



(12) **Offenlegungsschrift**

(21) Aktenzeichen: **10 2019 120 875.0**
(22) Anmeldetag: **01.08.2019**
(43) Offenlegungstag: **04.02.2021**

(51) Int Cl.: **G01B 9/02 (2006.01)**
G01B 11/02 (2006.01)
G01B 11/24 (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

(74) Vertreter:
Gramm, Lins & Partner Patent- und Rechtsanwälte PartGmbB, 38122 Braunschweig, DE

(72) Erfinder:
Schulz, Michael, Dr., 38550 Isenbüttel, DE

(56) Ermittelte Stand der Technik:
DE 10 2018 111 466 A1

GRIESMANN, U. [u.a.]: Measuring Form and Radius of Spheres with Interferometry. In: CIRP

Annals - Manufacturing Technology, Bd. 53, 2004, H. 1, S. 451-454. - ISSN 0007-8506 (P), 1726-0604 (E). DOI: 10.1016/S0007-8506(07)60737-9. URL: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0007850607607379/pdf?md5=e649962b35a2ed476b84da10801f33cb&pid=s2.0-S0007850607607379-main.pdf> [abgerufen am 2018-09-27].

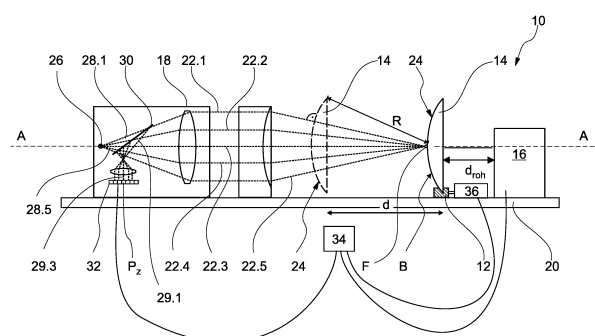
SELBERG, Lars A.: Radius measurement by interferometry. In: Optical Engineering (OE), Bd. 31, 1992, H. 9, S. 1961-1966. - ISSN 0036-1860; 0091-3286 (P), 1560-2303 (E). DOI: 10.1117/12.59905. URL: <https://www.spiedigitallibrary.org/journalArticle/Download?fullDOI=10.1117%2F12.59905> [abgerufen am 2018-09-27].

Prüfungsantrag gemäß § 44 PatG ist gestellt.

Die folgenden Angaben sind den vom Anmelder eingereichten Unterlagen entnommen.

(54) Bezeichnung: **Verfahren zum Messen eines Konturparameters eines Prüflings, der zumindest teilweise eine Sphärensegmentform hat und Konturparametermessgerät**

(57) Zusammenfassung: Die Erfindung betrifft ein Verfahren zum Messen eines Konturparameters (R) eines Prüflings (14), der zumindest teilweise eine Sphärensegmentform hat, mit den Schritten: (a) Bewegen des Prüflings (14) relativ zu einem Präzisions-Längenmessgerät (16) und einem flächenmessenden Interferometer (18) und (b) Messen einer Roh-Abstandsänderung (d_{roh}) zwischen dem Prüfling (14) und dem Präzisions-Längenmessgerät (16) mittels des Präzisions-Längenmessgeräts (16). Erfindungsgemäß sind die Schritte: (c) Bestimmen einer Interferometer-Phasenlage, die von der Abstandsänderung abhängt, mittels des flächenmessenden Interferometers (18) und (d) Bestimmen der Abstandsänderung (d) vom Prüfling (14) zum flächenmessenden Interferometer (18) aus der Roh-Abstandsänderung (d_{roh}) und der Interferometer-Phasenlage vorgesehen.



Beschreibung

[0001] Die Erfindung betrifft ein Verfahren zum Messen eines Konturparameters eines Prüflings, der zumindest teilweise eine Sphärensegmentform hat, mit den Schritten:

(a) Bewegen des Prüflings relativ zu einem Präzisions-Längenmessgerät und einem flächenmessenden Interferometer und (b) Messen einer Roh-Abstandsänderung zwischen dem Prüfling und dem Präzisions-Längenmessgerät mittels des Laser-Interferometers.

