



(10) **DE 10 2008 030 153 B4** 2018.08.23

(12) **Patentschrift**

(21) Aktenzeichen: **10 2008 030 153.1**  
(22) Anmeldetag: **27.06.2008**  
(43) Offenlegungstag: **31.12.2009**  
(45) Veröffentlichungstag  
der Patenterteilung: **23.08.2018**

(51) Int Cl.: **G01B 11/03 (2006.01)**  
**G01B 11/14 (2006.01)**  
**G01B 9/02 (2006.01)**

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

(73) Patentinhaber:  
**Vistec Semiconductor Systems GmbH, 35781  
Weilburg, DE**

(74) Vertreter:  
**Reichert & Lindner Partnerschaft Patentanwälte,  
93047 Regensburg, DE**

(72) Erfinder:  
**Heiden, Michael, 61200 Wölfersheim, DE; Rinn,  
Klaus, Prof. Dr., 35452 Heuchelheim, DE**

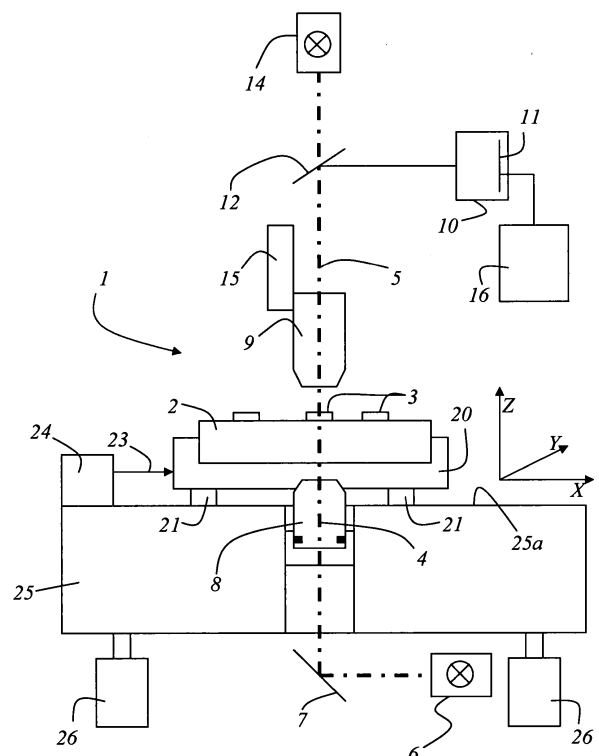
(56) Ermittelter Stand der Technik:

DE	196 28 969	C1
DE	10 2005 052 758	A1
DE	10 2007 036 813	A1
DE	10 2007 036 814	A1
US	5 469 260	A

(54) Bezeichnung: **Verfahren zum Bestimmen von Positionen von Strukturen auf einem Substrat mit einer Koordinaten-Messmaschine und Koordinaten-Messmaschine**

(57) Hauptanspruch: Verfahren zum Bestimmen von Positionen von Strukturen auf einem Substrat in Bezug auf ein Koordinatensystem einer Koordinaten-Messmaschine, wobei die bestimmten Messwerte der Positionen der Strukturen hinsichtlich der durch Änderungen des Umgebungsluftdrucks bedingten Skalenfehler kompensiert werden, gekennzeichnet durch die folgenden Schritte:

- dass Formänderungen eines Spiegelkörpers, eines Substrats und mindestens eines Etalons, die für eine Positionsmessung in der X/Y-Ebene verwendet werden, in Bezug auf den 3-dimensionalen Raum als Funktion des Umgebungsluftdrucks mittels Finiter-Elemente berechnet werden,
- dass die Formänderungen als Funktion des Umgebungsluftdrucks in einem Rechner gespeichert werden, und
- dass bei einer Messung von Positionen von Strukturen auf einer Oberfläche des Substrats die durch Änderungen des Umgebungsluftdrucks bedingten Skalenfehler derart korrigiert werden, dass die entsprechende Korrektur an Hand des aktuell gemessenen Umgebungsluftdrucks aus dem Rechner abgerufen wird.



## Beschreibung

**[0001]** Die vorliegende Erfindung betrifft ein Verfahren zum Bestimmen von Positionen von Strukturen auf einem Substrat. Im Besonderen betrifft die Erfindung ein Verfahren zum Bestimmen von Positionen von Strukturen auf einem Substrat in Bezug auf ein Koordinatensystem einer Koordinaten-Messmaschine, wobei die bestimmten Messwerte der Positionen der Strukturen hinsichtlich der durch Änderungen des Umgebungsluftdrucks bedingten Skalenfehler kompensiert werden.

**[0002]** Ferner betrifft die Erfindung eine Koordinaten-Messmaschine.

**[0003]** Da sich die Anforderung an die Genauigkeit, bzw. Reproduzierbarkeit der durch eine Koordinaten-Messmaschine bestimmten Größen (Position von Strukturen auf einem Substrat oder Breite der Strukturen auf dem Substrat) erhöht haben, gilt es nun, auch bedingte Formänderungen einiger Komponenten einer Koordinaten-Messmaschine zu berücksichtigen. Das untersuchende Substrat liegt in der Koordinaten-Messmaschine auf drei definierten Auflagepunkten auf. Da man die Position der Auflagepunkte kennt, kann man die Durchbiegung einer Maske berechnen und somit die gemessenen Messwerte entsprechend korrigieren. Aufgrund der nun immer steigenden Anforderungen an die Messgenauigkeit haben nun auch Druckänderungen Einfluss auf die Messung. Ändert sich der Druck, so ändert sich logischerweise auch die Form des Bauteils einer Koordinaten-Messmaschine. Im vorliegenden Beispiel ändert sich somit die Position der Auflagepunkte für das Substrat. Da sich diese Position der Auflagepunkte für das Substrat ändert, ändert sich somit auch die Durchbiegung des Substrats. Folglich stimmt eine vorher berechnete Durchbiegung des Substrats anhand von der definierten Position von Auflagepunkten nicht mehr.

