

(19)



Deutsches
Patent- und Markenamt



(10) **DE 10 2008 002 755 B4** 2014.03.06

(12)

Patentschrift

(21) Aktenzeichen: **10 2008 002 755.3**

(22) Anmeldetag: **24.01.2008**

(43) Offenlegungstag: **06.08.2009**

(45) Veröffentlichungstag
der Patenterteilung: **06.03.2014**

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

G01B 11/14 (2006.01)

G01B 11/24 (2006.01)

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

(73) Patentinhaber:

**Vistec Semiconductor Systems GmbH, 35781,
Weilburg, DE**

(74) Vertreter:

Reichert & Kollegen, 93047, Regensburg, DE

(72) Erfinder:

Heiden, Michael, 61200, Wölfersheim, DE

(56) Ermittelter Stand der Technik:

US 7 123 356 B1
US 2006 / 0 002 266 A1
US 2006 / 0 206 851 A1

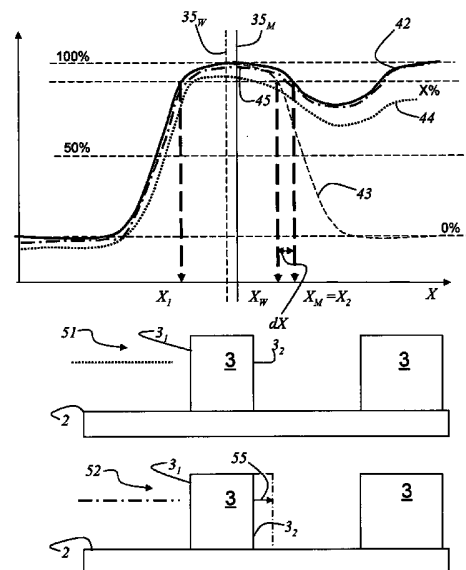
B.Bodermann, H.Bosse, "An approach to validation of rigorous modeling in optical CD microscopy by comparison of measurement results with independent methods". In: Modeling Aspects in Optical Metrology, Proc. of SPIE Vol. 6617, 66170Y, 10 Seiten 2007

S.Hector, u. a., "Evaluation of the critical dimension control requirements in the ITRS using statistical simulation and error budgets". In: Optical Microlithography XVII, Proc. of SPIE Vol. 5377, S. 555-570, 2004

(54) Bezeichnung: **Verfahren zur Bestimmung eines Korrekturwerts für die Vermessung von Positionen von Strukturen auf einem Substrat**

(57) Hauptanspruch: Verfahren zur Bestimmung eines Korrekturwerts für die Vermessung von Positionen von Strukturen auf einer Maske, gekennzeichnet durch die folgenden Schritte:

- Berechnen einer Vielzahl zu erwartender Intensitätsverteilungen von einem strukturierten Bereich der Maske durch Variation der Solldaten dieses strukturierten Bereichs;
- Ermitteln einer Verteilung der zu erwartenden Istdaten aus den jeweils durch Variation der Solldaten berechneten Intensitätsverteilungen; und
- Auswahl einer Korrekturmethode für gemessene Daten des strukturierten Bereichs in Abhängigkeit von dem Maß der Variation der ermittelten Verteilung, derart, dass
 - a. bei Unterschreiten eines vordefinierten Werts der Variation ein konstanter Korrekturwert für die Bestimmung der gemessenen Istdaten des strukturierten Bereichs ermittelt wird, und
 - b. bei Überschreiten eines vordefinierten Werts der Variation so lange variierte Solldaten des strukturierten Bereichs erzeugt und die dazugehörigen zu erwartenden Intensitätsverteilungen berechnet werden, bis eine Übereinstimmung der gemessenen Intensitätsverteilung und der berechneten Intensitätsverteilung innerhalb einer definierten Toleranz erreicht ist, und dass eine Abweichung der Solldaten von den variierten Solldaten ausgegeben wird.



Beschreibung

[0001] Die vorliegende Erfindung betrifft ein Verfahren zur Bestimmung eines Korrekturwerts für die Vermessung von Positionen von Strukturen auf einer Maske.

[0002] 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 sei daher ausdrücklich auf diese Schrift verwiesen.