[0002] Gemäß einem zweiten Aspekt betrifft die Erfindung ein Konturparametermessgerät zum Messen eines Konturparameters eines Prüflings, der zumindest teilweise eine Sphärensegmentform hat, mit (i) einem Präzisions-Längenmessgerät zum Bestimmen einer Roh-Abstandsänderung zwischen dem Prüfling und dem Präzisions-Längenmessgerät, (ii) einem flächenmessenden Interferometer zum Vermessen einer Oberflächenkontur des Prüflings, sodass Konturdaten erhalten werden, und (iii) einer Auswerteeinheit. Vorzugsweise besitzt das Konturparametermessgerät eine Aufnahme zum Bewegen des Prüflings.

[0003] Um die Abweichung der Oberfläche eines Prüflings von der idealen Kugelsegmentform zu bestimmen, werden flächenmessende Interferometer verwendet. Der Prüfling wird einerseits in einer Fokusposition positioniert, bei der die Lichtstrahlen des flächenmessenden Interferometers auf einen Punkt der Oberfläche des Prüflings fokussiert sind. Der Prüfling wird zudem in eine Konturmessposition gebracht, in der die Lichtstrahlen des flächenmessenden Interferometers senkrecht auf die Oberfläche des Prüflings fallen. In dieser Stellung wird ein Interferenzbild aufgenommen und daraus ein Konturparameter des Prüflings bestimmt, beispielsweise dessen Radius, lokaler Radius oder die lokale Abweichung von der idealen Kugelsegmentgestalt. Unter dem Radius wird insbesondere der Radius eines idealen Kugelsegments verstanden, das die reale Oberfläche optimal approximiert.

[0004] Für die Berechnung des Radius des Prüflings, der einen Konturparameter darstellt und sich auf den Radius, insbesondere den lokalen Radius, des Prüflings an der Stelle bezieht, an dem er Sphärensegmentform hat, muss der Abstand zwischen der Fokusposition und der Konturmessposition mit hoher Genauigkeit bekannt sein. Dazu wird typischerweise das Präzisions-Längenmessgerät verwendet, das von der nicht vom flächenmessenden Interferometer beleuchteten Rückseite des Prüflings auf den Prüfling oder die Aufnahme für den Prüfling gerichtet ist. Wird der Prüfling auf das flächenmessende Interferometer zu bewegt, so bewegt er sich folglich vom Präzisions-Längenmessgerät weg. Mit einem derartigen Kontur-

parametermessgerät lassen sich Messgenauigkeiten bei der Bestimmung des Radius in der Größenordnung von 100 Nanometer erreichen.

[0005] Der Erfindung liegt die Aufgabe zu Grunde, die Messunsicherheit zu verringern.

[0006] Die Erfindung löst das Problem durch ein gattungsgemäßes Verfahren mit den Schritten: (c) Bestimmen zumindest einer Interferometer-Phasenlage, die von der Abstandsänderung abhängt, mittels des flächenmessenden Interferometers und (d) Bestimmen der Abstandsänderung vom Prüfling zum flächenmessenden Interferometer aus der Roh-Abstandsänderung und der Interferometer-Phasenlage.

[0007] Gemäß einem zweiten Aspekt löst die Erfindung das Problem durch ein gattungsgemäßes Konturparametermessgerät, bei dem die Auswerteeinheit eingerichtet ist zum automatischen Durchführen eines Verfahrens mit den Schritten (a) zeitabhängiges Erfassen von Linearinterferometer-Abstandsdaten, die eine Roh-Abstandsänderung zwischen dem Prüfling und dem Präzisions-Längenmessgerät kodieren, (b) Erfassen einer Interferometer-Phasenlage des flächenmessenden Interferometers, wobei die Interferometer-Phasenlage von der Abstandsänderung abhängt, und (c) Berechnen der Abstandsänderung des Prüflings zum flächenmessenden Interferometer aus der Interferometer-Phasenlage und den Roh-Abstandsdaten.

[0008] Vorteilhaft an der Erfindung ist, dass die Messunsicherheit deutlich verringert werden kann. So ist eine Messunsicherheit für den Radius des Prüflings im Bereich seiner Sphärensegmentform von unter 100 Nanometern, insbesondere unter 50 Nanometern möglich. In der Regel liegt die Messunsicherheit oberhalb von 20 Nanometern. Insbesondere bedeutet dies eine Reduktion der Messunsicherheit gegenüber dem bisherigen Vorgehen auf ungefähr ein Zehntel.

