



(10) **DE 10 2018 203 795 A1** 2018.05.03

(12) **Offenlegungsschrift**

(21) Aktenzeichen: **10 2018 203 795.7**
(22) Anmeldetag: **13.03.2018**
(43) Offenlegungstag: **03.05.2018**

(51) Int Cl.: **G01B 9/02 (2006.01)**
G02B 27/44 (2006.01)
G02B 5/18 (2006.01)

(71) Anmelder:
Carl Zeiss SMT GmbH, 73447 Oberkochen, DE

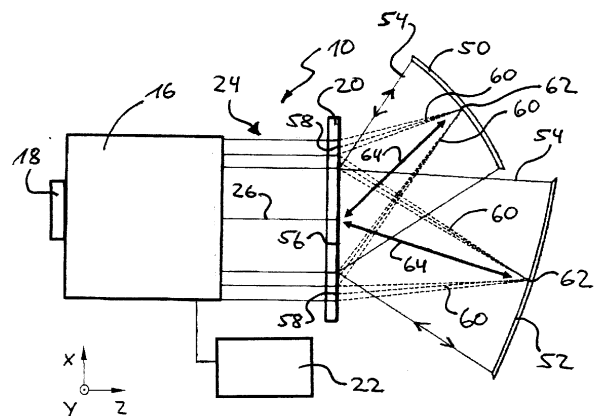
(72) Erfinder:
**Fuchs, Sebastian, 73433 Aalen, DE; Hetzler,
Jochen, 73434 Aalen, DE**

Mit Einverständnis des Anmelders offengelegte Anmeldung gemäß § 31 Abs. 2 Ziffer 1 PatG
Prüfungsantrag gemäß § 44 PatG ist gestellt.

Die folgenden Angaben sind den vom Anmelder eingereichten Unterlagen entnommen.

(54) Bezeichnung: **Interferometrische Messanordnung zur Bestimmung einer Oberflächenform**

(57) Zusammenfassung: Die Erfindung betrifft eine Messanordnung (10) zur interferometrischen Bestimmung einer Abweichung einer tatsächlichen Form von einer Sollform einer Oberfläche (12) eines Testobjekts (14). Die Messanordnung (10) umfasst eine Strahlungsquelle (18) zum Bereitstellen einer Eingangswelle (24) mit einer Wellenlänge λ und ein diffraktives optisches Element (20), welche dazu konfiguriert ist, aus der Eingangswelle (24) eine Prüfwelle (28) mit einer an die Sollform angepassten Wellenfront zu erzeugen. Weiterhin umfasst die Messanordnung mindestens zwei Kalibrierspiegel (50, 52) zum Kalibrieren des diffraktiven optischen Elements (20) und ist dazu konfiguriert, einen jeweiligen Abstand (64) zwischen dem diffraktiven optischen Element (20) und jedem der mindestens zwei Kalibrierspiegel (50, 52) mit einer Genauigkeit von kleiner als der Wellenlänge λ zu bestimmen. Ferner betrifft die Erfindung ein Verfahren zur interferometrischen Bestimmung einer Abweichung einer tatsächlichen Form von einer Sollform einer Oberfläche (12).



Beschreibung

Hintergrund der Erfindung

[0001] Die Erfindung betrifft eine Messanordnung und ein Verfahren zur interferometrischen Bestimmung einer Abweichung einer tatsächlichen Form von einer Sollform einer Oberfläche eines Testobjekts.

[0002] Zur hochgenauen Bestimmung einer Oberflächenform eines Testobjekts, wie beispielsweise einer asphärischen Fläche oder einer Freiformfläche eines optischen Elements für die Mikrolithographie, sind interferometrische Messanordnungen mit einem diffraktiven optischen Element bekannt. Das diffraktive optische Element ist zum Beispiel als computergeneriertes Hologramm (CGH) ausgebildet und derart konfiguriert, dass es eine Prüfwelle mit einer an die Sollform der Oberfläche angepassten Wellenfront erzeugt. Hierfür notwendige diffraktive Strukturen können durch eine rechnergestützte Simulation der Messanordnung zusammen mit der Solloberfläche ermittelt und anschließend auf einem Substrat als CGH hergestellt werden. Durch eine Überlagerung der von der Oberfläche reflektierten Prüfwelle mit einer Referenzwelle lassen sich Abweichungen von der Sollform sehr genau bestimmen.

[0003] In DE 10 2012 217 800 A1 wird eine solche Messanordnung als Fizeau-Interferometer mit einem Fizeau-Element zum Aufteilen einer Lichtwelle in eine Prüfwelle und eine Referenzwelle offenbart. Die Prüfwelle wird anschließend von dem CGH in eine Prüfwelle mit einer an die Sollform der zu vermessenden Oberfläche angepassten Wellenfront transformiert. Die von der Oberfläche reflektierte Prüfwelle wird von dem CGH zurücktransformiert und nach erneutem Durchlaufen des Fizeau-Elements mit der Referenzwelle überlagert.

[0004] Im Unterschied dazu beschreibt DE 10 2015 209 490 A1 eine als Referenzspiegel-Interferometer ausgebildete Messanordnung zur Vermessung von Oberflächen. Ein komplex kodierte CGH erzeugt sowohl eine Prüfwelle mit einer an die Sollform angepassten Wellenfront als auch eine Referenzwelle. Während die Prüfwelle von der zu vermessenden Oberfläche zum CGH zurück reflektiert wird, weist die Referenzwelle eine andere Ausbreitungsrichtung auf und trifft auf einen Referenzspiegel. Von diesem wird die Referenzwelle ebenfalls zum CGH zurück reflektiert. Nach erneutem Durchlaufen des CGHs überlagern sich die reflektierte Prüfwelle und die Referenzwelle und erzeugen so am Detektor ein Interferenzmuster.

[0005] Bei einer Bestimmung der Oberflächenform können bekannte Fehler des CGHs, wie beispielsweise Störungen der CGH-Oberfläche oder ein CGH-Justagezustand, berücksichtigt und heraus gerechnet werden. Entscheidend für die Genauigkeit der Oberflächenvermessung ist somit eine möglichst genaue Kalibrierung der Messanordnung. Dazu werden bei bekannten Messanordnungen Interferogramme von einem oder mehreren Kalibrierspiegeln ausgewertet, um Störungen durch Justage- oder Passfehler in der Messanordnung von dem eigentlichen Messsignal zu trennen. Die Messgenauigkeit dieser Kalibrierungen und somit der Oberflächenvermessung reicht jedoch für die ständig steigenden Anforderungen nicht aus.

[0006] Die Genauigkeit einer Kalibrierung mit Kalibrierspiegeln hängt insbesondere von der Positionierung der Kalibrierspiegel ab. Je kleiner eine Strahlaufspaltung zwischen Kalibrierwelle und Prüfwelle bei CGH ausfällt, desto ähnlicher ist die Wirkung der Störungen auf Kalibrierwelle und Prüfwelle und desto genauer kann eine Kalibrierung durchgeführt werden. Andererseits sind gerade Anordnungen mit geringer Strahlaufspaltung anfällig für störende Reflexionen, welche wiederum die mögliche Genauigkeit der Messung begrenzen. Auch ist bei Referenzspiegel-Interferometern im Allgemeinen nur eine große Strahlaufspaltung sowohl zwischen Referenzwelle und Kalibrierwelle als auch zwischen Referenzwelle und Prüfwelle möglich, da der Referenzspiegel weder die zu vermessende Oberfläche noch die Kalibrierspiegel vignettieren darf. Ferner bleiben bei einer Verwendung von Interferogrammen von Kalibrierspiegeln zur Kalibrierung einer Messanordnung Phasen-Offsets zwischen Kalibrierwellenfronten unberücksichtigt, da diese die Interferogramme nicht beeinflussen.

