

(19)



Deutsches  
Patent- und Markenamt



(10) **DE 10 2012 019 110 A1** 2014.04.03

(12)

## Offenlegungsschrift

(21) Aktenzeichen: **10 2012 019 110.3**

(22) Anmeldetag: **28.09.2012**

(43) Offenlegungstag: **03.04.2014**

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

(71) Anmelder:

**Bundesrepublik Deutschland, endvertreten durch  
die Physikalisch-Technische Bundesanstalt  
(PTB), 38116, Braunschweig, DE**

(74) Vertreter:

**GRAMM, LINS & PARTNER GbR, 38122,  
Braunschweig, DE**

(72) Erfinder:

**Wiegmann, Axel, Dr., 38176, Wendeburg, DE;  
Ehret, Gerd, Dr., 39576, Stendal, DE**

(56) Ermittelter Stand der Technik:

**DE 601,32 551 T2**

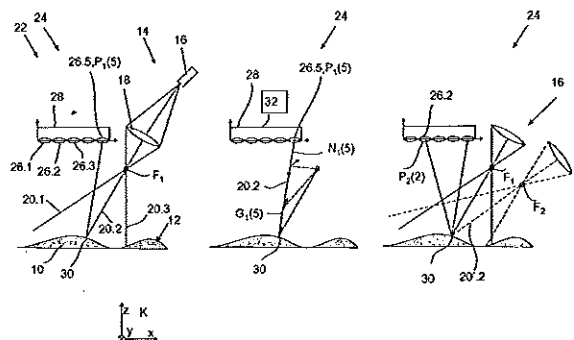
**A. Nutsch et al.: Determination of Flatness  
on Patterned Wafer Surfaces Using Wavefront  
Sensing Methods, in: Proc. of SPIE, Vol. 7155  
(2008), 71550Z-1 bis 71550Z-12**

Prüfungsantrag gemäß § 44 PatG ist gestellt.

**Die folgenden Angaben sind den vom Anmelder eingereichten Unterlagen entnommen**

(54) Bezeichnung: **Topographiemessverfahren und Topographiemessvorrichtung**

(57) Zusammenfassung: Die Erfindung betrifft ein Topographiemessverfahren zum Bestimmen einer Topographie (T) einer Oberfläche (12) eines reflektierenden Prüflings (10), mit den Schritten: Bestrahlen des Prüflings (10) mit einer ersten sphärischen Welle, die von einer Punktquelle an einem ersten Lichtquellen-Ort ausgeht (F<sub>1</sub>), so dass die erste sphärische Welle zumindest teilweise vom Prüfling (10) reflektiert wird, mittels eines Wellenfrontensensors (24) Erfassen einer Erstwellenfront-Normalen (N<sub>1</sub>) der reflektierten ersten Welle für zumindest einen Auftreffpunkt (P<sub>1</sub>) auf dem Wellenfrontensensor (24), Ermitteln eines Abstandskennwerts, der einen Abstand des Prüflings (10) vom Wellenfrontensensor (24) beschreibt, und Ermitteln eines Oberflächenpunkts (30), für den gilt: der Punkt liegt auf einer Geraden (G), die in Erstwellenfront-Normalenrichtung und durch den Auftreffpunkt (P<sub>1</sub>) verläuft und der Punkt hat einen Oberflächenpunkt-Abstand vom Wellenfrontensensor (24), der gemäß dem Abstandskennwert zur Oberfläche (12) des Prüflings (10) gehört.



**Beschreibung**

**[0001]** Die Erfindung betrifft ein Topographiemessverfahren zum Bestimmen einer Topographie einer Oberfläche eines reflektierenden Prüflings. Gemäß einem zweiten Aspekt betrifft die Erfindung eine Topographiemessvorrichtung.

**[0002]** Die Erfindung bezieht sich insbesondere auf die Vermessung von Freiformflächen. Aus dem Stand der Technik sind interferometrische Verfahren bekannt, bei denen die zu vermessende Oberfläche mit Licht bestrahlt und das reflektierte Licht auf Interferenzerscheinungen untersucht wird. Nachteilig an interferometrischen Verfahren ist die schwierige Auswertung bei großen Abweichungen von planen oder sphärischen Flächen, da aufgrund der hohen Interferenzstreifendichte mit Sprüngen in der Topographie von mehreren Wellenlängen gerechnet werden muss.

**[0003]** Bekannt sind zudem Streifenprojektionsverfahren, bei denen ein Streifenmuster auf die Oberfläche projiziert wird. Das auf der Oberfläche aufgrund der Topographie entstehende Streifenmuster wird aufgezeichnet. Nachteilig an diesem Verfahren ist die relativ geringe Messgenauigkeit.

