



(19)  
Bundesrepublik Deutschland  
Deutsches Patent- und Markenamt

(10) **DE 10 2008 060 293 A1** 2010.06.10

(12)

## Offenlegungsschrift

(21) Aktenzeichen: **10 2008 060 293.0**

(22) Anmeldetag: **03.12.2008**

(43) Offenlegungstag: **10.06.2010**

(51) Int Cl.<sup>8</sup>: **G03F 9/00** (2006.01)

(71) Anmelder:

**Carl Zeiss SMS GmbH, 07745 Jena, DE**

(74) Vertreter:

**GEYER, FEHNERS & PARTNER (G.b.R.), 80687 München**

(72) Erfinder:

**Arnz, Michael, Dr., 73447 Oberkochen, DE; Beyer, Dirk, Dr., 99423 Weimar, DE; Harnisch, Wolfgang, 07778 Lehesten, DE; Scherübl, Thomas, Dr., 07745 Jena, DE**

(56) Für die Beurteilung der Patentfähigkeit in Betracht gezogene Druckschriften:

**US 52 98 761 A**  
**WO 2008/1 29 421 A1**  
**EP 13 53 230 A1**

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

Prüfungsantrag gemäß § 44 PatG ist gestellt.

(54) Bezeichnung: **Verfahren und Vorrichtung zur Messung des relativen lokalen Lagefehlers eines der Abschnitte eines abschnittsweise belichteten Objektes**

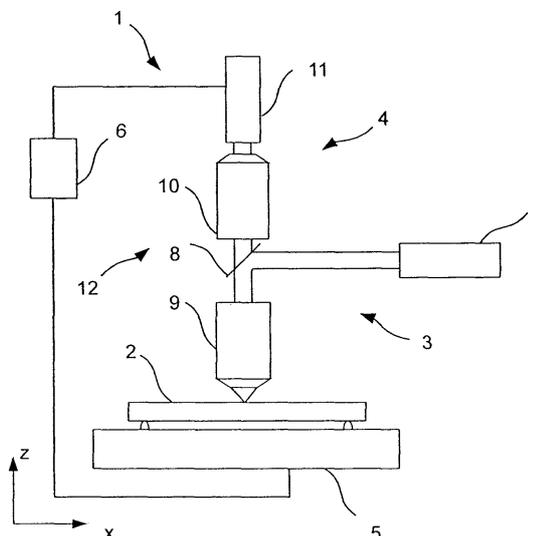
(57) Zusammenfassung: Es wird bereitgestellt ein Verfahren zur Messung des relativen lokalen Lagefehlers eines der Abschnitte eines abschnittsweise belichteten Objektes, insbesondere einer Lithographiemaske oder eines Wafers, wobei jeder belichtete Abschnitt mehrere Messmarken aufweist, bei dem

a) ein Bereich des Objektes, der größer ist als der eine Abschnitt, vergrößert abgebildet und als Bild detektiert wird,

b) anhand des detektierten Bildes Lagefehler der im detektierten Bild enthaltenen Messmarken ermittelt werden,

c) korrigierte Lagefehler abgeleitet werden, indem von den ermittelten Lagefehlern der Messmarken Lagefehleranteile, die durch die vergrößerte Abbildung und Detektion bedingt sind, extrahiert werden,

d) anhand der korrigierten Lagefehler der Messmarken der relative lokale Lagefehler des einen Abschnitts abgeleitet wird.



**Beschreibung**

**[0001]** Die vorliegende Erfindung betrifft ein Verfahren und eine Vorrichtung zur Messung des relativen lokalen Lagefehlers eines der Abschnitte eines abschnittsweise belichteten Objektes, insbesondere einer Lithographiemaske oder eines Wafers.

**[0002]** Solche Objekte werden durch eine Schreiber abschnittsweise belichtet, wobei der Schreiber beispielsweise ein Elektronenstrahl- oder Laserstrahl-Schreiber sein kann. Der Schreiber weist ein Schreibfeld mit beispielsweise einer Größe von  $10 \times 10 \mu\text{m}$ , in dem er hochgenau mit dem Elektronenstrahl bzw. Laserstrahl die gewünschten Strukturen belichtet. Um größere Bereiche zu belichten, wird das Objekt nach dem Belichten des im Schreibfeld liegenden Abschnittes so verschoben, daß der nun zu belichtende Abschnitt direkt an den bereits belichteten Abschnitt angrenzt. Die Verschiebung des Objektes kann jedoch fehlerhaft sein, so daß der zu belichtende Abschnitt relativ zum bereits belichteten Abschnitt versetzt ist. Dieser Versatz wird häufig Stützingfehler oder auch relativer lokaler Lagefehler genannt.

**[0003]** Diese lokalen Lagefehler sind sehr klein (typischerweise im Bereich von einigen nm) und lassen sich ohne Intrafeld-Verzeichnungskalibrierung von existierenden Registrationsmeßgeräten kaum ermitteln. Eine solche Verzeichnungskalibrierung ist jedoch sehr aufwendig und führt zu hohen Gerätekosten.

**[0004]** Aufgabe der Erfindung ist es daher, ein Verfahren und eine Vorrichtung zur Messung des relativen lokalen Lagefehlers eines der Abschnitte eines abschnittsweise belichteten Objektes, insbesondere einer Lithographiemaske oder eines Halbleiterwafers, zur Verfügung zu stellen, mit denen die Messung vergleichsweise einfach und kostengünstig durchgeführt werden können.

**[0005]** Erfindungsgemäß wird die Aufgabe gelöst durch ein Verfahren zur Messung des relativen lokalen Lagefehlers eines der Abschnitte eines abschnittsweise belichteten Objektes, insbesondere einer Lithographiemaske oder eines Wafers, wobei jeder belichtete Abschnitt mehrere Meßmarken aufweist, bei dem

- a) ein Bereich des Objektes, der größer ist als der eine Abschnitt, vergrößert abgebildet und als Bild detektiert wird,
- b) anhand des detektierten Bildes Lagefehler der im detektierten Bild enthaltenen Meßmarken ermittelt werden,
- c) korrigierte Lagefehler abgeleitet werden, indem von den ermittelten Lagefehlern der Meßmarken Lagefehleranteile, die durch die vergrößerte Abbildung und Detektion bedingt sind, extrahiert werden,
- d) anhand der korrigierten Lagefehler der Meßmarken der relative lokale Lagefehler des einen Abschnitts abgeleitet wird.

**[0006]** Mit diesem Meßverfahren ist es möglich, mit nur einer Aufnahme den relativen lokalen Lagefehler des einen Abschnittes abzuleiten. Insbesondere ist daher keine hochgenaue Positionierung des Objektes für die Aufnahme notwendig. Auch können die durch die Aufnahme bedingten Fehler gut extrahiert werden, so daß der relative lokale Lagefehler sehr genau bestimmt werden kann, ohne z. B. aufwendige Kalibrierungen für die vergrößerte Abbildung durchführen zu müssen.