Zugrunde liegende Aufgabe

[0007] Es ist eine Aufgabe der Erfindung, eine Vorrichtung sowie ein Verfahren bereitzustellen, womit die vorgenannten Probleme gelöst werden und insbesondere die Messgenauigkeit bei einer Bestimmung einer Oberflächenform eines Testobjekts verbessert wird.

Erfindungsgemäße Lösung

[0008] Erfindungsgemäß kann die Aufgabe durch die nachfolgend beschriebene Messanordnung zur interferometrischen Bestimmung einer Abweichung einer tatsächlichen Form von einer Sollform einer Oberfläche

eines Testobjekts gelöst werden. Die Messanordnung umfasst eine Strahlungsquelle zum Bereitstellen einer Eingangswelle mit einer Wellenlänge λ und ein diffraktives optisches Element. Das diffraktive optische Element ist dazu konfiguriert, aus der Eingangswelle eine Prüfwelle mit einer an die Sollform angepassten Wellenfront zu erzeugen. Weiterhin umfasst die Messanordnung mindestens zwei Kalibrierspiegel zum Kalibrieren des diffraktiven optischen Elements und ist dazu konfiguriert, einen jeweiligen Abstand zwischen dem diffraktiven optischen Element und jedem der mindestens zwei Kalibrierspiegel mit einer Genauigkeit von kleiner als der Wellenlänge λ zu bestimmen.

[0009] Weiterhin wird die vorgenannte Aufgabe beispielsweise durch ein Verfahren zur interferometrischen Bestimmung einer Abweichung einer tatsächlichen Form von einer Sollform einer Oberfläche eines Testobjekts mit folgenden Schritten gelöst: Erzeugen einer Prüfwelle mit einer an die Sollform angepassten Wellenfront durch Einstrahlen einer Eingangswelle mit einer Wellenlänge λ auf ein diffraktives optisches Element, Bestimmen eines jeweiligen Abstandes zwischen dem diffraktiven optischen Element und jedem von mindestens zwei Kalibrierspiegeln mit einer Genauigkeit von kleiner als der Wellenlänge λ , sowie Kalibrieren des diffraktiven optischen Elements mittels der mindestens zwei Kalibrierspiegel.

[0010] Bei dem Testobjekt kann es sich insbesondere um einen Spiegel einer Projektionsbelichtungsanlage für die EUV-Mikrolithographie handeln. Die Strahlungsquelle stellt eine für interferometrische Messungen ausreichende kohärente Messstrahlung bereit und kann zum Beispiel einen Laser umfassen. Vorzugsweise wird ein Anteil der Messstrahlung als Eingangswelle verwendet, während ein anderer Anteil als Referenzwelle dient. Zum Erzeugen der Referenzwelle kann die Messanordnung zum Beispiel ein Interferometer umfassen. Alternativ kann das diffraktive optische Element zur Erzeugung der Referenzwelle konfiguriert sein. Die Messanordnung kann auch ein Interferometer zur Überlagerung einer reflektierten Prüfwelle oder reflektierten Kalibrierwelle mit einer Referenzwelle und zur Erfassung von dabei entstehenden Interferogrammen enthalten.

[0011] Das diffraktive optische Element umfasst zum Beispiel ein computergeneriertes Hologramm (CGH) zur Erzeugung einer Prüfwelle, einer Kalibrierwelle oder einer Referenzwelle. Als CGH kann ein komplex kodierte CGH mit mehreren sich überlagernd in einer Ebene angeordneten diffraktiven Strukturmustern verwendet werden. Bei einem solchen CGH werden aus einer einfallenden Welle mehrere ausfallende Wellen mit unterschiedlicher Wellenfront und Ausbreitungsrichtung erzeugt. Komplex kodierte CGHs werden zum Beispiel in DE 10 2012 217 800 A1 beschrieben.

[0012] An jedem Kalibrierspiegel wird beispielsweise eine von dem diffraktiven optischen Element kommende Kalibrierwelle in sich zurückreflektiert. Nach erneutem Durchlaufen des diffraktiven optischen Elements erfolgt eine interferometrische Vermessung der reflektierten Wellen. Auf diese Weise lassen sich Justagefehler oder Pässefehler des diffraktiven optischen Elements ermitteln. Die bei einer Kalibrierung festgestellten Fehler des diffraktiven optischen Elements können zur Reduzierung von Messfehlern bei einer Bestimmung einer Oberflächenform berücksichtigt werden.

[0013] Mit der Bestimmung des Abstands zwischen dem diffraktiven optischen Element und jedem der mindestens zwei Kalibrierspiegel lässt sich bei einer Kalibrierung ein Phasen-offset zwischen von den Kalibrierspiegeln zurückreflektierten Kalibrierwellen bestimmen. Bei einer Genauigkeit der Abstandmessung von mindestens einer Wellenlänge λ wird eine Phasendifferenz mit einer Genauigkeit von 2π oder kleiner bestimmt. Eine Verwendung der bestimmten Abstände zusammen mit Kalibrierspiegel-Interferogrammen, welche insbesondere eine Bestimmung von Phasendifferenzen in einem Bereich von 0 bis 2π zulassen, führt zu einer deutlichen Verbesserung einer Genauigkeit der Kalibrierung des diffraktiven optischen Elements.

[0014] Gemäß einer Ausführungsform nach der Erfindung ist das diffraktive optische Element weiterhin dazu konfiguriert, aus der Eingangswelle für jeden der Kalibrierspiegel eine jeweilige Hilfswelle zu erzeugen, welche bei Anordnung des mindestens einen der Kalibrierspiegel in einer Kalibrierposition auf einen Punkt des betreffenden Kalibrierspiegels fokussiert ist. Vorzugsweise umfasst das diffraktive optische Element diffraktive Strukturen, welche zum Erzeugen von Hilfswellen aus der Eingangswelle konfiguriert sind. Nach einer Ausführungsform bilden die die Hilfswelle erzeugende diffraktive Struktur des diffraktiven optischen Elements und der von der Hilfswelle angestrahlte Abschnitt des Kalibrierspiegels eine sogenannte Katzenaugenanordnung. Mit Hilfe einer Auswertung der vom Kalibrierspiegel zurücklaufenden Hilfswelle durch ein Interferometer der Messanordnung lässt sich der Abstand des Kalibrierspiegels, oder genauer des angestrahlten Abstands des Kalibrierspiegels, von dem diffraktiven optischen Element, oder genauer von dem die Hilfswelle erzeugenden Strukturmuster des diffraktiven optischen Elements, bestimmen. Bei einer weiteren Ausführungsform der Erfindung sind mehrere Hilfswellen oder mehrere Katzenaugenanordnungen für einen Kalibrierspiegel vorgesehen.

Mit einer Bestimmung von mehreren Abständen zwischen Punkten auf dem diffraktiven optischen Element und dem Kalibrierspiegel lässt sich deren Lage zueinander genauer beschreiben.