[0003] Ferner ist eine Koordinaten-Messmaschine aus einer Vielzahl von Patentanmeldungen bekannt, wie z. B. aus der DE 198 58 428 A1, aus der DE 101 06 699 A1 oder aus der DE 10 2004 023 739 A1. 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. Ebenso gilt es, das Objektiv derart in Z-Koordinatenrichtung zu verstellen, dass die zu messende Kante scharf abgebildet wird.

[0004] Das US-Patent US 7 123 356 B1 beschreibt Verfahren und Vorrichtungen zur Inspektion eines Retikels. In einer Ausführungsform kann ein Verfahren dabei die Erzeugung eines Luftbildes des Retikels unter einem Satz von Belichtungsbedingungen umfassen. Das Retikel kann dabei Strukturen zur Optical Proximity Correction (OPC) ausgebildet haben. Das Verfahren kann ebenso die Detektion eines Defekts durch Vergleich des Luftbildes mit einem in einer Datenbank gespeicherten Referenzbild umfassen. Das Referenzbild kann dabei im Wesentlichen zu einem Bild optisch äquivalent sein, welches durch ein Be-

lichtungssystem unter dem Satz von Belichtungsbedingungen in einem Substrat erzeugt würde. Das Referenzbild braucht die OPC Strukturen nicht wiederzugeben. Deshalb besteht ein erheblicher Teil der Defekte in solchen Defekten, die durch das Belichtungssystem bei Benutzung des Retikels unter dem Satz von Belichtungsbedingungen abgebildet würden. Das Verfahren kann beinhalten, Defekte in kritischen Bereichen des Retikels zu kennzeichnen.

[0005] Die US-Patentanmeldung US 2006/0273266 A1 offenbart ein Verfahren zur Untersuchung von Bereichen einer Maske, welche ein Fehlerrisiko aufweisen. Dabei wird ein Lithographie-Prozess für die Maske simuliert, um ein simuliertes Bild zu erhalten. Bereiche der Maske mit Strukturen, welche ein Fehlerisiko aufweisen, werden im simulierten Bild identifiziert und in Gruppen eingeordnet. Die Gruppen werden nach Prioritäten geordnet. Ein Testplan wird erstellt, um von den Gruppen Daten zu gewinnen. Die Daten werden analysiert, um festzustellen, welche Bereiche der Maske geändert werden sollten.

[0006] Die US-Patentanmeldung US 2006/0206851 A1 beschreibt ein Verfahren zur Ermittlung eines optimalen Prozessfensters für einen Lithographie-Prozess. Dabei wird geprüft, ob das Bild einer Struktur mit kritischer Dimension (CD) im Toleranzbereich liegt und die Kombination von Prozessparametern bestimmt, die den Soll-Wert der CD der Struktur am besten reproduzieren.

[0007] Der Beitrag „An approach to validation of rigorous modeling in optical CD microscopy by comparison of measurement results with independent methods“ von B. Bodermann und H. Bosse in „Modeling Aspects in Optical Metrology“, Proc. of SPIE Vol. 6617 (2007) diskutiert Ansätze zur Simulation von Verfahren für CD-Messungen.

[0008] Der Artikel „Evaluation of the critical dimension control requirements in the ITRS using statistical simulation and error budgets“ in Optical Microlithography XVII, Proc. SPIE Vol 5377 (2004) diskutiert die Veränderung und Reproduzierbarkeit einer kritischen Dimension in Abhängigkeit von Prozessparametern. Ein statistisches Modell der kritischen Dimension wird entwickelt und Abweichungen der CD mittels Monte-Carlo-Methoden vorhergesagt.

[0009] Da die Strukturen auf dem Substrat immer kleiner werden, bzw. immer enger zusammenrücken, hat auch die nähere Umgebung der gerade zu vermessenden Struktur einen Einfluss auf die gemessene Position einer Struktur. Strukturen in der näheren Umgebung der gerade zu vermessenden Struktur können aufgrund der endlichen Auflösung der Optik einen systematischen Fehler in der Positions- und CD-Messung (Messung der Critical Dimension, auch

als Breite der Struktur bezeichnet) verursachen. Da aus den Designdaten für das Substrat (Maske) bekannt ist, wie die Umgebung um eine gerade zu vermessende Struktur aussieht, kann ein Modell aufgestellt werden, wie sich die Umgebung auf die zu messende Struktur auswirkt. Daraus lässt sich ein Korrekturwert bestimmen.