**[0007]** Insbesondere kann im Schritt c) zur Ableitung des korrigierten Lagefehlers eine Hochpaß-Filterung durchgeführt werden. Damit können sehr gut die durch die vergrößerte Abbildung und detektionsbedingten Lagefehleranteile von dem ermittelten Lagefehler extrahiert werden. Dabei wird ausgenutzt, daß sich die Lagefehler der Meßmarken an den Abschnittsgrenzen sprunghaft ändern, wohingegen die durch die vergrößerte Abbildung und detektionsbedingten Lagefehleranteile sich deutlich langsamer ändern.

**[0008]** Insbesondere können im Schritt d) anhand der korrigierten Lagefehler der Meßmarken die Meßmarken bestimmt werden, die in einem Abschnitt liegen, und die korrigierten Lagefehler der so bestimmten Meßmarken können zur Ableitung des relativen lokalen Lagefehlers des einen Abschnitts verwendet werden. Dazu kann insbesondere eine Mittelwertbildung eingesetzt werden.

**[0009]** Mit diesen Schritten ist eine sehr genaue Bestimmung des relativen lokalen Lagefehlers möglich.

**[0010]** Ferner kann im Schritt c) eine Funktion, die sich langsamer ändert als die zu erwartende Änderung der ermittelten Lagefehler der Meßmarken an den Abschnittsgrenzen, an die ermittelten Lagefehler angefügt werden und dann bei jedem ermittelten Lagefehler der Funktionswert der angefügteten Funktion für die entsprechende Meßmarke abgezogen werden, um den korrigierten Lagefehler zu erhalten. Diese Schritte lassen sich leicht implementieren und führen zu einer hochgenauen Bestimmung des relativen lokalen Lagefehlers.

**[0011]** Im Schritt a) kann ein Bereich des Objektes, der mehrere Abschnitte vollständig enthält, vergrößert abgebildet und als Bild detektiert werden und kann im Schritt d) für jeden der mehreren Abschnitte der relative lokale Lagefehler abgeleitet werden.

**[0012]** Damit ist es möglich, mit nur einer Aufnahme für mehrere Abschnitte den relativen lokalen Lagefehler mit hoher Genauigkeit zu bestimmen.

**[0013]** Bei den Meßmarken kann es sich um übliche Meßmarken bei der Registration handeln, wie z. B. Kreuze, Winkeln, Rechteck in Rechteck, Kontaktlöcher, ... Es können auch Gitterstrukturen oder jede andere Art von Strukturen, deren Positionen auf dem Objekt bekannt sind, als Meßmarken eingesetzt werden. Bevorzugt sind pro Abschnitt mindestens drei bis fünf Meßmarken in jeder Richtung (x- und y-Richtung) vorhanden.

**[0014]** Es wird ferner eine Vorrichtung zur Messung des relativen lokalen Lagefehlers eines der Abschnitte eines abschnittsweise belichteten Objektes, insbesondere einer Lithographiemaske oder eines Wafers, wobei jeder belichtete Abschnitt mehrere Meßmarken aufweist, bereitgestellt, die ein Aufnahmemodul, das einen Bereich des Objektes, der größer ist als der eine Abschnitt, vergrößert abbildet und als Bild detektiert, und ein Auswertemodul aufweist, das

- A) anhand des detektierten Bildes Lagefehler der im detektierten Bild enthaltenen Meßmarken ermittelt,
- B) korrigierte Lagefehler ableitet, indem von den ermittelten Lagefehlern der Meßmarken Lagefehleranteile, die durch die vergrößerte Abbildung und Detektion bedingt sind, extrahiert werden, und
- C) anhand der korrigierten Lagefehler der Meßmarken den relativen lokalen Lagefehler des einen Abschnitts ableitet.

**[0015]** Mit dieser Vorrichtung kann der relative lokale Lagefehler mit großer Genauigkeit bestimmt werden.

**[0016]** Insbesondere kann das Auswertemodul im Schritt B) zur Ableitung der korrigierten Lagefehler eine Hochpaß-Filterung durchführen. Dies läßt sich leicht implementieren und führt zu sehr genauen Ergebnissen.

**[0017]** Das Auswertemodul der Vorrichtung kann ferner im Schritt C) anhand der korrigierten Lagefehler der Meßmarken die Meßmarken bestimmen, die in einem Abschnitt liegen, und die korrigierten Lagefehler der so bestimmten Meßmarken zur Ableitung des relativen lokalen Lagefehlers des einen Abschnitts verwenden. Insbesondere kann dazu eine Mittelwertbildung durchgeführt werden. Dies führt zu einer äußerst genauen Bestimmung des relativen lokalen Lagefehlers.

**[0018]** Bei der erfindungsgemäßen Vorrichtung kann das Auswertemodul im Schritt B) eine Funktion, die sich langsamer ändert als die zu erwartende Änderung der ermittelten Lagefehler der Meßmarken an den Abschnittsgrenzen, an die ermittelten Lagefehler anfitzen und dann bei jedem ermittelten Lagefehler den Funktionswert der angefitteten Funktion für die entsprechende Meßmarke abziehen, um den korrigierten Lagefehler zu erhalten. Damit wird eine hochgenaue Bestimmung des relativen lokalen Lagefehlers ermöglicht.

**[0019]** Das Aufnahmemodul der erfindungsgemäßen Vorrichtung kann einen Bereich des Objektes, der mehrere Abschnitte vollständig enthält, vergrößert abbilden und als Bild detektieren und das Auswertemodul kann im Schritt C) für jeden der mehreren Abschnitte den relativen lokalen Lagefehler ableiten. Damit ist es möglich, mit nur einer Aufnahme mehrere lokale Lagefehler mehrerer Abschnitte gleichzeitig mit hoher Genauigkeit zu bestimmen.

**[0020]** Natürlich ist es bei dem erfindungsgemäßen Verfahren und der erfindungsgemäßen Vorrichtung möglich, mehrere Aufnahmen des selben Bereiches durchzuführen und für jede der Aufnahmen den bzw. die relativen lokalen Lagefehler zu bestimmen und anhand der so bestimmten lokalen Lagefehler (beispielsweise über eine Mittelwertbildung) den bzw. die relativen lokalen Lagefehler mit höherer Genauigkeit zu erhalten. Auch ist es möglich, daß mehrere unterschiedliche Bereiche aufgenommen und in der erfindungsgemäßen Art und Weise ausgewertet werden, um den bzw. die relativen lokalen Lagefehler in den unterschiedlichen Bereichen zu bestimmen.

**[0021]** Der bzw. die bestimmten lokalen Lagefehler können z. B. verwendet werden, um den benutzten Schreiber hinsichtlich der Genauigkeit bei der Positionierung des Objekts zu verbessern, um die relativen lokalen Lagefehler der Abschnitte bei zu belichtenden Objekten zu minimieren.

**[0022]** Es versteht sich, daß die vorstehend genannten und die nachstehend noch zu erläuternden Merkmale nicht nur in den angegebenen Kombinationen, sondern auch in anderen Kombinationen oder in Alleinstellung

einsetzbar sind, ohne den Rahmen der vorliegenden Erfindung zu verlassen.

