



(12) **Offenlegungsschrift**

(21) Aktenzeichen: **10 2009 003 551.6**

(22) Anmeldetag: **28.02.2009**

(43) Offenlegungstag: **02.09.2010**

(51) Int Cl.<sup>8</sup>: **G01B 11/03 (2006.01)**  
**G01B 11/14 (2006.01)**

(71) Anmelder:  
**Vistec Semiconductor Systems GmbH, 35781  
Weilburg, DE**

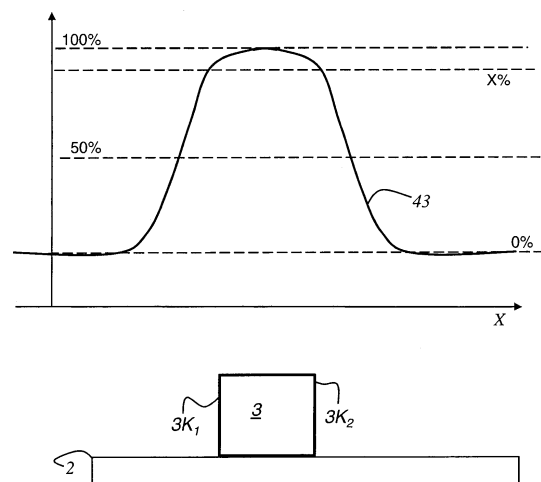
(72) Erfinder:  
**Rinn, Klaus, Prof. Dr., 35452 Heuchelheim, DE;**  
**Schaaf, Andreas, 35756 Mittenaar, DE; Schepp,**  
**Andre, 35463 Fernwald, DE**

(74) Vertreter:  
**Reichert, W., Dr., Pat.-Anw., 93047 Regensburg**

Die folgenden Angaben sind den vom Anmelder eingereichten Unterlagen entnommen

(54) Bezeichnung: **Verfahren Positionsbestimmung von Strukturen auf einer Maske**

(57) Zusammenfassung: Es ist ein Verfahren offenbart, das zur Positionsbestimmung von Strukturen (3) auf einer Maske (2) verwendet wird. Das Verfahren ist bei einer Koordinaten-Messmaschine (1) implementiert, die einen in X-Koordinatenrichtung und in Y-Koordinatenrichtung beweglichen Messtisch (20) besitzt. Gemäß einer ersten Messrichtung ( $MR_x$ ), welche parallel zur X-Koordinatenrichtung ist, wird ein erstes Intensitätsprofil ( $I_x$ ) in X-Koordinatenrichtung bestimmt. Gemäß einer zweiten Messrichtung ( $MR_y$ ), welche parallel zur Y-Koordinatenrichtung ist, wird ein zweites Intensitätsprofil ( $I_y$ ) in Y-Koordinatenrichtung bestimmt. Aus dem ersten Intensitätsprofil ( $I_x$ ) und dem zweiten Intensitätsprofil ( $I_y$ ) wird eine zwei-dimensionale Position eines Schwerpunkts (S) in Bezug auf das Koordinatensystem der Koordinaten-Messmaschine (1) bestimmt.



**Beschreibung**

**[0001]** Die vorliegende Erfindung betrifft ein Verfahren zur Positionsbestimmung von Strukturen auf einer Maske.

**[0002]** Das erfindungsgemäße Verfahren ist zusammen mit einer Koordinaten-Messmaschine implementiert. Die Koordinaten-Messmaschine besitzt einen in X-Koordinatenrichtung und in Y-Koordinatenrichtung beweglichen Messtisch, auf den die Maske gelegt ist und die die zu vermessenden Strukturen trägt.

**[0003]** Ein Koordinaten-Messgerät ist hinlänglich aus dem Stand der Technik bekannt. Beispielsweise wird dabei auf das Vortragsmanuskript „Pattern Placement Metrology for Mask making“ von Frau Dr. Carola Bläsing verwiesen. Der Vortrag wurde gehalten anlässlich der Tagung Semicon, Education Program in Genf am 31. März. 1998, in dem die Koordinaten-Messmaschine ausführlich beschrieben worden ist. Der Aufbau einer Koordinaten-Messmaschine, wie er z. B. aus dem Stand der Technik bekannt ist, wird in der nachfolgenden Beschreibung zu der [Fig. 1](#) näher erläutert. Ein Verfahren und ein Messgerät zur Positionsbestimmung von Strukturen auf einem Substrat ist aus der Deutschen Offenlegungsschrift DE 100 47 211 A1 bekannt. Zu Einzelheiten der genannten Positionsbestimmung von Strukturen auf einer Maske sei daher ausdrücklich auf diese Schrift verwiesen.

**[0004]** Die Deutsche Patentschrift DE 101 29 818 B4 betrifft ein Verfahren zum Auslesen eines Detektionschips einer elektronischen Kamera in einem Koordinaten-Messgerät zur Positionsbestimmung einer Kante einer Struktur auf einem Substrat, mit mindestens zwei den Detektionschip auslesenden Digitalisierungseinrichtungen, denen jeweils einzelne Pixel des Detektionschips zugeordnet sind, wobei zur Extraktion von charakteristischen Messparametern die von den Digitalisierungseinrichtungen ausgelesenen digitalisierten Daten einer Datenreduktion unterzogen werden. Mit dem Verfahren sollen die Bilddaten einer großformatigen Kamera auch bei einer hohen Ausleserate mit der Rechenleistung im Wesentlichen eines schnellen Personalcomputers abgeglichen und gegebenenfalls charakteristische Messparameter extrahiert werden können. Das erfindungsgemäße Verfahren zum Auslesen eines Detektionschips einer Kamera ist dadurch gekennzeichnet, dass ein Abgleich der reduzierten digitalisierten Daten der unterschiedlichen Digitalisierungseinrichtungen mit einer Korrekturfunktion erfolgt.

**[0005]** Die noch nicht veröffentlichte Deutsche Patentanmeldung DE 10 2008 002 770.7 offenbart ein Verfahren zur Positionsbestimmung periodischer Strukturen auf einem Substrat. Zur Durchführung des Verfahrens wird eine Koordinaten-Messmaschine verwendet, die einen in X-Koordinatenrichtung und in Y-Koordinatenrichtung beweglichen Messtisch besitzt. Dabei werden anhand von Messbildern und/oder Messintensitätsprofilen und berechneten bzw. angepassten Intensitätsprofilen die Positionen periodischer Strukturen auf einem Substrat bestimmt.

**[0006]** Die Japanische Patentanmeldung JP 2232918 A1 offenbart einen Positionsdetektor zur Reduzierung von Fehlern bei der Positionsmessung von Alignmentmarken auf einer Maske. Die Maske wird dabei mit einem Lichtfleck in einer Koordinatenrichtung abgerastert.

**[0007]** Die US Patentanmeldung US 2003/201404 A1 offenbart ein Verfahren zur Detektion der Position einer Struktur (Marke) auf einem Substrat. Die Struktur ist eine Gitterstruktur mit einem geringen Gitterabstand. Das Licht wird unter einem Winkel zur Struktur eingestrahlt. Aus dem aufgezeichneten Signal der Lichtbeugung wird versucht die Position der Strukturen zu ermitteln.

**[0008]** Das US Patent US 5,572,288 offenbart ein Belichtungssystem, mit dem die auf Masken vorhandenen Strukturen auf die Oberfläche eines Wafers abgebildet werden. Es ist ein optisches Alignmentssystem vorgesehen, das an Hand von Marken die Ausrichtung ermittelt.