[0010] Aufgabe der gegenwärtigen Erfindung ist es, ein Verfahren zu schaffen, mit dem unabhängig von der Umgebung der gerade zu vermessenden Struktur die Messwerte hinsichtlich der Position der Struktur, bzw. der CD der Struktur mit einem Korrekturwert versehen werden.

[0011] Die obige Aufgabe wird gelöst durch ein Verfahren zur Bestimmung eines Korrekturwerts für die Vermessung von Positionen von Strukturen auf einer Maske, das die Merkmale des Anspruchs 1 aufweist.

[0012] Zunächst wird eine Vielzahl zu erwartender Intensitätsverteilungen von einem strukturierten Bereich der Maske berechnet. Dabei werden die Solldaten (auch Designdaten genannt) dieses strukturierten Bereichs variiert. Anschließend wird eine Verteilung der zu erwartenden Istdaten aus den jeweils durch Variation der Solldaten berechneten Intensitätsverteilungen ermittelt. In Abhängigkeit von dem Maß der Variation der ermittelten Verteilung wird eine Korrekturmethode für die gemessenen Daten des strukturierten Bereichs ausgewählt.

[0013] Beim Unterschreiten eines vordefinierten Werts der Variation der ermittelten Verteilung wird ein konstanter Korrekturwert für die Bestimmung der gemessenen Istdaten des strukturierten Bereichs ermittelt. Der konstante Korrekturwert wird in Ausprägungen des Verfahrens aus dem Mittelwert der ermittelten Verteilung mittels einer geeigneten mathematischen Funktion ermittelt. Der konstante Korrekturwert ist in bestimmten Verfahrensausprägungen der Mittelwert der ermittelten Verteilung.

[0014] Beim Überschreiten eines vordefinierten Werts der Variation der ermittelten Verteilung werden so lange variierte Solldaten des strukturierten Bereichs erzeugt und die dazugehörigen zu erwartenden Intensitätsverteilung berechnet, bis eine Übereinstimmung der gemessenen Intensitätsverteilung und der berechneten Intensitätsverteilung innerhalb einer definierten Toleranz erreicht ist. Eine Abweichung der Solldaten von den variierten Solldaten wird ausgegeben. Eine Position der Struktur oder eine Abmessung der Struktur wird in Ausführungsformen des Verfahrens aus den variierten Solldaten berechnet.

[0015] In Ausgestaltungen des Verfahrens werden bei Überschreiten eines vordefinierten Werts der Variation der ermittelten Verteilung eine Vielzahl variiert Solldaten des strukturierten Bereichs erzeugt. Die

jeweils zu erwartenden Intensitätsverteilungen werden in einer Datenbank abgelegt, wobei eine gemessene Intensitätsverteilung mit der Datenbank verglichen wird. Innerhalb der Datenbank wird nach der Intensitätsverteilung gesucht, die die größte Übereinstimmung mit der gemessenen Intensitätsverteilung aufweist. Zwischen zwei zu erwartenden Intensitätsverteilungen wird interpoliert.

[0016] In besonderen Ausgestaltungen des Verfahrens wird eine Position der Struktur oder eine Abmessung der Struktur aus der Intensitätsverteilung bestimmt, die die größte Übereinstimmung mit der gemessenen Intensitätsverteilung aufweist.

[0017] Eine Abweichung der Solldaten von den variierten Solldaten wird ebenfalls ausgegeben. Die Variation ist in Ausprägungen des Verfahrens durch die Standardabweichung definiert. Der strukturierte Bereich auf einer Maske entspricht in Ausgestaltungen des Verfahrens einem Messfenster eines Messobjektivs, wobei im Messfenster des Messobjektivs mindestens eine zu vermessende Struktur enthalten ist.

[0018] In Ausführungsformen des erfindungsgemäßen Verfahrens werden die zu erwartenden Intensitätsverteilungen mit einem Aerial (mager berechnet). In besonderen Ausführungsformen werden bei der Berechnung der zu erwartenden Intensitätsverteilungen mit dem Aerial Imager verwendete Beleuchtungsparameter berücksichtigt. Die Beleuchtungsparameter sind z. B. die Wellenlänge des verwendeten Beleuchtungslichts, die verwendete Apertur, ob im Auflicht oder Durchlicht beleuchtet wurde oder wie die Struktur der Beleuchtung ausgestaltet ist.

[0019] In Ausgestaltungen des Verfahrens werden bei der Berechnung der zu erwartenden Intensitätsverteilungen mit dem Aerial Imager die Parameter des Abbildungsstrahlenganges berücksichtigt. Mögliche Parameter sind die Aberrationen der optischen Elemente im Strahlengang oder die Apodisation.