[0023] Nachfolgend wird die Erfindung beispielsweise anhand der beigefügten Zeichnungen, die auch erfindungswesentliche Merkmale offenbaren, noch näher erläutert. Es zeigen:

[0024] [Fig. 1](#) eine schematische Ansicht der erfindungsgemäßen Vorrichtung zur Messung des relativen lokalen Lagefehlers;

[0025] [Fig. 2](#) eine schematische Draufsicht auf das Objekt **2**;

[0026] [Fig. 3](#) eine weitere schematische Draufsicht auf das Objekt **2** zur Erläuterung des relativen lokalen Lagefehlers;

[0027] [Fig. 4](#) eine Darstellung einer Meßmarke **13**;

[0028] [Fig. 5](#) die Darstellung eines Vektorfeldes der gemessenen Lagefehler der detektierten Meßmarken **13**;

[0029] [Fig. 6](#) die Darstellung eines Vektorfeldes der korrigierten Lagefehler der Meßmarken **13**;

[0030] [Fig. 7](#) eine schematische Draufsicht auf ein weiteres Objekt **2**, und

[0031] [Fig. 8](#) eine weitere schematische Draufsicht auf das Objekt **2** von [Fig. 7](#) zur Erläuterung des Stitchingfehlers.

[0032] Bei der in [Fig. 1](#) gezeigten Ausführungsform umfaßt die Vorrichtung **1** zur Messung des lokalen Lagefehlers eines der Abschnitte eines abschnittsweise belichteten Objektes **3**, das hier eine Lithographiemaske ist, ein Beleuchtungsmodul **3**, ein Detektionsmodul **4**, einen Objektisch **5**, sowie eine Steuereinheit **6**.

[0033] Das Beleuchtungsmodul **3** umfaßt eine Beleuchtungsquelle **7**, die inkohärente oder partielle kohärente Beleuchtungsstrahlung mit einer Wellenlänge von 193 nm abgibt, einen teiltransparenten Umlenkspiegel **8** sowie ein Objektiv **9**, wobei die Beleuchtungsstrahlung über den Umlenkspiegel **8** und das Objektiv **9** auf einen abzubildenden Bereich des Objektes **2** gerichtet wird.

[0034] Das Detektionsmodul **4** umfaßt das Objektiv **9**, den Umlenkspiegel **8**, eine Tubusoptik **10** sowie eine CCD-Kamera **11**, wobei das Objektiv **9** zusammen mit der Tubusoptik **10** eine vergrößernde Abbildungsoptik **12** bilden, mit der der beleuchtete Bereich des Objektes **2** vergrößert abgebildet und mittels der CCD-Kamera **11** als Bild aufgenommen wird.

[0035] Wie in der schematischen Draufsicht in [Fig. 2](#) angedeutet ist, wurde die Lithographiemaske **2** abschnittsweise belichtet, wobei die einzelnen Abschnitte idealerweise jeweils direkt aneinander angrenzen. In [Fig. 2](#) sind schematisch neun gleich große Abschnitte A11, A12, ... A33 dargestellt. Jeder dieser Abschnitte A11 ... A33 wird nacheinander in einen Maskenschreiber mittels z. B. einem Elektronenstrahl oder einem Laserstrahl belichtet und nach der Belichtung eines einzelnen Abschnitts wird die Lithographiemaske in dem Maskenschreiber entsprechend verfahren, um den nächsten Abschnitt belichten zu können. Nachdem dieses Verfahren nicht absolut fehlerfrei möglich ist, sind die einzelnen Abschnitte A11 ... A33 bei der belichteten Lithographiemaske **2** zueinander versetzt und weisen somit jeweils einen relativen lokalen Lagefehler auf, wie schematisch in [Fig. 3](#) dargestellt ist. In [Fig. 3](#) ist der relative lokale Lagefehler der einzelnen Abschnitte A11–A33 nicht maßstabsgerecht gezeichnet, sondern deutlich übertrieben dargestellt. So liegt der relative lokale Lagefehler der Größenordnung von einigen nm, was bei einer Kantenlänge von 12 µm der einzelnen Abschnitte A11–A33 bei maßstabsgerechter Darstellung nicht erkennbar wäre.

[0036] Um den relativen lokalen Lagefehler eines der Abschnitte A11–A33 zu bestimmen, nimmt die Vorrichtung **1** einen Bereich B der Lithographiemaske auf, der größer ist als die Größe der einzelnen Abschnitte A11–A33. Die Größe des Bereiches B ist insbesondere so gewählt, daß zumindest einer der Abschnitte vollständig innerhalb des Bereiches B liegt. Der Bereich B ist in [Fig. 2](#) und [Fig. 3](#) jeweils mit einer Strichlinie eingezeichnet.

[0037] In jedem der Abschnitte A11–A33 sind neben den benötigten Strukturen für die Maske **2** noch jeweils mehrere Meßmarken **13** mit belichtet worden. Zur Vereinfachung der Darstellung sind die Strukturen und Meßmarken **13** in [Fig. 2](#) und [Fig. 3](#) nicht eingezeichnet. In [Fig. 4](#) ist jedoch eine Meßmarke **13** stark vergrößert ge-

zeigt.

**[0038]** In dem hier beschriebenen Beispiel beträgt die Größe des quadratischen Bereiches B  $20 \mu\text{m} \times 20 \mu\text{m}$ , so daß in diesem Bereich  $12 \times 12$  Meßmarken **13**, die in einem regelmäßigen Gitter angeordnet sind, mittels der Abbildungsoptik **12** abgebildet und der CCD-Kamera **11** aufgenommen werden.

**[0039]** Die Meßmarken **13** können in Form eines regelmäßigen Gitters angeordnet sein, wobei ein Abstand zwischen zwei benachbarten Meßmarken **13** in x- und y-Richtung bis hinunter zur Auflösungsgrenze der Abbildungsoptik **12** möglich ist. Der Abstand ist somit bevorzugt größer oder gleich zu  $\lambda/(2 \cdot \text{NA})$ , wobei  $\lambda$  die Wellenlänge der detektierten Strahlung und NA die numerische Apertur der Abbildungsoptik **12** ist. Bei dem hier beschriebenen Ausführungsbeispiel beträgt der Abstand 300 nm.

**[0040]** Das aufgenommene Bild bzw. die entsprechenden Bilddaten werden von der CCD-Kamera **11** zur Steuereinheit **6** weitergeleitet, die die Bilddaten wie folgt auswertet.