**[0004]** Der Erfindung liegt die Aufgabe zugrunde, die Vermessung von Topographien von Prüflingen zu verbessern. Die Erfindung löst das Problem durch ein Topographiemessverfahren zum Bestimmen der Topographie eines reflektierenden Prüflings, mit den Schritten (a) Bestrahlen des Prüflings mit einer ersten sphärischen Welle, die von einer Punktquelle an einem ersten Lichtquellen-Ort ausgeht, so dass die erste sphärische Welle zumindest teilweise vom Prüfling reflektiert wird, (b) mittels eines Wellenfrontsensors Erfassen einer Wellenfront-Normalen der reflektierten ersten Welle für zumindest einen Auftreffpunkt auf dem Wellensensor, (c) Ermitteln eines Abstandskennwerts, der einen Abstand des Prüflings vom Wellenfrontsensor beschreibt, und (d) Ermitteln zumindest eines Oberflächenpunkts, für den gilt: Der Punkt liegt auf einer Geraden, die in Erstwellenfront-Normalenrichtung durch den Auftreffpunkt verläuft und der Punkt hat einen Oberflächenpunkt-Abstand vom Wellenfrontsensor, der gemäß dem Abstandskennwert zur Oberfläche des Prüflings gehört.

**[0005]** Die Erfindung löst das Problem zudem durch ein Topographiemessverfahren in oben genannten Schritten (a), (b) und den zusätzlichen Schritten: (c) Bestrahlen des Prüflings mit einer zweiten sphärischen Welle, die von einer Punktquelle an einem vom ersten Lichtquellen-Ort verschiedenen, zweiten Lichtquellen-Ort ausgeht, so dass die zweite sphärische Welle zumindest teilweise vom Prüfling reflektiert wird, (d) mittels des Wellenfrontsensors Erfassen einer Zweitwellenfront-Normalen der reflektierten

zweiten Welle und (e) Ermitteln eines Oberflächenpunkts, für den gilt: Der Punkt liegt zumindest bis auf eine vorgegebene tolerierbare Abweichung auf einer ersten Geraden, die in Wellenfront-Normalenrichtung und durch den ersten Auftreffpunkt verläuft und der Punkt liegt zumindest bis auf eine vorgegebene tolerierbare Abweichung auf einer zweiten Geraden, die in Zweitwellenfront-Normalenrichtung durch den zweiten Auftreffpunkt verläuft.

**[0006]** Gemäß einem zweiten Aspekt löst die Erfindung das Problem durch eine Topographiemessvorrichtung gemäß der unabhängigen Sachansprüche.

**[0007]** Vorteilhaft an der Erfindung ist, dass eine hohe Messgenauigkeit erreichbar ist. Es ist ein weiterer Vorteil, dass stark von der Standardform, wie Sphären und/oder Ebenen, abweichende Topographien, die durch interferometrische Verfahren nicht vermessen werden können, einer Messung zugänglich sind.

**[0008]** Vorteilhaft ist zudem, dass nicht nur die Koordinaten eines Punktes auf der Oberfläche des Prüflings ermittelt werden können, sondern auch dessen Absolutposition in einem vorgebbaren Koordinatensystem.

**[0009]** Auch ist vorteilhaft, dass eine hohe laterale Auflösung erreichbar ist. Schließlich ist es günstig, dass die Topographiemessvorrichtung kompakt gebaut werden kann.

**[0010]** Im Rahmen der vorliegenden Beschreibung wird unter einer sphärischen Welle insbesondere auch eine ebene Welle verstanden. Bei einer ebenen Welle ist der Krümmungsradius unendlich. Es ist selbstverständlich, dass eine ideale sphärische Welle, also im mathematischen Sinne sphärische Welle, physikalisch nicht realisierbar ist. Unter der sphärischen Welle wird damit jede Welle verstanden, die mit so hoher Genauigkeit als ideal sphärische Welle genähert werden kann, dass ein aus dieser Näherung resultierender Messfehler kleiner ist als der Fehler, der aus der – zu messenden – Position der Lichtquelle resultiert.

**[0011]** Die sphärische Welle ist insbesondere elektromagnetische Strahlung im sichtbaren Wellenlängenbereich. Es ist aber auch möglich, elektromagnetische Strahlung anderer Wellenlängen zu verwenden, solange die elektromagnetische Welle von der Oberfläche des Prüflings reflektiert wird.

**[0012]** Unter dem Merkmal, dass die elektromagnetische Welle von einer Punktquelle ausgeht, wird insbesondere verstanden, dass zumindest an einem Punkt des Strahlverlaufs der Welle ein Punkt existiert, in dem die Welle eine so geringe räumliche Ausdehnung hat, dass die Topographie durch das im Fol-

genden beschriebene Verfahren mit einer vorgegebenen Genauigkeit bestimmbar ist. Eine Punktquelle ist stets eine mathematische Idealisierung eines realen Objekts, so dass eine Punktquelle im streng mathematischen Sinne nicht existieren kann. Maßgeblich ist jedoch, dass die Lichtquelle so klein ist, dass die Tatsache, dass sie keine im streng mathematischen Sinne ideale Punktlichtquelle ist, zu keinem inakzeptabel großen Messfehler führt. Unter dem Erfassen der Wellenfront-Normalen, wird insbesondere das Erfassen derjenigen Normalen auf der Wellenfront verstanden, die die Wellenfront im Auftreffpunkt hat.

**[0013]** Unter dem Abstandskennwert wird insbesondere ein Wert verstanden, der einen Rückschluss auf die Lage eines idealisiert angenommenen Oberflächenpunkts zulässt. Handelt es sich beispielsweise bei dem Prüfling um eine Kugel, so ist der Abstandskennwert das Paar aus dem Mittelpunkt der Kugel relativ zum Wellenfrontsensor und zum Radius des Prüflings. Aus diesen beiden Größen lässt sich mit hinreichender Genauigkeit abschätzen, ob ein Punkt, der durch die optische Messung als möglicherweise auf der auf der Oberfläche liegend identifiziert wurde, tatsächlich auf der Oberfläche liegen kann.