**[0004]** Ein Messgerät zur Vermessung von Strukturen auf Wafern und/oder Masken ist aus dem Vortragsmanuskript „pattern placement metrology for mask making“ von Frau Dr. Carola Bläsing offenbart. Der Vortrag wurde anlässlich der Tagung Semicon Education Program in Genf am 31. März 1998 gehalten. Dort ist eine Koordinaten-Messmaschine ausführlich beschrieben, so dass in der nachstehenden Beschreibung die einzelnen Komponenten einer Koordinaten-Messmaschine nicht mehr im Detail beschrieben werden müssen. Hier wird auf die o. g. Veröffentlichung verwiesen, bzw. Bezug genommen. Ebenso ist erwähnt, dass die Koordinaten-Messmaschine in einer Klimakammer untergebracht ist, welche die Temperatur auf  $< \pm 0,01 \text{ }^\circ\text{C}$  und eine Feuchtigkeit von  $< \pm 1 \%$  relative Feuchtigkeit regelt. Ebenso ist ein Laser-Interferometer offenbart, mit dem die Position des Messtisches innerhalb der X-/Y-Ebene bestimmt werden kann. Zur Bestimmung der Schwankungen der Temperatur und der Feuchte wird ein Etalon eingesetzt.

**[0005]** Die Deutsche Patentschrift DE 196 28 969 C1 offenbart ebenfalls eine Koordinaten-Messvorrichtung und spricht dabei ebenfalls die Problematik an, die durch klimatische Luftdruckänderungen und Luftfeuchtigkeitsänderungen, auch nach dem Öffnen von Türen der Klimakammer auftreten und somit einen Einfluss auf die Wellenlänge des Lichts haben, welches zur Erzielung von Messergebnissen verwendet wird. Zur Lösung dieser Problematik wird ein Zweistrahl-Interferometer mit wirksam reduziertem Einfluss der Wellenlängenänderungen auf die Positionsmessung offenbart. Dies wird erreicht, durch Einfügen eines lichtdurchlässigen, geschlossenen, inkompressiblen Körpers in den Referenzstrahlengang oder den Messstrahlengang, so dass die außerhalb des Körpers verlaufenden Anteile von Referenzstrahlengang und Messstrahlengang bei einer bestimmten Positionierung des verfahrbaren Messtisches gleich lang sind. Der Messtisch ist dazu an einer bestimmten Stelle mit einer spiegelnden Oberfläche versehen.

**[0006]** In der U.S.-Patentschrift US 5,469,260 A wird insbesondere auf den Einfluss von schnellen, zufälligen Luftbewegungen eingegangen, wie sie beispielsweise nach Tür-öffnen oder -schließen oder nach Bewegungen in der Umgebung des Messgeräts auftreten. Die dadurch verursachten örtlich begrenzten Luftdruckschwankungen bewirken lokale Änderungen des Brechungsindex und damit Wellenlängenänderungen im Lichtstrahl. Zur Lösung des Problems wird vorgeschlagen, den Mess- und den Referenzstrahlengang mit an beiden Enden offenen Rohren zu umhüllen. In die Rohre soll definiert temperaturstabilisierte Luft oder temperaturstabilisiertes Gas eingeblasen werden. Für den längenvariablen Messstrahlengang sind Rohre mit teleskopartigem Verlängerungsmechanismus vorgeschlagen. Durch die weitgehende Umhüllung des Lichtstrahls wird der Einfluss schneller Luftdruckschwankungen weitgehend verhindert.

**[0007]** Die Deutsche Patentanmeldung DE 10 2007 036 814 A1 offenbart eine Koordinaten-Messmaschine zum Vermessen von Strukturen auf einem Substrat. Die Koordinaten-Messmaschine besitzt einen in X-Koordinatenrichtung und in Y-Koordinatenrichtung verfahrbaren Messtisch. Ebenso ist ein Laser-Interferometer vorgesehen, mit dem die Position des Messtisches und/oder des Messobjektivs bestimmt werden kann. Mindestens der Messtisch, das Messobjektiv und das mindestens eine Laser-Interferometer sind dabei in einer

Vakuummkammer angeordnet. Unter einer Vakuummkammer ist eine Kammer zu verstehen, in der ein Druck eingestellt werden kann, der unter dem herrschenden Normaldruck liegt.

**[0008]** Die Deutsche Patentanmeldung DE 10 2007 036 813 A1 offenbart ein System und ein Verfahren zum Bestimmen von Positionen von Strukturen auf einem Substrat. Wie bereits mehrfach erwähnt, umfasst die Koordinaten-Messmaschine einen in X-Koordinatenrichtung und in Y-Koordinatenrichtung verfahrbaren Messstisch. Ebenso sind ein Messobjektiv und eine Kamera zur Bestimmung der Position der Strukturen auf dem Substrat vorgesehen. Mit mindestens einem Interferometer kann die Lage des Messobjektivs und/oder des Messtisches bestimmt werden. Das System, bzw. die Koordinaten-Messmaschine ist dabei von einem Gehäuse umgeben, das eine Klimakammer darstellt, die mit einer aktiven Druckregulierung versehen ist.

**[0009]** Die bisherigen Systeme des Standes der Technik ermöglichen jedoch ausschließlich die Einstellung von bestimmten Umgebungsbedingungen, d. h. der Druck, die Temperatur, die Feuchte usw. können mit entsprechenden Vorrichtungen eingestellt werden. Die Einstellung eines konstanten Drucks oder einer konstanten Temperatur kann jedoch nicht den Fehler eliminieren, der sich ergibt, wenn bestimmte Bauteile der Koordinaten-Messmaschine aufgrund des herrschenden Drucks, bzw. der herrschenden Temperatur eine andere Größe oder Form einnehmen, als dies bei den Eichbedingungen (hinsichtlich Temperatur und Druck) für die Koordinaten-Messmaschine geschehen ist. In der DE 10 2005 052 758 A1 wird im Kontext eines Positionsmessgeräts zur Messung von Positionen auf einem Substrat zur Berücksichtigung von Änderungen des Luftdrucks ein Längenmaßstab angepasst; dies geschieht durch Änderung eines Wertes einer Wellenlänge eines Interferometerlasers zur Positionsbestimmung. Ferner wird darin auch vorgeschlagen, dass Elastizitätsmodule messkritischer Komponenten des Positionsmessgeräts nur begrenzt von einem Elastizitätsmodul des Substrats abweichen.