**[0041]** Zunächst bestimmt die Steuereinheit **6** für jede der Meßmarken **13** die jeweilige Ist-Position und leitet daraus die laterale Abweichung (Lagefehler der detektierten Meßmarke) relativ zu einem frei wählbaren Bezugspunkt ab, der z. B. im aufgenommenen Bild liegt. In [Fig. 4](#) sind die Lagefehler aller detektierten Meßmarken **13** als Vektorfeld dargestellt, wobei die maximale Abweichung 85,9 nm beträgt. In der Darstellung von [Fig. 5](#) sind zur Verdeutlichung Gitterlinien eingezeichnet, an deren Schnittpunkten jeweils die jeweilige Ist-Position (relativ zum gewählten Bezugspunkt) der entsprechenden Meßmarke **13** liegt. Wie der Darstellung in [Fig. 5](#) entnommen werden kann, kann den lokalen Lagefehlern der Meßmarken keinerlei Stitchingfehler bzw. relativer lokaler Lagefehler der einzelnen Abschnitte A11 ... A33 entnommen werden. Dies ist hauptsächlich darin begründet, daß aufgrund der Abbildungsfehler der Abbildungsoptik **12** sowie der Detektion mittels der CCD-Kamera **11** der weitaus überwiegende Anteil der detektierten Lagefehler durch diese Fehler bei der Abbildung resultieren und nicht Bestandteil des zu messenden lokalen Lagefehlers sind.

**[0042]** Um diesen durch die Abbildungsoptik **12** und die CCD-Kamera **11** bedingten Anteil der gemessenen Lagefehler möglichst stark zu reduzieren, führt die Steuereinheit **6** eine Hochpaß-Filterung des Vektorfeldes durch, da die durch die Abbildungsoptik **12** und die CCD-Kamera **11** bedingten Lagefehleranteile im aufgenommenen Bild langsamer variieren als die Lagefehler der Meßmarken **13** an den Abschnittsgrenzen aufgrund der relativen lokalen Lagefehler der einzelnen Abschnitte A11–A33, die bei der abschnittswisen Belichtung erzeugt wurden. Unter der Annahme, daß der Maskenschreiber bis auf die Positionierung für die Belichtung der einzelnen Abschnitte optimal arbeitet, dürften lediglich sprunghafte Änderungen an den Abschnittsgrenzen auftreten.

**[0043]** Das derart hochpaßgefilterte Vektorfeld ist in [Fig. 6](#) dargestellt, wobei hier die maximale Vektorlänge 5,1 nm beträgt und somit ca. um eine Größenordnung geringer ist als im Vergleich zur maximalen Vektorlänge in [Fig. 5](#).

**[0044]** Man kann [Fig. 6](#) deutlich die einzelnen Abschnitte an sich und deren Lagefehler entnehmen, da stets an den Abschnittsgrenzen sprunghafte Änderungen der Vektoren vorhanden sind. Je kleiner der Abstand zwischen den Meßmarken **13** ist, desto besser sind die Sprünge an den Abschnittsgrenzen sichtbar. In [Fig. 6](#) ist mit einer gepunkteten Linie die Position des Abschnittes A22 eingezeichnet, die aufgrund des relativen lokalen Lagefehlers vorliegt. Der dargestellte Versatz des Abschnittes A22 ist nicht maßstabsgetreu, sondern deutlich zu groß dargestellt, um den relativen lokalen Lagefehler des Abschnittes A22 in [Fig. 6](#) darstellen zu können. Der relative lokale Lagefehler kann beispielsweise dadurch berechnet werden, daß ein Mittelwert über alle hochpaßgefilterten Lagefehler der Meßmarken innerhalb eines Abschnitts durchgeführt wird.

**[0045]** Die oben beschriebenen Schritte müssen natürlich nicht in der Steuereinheit **6** durchgeführt werden, sondern können auch zum Teil oder vollständig in einer externen Recheneinheit (in den Figuren nicht gezeigt) durchgeführt werden.

**[0046]** Die beschriebene Hochpaß-Filterung kann z. B. dadurch realisiert werden, daß eine langsam veränderliche Vektor-Funktion  $\vec{f}(x, y; a_1, a_2, a_3, \dots)$  aufgestellt wird und dann die Koeffizienten  $\{a_1, a_2, a_3, \dots\}$  dadurch bestimmt werden, daß die Vektor-Funktion für alle Meßpunkt-Koordinaten  $(x_k, y_k)$  mit  $k = 1 \dots K$  (hier  $K = 144$ ) möglichst optimal an die gemessenen Versatzvektoren  $\begin{pmatrix} x_k \\ y_k \end{pmatrix}$  angefügt wird. Dies kann beispielsweise mittels der Methode der kleinsten Quadrate so durchgeführt werden, daß der Betrag von M der nachfolgenden Formel 1 minimal wird

$$M = \sum_{k=1}^K \left\| \begin{pmatrix} X_k \\ Y_k \end{pmatrix} - \vec{f}(x_k, y_k; a_1, a_2, a_3, \dots) \right\|^2 \quad (1).$$

**[0047]** Die korrigierten Versatz-Vektoren lassen sich gemäß der nachfolgenden Formel 2 bestimmen

$$\begin{pmatrix} X_k^{(\text{korrigiert})} \\ Y_k^{(\text{korrigiert})} \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} X_k \\ Y_k \end{pmatrix} - \vec{f}(x_k, y_k; a_1, a_2, a_3, \dots) \quad (2).$$

**[0048]** Diese korrigierten Versatz-Vektoren sind in [Fig. 6](#) dargestellt.

**[0049]** Die langsam veränderliche Vektorfunktion  $\vec{f}$  kann beispielsweise wie folgt lauten:

$$\begin{aligned} \vec{f}(x, y; a_1, a_2, a_3, \dots) = & \begin{pmatrix} a_1 \\ a_2 \end{pmatrix} + a_3 \cdot \begin{pmatrix} -y \\ x \end{pmatrix} + a_4 \cdot \begin{pmatrix} x \\ y \end{pmatrix} + a_5 \cdot \begin{pmatrix} y \\ x \end{pmatrix} + a_6 \cdot \begin{pmatrix} x \\ -y \end{pmatrix} + \\ & + (a_7 \cdot x + a_8 \cdot y) \cdot \begin{pmatrix} x \\ y \end{pmatrix} + (a_9 \cdot y + a_{10} \cdot x) \cdot \begin{pmatrix} -y \\ x \end{pmatrix} + \\ & + a_{11} \cdot (x^2 + y^2) \cdot \begin{pmatrix} x \\ y \end{pmatrix} + a_{12} \cdot (x^2 + y^2)^2 \cdot \begin{pmatrix} x \\ y \end{pmatrix} \end{aligned} \quad (3).$$

**[0050]** Unter einer langsam veränderlichen Vektorfunktion  $\vec{f}$  wird hier insbesondere eine solche Funktion verstanden, die sich über einander angrenzende Abschnitte A11–A33 langsamer ändert (bzw. deren Funktionswerte sich langsamer ändern) als die zu erwartenden sprunghaften Änderungen der Lagefehler der Meßmarken **13** an den Abschnittsgrenzen der aneinander grenzenden Abschnitte A11–A33.

**[0051]** Die in der Formel 3 angegebenen einzelnen Terme können, müssen aber nicht alle in der langsam veränderlichen Vektorfunktion  $f$  enthalten sein.