[0020] In Ausprägungen des erfindungsgemäßen Verfahrens wird die bei der Beleuchtung auftretende optische Beugung an den Strukturen auf der Maske mittels einer auf Finiten Elementen basierenden Methode oder der Rigorous Coupled Wave Analysis (RCWA) berechnet. Die Daten zu den Strukturen auf der Maske werden aus den CAD-Daten gewonnen.

[0021] In Ausgestaltungen des Verfahrens wird zumindest ein Teil der Daten der Strukturen auf der Maske durch zusätzliche Messungen gewonnen. Diese Daten sind z. B. optische Konstanten, wie z. B. der Brechungsindex, oder die Schichtdicke.

[0022] Im Folgenden sollen Ausführungsbeispiele die Erfindung und ihre Vorteile anhand der beigefügten Figuren näher erläutern.

[0023] **Fig. 1** zeigt schematisch eine Koordinaten-Messmaschine, wie diese bereits seit längerem aus dem Stand der Technik bekannt ist und mit der die Positionen von Strukturen auf der Oberfläche einer Maske vermessen werden können.

[0024] **Fig. 2** zeigt eine schematische Draufsicht auf die Oberfläche einer Maske, wobei schematisch Messfenster eingezeichnet sind, die für die Vermessung der Position der Strukturen auf der Maske verwendet werden.

[0025] **Fig. 3** zeigt schematisch, wie anhand der Bestimmung der Positionen der Kanten einer Struktur die Lage der Struktur bestimmt werden kann.

[0026] **Fig. 4** zeigt die Intensitätsverteilung, welche sich durch Beleuchtung der Maske ergibt.

[0027] **Fig. 5** zeigt ebenfalls eine Intensitätsverteilung, die sich durch Beleuchtung der Maske ergibt, wobei hier jedoch die Strukturen enger aneinander liegen als in **Fig. 4**.

[0028] **Fig. 6** zeigt die Bestimmung der Lage der Kanten der ersten Struktur bei den in **Fig. 5** gezeigten eng benachbarten Strukturen.

[0029] **Fig. 7** zeigt mehrere Intensitätsprofile, die jeweils für die Auswertung der Position der Struktur, bzw. Lage der Kanten der Struktur, herangezogen werden.

[0030] **Fig. 8** zeigt schematisch die Lage einer Struktur auf der Maske.

[0031] **Fig. 9** zeigt die Lage der Struktur auf der Maske und die durch einen systematischen Messfehler ermittelte Lage der Struktur auf der Maske.

[0032] **Fig. 10** zeigt die Lage von zwei Strukturen auf der Maske, wobei für die Lage der ersten Struktur bestimmte Soll-Daten angegeben sind.

[0033] **Fig. 11** zeigt schematisch die Standard Abweichung der gemessenen Lage der Struktur aus **Fig. 10**.

[0034] **Fig. 1** zeigt eine Koordinaten-Messmaschine **1** zum Vermessen der Positionen von Strukturen **3** auf Masken **2**. Die Koordinaten-Messmaschine **1** umfasst eine optische Einrichtung **100** zum Messen von Positionen von Strukturen **3** auf einer Maske **2**. Auf einer Maske **2** sind auf einer Oberfläche **2a** eine Vielzahl von Strukturen **3** vorgesehen. In dieser Beschreibung sind die Strukturen **3** durch einzelne Gräben voneinander beanstandet. Es ist selbstverständlich, dass diese Anordnung der Strukturen nicht als eine Beschränkung der Erfindung aufgefasst werden kann. Für einen Fachmann ist es selbstverständlich,

dass auch eine andere Beabstandung der Strukturen möglich ist. Die Maske **2** ist dabei selbst in einen Messtisch **20** gelegt (kann auch zusätzlich noch in einen Spiegelkörper eingelegt sein), der in X-Koordinatenrichtung und in Y-Koordinatenrichtung verschiebbar angeordnet ist. Der Messtisch **20** ist somit in einer Ebene **25a** verschiebbar, die durch ein Element **25** gebildet wird. In der Regel ist dieses Element **25** aus Granit hergestellt. Das Element **25** ist ebenfalls auf schwingungsgedämpft gelagerten Füßen **26** aufgestellt. Der Messtisch **20** wird mittels mehrerer Lager **21** in der Ebene **25a** verfahren. In einer bevorzugten Ausführungsform können die Lager **21** als Luftlager ausgebildet sein. Die Position des Messtisches **20** in der durch die X-Koordinatenrichtung und Y-Koordinatenrichtung aufgespannten Ebene wird mittels mindestens eines Laser-Interferometers **24** gemessen. Hierzu sendet das Laser-Interferometer **24** einen entsprechenden Messlichtstrahl **23** aus.