**[0010]** Aufgabe der gegenwärtigen Erfindung ist, ein Verfahren zur Bestimmung von Positionen von Strukturen auf einem Substrat zu schaffen, bei dem die durch den Umgebungsluftdruck bedingten Skalenfehler hinsichtlich der gemessenen Positionen von Strukturen kompensiert werden.

**[0011]** Die Aufgabe wird gelöst durch ein Verfahren, das die Merkmale des Anspruchs 1 umfasst.

**[0012]** Ferner ist es Aufgabe der gegenwärtigen Erfindung, eine Koordinaten-Messmaschine zu schaffen, mit der die Messwerte bereits hinsichtlich der herrschenden Druckbedingungen korrigiert sind.

**[0013]** Die obige Aufgabe wird gelöst durch eine Koordinaten-Messmaschine, die die Merkmale des Anspruchs 4 umfasst.

**[0014]** Es ist von Vorteil, wenn bei dem Verfahren die Formänderungen eines Spiegelkörpers, einer Maske und mindestens eines Etalons in Bezug auf den dreidimensionalen Raum als Funktion des herrschenden Umgebungsluftdrucks bestimmt werden. Die so ermittelten Formänderungen werden als Funktion des Umgebungsluftdrucks in einen Rechner gespeichert. Bei einer Messung von Positionen von Strukturen auf der Oberfläche eines Substrats, bzw. einer Maske, werden die durch Änderungen des Luftdrucks bedingten Skalenfehler derart korrigiert, dass die entsprechende Korrektur anhand des aktuell gemessenen Luftdrucks aus dem Rechner abgerufen wird.

**[0015]** Die durch den Umgebungsluftdruck bedingten Formänderungen des Spiegelkörpers, des Substrats und des mindestens einen Etalons werden mittels der Finite-Elemente-Methode berechnet. Es ist von Vorteil, wenn der Spiegelkörper, das Substrat und das mindestens eine Etalon den gleichen Elastizitätsmodul besitzen.

**[0016]** Zur Eliminierung der durch den Umgebungsluftdruck bedingten Skalenfehler ist die Koordinaten-Messmaschine mit einer Einrichtung versehen, die die durch Änderungen des Umgebungsluftdrucks bedingten Skalenfehler kompensiert. Die bereits derzeit eingesetzte Einrichtung (Etalon) kompensiert die durch Wellenlängenänderungen bedingten Skalenfehler. Durch Änderungen des Umgebungsluftdrucks kommt es zu einem Wachsen oder Schrumpfen der Maschine. Dieser dadurch bedingte Fehler soll mit der gegenwärtigen Erfindung kompensiert werden.

**[0017]** Die Einrichtung umfasst einen Datenspeicher, der eine Korrekturfunktion enthält. Ebenso ist eine Einrichtung zum Messen des aktuellen Umgebungsluftdrucks vorgesehen. Diejenigen Werte der Korrekturfunktion sind dabei aus dem Datenspeicher abrufbar, die für die Korrektur des Skalenfehlers dem aktuell gemessenen Umgebungsluftdruck entsprechen.

**[0018]** Die Einrichtung umfasst einen in X-Koordinatenrichtung und Y-Koordinatenrichtung beweglichen Messtisch, auf dem ein Spiegelkörper angeordnet ist. Auf dem Spiegelkörper ist das Substrat gelegt, das auf einer Oberfläche die zu vermessenden Strukturen trägt. Ebenso umfasst die Einrichtung ein Etalon, wobei der Spiegelkörper, das Substrat und das mindestens eine Etalon den gleichen Elastizitätsmodul umfassen.

**[0019]** Es ist ebenfalls von Vorteil, wenn der Spiegelkörper, das Substrat und das mindestens eine Etalon aus einem identischen Material bestehen. Zerodur ist dabei eine Möglichkeit eines Materials, das sowohl für den Spiegelkörper, Referenzspiegelkörper, das Substrat, als auch für das mindestens eine Etalon mit seinen Spiegelkörpern gewählt werden kann.

**[0020]** Im Folgenden sollen Ausführungsbeispiele die Erfindung und ihre Vorteile anhand der beigefügten Figuren näher erläutern.

**Fig. 1** zeigt eine schematische Darstellung des Aufbaus einer Koordinaten-Messmaschine, wie sie hinlänglich aus dem Stand der Technik bekannt ist.

**Fig. 2** zeigt eine schematische Anordnung von Elementen die durch Druckänderung ihre Form verändern und somit das Messergebnis einer Koordinaten-Messmaschine beeinflussen.

**Fig. 3** zeigt eine schematische Frontansicht eines Gehäuses, welches um das Koordinaten-Messgerät angeordnet ist.

**Fig. 4** zeigt eine schematische Ansicht eines Längenmaßstabs nach der Druckkalibrierung.

**Fig. 5** zeigt eine Ansicht, bei der sich die Länge des Maßstabs aufgrund einer Druckänderung verändert.

**[0021]** Für gleiche oder gleich wirkende Elemente der Erfindung werden identische Bezugszeichen verwendet. Ferner werden der Übersicht halber nur Bezugszeichen in den einzelnen Figuren dargestellt, die für die Beschreibung der jeweiligen Figur erforderlich sind. Die dargestellten Ausführungsformen stellen lediglich Beispiele dar, wie die erfindungsgemäße Vorrichtung oder das erfindungsgemäße Verfahren ausgestaltet sein können und stellen keine abschließende Beschränkung dar.

**[0022]** Eine Koordinaten-Messmaschine **1** der in **Fig. 1** dargestellten Art ist bereits mehrfach aus dem Stand der Technik bekannt und ebenfalls dort beschrieben. Der Vollständigkeit halber wird jedoch auf die Funktionsweise und die Anordnung der einzelnen Elemente der Koordinaten-Messmaschine eingegangen. Ferner sei darauf hingewiesen, dass mit der Koordinaten-Messmaschine **1** Strukturen **3** auf der Oberfläche **2a** eines Substrats **2** (Maske für die Herstellung von Halbleitern) vermessen werden können. Diese Vermessung wird optisch durchgeführt. Dabei wird der Messtisch **20**, der als Spiegelkörper ausgebildet ist, innerhalb einer Ebene **25a** in X-Koordinatenrichtung und in Y-Koordinatenrichtung verfahren, damit eine zu vermessende Struktur **3** auf der Oberfläche **2a** des Substrats in die optische Achse **5** des Messobjektivs **9** gelangt. Die Position der jeweils zu vermessenden Struktur wird dabei in Bezug auf das Koordinatensystem der Koordinaten-Messmaschine **1** bestimmt.