**[0052]** Der Term  $\begin{pmatrix} a_1 \\ a_2 \end{pmatrix}$  betrifft Translationen, der Term  $a_3 \cdot \begin{pmatrix} -y \\ x \end{pmatrix}$  betrifft Drehungen, der Term  $a_4 \cdot \begin{pmatrix} x \\ y \end{pmatrix}$  betrifft die Vergrößerungen, der Term  $a_5 \cdot \begin{pmatrix} y \\ x \end{pmatrix}$  betrifft nicht orthogonale Änderungen, der Term  $a_6 \cdot \begin{pmatrix} x \\ -y \end{pmatrix}$  betrifft asymmetrische Skalen in x- und y-Richtung, der Term  $(a_7 \cdot x + a_8 \cdot y) \cdot \begin{pmatrix} x \\ y \end{pmatrix}$  betrifft trapezförmige Fehler, der Term  $(a_9 \cdot y + a_{10} \cdot x) \cdot \begin{pmatrix} -y \\ x \end{pmatrix}$  betrifft Keilfehler, und die Terme  $a_{11} \cdot (x^2 + y^2) \cdot \begin{pmatrix} x \\ y \end{pmatrix}$  und  $a_{12} \cdot (x^2 + y^2)^2 \cdot \begin{pmatrix} x \\ y \end{pmatrix}$  betreffen rotationssymmetrische Verzerrungen dritter bzw. fünfter Ordnung.

**[0053]** Mit der erfindungsgemäßen Vorrichtung **1** zur Messung des relativen lokalen Lagefehlers ist es somit möglich, die systematischen Anteile des gemessenen Lagefehlers, die durch die Abbildungsoptik **12** und die CCD-Kamera **11** bedingt sind, weitestgehend zu eliminieren, so daß mit einer einzigen Aufnahme des Bereiches B der lokale Lagefehler des zumindest einen Abschnittes A22 bestimmt werden kann. Es ist nicht notwendig, daß das Objekt **2** mittels des Objektisches **5** hochgenau positioniert wird.

**[0054]** Natürlich ist es mit der erfindungsgemäßen Vorrichtung **1** möglich, mehrere Aufnahmen des selben Bereiches B durchzuführen. Auch kann mittels des Objektisches **5** das Objekt **2** verschoben werden, um mehrere Aufnahmen nacheinander von verschiedenen Stellen des Objektes zu erstellen und somit von mehreren Abschnitten die relativen lokalen Lagefehler zu ermitteln. Diese Informationen können dann genutzt werden, um die Genauigkeit des Musterschreibers, mit dem das Objekt **2** belichtet wurde, zu erhöhen.

**[0055]** Bei den Meßmarken **13** kann es sich um spezielle Meßmarken handeln, die üblicherweise bei Masken zur Registration vorgesehen werden. Es können natürlich auch andere Strukturen der Maske **2** verwendet werden, von denen die Lage über die Maske **2** bekannt ist.

**[0056]** Natürlich ist es auch möglich, den Bereich B, der mittels des Detektionsmoduls **4** vergrößert aufgenommen wird, so zu wählen, daß mehrere Abschnitte der abschnittsweise belichteten Lithographiemaske **2** vollständig aufgenommen werden. Dies ist in [Fig. 7](#) schematisch in gleicher Weise wie in [Fig. 2](#) dargestellt. Ein Vergleich zwischen den [Fig. 2](#) und [Fig. 7](#) läßt erkennen, daß bei idealer Belichtung sechs Abschnitte A23, A24, A32, A34, A42 und A43 vollständig im Aufnahmebereich B liegen.

**[0057]** In [Fig. 8](#) ist in gleicher Weise wie in [Fig. 3](#) stark übertrieben für jeden der Abschnitte der lokale Versatz

dargestellt. Aus der Darstellung in [Fig. 8](#) ist ersichtlich, daß die sechs Abschnitte A23, A24, A32, A34, A42 und A43 alle innerhalb des Aufnahmebereichs B liegen und somit erfindungsgemäß für jeden der sechs Abschnitte der relative lokale Lagefehler ermittelt werden kann. Dabei kann der relative lokale Lagefehler für jeden der sechs Abschnitte relativ zu dem frei wählbaren Bezugspunkt und somit zum selben Bezugspunkt bestimmt werden. Natürlich ist es auch möglich, den relativen lokalen Lagefehler für jeden der Abschnitte relativ auf einen direkten Nachbarn zu bestimmen. Man erhält auf jeden Fall eine auswertbare Aussage über die Stitchingfehler, die der Musterschreiber erzeugt hat, und kann dies dann zur Verbesserung der Genauigkeit des Musterschreibers verwenden.

**[0058]** Die Lithographiemaske **2** kann z. B. eine Lithographiemaske sein, die nur zur Qualifizierung des Maskenschreibers belichtet wird. In diesem Fall kann man die Meßmarken so auswählen und anordnen, daß man eine möglichst gute Aussage über die Stitchingfehler des Maskenschreibers erhält. Natürlich ist es auch möglich, eine für die Produktion hergestellte Lithographiemaske in der beschriebenen Art und Weise zu vermessen.

### Patentansprüche

1. Verfahren zur Messung des relativen lokalen Lagefehlers eines der Abschnitte eines abschnittsweise belichteten Objektes, insbesondere einer Lithographiemaske oder eines Wafers, wobei jeder belichtete Abschnitt mehrere Meßmarken aufweist, bei dem

- a) ein Bereich des Objektes, der größer ist als der eine Abschnitt, vergrößert abgebildet und als Bild detektiert wird,
- b) anhand des detektierten Bildes Lagefehler der im detektierten Bild enthaltenen Meßmarken ermittelt werden,
- c) korrigierte Lagefehler abgeleitet werden, indem von den ermittelten Lagefehlern der Meßmarken Lagefehleranteile, die durch die vergrößerte Abbildung und Detektion bedingt sind, extrahiert werden,
- d) anhand der korrigierten Lagefehler der Meßmarken der relative lokale Lagefehler des einen Abschnitts abgeleitet wird.

2. Verfahren nach Anspruch 1, bei dem im Schritt c) zur Ableitung der korrigierten Lagefehler eine Hochpaßfilterung durchgeführt wird.

3. Verfahren nach einem der obigen Ansprüche, bei dem im Schritt d) anhand der korrigierten Lagefehler der Meßmarken die Meßmarken bestimmt werden, die in einem Abschnitt liegen, und die korrigierten Lagefehler der so bestimmten Meßmarken zur Ableitung des relativen lokalen Lagefehlers des einen Abschnitts verwendet werden.

4. Verfahren nach einem der obigen Ansprüche, bei dem im Schritt d) zur Ableitung des relativen lokalen Lagefehlers ein Mittelwert der korrigierten Lagefehler der Meßmarken, die in dem entsprechenden Abschnitt liegen, gebildet und verwendet wird.

5. Verfahren nach einem der obigen Ansprüche, bei dem im Schritt c) eine Funktion, die sich langsamer ändert als die zu erwartenden Änderungen der ermittelten Lagefehler der Meßmarken an den Abschnittsgrenzen, an die ermittelten Lagefehler angefügt wird und dann bei jedem ermittelten Lagefehler der Funktionswert der angefügteten Funktion für die entsprechende Meßmarke abgezogen wird, um den korrigierten Lagefehler zu erhalten.