**[0009]** Ferner ist eine Koordinaten-Messmaschine aus einer Vielzahl von Patentanmeldungen bekannt, wie z. B. aus der DE 198 58 428, aus der DE 101 06 699 oder aus der DE 10 2004 023 739. In allen hier genannten Dokumenten des Standes der Technik wird eine Koordinaten-Messmaschine offenbart, mit der Strukturen auf einem Substrat vermessen werden können. Dabei ist das Substrat auf einem in X-Koordinatenrichtung und in Y-Koordinatenrichtung verfahrbaren Messtisch gelegt. Die Koordinaten-Messmaschine ist dabei derart ausgestaltet, dass die Positionen der Strukturen, bzw. der Kanten der Strukturen mittels eines Objektivs bestimmt werden. Zur Bestimmung der Position der Strukturen, bzw. deren Kanten ist es erforderlich, dass die Position des Messtisches mittels mindestens eines Interferometers bestimmt wird. Schließlich wird die Position der Kante in Bezug auf ein Koordinatensystem der Koordinaten-Messmaschine ermittelt.

**[0010]** Bisher beruhen alle Antastalgorithmen der Positionsmetrologie auf der Annahme, dass das Messobjekt (die zu vermessende Struktur) sich wenigstens im Bereich des Messfensters orthogonal zur Messrichtung nicht ändert. Bei den oben erwähnten Dokumenten (JP 2232918; US 5,572,288; US2003/201404) wird ein Lichtspot in Messrichtung über die Strukturkanten bewegt. Bei den in den Dokumenten DE 100 47 211 B4, DE 101 29 818 B4 und der nicht veröffentlichten Patentanmeldung DE 10 2008 002 770.7 wird die Bildinformation orthogonal zur Messrichtung gemittelt. In beiden Fällen geht keine Information über Strukturänderungen orthogonal zur Messrichtung explizit in die Antastalgorithmen ein.

**[0011]** Neuere Maskentechnologien arbeiten mit immer kleineren und feiner strukturierten Objekten (Miniatursierung, OPC, Double Patterning). Diese werden aufgrund der endlichen Auflösung einer realen Optik mit „verwaschenem“ Rand abgebildet. Daher hat man recht oft praktisch keine Strukturen mehr, bei welchen man Randbereiche finden kann, die sich orthogonal zur Messrichtung nicht verändern, d. h. die herkömmlichen Algorithmen tasten den Mittelwert einer gekrümmten Randlinie ab. Diese Resultate sind schwer und nur indirekt interpretierbar, auch hängt das Resultat oft empfindlich von der Lage des Messfensters ab.

**[0012]** Aufgabe der gegenwärtigen Erfindung ist es, ein Verfahren anzugeben, mit dem es möglich ist die Position von kleinen und/oder nicht regelmäßigen Strukturen auf einem Substrat bzw. eine Maske zuverlässig zu bestimmen.

**[0013]** Die obige Aufgabe wird gelöst durch ein Verfahren, das die Merkmale des Anspruchs 1 umfasst.

**[0014]** Es ist für einen Fachmann selbstverständlich, dass die Beschränkung der Beschreibung 1-dimensionale Messprofile (Intensitätsprofile) lediglich der Vereinfachung der Beschreibung dient.

**[0015]** Zunächst wird bei dem erfindungsgemäßen Verfahren ein Messfenster auf einem Detektorelement einer Kamera der Koordinaten-Messmaschine definiert: Das Detektorelement besitzt eine Vielzahl von in Zeilen und Spalten angeordnete Pixel. Der Messtisch wird derart in X-Koordinatenrichtung und in Y-Koordinatenrichtung verfahren wird, dass ein Messobjektiv der Koordinaten-Messmaschine zumindest einem Teil der jeweils zu messenden Struktur auf in das Messfenster des Detektorelements abbildet.

**[0016]** Gemäß einer ersten Messrichtung, welche parallel zur X-Koordinatenrichtung ist, wird ein erstes Intensitätsprofil in X-Koordinatenrichtung bestimmt. Gemäß einer zweiten Messrichtung, welche parallel zur Y-Koordinatenrichtung ist, wird ein zweites Intensitätsprofil in Y-Koordinatenrichtung bestimmt. Aus dem ersten Intensitätsprofil und dem zweiten Intensitätsprofil wird eine 2-dimensionale Position eines Schwerpunkts in Bezug auf das Koordinatensystem der Koordinaten-Messmaschine bestimmt. Anhand der Position eines Schwerpunkts wird die Position von Kanten der Struktur ermittelt, die im Wesentlichen senkrecht zu der ersten Messrichtung sind. Ebenso wird die Position von Kanten der Struktur ermittelt werden, die im Wesentlichen senkrecht zu der zweiten Messrichtung sind.

**[0017]** Die Kombination des ersten und des zweiten Intensitätsprofils des mit dem im Detektor definierten Messfenster aufgenommenen Bildes der Struktur stellt eine Funktion mit zwei Veränderlichen dar. Zur Berechnung des Scherpunkts wird ein abgegrenztes Objekt bestimmt, das sich aus einem Schnitt einer Ebene, die eine Schwelle mit konstanter Helligkeit darstellt, und dem gemessenen, 2-dimensionalen Intensitätsprofil ergibt.

**[0018]** Der Wert der Schwelle bezieht für einen messtechnisch sinnvollen Algorithmus auf Bildhelligkeiten, wobei die Schwelle auf einen Bruchteil der Intensität zwischen einem Helligkeitsniveau mit dem höchsten Helligkeitswert und einem Helligkeitsniveau mit dem geringsten Helligkeitswert im Bild der Struktur bezogen wird. Zur Berechnung werden die Pixelwerte innerhalb des Messfensters herangezogen und aus diesen wird ein Histogramm berechnet.

**[0019]** Für kleine Strukturen werden ein Minimum und/oder ein Maximum der Helligkeit des Bildes der aufgenommenen Struktur berechnet. Zur Berechnung des Maximums und/oder Minimums wird eine Fitparabel ( $p(x) = ax^2 + bx + c$ ) durch die Profilpunkte des Intensitätsprofils in der Nähe des Extremwerts gelegt.

**[0020]** Als Zwischenschritt wird ein Pseudoprofil  $P_k$  gebildet, das bei einem Positionsinkrement von  $p$  in der ersten Messrichtung und/oder der zweiten Messrichtung Werte für die Orte  $p_k = k \cdot \Delta_p$  mit  $k = 0, 1, 2, \dots, K - 1$  angibt. Die Anteile der Pixel vom Integral für jedes Element der Objektfläche werden auf Profilkannäle der beiden Profilkannäle aufgeteilt, die dem Pixelort in der ersten Messrichtung und/oder zweiten Messrichtung am nächsten sind.

[0021] Der Schwerpunkt in der ersten Messrichtung wird aus den Kantenpositionen der Kanten der Struktur bestimmt, die im Wesentlichen senkrecht zur ersten Messrichtung sind. Der Schwerpunkt in der zweiten Messrichtung wird aus den Kantenpositionen der Kanten der Struktur bestimmt, die im Wesentlichen senkrecht zur zweiten Messrichtung sind.

[0022] Bei einer regelmäßig geformten Struktur wird die Linienbreite aus der Differenz der Position zweier paralleler Kanten in der ersten Messrichtung oder der zweiten Messrichtung bestimmt. Bei einer unregelmäßig geformten Struktur wird für die Berechnung der Linienbreite der mittlere Abstand in der ersten Messrichtung oder in der zweiten Messrichtung zum Schwerpunkt benutzt. Dies führt zu einer Standardabweichung der Profilposition.

[0023] Im Folgenden sollen Ausführungsbeispiele die Erfindung und ihre Vorteile anhand der beigefügten Figuren näher erläutern.

[0024] [Fig. 1](#) zeigt schematisch eine Koordinaten-Messmaschine, wie sie für die Bestimmung der Position und der Breite der Strukturen auf einem Substrat (Maske) seit längerem verwendet wird.

[0025] [Fig. 2](#) zeigt die schematische Ansicht eines Detektorelements einer Kamera.