**[0023]** Der Messtisch **20** ist dabei in einer Ebene **25a** verfahrbar, die auf dem Element **25** ausgebildet ist. Das Element **25** ist in einer bevorzugten Ausführungsform ein Granitblock. Es ist jedoch für einen Fachmann selbstverständlich, dass das Element **25** auch aus einem anderen Material ausgebildet sein kann, welches eine exakte Ebene **25a** für die Verschiebung des Messtisches **20** gewährleistet. Die Position des Messtisches wird mittels mindestens eines Laser-Interferometers **24** gemessen, welches zur Messung einen Lichtstrahl **23** aussendet. Das Element **25** selbst ist auf Schwingungsdämpfern gelagert, um somit Gebäudeschwingungen von der Koordinaten-Messmaschine **1** fernzuhalten. Der Messtisch **20** selbst ist auf Lagern **21** in X-Koordinatenrichtung und in Y-Koordinatenrichtung verfahrbar. In einer bevorzugten Ausführungsform sind die Lager **21** als Luftlager ausgebildet.

**[0024]** Auf dem Messtisch **20**, welcher z. B. ein Spiegelkörper ist, ist das Substrat **2** aufgelegt, welches die zu vermessenden Strukturen **3** trägt. Das Substrat **2** kann mit einer Durchlichtbeleuchtungseinrichtung **6** und/oder mit einer Auflichtbeleuchtungseinrichtung **14** beleuchtet werden. Das Licht der Durchlichtbeleuchtungseinrichtung **6** gelangt über einen Umlenkspiegel **7** und einen Kondensator **8** auf das Substrat **2**. Ebenso gelangt das Licht der Auflichtbeleuchtungseinrichtung **14** über ein Messobjektiv **9** auf das Substrat **2**. Das Messobjektiv **9** ist mit einer Verstelleinrichtung **15** versehen, die es erlaubt das Messobjektiv **9** in Z-Koordinatenrichtung zu verstellen. Das Messobjektiv **9** sammelt das vom Substrat ausgehende Licht und lenkt es aus der Auflichtbeleuchtungsachse, bzw. optischen Achse **5** mittels eines teildurchlässigen Umlenkspiegels **12** heraus. Das Licht wird auf eine Kamera **10** gerichtet, die mit einem Detektor versehen ist. Der Detektor **11** ist mit einem Rechnersystem **16** verbunden, dass aus den vom Detektor **11** ermittelten Messwerten die entsprechenden

Positionsdaten der jeweils vermessenen Struktur auf dem Substrat **2** berechnet. Parallel dazu wird mit dem Rechnersystem **16** ebenfalls die erforderliche Korrektur des durch den Umgebungsluftdruck bedingten Skalenfehlers durchgeführt.

**[0025]** In **Fig. 2** ist schematisch die Anordnung derjenigen Elemente einer Koordinaten-Messmaschine gezeigt, die durch Druckänderungen der Umgebung hinsichtlich ihrer Dimension beeinflusst werden. Der Spiegelkörper **20** ist zumindest mit einem spiegelnden Element  $20_S$  versehen, das sowohl in der X-Koordinatenrichtung als auch in der Y-Koordinatenrichtung ausgerichtet ist. Ebenso ist das Objektiv **9**, welches über dem Substrat **2** angeordnet ist mit einem spiegelnden Element  $9_S$  versehen, mit dem die Position des Objektivs **9** im Wesentlichen in der X/Y-Ebene **25a** bestimmt wird. Ferner ist jedem Laser-Interferometers **24** ein Referenzspiegel **29** für die Ermittlung der Wellenlängenänderungen der jeweiligen Messstrahlen  $20_x$ ,  $20_y$ ,  $9_x$  zugeordnet. Auf die Referenzspiegel **29** und **9S** wird entsprechend der Referenzstrahl  $20_R$  bzw.  $9_R$  gerichtet. Im Prinzip gilt es alle messwertrelevanten Elemente, deren Formänderung die Messung der Position von Strukturen auf der Maske **2** zu berücksichtigen. Da aber einige Elemente, wie z.B. spiegelnde Elemente  $9_S$  am Objektiv **9**, einen geringen Einfluss haben bzw. deren Einfluss von anderen Elementen überdeckt wird, ist in vielen Fällen ausreichend, sich auf diese Elemente, wie Spiegelkörper **20**, Substrat **2** und Etalon, zu beschränken.

**[0026]** **Fig. 3** zeigt eine schematische Frontansicht des Systems zum Bestimmen von Positionen von Koordinaten auf einem Substrat. Das System ist von einem Gehäuse **50** umgeben. Mit dem Gehäuse der Klimakammer **50** kann eine aktive und technisch sehr aufwendige Druckregulierung durchgeführt werden. Aufgrund des Aufwandes einer aktiven Druckregelung wird innerhalb des Gehäuses der Klimakammer **50** lediglich die Temperatur und auch die Feuchte eingestellt. Durch die Einstellung der Temperatur wird die Ausdehnung der einzelnen Bauteile der Koordinaten-Messmaschine egalisiert. Die durch Druckänderungen bedingten Änderungen der Dimension der einzelnen Bauteile der Koordinaten-Messmaschine **1** kann man am kostengünstigsten dadurch egalisieren, dass man für die relevanten Bauteile versucht die E-Modulen in etwa gleich bzw. innerhalb eines bestimmten Schwankungsbereichs zu halten. Das Gehäuse der Klimakammer **50** kann ferner mit einem Display **54** versehen sein, über das der Benutzer Information über den Messablauf der Koordinaten-Messmaschine **1** im Innern des Gehäuses erhalten kann. Ebenso ist eine Eingabeeinheit **55** vorgesehen, über die entsprechende Befehle oder Rezepte zur Vermessung des Substrats im Inneren des Gehäuses der Klimakammer **50** aufrufbar, bzw. erstellbar sind.