6. Verfahren nach einem der obigen Ansprüche, bei dem im Schritt a) ein Bereich des Objektes, der mehrere Abschnitte vollständig enthält, vergrößert abgebildet und als Bild detektiert wird, und im Schritt d) für jeden der mehreren Abschnitte von Schritt a) der relative lokale Lagefehler abgeleitet wird.

7. Vorrichtung zur Messung des relativen lokalen Lagefehlers eines der Abschnitte eines abschnittsweise belichteten Objektes, insbesondere einer Lithographiemaske oder eines Wafers, wobei jeder belichtete Abschnitt mehrere Meßmarken aufweist, mit einem Aufnahmemodul (**4**), das einen Bereich des Objektes, der größer ist als der eine Abschnitt, vergrößert abbildet und als Bild detektiert, und einem Auswertemodul (**16**), das

- A) anhand des detektierten Bildes Lagefehler der im detektierten Bild enthaltenen Meßmarken ermittelt,
- B) korrigierte Lagefehler ableitet, indem von den ermittelten Lagefehlern der Meßmarken Lagefehleranteile, die durch die vergrößerte Abbildung und Detektion bedingt sind, extrahiert werden, und

C) anhand der korrigierten Lagefehler der Meßmarken den relativen lokalen Lagefehler des einen Abschnitts ableitet.

8. Vorrichtung nach Anspruch 7, bei dem das Auswertemodul (6) im Schritt B) zur Ableitung der korrigierten Lagefehler eine Hochpaßfilterung durchführt.

9. Vorrichtung nach Anspruch 7 oder 8, bei dem das Auswertemodul (6) im Schritt C) anhand der korrigierten Lagefehler der Meßmarken die Meßmarken bestimmt, die in einem Abschnitt liegen, und die korrigierten Lagefehler der so bestimmten Meßmarken zur Ableitung des relativen lokalen Lagefehlers des einen Abschnitts verwendet.

10. Vorrichtung nach einem der Ansprüche 7 bis 9, bei dem das Auswertemodul (6) im Schritt C) zur Ableitung des relativen lokalen Lagefehlers einen Mittelwert der korrigierten Lagefehler der Meßmarken, die in dem entsprechenden Abschnitt liegen, bildet und verwendet.

11. Vorrichtung nach einem der Ansprüche 7 bis 10, bei dem das Auswertemodul (6) im Schritt B) eine Funktion, die sich langsamer ändert als die zu erwartenden Änderungen der ermittelten Lagefehler der Meßmarken an den Abschnittsgrenzen, an die ermittelten Lagefehler anfittet und dann bei jedem ermittelten Lagefehler den Funktionswert der angefitteten Funktion für die entsprechende Meßmarke abzieht, um den korrigierten Lagefehler zu erhalten.

12. Vorrichtung nach einem der Ansprüche 7 bis 11, bei der das Aufnahmemodul (4) einen Bereich des Objektes, der mehrere Abschnitte vollständig enthält, vergrößert abbildet und als Bild detektiert, und das Auswertemodul im Schritt C) für jeden der mehreren Abschnitte des Bereiches den relativen lokalen Lagefehler ableitet.