[0009] Vorteilhaft ist zudem, dass in der Regel keine zusätzlichen Komponenten zu einem existierenden Konturparametermessgerät hinzugefügt werden muss, da lediglich oft ohnehin zur Verfügung stehende Daten effektiver genutzt werden.

[0010] Der Erfindung liegt die Erkenntnis zu Grunde, dass die wichtigste Quelle der Messunsicherheit bei dem bekannten Vorgehen daran liegt, dass sich der Abstand zwischen dem flächenmessenden Interferometer und dem Prüfling aufgrund thermischer Ausdehnung des Tisches, auf dem das flächenmessende Interferometer einerseits und die Aufnahme für den Prüfling andererseits montiert sind, ändert. Darüber hinaus misst das Präzisions-Längenmessgerät Abstandsdaten an einer weiter entfernten Stelle, und die Ausdehnung des optischen Tisches zwischen dem

Prüfling und dem Linearinterferometer verfälscht diesen Wert.

[0011] Es hat sich herausgestellt, dass die Helligkeitswerte, die vom flächenmessenden Interferometer erhalten werden, verwendet werden können, um die Phasenlage der entsprechenden zwei Lichtstrahlen, die zu der Phasenlage geführt haben, mit so hoher Genauigkeit zu bestimmen, dass die Messunsicherheit verringert werden kann, wenn die Messunsicherheit, die mit dem Präzisions-Längenmessgerät erreicht wird, hinreichend klein ist. Dann kann aus der Interferometer-Phasenlage die Abstandsänderung hochgenau bestimmt werden kann.

[0012] Im Rahmen der vorliegenden Beschreibung wird unter der Abstandsänderung der Abstand der Position des Prüflings in der Fokusposition von der Position des Prüflings in der Konturmessposition verstanden.

[0013] Unter dem Konturparameter wird insbesondere ein Parameter verstanden, der die Abweichung zumindest eines Teils des Prüflings von der idealen Sphärensegmentform oder eine Eigenschaft dieser Sphärensegmentform, beispielsweise dessen Radius, kodiert.

[0014] Unter dem Präzisions-Längenmessgerät wird insbesondere ein Messgerät verstanden, dessen Messunsicherheit kleiner ist als die Hälfte der Wellenlänge des flächenmessenden Interferometers. Vorzugsweise ist das Präzisions-Längenmessgerät ein Interferometer, insbesondere ein Interferometer, das genau einen Abstandswert liefert, sodass mittels des Präzisions-Längenmessgeräts die Roh-Abstandsänderung der Position des Prüflings in der Fokusposition und der Konturmessposition bestimmt werden kann. Alternativ kann das Präzisions-Längenmessgerät aber auch auf einem anderen Abstandsmessprinzip beruhen und beispielsweise ein Abstandsmesser mit einem Linearmaßstab sein.

[0015] Der Begriff Linearinterferometer-Abstandsdaten bezeichnet ganz allgemein die Daten, die den Abstand kodieren, auch wenn kein Interferometer verwendet wird. Der Name rührt von einer bevorzugten Ausgestaltung des Präzisions-Längenmessgeräts als Linear-Interferometer her, ist aber nicht einschränkend zu verstehen.

[0016] Unter dem flächenmessenden Interferometer wird insbesondere ein Interferometer verstanden, bei dem ein zweidimensionales Interferenzbild erhalten wird. Beispielsweise ist das flächenmessende Interferometer ein Fizeau-Interferometer oder ein Twyman-Green-Interferometer.

[0017] Das Bestimmen der Interferometer-Phasenlage umfasst insbesondere ein Bestimmen eines Hel-

ligkeitswertes zumindest eines Lichtstrahls, der durch Interferieren von zwei Lichtstrahlen, wie bei einem Interferometer üblich, zustande gekommen ist. Insbesondere wird die Interferometer-Phasenlage bestimmt, wenn der Prüfling in seiner Fokusposition ist und wenn der Prüfling in seiner Konturmessposition ist. Auf diese Weise lassen sich zusammen mit den Abstandsdaten des Präzisions-Längenmessgeräts die Abstandsänderungen mit hoher Genauigkeit bestimmen.

[0018] Der Prüfling ist, wie bei derartigen Aufbauten üblich, vorzugsweise zwischen dem Präzisions-Längenmessgerät und dem flächenmessenden Interferometer angeordnet.

