



(12)

Patentschrift

(21) Aktenzeichen: **10 2010 015 884.4**
(22) Anmeldetag: **09.03.2010**
(43) Offenlegungstag: **12.01.2012**
(45) Veröffentlichungstag
der Patenterteilung: **28.05.2015**

(51) Int Cl.: **G01M 11/00 (2006.01)**
G03F 9/00 (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:
KLA-Tencor MIE GmbH, 35781 Weilburg, DE

(74) Vertreter:
Reichert & Kollegen, 93047 Regensburg, DE

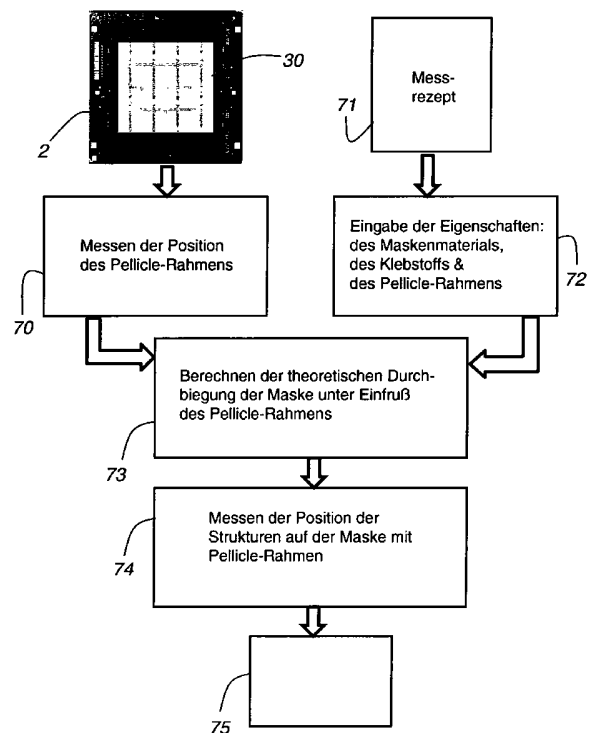
(72) Erfinder:
Laske, Frank, 35781 Weilburg, DE; Enkrich, Christian, 76337 Waldbronn, DE; Cotte, Eric, 01129 Dresden, DE

(56) Ermittelter Stand der Technik:
siehe Folgeseiten

(54) Bezeichnung: **Verfahren zur reproduzierbaren Bestimmung der Position von Strukturen auf einer Maske mit Pellicle-Rahmen**

(57) Hauptanspruch: Verfahren zur reproduzierbaren Bestimmung der Position von Strukturen (3) auf einer Maske (2), wobei mit der Maske (2) ein Pellicle-Rahmen (30) fest verbunden ist, gekennzeichnet durch die folgenden Schritte:

- dass ein theoretisches Modell der Durchbiegung der Maske (2) zusammen mit dem fest verbundenen Pellicle-Rahmen (30) berechnet wird, wobei Materialeigenschaften der Maske (2), des Pellicle-Rahmens (30) und des Verbindungsmittels zwischen dem Pellicle-Rahmen (30) und der Maske (2) bei der Berechnung der Durchbiegung der Maske (2) einbezogen werden, und wobei für die Berechnung der Durchbiegung der Maske (2) deren Auflage auf drei Unterstützungspunkten berücksichtigt wird; und
- dass mit einer Koordinaten-Messmaschine (1) die Positionen der Strukturen (3) auf der Maske (2) gemessen werden und die gemessene Position einer jeden Struktur mit dem theoretischen Modell der Durchbiegung der Maske (2) an der Stelle der Lage der jeweils gemessenen Struktur korrigiert wird.



(19)



Deutsches
Patent- und Markenamt

(10) **DE 10 2010 015 884 B4** 2015.05.28

(56) Ermittelter Stand der Technik:

DE	102 40 085	B4
DE	10 2007 033 814	A1
US	2004 / 0 194 556	A1
US	2008 / 0 094 591	A1
WO	2005/ 038 271	A1
JP	H04- 133 061	A
JP	H05- 61 187	A
JP	H10- 73 407	A

Cotte E.P. [et al.]: Experimental and Numerical Studies of the Effects of Materials and Attachment Conditions on Pellicle-Induced Distorsions in Advanced Photomasks. Proceedingd of SPIE, Vol. 4754, 2002, S. 579-588

Cotte, E. [et al.]: 193-nm Immersion photomask image placement in exposure tools. Proceedings of SPIE, Vol. 6154, No. 61541F, 2006, S. 1-10. [online]. DOI: 10.1117/12.656373, In:SPIE

Cotte, E.[et al.]: Pellicle for 193-nm immrsion lithography photomasks. Proceedings of SPIE, Vol. 55567, 2004, S. 511-520. [online]. DOI: 10.1117/12.569280, In:SPIE

Beschreibung

[0001] Die vorliegende Erfindung betrifft ein Verfahren zur reproduzierbaren Bestimmung der Position von Strukturen auf einer Maske. Ein Pellicle-Rahmen, um den eine Folie gespannt ist, deckt die Strukturen auf der Maske ab. Der Pellicle-Rahmen ist mit der Maske über einen Kleber fest verbunden.

[0002] Ein Messgerät zur Vermessung von Positionen von Strukturen auf Masken bzw. Substraten, die zur Herstellung von Halbleitern eingesetzt werden, 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 31.03.1998 gehalten. In diesem Vortragsmanuskript sind die Grundlagen einer Koordinaten-Messmaschine ausführlich beschrieben. Bzgl. der Einzelheiten der Funktionsweise und zum Aufbau der Koordinaten-Messmaschine sei ausdrücklich auf die **Fig. 1** der Patentanmeldung verwiesen.

[0003] Die deutsche Patentschrift DE 103 216 80 B4 offenbart ein Verfahren zur Bestimmung der Güte eines Pellicle, das auf einem auf einer Maske angeordneten Rahmen zum Schutz der auf der Maske ausgebildeten Strukturen angebracht ist. Die Strukturen werden durch die Folie v. a. vor Kontamination mit mikroskopischen Partikeln geschützt. Die Maske wird zusammen mit dem Pellicle in ein Belichtungsgerät eingebracht, anhand des Durchstrahlens des Pellicles und der Maske kann man aus der resultierenden Beugung auf die Güte des Pellicles bzw. der im Rahmen gespannten Folie schließen.

[0004] Das Patent US 5 853 927 A offenbart ein Verfahren zum Ausrichten einer Maske in einem photolithographischen Prozess. Die Maske trägt einen Rahmen mit einem Pellicle zum Schutz der darunter liegenden Strukturen. Bereits mit dem bloßen Auge bzw. durch die Verwendung eines Mikroskops kann ein Benutzer die schlechte Ausrichtung, bzw. Anbringung des Pellicle-Rahmens in Bezug auf die Maske ermitteln. Hierzu sind auf der Maske eine Reihe von Ausrichtmarken aufgebracht, anhand derer die Ausrichtung bzw. die richtige Anbringung des Pellicle-Rahmens in Bezug auf die Maske überprüft bzw. korrigiert werden können.

[0005] Die japanische Patentanmeldung JP H10-73 407 A offenbart eine Koordinaten-Messmaschine, die ebenfalls die Positionen von Strukturen auf einer Maske misst, welche durch einen Pellicle-Rahmen mit einer Folie geschützt sind. Bei der hier vorgeschlagenen Vorrichtung wird die Durchbiegung bzw. Wölbung der Folie bzw. des Pellicles bei der Bestimmung der Positionen der Strukturen auf der Maske mit berücksichtigt. Mit der in der Patentanmeldung vorgeschlagenen Vorrichtung ist es mög-

lich, die Wölbung des Pellicles, welche in dem Rahmen eingespannt ist, zu bestimmen und ggf. bei der Messung der Positionen der Strukturen auf der Maske zu berücksichtigen.

[0006] Die japanische Patentanmeldung JP 2005 292197 offenbart eine Vorrichtung zum Messen der Befestigungsposition des Pellicle-Rahmens auf der Maske. Mit einer nicht berührenden Messvorrichtung wird die Position des Pellicle-Rahmens auf der Maske bestimmt.

[0007] Die japanische Patentanmeldung JP H04-133 061 A offenbart eine Vorrichtung, mit der die Ebenheit einer Fotomaske bestimmt werden kann. Mittels eines Lasers wird die Maske durchleuchtet. Hinter der Maske befindet sich ein Spiegel, so dass anhand der sich bildenden Interferenzringe, die von Dickenschwankungen der Maske herrühren, ein Rückschluss auf die Ebenheit bzw. Flachheit der Maske gegeben ist.

