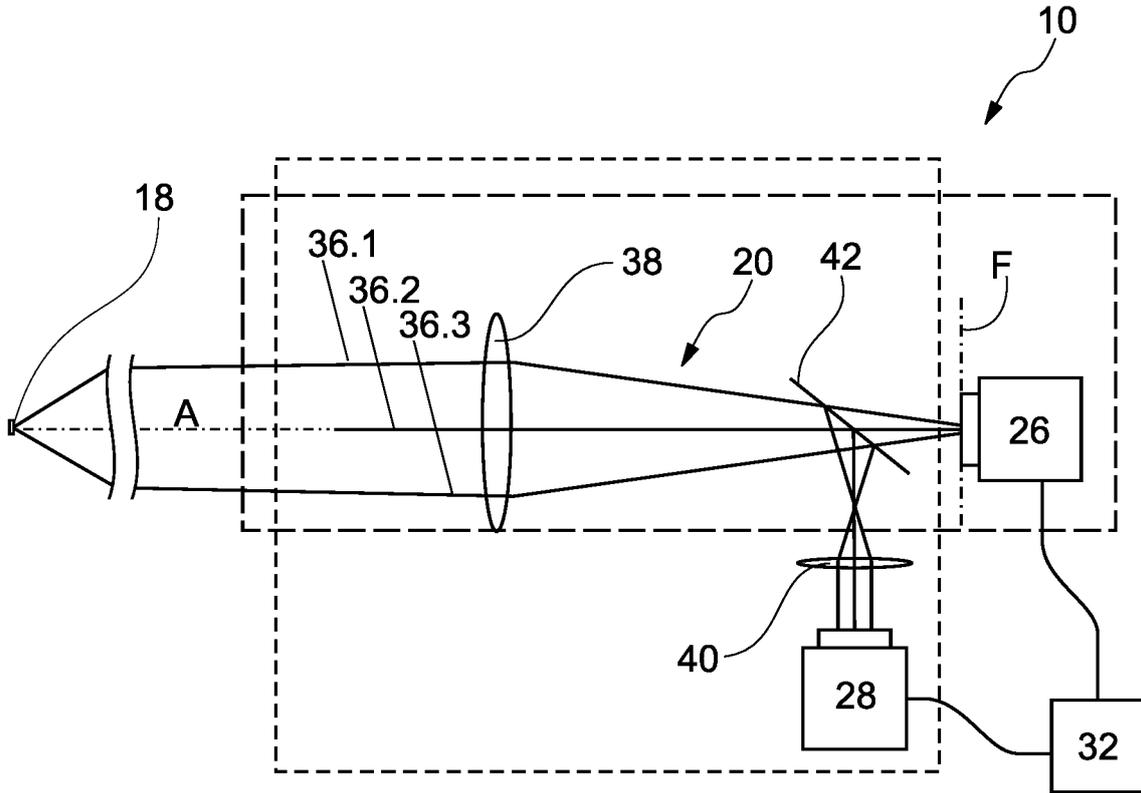


Fig. 2a

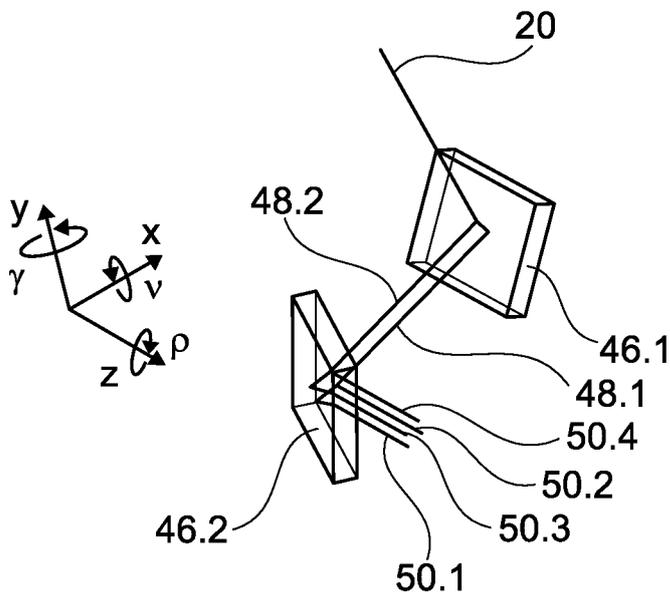


Fig. 2b