**[0014]** Gemäß einer bevorzugten Ausführungsform wird als Wellenfrontsensor ein Shack-Hartmann-Sensor verwendet. Ein Shack-Hartmann-Sensor umfasst eine Mehrzahl an Mikrolinsen. Das Ermitteln der Wellenfront-Normalen kann mittels dieses Sensors für jede Mikrolinse des Sensors durchgeführt werden. Dabei wird das Erfassen von Normalen insbesondere für eine Vielzahl an Auftreffpunkten durchgeführt, die jeweils durch eine Mikrolinse gebildet sind. Alternativ kann beispielsweise auch ein Shearing-Interferometer als Wellenfrontsensor verwendet werden.

**[0015]** Der Erfindung liegt die Erkenntnis zugrunde, dass mit einem Wellenfrontsensor bei bekanntem Auftreffpunkt eine Gerade berechnet werden kann, auf der derjenige Punkt liegen muss, von dem die Lichtwelle reflektiert wurde. Um festzustellen, um welchen Punkt auf der Geraden es sich handelt, wird zumindest eine zweite Welle von einem zweiten Lichtquellen-Ort ausgesandt. Die reflektierte Welle trifft mit hoher Wahrscheinlichkeit einen vom ersten Auftreffpunkt verschiedenen zweiten Auftreffpunkt. Aus diesem zweiten Auftreffpunkt und der Zweitwellen-Normalen lässt sich wiederum eine Gerade rekonstruieren, auf der dieser Reflektionspunkt gelegen haben muss. Dort wo beide Geraden sich schneiden, ist dieser Reflektionspunkt. Aufgrund des in diesem Punkt geltenden Reflektionsgesetzes ist die Neigung der Oberfläche in diesem Punkt für beide Strahlen gleich. Das Kriterium, dass der Punkt auf der zweiten Geraden liegt, ist daher äquivalent zu dem Merkmal, dass die mit Hilfe der zweiten Welle ermittelte Neigung der Oberfläche zumindest im Rahmen

einer vorgegebenen Sicherheit mit der Neigung der Oberfläche übereinstimmt, die sich aus der Messung mit der ersten Welle ergibt.

**[0016]** Es ist grundsätzlich denkbar, dass der zweite Auftreffpunkt mit dem ersten Auftreffpunkt identisch ist. In der Regel wird jedoch der zweite Auftreffpunkt ein anderer sein als der erste Auftreffpunkt.

**[0017]** Gemäß einer bevorzugten Ausführungsform wird die Oberflächen-Normale insbesondere aus dem ersten Lichtquellen-Ort und dem ersten Auftreffpunkt und/oder dem zweiten Lichtquellen-Ort und dem zweiten Auftreffpunkt berechnet. Es ist auch möglich, die Oberflächen-Normale auf beide Weisen zu berechnen und dann einen Mittelwert zu bilden.

**[0018]** Vorzugsweise erfolgt das Bestrahlen des Prüflings mit einem Lichtfeld, das einen Fokus hat, so dass der erste Lichtquellen-Ort der Fokus ist. Vorzugsweise erfolgt das Bestrahlen des Prüflings mit der zweiten sphärischen Welle ebenfalls so, dass der Lichtquellen-Ort der Fokus eines Lichtfelds ist. Es ist dabei unbeachtlich, wo genau der Fokus liegt. So ist es möglich, dass der Fokus im Prüfling, auf der Oberfläche des Prüflings oder außerhalb des Prüflings liegt.

**[0019]** Zum Bestrahlen mit der sphärischen Welle kann Laserlicht verwendet werden, dass ist aber nicht notwendig. Es ist insbesondere auch möglich, eine nicht kohärente Lichtquelle zu verwenden. Es kann sich bei der Lichtquelle um eine monochromatische oder um eine mehrfarbige Lichtquelle handeln, insbesondere auch um eine Weißlichtquelle.

**[0020]** Gemäß einer bevorzugten Ausführungsform umfasst das Ermitteln des Oberflächenpunkts die folgenden Schritte: (i) Berechnen eines Schnittpunkts von erster und zweiter Geraden, (ii) Ermitteln einer ersten Oberflächen-Normale einer Topographie der Oberfläche aus dem Schnittpunkt und dem ersten Lichtquellen-Ort und/oder dem ersten Auftreffpunkt, (iii) Ermitteln einer zweiten Oberflächen-Normalen aus dem Schnittpunkt und dem zweiten Lichtquellen-Ort und/oder dem zweiten Auftreffpunkt, (iv) Ermitteln einer Abweichung zwischen erster Oberflächennormalen und zweiter Oberflächennormalen und (v) wenn die Abweichung einen vorgegebenen Schwellenwert unterschreitet, Ausgeben des Schnittpunkts und der Oberflächennormalen oder eines aus den Oberflächennormalen berechneten Oberflächennormalenwerts als Datenpunkt der Topographie. Sofern die Abweichung den vorgegebenen Schwellenwert überschreitet, wird das Verfahren weitergeführt, ohne dass der Datenpunkt als zur Topographiemessverfahren gehörig gespeichert wird. Das genannte Verfahren wird insbesondere für jeden Auftreffpunkt durchgeführt. Wird ein Shack-Hartmann-Sensor verwendet, so wird das Verfahren beispielsweise zu-