[0035] Für die Beleuchtung der Maske **2** ist eine Durchlichtbeleuchtungseinrichtung **6** vorgesehen, die das Licht in einen Durchlichtbeleuchtungsstrahlengang **4** aussendet. Das Licht von der Durchlichtbeleuchtungseinrichtung **6** gelangt über einen Umlenkspiegel **7** in den Durchlichtbeleuchtungsstrahlengang **4**. Ein Kondensator **8** formt das von der Durchlichtbeleuchtungseinrichtung **6** kommende Licht und richtet es letztendlich auf die Maske **2**. Für den Fall, dass eine Auflichtbeleuchtungseinrichtung **14** benötigt wird, ist diese ebenfalls vorgesehen. Über das Messobjektiv **9** gelangt das Licht im Auflichtbeleuchtungsstrahlengang **5** auf die Maske **2** und wird ebenfalls durch das Messobjektiv **9** letztendlich über einen Teilerspiegel **12** auf eine Kamera **10** gelenkt. Dieses erfolgt sowohl im Auflicht, als auch im Durchlicht. Die Kamera **10** umfasst einen Detektor **11**. Der Detektor **11** ist mit einem Rechner **16** verbunden, der aus den mit dem Detektor **11** aufgenommenen Signalen ein digitales Bild ermittelt. Zusammen mit dem Rechner **16** wird dann die Position, bzw. die Breite einer Struktur **3** berechnet.

[0036] Die mit dem Rechner **16** ermittelten Daten können für den Benutzer auf einem Display (nicht dargestellt) ausgegeben werden. Ebenso kann der Benutzer mittels einer Eingabeeinheit (nicht dargestellt) entsprechende Messprozesse zusammenstellen. Ebenso ist es möglich, Veränderungen an den Messprozessen durchzuführen. An den auf dem Display ausgegebenen Daten kann der Benutzer entscheiden, ob die gerade mit der Koordinaten-Messmaschine **1** durchgeführte Messung für die Auswertung geeignet ist.

[0037] **Fig. 2** zeigt eine Draufsicht auf die Oberfläche **2a** der Maske **2**. Auf der Oberfläche **2a** der Maske **2** sind mehrere Strukturen **3** angeordnet. Die Strukturen **3** sind dabei jeweils durch Abstände **32** voneinander getrennt. In der Regel bestehen die Masken

2 aus Quarz. Die auf der Oberfläche 2a der Maske aufgebracht Strukturen 3 können aus Chrom bestehen. Häufig werden auch phasenschiebende Materialien, wie z. B. MoSi, verwendet. In Fig. 2 sind zwei Messfenster 30 eingezeichnet, um zu zeigen, wie die Strukturen 3 innerhalb des Messfensters 30 liegen können. Bei der einen Möglichkeit, welche in Fig. 2 oben dargestellt ist, ist lediglich eine Struktur 3 im Messfenster 30. Bei der in Fig. 2 unten dargestellten Möglichkeit sind zwei Strukturen 3 im Messfenster 30. Aufgrund der abnehmenden Strukturgrößen und der endlichen Auflösung der Optik kann man nicht immer sicher sein, dass im Messfenster 30 nur eine Struktur 3 für die Messung vorhanden ist. Somit spricht man bei der Vermessung von einem strukturierten Bereich, da oft mehr als eine Struktur 3 sich im Messfenster 30 des Messobjektivs 9 befinden kann. Liegt nun mehr als eine Struktur 3 im Messfenster 30, kann dies zu systematischen Messfehlern hinsichtlich der Position der jeweiligen Struktur 3 und logischerweise auch hinsichtlich der Bestimmung der CD führen.