[0008] Die japanische Patentanmeldung JP H05-61 187 A offenbart ebenfalls eine Vorrichtung zur Inspektion der Flachheit bzw. Ebenheit einer Maske, die mit einem Pellicle-Rahmen versehen ist. Die Oberfläche der Maske wird durch das Pellicle hindurch mit einem Laserstrahl beleuchtet. Das Objektiv und das Detektionssystem für den rückgestreuten Lichtstrahl werden derart angepasst, dass das Licht von der zu detektierenden Position auf der Maske durch das Pellicle hindurch zu einer vordefinierten Position gelangt. Die Höhe der Position, auf die der Laser trifft, wird anhand der angepassten und gemessenen Position bestimmt. Anhand mehrerer Messpunkte, die auf der Oberfläche der Maske verteilt sind, kann man letztendlich auf die Flachheit bzw. Ebenheit der Maske schließen.

[0009] Der Artikel „Experimental and Numerical Studies of the Effects of Materials and Attachment Conditions on Pellicle-Induced Distortions in Advanced Photomasks“ von Eric P. Cotte et al., Proceedings of SPIE, Vol. 4754, 2002, S. 579–588, beschreibt die Entwicklung eines Finite-Elemente-Modells, welches die Verzerrungen einer Maske und die daraus bei einer Positionsmessung von Strukturen resultierenden Verschiebungen von Strukturpositionen aufgrund des Anbringens eines Pellicles berechnen kann. Die Leistungsfähigkeit des Modells wird durch Vergleich mit tatsächlichen Messungen auf Masken geprüft. Das Modell berücksichtigt diverse Materialparameter.

[0010] Bei der Bestimmung von Positionen von Strukturen auf der Oberfläche einer Maske mittels einer Koordinaten-Messmaschine wird die Durchbiegung einer Maske berücksichtigt. Bisher wurde nicht berücksichtigt, dass selbst ein auf der Maske befestigter Pellicle-Rahmen mit einem Pellicle das Durchbiegungsverhalten einer Maske beeinflusst. Bei den

bisherigen Messungen wurden die mit der Koordinaten-Messmaschine bestimmten Messwerte lediglich mit einem theoretischen Modell korrigiert, dass sich aus der Durchbiegung einer Maske ergab, die mit keinem Pellicle-Rahmen versehen war. Die Durchbiegung der Maske wurde dabei mit einem System berechnet, bei dem die Maske auf drei Unterstützungspunkten aufliegt. Anhand des berechneten Modells wurde dann die mit der Koordinaten-Messmaschine gemessenen Positionen von Strukturen auf der Maske korrigiert. Die Messung von Positionen von Strukturen auf der Oberfläche von Masken, welche mit einem Pellicle-Rahmen versehen sind, gewinnt immer mehr an Bedeutung, da der Overlay von Maske zu Maske immer mehr an Gewicht erhält. Die Befestigung des Pellicle-Rahmens auf der fertig strukturierten Maske führt zu einem zusätzlichen Stress innerhalb der Maske, welcher in Bezug auf eine ideale flache Maske eine Verschiebung der Positionen der zu messenden Struktur um ungefähr 1 nm bis 3 nm bewirkt. Bei den bisherigen 6-Zoll Standard-Masken wird ein Durchbiegungsmodell verwendet, das nicht die physikalischen Eigenschaften und das physikalische Verhalten einer Maske mit einem Pellicle-Rahmen berücksichtigt.

[0011] Die Aufgabe der Erfindung ist, ein Verfahren zu schaffen, mit dem die Positionen von Strukturen auf der Oberfläche einer Maske mit einer geforderten Reproduzierbarkeit der Koordinaten-Messmaschine gemessen werden können, wobei der Einfluss auf die Reproduzierbarkeit des Pellicle-Rahmens eliminiert ist.

[0012] Die Aufgabe wird durch ein Verfahren zur reproduzierbaren Bestimmung der Position von Strukturen auf einer Maske gelöst, wobei mit der Maske ein Pellicle-Rahmen fest verbunden ist. Das erfindungsgemäße Verfahren umfasst ferner die Merkmale des Anspruchs 1.

[0013] Bei dem Verfahren zur reproduzierbaren Bestimmung von Positionen von Strukturen auf einer Maske wird ein theoretisches Modell der Durchbiegung der Maske berechnet. Mit der Maske ist ein Pellicle-Rahmen fest verbunden. Der Pellicle-Rahmen trägt ein Pellicle bzw. eine Folie, die zum Schutz der vom Pellicle-Rahmen eingeschlossenen und auf der Maske ausgebildeten Strukturen dient. Das theoretische Modell der Durchbiegung der Maske wird derart berechnet, dass der Einfluss des fest mit der Maske verbundenen Pellicle-Rahmens mit berücksichtigt wird. Bei der Berechnung des theoretischen Modells fließen die Materialeigenschaften der Maske, des Pellicle-Rahmens und des Verbindungsmittels zwischen dem Pellicle-Rahmen und der Maske in die Berechnung ein. Ebenso wird die Berechnung auf der Grundlage durchgeführt, dass die Maske auf drei Unterstützungspunkten aufliegt. Mit der Koordinaten-Messmaschine werden letztendlich die Positio-

nen der Strukturen auf der Maske gemessen. Bei der Messung wird durch das Pellicle hindurch beleuchtet und ebenso abgebildet. Die gemessenen Positionen der Strukturen auf der Maske werden mit dem theoretischen Modell korrigiert, das die Durchbiegung der Maske unter Einfluss des fest mit der Maske verbundenen Pellicle-Rahmens berücksichtigt. Die gemessenen Strukturen werden an jeder Stelle der Maske jeweils mit der berechneten Durchbiegung gemäß dem theoretischen Modell korrigiert.

[0014] Die Materialeigenschaften des Pellicle-Rahmens betreffen die Höhe, die Außen-Dimensionen und die Innen-Dimensionen, den Young-Modul, das Poissonverhältnis und die Dichte des Materials des Pellicle-Rahmens. Diese Materialeigenschaften werden bei der Berechnung des theoretischen Modells der Durchbiegung der Maske herangezogen.

[0015] Das Verbindungsmittel, mit dem der Pellicle-Rahmen auf der Maske befestigt wird, ist ein Klebstoff. Die Materialeigenschaften des Klebstoffs, die ebenfalls bei der Durchbiegung der Maske unter Berücksichtigung des mit ihr fest verbundenen Pellicle-Rahmens herangezogen werden, sind die Höhe des Klebstoffauftrags zwischen dem Pellicle-Rahmen und der Maske, der Young-Modul, das Poissonverhältnis und die Dichte des Klebstoffs.

[0016] Bei der Berechnung des Modells der Durchbiegung der Maske kann man zusätzliche Parameter als konstant für alle Masken voraussetzen, oder man kann diese Parameter bei jeder Messung einer Maske mit der Koordinaten-Messmaschine vorher bestimmen.

[0017] Geht man davon aus, dass die Maske in der Koordinaten-Messmaschine immer auf die Unterstützungspunkte gleich abgelegt wird, kann man davon ausgehen, dass die Position der Unterstützungspunkte immer konstant ist und nicht bei jeder neuen Messung ermittelt werden muss.

[0018] Geht man jedoch davon aus, dass die Maske nicht immer eindeutig gleich in Bezug auf die drei Unterstützungspunkte abgelegt wird, kann man mit der Koordinaten-Messmaschine die Position der drei Unterstützungspunkte in Bezug auf das Koordinatensystem der Maske ermitteln. Die so ermittelte Position der drei Unterstützungspunkte wird dann bei der Berechnung des theoretischen Modells der Durchbiegung der Maske herangezogen. Ebenso kann man bei der Position des Pellicle-Rahmens auf der Maske verfahren. Es ist für einen Fachmann selbstverständlich, dass je nach Position des Pellicle-Rahmens in Bezug auf das Koordinatensystem der Maske sich ein anderer Einfluss auf die Durchbiegung der Maske ergibt. Da man hier ebenfalls wieder davon ausgehen kann, dass der Pellicle-Rahmen immer konstant und mit konstanten Materialeigenschaften auf der Maske

aufgebracht wird, reicht es aus, einmal diese Position zu bestimmen und dann ein theoretisches Modell für die Durchbiegung der Maske zu errechnen. Dieses Modell kann dann für die Korrektur der mit der Koordinaten-Messmaschine gemessenen Positionen von Strukturen auf der Oberfläche der Maske für alle Masken zumindest von einem Los herangezogen werden.

[0019] Hat die Position des Pellicle-Rahmens in Bezug auf das Koordinatensystem der Maske einen erheblichen Einfluss auf die Durchbiegung der Maske oder ist es nicht gewährleistet, dass der Pellicle-Rahmen bei einem Los von Masken immer gleich in Bezug auf das Koordinatensystem der Maske positioniert wird, so empfiehlt es sich, die Position des Pellicle-Rahmens in Bezug auf das Koordinatensystem der Maske für jede Maske zu berechnen. Aus der Berechnung lässt sich dann ein für jede Maske ein individuelles theoretisches Modell der Durchbiegung der Maske zusammen mit dem Pellicle-Rahmen ermitteln. Der Pellicle-Rahmen weist vier Seiten auf, von denen jede aus einem Kantenpaar besteht. Die Position des Kantenpaars wird über zwei Messstellen bestimmt und anhand der gewonnenen Messwerte kann man die Größe des Rahmens, das Zentrum des Rahmens in Bezug auf die Maske sowie die Orthogonalität des Rahmens berechnen. All diese Parameter können letztendlich mit in die Berechnung des theoretischen Modells der Durchbiegung der Maske einbezogen werden.