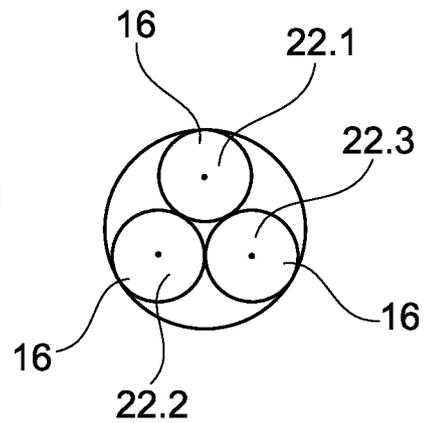


Fig. 2c

Fig. 2

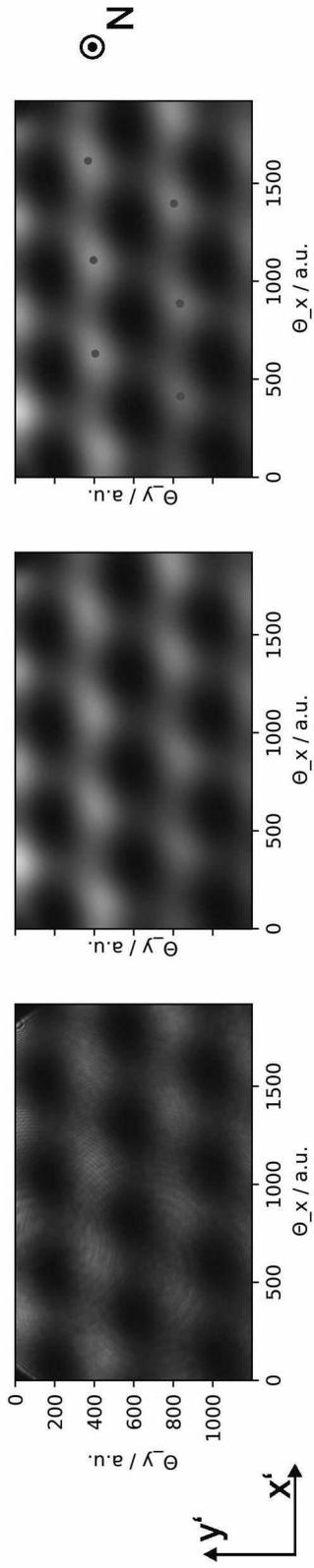