**[0027]** Wie bereits eingangs erwähnt, ist durch die ständig steigenden Anforderungen an die Reproduzierbarkeit einer Koordinaten-Messmaschine **1** auch eine Kompensation des Umgebungsluftdrucks notwendig. Es ist selbstverständlich, dass die Dimensionen von Bauteilen der Koordinaten-Messmaschine **1** von den aktuell herrschenden Druckverhältnissen abhängen. **Fig. 4** zeigt die Situation nach dem Kalibrieren einer Koordinaten-Messmaschine **1**. Die Koordinaten-Messmaschine **1** besitzt einen Maßstab **100** der Länge  $L_M$ . Dieser Maßstab **100** ist in der Koordinaten-Messmaschine **1** durch das Etalon gegeben. Bei der Messung wird der Maßstab **100** der Länge  $L_M$  mit einem Prüfling **101** der Länge  $L_P$  verglichen.

**[0028]** In **Fig. 5** ist die Situation bei verändertem Luftdruck dargestellt. Der Maßstab **100** und der Prüfling **101** werden unterschiedlich zusammengedrückt, falls sie nicht den gleichen Elastizitätsmodul besitzen. Man misst folglich bei einem anderen Luftdruck eine andere Länge des Prüflings **101**, als dies bei einer, bei einem bestimmten Luftdruck kalibrierten, Koordinaten-Messmaschine **1** der Fall ist.

**[0029]** In einem ersten Schritt wird die Koordinaten-Messmaschine **1** gewöhnlich auf eine bestehende Referenz der Länge  $L_0$  und bei einem bestimmten Luftdruck kalibriert (siehe **Fig. 4**). Wird diese Referenz zu einem späteren Zeitpunkt noch mal vermessen, dann herrscht in der Regel ein anderer Luftdruck und aufgrund der unterschiedlichen Elastizitätsmodulen ergibt sich eine andere Längenmessung. Die Differenz in der Längenmessung ergibt sich aus:

$$\Delta L = L_P - L_M = L_0 \left( 1 + \frac{\Delta p}{E_P} \right) - L_0 \left( 1 + \frac{\Delta p}{E_M} \right) = L_0 \left( \frac{1}{E_P} - \frac{1}{E_M} \right) \Delta p = L_0 \frac{E_M - E_P}{E_P E_M} \Delta p$$

**[0030]** Die meisten heute verwendeten Masken bestehen aus ULE Materialien (Ultra Low Expansion) mit einem Elastizitätsmodul von ca.  $E_P = 67\text{GPa}$ . Eine mögliche Ausführungsform ist, dass der Längenmaßstab **100** aus Zerodur besteht, das einen Elastizitätsmodul von ca.  $E_P = 90\text{GPa}$  besitzt. Bei der herkömmlichen Größe der Substrate bzw. Masken von,  $L_0 = 140\text{mm}$  ergibt sich dadurch bei einer Druckänderung von  $\Delta p = 10\text{ mbar} = 1\text{ kPa}$  ein Messfehler von:

$$\Delta L = 140 * 10^6 \text{ nm} \frac{(90 - 67)}{67 * 90} * 10^6 = 0,53 \text{ nm}$$

**[0031]** Für die gestiegenen Anforderungen an eine Koordinaten-Messmaschine **1** ist dies um einen Faktor zwei zu groß. Das Elastizitätsmodul des Längenmaßstabes sollte daher nicht mehr als:

$$\Delta L \geq L_0 \frac{(E_M - E_P)}{E_M E_P} \Delta p$$

mit

$$\begin{aligned} E_M &= E_P \pm \Delta E \\ \Rightarrow \frac{\Delta L}{L_0 \Delta p} &\geq \frac{(E_M - E_P)}{E_P E_M} = \frac{\pm \Delta E}{E_P^2 \pm E_P \Delta E} \\ \Rightarrow \frac{\Delta L}{L_0 \Delta p} (E_P^2 \pm E_P \Delta E) &\geq |\Delta E| \\ \Rightarrow \frac{\Delta L}{L_0 \Delta p} E_P^2 &\geq |\Delta E| \left( 1 - \frac{\Delta L \Delta E}{L_0 \Delta p} \right) = |\Delta E| \frac{(L_0 \Delta p - \Delta L \Delta E)}{L_0 \Delta p} \\ \Rightarrow |\Delta E| &\leq \frac{\Delta L}{(L_0 \Delta p - \Delta L E_P)} E_P^2 \end{aligned}$$

**[0032]** von dem Elastizitätsmodul von dem Prüfling abweichen. Für Prüflinge aus ULE mit  $E_P = 67 \text{ GPa}$  ergibt sich daher ein E-Modul für das Etalon von

$$E_M = (67 \pm 9) \text{ GPa.}$$

**[0033]** Entsprechend kann man für Masken aus Zerodur mit einem E-Modul von  $E_P = 90 \text{ GPa}$  das günstige E-Modul des Längenmaßstabs zu

$$E_M = (90 \pm 17) \text{ GPa}$$

**[0034]** bestimmen. Allgemein gilt für die obige Formel, dass für einen bestimmten Prüfling mit dem E-Modul  $E_P$  der Längenmaßstab im E-Modul nicht um mehr als

$$|\Delta E| \leq \frac{\Delta L}{(L_0 \Delta p - \Delta L E_P)} E_P^2$$

**[0035]** von dem Prüfling abweicht, damit bei einer Druckänderung von 10mbar, der Messfehler nicht größer als 0.25nm wird. Der Druckbereich kann je nach Bedingungen natürlich angepasst werden. Dies führt dann zu größeren oder kleineren Toleranzen in dem E-Modul für den Längenmaßstab.

**[0036]** Sehr vorteilhaft ist es daher, sich mit dem E-Modul des Längenmaßstabs auf einen Wert von 75GPa bis 76GPa zu setzen. In diesem Bereich gibt es ebenfalls ULE Materialien. Wird das E-Modul so gewählt, dann kann man die Bedingung für den druckabhängigen Messfehler sowohl für ULE als auch für Zerodurmasken erfüllen.