[0020] Ebenso ist es empfehlenswert, die Position der vier Außenkanten einer Maske zu bestimmen. Dies geschieht ebenfalls mit der Koordinaten-Messmaschine. Anhand der gewonnenen Messwerte kann die Größe der Maske, das Zentrum der Maske und/oder die Orthogonalität der Maske berechnet werden.

[0021] Mit der Koordinaten-Messmaschine ist es ebenso möglich, die Position des Pellicle-Rahmens in Bezug auf ein Koordinatensystem der Maske zu messen. Die Position der Kanten des Pellicle-Rahmens, die Position der drei Unterstützungspunkte und die Position der mindestens zwei Außenkanten der Maske kann im Mikrometer-Bereich bestimmt werden.

[0022] Wie bereits oben erwähnt, kann man ein einmalig berechnetes theoretisches Modell der Durchbiegung der Maske für alle Masken eines Loses anwenden. Dies setzt jedoch voraus, dass einige Parameter, die in die Berechnung der Durchbiegung der Maske mit einfließen, sich nicht ändern, oder zumindest innerhalb eines bestimmten Toleranzbereiches liegen. Somit wäre es möglich, alle Messwerte von Positionen von Strukturen der verschiedenen Masken mit einem einzigen Modell für die Durchbiegung der Maske zu korrigieren.

[0023] Die Daten des berechneten theoretischen Modells der Durchbiegung der Maske können in einem Speicher hinterlegt werden. Die mit dem theoretischen Modell der Durchbiegung der Maske korrigierten, gemessenen Positionen von Strukturen auf der Maske entsprechen denjenigen Positionen, die man mit der Messung einer nicht durchgebogenen Maske mit einem Pellicle-Rahmen erhalten würde.

[0024] Wie bereits erwähnt, besitzt eine Maske in der Regel vier Kanten, wobei die Position und/oder die räumliche Lage relativ zu einem Koordinatensystem einer der Kanten über jeweils mindestens zwei Messstellen bestimmt wird. Anhand der gewonnenen Messwerte werden die Größe der Maske und/oder das Zentrum der Maske berechnet. Der Pellicle-Rahmen umfasst ebenfalls vier Seiten, von denen jede aus einem Kantenpaar besteht. Die Position des Kantenpaars wird ebenfalls über zwei Messstellen bestimmt. Anhand der gewonnenen Messwerte wird die Größe des Rahmens, das Zentrum des Rahmens und/oder die Orthogonalität des Rahmens berechnet. Die Anzahl der zu vermessenden Kanten kann sich der Benutzer je nach einem beliebigen Messrezept selbst zusammenstellen. Ebenso ist die Anzahl der Messwerte pro zu bestimmender Kante frei wählbar.

[0025] Die Positionen der Kanten (Maske oder Pellicle-Rahmen) werden mit einer Kamera der Koordinaten-Messmaschine aufgenommen. Anschließend werden die Positionen der Kanten mittels Bilderkennung ermittelt. Eine weitere Möglichkeit zur Bestimmung der Position der einzelnen Kanten ist, dass ein Laser-Autofokussystem der Koordinaten-Messmaschine verwendet wird, um die Positionen der Kanten zu ermitteln.

[0026] Im Folgenden sollen Ausführungsbeispiele die Erfindung und ihre Vorteile anhand der beigefügten Figuren näher erläutern.

[0027] Fig. 1 zeigt schematisch einen Aufbau einer Koordinaten-Messmaschine, mit der die Strukturen bzw. die Lage der Kanten der Strukturen in Bezug auf ein Koordinatensystem der Koordinaten-Messmaschine bestimmt werden können.

[0028] Fig. 2 zeigt schematisch die Ablage einer Maske in einen Maskenhalter, der für die Auflage der Maske Unterstützungspunkte ausgebildet hat.

[0029] Fig. 3 zeigt eine Draufsicht auf eine Maske in einem Maskenhalter, wobei die Maske auf den drei Unterstützungspunkten in definierter Lage aufliegt.

[0030] Fig. 4 zeigt eine Draufsicht auf eine Maske, auf der ein Pellicle-Rahmen zum Schutz der darunter liegenden Strukturen auf der Oberfläche der Maske angebracht ist. Ferner sind eine Vielzahl von Messpositionen eingezeichnet, mit denen die Positionen des

Pellicle-Rahmens bzw. die Lage der Maske gemessen werden kann.

[0031] Fig. 5 zeigt eine Detailansicht (Seitenansicht) des Bereichs aus Fig. 4, der mit einem gestrichelten Kreis gekennzeichnet ist.

[0032] Fig. 6 zeigt schematisch den Prozess der Herstellung einer Maske und der verschiedenen Fehlerfaktoren, die sich letztendlich auf die Reproduzierbarkeit der Messung von Positionen von Strukturen auf der Oberfläche einer Maske auswirken.

[0033] Fig. 7 zeigt den Unterschied zwischen der Durchbiegung einer Maske ohne Pellicle-Rahmen und der Durchbiegung einer Maske mit Pellicle-Rahmen.

[0034] Fig. 8a zeigt die resultierende Differenz in Richtung der Z-Achse, die sich aus der unterschiedlichen Durchbiegung der Maske mit Pellicle-Rahmen und ohne Pellicle-Rahmen ergibt.

[0035] Fig. 8b zeigt die sich aufgrund der unterschiedlichen Durchbiegungen der Masken mit oder ohne Pellicle-Rahmen ergebenden lateralen Verschiebungen der Positionen von Strukturen auf der Oberfläche der Maske.

[0036] Fig. 9 zeigt eine schematische Ansicht des Ablaufs des erfindungsgemäßen Verfahrens.

[0037] Für gleiche oder gleich wirkende Elemente der Erfindung werden identische Bezugszeichen verwendet. Ferner werden der Übersicht halber nur Bezugszeichen in den einzelnen Figuren verwendet, die für die Beschreibung der jeweiligen Figur erforderlich sind.

[0038] Das Grundprinzip der Koordinaten-Messmaschine 1 der in Fig. 1 dargestellten Art ist seit längerem aus dem Stand der Technik bekannt. Die Koordinaten-Messmaschine 1 weist einen Granitblock 25 auf, der auf Schwingungsdämpfern 26 gelagert ist. Der Granitblock 25 soll dabei nicht als eine Beschränkung der Erfindung aufgefasst werden. Für einen Fachmann ist es selbstverständlich, dass anstelle des Granitblocks 25 jeder beliebige Block verwendet werden kann, der zumindest eine Ebene zur Verfügung stellt, auf der ein Messtisch 20 verfahren werden kann. Auf dem Granitblock 25 ist, wie bereits erwähnt, ein Messtisch 20 in X-Koordinatenrichtung und in Y-Koordinatenrichtung verschiebbar angeordnet. Der Messtisch 20 ist durch entsprechende Lager in der X-Koordinatenrichtung und in der Y-Koordinatenrichtung bewegbar. Die Lager 21 können bevorzugterweise aus Luftlagern bestehen. Der Messtisch 20 besteht vorteilhafter Weise aus einer Glaskeramik mit geringem thermischem Ausdehnungskoeffizienten. Antriebselemente zum Verfahren des Mess-

tisches 20 sind nicht dargestellt. Die Position des Messtisches 20 wird mit mindestens einem Laser-Interferometer-System 24, das einen Messlichtstrahl 23 aussendet, in X-Koordinatenrichtung und in Y-Koordinatenrichtung gemessen. In den Messtisch 20 wird die zu vermessende Maske 2, welche die Strukturen 3 trägt, eingelegt. Die Maske 2 besteht z. B. aus Quarzglas. Hauptaufgabe der Koordinaten-Messmaschine 1 ist es, eine Kante 70 einer bestimmten Struktur 3 in Bezug auf das Koordinatensystem 100_K der Koordinaten-Messmaschine 1 zu bestimmen. Ebenso ist der Maske 2 ein Koordinatensystem 100_M zugeordnet. Beide Koordinatensysteme stehen in Bezug zueinander, so dass die einzelnen gemessenen Positionen durch entsprechende Koordinaten-Transformation in das andere Koordinatensystem übertragen werden können.