nächst für die erste Mikrolinse dadurch durchgeführt, dass zunächst die Bestrahlung des Prüflings mit der ersten und der zweiten sphärischen Welle erfolgt. Für jede Mikrolinse ergibt sich jeweils eine Erstwellenfront-Normale und eine Zweitwellenfront-Normale, so dass für jede Mikrolinse zwei Geraden berechnet werden können, jeweils eine für jede der sphärischen Wellen. Es werden dann alle ersten Geraden mit allen zweiten Geraden auf Schnittpunkte untereinander mit identischen Oberflächennormalen untersucht. Die jeweiligen Schnittpunkte sind Punkte der Oberflächen-topographie.

[0021] Im Folgenden wird die Erfindung anhand der beigefügten Zeichnungen näher erläutert. Dabei zeigt

[0022] Fig. 1 mit den Teilbildern Fig. 1a, Fig. 1b und Fig. 1c schematisch den Ablauf eines erfindungsgemäßen Verfahrens.

[0023] Fig. 2 zeigt ein weiteres Bild zur Verdeutlichung des erfindungsgemäßen Verfahrens.

[0024] Fig. 1 zeigt im Teilbild Fig. 1a schematisch einen Prüfling 10, dessen Oberfläche 12 durch eine Topographie T beschrieben werden kann. Die Topographie T:  $(x, y) \rightarrow z$  ist diejenige Funktion, die einem Punkt  $(x, y)$  in einem vorgegebenen Koordinatensystem K seine Höhe z zuordnet, die zur Oberfläche 12 gehört.

[0025] Teilfigur Fig. 1a zeigt schematisch eine Lichtwellenerzeugungsvorrichtung 14, die eine Lichtquelle 16 und eine Sammellinse 18 umfasst. Die Sammellinse 18 fokussiert das Licht der Lichtquelle 16 auf einen Fokus  $F_1$ , von dem aus sphärische Wellen ausgehen. In Teilfigur Fig. 1a sind Lichtstrahlen 20.1, 20.2, 20.3 eingezeichnet, die Normale auf den nicht eingezeichneten Wellenfronten darstellen. Der Fokus  $F_1$  stellt einen ersten Lichtwellen-Ort dar.

[0026] Die Lichtwellenerzeugungsvorrichtung 14 ist Teil einer Topographiemessvorrichtung 22, die zusätzlich einen Wellenfrontsensor 24 in Form eines Shack-Hartmann-Sensors umfasst. Der Wellenfrontsensor 24 besitzt eine Mehrzahl an Mikrolinsen 26.1, 26.2, ..., die Licht auf einen Bildsensor 28, im vorliegenden Fall in Form eines CCD-Chips fokussieren.

[0027] Vor der Messung wird mit dem Wellenfrontsensor 24 orts aufgelöst der Normalenvektor der Beleuchtungswellenfront bestimmt. Jedem Punkt im Messvolumen wird damit ein Normalenvektor zugeordnet, mittels dem bei Kenntnis des Auftreffpunktes mit besonders hoher Genauigkeit der Normalenvektor der Oberfläche berechnet werden kann. Für Messungen mit einer geringeren Anforderung an die Genauigkeit ist dieser Schritt entbehrlich.

[0028] Ein Schritt des erfindungsgemäßen Verfahrens wird dadurch durchgeführt, dass die Oberfläche 12 mit dem von der Punktquelle in Form des Fokus  $F_1$  ausgehenden Licht bestrahlt wird, so dass zumindest ein Lichtstrahl, im vorliegenden Fall der Lichtstrahl 20.2, in einem Oberflächenpunkt 30 reflektiert wird und in einem Auftreffpunkt auf den Wellenfrontsensor 24 auftrifft, im vorliegenden Fall auf die Mikrolinse 26.5. Bei gleichmäßiger Bestrahlung, der Oberfläche 12 und korrekter Anordnung der Lichtquelle 16 relativ zum Frontsensor 24 fällt auf jede der Mikrolinsen 26 (Bezugszeichen ohne Zählsuffix bezeichnen das Objekt als solches) ein reflektierter Lichtstrahl.

[0029] Teilfigur Fig. 1b zeigt den Lichtstrahl 20.2, der im Auftreffpunkt  $P_1(5)$ , der auf der Mikrolinse 26.5 liegt, auftrifft, und dann auf den Bildsensor 28 gelangt. Der Index bei der Bezeichnung des Auftreffpunktes gibt an, dass er sich auf die erste sphärische Welle bezieht, das Argument gibt die Lage des Auftreffpunktes an, im vorliegenden Fall die fünfte Mikrolinse 26.5.