**[0037]** Die Erfindung wurde unter Bezugnahme auf eine bevorzugte Ausführungsform beschrieben. Es ist jedoch für einen Fachmann vorstellbar, dass Abwandlungen oder Änderungen der Erfindung gemacht werden können, ohne dabei den Schutzbereich der nachstehenden Ansprüche zu verlassen.

## Patentansprüche

1. Verfahren zum Bestimmen von Positionen von Strukturen auf einem Substrat in Bezug auf ein Koordinatensystem einer Koordinaten-Messmaschine, wobei die bestimmten Messwerte der Positionen der Strukturen hinsichtlich der durch Änderungen des Umgebungsluftdrucks bedingten Skalenfehler kompensiert werden, **gekennzeichnet durch** die folgenden Schritte:

- dass Formänderungen eines Spiegelkörpers, eines Substrats und mindestens eines Etalons, die für eine Positionsmessung in der X/Y-Ebene verwendet werden, in Bezug auf den 3-dimensionalen Raum als Funktion des Umgebungsluftdrucks mittels Finiter-Elemente berechnet werden,
- dass die Formänderungen als Funktion des Umgebungsluftdrucks in einem Rechner gespeichert werden, und
- dass bei einer Messung von Positionen von Strukturen auf einer Oberfläche des Substrats die durch Änderungen des Umgebungsluftdrucks bedingten Skalenfehler derart korrigiert werden, dass die entsprechende Korrektur an Hand des aktuell gemessenen Umgebungsluftdrucks aus dem Rechner abgerufen wird.

2. Verfahren nach Anspruch 1, **dadurch gekennzeichnet**, dass das mindestens eine Substrat und das mindestens eine Etalon jeweils einen Elastizitätsmodul aufweisen, wobei ein Unterschied in den Elastizitätsmodulen eine vorbestimmte Grenze nicht überschreitet.

3. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 2, **dadurch gekennzeichnet**, dass das mindestens eine Substrat, der Spiegelkörper und das mindestens eine Etalon jeweils einen Elastizitätsmodul aufweisen, wobei ein Unterschied in den Elastizitätsmodulen eine vorbestimmte Grenze nicht überschreitet.

4. Koordinaten-Messmaschine **dadurch gekennzeichnet**, dass die Koordinaten-Messmaschine mit einer Einrichtung versehen ist, die die durch Änderungen des Umgebungsluftdrucks bedingten Skalenfehler kompensiert, wobei sich aus den Messdaten der Einrichtung zum Messen des Umgebungsluftdrucks und aus

$$\Delta L = L_0 \left( \frac{E_M - E_p}{E_p E_M} \right) \Delta p$$

der jeweilige Korrekturwert für die jeweilige Skalenänderung berechnet.

5. Koordinaten-Messmaschine nach Anspruch 4, **dadurch gekennzeichnet**, dass die Einrichtung einen Datenspeicher umfasst, der eine Korrekturfunktion enthält, dass eine Einrichtung zum Messen des aktuellen Umgebungsluftdrucks vorgesehen ist und dass diejenigen Werte der Korrekturfunktion aus dem Datenspeicher abrufbar sind, die für die Korrektur des Skalenfehlers dem aktuell gemessenen Umgebungsluftdruck entsprechen.

6. Koordinaten-Messmaschine nach Anspruch 4, **dadurch gekennzeichnet**, dass die Koordinaten-Messmaschine einen auf einem in X-Koordinatenrichtung und in Y-Koordinatenrichtung beweglichen Messtisch angeordneten Spiegelkörper, ein auf dem Spiegelkörper angeordnetes Substrat mit den zu vermessenden Strukturen und mindestens ein Etalon umfasst, wobei das mindestens eine Substrat und das mindestens eine Etalon einen Elastizitätsmodul aufweisen, wobei ein Unterschied in den Elastizitätsmodulen eine vorbestimmte Grenze nicht überschreitet.

7. Koordinaten-Messmaschine nach Anspruch 4, **dadurch gekennzeichnet**, dass die Koordinaten-Messmaschine einen auf einem in X-Koordinatenrichtung und in Y-Koordinatenrichtung beweglichen Messtisch angeordneten Spiegelkörper, ein auf dem Spiegelkörper angeordnetes Substrat mit den zu vermessenden Strukturen und mindestens ein Etalon umfasst, wobei der Spiegelkörper, das mindestens eine Substrat und das mindestens eine Etalon einen Elastizitätsmodul aufweisen, wobei ein Unterschied in den Elastizitätsmodulen eine vorbestimmte Grenze nicht überschreitet.

8. Koordinaten-Messmaschine nach einem der Ansprüche 4 bis 7, **dadurch gekennzeichnet**, dass das Substrat und das mindestens eine Etalon aus unterschiedlichen Materialien bestehen.

9. Koordinaten-Messmaschine nach einem der Ansprüche 4 bis 8, **dadurch gekennzeichnet**, dass der Spiegelkörper, das Substrat und das mindestens eine Etalon aus unterschiedlichen Materialien bestehen.

10. Koordinaten-Messmaschine nach einem der Ansprüche 8 oder 9, **dadurch gekennzeichnet**, dass die Materialien für den Spiegelkörper, das Substrat und das mindestens eine Etalon derart gewählt sind, dass sich die Bereiche der Elastizitätsmodule der einzelnen Materialien überschneiden.

11. Koordinaten-Messmaschine nach einem der Ansprüche 4 bis 7, **dadurch gekennzeichnet**, dass das Substrat und das mindestens eine Etalon aus einem identischen Material bestehen.

12. Koordinaten-Messmaschine nach einem der Ansprüche 4 bis 7, **dadurch gekennzeichnet**, dass der Spiegelkörper, das Substrat und das mindestens eine Etalon aus einem identischen Material bestehen.

13. Koordinaten Messmaschine nach einem der Ansprüche 8 bis 12, **dadurch gekennzeichnet**, dass das Material des Spiegelkörpers, des Substrats und des mindestens einen Etalons Zerodur oder ULE ist.