[0015] Eine weitere erfindungsgemäße Ausführungsform der Messanordnung ist dazu konfiguriert, die Abstandsmessungen und die Kalibrierung des diffraktiven optischen Elements gleichzeitig auszuführen. Zum Beispiel sind diffraktive Strukturmuster für Hilfswellen und Kalibrierwellen so in einer Ebene auf einem Substrat des diffraktiven optischen Elements angeordnet, dass aus einer Eingangswelle gleichzeitig die Hilfswellen und Kalibrierwellen erzeugt werden. Weiterhin kann die Messanordnung zur gleichzeitigen Erfassung von Interferogrammen konfiguriert sein, welche durch eine Überlagerung von Hilfswellen oder Kalibrierwellen mit einer Referenzwelle gebildet werden. Auch kann die Auswerteeinrichtung zur Auswertung solcher gleichzeitig erfassten Interferogramme ausgebildet sein. Mit einer gleichzeitigen Durchführung der Abstandsmessungen und der Kalibrierung mit Hilfe von Kalibrierwellen kann diese zuverlässiger und schneller erfolgen.

[0016] Gemäß einer Ausführungsform nach der Erfindung umfasst die Messanordnung mindestens vier Kalibrierspiegel zum Kalibrieren des diffraktiven optischen Elements. Das diffraktive optische Element enthält hierfür zum Beispiel ein fünffach komplex kodierte CGH mit sich überlagernd angeordneten diffraktiven Strukturmustern für vier verschiedene Kalibrierwellen und eine Prüfwelle. Mit Messwerten von vier Kalibrierspiegeln lassen sich neben zwei lateralen und einem axialen Wellenfrontfehler auch eine konstante Phasendifferenz und somit insgesamt vier Werte eindeutig bestimmen. Mit der konstanten Phasendifferenz werden alle Wellenfrontbeträge erfasst, welche nicht durch Störungen des diffraktiven optischen Elements verursacht werden und daher unabhängig von einer Beugungsrichtung sind. Es wird eine höhere Genauigkeit bei einer Kalibrierung und somit eine Reduzierung von Messfehlern bei einer Bestimmung einer Oberflächenform erreicht.

[0017] Eine weitere erfindungsgemäße Ausführungsform der Messanordnung umfasst eine Auswerteeinrichtung, welche dazu konfiguriert ist, anhand von mittels der Kalibrierspiegel ermittelten Kalibrierabweichungen sowie der bestimmten Abstände Kalibrierkorrekturen für die Wellenfront der Prüfwelle zu ermitteln und eine nach Wechselwirkung mit der Oberfläche des Testobjekts interferometrisch bestimmte Wellenfront der Prüfwelle mittels der bestimmten Kalibrierkorrekturen zu korrigieren. Mit anderen Worten werden bei Kalibrierkorrekturen für interferometrische Oberflächenvermessungen sowohl die bestimmten Abstände als auch die mittels Kalibrierwellen bestimmten Kalibrierabweichungen berücksichtigt. Dabei kann aus einer korrigierten gemessenen Wellenfront der Prüfwelle die tatsächliche Form der Oberfläche des Testobjekts abgeleitet werden. Beispielsweise umfasst die Auswerteeinrichtung hierfür eine geeignete Datenverarbeitungsvorrichtung und verwendet entsprechende, dem Fachmann bekannte Berechnungsverfahren. Zusätzlich oder alternativ kann die Messanordnung einen Datenspeicher oder eine Schnittstelle zu einem Datennetzwerk enthalten, um eine Bestimmung der Oberflächenform mit Hilfe einer externen Auswerteeinrichtung zu ermöglichen.

[0018] Gemäß einer Ausführungsform nach der Erfindung ist die Auswerteeinrichtung dazu konfiguriert, Wellenfrontkorrekturen der Prüfwelle in lateraler sowie axialer Richtung bezüglich deren Ausbreitungsrichtung als Kalibrierkorrekturen zu ermitteln. Mit lateralen Wellenfrontkorrekturen werden Placement-Fehler des diffraktiven optischen Elements behoben. Als Placement-Fehler werden hier Positionierungsfehler des diffraktiven optischen Elements bezeichnet. Die axialen Wellenfrontkorrekturen korrigieren Passe-Fehler des diffraktiven optischen Elements. Solche Fehler durch Formabweichungen des diffraktiven optischen Elements werden auch Passformfehler genannt und können beispielsweise durch Abweichungen eines diffraktiven Strukturmusters oder eines Substrats für diffraktive Strukturmuster von einer Sollform entstehen.

[0019] In einer Ausführungsform der Messanordnung ist die Auswerteeinrichtung zur zusätzlichen Berücksichtigung einer konstanten Phasendifferenz bzw. eines konstanten Phasenoffsets beim Ermitteln von Wellenfrontkorrekturen konfiguriert. Eine konstante Phasendifferenz erfasst alle Wellenfrontbeträge, welche nicht durch Störungen des diffraktiven optischen Elements verursacht werden und daher unabhängig von einer Beugungsrichtung am diffraktiven optischen Element sind.

[0020] Bei einer Ausführungsform der erfindungsgemäßen Messanordnung ist das diffraktive optische Element weiterhin dazu konfiguriert, aus der Eingangswelle für jeden der Kalibrierspiegel eine Kalibrierwelle zu erzeugen. Beispielsweise umfasst das diffraktive optische Element ein komplex kodierte CGH, welches in einer Ebene sich überlagernde diffraktive Strukturen für jede Kalibrierwelle enthält. Gemäß einer Ausführungsform ist das diffraktive optische Element derart konfiguriert, dass eine oder mehrere der Kalibrierwellen eine ebene oder sphärische Wellenfront aufweisen. Die Form der zugeordneten Kalibrierspiegel ist entsprechend an die Wellenfrontform angepasst. Eine Konfigurierung als ebene oder sphärische Welle ermöglicht die Verwendung von Kalibrierspiegeln, deren ebene oder sphärische Sollform mit einer hohen Genauigkeit gefertigt

werden kann. Ferner werden bei einer Ausführungsform die Kalibrierwellen mit ihren Ausbreitungsrichtungen so erzeugt, dass eine gleichzeitige Anordnung einiger oder aller Kalibrierspiegel möglich ist.

[0021] Gemäß einer weiteren Ausführungsform nach der Erfindung umfasst die Messanordnung ein Fizeau-Interferometer. Insbesondere enthält die Messanordnung ein Fizeau-Element. Beispielsweise wird an einer Fizeau-Fläche des Fizeau-Elements ein Anteil einer Messstrahlung als eine Referenzwelle reflektiert, während ein anderer Anteil der Messstrahlung das Fizeau-Element als eine Eingangswelle passiert. Die Eingangswelle kann anschließend auf das diffraktive optische Element treffen und von diesem zu einer Prüfwelle transformiert werden, welche von einer zu vermessenden Oberfläche zum Fizeau-Interferometer zurückreflektiert wird. Das Fizeau-Element dient somit zur Erzeugung einer geeigneten Referenzwelle. Eine solche Messanordnung mit einem Fizeau-Interferometer wird zum Beispiel in DE 10 2012 217 800 A1 offenbart.

[0022] Gemäß einer anderen Ausführungsform nach der Erfindung umfasst die Messanordnung ein Referenzspiegel-Interferometer. Bei einem Referenzspiegel-Interferometer wird eine Referenzwelle für eine Überlagerung mit einer an der zu vermessenden Oberfläche reflektierten Prüfwelle mittels eines Referenzspiegels zu einem Interferometer zurückreflektiert. Vorzugsweise erzeugt bei einer Ausführungsform das diffraktive optische Element zusätzlich zu einer Prüfwelle auch eine Referenzwelle mit anderer Ausbreitungsrichtung als die Prüfwelle. Dabei kann eine Wellenfront der Referenzwelle an eine Oberflächenform des Referenzspiegels angepasst sein. Beispielsweise weist die Referenzwelle bei einem ebenen Referenzspiegel eine ebene Wellenfront oder bei einem sphärisch geformten Referenzspiegel eine sphärische Wellenfront auf. Eine Ausführungsform eines Referenzspiegel-Interferometers wird beispielsweise in DE 10 2015 209 490 A1 veranschaulicht. Bei einer weiteren Ausführungsform kann der Referenzspiegel auch als Kalibrierspiegel verwendet werden.