[0030] Der Wellenfrontsensor 24 errechnet, beispielsweise mittels einer eingezeichneten Auswerteeinheit 32, die mit dem CCD-Chip 28 verbunden ist, eine erste Wellenfront-Normale  $N_1(5)$ . Die Erstwellenfront-Normale  $N_1(5)$  ist ein normierter dreidimensionaler Vektor, der senkrecht auf der Wellenfront steht, die im Auftreffpunkt  $P_1(5)$  einläuft. Aus der Erstwellenfront-Normalen  $N_1(5)$  wird eine erste Gerade  $G_1(5)$  berechnet, auf der der Oberflächenpunkt 30 liegen muss. Es existieren unendlich viele Punkte, für die diese Bedingung gilt. Es wird daher beispielsweise der im Folgenden beschriebene Schritt durchgeführt.

[0031] Teilfigur Fig. 1c zeigt einen weiteren Schritt des erfindungsgemäßen Verfahrens, bei dem der Prüfling 10 mit einer zweiten sphärischen Welle bestrahlt wird, die von einem zweiten Lichtquellen-Ort in Form eines zweiten Fokus  $F_2$  ausgeht.

[0032] Die vom zweiten Lichtquellen-Ort ausgehenden Lichtstrahlen sind gestrichelt eingezeichnet und mit einem Apostroph in der Bezeichnung versehen. Es ist zu erkennen, dass der Lichtstrahl 20'.2 im Oberflächenpunkt 30 reflektiert wird.

[0033] Der reflektierte Lichtstrahl 20'.2 trifft in einem Auftreffpunkt  $P_2(2)$  auf den Wellenfrontsensor 24, im vorliegenden Fall auf die Mikrolinse 26.2. Das Beleuchten vom zweiten Lichtquellen-Ort  $F_2$  aus kann mit der gleichen Lichtquelle 16 erfolgen, die lediglich mittels einer nicht eingezeichneten Positionier-vorrichtung an einer anderen Stelle positioniert wurde.

[0034] Fig. 2 zeigt die resultierende Situation, wobei lediglich diejenigen Lichtstrahlen eingezeichnet sind,

die im Oberflächenpunkt **30** reflektiert wurden. Es ist zu erkennen, dass sich die Geraden  $G_1(5)$  und  $G_2(2)$  im Oberflächenpunkt **30** schneiden. Aus den Positionen der Foki  $F_1$  und  $F_2$  einerseits und den Auftreffpunkten  $P_1(5)$  und  $P_2(2)$  andererseits lässt sich zudem eine Oberflächennormale  $N(x_o, y_o)$  für den Oberflächenpunkt **30** mit den Koordinaten  $x_o, y_o$  berechnen.

[0035] Dass für den Auftreffpunkt  $P_1(5)$  und damit die Mikrolinse **26.5** beschriebene Verfahren wird für alle Auftreffpunkte  $P(n)$  ( $n = 1, 2, \dots, N$ ), im vorliegenden Fall für alle Mikrolinsen **26.n** durchgeführt. Dazu werden für alle Mikrolinsen **26.n** die zugehörigen Geraden  $G_1(n)$  berechnet, die durch Reflektion der jeweiligen Lichtstrahlen vom Fokus  $F_1$  entstehen. Es werden zudem sämtliche Geraden  $G_2(n)$  berechnet, die zu Lichtstrahlen gehören, die vom Fokuspunkt  $F_2$  ausgehen und an der Oberfläche **12** reflektiert wurden. Durch Berechnen sämtlicher möglicher Schnittpunkte wird eine große Zahl an Oberflächenpunkten ermittelt, aus denen die Topographie  $T$  der Oberfläche **12** rekonstruiert wird. Nicht alle so berechneten Schnittpunkte gehören zur gesuchten Topographie  $T$  der Oberfläche **12**. Um eine eindeutige Topographie zu rekonstruieren, werden anschließend die Oberflächennormalenvektoren in den Schnittpunkten verglichen.

[0036] Wenn oben von dem Berechnen eines Schnittpunkts gesprochen wird, ist dies wegen der diskreten Auftreffpunkte und auftretender Messfehler nur im idealisierten Fall streng mathematisch richtig. Wenn von dem Berechnen eines Schnittpunkts gesprochen wird, so ist daher darunter zu verstehen, dass der kleinstmögliche Abstand zweier Geraden bestimmt wird. Ist dieser Abstand kleiner als ein vorgegebener Schwellenwert  $s$ , wobei beispielsweise  $s = 1$  Mikrometer gilt, so wird davon ausgegangen, dass die Geraden sich in dem Punkt minimalen Abstands schneiden.

[0037] Äquivalent zum oben beschriebenen Vorgehen ist, für jeden möglichen Punkt auf der Gerade  $G_1(5)$  diejenige Normale  $N$  zu bestimmen, die die Oberfläche **12** hätte, wenn sich der Oberflächenpunkt **30** an diesem Punkt befinden würde. Zudem wird die gleiche Rechnung für alle Punkte auf allen anderen Geraden  $G_2$  durchgeführt, die zu Lichtstrahlen gehören, die von der zweiten Lichtquelle, im vorliegenden Fall am zweiten Lichtquellen-Ort  $F_2$  ausgehen. Um den Punkte **30** zu berechnen, wird dann der Winkel zwischen jeweils zwei derartigen Normalen berechnet. Ist der Winkel zwischen beiden kleiner als ein vorgegebener Schwellenwert, beispielsweise  $\alpha = 1^\circ$ , so wird davon ausgegangen, dass die beiden Geraden sich in dem entsprechenden Punkt schneiden.