[0039] Oberhalb der Maske 2 befindet sich ein Messobjektiv 9 hoher optischer Güte, das zur Fokussierung längs einer optischen Achse 5 in Z-Koordinatenrichtung verstellbar ist. Die optische Achse 5 definiert einen Bezugspunkt für die Messung der Lage der Kante 70 in Bezug auf das Koordinaten-System 100_K der Koordinaten-Messmaschine 1. Das Messobjektiv 9 ist über eine Verstelleinheit 15 in Z-Koordinatenrichtung verstellbar. Von einer Auflicht-Lichtquelle 14 gelangt das Licht durch das Messobjektiv 9 auf die Oberfläche der Maske 2. In der hier dargestellten Ausführungsform ist die Maske 2 mit einem Pellicle-Rahmen 30 versehen, der das Pellicle 40 trägt. Durch das Pellicle 40 werden die darunter liegenden Strukturen 3 auf der Oberfläche der Maske 2 vor Verschmutzung geschützt. Das Licht von der Auflicht-Lichtquelle 14 gelangt bei der Messung folglich auch durch das Pellicle 40. Das vom Messobjektiv 9 gesammelte Licht, welches von der Maske 2 ausgeht, gelangt ebenfalls durch das Pellicle 40 und über einen Teilerspiegel 12 auf eine Kamera 10. Die Kamera 10 ist beispielsweise als CCD-Kamera ausgebildet und ist mit einer Recheneinheit 16 verbunden. Die Recheneinheit 16 dient neben der Auswertung der Messergebnisse auch zur Steuerung der Messmaschine und zur Durchführung der einzelnen Messprozesse bzw. Messabläufe, welche an der jeweiligen Maske 2 durchgeführt werden sollen. Hinzu kommt, dass die Recheneinheit 16 ebenfalls dazu verwendet werden kann, um ein theoretisches Modell der Durchbiegung der Maske 2 zusammen mit dem Pellicle-Rahmen zu berechnen und in entsprechender Weise auf die gemessenen Positionen der Kanten 70 der Strukturen 3 auf der Oberfläche der Maske 2 anzuwenden. Für die Bestimmung der Lage der Kante 70 einer Struktur 3 in Bezug auf das Koordinaten-System 100_K der Koordinaten-Messmaschine 1 wird auf dem Detektor 11 ein Messfenster (hier nicht dargestellt) definiert, innerhalb dessen die zu vermessende Struktur 3 zu liegen kommt.

[0040] Für eine mögliche Durchlichtbeleuchtung ist in dem Granitblock **25** ein höhenverstellbarer Kondensator **8** eingesetzt. Dem Kondensator **8** ist eine weitere Beleuchtungsquelle **6** zugeordnet. Diese Beleuchtungsquelle **6** fungiert als Durchlicht-Lichtquelle und definiert einen Durchlichtstrahlengang **4**. Der Durchlichtstrahlengang **4** wird mittels eines Umlenkspiegels **7** auf den Kondensator **8** gerichtet. Diese Anordnung der Durchlichtbeleuchtung stellt lediglich eine mögliche Ausführungsform dar und soll folglich nicht als eine Beschränkung der Erfindung aufgefasst werden. Es ist für einen Fachmann selbstverständlich, dass die Zuführung des Beleuchtungslichts auf verschiedene Weise realisiert werden kann.

[0041] Ebenso ist in **Fig. 1** nicht dargestellt, dass die Koordinaten-Messmaschine **1** eine Eingabeeinheit bzw. Eingabe zugeordnet sein kann, über die der Benutzer entsprechende Parametereingaben für die einzelnen Messprozeduren oder für die einzelnen Materialeigenschaften machen kann. Die Materialeigenschaften (der Maske, des Pellicle-Rahmens und/oder des Klebers, mit dem der Pellicle-Rahmen mit der Maske verbunden ist) dienen letztendlich zur Berechnung der theoretischen Durchbiegung der Maske in Verbindung mit dem Pellicle-Rahmen. Die Eingaben sind deshalb erforderlich, damit der Messprozess an der Maske bzw. der Berechnungsprozess der theoretischen Durchbiegung der Maske möglichst automatisch mittels eines Finite-Elements-Modells ablaufen kann.

[0042] **Fig. 2** zeigt eine schematische Seitenansicht der Ablage der Maske **2** auf den Messtisch **20**. Der Messtisch **20** umfasst ferner einen Spiegelkörper **20a**, der auf dem Messtisch **20** angeordnet ist. Der Spiegelkörper **20a** wird zur Positionsbestimmung des Messtisches **20** verwendet. Auf dem Spiegelkörper **20a** werden die Messstrahlen **23** (siehe **Fig. 1**) des Laser-Interferometer-Systems **24** gerichtet, so dass auf diese Weise die Position des Messtisches **20** in Bezug auf die optische Achse **5** der Koordinaten-Messmaschine **1** bestimmt werden kann. Im Spiegelkörper **20a** sind mehrere Halteelemente **35** vorgesehen, auf denen die zu vermessende Maske **2** ruht. Die Halteelemente **35** sind in der hier dargestellten Ausführungsform derart angeordnet, dass sie diejenige Oberfläche der Maske **2** berühren, die keine Strukturen **3** trägt. Die Halteelemente **35** für die Maske **2** sind dabei derart ausgebildet, dass sie punktförmig die Maske **2** berühren. In der Regel werden für die Halteelemente **35** Rubinkugeln verwendet, so dass die Maske **2** an einem Punkt die Rubinkugeln berührt.

[0043] **Fig. 3** zeigt eine schematische Draufsicht auf den Maskenhalter bzw. Spiegelkörper **20a**, in dem die Maske **2** mittels dreier Halteelemente **35** gehalten ist. Die Halteelemente **35** bilden somit die Unterstützungspunkte für die Maske **2**. In der hier dargestellten Ausführungsform sind die drei Halteelemente an den

Eckpunkten eines Dreiecks angeordnet. Der Spiegelkörper **20a** bzw. Maskenhalter hat eine Aussparung **20b** ausgebildet, in die die Maske **2** eingelegt wird. Die Position der Halteelemente **35** bzw. die Unterstü- tzungspunkte ist von besonderer Bedeutung, da deren Position ebenfalls in die Berechnung der Durchbiegung (nach Finiter-Element-Methode) der Maske **2** einfließt.

[0044] **Fig. 4** zeigt schematisch die Draufsicht auf eine Maske **2**, auf der mehrere unterschiedliche Elemente aufgebracht sind, deren Kantenpositionen mittels der Koordinaten-Messmaschine **1** ermittelt werden können und sollen. Die so ermittelten Kantenpositionen können bei einer besonderen Ausführungsform des Verfahrens in die Berechnung der theoretischen Durchbiegung der Maske **2** einfließen. Auf der Maske **2** ist der Pellicle-Rahmen **30** mit dem Pellicle **40** (siehe **Fig. 5**) aufgebracht. Zusätzlich ist auf der Oberfläche **2a** der Maske **2** eine Vielzahl der zu vermessenden Strukturen **3** vorgesehen. Die Maske **2** selbst besitzt vier Außenkanten **2₁**, **2₂**, **2₃** und **2₄**. Ebenso kann man der **Fig. 4** die Vielzahl der Messstellen **50** entnehmen, mit denen die Lage der Kanten **2₁**, **2₂**, **2₃** und **2₄** der Maske ermitteln werden kann. Die Position des Pellicle-Rahmens **30** kann mittels weiterer Messstellen **51** ermittelt werden. Die Position des Pellicle-Rahmens **30** und dessen Form ist durch die Position der Kanten **30₁**, **30₂**, **30₃** und **30₄** gegeben. Diese so ermittelten Parameter fließen mit in die Berechnung des theoretischen Modells der Durchbiegung der Maske **2** ein. Wie bereits vorstehend erwähnt, wird die Berechnung des Modells mittels der Finite-Elementen-Methode durchgeführt. Es ist für einen Fachmann selbstverständlich, dass nicht die Position einer jeden Kante bestimmt werden muss. Ebenso können jeder Kante **30₁**, **30₂**, **30₃** und **30₄** des Pellicle-Rahmens **30** ebenfalls zwei Messstellen **51** zugeordnet sein, was nicht als Beschränkung der Erfindung aufgefasst werden soll. Da die Maske **2** und der Pellicle-Rahmen **30** für das Pellicle **40** aus vier Kanten bestehen, werden die Positionen der einzelnen Kanten mit jeweils acht Messstellen vermessen. Anhand der gemessenen Positionen kann man die verschiedenen geometrischen Parameter der Maske **2** bzw. des Pellicle-Rahmens **30** bestimmen.

[0045] **Fig. 5** zeigt eine Seitenansicht des in **Fig. 4** mit dem gestrichelten Kreis gekennzeichneten Bereichs. Auf der Oberfläche **2a** der Maske **2** sind mehrere Elemente aufgebracht, die jeweils Kanten ausbilden. So ist z. B. auf der Oberfläche **2a** der Maske **2** eine Klebeschicht **33** aufgebracht, mit der die Maske **2** und der Pellicle-Rahmen **30** verbunden werden. Ebenso ist auf der Oberfläche der Maske **2** der Pellicle-Rahmen **30** für das Pellicle **40** aufgebracht. Zu der in **Fig. 5** gezeigten Darstellung ist lediglich ein Teilbereich **30₃** des Pellicle-Rahmens **30** zu erkennen. Der Teilbereich **30₃** des Pellicle-Rahmens **30** be-

sitzt eine äußere Kante **30_{3A}** und eine innere Kante **30_{3B}**.