[0019] Der Prüfling ist beispielsweise ein optisches Bauteil, beispielsweise eine Linse. Besonders wichtig ist eine geringe Messunsicherheit bei EUV (EUV = extrem ultraviolett)-Bauteilen, die insbesondere zum Belichten im Rahmen der Herstellung von Chips verwendet werden. Aufgrund der geringen Wellenlänge müssen derartige Bauteile eine besonders hohe Formtreue haben. Besonders wichtig ist eine geringe Messunsicherheit auch bei Referenzflächen für andere hochgenaue Formmessgeräte.

[0020] Vorzugsweise umfasst das Verfahren die Schritte (a) Bringen des Prüflings in eine Fokusposition, bei der ein Fokus der Lichtstrahlen des flächenmessenden Interferometers auf einer Oberfläche des Prüflings liegt, (b) Bewegen des Prüflings aus der Fokusposition in eine Konturmessposition, in der die Lichtstrahlen des flächenmessenden Interferometers senkrecht auf die Oberfläche des Prüflings fallen, (c) Vermessen einer Oberflächenkontur des Prüflings mittels des flächenmessenden Interferometers, wenn der Prüfling in der Konturmessposition ist, sodass Konturdaten erhalten werden und (d) Berechnen des Konturparameters aus der Roh-Abstandsänderung und den Konturdaten.

[0021] Das flächenmessende Interferometer hat eine optische Achse. Diese optische Achse hat die Eigenschaft, dass ein auf der optischen Achse laufender Lichtstrahl vom Prüfling in sich selbst zurückreflektiert wird. Vorzugsweise wird die Interferometer-Phasenlage anhand der Helligkeit eines Differenz-Lichtstrahls gemessen, der entsteht durch Differenz eines Zentral-Lichtstrahls, der auf der optischen Achse verläuft, mit dem Ursprungs-Lichtstrahl des Zentral-Lichtstrahls. In anderen Worten entsteht der Zentral-Lichtstrahl aus dem Ursprungs-Lichtstrahl durch einen Strahlteiler.

[0022] Gemäß einer bevorzugten Ausführungsform hat das flächenmessende Interferometer einen Bildsensor, der eine Vielzahl an Pixeln aufweist. Die Auswerteeinheit ist vorzugsweise ausgebildet zum Erfassen der Interferometer-Phasenänderungsdaten mit-

tels zumindest eines Pixels, insbesondere höchstens 100 Pixeln. Der Bildsensor ist beispielsweise ein CCD-Chip. Auf diese Weise können die in einem flächenmessenden Interferometer ohnehin standardmäßig vorhandenen Komponenten weiterverwendet werden, und dennoch eine geringere Messunsicherheit erreicht werden.

[0023] Günstig ist es also, wenn das flächenmessende Interferometer einen Bildsensor hat, der insbesondere einen CCD-Chip umfasst, der eine Vielzahl an Pixeln aufweist.

[0024] Vorzugsweise ist die Auswerteeinheit dann ausgebildet zum automatischen Erfassen der Interferometer-Phasenänderungsdaten mittels zumindest eines Pixels. Es können auch mehrere Pixel zur Verwendung der Interferometer-Phasenänderungsdaten verwendet werden. Das kann beispielsweise dadurch erfolgen, dass die von den einzelnen Pixeln gemessenen Helligkeitswerte zu einem Gesamt-Helligkeitswert verrechnet werden. Je mehr Pixel verwendet werden, desto geringer ist die durch statistische Fehler verursachte Messunsicherheit, desto größer aber auch die systematische Unsicherheit. Es hat sich herausgestellt, dass mehr als 100 Pixel häufig zu einem vergleichsweise hohen systematischen Fehler führen.

[0025] Vorzugsweise ist die Auswerteeinheit ausgebildet zum automatischen Berechnen des geometrischen Parameters der Oberflächenkontur aus der Abstandsänderung mit den Konturdaten. Das ist beispielsweise in P. Hariharan: Optical interferometry. Academic Press, 2003, ISBN 978-0-12-311630-7 beschrieben.

[0026] Vorzugsweise ist das Präzisions-Längenmessgerät ausgebildet zum Messen der Roh-Abstandsänderungen mit einer Präzisions-Längenmessgerät-Messunsicherheit, die kleiner ist als die Hälfte einer Interferometer-Wellenlänge der Lichtstrahlen des flächenmessenden Interferometers. Es ist dann möglich, anhand der Roh-Abstandsänderung, die vom Präzisions-Längenmessgerät erfasst wird, dem Helligkeitswert, der vom Helligkeitssensor, insbesondere von dem zumindest ein Pixel des CCD-Chips erfasst wird, die genaue Phasenlage zu bestimmen und damit die Abstandsänderungen genau zu berechnen.