#### Bezugszeichenliste

<b>10</b>	Prüfling
<b>12</b>	Oberfläche
<b>14</b>	Lichtwellenerzeugungsvorrichtung
<b>16</b>	Lichtquelle
<b>18</b>	Sammellinse
<b>20</b>	Lichtstrahl
<b>22</b>	Topographiemessvorrichtung
<b>24</b>	Wellenfrontsensor
<b>26</b>	Mikrolinse
<b>28</b>	Bildsensor
<b>30</b>	Oberflächenpunkt
<b>32</b>	Auswerteeinheit
<b>T</b>	Topographie
<b>K</b>	Koordinatensystem
<b>F</b>	Fokus
<b>P</b>	Auftreffpunkt
<b>N1</b>	Erstwellenfront-Normale
<b>G</b>	Gerade

#### Patentansprüche

1. Topographiemessverfahren zum Bestimmen einer Topographie ( $T$ ) einer Oberfläche (**12**) eines reflektierenden Prüflings (**10**), mit den Schritten:

(a) Bestrahlen des Prüflings (**10**) mit einer ersten sphärischen Welle, die von einer Punktquelle an einem ersten Lichtquellen-Ort ausgeht ( $F_1$ ), so dass die erste sphärische Welle zumindest teilweise vom Prüfling (**10**) reflektiert wird,

(b) mittels eines Wellenfrontsensors (**24**) Erfassen einer Erstwellenfront-Normalen ( $N_1$ ) der reflektierten ersten Welle für zumindest einen Auftreffpunkt ( $P_1$ ) auf dem Wellenfrontsensor (**24**),

(c) Ermitteln eines Abstandskennwerts, der einen Abstand des Prüflings (**10**) vom Wellenfrontsensor (**24**) beschreibt, und

(d) Ermitteln eines Oberflächenpunkts (**30**), für den gilt:

– der Punkt liegt auf einer Geraden ( $G$ ), die in Erstwellenfront-Normalenrichtung und durch den Auftreffpunkt ( $P_1$ ) verläuft und

– der Punkt hat einen Oberflächenpunkt-Abstand vom Wellenfrontsensor (**24**), der gemäß dem Abstandskennwert zur Oberfläche (**12**) des Prüflings (**10**) gehört.

2. Topographiemessverfahren zum Bestimmen einer Topographie ( $T$ ) eines reflektierenden Prüflings (**10**), mit den Schritten:

(a) Bestrahlen des Prüflings (**10**) mit einer ersten sphärischen Welle, die von einer Punktquelle an einem ersten Lichtquellen-Ort ausgeht, so dass die erste sphärische Welle zumindest teilweise vom Prüfling (**10**) reflektiert wird,

(b) mittels eines Wellenfrontsensors (**24**) Erfassen einer Erstwellenfront-Normalen ( $N_1$ ) der reflektierten ersten Welle für zumindest einen Auftreffpunkt ( $P_1$ ) auf dem Wellenfrontsensor (**24**),

(c) Bestrahlen des Prüflings (10) mit einer zweiten sphärischen Welle, die von einer Punktquelle an einem vom ersten Lichtquellen-Ort verschiedenen, zweiten Lichtquellen-Ort ausgeht, so dass die zweite sphärische Welle zumindest teilweise vom Prüfling (10) reflektiert wird,

(d) mittels des Wellenfrontsensors (24) Erfassen einer Zweitwellenfront-Normalen der reflektierten zweiten Welle für zumindest einen zweiten Auftreffpunkt ( $P_2$ ) auf dem Wellenfrontsensor (24), und

(e) Ermitteln eines Oberflächenpunkts (30), für den gilt:

- der Punkt liegt zumindest bis auf eine vorgegebene tolerierbare Abweichung auf einer ersten Geraden ( $G_1$ ), die in Erstwellenfront-Normalenrichtung und durch den ersten Auftreffpunkt ( $P_1$ ) verläuft und
- der Punkt liegt zumindest bis auf eine vorgegebene tolerierbare Abweichung auf einer zweiten Geraden ( $G_2$ ), die in Zweitwellenfront-Normalenrichtung und durch den zweiten Auftreffpunkt ( $P_2$ ) verläuft.

3. Topographiemessverfahren nach einem der vorstehenden Ansprüche, gekennzeichnet durch den Schritt: Ermitteln einer Oberflächennormalen der Oberfläche (12) des Prüflings (10) im Oberflächenpunkt (30), insbesondere aus dem ersten Lichtquellen-Ort und dem ersten Auftreffpunkt ( $P_1$ ).

4. Topographiemessverfahren nach einem der vorstehenden Ansprüche, **dadurch gekennzeichnet**, dass das Bestrahlen des Prüflings (10) mit einem Lichtfeld erfolgt, das einen Fokus (F) hat, so dass der erste Lichtquellen-Ort der Fokus (F) ist.

5. Topographiemessverfahren nach einem der vorstehenden Ansprüche, **dadurch gekennzeichnet**, dass der Wellenfrontsensor (24) ein Shack-Hartmann-Sensor ist, der eine Mehrzahl an Mikrolinsen (26) umfasst.