[0046] Der Einfluss der verschiedenen Fehler auf die Bestimmung der Position von Strukturen **3** auf der Oberfläche **2a** einer Maske **2** ist in **Fig. 6** veranschaulicht. Bereits bei der Herstellung der Maske **2** (Maskenrohling) kann es in dem Schritt **52** zu Fehlern kommen, die sich letztendlich auf die Reproduzierbarkeit der Bestimmung der Position von Strukturen auf der Oberfläche einer Maske **2** auswirken. In der in **Fig. 6** gezeigten Darstellung sind die Fehler, die nicht von der Anbringung des Pellicle-Rahmens **30** herrühren, gestrichelt dargestellt. Die Dicke der jeweiligen Linien deutet auf die Gewichtung des Fehlers bei der Bestimmung der Position von Strukturen **3** der Oberfläche **2** einer Maske **2** hin. Das gesamte Fehlerregime wirkt sich auf die Reproduzierbarkeit der Messung mit einer Koordinaten-Messmaschine **1** aus. In einem weiteren Schritt **53** werden auf dem Maskenrohling die Strukturen aufgebracht. Fehler, die hier bei der Aufbringung der Strukturen sich ergeben, wirken sich ebenfalls auf die Reproduzierbarkeit der Messung mit einer Koordinaten-Messmaschine **1** aus. Nachdem die Strukturen auf der Oberfläche der Maske **2** aufgebracht worden sind, wird zum Schutz dieser Strukturen in einem weiteren Schritt **54** der Pellicle-Rahmen **30** auf der Maske befestigt. Alleine das Vorhandensein des Pellicles **40** hat einen negativen Einfluss auf die Reproduzierbarkeit der Messung, da das Pellicle **40** unterschiedlich stark durchhängen kann und somit zu Verfälschungen der Messergebnisse führt. Einen weiteren und beachtenswerten Fehlerfaktor bildet die Befestigung des Pellicle-Rahmens **30** selbst, der, wie bereits oben erwähnt, die Durchbiegung der Maske **2** beeinflusst. Wird nun eine mit einem Pellicle-Rahmen **30** versehene Maske **2** in dem Schritt **55** vermessen, so führt der Pellicle-Rahmen **30** zu einer abweichenden Durchbiegung der zu vermessenden Maske **2**. Dies wiederum resultiert in falschen Messergebnissen. Es ist somit ebenfalls leicht vorstellbar, dass nicht nur das Vorhandensein des Pellicle-Rahmens auf der Maske, sondern auch die Position des Pellicle-Rahmens auf der Maske die Durchbiegung der Maske beeinflusst. Für die Erhöhung der Reproduzierbarkeit einer Messung ist es somit von erheblicher Bedeutung, die Parameter (Materialparameter und Positionsparameter) des Pellicle-Rahmens **30** zu kennen, um somit ein verbessertes Korrekturmodell für die Durchbiegung der Maske bzw. eine bessere theoretische Modellberechnung der Durchbiegung der Maske unter Berücksichtigung des Pellicle-Rahmens zu ermitteln.

[0047] Ebenso ist in **Fig. 6** die Reproduzierbarkeit der Messergebnisse bei einer Maske **2** dargestellt, wobei die Länge der Pfeile den Fehler an den verschiedenen Messpunkten wiedergibt.

[0048] **Fig. 7** zeigt in schematischer Darstellung den Unterschied in der Durchbiegung der Maske **2** mit und ohne Pellicle-Rahmen **30**. Die Maske ohne Pellicle-Rahmen **30** ist jeweils in Finite-Element-Modell dargestellt. Die gesamte Maske **2** ist dabei in eine Vielzahl von Zellen **60** eingeteilt. Die Durchbiegung **62** der Maske **2** ohne den Pellicle-Rahmen **30** ist direkt unter der Maske **2** ohne den Pellicle-Rahmen **30** wiedergegeben. Diese Durchbiegung **62** wird mittels eines Modells berechnet, wobei die Maske **2**, wie bereits oben erwähnt, auf drei wohl definierten Unterstützungspunkten aufliegt. Auf der linken Seite ist unter der Maske **2** mit dem Pellicle-Rahmen **30** die Durchbiegung **63** der Maske **2** dargestellt, die sich aus der Modellberechnung unter Einfluss des Pellicle-Rahmens **30** ergibt. Die Differenz **65** bzgl. der Durchbiegung der Maske **2** anhand der beiden Modelle **62** und **63** ist in einer farblichen Kennzeichnung wiedergegeben. Die Differenz **65** resultiert dabei in einer anderen Höhe in Richtung der Z-Koordinatenachse, die sich daraus ergibt, wenn man bei der Berechnung des Modells der Durchbiegung der Maske **2** den Pellicle-Rahmen **30** berücksichtigt bzw. nicht berücksichtigt. **Fig. 7** zeigt also eindeutig, dass der Pellicle-Rahmen **30** sehr wohl einen Einfluss auf das Ausmaß der Durchbiegung einer Maske **2** hat. Dieser Unterschied wirkt sich, wie bereits oben erwähnt, letztendlich auf die Reproduzierbarkeit der mit der Koordinaten-Messmaschine **1** erzielbaren Messergebnisse aus.

[0049] In **Fig. 8a** ist nochmals der resultierende Unterschied in Z-Richtung graphisch dargestellt. Diese Differenz **65** ergibt sich daraus, dass die beiden Modellberechnungen der Durchbiegung der Maske **2** mit Pellicle-Rahmen **30** und der Maske ohne Pellicle-Rahmen **30** anders ist. In **Fig. 8b** ist die Auswirkung der unterschiedlichen Durchbiegung einer Maske **2** mit Pellicle-Rahmen **30** und einer Maske **2** ohne Pellicle-Rahmen **30** auf die laterale Verschiebung **66** der Strukturen **3** wiedergegeben. Aufgrund der unterschiedlichen Z-Position bei der Berechnung der Durchbiegung der Maske **2** ergibt sich somit jeweils in Abhängigkeit von der Maske **2** ohne Pellicle-Rahmen **30** und der Maske **2** mit Pellicle-Rahmen **30** eine andere laterale Position der Strukturen. Dies beeinträchtigt logischerweise die Reproduzierbarkeit der Koordinaten-Messmaschine **1**.

[0050] In **Fig. 9** ist schematisch eine Ausführungsform des erfindungsgemäßen Verfahrens dargestellt. Die Maske **2** ist mit einem Pellicle-Rahmen **30** versehen. Ebenso ist der bestimmten Maske **2** ein vordefiniertes Messrezept **71** zugeordnet, um somit die verschiedenen Materialeigenschaften sowie unterschiedliche Messprotokolle und Parametersätze zu bestimmen. In einem ersten Schritt **70** kann mit der Koordinaten-Messmaschine **1** die Position des Pellicle-Rahmens **30** auf der Maske **2** vermessen werden. Wie bereits vorstehend erwähnt, ist die Position des

Pellicle-Rahmens **30** auf der Maske **2** für das Ausmaß der Durchbiegung der Maske **2** entscheidend. In einem weiteren Schritt **72** werden die Eigenschaften und Parameter der Maske **2**, des Klebstoffs **33** und des Pellicle-Rahmens **30** eingegeben, die für die Berechnung des Modells der Durchbiegung der Maske **2** vonnöten sind. In der hier dargestellten Ausführungsform wird letztlich die Berechnung der Durchbiegung der Maske **2** in dem Schritt **73** durchgeführt. Dabei wird auf die gemessene Position des Pellicle-Rahmens **30** zurückgegriffen. Ebenfalls werden die verschiedenen und notwendigen Parametersätze, die im Schritt **72** eingegeben wurden, zur Berechnung der Durchbiegung herangezogen. Welche Parametersätze und ob es notwendig ist, die Position des Pellicle-Rahmens **30** zu messen, ist letztendlich davon abhängig, wie stark die einzelnen Parameter, bzw. wie die Position des Pellicle-Rahmens **30** auf der Maske **2** von Maske **2** zu Maske **2** eines Loses schwankt. In einem letzten Schritt **74** werden mit der Koordinaten-Messmaschine **1** die einzelnen Positionen der Strukturen **3** auf der Oberfläche der Maske **2** vermessen. Die Daten werden in einem Speicher **75** des Rechners **16** abgelegt und können dann mit dem theoretischen Modell der Durchbiegung der Maske **2** korrigiert werden.

[0051] Die Erfindung wurde unter Bezugnahme auf eine bevorzugte Ausführungsform beschrieben. Es ist jedoch für einen Fachmann selbstverständlich, dass Änderungen und Abwandlungen gemacht werden können, ohne dabei den Schutzbereich der nachstehenden Ansprüche zu verlassen.