[0023] Die bezüglich der vorstehend aufgeführten Ausführungsformen, Ausführungsbeispiele bzw. Ausführungsvarianten, etc. der erfindungsgemäßen Messanordnung angegebenen Merkmale können entsprechend auf das erfindungsgemäße Verfahren übertragen werden. Diese und andere Merkmale der erfindungsgemäßen Ausführungsformen werden in der Figurenbeschreibung und den Ansprüchen erläutert. Die einzelnen Merkmale können entweder separat oder in Kombination als Ausführungsformen der Erfindung verwirklicht werden. Weiterhin können sie vorteilhafte Ausführungsformen beschreiben, die selbstständig schutzfähig sind und deren Schutz ggf. erst während oder nach Anhängigkeit der Anmeldung beansprucht wird.

Figurenliste

[0024] Die vorstehenden, sowie weitere vorteilhafte Merkmale der Erfindung werden in der nachfolgenden detaillierten Beschreibung beispielhafter erfindungsgemäßer Ausführungsformen unter Bezugnahme auf die beigefügten schematischen Zeichnungen veranschaulicht. Es zeigt:

Fig. 1 ein Ausführungsbeispiel einer erfindungsgemäßen Messanordnung mit einem diffraktiven optischen Element zur interferometrischen Bestimmung einer Abweichung einer tatsächlichen Form von einer Sollform einer Oberfläche eines Testobjekts bei einer Messung in einer schematischen Veranschaulichung,

Fig. 2 eine Entstehung eines Interferogramms durch Überlagerung zweier Lichtwellenfronten in einer schematischen Skizze, sowie

Fig. 3 das Ausführungsbeispiel nach **Fig. 1** bei einer Kalibrierung des diffraktiven optischen Elements mit Hilfe von Kalibrierwellen und Hilfswellen in einer schematischen Veranschaulichung.

Detaillierte Beschreibung erfindungsgemäßer Ausführungsbeispiele

[0025] In den nachstehend beschriebenen Ausführungsbeispielen bzw. Ausführungsformen oder Ausführungsvarianten sind funktionell oder strukturell einander ähnliche Elemente soweit wie möglich mit den gleichen oder ähnlichen Bezugszeichen versehen. Daher sollte zum Verständnis der Merkmale der einzelnen Elemente eines bestimmten Ausführungsbeispiels auf die Beschreibung anderer Ausführungsbeispiele oder die allgemeine Beschreibung der Erfindung Bezug genommen werden.

[0026] Zur Erleichterung der Beschreibung ist in einigen Figuren ein kartesisches xyz-Koordinatensystem angegeben, aus dem sich die jeweilige Lagebeziehung der dargestellten Komponenten ergibt. In **Fig. 1** verläuft die x-Richtung nach oben, die y-Richtung senkrecht zur Zeichenebene aus dieser hinaus und die z-Richtung nach rechts.

[0027] **Fig. 1** stellt ein Ausführungsbeispiel einer Messanordnung **10** zur interferometrischen Bestimmung einer Abweichung einer tatsächlichen Form einer Oberfläche **12** eines Testobjekts **14** von einer Sollform dar. Mit

der Messanordnung **10** lässt sich beispielsweise die optische Oberfläche eines asphärischen Spiegels oder eines Freiform-Spiegels für die Mikrolithographie mit einer Belichtungsstrahlung im extremen ultravioletten Bereich (EUV-Mikrolithographie) hochgenau vermessen. Der EUV-Wellenbereich erstreckt sich auf Wellenlängen unterhalb von 100 nm und betrifft insbesondere Wellenlängen von etwa 13,5 nm oder 6,8 nm. Die Messanordnung **10** eignet sich aber auch zur Vermessung einer Vielzahl andersartig geformter Oberflächen.

[0028] Die Messanordnung **10** umfasst ein Interferometer **16** mit einer Strahlungsquelle **18**, ein diffraktives optisches Element **20**, welches in diesem Ausführungsbeispiel ein komplex kodierte CGH umfasst, eine in **Fig. 1** nicht dargestellte Halterung für das Testobjekt **14**, eine ebenfalls nicht dargestellte Halterung für das diffraktive optische Element **20** und eine Auswerteinrichtung **22**.

[0029] Die Strahlungsquelle **18** des Interferometers **16** stellt eine für interferometrische Messungen ausreichende kohärente Messstrahlung mit einer Wellenlänge λ bereit. Als Strahlenquelle **18** ist beispielsweise ein Laser, etwa ein Helium-Neon-Laser mit einer Wellenlänge von etwa 633 nm, vorgesehen. Die Messstrahlung kann aber auch eine andere Wellenlänge im sichtbaren oder unsichtbaren Wellenlängenbereich elektromagnetischer Strahlung aufweisen. Alternativ wird von der Strahlenquelle eine Messstrahlung bei mehreren verschiedenen Wellenlängen bereitgestellt. Mit einer Vermessung einer Oberfläche bei verschiedenen Wellenlängen wird eine Bestimmung von Struktur- oder Schichteigenschaften der Oberfläche ermöglicht.

[0030] Das Interferometer **16** stellt einen Anteil der Messstrahlung als Eingangswelle **24** bereit. Die Eingangswelle **24** verläuft entlang einer optischen Achse **26** des Interferometers **16** zum diffraktiven Element **20** und wird von diesem als Prüfwelle **28** auf die zu vermessende Oberfläche **12** gerichtet. Nach einer Wechselwirkung mit der Oberfläche **12** des Testobjekts **14** wechselwirkt die reflektierte Prüfwelle **28** abermals mit dem diffraktiven Element **20**, läuft in das Interferometer **16** zurück und wird dort mit einer Referenzwelle überlagert. Ein dadurch auf einer Erfassungsfläche entstehendes Interferogramm wird zum Beispiel durch einen CCD-Sensor einer Interferometerkamera erfasst. Das Interferometer **16** ist in diesem Ausführungsbeispiel als Fizeau-Interferometer ausgebildet. Aufbau und Funktionsweise eines solchen Interferometers sind dem Fachmann bekannt. Dabei umfasst das Interferometer **16** ein Fizeau-Element, welches einen Anteil der Messstrahlung als Referenzwelle reflektiert und einen anderen Anteil als Eingangswelle **24** passieren lässt.

[0031] In alternativen Ausführungsbeispielen kann als Interferometer auch ein Michelson-Interferometer oder ein anderer geeigneter Interferometertyp verwendet werden. Wesentlich sind eine Bereitstellung einer geeigneten Eingangswelle **24** und eine Erfassung eines Interferogramms nach einer Überlagerung der in das Interferometer zurückgeführten Prüfwelle **28** mit einer Referenzwelle. Beispielsweise umfasst die Messanordnung bei einer alternativen Ausführung ein Referenzspiegel-Interferometer. Bei einem Referenzspiegel-Interferometer erzeugt das diffraktive Element oder ein anderes optisches Element zusätzlich zur Prüfwelle auch eine Referenzwelle. Die Referenzwelle wird von einem Referenzspiegel in das Interferometer zurück reflektiert und dort mit der vom Testobjekt reflektierten Prüfwelle überlagert. Ein solches Interferometer wird beispielsweise in der DE 10 2015 209 490 A1 beschrieben.