Es folgen 4 Seiten Zeichnungen



Anhängende Zeichnungen

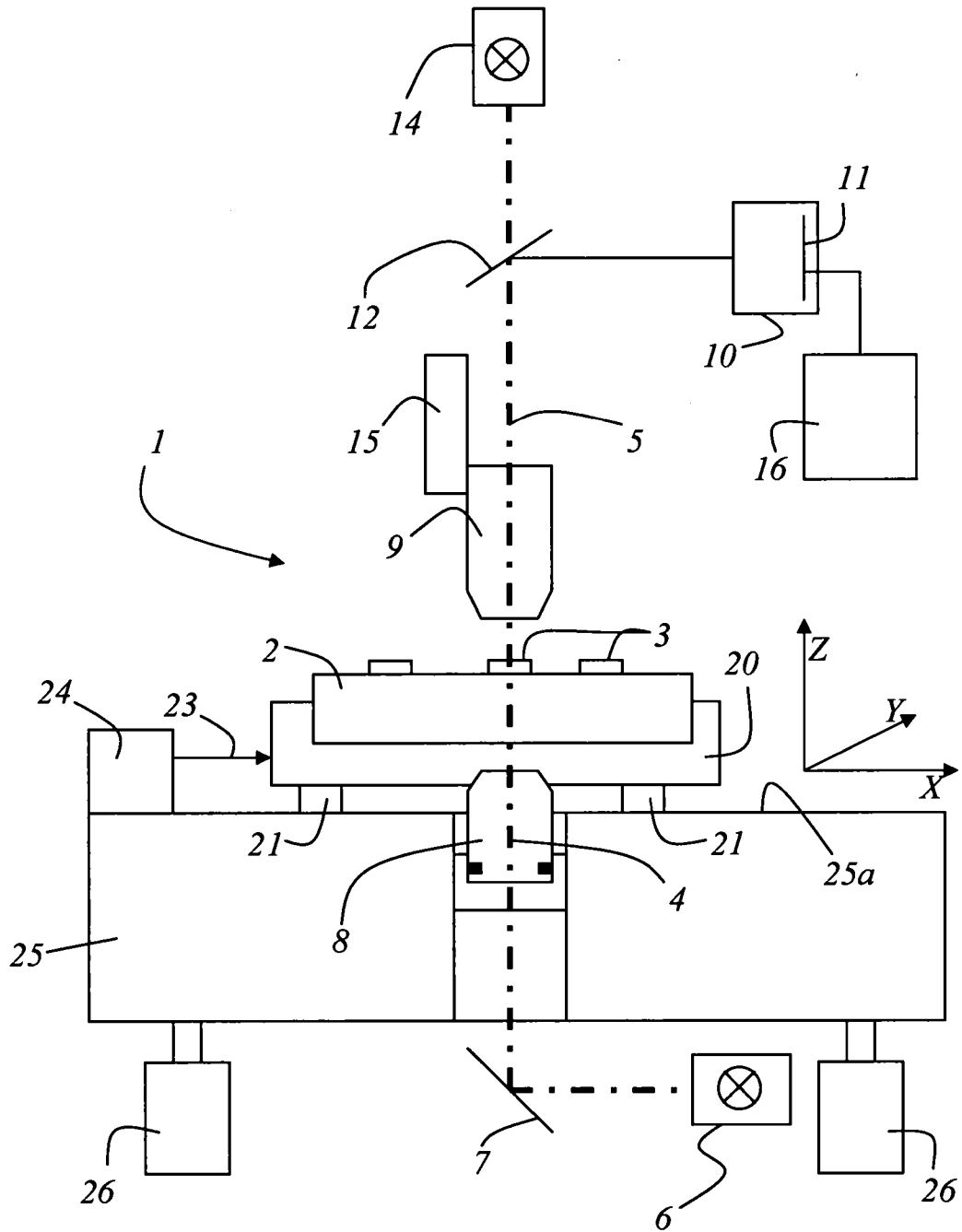


Fig. 1

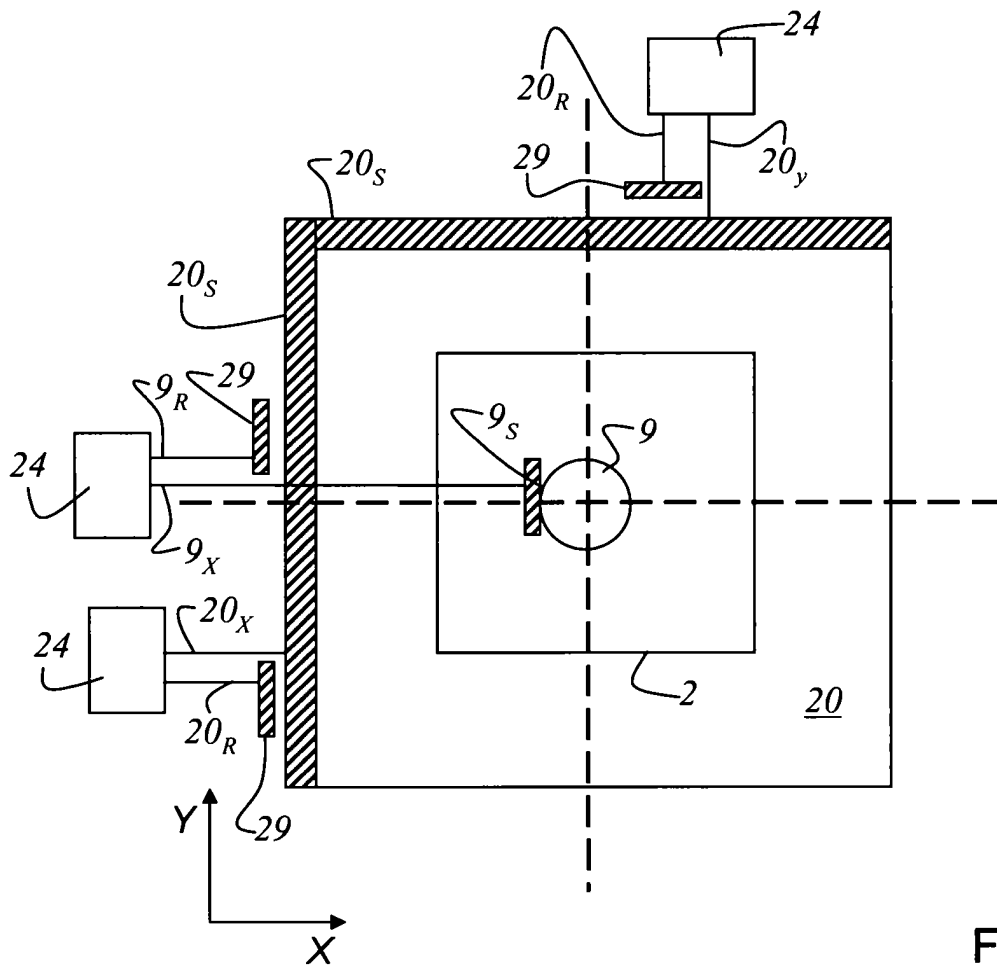