Patentansprüche

1. Verfahren zur reproduzierbaren Bestimmung der Position von Strukturen (**3**) auf einer Maske (**2**), wobei mit der Maske (**2**) ein Pellicle-Rahmen (**30**) fest verbunden ist, gekennzeichnet durch die folgenden Schritte:

- dass ein theoretisches Modell der Durchbiegung der Maske (**2**) zusammen mit dem fest verbundenen Pellicle-Rahmen (**30**) berechnet wird, wobei Materialeigenschaften der Maske (**2**), des Pellicle-Rahmens (**30**) und des Verbindungsmittels zwischen dem Pellicle-Rahmen (**30**) und der Maske (**2**) bei der Berechnung der Durchbiegung der Maske (**2**) einbezogen werden, und wobei für die Berechnung der Durchbiegung der Maske (**2**) deren Auflage auf drei Unterstützungspunkten berücksichtigt wird; und
- dass mit einer Koordinaten-Messmaschine (**1**) die Positionen der Strukturen (**3**) auf der Maske (**2**) gemessen werden und die gemessene Position einer jeden Struktur mit dem theoretischen Modell der Durchbiegung der Maske (**2**) an der Stelle der Lage der jeweils gemessenen Struktur korrigiert wird.

2. Verfahren nach Anspruch 1, wobei die Materialeigenschaften des Pellicle-Rahmens (**30**) die Höhe,

die Außen-Dimension und die Innen-Dimension, den Young-Modul, das Poissonverhältnis und die Dichte des Pellicle-Rahmens betreffen, die bei der Berechnung des theoretischen Modells der Durchbiegung der Maske herangezogen werden.

3. Verfahren nach Anspruch 1, wobei das Verbindungsmittel zwischen Maske und Rahmen ein Klebstoff ist, und die Materialeigenschaften des Klebstoffs die Höhe des Klebstoffauftrags zwischen Pellicle-Rahmen und Maske, den Young-Modul, das Poissonverhältnis und die Dichte des Klebstoffs betreffen, die bei der Berechnung des theoretischen Modells der Durchbiegung der Maske herangezogen werden.

4. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 3, wobei die Positionen der drei Unterstützungspunkte der Maske mit der Koordinaten-Messmaschine in Bezug auf das Koordinatensystem der Maske ermittelt werden und wobei die Positionen der drei Unterstützungspunkte bei der Berechnung des theoretischen Modells der Durchbiegung der Maske herangezogen werden.

5. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 4, wobei der Pellicle-Rahmen vier Seiten umfasst, von denen jede aus einem Kantenpaar besteht, wobei die Position des Kantenpaars über zwei Messstellen bestimmt wird, und wobei anhand der gewonnenen Messwerte die Größe des Rahmens, das Zentrum des Rahmens und/oder die Orthogonalität des Rahmens berechnet wird.

6. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 5, wobei die Maske vier Außenkanten umfasst, wobei die Positionen mindestens zweier der Außenkanten mit der Koordinaten-Messmaschine bestimmt werden, und wobei anhand der gewonnenen Messwerte die Größe der Maske, das Zentrum der Maske und/oder die Orthogonalität der Maske berechnet werden.

7. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 6, wobei mit einer Koordinaten-Messmaschine (**1**) die Position des Pellicle-Rahmens (**1**) in Bezug auf ein Koordinatensystem (100_M) der Maske (**2**) gemessen wird.

8. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 7, wobei die Position der Kanten des Pellicle-Rahmens, die Position der drei Unterstützungspunkte und die Position der mindestens zwei Außenkanten der Maske im μm -Bereich bestimmt werden.

9. Verfahren nach Anspruch 1, wobei ein einmalig berechnetes theoretisches Modell der Durchbiegung der Maske eines Loses von Masken auf alle Masken dieses Loses angewendet wird, wenn die Materialeigenschaften der Maske, des Pellicle Rahmens und des Verbindungsmittels sowie die Ablagegenauigkeit der Maske auf den Unterstützungspunkten ei-

nes Messtisches der Koordinaten-Messmaschine innerhalb eines jeweils vordefinierten Toleranzbereichs liegen.

10. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 9, wobei die Daten des berechneten theoretischen Modells der Durchbiegung der Maske in einem Speicher hinterlegt werden, und wobei die mit dem theoretischen Modell der Durchbiegung der Maske korrigierten, gemessenen Positionen der Strukturen auf der Maske denjenigen Positionen entsprechen, die man bei der Messung einer nicht durchgebogenen Maske mit einem Pellicle-Rahmen erhält.