[0027] Im Folgenden wird die Erfindung anhand der beigefügten Zeichnungen näher erläutert. Dabei zeigt

Fig. 1 eine schematische Ansicht eines erfindungsgemäßen Konturparametermessgeräts zum Durchführen eines erfindungsgemäßen Verfahrens.

[0028] **Fig. 1** zeigt schematisch ein Konturparametermessgerät **10**, das eine Aufnahme **12** zum Bewe-

gen eines Prüflings **14**, ein Präzisions-Längenmessgerät **16** sowie ein flächenmessendes Interferometer **18** aufweist. Das Präzisions-Längenmessgerät **16** ist ausgebildet zum Messen einer Roh-Abstandsänderung **d**. Das Konturparametermessgerät **10** umfasst einen Tisch **20**, auf dem das flächenmessende Interferometer **18** sowie das Präzisions-Längenmessgerät **16** angeordnet sind. Die Aufnahme **12** ist relativ zum Tisch **20** linear beweglich gelagert.

[0029] Das Präzisions-Längenmessgerät **16** ist im vorliegenden Fall ein Linear-Interferometer und erzeugt beispielsweise einen monochromatischen Lichtstrahl mit einer Linearinterferometer-Wellenlänge von $\lambda_{16} = 532 \text{ nm}$.

[0030] Der Prüfling **14** hat einen Bereich **B**, im vorliegenden Fall seine gesamte Vorderseite, die eine Sphärensegmentform hat. Der Bereich **B** kann beschrieben werden durch ein ideales Sphärensegment und der Abweichung dazu. Im vorliegenden Fall hat der Bereich **B** einen Radius **R**, der einen Konturparameter darstellt und gemessen werden soll. Unter dem Radius **R** wird der Radius des Ausgleichs-Sphärensegments verstanden.

[0031] In **Fig. 1** ist der Prüfling **14** mit durchgezogenen Linien in seiner Fokusposition gezeigt. In der Fokusposition liegt der Fokus **F** des vom Objektiv gebündelten Lichts des flächenmessenden Interferometers auf der Oberfläche **24**. Mit dem Bezugszeichen **14'** wird der Prüfling in seiner Konturmessposition gezeigt, in der die Lichtstrahlen **22.i** senkrecht auf einer Oberfläche **24** stehen.

[0032] Das flächenmessende Interferometer **18** ist im vorliegenden Fall ein Fizeau-Interferometer und besitzt eine Lichtquelle **26**, von der Ursprungs-Lichtstrahlen **28.i** ausgehen und auf einen Strahlteiler **30** treffen. Die Ursprungs-Lichtstrahlen **28.i** haben beispielsweise eine Wellenlänge von $\lambda_{28} = 632 \text{ nm}$. Hinter dem Strahlteiler **30** entstehen so die Lichtstrahlen **22.i** ($i = 1, 2, \dots$). Nach Reflektion der Lichtstrahlen **22.i** an der Oberfläche des Prüflings **14** werden die zurücklaufenden Lichtstrahlen mit ihren jeweiligen Ursprungs-Lichtstrahlen **28.i** zur Interferenz gebracht, sodass Interferenz-Lichtstrahlen **29.i** entstehen.

[0033] Die Interferenz-Lichtstrahlen **29.i** fallen auf einen Bildsensor **32** in Form eines CCD-Chips. Ein zentraler Interferenz-Lichtstrahl **29.3**, der aus einem Zentral-Lichtstrahl **22**, der auf der optischen Achse **A** verläuft, durch Interferieren mit seinem Ursprungs-Lichtstrahl **28** entsteht, fällt dabei auf einen zentralen Pixel **Pz**, der eine Helligkeit H_z des zentralen Interferenz-Lichtstrahls **29.i** erfasst diese Helligkeit H_z .