Es folgen 5 Blatt Zeichnungen

Anhängende Zeichnungen

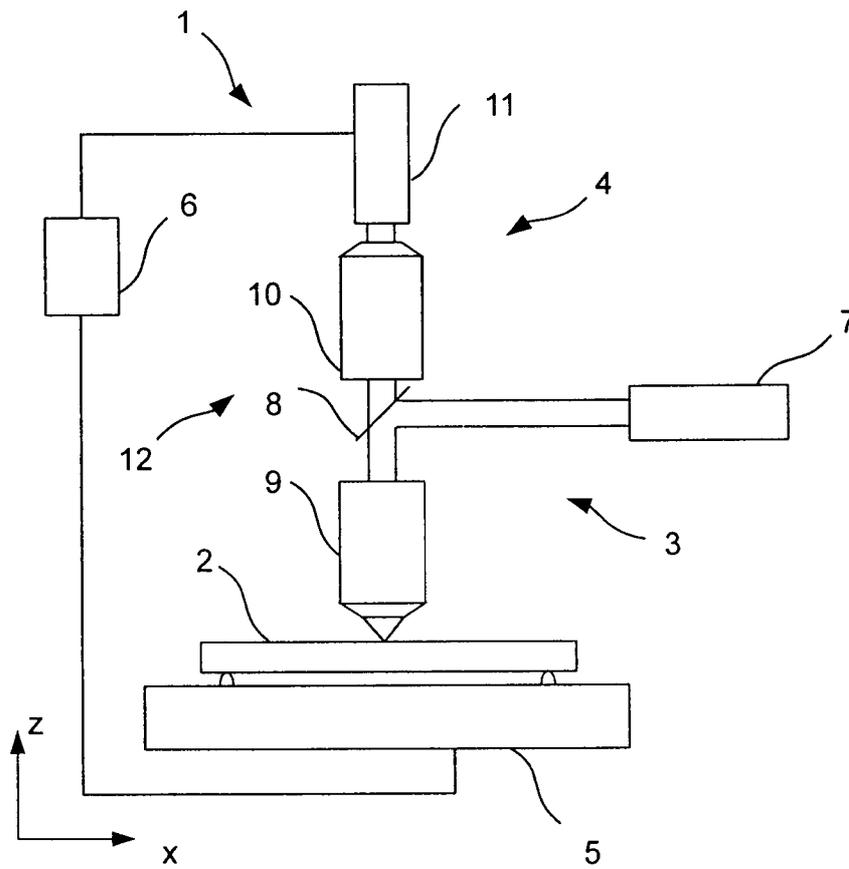


Fig. 1

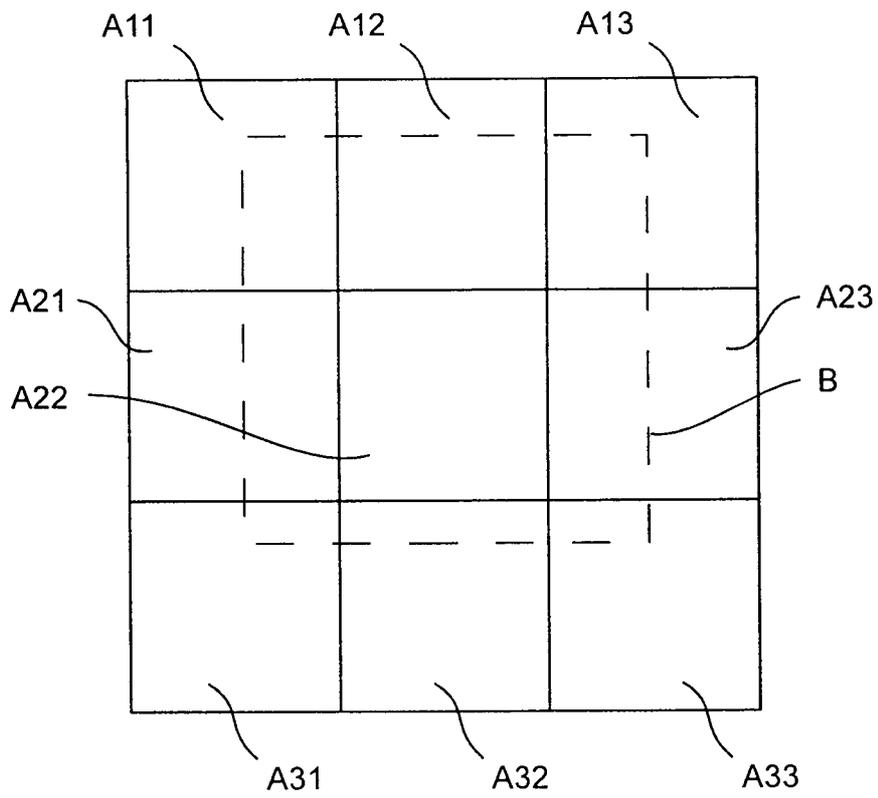


Fig. 2

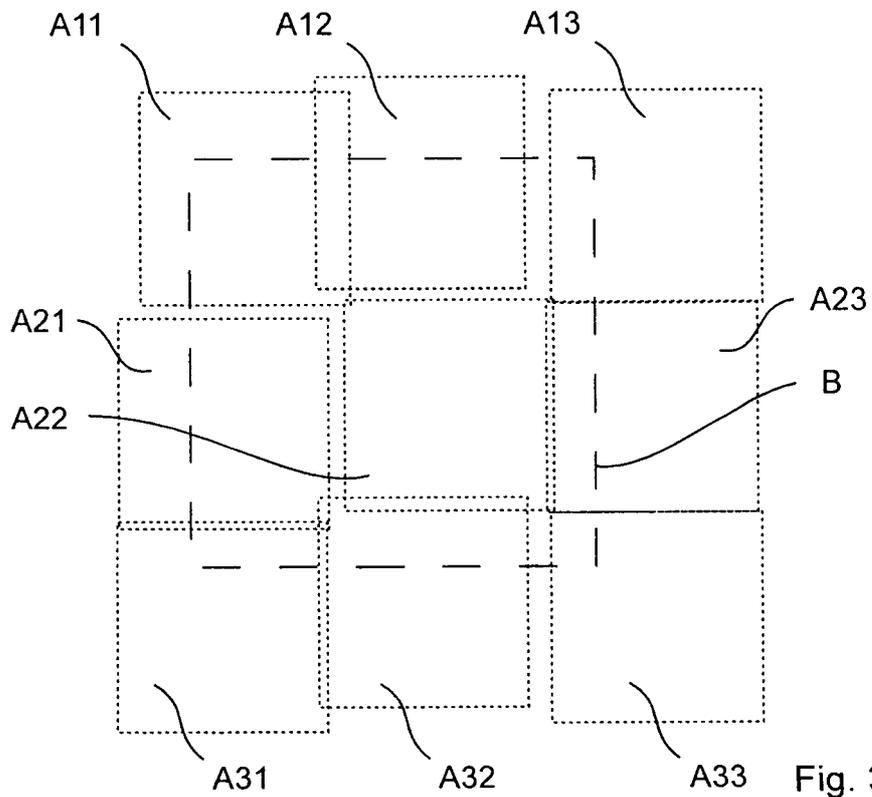


Fig. 3

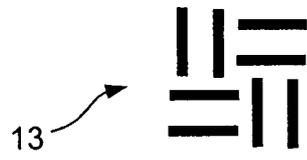