Es folgen 7 Seiten Zeichnungen

Anhängende Zeichnungen

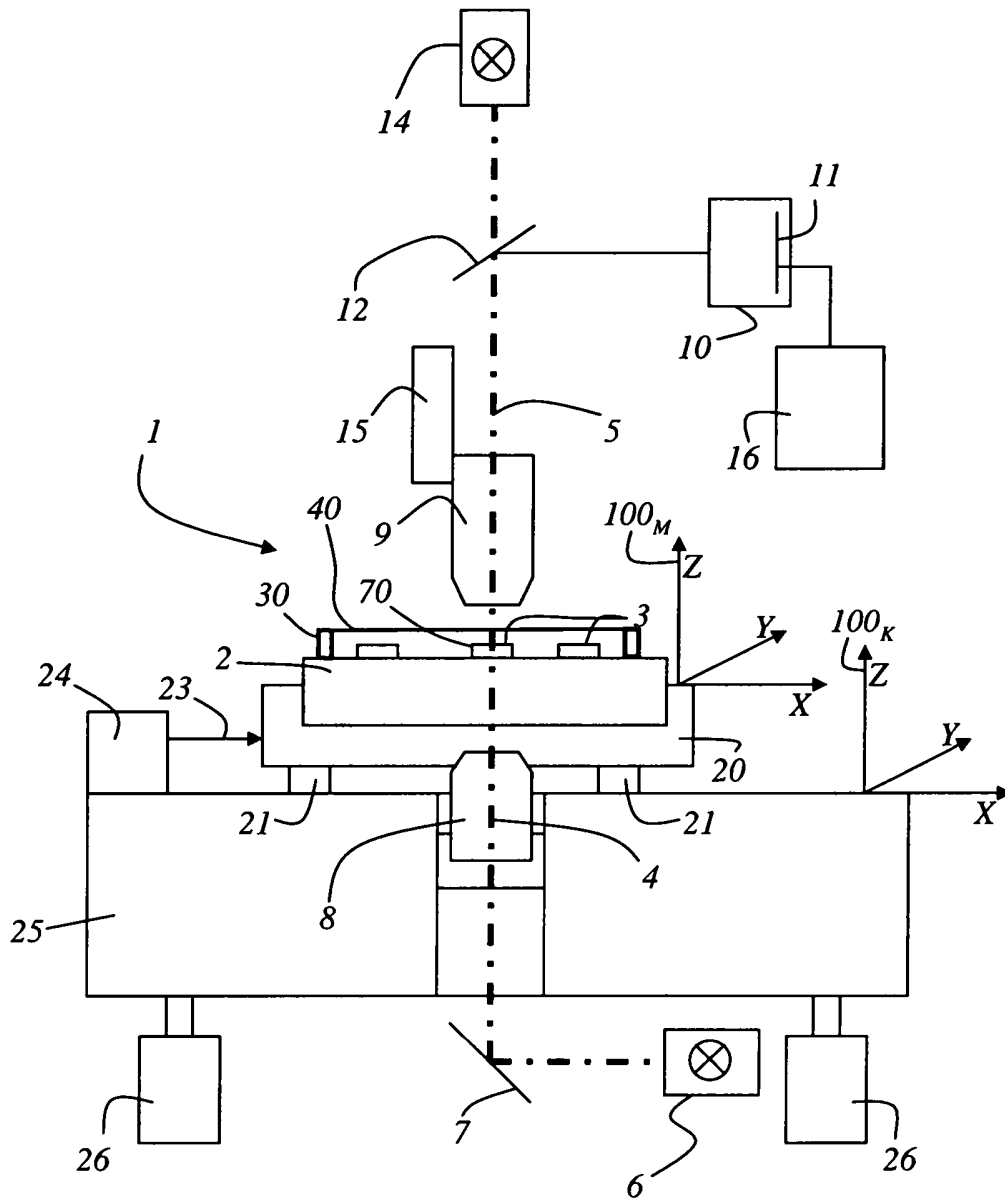


Fig. 1

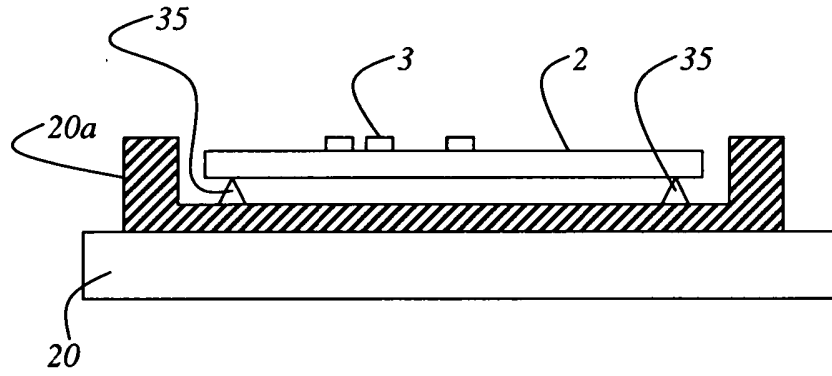


Fig. 2

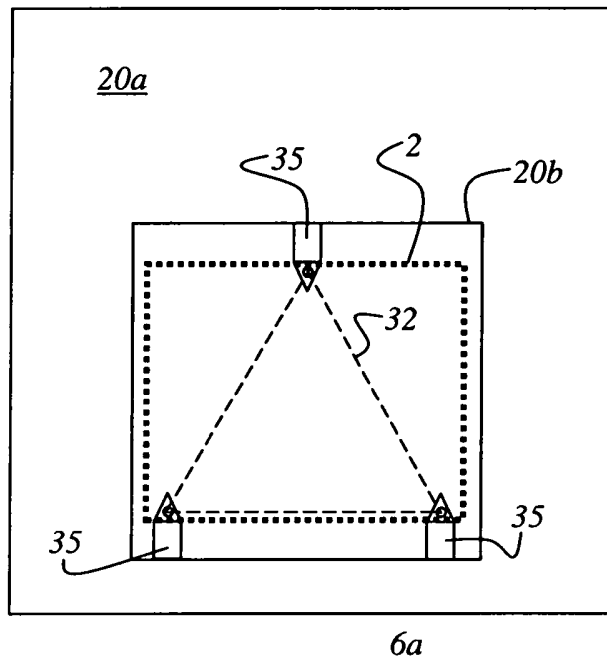


Fig. 3

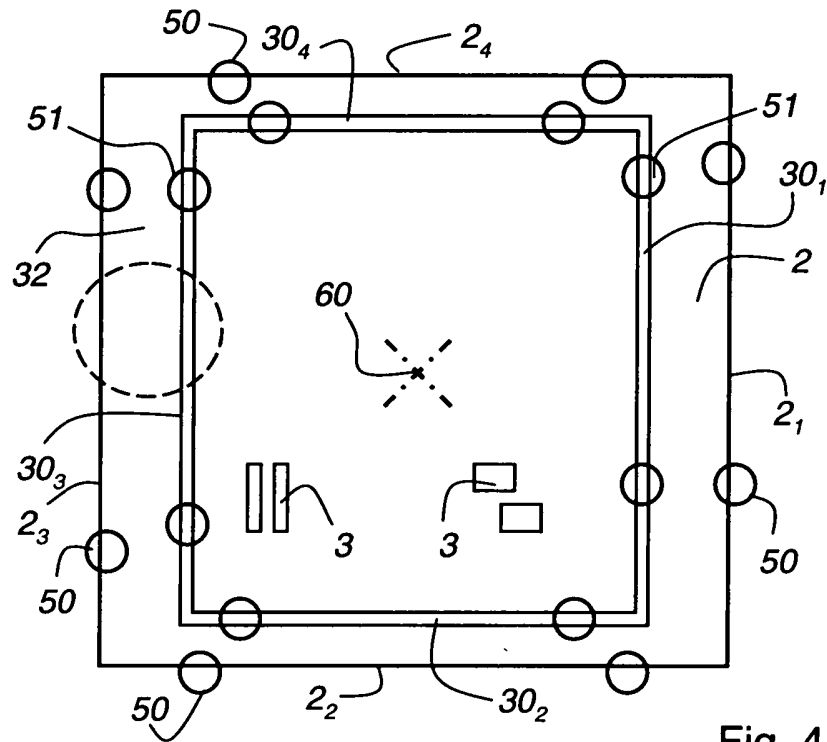


Fig. 4

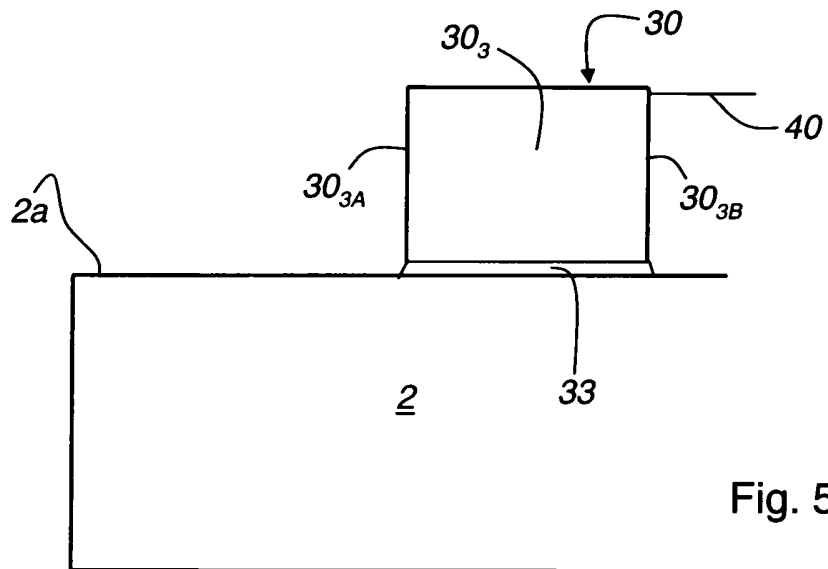