[0034] Zum Durchführen eines erfindungsgemäßen Verfahrens wird der Prüfling **14** zunächst in seine Fo-

kusposition gebracht. Dort wird eine erste Helligkeit H_1 gemessen und daraus eine erste Interferometer-Phasenlage $\Delta\varphi_1$ bestimmt. Das erfolgt beispielsweise dadurch, dass eine Referenzfläche des Interferometers mit einem Piezo-Antrieb verschoben wird, so dass ein Wellenberg und ein Tal abgetastet werden.

[0035] Danach wird der Prüfling **14** mittels der Aufnahme **12** von einem Antrieb **36** in die Konturmessposition gebracht. Während dieser Bewegung erfasst das Präzisions-Längenmessgerät die Roh-Abstandsänderung d_{roh} .

[0036] In der Konturmessposition wird eine zweite Helligkeit H_1 gemessen und daraus eine zweite Interferometer-Phasenlage $\Delta\varphi_2$ berechnet. Die Interferometer-Phasenlagen $\Delta\varphi_1$, $\Delta\varphi_2$ sind nur auf $\lambda_{28}/2$ bekannt. Da die Messunsicherheit des Präzisions-Längenmessgeräts **16** kleiner ist als $\lambda_{28}/2$, lässt sich die Anzahl der ganzen Wellenlänge daraus bestimmen (Vorkommastellen) und kombiniert mit den Daten der Interferometer-Phasenlage (Nachkommastellen) die Gesamt-Phasenlage genau bestimmen.

[0037] Das Konturparametermessgerät **10** weist eine Auswerteeinheit **34** auf, die mit dem Präzisions-Längenmessgerät **16**, dem flächenmessenden Interferometer **18** und dem Antrieb **36** verbunden ist. Die Auswerteeinheit **34** ist eingerichtet zum automatischen Durchführen eines erfindungsgemäßen Verfahrens mit den oben genannten Schritten.

Bezugszeichenliste

10	Konturparametermessgerät
12	Aufnahme
14	Prüfling
16	Präzisions-Längenmessgerät
18	flächenmessenden Interferometer
20	Tisch
22	Lichtstrahl
24	Oberfläche
26	Lichtquelle
28	Ursprungs-Lichtstrahlen
30	Strahlteiler
32	Bildsensor
34	Auswerteeinheit
36	Antrieb
$\Delta\varphi$	Interferometer-Phasenlage
λ_{16}	Linearinterferometer-Wellenlänge
λ_{28}	Wellenlänge des flächenmessenden Interferometers

A	optische Achse
B	Bereich
d_{roh}	Roh-Abstandsänderung
d	Abstandsänderung
F	Fokus
H	Helligkeit
i	Laufindex
P	Pixel
Pz	zentraler Pixel

Patentansprüche

1. Verfahren zum Messen eines Konturparameters (R) eines Prüflings (14), der zumindest teilweise eine Sphärensegmentform hat, mit den Schritten:

- Bewegen des Prüflings (14) relativ zu einem Präzisions-Längenmessgerät (16) und einem flächenmessenden Interferometer (18) und
- Messen einer Roh-Abstandsänderung (d_{roh}) zwischen dem Prüfling (14) und dem Präzisions-Längenmessgerät (16) mittels des Präzisions-Längenmessgeräts (16), **gekennzeichnet durch** die Schritte:
- Bestimmen einer Interferometer-Phasenlage, die von der Abstandsänderung abhängt, mittels des flächenmessenden Interferometers (18) und
- Bestimmen der Abstandsänderung (d) vom Prüfling (14) zum flächenmessenden Interferometer (18) aus der Roh-Abstandsänderung (d_{roh}) und der Interferometer-Phasenlage.

2. Verfahren nach Anspruch 1, **gekennzeichnet durch** die Schritte:

- Bringen des Prüflings (14) in eine Fokusposition, bei der ein Fokus (F) der Lichtstrahlen (22) des flächenmessenden Interferometers (18) auf einer Oberfläche (24) des Prüflings (14) liegt,
- Bewegen des Prüflings (14) aus der Fokusposition in eine Konturmessposition, in der die Lichtstrahlen (22) des flächenmessenden Interferometers (18) senkrecht auf die Oberfläche (24) des Prüflings (14) fallen,
- Vermessen einer Oberflächenkontur des Prüflings (14) mittels des flächenmessenden Interferometers (18), wenn der Prüfling (14) in der Konturmessposition ist, sodass Konturdaten erhalten werden, und
- Berechnen des Konturparameters (R) aus der Roh-Abstandsänderung (d_{roh}) und den Konturdaten.