[0026] [Fig. 3](#) zeigt die Zuordnung eines Messfensters zur einer zu vermessenden Struktur, wobei die Messrichtung parallel zur X-Koordinatenrichtung ist.

[0027] [Fig. 4](#) zeigt die Zuordnung eines Messfensters zur einer zu vermessenden Struktur, wobei die Messrichtung parallel zur Y-Koordinatenrichtung ist.

[0028] [Fig. 5](#) zeigt die mit dem Messfenster des Detektorelements registrierte Intensitätsverteilung einer Struktur, wobei die Messrichtung in X-Koordinatenrichtung liegt.

[0029] [Fig. 6](#) zeigt die mit dem Messfenster des Detektorelements registrierte Intensitätsverteilung einer Struktur, wobei die Messrichtung in Y-Koordinatenrichtung liegt.

[0030] [Fig. 7](#) zeigt graphisch das Prinzip der Schwerpunktsberechnung.

[0031] [Fig. 8](#) zeigt die mögliche Problematik auf, die beim Schnittpunkt mit der Schwelle dicht am 0% bzw. 100% Level auftritt.

[0032] Ein Koordinaten-Messgerät der in [Fig. 1](#) dargestellten Art ist bereits ausführlich im Stand der Technik beschrieben und wird zur Durchführung des erfindungsgemäßen Verfahrens verwendet. Das Koordinaten-Messgerät **1** umfasst einen in X-Koordinatenrichtung und in Y-Koordinatenrichtung beweglichen Messtisch **20**. Der Messtisch **20** trägt ein Substrat, bzw. eine Maske für die Halbleiterherstellung. Auf einer Oberfläche des Substrats **2** sind mehrere Strukturen **3** aufgebracht. Der Messtisch selbst ist auf Luftlagern **21** gestützt, die ihrerseits auf einem Block **25** abgestützt sind. Die hier beschriebenen Luftlager stellen eine mögliche Ausführungsform dar, die uns nicht als Beschränkung der Erfindung aufgefasst werden. Der Block **25** kann aus einem Granitblock gebildet sein. Für einen Fachmann ist es selbstverständlich, dass der Block **25** aus jedem Material bestehen kann, das für die Ausbildung einer Ebene **25a** geeignet ist, in der sich der Messtisch **20** bewegt bzw. verfahren wird. Für die Beleuchtung des Substrats **2** sind mindestens eine Auflichtbeleuchtungseinrichtung **14** und/oder eine Durchlichtbeleuchtungseinrichtung **6** vorgesehen. In der hier dargestellten Ausführungsform wird das Licht der Durchlichtbeleuchtungseinrichtung **6** mittels eines Umlenkspiegels **7** in die Beleuchtungsachse **4** für das Durchlicht eingekoppelt. Das Licht der Beleuchtungseinrichtung **6** gelangt über einen Kondensator **8** auf das Substrat **2**. Das Licht der Auflichtbeleuchtungseinrichtung **14** gelangt durch das Messobjektiv **9** auf das Substrat **2**. Das von dem Substrat **2** ausgehende Licht wird durch das Messobjektiv **9** gesammelt und von einem halbdurchlässigen Spiegel **12** aus der optischen Achse **5** ausgekoppelt. Dieses Messlicht gelangt auf eine Kamera **10**, die mit einem Detektor **11** versehen ist. Dem Detektor **11** ist eine Recheneinheit **16** zugeordnet, mit der aus den aufgenommenen Daten digitale Bilder erzeugt werden können.

[0033] Die Position des Messtisches **20** wird mittels eines Laser-Interferometers **24** gemessen und bestimmt. Das Laser-Interferometer **24** sendet hierzu einen Messlichtstrahl **23** aus. Ebenso ist das Messmikroskop **9** mit einer Verschiebeeinrichtung in Z-Koordinatenrichtung verbunden, damit das Messobjektiv **9** auf die Oberfläche des Substrats **2** fokussiert werden kann. Die Position des Messobjektivs **9** kann z. B. mit einem Glasmaßstab (nicht dargestellt) gemessen werden. Der Block **25** ist ferner auf schwingungsgedämpft gelagerten Füßen **26**

aufgestellt. Durch diese Schwingungsdämpfung sollen alle möglichen Gebäudeschwingungen und Eigenschwingungen des Koordinaten-Messgerätes weitestgehend reduziert, bzw. eliminiert werden.

**[0034]** [Fig. 2](#) zeigt eine schematische Darstellung des Detektorelements **11** der Kamera **10**. Das Detektorelement **11** ist aus einer Vielzahl von Pixeln  $11_{11}, 11_{12}, \dots, 11_{NM}$  aufgebaut, die in Zeilen N und Spalten M angeordnet sind. Auf dem Detektorelement **11** wird ein Messfenster **30** definiert, in das die zu vermessende Struktur **3** mit dem Messobjektiv **9** der Koordinaten-Messmaschine **1** abgebildet wird. Mittels des Messfensters **30** kann die Position der ersten Kante  $3K_1$  der Struktur **3** und die Position der zweiten Kante  $3K_2$  der Struktur **3** in der ersten Messrichtung  $MR_x$  bestimmen. Ebenso kann man mit dem Messfenster **30** die Position der ersten Kante  $3K_3$  der Struktur **3** und die Position der zweiten Kante  $3K_4$  der Struktur **3** in der zweiten Messrichtung  $MR_y$  bestimmen (siehe hierzu [Fig. 3](#) und [Fig. 4](#)).

**[0035]** [Fig. 3](#) zeigt das Messprinzip, wie die Position der Kanten  $3K_1$  und  $3K_2$  der Struktur **3** in der ersten Messrichtung  $MR_x$  bestimmt wird. [Fig. 4](#) zeigt das Messprinzip, wie die Position der Kanten  $3K_3$  und  $3K_4$  der Struktur **3** in der zweiten Messrichtung  $MR_y$  bestimmt wird. Die Position der Kanten wird auf das Koordinatensystem KM der Koordinaten-Messmaschine **1** bezogen.

**[0036]** Die [Fig. 5](#) zeigt schematisch das Messintensitätsprofil **43** von der im Messfenster **30** abgebildeten Struktur **3**. Die Messrichtung  $MR_x$  ist in X-Koordinatenrichtung. Die Messung [Fig. 6](#) zeigt schematisch das Messintensitätsprofil **43** von der im Messfenster **30** abgebildeten Struktur **3**. Die Messrichtung  $MR_y$  ist in Y-Koordinatenrichtung.

**[0037]** [Fig. 7](#) zeigt graphisch das Prinzip der Schwerpunktsberechnung. Die Lichtintensität im Bild des Messfensters **30** kann man als Funktion von 2 Veränderlichen  $I(x, y)$  (x- und y-Position) bestimmen.

**[0038]** Die Grundidee der Erfindung ist, dass man ein abgegrenztes Objekt bzw. Struktur **3** erhält, indem man den Schnittpunkt dieser Helligkeitsfunktion mit einer Ebene von konstanter Helligkeit betrachtet. Diese Ebene **50** wird im Folgenden als Schwelle bezeichnet.

**[0039]** Die horizontale Lage des Schwerpunkts  $(x_s, y_s)$  dieses Objektes berechnet man. Die grundsätzlichen Algorithmen zur Schwerpunktsbestimmung sind natürlich wohlbekannt:

$$x_s = \frac{1}{V} \int_V x dV \quad \text{und} \quad y_s = \frac{1}{V} \int_V y dV \quad (\text{Gl. 1})$$

**[0040]** Grundsätzlich soll das Verfahren sowohl mit hellen Strukturen auf dunklem Hintergrund (z. B. Chromflächen im Auflicht), als auch mit dunklen Flächen auf hellem Hintergrund (z. B. Chromflächen im Durchlicht) arbeiten. Das abgegrenzte Objekt ist also bei hellem Objekt das Volumen oberhalb, und bei dunklem Objekt das Volumen unterhalb der Schwelle. Auch wenn im Folgenden oft nur helle Objekte gezeichnet werden, so ist damit immer auch die Alternative des dunklen Objekts mit eingeschlossen.