Fig. 5

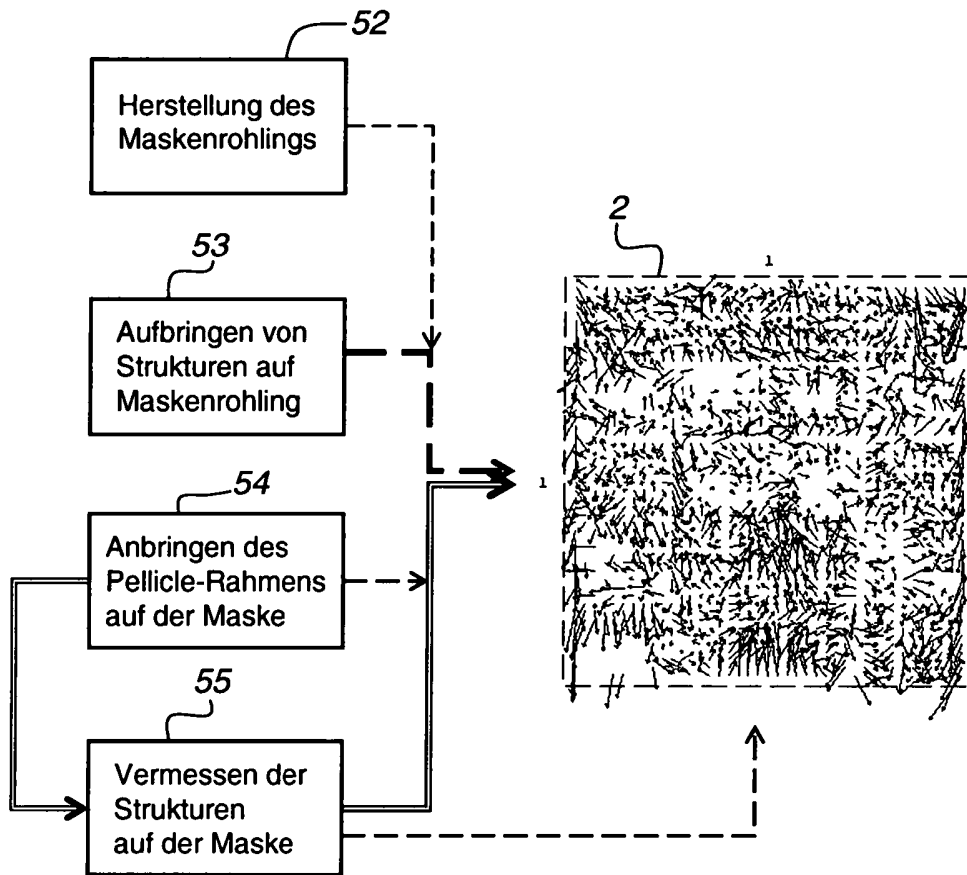


Fig. 6

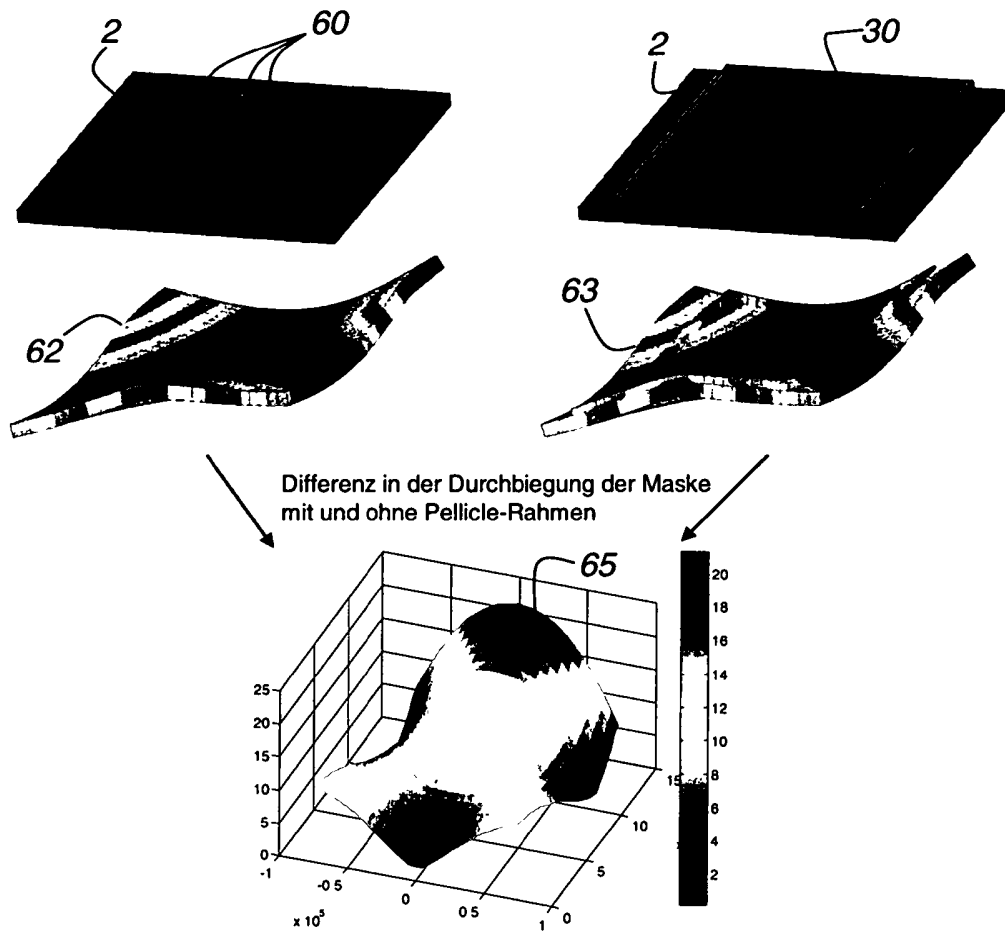


Fig. 7

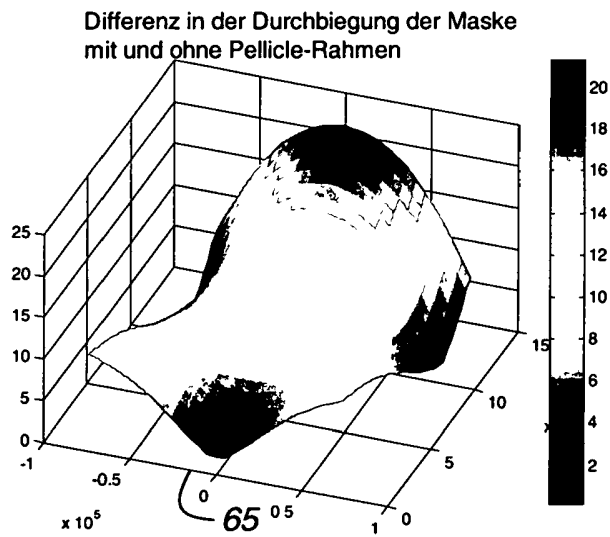


Fig. 8a

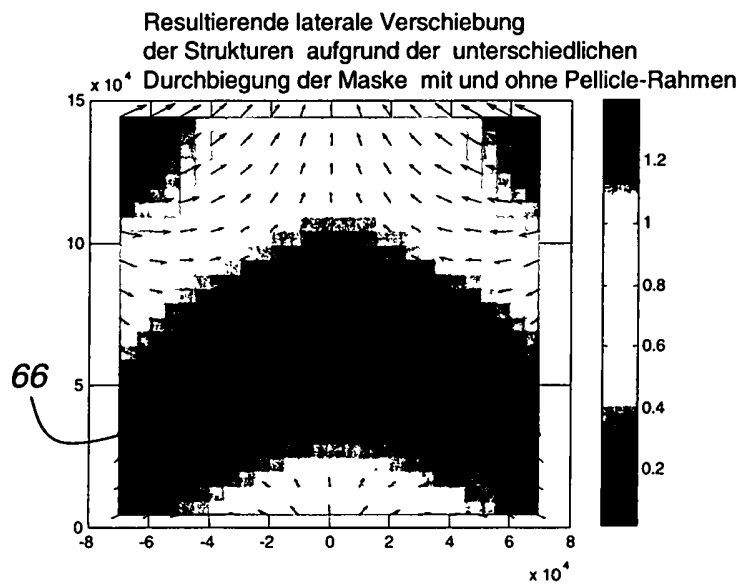


Fig. 8b

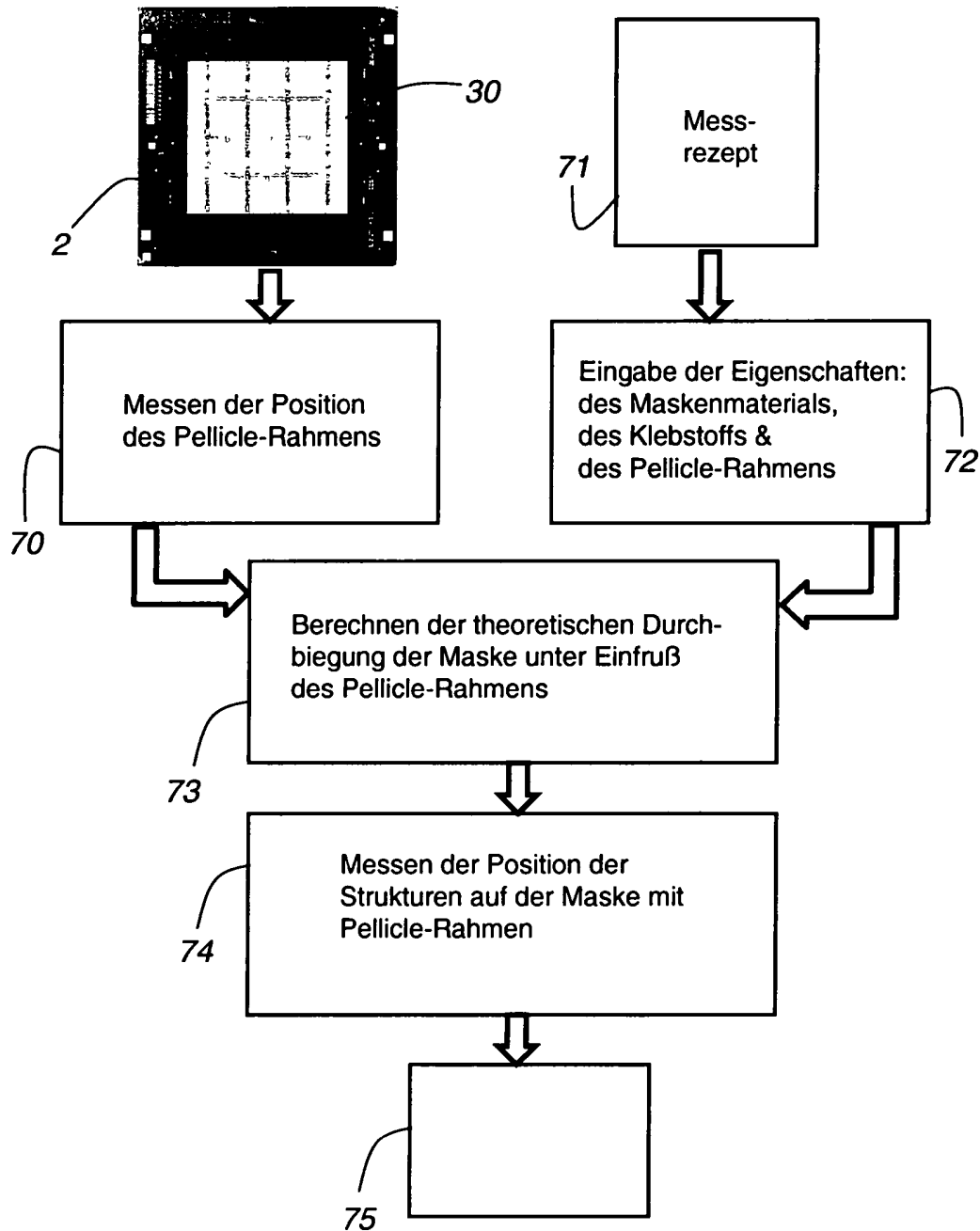


Fig. 9