[0032] Das komplex kodierte CGH des diffraktiven optischen Elements **20** enthält mehrere diffraktive Strukturmuster, welche überlagernd in einer Ebene angeordnet sind. Solche sich überlagernd angeordnete diffraktive Strukturmuster zur Erzeugung separater Wellen mit unterschiedlicher Ausbreitungsrichtung werden z.B. in der DE 10 2012 217 800 A1 beschrieben. Die diffraktiven Strukturmuster bilden beispielsweise ein komplex kodierte Phasengitter, bei dem jedes Strukturmuster eine bestimmte Phasenfunktion aufweist. Alternativ können auch Amplitudengitter als diffraktive Strukturen verwendet werden. Weiterhin kann das komplex kodierte CGH als Off-Axis-CGH bzw. Trägerfrequenz-CGH ausgebildet sein.

[0033] In diesem Ausführungsbeispiel wird die Eingangswelle **24** durch das diffraktive optische Element **20** in eine Prüfwelle **28** und vier Kalibrierwellen aufgeteilt, welche sich in unterschiedliche Richtungen ausbreiten und nachstehend unter Bezugnahme auf **Fig. 3** näher beschrieben werden. Dafür ist das CGH des diffraktiven Elements **20** fünffach komplex kodiert, d.h. das diffraktive Element weist fünf Phasenfunktionen auf. Bei Wechselwirkung der Eingangswelle **24** mit dem optischen Element **20** bewirkt eine der Phasenfunktionen die Erzeugung der Prüfwelle **28** mit einer an eine Sollform der zu vermessenden Oberfläche **12** angepassten Wellenfront. Die Wellenfront der Prüfwelle **28** ist derart ausgebildet, dass die Prüfwelle **28** von der Sollform exakt in sich zurückreflektiert werden würde. Alternativ kann auch eine Verwendung von drei oder zwei Kalibrierwellen und somit ein vierfach oder dreifach komplex kodierte CGH vorgesehen sein.

[0034] Die Wellenfronten der Kalibrierwellen sind mit Hilfe der weiteren Phasenfunktionen des diffraktiven optischen Elements **20** ebenfalls an Oberflächenformen von Kalibrierspiegeln angepasst und stellen beispiels-

weise sphärische oder ebene Wellenfronten dar. Die von dem Testobjekt **14** reflektierte Prüfwelle durchläuft erneut das diffraktive optische Element **20** und wird in dem Interferometer **16** durch Überlagerung mit einer Referenzwelle vermessen. Entsprechend werden die Kalibrierwellen vermessen. Dabei in einer Erfassungsebene entstehende Interferogramme werden von dem Interferometer **16** zum Beispiel mit Hilfe einer Interferometerkamera erfasst.

[0035] Die Auswerteeinrichtung **22** ist zur Bestimmung einer Abweichung der Oberfläche **12** des Testobjekts **14** von einer Sollform aus erfassten Interferogrammen unter Berücksichtigung von Kalibrierkorrekturen konfiguriert. Die Kalibrierkorrekturen werden von der Auswerteeinrichtung **22** mit Hilfe erfasster Interferogramme von Kalibrierwellen und Abständen zwischen dem diffraktiven optischen Element **20** und Kalibrierspiegeln ermittelt, wie weiter unten mit Bezug auf **Fig. 3** näher dargestellt wird. Mit den Kalibrierkorrekturen werden insbesondere Justage- und Passefehler des CGHs bei einer Vermessung der Oberfläche **12** berücksichtigt. Die Auswerteeinrichtung verfügt hierfür über eine geeignete Datenverarbeitungsvorrichtung und verwendet entsprechende, dem Fachmann bekannte Berechnungsverfahren. Zusätzlich oder alternativ kann die Messanordnung **10** einen Datenspeicher oder eine Schnittstelle zu einem Datennetzwerk enthalten, um eine Bestimmung der Oberflächenform mit Hilfe einer externen Auswerteeinrichtung zu ermöglichen.

[0036] In **Fig. 2** wird die Entstehung eines Interferogramms **30** in einer Erfassungsebene **32** einer Kamera oder eines Bildschirms veranschaulicht. Eine erste Wellenfront **34** einer kohärenten ersten Lichtwelle breitet sich in Richtung des ersten Pfeils **36** aus. Hierbei kann es sich beispielsweise um eine Referenzwelle, wie etwa die vorstehend erwähnte, vom Fizeaelement des Interferometers **16** abgespaltene Referenzwelle, handeln. Orte mit gleicher Phase beziehungsweise mit einer um ein Vielfaches von 2π addierten Phase sind als Linien **38** dargestellt.

[0037] Die erste Wellenfront **34** überlagert sich in der Erfassungsebene **32** mit einer zweiten Wellenfront **40** einer zweiten kohärenten Lichtwelle, welche sich in Richtung des zweiten Pfeils **42** ausbreitet. Die zweite Lichtwelle kann zum Beispiel eine von einem Kalibrierspiegel reflektierte Kalibrierwelle darstellen. Durch die Überlagerung entsteht ein von der jeweiligen Phasendifferenz abhängiges Streifenmuster als Interferenzmuster **30** in der Erfassungsebene **32**. Dabei trägt nur ein Bereich **44** der Wellenfront **40** mit variabler Phasendifferenz zu dem Interferogramm **30** bei. Eine über die gesamte Wellenfront **40** konstante Phasendifferenz **46** beziehungsweise ein Phasen-Offset der Wellenfront **40** wirkt sich nicht auf das zu beobachtende Interferogramm aus.

[0038] Daher lassen sich aus dem Interferogramm **30** Phasendifferenzen zwischen der ersten und der zweiten Wellenfront **34**, **40** und somit Laufwegunterschiede nur teilweise rekonstruieren. Informationen über die konstante Phasendifferenz **46** können aus dem Interferogramm **30** nicht gewonnen werden. Dieser Umstand kann bei einer Kalibrierung einer Messanordnung auf Grundlage von mittels Kalibrierspiegeln erzeugten Interferogrammen zu Fehlern führen. Insbesondere langwellige CGH-Störungen werden bei der Kalibrierung nur ungenügend berücksichtigt. Diese nur näherungsweise durchgeführte Kalibrierung führt zu Messfehlern bei einer Verwendung einer interferometrischen Messanordnung mit einem diffraktiven optischen Element zur Bestimmung einer Oberflächenform.

[0039] **Fig. 3** zeigt schematisch die Messanordnung **10** nach **Fig. 1** bei einer Kalibrierung des diffraktiven optischen Elements **20**. Für die Kalibrierung umfasst die Messanordnung vier Kalibrierspiegel, von denen in **Fig. 3** lediglich ein erster Kalibrierspiegel **50** und ein zweiter Kalibrierspiegel **52** dargestellt sind. Die Kalibrierspiegel **50**, **52** sind in diesem Ausführungsbeispiel für die Kalibrierung gleichzeitig angeordnet. Es ist aber auch eine Vermessung von einzelnen oder gruppenweise nacheinander angeordneten Kalibrierspiegeln möglich.

[0040] Die Kalibrierspiegel **50**, **52** sind derart positioniert, dass eine jeweilige von dem fünffach komplex kodierte CGH des diffraktiven Elements **20** aus der Eingangswelle **24** erzeugte Kalibrierwelle **54** vom Kalibrierspiegel **50** bzw. **52** zurückreflektiert wird. Die diffraktiven Strukturen **56** des CGHs sind dafür derart konfiguriert, dass die Wellenfronten der Kalibrierwellen **54** der jeweiligen Oberfläche des entsprechenden reflektierenden Kalibrierspiegels **50**, **52** entspricht. Beispielsweise können die diffraktiven Strukturen **56** zum Erzeugen von Kalibrierwellen **54** mit ebener oder sphärischer Wellenfront ausgebildet sein. Die jeweiligen zugeordneten Kalibrierspiegel weisen dann ebenfalls eine ebene oder sphärisch geformt reflektierende Oberfläche auf.