6. Topographiemessverfahren nach einem der vorstehenden Ansprüche, **dadurch gekennzeichnet**, dass das Ermitteln des Oberflächenpunkts (30) die folgenden Schritte umfasst:

- (i) Berechnen eines Schnittpunkts von erster und zweiter Gerader ( $G_1$ ,  $G_2$ ),
- (ii) Ermitteln einer ersten Oberflächennormalen einer Topographie (T) der Oberfläche (12) aus dem Schnittpunkt und dem ersten Lichtquellen-Ort und/oder dem ersten Auftreffpunkt ( $P_1$ ),
- (iii) Ermitteln einer zweiten Oberflächennormalen der Topographie (T) aus dem Schnittpunkt und dem zweiten Lichtquellen-Ort und/oder dem zweiten Auftreffpunkt ( $P_2$ ),
- (iv) Ermitteln einer Abweichung zwischen erster Oberflächennormalen und zweiter Oberflächennormalen und
- (v) wenn die Abweichung einen vorgegebenen Schwellenwert unterschreitet, Ausgeben des Schnittpunkts und der Oberflächennormalen oder eines aus

den Oberflächennormalen berechneten Oberflächennormalenwerts als Datenpunkt der Topographie (T).

7. Topographiemessverfahren nach einem der vorstehenden Ansprüche, **dadurch gekennzeichnet**, dass es für eine Vielzahl an Auftreffpunkten (P) auf dem Wellenfrontsensor (24) durchgeführt wird und aus den ermittelten Oberflächenpunkten (30) und/oder den ermittelten Oberflächennormalen eine Topographie (T) der Oberfläche (12) ermittelt wird.

8. Topographiemessvorrichtung zum Bestimmen einer Topographie (T) einer Oberfläche (12) eines reflektierenden Prüflings (10), mit:

(a) einer Lichtwellenerzeugungsvorrichtung (14) zum Bestrahlen des Prüflings (10) mit einer ersten sphärischen Welle,

(b) einem Wellenfrontsensor (24) zum Erfassen einer Erstwellenfront-Normalen ( $N_1$ ) der reflektierten ersten Welle für zumindest einen Auftreffpunkt ( $P_1$ ) auf dem Wellenfrontsensor (24),

(c) einer Abstandskennwert-Erfassungsvorrichtung zum Erfassen eines Abstandskennwerts, der einen Abstand des Prüflings (10) vom Wellenfrontsensor (24) beschreibt, und

(d) einer Auswerteeinheit (32), die eingerichtet ist zum automatischen Ermitteln eines Oberflächenpunkts (30), für den gilt:

- der Punkt liegt auf einer Geraden (G), die in Erstwellenfront-Normalenrichtung und durch den Auftreffpunkt ( $P_1$ ) verläuft und
- der Punkt hat einen Oberflächenpunkt-Abstand vom Wellenfrontsensor (24), der gemäß dem Abstandskennwert zur Oberfläche (12) des Prüflings (10) gehört.

9. Topographiemessvorrichtung zum Bestimmen einer Topographie (T) einer Oberfläche (12) eines reflektierenden Prüflings (10), mit:

(a) einer Lichtwellenerzeugungsvorrichtung (14), die ausgebildet ist zum Bestrahlen des Prüflings (10) mit - einer ersten sphärischen Welle, die von einer Punktquelle an einem ersten Lichtquellen-Ort ausgeht, und

- mit einer zweiten sphärischen Welle, die von einer Punktquelle an einem vom ersten Lichtquellen-Ort verschiedenen, zweiten Lichtquellen-Ort ausgeht, so dass die zweite sphärische Welle zumindest teilweise vom Prüfling (10) reflektiert wird,

(b) einem Wellenfrontsensor (24) zum Erfassen einer Erstwellenfront-Normalen ( $N_1$ ) der reflektierten ersten Welle für zumindest einen Auftreffpunkt (P) auf dem Wellenfrontsensor (24),

(c) einem Wellenfrontsensor (24) zum Erfassen einer Zweitwellenfront-Normalen der reflektierten zweiten Welle für zumindest einen zweiten, vom ersten Auftreffpunkt ( $P_1$ ) verschiedenen Auftreffpunkt auf dem Wellenfrontsensor (24),

(d) einer Auswerteeinheit (32), die eingerichtet ist zum automatischen Ermitteln eines Oberflächenpunkts (30), für den gilt:

- der Punkt liegt auf einer Geraden (G), die in Erstwellenfront-Normalenrichtung und durch den ersten Auftreffpunkt ( $P_1$ ) verläuft,
- der Punkt liegt auf einer Geraden (G), die in Zweitwellenfront-Normalenrichtung und durch den zweiten Auftreffpunkt ( $P_2$ ) verläuft.

10. Topographiemessvorrichtung nach einem der Ansprüche 8 oder 9, **dadurch gekennzeichnet**, dass die Auswerteeinheit (32) eingerichtet ist zum automatischen Durchführen eines Verfahrens nach einem der Ansprüche 1 bis 7.