[0038] Fig. 3 zeigt eine schematische Darstellung, wie die Position einer Struktur 3 auf der Maske 2 ermittelt wird. Der Maske 2 ist ein Koordinatensystem zugeordnet. In der hier dargestellten Ausführungsform ist das Koordinatensystem in X-Koordinatenrichtung und in Y-Koordinatenrichtung orientiert. Die Struktur 3 ist als Linie dargestellt und besitzt eine erste Kante 3₁ und eine zweite Kante 3₂. Die Lage der ersten Kante 3₁ der Struktur 3 in X-Koordinatenrichtung wird durch den X-Wert X₁ definiert. Die Lage der zweiten Kante 3₂ in X-Koordinatenrichtung wird durch den Wert in X-Richtung X₂ definiert. Aus der Lage der beiden Kanten 3₁ und 3₂ lässt sich somit die Lage der Struktur 3 bestimmen. Die Lage der Struktur 3 in X-Koordinatenrichtung ergibt sich aus dem Mittelwert 35, der sich berechnet aus der Lage der ersten Kante 3₁ in X-Koordinatenrichtung und der Lage der zweiten Kante 3₂ in X-Koordinatenrichtung.

[0039] Fig. 4 zeigt eine schematische Darstellung der Bestimmung mindestens einer Position einer Struktur 3 auf der Maske 2. Die Maske 2, welche die Strukturen 3 trägt, wird mittels Auflicht 40 beleuchtet. Die beiden Strukturen 3 sind in der in Fig. 4 gezeigten Darstellung durch einen Graben 32 voneinander getrennt. Dabei ist der Graben 32 wesentlich größer als die Breite der einzelnen Strukturen 3. Das von der Oberfläche der Maske ausgehende Licht wird mit dem Messobjektiv 9 der Koordinaten-Messmaschine gesammelt und auf den Detektor 11 der Kamera 10 abgebildet. Da die Maske im Wesentlichen aus Quarz besteht, gelangt nur Licht an diejenigen Stellen zu der Kamera 10, an welchen sich die Strukturen 3 befinden. Die Strukturen 3 bestehen aus Chrom und reflektieren somit das einfallende Auflicht. Die Kamera registriert somit an den Stellen, an denen sich eine Struktur 3 befindet, eine Intensitätsverteilung 42. Da

die beiden Strukturen 3 weit voneinander beabstandet sind, überschneiden sich die einzelnen Peaks der Intensitätsverteilung 42 nicht. Die Bestimmung der Lage der Kanten der einzelnen Strukturen wird hier nur an einem Peak einer Struktur 3 erläutert. Zur Bestimmung der ersten Kante 3₁ der Struktur 3 und der zweiten Kante 3₂ der Struktur 3 wählt man ein bestimmtes Intensitätsniveau. In Fig. 4 ist dargestellt, dass für die Bestimmung der Breite der Struktur, derjenige Wert der Intensitätsverteilung 42 verwendet wird, bei dem die Intensität der gemessenen Intensitätsverteilung 42 um 50% abgefallen ist. Von hier aus projiziert man auf die X-Koordinatenachse und erhält somit einen Wert für die X-Position der ersten Kante 3₁ und die X-Position der zweiten Kante 3₂.

[0040] Fig. 5 zeigt eine Darstellung, bei der die beiden Strukturen 3 auf der Oberfläche der Maske 2 durch einen Graben bzw. Abstand 32 getrennt sind, der im Wesentlichen der Breite der Strukturen 3 entspricht. Die gemessene Intensitätsverteilung 42 resultiert ebenfalls wieder in zwei Peaks, wobei sich die beiden Peaks jedoch an einer Seite überschneiden. Somit ist hier nur noch die eindeutige Ermittlung der ersten Kante 3₁ der ersten Struktur 3 möglich oder die Ermittlung der zweiten Kante 3₂ der zweiten Struktur 3 möglich. Eine eindeutige, bzw. reproduzierbare Ermittlung der zweiten Kante der ersten Struktur 3 ist somit nicht mehr möglich, wenn die beiden Strukturen auf der Maske 2 zu eng benachbart sind.

[0041] Fig. 6 zeigt eine vergrößerte Darstellung des in Fig. 5 dargestellten und gemessenen Intensitätsprofils 42 (durchgezogene Linie), wobei die erste und die zweite Struktur 3 auf der Oberfläche der Maske 2 eng benachbart sind. Die aus der Beleuchtung resultierenden Intensitätsverteilungen überschneiden sich. Somit ist es schwierig, eine Auswertung für die Lage X₂ der zweiten Kante 3₂ der ersten Struktur 3 in X-Koordinatenrichtung zu bestimmen.