**[0041]** Die Gleichung (1) wird regelmäßig für 2D-begrenzte Probleme (Grundfläche F) umgeformt zu:

$$x_s = \frac{1}{V} \int_F x I(x, y) dx dy \quad \text{und} \quad y_s = \frac{1}{V} \int_F y I(x, y) dx dy \quad (\text{Gl. 2})$$

**[0042]** Dabei ist:

$$V = \int_F I(x, y) dx dy \quad (\text{Gl. 3})$$

**[0043]** Praktisch liegt eine kontinuierliche Intensitätsfunktion als Resultat einer realen Messung (Bildgewinnung) nicht vor. Die Intensität ist nur an diskreten Stützstellen (üblicherweise an einem Pixelraster) bekannt. Das Integral muss also mit den Hilfsmitteln der numerischen Mathematik berechnet werden. Ein mögliches Verfahren ist z. B. die lineare Näherung in Verbindung mit der Verallgemeinerung der Trapezformel.

**[0044]** Das Integral eines Dreiecksflächenelements mit der Grundfläche  $F_i$  ist in dieser Näherung für die Komponenten i von V,  $x_s$  und  $y_s$

$$V_i \approx F_i \cdot \frac{1}{3} \sum_{j=1}^3 I_{ij} \quad \text{bzw} \quad x_{s_i} \approx F_i \cdot \frac{1}{3} \sum_{j=1}^3 x_{ij} I_{ij} \quad \text{und} \quad y_{s_i} \approx F_i \cdot \frac{1}{3} \sum_{j=1}^3 y_{ij} I_{ij} \quad (\text{Gl. 4})$$

**[0045]** Dabei geht j über die Eckpunkte des Dreiecks, und die Komponenten müssen für das Gesamtergebnis über i summiert werden.

**[0046]** Man unterteilt die Objektfläche in der x-/y-Ebene in Dreiecke, deren Eckpunkte Pixel sind (im Innern der Fläche), oder auf den Schnittpunkten vom Rand mit den Pixel-zu-Pixel Verbindungslinien. Der Ort des Randes wird durch lineare Interpolation gewonnen.

**[0047]** Für die Berechnung des Werts der Schwelle (Intensität der Ebene) muss sich für einen messtechnisch sinnvollen Algorithmus auf Bildhelligkeiten beziehen. Die Schwelle könnte z. B. auf einen Bruchteil der Intensität zwischen den Helligkeitsniveaus der hellen (100% Level) und dunklen (0% Level) Stellen im Bild sein. Das kann ganz analog zum bisherigen Maskenalgorithmus bestimmt werden. Dazu wird nicht wie bisher aus den Profilwerten, sondern aus den Pixelwerten innerhalb des Messfensters ein Histogramm berechnet. Damit werden wie gehabt die 0% und 100% Level berechnet.

**[0048]** Für kleine Objekte, bei denen das Histogrammverfahren keine gute Levelbestimmung zulässt, werden Minimum und/oder Maximum der Bildhelligkeit berechnet. Dazu wurde bisher das Maximum einer Fitparabel  $p(x) = ax^2 + bx + c$  durch die Profilkpunkte  $I_{m-k}, I_{m-k+1}, \dots, I_m, \dots, I_{m+k-1}, I_{m+k}$  in der Nähe des Extremwerts (bei Profilkanal m) gelegt. Diese Methode kann leicht auf den 2-dimensionalen Fall eines Pixelgitters verallgemeinert werden:

Fitparabel: 
$$p(x, y) = ax^2 + bxy + cy^2 + dx + ey + f$$

$I_{m-k, n-k}$	...	$I_{m-k, n}$	...	$I_{m-k, n+k}$
$\vdots$	$\ddots$	$\vdots$	$\ddots$	$\vdots$

durch Intensitäten:

$I_{m, n-k}$	...	$I_{m, n}$	...	$I_{m, n+k}$
$\vdots$	$\ddots$	$\vdots$	$\ddots$	$\vdots$
$I_{m+k, n-k}$	...	$I_{m+k, n}$	...	$I_{m+k, n+k}$

**[0049]** Den Extremwert dieser Fitparabel bestimmt man mit Hilfe bekannter mathematischer Methoden als Ort der Nullstelle der Ableitungen in x- als auch in y-Richtung bestimmen.

**[0050]** [Fig. 8](#) zeigt die Problematik, die bei der Ermittlung des Schnittpunkts der Schwelle 50 mit dem Intensitätsprofil 60 auftritt. Eine Erweiterung des Algorithmus ist dahingehend sinnvoll, dass die Messung mit einer Schwelle bei hellen Strukturen im 0%-Level und bei dunklen Strukturen im 100%-Level durchzuführen, nur so wird der komplette Einfluss des Objektes berücksichtigt. Das ist praktisch nicht durchführbar, denn bei sehr genauer Auswertung kann aufgrund von nichtidealer Messtechnik an manchen Stellen im Bild den 0% Level nicht schneiden.

**[0051]** Auch ist dieses Verfahren mathematisch nicht sehr stabil, weil kleine Veränderungen des Levels große Veränderungen der Objektdimensionen nach sich ziehen. Wohldefiniert ist die Objektfläche nur in einem gewissen Abstand vom 0% und 100%-Level.

**[0052]** Man kann allerdings den Schwerpunkt bei einer fiktiven 0%/100% Schwelle bestimmen, ohne wirklich mit diesem Schwellwert gemessen zu haben. Dazu bedient man sich der Methode der Extrapolation. Dies könnte z. B. für ein helles Objekt wie folgt funktionieren:

- man bestimmt den Schwerpunkt  $(x_{s_1}, y_{s_1})$  für eine sehr kleine, aber gerade noch sinnvolle Schwelle  $s_1 = s_{0\%} + \Delta$ ;
- und weiter Schwerpunkte  $(x_{s_i}, y_{s_i})$  für weitere größere Schwellen (z. B. im vielfachen Abstand)  $s_i = s_{0\%} + i\Delta$ ; und
- nun werden die Schwerpunkte auf den Wert  $(x_{s_0}, y_{s_0})$  für die (praktisch nicht auswertbare) Schwelle  $s_{0\%}$  extrapoliert.

**[0053]** Extrapolation in Kürze: Man passt eine geeignete Funktion so an, dass sie den bekannten Stützstellen  $(i, x_{s_i})$  bzw.  $(i, y_{s_i})$  möglichst nahe kommt. Extrapolation ist der Funktionswert außerhalb des Bereichs der bekannten Stützstellen, in unserem Fall bei  $i = 0$ .

**[0054]** Um den Schwerpunktalgorithmus in die vorhandene Softwarestruktur der Koordinaten-Messmaschine integrieren zu können, modifiziert man den oben skizzierten Algorithmus an einigen Stellen.

**[0055]** Man kann eine Messung in einer beliebig orientierten Messrichtung durchführen. Für die 2-dimensio-

nale Integration muss man nur einmal die Objektgrenze (Schnitt mit Schwelle) bestimmen. Mittels der Gleichung (2) kann man den Schwerpunkt dann 2-dimensional bestimmen. Aus Kompatibilitätsgründen bestimmt man in einem Messfenster nur die Schwerpunktkoordinate in einer (beliebigen) Messrichtung. Die zweite Schwerpunktskoordinate wird basierend auf einem zweiten Messfenster unabhängig von der ersten Koordinate bestimmt.