Fig. 4

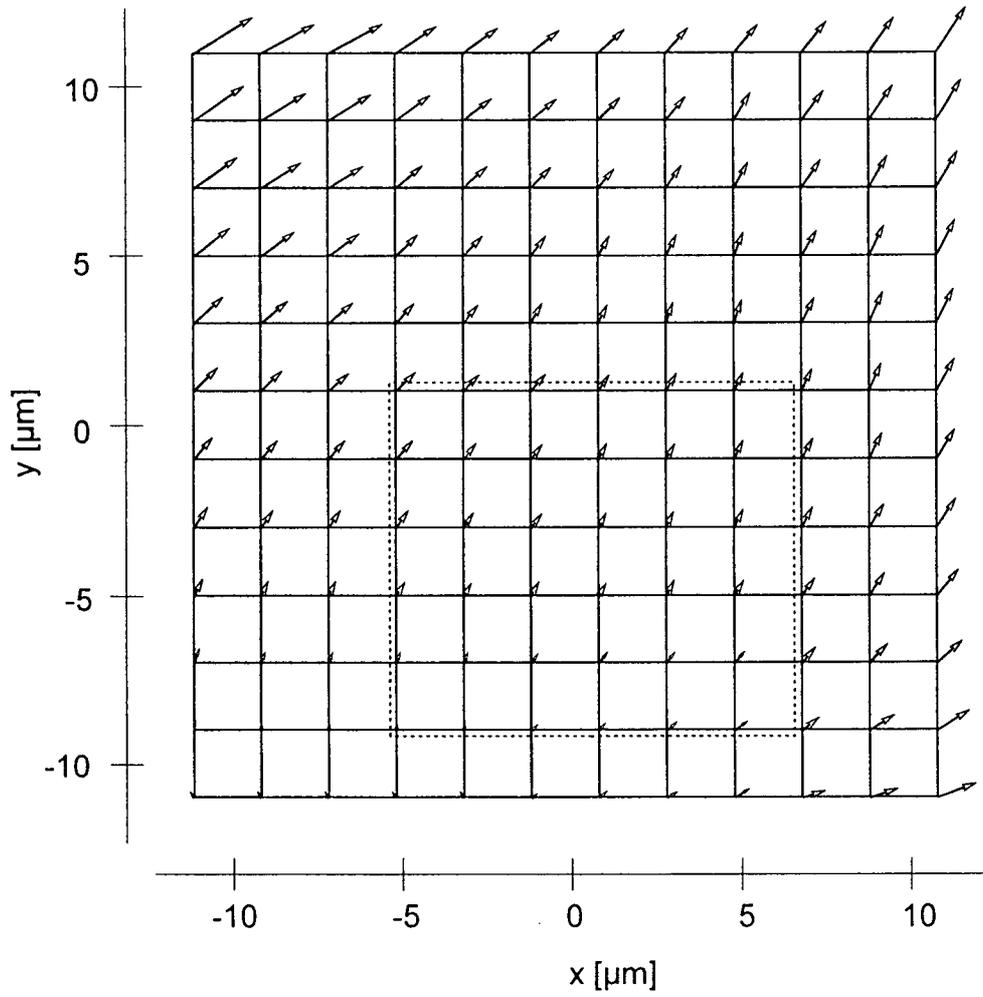


Fig. 5

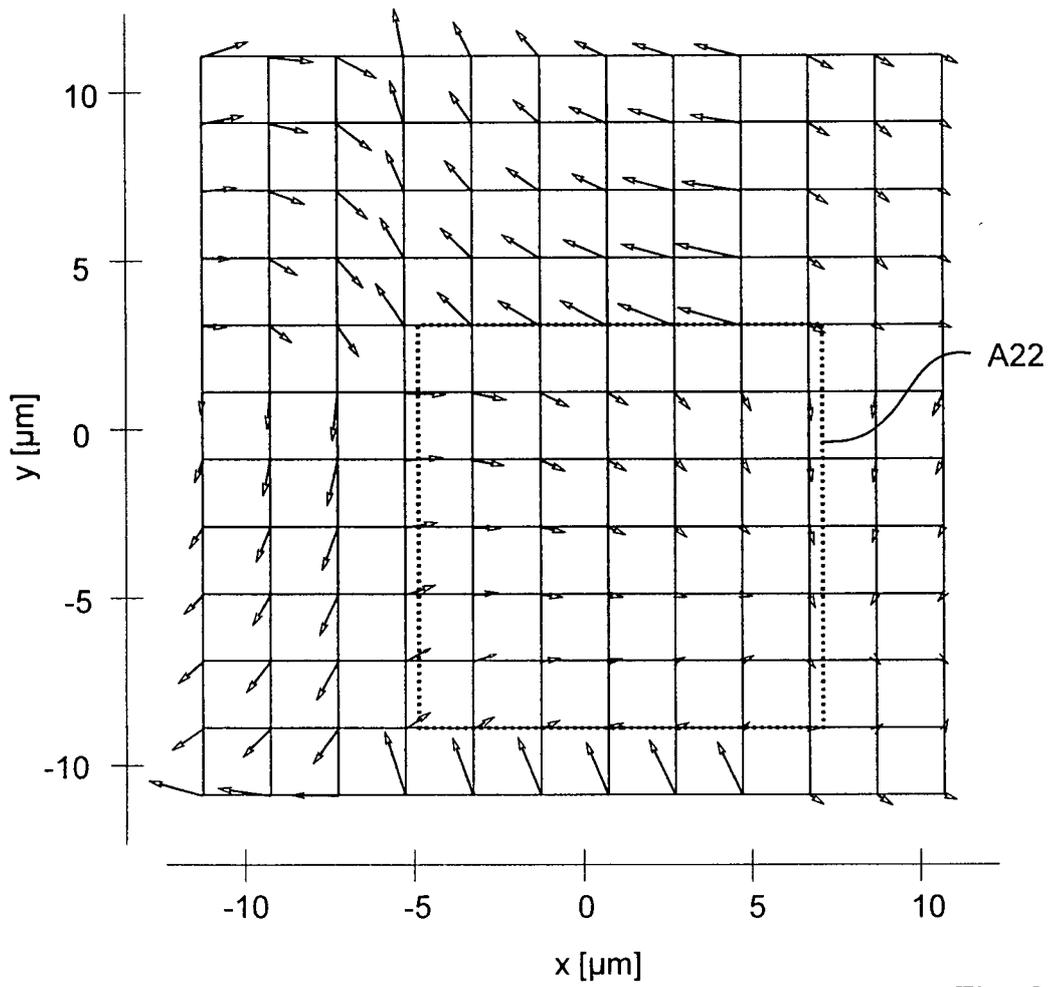


Fig. 6

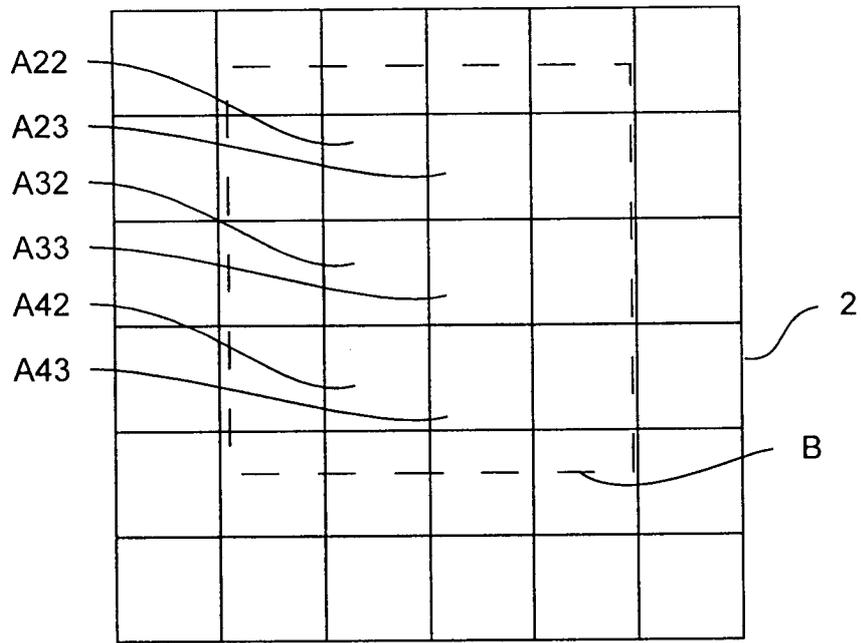


Fig. 7

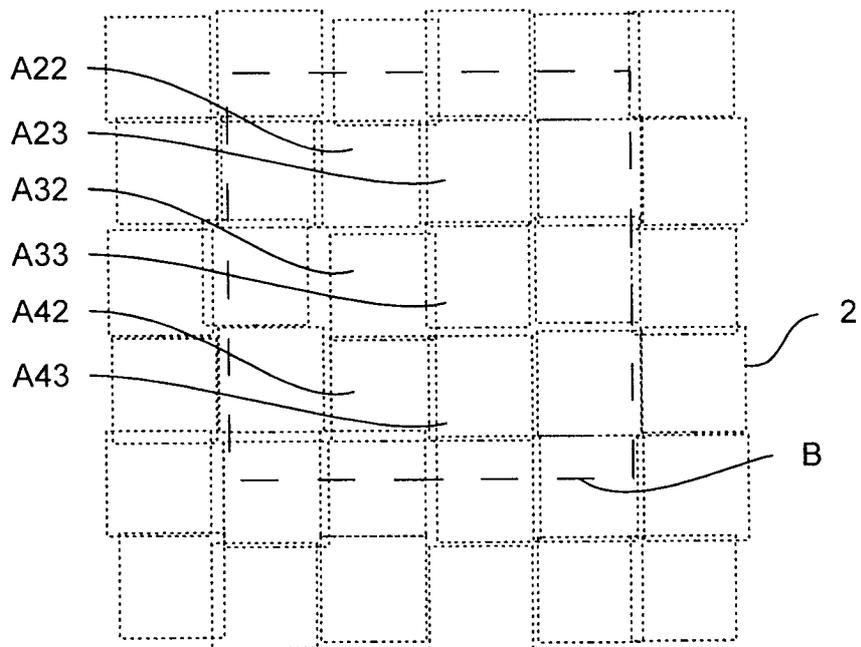


Fig. 8