[0041] Die von den Kalibrierspiegeln **50**, **52** gemäß **Fig. 3** reflektierten Kalibrierwellen **54** durchlaufen erneut das diffraktive optische Element **20** und werden im Interferometer **16** zur Vermessung mit einer Referenzwelle überlagert. Mit Hilfe von Streifenpositionen in einem erfassten Interferogramm bestimmt die Auswerteeinrichtung **22** eine Phasendifferenz zwischen einer jeweiligen Kalibrierwelle **54** und der Referenzwelle in einem Intervall von 0 bis 2π , also modulo 2π .

[0042] Weiterhin enthält das diffraktive optische Element **20** diffraktive Hilfsstrukturen **58** zur Erzeugung von Hilfswellen **60** aus der Eingangswelle **24**. Diese diffraktiven Hilfsstrukturen **58** werden in diesem Ausführungsbeispiel vom CGH bereitgestellt und erzeugen für jeden Kalibrierspiegel **50**, **52** zwei Hilfswellen. Alternativ kann für jeden Kalibrierspiegel auch nur eine oder mehr als zwei Hilfswellen erzeugt werden. Dabei sind die diffraktiven Strukturen **58** so konfiguriert, dass die Hilfswellen **60** am jeweiligen Kalibrierspiegel **50**, **52** auf einen Punkt fokussiert sind. Insbesondere bilden Abschnitte **62** der Kalibrierspiegel **50**, **52** im Bereich der Fokuspunkte zusammen mit den diffraktiven Hilfsstrukturen **58** eine sogenannte Katzenaugenanordnung.

[0043] Durch eine Vermessung der von einem der Kalibrierspiegel **50**, **52** zurücklaufenden Hilfswelle **60** in dem Interferometer **16** und eine anschließende Auswertung mittels der Auswerteeinrichtung **22** lässt sich ein Abstand zwischen den diffraktiven Strukturen **58** am diffraktiven optischen Element **20** und dem Abschnitt **62** des Kalibrierspiegels **50** bzw. **52** mit einer Genauigkeit kleiner als die Wellenlänge λ der Eingangsstrahlung **24** bestimmen. Aus den so bestimmten Abständen folgt ein jeweiliger Abstand **64** zwischen dem diffraktiven optischen Element **10** und dem zugehörigen Kalibrierspiegel **50** bzw. **52**. Aus den Abständen **64** kann eine jeweilige konstante Phasendifferenz **46** bzw. Phasen-Offset zwischen der bei der Kalibrierungsmessung auf den jeweiligen Kalibrierspiegel **50** bzw. **52** eingestrahlten Kalibrierwelle **54** und der zugehörigen Referenzwelle bestimmt werden. Auf Grundlage der Interferogramme der Katzenaugenanordnungen und der Interferogramme der Kalibrierwellen **54** ermittelt die Auswerteeinrichtung **22** auf diese Weise vollständige Phaseninformationen für jeden der Kalibrierspiegel **50** und **52**. Vorzugsweise erfolgt die Abstandsmessung mit den Hilfswellen **60** und die Kalibrierungsmessung mit den Kalibrierwellen **54** gleichzeitig.

[0044] Mit vier Kalibrierspiegeln **50**, **52** lassen sich Wellenfrontstörungen durch Phase-Fehler oder Placement-Fehler des diffraktiven optischen Elements **20** bzw. des CGHs hochgenau bestimmen. Als Ansatz für eine Wellenfrontstörung ϕ kann

$$\phi = \Delta k \cdot \Delta r + \phi_0$$

verwendet werden, wobei $\Delta r = (\Delta x, \Delta y, \Delta z)$ einen Phase- (Δz) oder Placement-Fehler ($\Delta x, \Delta y$) des diffraktiven optischen Elements **20** und

$$\Delta k = k' - k$$

die Differenz zwischen den Wellenvektoren k und k' von einlaufenden bzw. auslaufenden Wellenfronten beim diffraktiven optischen Element **20** bezeichnen. Mit dem konstanten Phasenbetrag ϕ_0 werden alle Wellenfrontbeiträge bezeichnet, welche nicht durch Störungen des diffraktiven optischen Elements **20** bzw. des CGHs verursacht werden und somit unabhängig von einer Beugungsrichtung am diffraktiven optischen Element **20** sind. Alle Größen hängen von der Geometrie des CGHs und somit von x und y ab.

[0045] Jeder der vier Kalibrierspiegel **50**, **52** ermöglicht eine unabhängige Messung von Wellenfrontstörungen ϕ . Die Auswerteeinrichtung **22** bestimmt eindeutig die vier Unbekannten $\Delta x, \Delta y, \Delta z, \phi_0$ mit Hilfe eines linearen Gleichungssystems aus den vier unabhängig gemessenen ϕ und eines ermittelten Δk . Dieses Gleichungssystem ist nicht invariant gegenüber Veränderungen der Phasendifferenz zwischen den vier Messungen. Daher kann der absolute Phasen-Offset bzw. die konstante Phasendifferenz im Allgemeinen nicht vernachlässigt werden. Wird einer der Kalibrierspiegel auch als Referenzspiegel bei einer Referenzspiegel-Interferometrie verwendet, genügen drei Messungen mit den anderen Kalibrierspiegeln.

[0046] Für den Wellenvektor k vor einer Beugung durch das diffraktive optische Element **20** gilt mit der Wellenlänge λ und dem Brechungsindex n

$$|k| = 2\pi n\lambda$$

[0047] Die diffraktive Struktur bzw. das Gitter des diffraktiven optischen Elements lässt sich durch einen Furchenabstand d und einen Gittervektor g charakterisieren:

$$g = (g_x, g_y, 0) \quad ; \quad |g| = 2\pi d$$

[0048] Bei einer Beugung nimmt das Gitter einen Impuls der einfallenden Welle teilweise auf und es gilt bei einer Nutzordnung m :

$$k' = k - mg$$

[0049] Wird die Nutzordnung $m = 1$ betrachtet und berücksichtigt, dass wegen der Energieerhaltung für den Wellenvektor k' nach einer Beugung

$$|k'| = 2\pi n'\lambda$$

gilt, so folgt aus den letzten beiden Gleichungen:

$$\Delta k = \left(-g_x, -g_y, \sqrt{(2\pi n'/\lambda)^2 - k_x'^2 - k_y'^2} - \sqrt{(2\pi n/\lambda)^2 - k_x^2 - k_y^2} \right)$$

[0050] Die Komponenten Δk_x und Δk_y hängen nur von der Gittergeometrie ab, während die Komponente Δk_z das Brechungsgesetz widerspiegelt und explizit von der Einfallrichtung und der Differenz der Brechungsindizes abhängt. Die Größe Δk lässt sich somit aus dem optischen Design bestimmen.

[0051] Die auf diese Weise bestimmten lateralen Fehler Δx , Δy oder der axiale Fehler Δz des diffraktiven optischen Elements **20** werden von der Auswerteeinrichtung **22** bei einer Bestimmung der Oberfläche **12** des Testobjekts **14** als Kalibrierkorrekturen berücksichtigt. Diese Vorgehensweise führt zu einer deutlichen Reduzierung von Messfehlern bei der Oberflächenbestimmung.