**[0056]** Als Zwischenschritt führt man eine Profilberechnung ein und bildet ein Pseudoprofil  $P_k$ . Dieses soll bei einem Positionsinkrement von  $\Delta_p$  in Messrichtung Werte für die Orte  $p_k = k \cdot \Delta_p$  mit  $k = 0, 1, 2, \dots, K-1$  angeben. Dabei werden die Anteile von Pixel  $p_{ij}$  vom Integral für jedes Element der Objektfläche auf Profilkannäle beiden Profilkannäle aufgeteilt, die dem Pixelort in Messrichtung am nächsten sind. Damit soll man die Gleichung (4) bestimmen können wie:

$$V \approx \sum_{k=0}^{K-1} P_k \quad \text{bzw.} \quad x_S \approx \sum_{k=1}^{K-1} k \cdot p_k$$

**[0057]** Für diesen Abschnitt interpretieren wir  $x_S$  als die Schwerpunktposition in Messrichtung.

**[0058]** Mathematisch führt das zu folgender Berechnung:

Sei  $x_p$  der Ort in Messrichtung für Pixel P mit dem Integralanteil  $A_p$ .  $x_p$  wird in der Regel nicht mit einem Profilkanal  $p_k$  zusammenfallen. Die beiden nahe gelegenen Profilkannäle sollen  $p_l$  und  $p_{l+1}$  sein. Dann berechnet man:

$$a_0 = \frac{x_p - p_l}{\Delta_p} \quad \text{und} \quad a_1 = \frac{p_{l+1} - x_p}{\Delta_p}$$

**[0059]** Nun inkrementiert man die Profilkannäle  $l$  und  $l+1$ :

$$P_l = P_l + a_1 \cdot A_p \quad \text{und} \quad P_{l+1} = P_{l+1} + a_0 \cdot A$$

**[0060]** Die dem Algorithmus zugrunde liegende Software arbeitet intern mit Kantenpositionen (erste und zweite Kanten  $3K_1$  und  $3K_2$  senkrecht zu der ersten Messrichtung  $MR_x$ , und bestimmt eine Position als  $X_S = 1/2(K_1 + K_2)$ . Hier ist immer auch eine Linienbreitenberechnung möglich, welche als Resultat liefert  $CD = K_2 - K_1$ .

**[0061]** Bei einem unregelmäßig geformten Objekt kann man als Linienbreite am ehesten noch den Mittleren Abstand (in Messrichtung) zum Schwerpunkt benutzen. Das führt zur Standardabweichung der Profilposition:

$$\sigma = \sqrt{\frac{\sum_{k=0}^{K-1} P_k (k \cdot \Delta_p - x_S)^2}{\sum_{k=0}^{K-1} P_k}}$$

... und der Rechenvorschrift:

$$K_1 = x_S - \sigma \quad \text{sowie} \quad K_2 = x_S + \sigma$$

**[0062]** Ist man am gemeinsamen Schwerpunkt mehrere Objekte interessiert, so ist es nicht korrekt den Mittelwert der Schwerpunkte der einzelnen Objekte zu bilden. Man muss die Schwerpunkte mit dem Volumen  $V_n$  (Volumina nach Gleichung (4) der einzelnen Objekte gewichten:

$$\bar{x}_S = \frac{\sum_{n=1}^N V_n \cdot x_{Sn}}{\sum_{n=1}^N V_n}$$

**[0063]** Die Volumina sind aus dem Pseudoprofil schnell zu berechnen, man muss sie nur in der Datenstruktur zur späteren Auswertung speichern.

**[0064]** Die Erfindung wurde unter Berücksichtigung spezieller Ausführungsformen beschrieben. Es ist jedoch denkbar, dass Abwandlungen und Änderungen durchgeführt werden können, ohne dabei den Schutzbereich der nachstehenden Ansprüche zu verlassen.



## ZITATE ENTHALTEN IN DER BESCHREIBUNG

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

### Zitierte Patentliteratur

- DE 10047211 A1 [0003]
- DE 10129818 B4 [0004, 0010]
- DE 102008002770 [0005, 0010]
- JP 2232918 A1 [0006]
- US 5572288 [0008, 0010]
- DE 19858428 [0009]
- DE 10106699 [0009]
- DE 102004023739 [0009]
- JP 2232918 [0010]
- US 2003/201404 [0010]
- DE 10047211 B4 [0010]

### Zitierte Nicht-Patentliteratur

- „Pattern Placement Metrology for Mask making“ von Frau Dr. Carola Bläsing verwiesen. Der Vortrag wurde gehalten anlässlich der Tagung Semicon, Education Program in Genf am 31. März. 1998 [0003]



## Patentansprüche

1. Verfahren zur Positionsbestimmung von Strukturen (**3**) auf einer Maske (**2**), wobei das Verfahren mit einer Koordinaten-Messmaschine (**1**) implementiert ist, die einen in X-Koordinatenrichtung und in Y-Koordinatenrichtung beweglichen Messtisch (**20**) besitzt, gekennzeichnet durch die folgenden Schritte:
  - dass ein Messfenster (**30**) auf einem Detektorelement (**11**) einer Kamera (**10**) der Koordinaten-Messmaschine (**1**) definiert wird wobei das Detektorelement (**11**) eine Vielzahl von in Zeilen (N) und Spalten (M) angeordnete Pixel (**11<sub>11</sub>**, **11<sub>12</sub>**, ..., **11<sub>NM</sub>**) besitzt;
  - dass der Messtisch derart in X-Koordinatenrichtung und in Y-Koordinatenrichtung verfahren wird, dass ein Messobjektiv (**9**) der Koordinaten-Messmaschine (**1**) zumindest einem Teil der jeweils zu messenden Struktur auf in das Messfenster (**30**) des Detektorelements (**11**) abbildet;
  - dass gemäß einer ersten Messrichtung ( $MR_x$ ), welche parallel zur X-Koordinatenrichtung ist, wird ein erstes Intensitätsprofil ( $I_x$ ) in X-Koordinatenrichtung bestimmt;
  - dass gemäß einer zweiten Messrichtung ( $MR_y$ ), welche parallel zur Y-Koordinatenrichtung ist, wird ein zweites Intensitätsprofil ( $I_y$ ) in Y-Koordinatenrichtung bestimmt;
  - dass aus dem ersten Intensitätsprofil ( $I_x$ ) und dem zweiten Intensitätsprofil ( $I_y$ ) eine 2-dimensionale Position eines Schwerpunkts (S) in Bezug auf das Koordinatensystem der Koordinaten-Messmaschine bestimmt wird; und
  - dass anhand der Position eines Schwerpunkts (S) die Position von Kanten (**3K<sub>1</sub>**, **3K<sub>2</sub>**) der Struktur (**3**) ermittelt werden, die im Wesentlichen senkrecht zu der ersten Messrichtung ( $MR_x$ ) sind und die Position von Kanten (**3K<sub>3</sub>**, **3K<sub>4</sub>**) der Struktur ermittelt werden, die im Wesentlichen senkrecht zu der zweiten Messrichtung ( $MR_y$ ) sind.
2. Verfahren nach Anspruch 1, wobei die Kombination des ersten und des zweiten Intensitätsprofils ( $I_x$ ,  $I_y$ ) des mit dem im Detektor (**11**) definierten Messfenster (**30**) aufgenommenen Bildes der Struktur (**3**) eine Funktion mit zwei Veränderlichen darstellt.
3. Verfahren nach Anspruch 2, wobei zur Berechnung des Scherpunkts (S) ein abgegrenztes Objekt bestimmt wird, das sich aus einem Schnitt einer Ebene, die eine Schwelle mit konstanter Helligkeit darstellt, und dem gemessenen, 2-dimensionalen Intensitätsprofil ergibt.
4. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 3, wobei sich der Wert der Schwelle für einen messtechnisch sinnvollen Algorithmus auf Bildhelligkeiten bezieht, wobei die Schwelle auf einen Bruchteil der Intensität zwischen einem Helligkeitsniveau mit dem höchsten Helligkeitswert und einem Helligkeitsniveau mit dem geringsten Helligkeitswert im Bild der Struktur bezogen wird.
5. Verfahren nach Anspruch 4, wobei zur Berechnung die Pixelwerte innerhalb des Messfensters (**30**) herangezogen werden und aus diesen wird ein Histogramm berechnet.
6. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 3, wobei für kleine Strukturen ein Minimum und/oder ein Maximum der Helligkeit des Bildes der aufgenommenen Struktur berechnet werden.
7. Verfahren nach Anspruch 6, wobei zur Berechnung des Maximums und/oder Minimums eine Fitparabel ( $p(x) = ax^2 + bx + c$ ) durch die Profilpunkte des Intensitätsprofils in der Nähe des Extremwerts gelegt wird.
8. Verfahren nach den Ansprüchen 6 und 7, wobei als Zwischenschritt ein Pseudoprofil  $P_k$  gebildet wird, das bei einem Positionsinkrement von p in der ersten Messrichtung ( $MR_x$ ) und/oder der zweiten Messrichtung ( $MR_y$ ) Werte für die Orte  $p_k = k \cdot \Delta_p$  mit  $k = 0, 1, 2, \dots, K - 1$  angibt und wobei die Anteile der Pixel (**11<sub>NM</sub>**) vom Integral für jedes Element der Objektfläche auf Profilkänäle der beiden Profilkänäle aufgeteilt werden, die dem Pixelort in der ersten Messrichtung ( $MR_x$ ) und/oder zweiten Messrichtung ( $MR_y$ ) am nächsten sind.
9. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 8, wobei der Schwerpunkt in der ersten Messrichtung ( $MR_x$ ) aus den Kantenpositionen der Kanten (K1, K2) der Struktur (**3**), die im Wesentlichen senkrecht zur ersten Messrichtung ( $MR_x$ ) sind, bestimmt wird und wobei der Schwerpunkt in der zweiten Messrichtung ( $MR_y$ ) aus den Kantenpositionen der Kanten (K3, K4) der Struktur (**3**), die im Wesentlichen senkrecht zur zweiten Messrichtung ( $MR_x$ ) sind, bestimmt wird.
10. Verfahren nach Anspruch 9, dadurch gekennzeichnet, dass bei einer regelmäßig geformten Struktur (**3**) sich die Linienbreite aus der Differenz der Position zweier paralleler Kanten in der ersten Messrichtung ( $MR_x$ ) oder der zweiten Messrichtung ( $MR_y$ ) ergibt.