Fig. 2

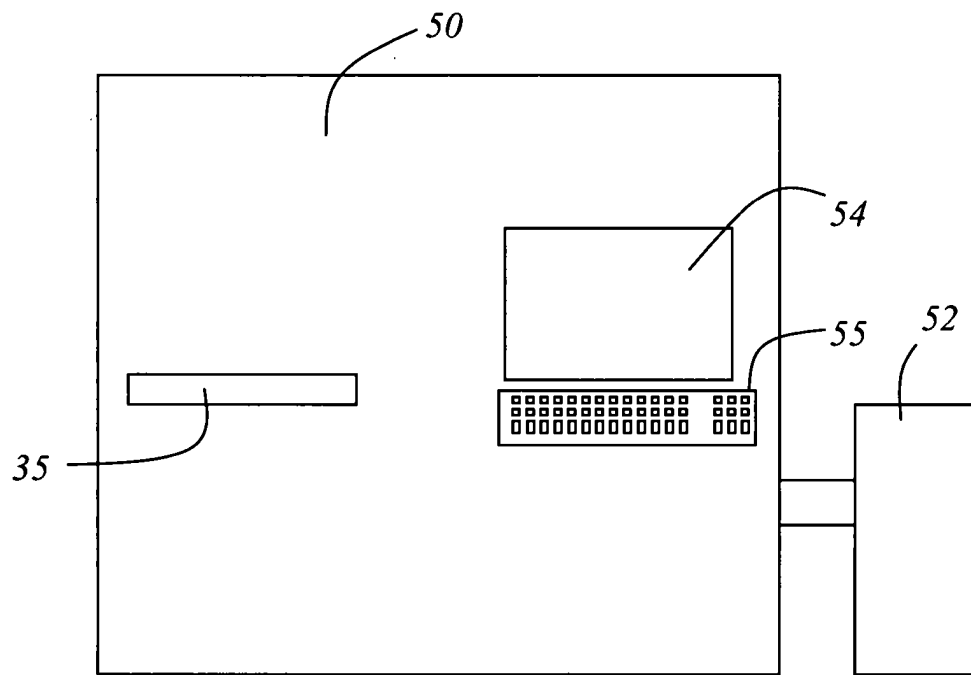


Fig. 3

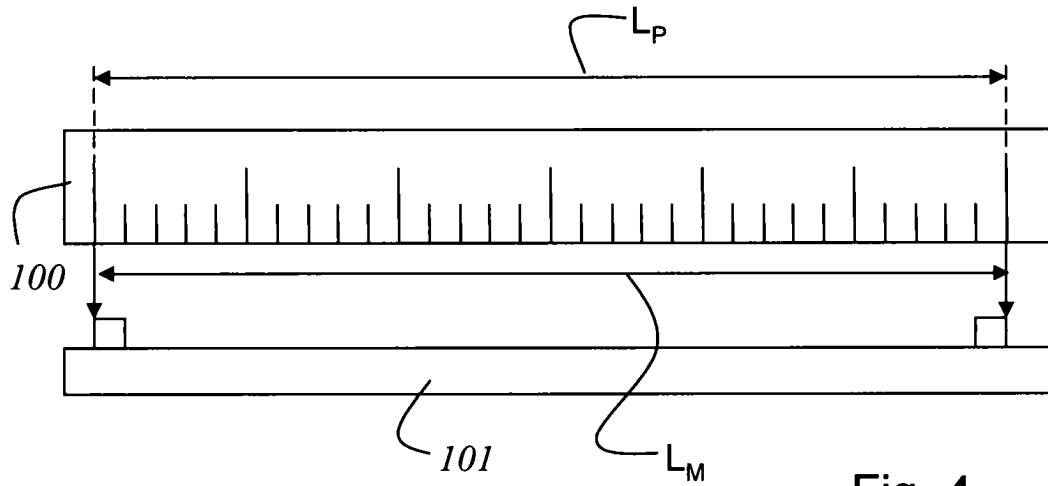


Fig. 4

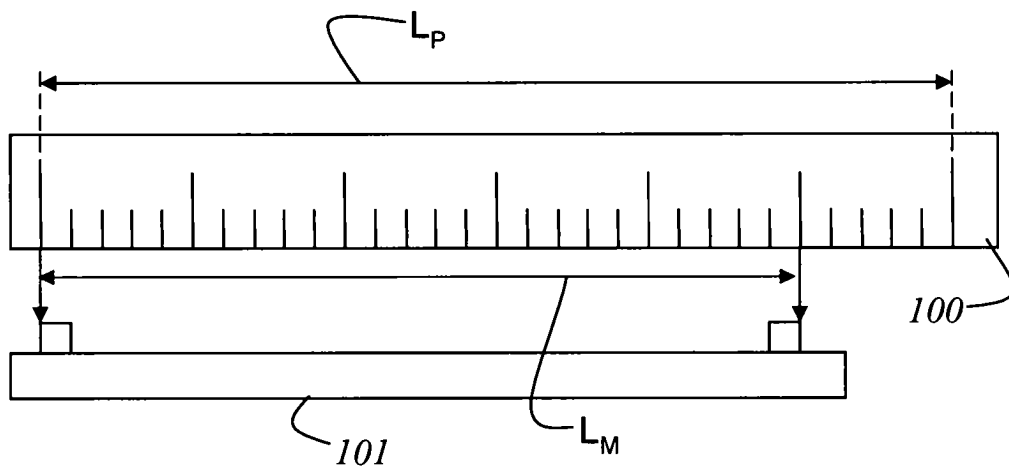


Fig. 5