[0052] Bei einem alternativen Ausführungsbeispiel werden drei Kalibrierspiegel und ein vierfach komplex kodierte CGH verwendet. Ein solches CGH wird auch als Quad-CGH bezeichnet. Neben einer Prüfwelle erzeugt das Quad-CGH drei verschiedene Kalibrierwellen und ist derart konfiguriert, dass sich die Ausbreitungsrichtungen der vier Wellen nur wenig unterscheiden. Ein Beitrag von Δk_z wird daher als konstant betrachtet und näherungsweise von ϕ_0 erfasst. Als Ansatz für eine Wellenfrontstörung ϕ wird nun

$$\phi = \Delta k_x \Delta x + \Delta k_y \Delta y + \phi_0$$

verwendet. Die drei Unbekannten Δx , Δy , ϕ_0 werden von der Auswerteeinrichtung **22** auf analoge Weise mit Hilfe von drei unabhängigen Messungen durch drei Kalibrierspiegel ermittelt und bei einer Bestimmung einer Oberflächenform berücksichtigt.

[0053] Die vorstehende Beschreibung beispielhafter Ausführungsformen ist exemplarisch zu verstehen. Die damit erfolgte Offenbarung ermöglicht es dem Fachmann einerseits, die vorliegende Erfindung und die damit verbundenen Vorteile zu verstehen, und umfasst andererseits im Verständnis des Fachmanns auch offensichtliche Abänderungen und Modifikationen der beschriebenen Strukturen und Verfahren. Daher sollen alle derartigen Abänderungen und Modifikationen, insoweit sie in den Rahmen der Erfindung gemäß der Definition in den beigefügten Ansprüchen fallen, sowie Äquivalente vom Schutz der Ansprüche abgedeckt sein.

Bezugszeichenliste

- 10** Messanordnung
- 12** Oberfläche
- 14** Testobjekt
- 16** Interferometer
- 18** Strahlungsquelle
- 20** diffraktives optisches Element
- 22** Auswerteeinrichtung

- 24** Eingangswelle
- 26** optische Achse
- 28** Prüfwelle
- 30** Interferogramm
- 32** Erfassungsebene
- 34** erste Wellenfront
- 36** erste Ausbreitungsrichtung
- 38** Orte gleicher Phase
- 40** zweite Wellenfront
- 42** zweite Ausbreitungsrichtung
- 44** Bereich variabler Phasendifferenz
- 46** konstante Phasendifferenz
- 50** erster Kalibrierspiegel
- 52** zweiter Kalibrierspiegel
- 54** Kalibrierwelle
- 56** diffraktive Strukturen
- 58** diffraktive Hilfsstrukturen
- 60** Hilfswelle
- 62** Abschnitt eines Kalibrierspiegels
- 64** Abstand zwischen diffraktiven Element und Kalibrierspiegel

ZITATE ENHALTEN IN DER BESCHREIBUNG

Diese Liste der vom Anmelder aufgeführten Dokumente wurde automatisiert erzeugt und ist ausschließlich zur besseren Information des Lesers aufgenommen. Die Liste ist nicht Bestandteil der deutschen Patent- bzw. Gebrauchsmusteranmeldung. Das DPMA übernimmt keinerlei Haftung für etwaige Fehler oder Auslassungen.

Zitierte Patentliteratur

- DE 102012217800 A1 [0003, 0011, 0021, 0032]
- DE 102015209490 A1 [0004, 0022, 0031]

Patentansprüche

1. Messanordnung (10) zur interferometrischen Bestimmung einer Abweichung einer tatsächlichen Form von einer Sollform einer Oberfläche (12) eines Testobjekts (14) mit:
 - einer Strahlungsquelle (18) zum Bereitstellen einer Eingangswelle (24) mit einer Wellenlänge λ ,
 - einem diffraktiven optischen Element (20), welches dazu konfiguriert ist, aus der Eingangswelle (24) eine Prüfwelle (28) mit einer an die Sollform angepassten Wellenfront zu erzeugen, sowie
 - mindestens zwei Kalibrierspiegel (50, 52) zum Kalibrieren des diffraktiven optischen Elements (20), wobei die Messanordnung (10) weiterhin dazu konfiguriert ist, einen jeweiligen Abstand (64) zwischen dem diffraktiven optischen Element (20) und jedem der mindestens zwei Kalibrierspiegel (50, 52) mit einer Genauigkeit von kleiner als der Wellenlänge λ zu bestimmen.
2. Messanordnung nach Anspruch 1, bei der das diffraktive optische Element (20) weiterhin dazu konfiguriert ist, aus der Eingangswelle (24) für jeden der Kalibrierspiegel (50, 52) eine jeweilige Hilfswelle (60) zu erzeugen, welche bei Anordnung des mindestens einen der Kalibrierspiegel (50, 52) in einer Kalibrierposition auf einen Punkt des betreffenden Kalibrierspiegels (50, 52) fokussiert ist.
3. Messanordnung nach einem der vorausgehenden Ansprüche, welche dazu konfiguriert ist, die Abstandsmessungen und die Kalibrierung des diffraktiven optischen Elements (20) gleichzeitig auszuführen.
4. Messanordnung nach einem der vorausgehenden Ansprüche, welche mindestens vier Kalibrierspiegel (50, 52) zum Kalibrieren des diffraktiven optischen Elements (20) umfasst.
5. Messanordnung nach einem der vorausgehenden Ansprüche, welche weiterhin eine Auswerteeinrichtung (22) umfasst, welche dazu konfiguriert ist, anhand von mittels der Kalibrierspiegel (50, 52) ermittelten Kalibrierabweichungen sowie der bestimmten Abstände (64) Kalibrierkorrekturen für die Wellenfront der Prüfwelle (28) zu ermitteln und eine nach Wechselwirkung mit der Oberfläche (12) des Testobjekts (14) interferometrisch bestimmte Wellenfront der Prüfwelle (28) mittels der bestimmten Kalibrierkorrekturen zu korrigieren.
6. Messanordnung nach Anspruch 5, bei der die Auswerteeinrichtung (22) dazu konfiguriert ist, Wellenfrontkorrekturen der Prüfwelle (28) in lateraler sowie axialer Richtung bezüglich deren Ausbreitungsrichtung als Kalibrierkorrekturen zu ermitteln.
7. Messanordnung nach einem der vorausgehenden Ansprüche, bei der das diffraktive optische Element (20) weiterhin dazu konfiguriert ist, aus der Eingangswelle (24) für jeden der Kalibrierspiegel (50, 52) eine Kalibrierwelle (54) zu erzeugen.
8. Messanordnung nach einem der vorausgehenden Ansprüche, welche weiterhin ein Fizeau-Interferometer (16) umfasst.
9. Messanordnung nach einem der vorausgehenden Ansprüche, welche weiterhin ein Referenzspiegel-Interferometer umfasst.
10. Verfahren zur interferometrischen Bestimmung einer Abweichung einer tatsächlichen Form von einer Sollform einer Oberfläche (12) eines Testobjekts (14) mit den Schritten:
 - Erzeugen einer Prüfwelle (28) mit einer an die Sollform angepassten Wellenfront durch Einstrahlen einer Eingangswelle (24) mit einer Wellenlänge λ auf ein diffraktives optisches Element (20),
 - Bestimmen eines jeweiligen Abstandes (64) zwischen dem diffraktiven optischen Element (20) und jedem von mindestens zwei Kalibrierspiegeln (50, 52) mit einer Genauigkeit von kleiner als der Wellenlänge λ , sowie
 - Kalibrieren des diffraktiven optischen Elements (20) mittels der mindestens zwei Kalibrierspiegel (50, 52).