11. Verfahren nach Anspruch 9, dadurch gekennzeichnet, dass bei einer unregelmäßig geformten Struktur **(3)** für die Berechnung der Linienbreite der mittlere Abstand in der ersten Messrichtung ( $MR_x$ ) oder in der zweiten Messrichtung ( $MR_y$ ) zum Schwerpunkt benutzt wird, was zu einer Standardabweichung der Profilposition führt.

12. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 11, wobei der Schwerpunkt für mehrere Strukturen **(3)** durch die Gewichtung der Schwerpunkte mit einem Volumen ( $V_n$ ) der einzelnen Strukturen durchgeführt wird.

Es folgen 7 Blatt Zeichnungen

Anhängende Zeichnungen

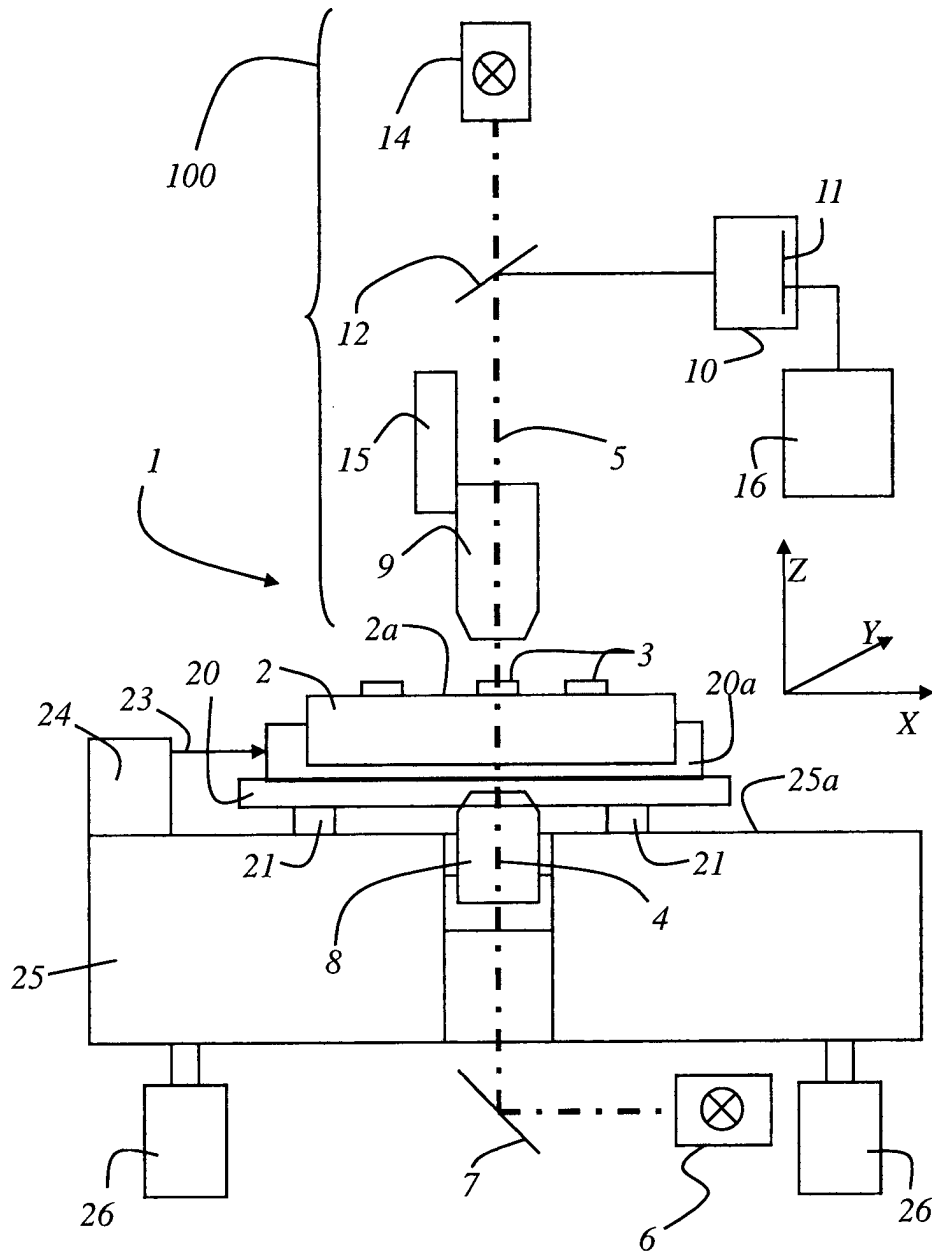


Fig. 1

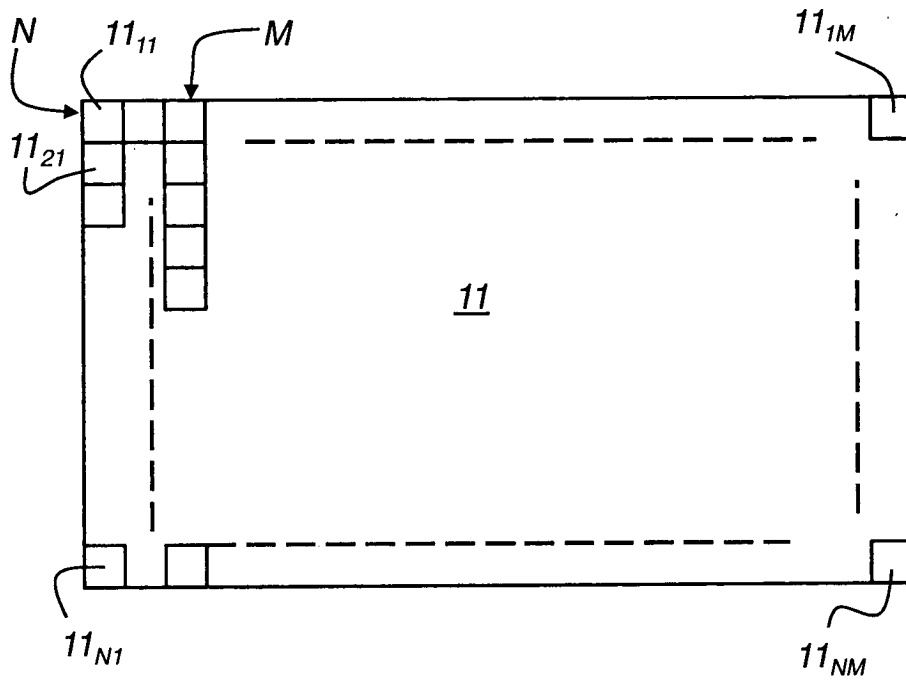