Es folgen 2 Seiten Zeichnungen

Anhängende Zeichnungen

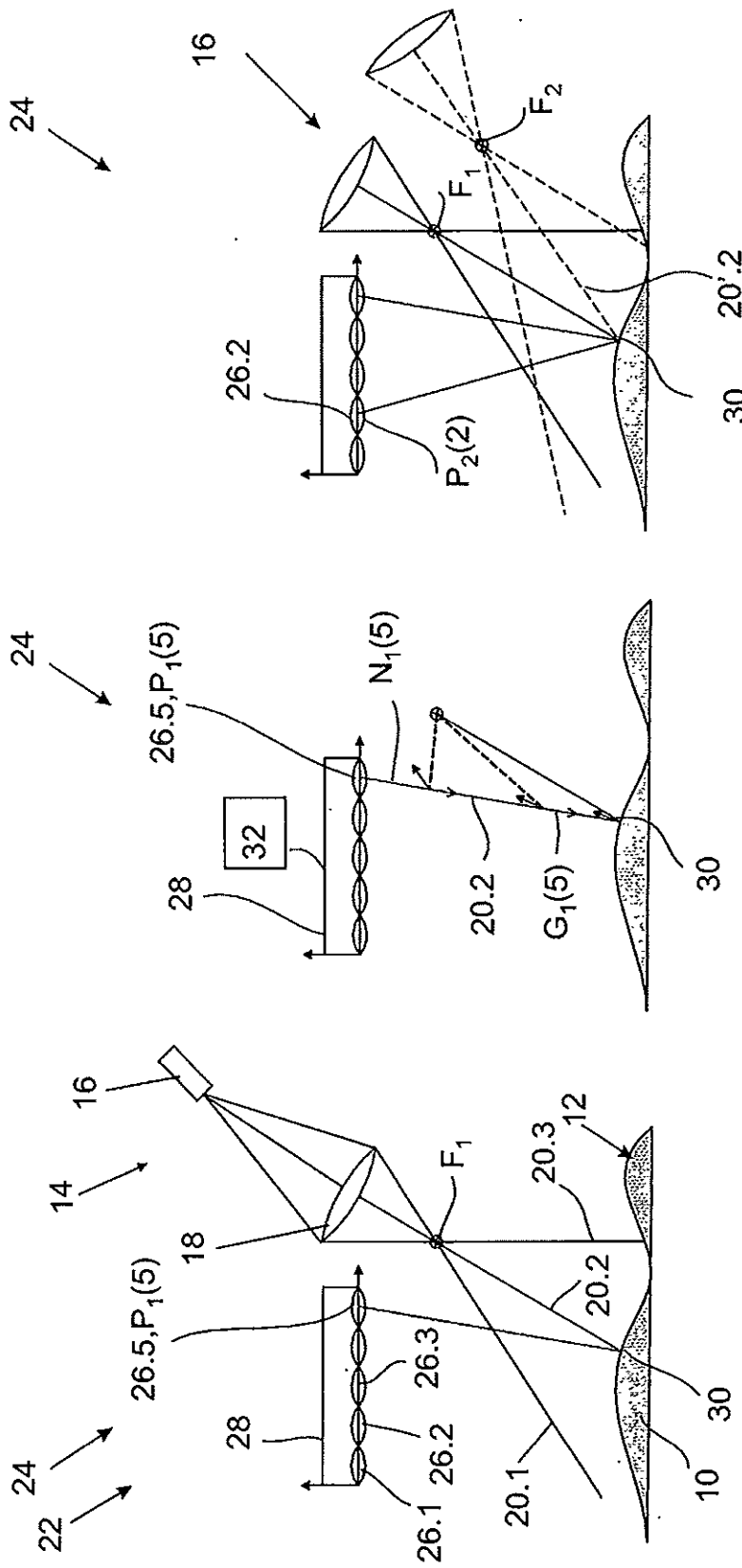


Fig. 1c

Fig. 1b

Fig. 1a

Fig. 1



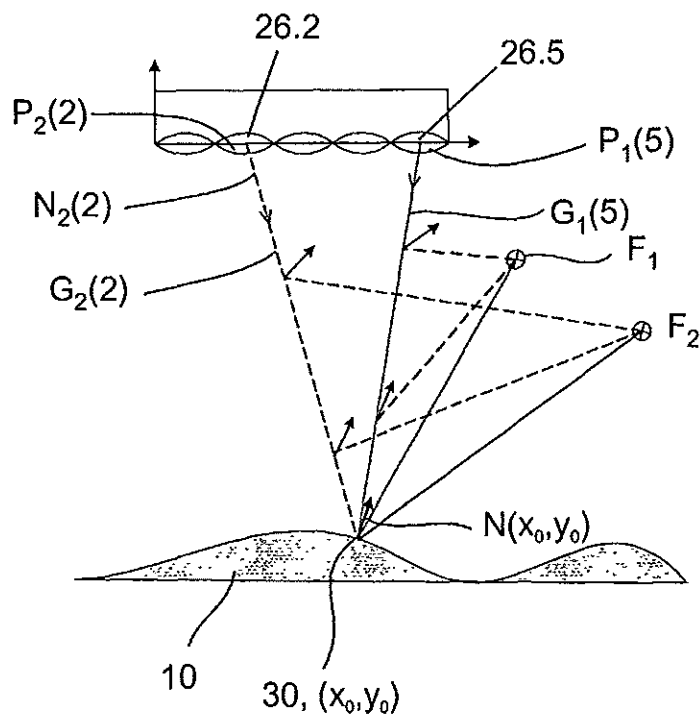


Fig. 2