Es folgen 2 Seiten Zeichnungen

Anhängende Zeichnungen

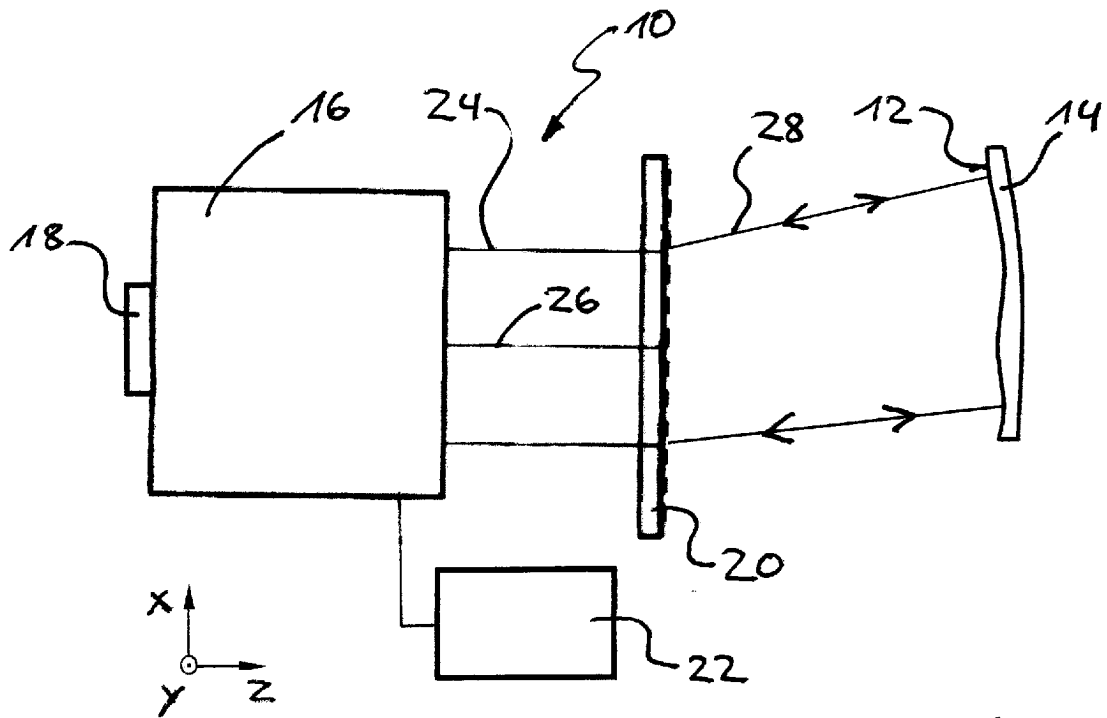


Fig. 1

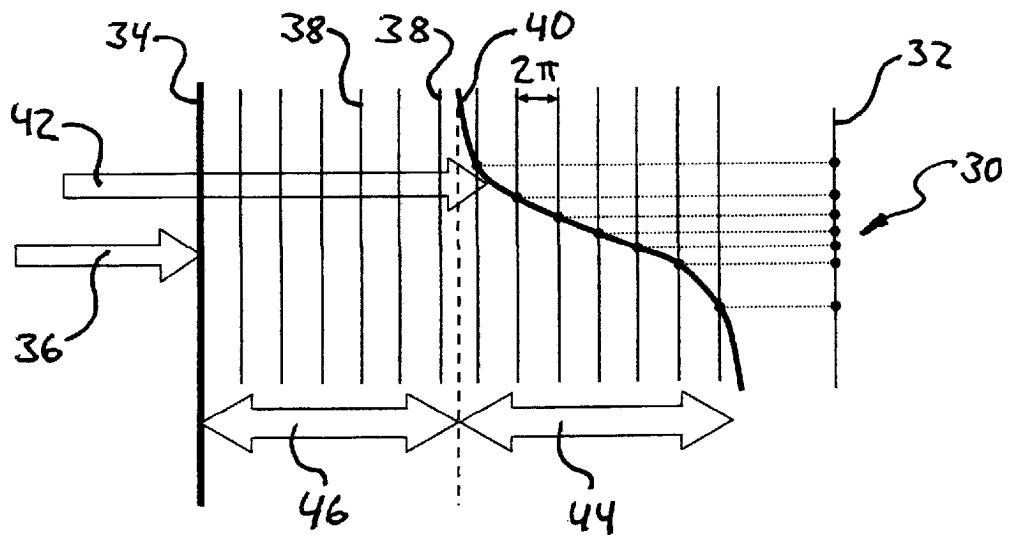


Fig. 2

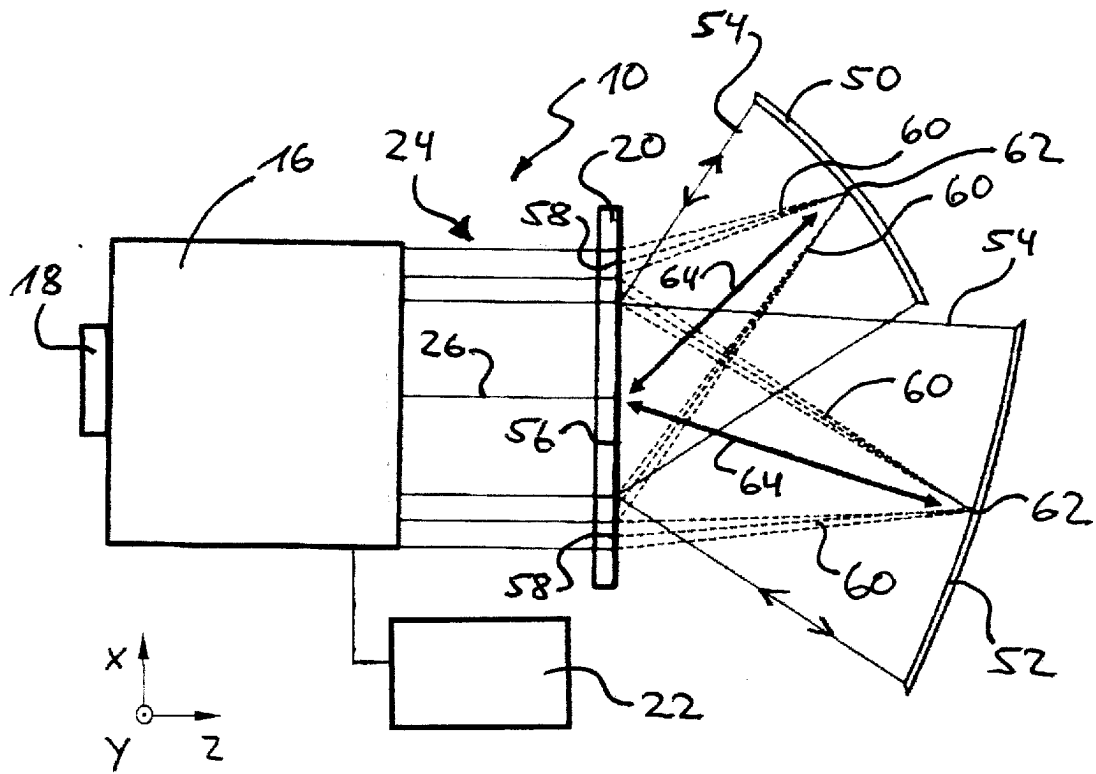


Fig. 3