[0042] Fig. 7 zeigt eine Vielzahl von Intensitätsprofilen (wobei in Fig. 7 der Übersicht halber nur drei verschiedene Intensitätsprofile dargestellt sind), die durch Variation der Solldaten des jeweiligen strukturierten Bereichs, bzw. der jeweiligen Struktur 3 gewonnen worden sind. Aus der Vielzahl dieser Intensitätsprofile lässt sich somit auch eine Verteilung der zu erwartenden Istdaten ermitteln. Aus dieser Verteilung erhält man einen Mittelwert 35_M für die Position der Struktur 3 auf der Maske 2.

[0043] Wie aus Fig. 6 zu erkennen ist, lässt sich mit der Festlegung eines bestimmten Niveaus der Intensitätsverteilung 42, bei dem die Bestimmung der Position einer Kante einer Struktur 3 durchgeführt wird, auch die Position X₁ der ersten Kante 3₁ der ersten Struktur 3 in X-Koordinatenrichtung bestimmen. Aus dem zu erwartenden Verlauf der Intensitätsverteilung

43 (in Fig. 6 gestrichelt dargestellt), welcher sich ergeben würde, wenn die zweite Struktur **3** aus Fig. 5 nicht vorhanden wäre, könnte man die Lage X_W der zweiten Kante 3_2 der ersten Struktur **3** in X-Koordinatenrichtung ermitteln. Dies lässt sich beim vorliegenden Messergebnis nicht anwenden.

[0044] In Fig. 6 ist zusätzlich ein erstes Intensitätsprofil **44** und ein zweites Intensitätsprofil **45** eingezeichnet. Diese beiden Intensitätsprofile **44** und **45** ergeben sich aus der Berechnung der Intensitätsverteilungen für ein erstes Modell **51** der Strukturen **3** auf der Maske **2** und ein zweites Modell **52** der Strukturen **3** auf der Maske **2**. Die berechnete Intensitätsverteilung **44** für das erste Modell **51** stimmt nicht gut mit der gemessenen Intensitätsverteilung **42** überein. Dies bedeutet, dass das Modell **51** der Struktur **3**, welches für die Berechnung herangezogen worden ist, nicht die tatsächlich auf der Maske vorhandene Struktur **3** wiedergibt. Bei der zweiten berechneten Intensitätsverteilung **45** wurde die Breite der ersten Struktur **3** dahingehend verändert, dass man die Lage **55** der zweiten Kante 3_2 der ersten Struktur **3** verändert hat. Die berechnete Intensitätsverteilung **45** für das zweite Modell **52** stimmt nun gut mit der gemessenen Intensitätsverteilung **42** überein. Dies bedeutet, dass das Modell **52** der Struktur **3**, welches für die Berechnung herangezogen worden ist, die tatsächlich auf der Maske vorhandene Struktur **3** wiedergibt. Wie bereits mehrfach erwähnt, lässt sich aus der Kenntnis der Lage der Kanten in X-Koordinatenrichtung X_1 und X_2 die Position 35_W der Struktur **3** in X-Koordinatenrichtung bestimmen. Die so ermittelte Position 35_W der Struktur **3** entspricht jedoch nicht der Wirklichkeit, da, wie in Fig. 5 dargestellt, die Ermittlung der Lage der Kanten von der zweiten benachbarten Struktur **3** beeinflusst ist. Die anhand des ersten Modells **51** berechnete Intensitätsverteilung **44** geht von einer falschen Position der zweiten Kante 3_2 der ersten Struktur **3** aus, so dass auch die angenommene Position der ersten Struktur **3** falsch ist. Somit berechnet man eine Vielzahl zu erwartender Intensitätsverteilungen von der Struktur, bzw. dem strukturierten Bereich auf der Maske, in dem man die Soll-daten dieses Bereichs variiert. Die Soll-daten der Strukturen, bzw. des strukturierten Bereichs auf der Oberfläche der Maske **2** kann man den CAD-Daten für die Maske entnehmen. Aus den durch Variation der Soll-daten berechneten Intensitätsverteilungen kann man die Verteilung der zu erwartenden Ist-daten ermitteln. Aus der Variation der ermittelten Verteilung ergibt sich somit eine Korrekturmethode, mit der die Lage der zweiten Kante 3_2 in X-Koordinatenrichtung, X_2 , bestimmt werden kann. Aus der anderen Lage X_2 der zweiten Kante 3_2 in X-Koordinatenrichtung ergibt sich somit auch eine andere Lage 35_M für die Position der Struktur auf der Maske. Die Abweichung dX der beiden Lagen X_W und X_2 der zweiten Kante 3_2 der Struktur **3** ist somit ein Korrekturmaß.