3. Verfahren nach einem der vorstehenden Ansprüche, **dadurch gekennzeichnet**, dass

- das flächenmessende Interferometer (18) eine optische Achse (A) hat und
- die Interferometer-Phasenlage anhand einer Helligkeit eines Interferenz-Lichtstrahls (29.3) gemessen wird, der entsteht durch Interferenz eines Zentral-Lichtstrahls (22.3), der auf der optischen Achse ver-

läuft (A), mit einem Ursprungs-Lichtstrahl (28.3) des Zentral-Lichtstrahls (22.3).

4. Konturparametermessgerät (10) zum Messen eines Konturparameters (R) eines Prüflings (14), der zumindest teilweise eine Sphärensegmentform hat, mit

(i) einem Präzisions-Längenmessgerät (16) zum Bestimmen einer Roh-Abstandsänderung (d) zwischen dem Prüfling (14) und einem Präzisions-Längenmessgerät (16),

(ii) einem flächenmessenden Interferometer (18) zum Vermessen einer Oberflächenkontur des Prüflings (14), sodass Konturdaten erhalten werden, und

(iii) einer Auswerteeinheit (34), **dadurch gekennzeichnet**, dass die Auswerteeinheit (34) ausgebildet ist zum automatischen Durchführen eines Verfahrens mit den Schritten

(a) zeitabhängiges Erfassen von Linearinterferometer-Abstandsdaten, die eine Roh-Abstandsänderung (d_{roh}) zwischen dem Prüfling (14) und dem Präzisions-Längenmessgerät (16) kodieren,

(b) Erfassen einer Interferometer-Phasenlage des flächenmessenden Interferometers (18), wobei die Interferometer-Phasenlage von der Abstandsänderung abhängt, und

(c) Berechnen der Abstandsänderung des Prüflings (14) zum flächenmessenden Interferometer (18) aus der Interferometer-Phasenlage und den Roh-Abstandsdaten.

5. Konturparametermessgerät (10) nach Anspruch 4, **dadurch gekennzeichnet**, dass

(a) das flächenmessende Interferometer (18) einen Bildsensor (32) hat, der eine Vielzahl an Pixeln (P) aufweist, und

(b) die Auswerteeinheit (34) ausgebildet ist zum Erfassen der Interferometer-Phasenänderungsdaten mittels zumindest eines Pixels (P), insbesondere höchstens 100 Pixeln (P).

6. Konturparametermessgerät (10) nach Anspruch 4 oder 5, **dadurch gekennzeichnet**, dass die Auswerteeinheit (34) ausgebildet ist zum automatischen Berechnen eines geometrischen Parameters (R) der Oberflächenkontur aus der Abstandsänderung (d) und den Konturdaten.

7. Konturparametermessgerät (10) nach einem der Ansprüche 4 bis 6, **dadurch gekennzeichnet**, dass das Präzisions-Längenmessgerät (16) ausgebildet ist zum Messen der Roh-Abstandsänderung (d_{roh}) mit einer Linearinterferometer-Messunsicherheit, die kleiner ist als die Hälfte einer Wellenlänge (λ_{28}) der Lichtstrahlen (22) des flächenmessenden Interferometers (18).

8. Konturparametermessgerät (10) nach einem der Ansprüche 4 bis 6, **gekennzeichnet durch**

(a) einen Antrieb zum Bewegen der Aufnahme (12),

(b) wobei die Auswerteeinheit (34) ausgebildet ist zum automatischen Ansteuern des Antriebs, sodass sich der Prüfling (14) aus der Konturmessposition in die Fokusposition oder aus der Fokusposition in die Konturmessposition bewegt.

9. Konturparametermessgerät (10) nach einem der Ansprüche 4 bis 8, **dadurch gekennzeichnet**, dass die Auswerteeinheit (34) ausgebildet ist zum automatischen

(a) kontinuierlichen Erfassen der Helligkeit eines Interferenz-Lichtstrahls, der entsteht durch Interferenz eines Zentral-Lichtstrahls, der auf der optischen Achse verläuft, mit einem Ursprungs-Lichtstrahl (28) des Zentral-Lichtstrahls, mittels des Bildsensors (32), sodass ein Helligkeitsverlauf erhalten wird, und

(b) Berechnen der Interferometer-Phasenlage aus der aktuellen Helligkeit und dem Helligkeitsverlauf.