Fig. 2

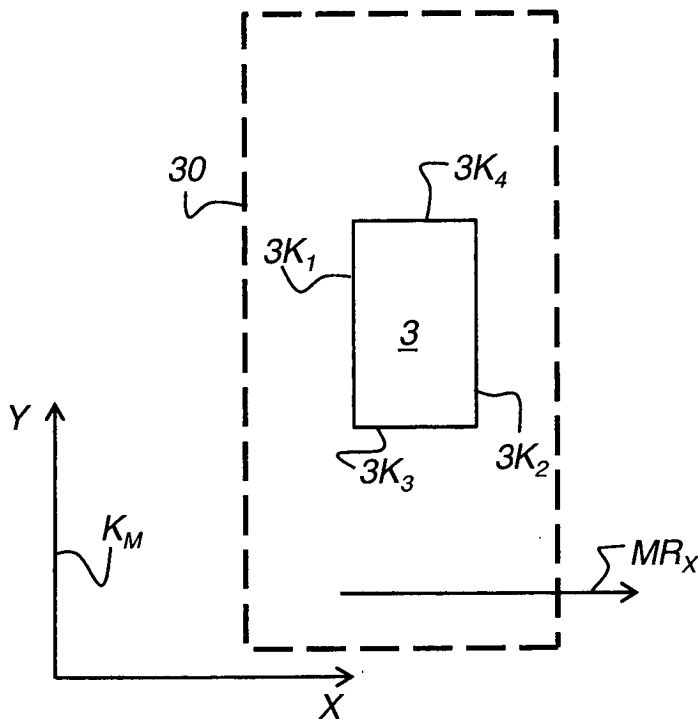


Fig. 3

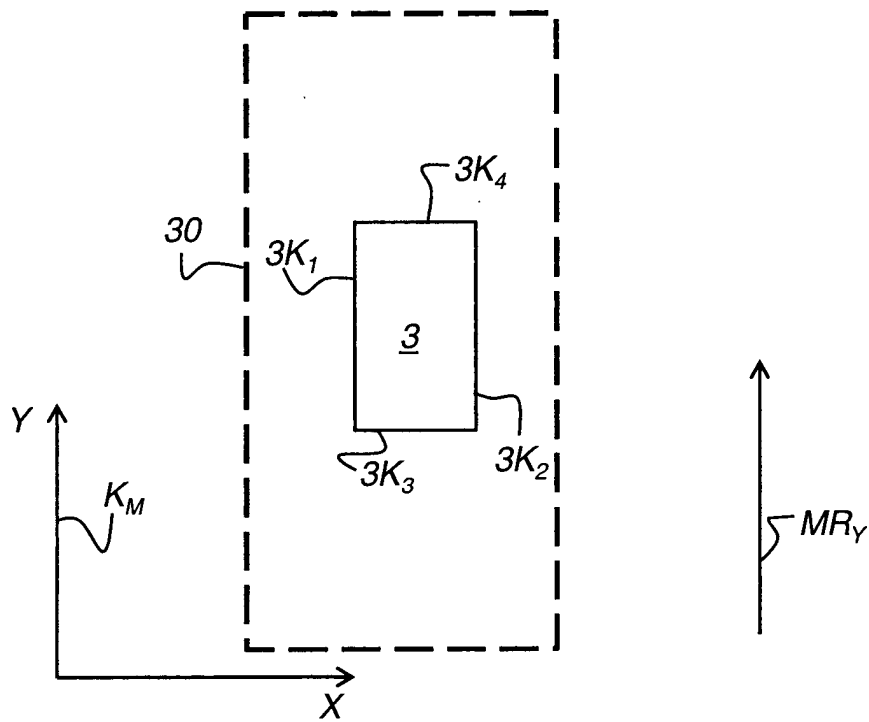


Fig. 4

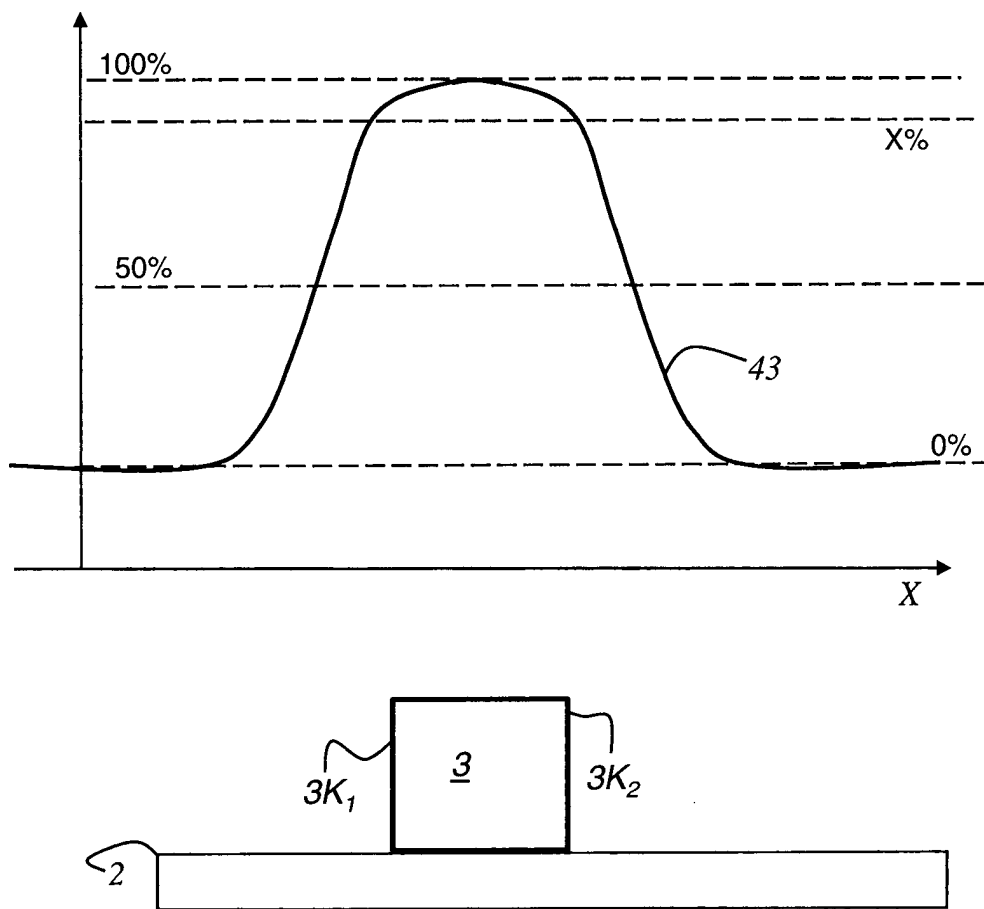


Fig. 5

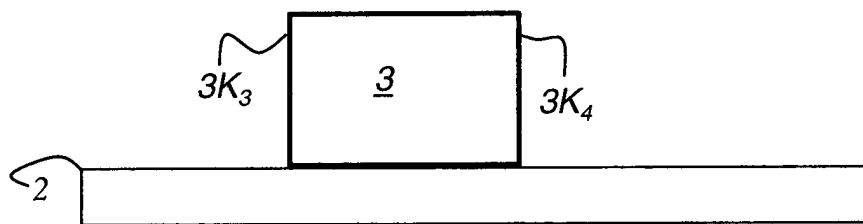
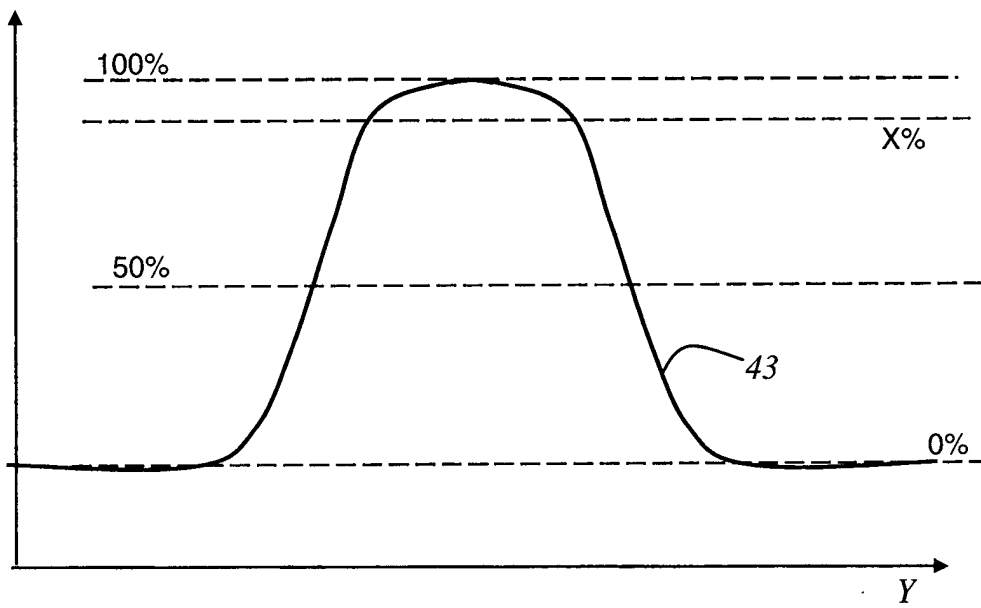


Fig. 6



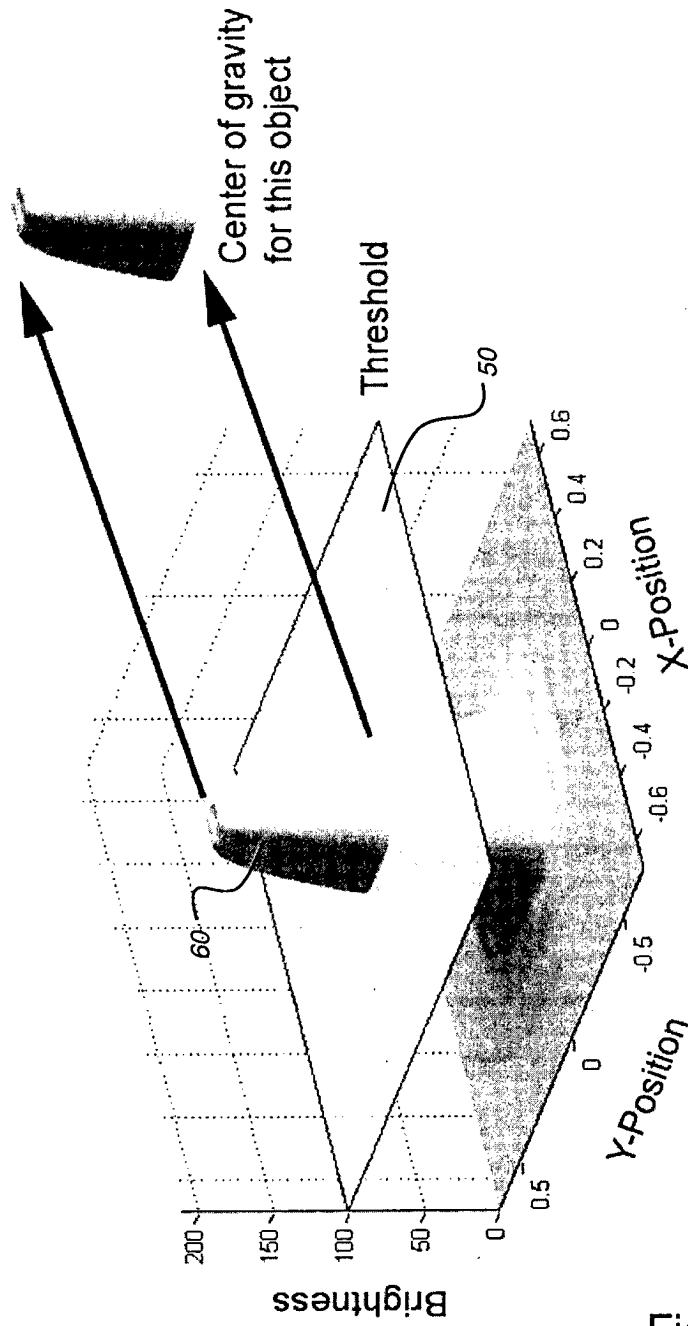


Fig. 7

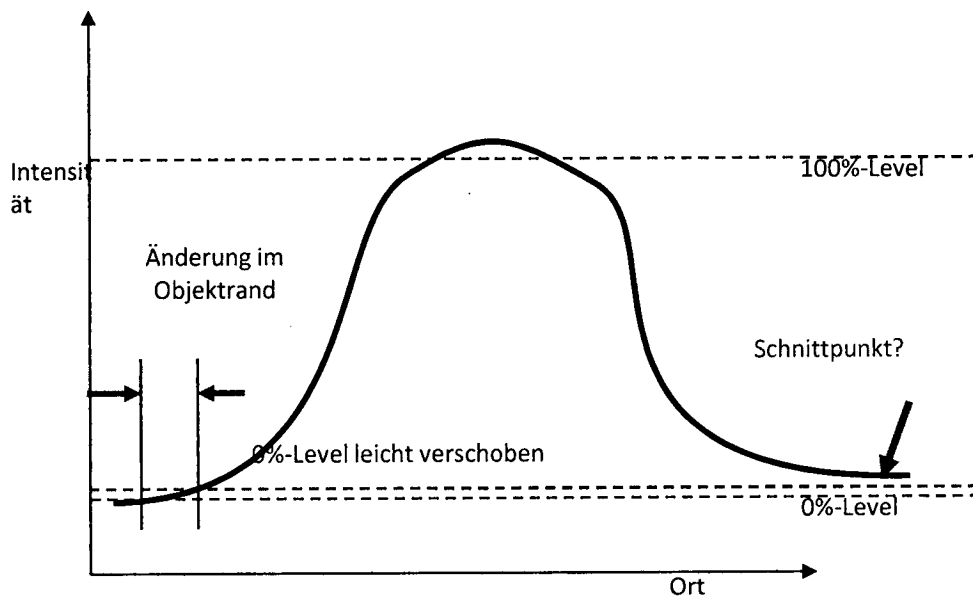


Fig. 8