Fig. 3a

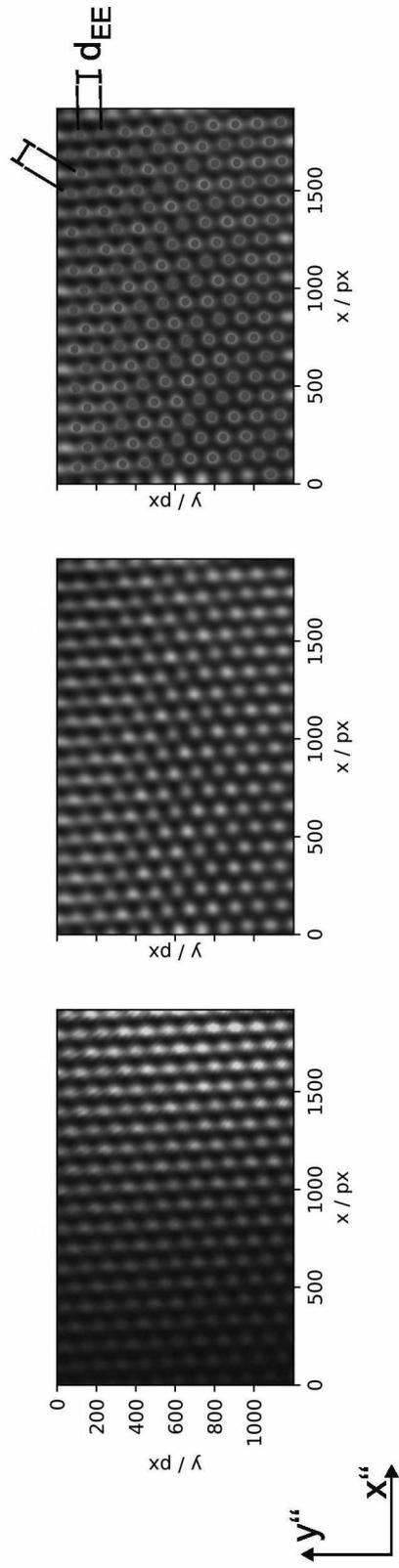


Fig. 3b

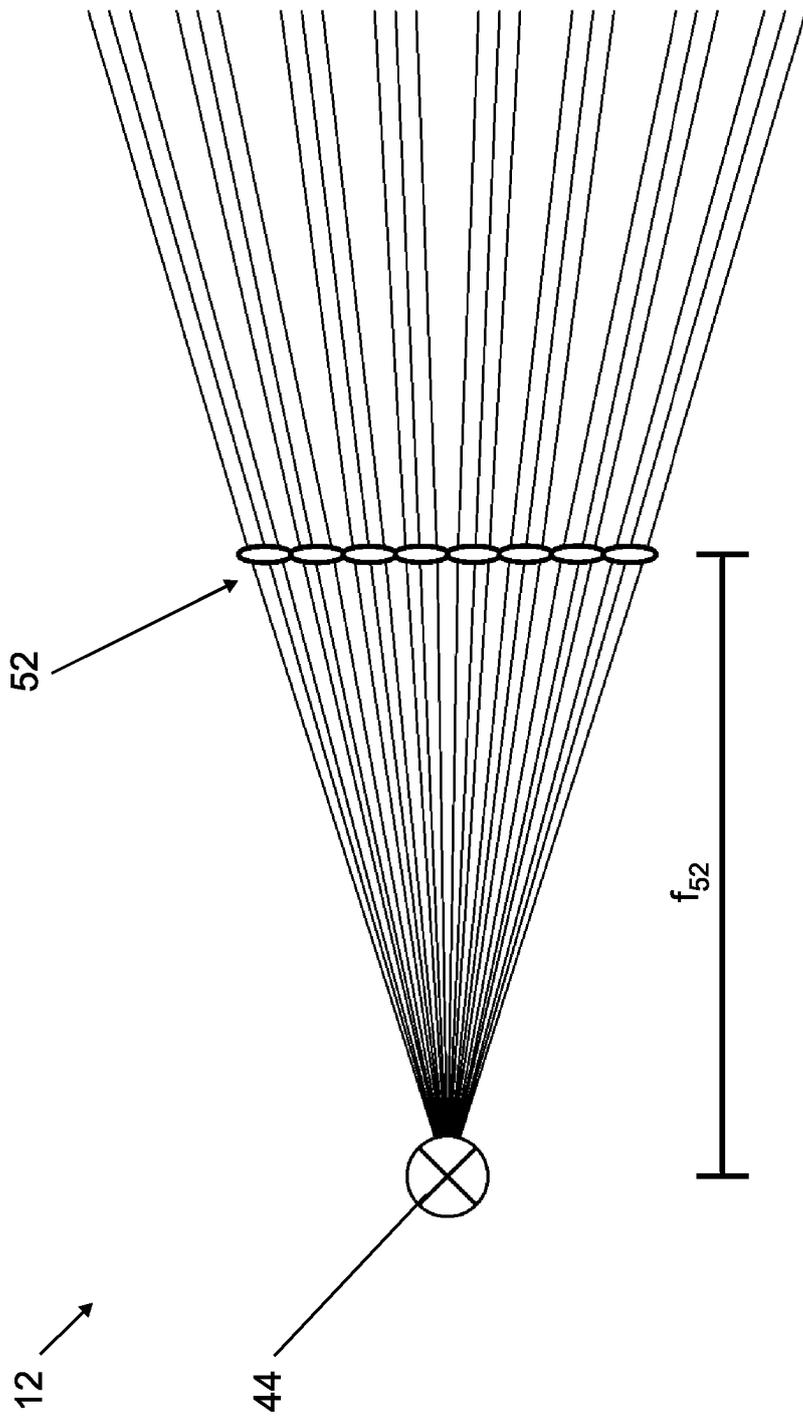


Fig. 4