10. Konturparametermessgerät (10) nach einem der Ansprüche 4 bis 9, **dadurch gekennzeichnet**, dass

(a) das Präzisions-Längenmessgerät (16) ein Interferometer ist und/oder

(b) das flächenmessende Interferometer (18) ein Fizeau-Interferometer.

Es folgt eine Seite Zeichnungen

Anhängende Zeichnungen

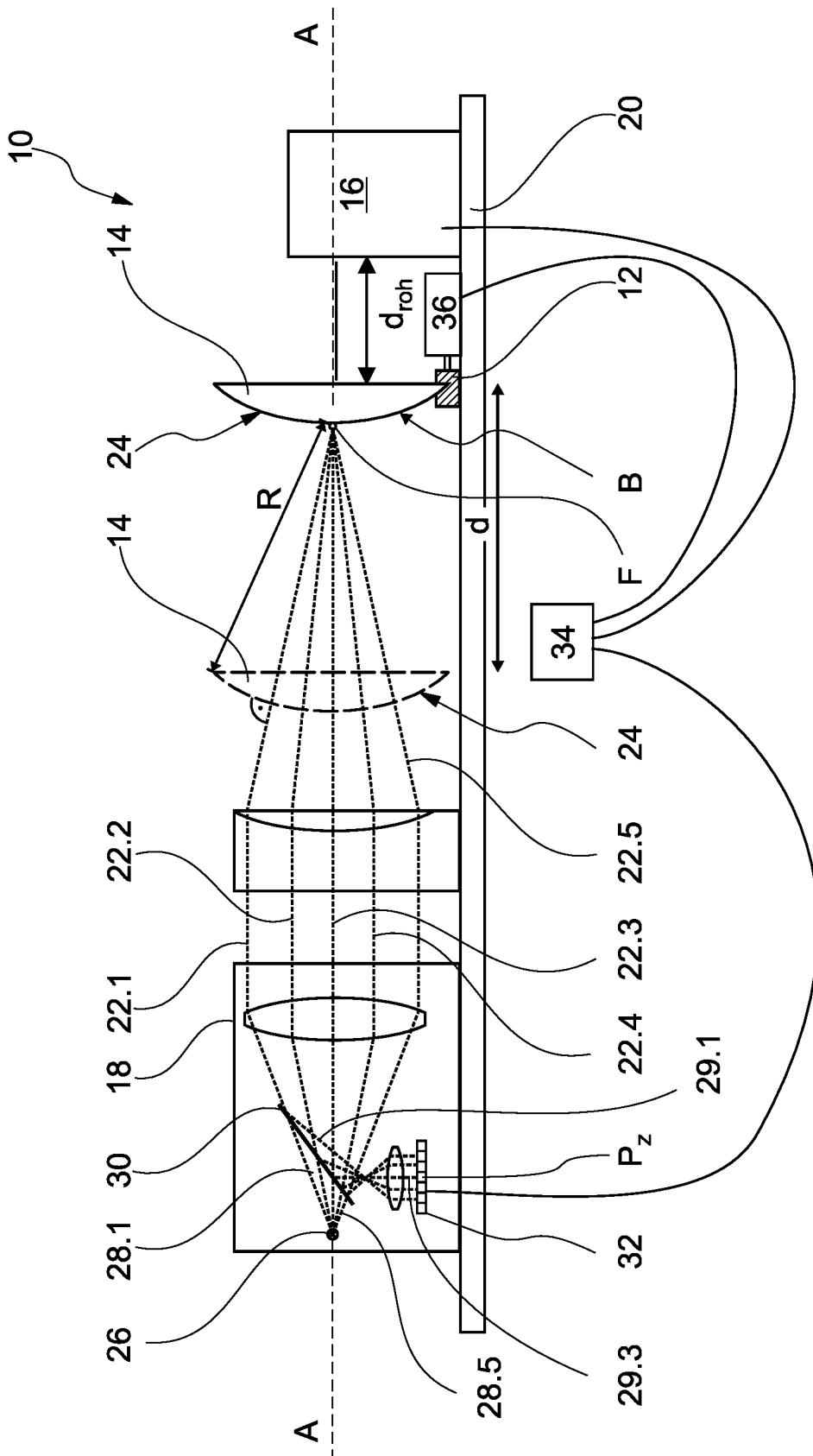


Fig. 1