[0045] Fig. 8 zeigt die Berechnung der Position einer Struktur **3** auf der Maske **2**. Die Lage der Kanten der Struktur **3** in X-Koordinatenrichtung ist durch die X-Werte X_1 und X_2 gegeben. Daraus errechnet sich anhand des Mittelwerts die Position X_{Pos} der Struktur **3** in X-Koordinatenrichtung.

[0046] Fig. 9 zeigt die Situation, bei der ein systematischer Fehler auftritt. Die Struktur **3** wird dabei um den Wert a in X-Koordinatenrichtung verschoben gemessen. Für die Lage der Kanten erhält man in X-Koordinatenrichtung jeweils die Werte X'_1 und X'_2 . Folglich ergibt sich somit eine andere Lage X_{Pos} der Struktur **3** in Fig. 9. Daraus resultiert logischerweise ein Fehler. Wie bereits eben erwähnt, kann man den Fehler anhand der Verteilung der ermittelten Intensitätsverteilungen aufgrund der Variation der Soll-daten der Strukturen ermitteln. Wird nun eine entsprechende Messung hinsichtlich der Position einer Struktur **3** durchgeführt, so kann man den vorher ermittelten Fehler von diesem Wert subtrahieren und man erhält eine korrigierte Position der Struktur **3** auf der Maske.

[0047] Fig. 10 zeigt in schematischer Weise die Soll-daten von zwei Strukturen auf der Oberfläche einer Maske. Die erste Struktur besitzt für die erste Kante den Positionswert **5** und für die zweite Kante den Positionswert **10**. Die zweite Struktur besitzt für die erste Kante den Positionswert **15** und für die zweite Kante den Positionswert **20**. Es reicht nun aus, sich allein auf die erste Struktur zu beschränken. Aus den Positionswerten für die Lage der ersten bzw. zweiten Kante ergibt sich, aus Mittelwertbildung, die Lage der Struktur. Hier besitzt die Struktur für die Lage den Positionswert **7,5**. Dies ergibt sich aus den Soll-daten hinsichtlich der Position der Kanten, bzw. Lage der Strukturen auf der Maske.

[0048] Durch Variation der Soll-daten der Struktur ergibt sich, wie in Fig. 11 dargestellt, somit eine Verteilung **50** der zu erwartenden Ist-daten. Die Verteilung **50** besitzt einen Mittelwert **51**. Dieser Mittelwert **51** ist somit ein Maß für die Position der Struktur auf der Maske. Diese Position ergibt sich in der hier dargestellten Ausführungsform zu einem Wert **8,0** in X-Koordinatenrichtung. Gegenüber den Soll-daten ergibt sich somit ein Fehler dx von **0,5** Positionswerten. Bei jeder Messung kann man nun die gemessenen Werte mit dem so ermittelten Korrekturwert verarbeiten, um somit eine bessere Reproduzierbarkeit der Koordinaten-Messmaschine zu erhalten.

Patentansprüche

1. Verfahren zur Bestimmung eines Korrekturwerts für die Vermessung von Positionen von Strukturen auf einer Maske, gekennzeichnet durch die folgenden Schritte:
 - Berechnen einer Vielzahl zu erwartender Intensitätsverteilungen von einem strukturierten Bereich der

Maske durch Variation der Solldaten dieses strukturierten Bereichs;

- Ermitteln einer Verteilung der zu erwartenden Istdaten aus den jeweils durch Variation der Solldaten berechneten Intensitätsverteilungen; und

- Auswahl einer Korrekturmethode für gemessene Daten des strukturierten Bereichs in Abhängigkeit von dem Maß der Variation der ermittelten Verteilung, derart, dass

a. bei Unterschreiten eines vordefinierten Werts der Variation ein konstanter Korrekturwert für die Bestimmung der gemessenen Istdaten des strukturierten Bereichs ermittelt wird, und

b. bei Überschreiten eines vordefinierten Werts der Variation so lange variierte Solldaten des strukturierten Bereichs erzeugt und die dazugehörigen zu erwartenden Intensitätsverteilungen berechnet werden, bis eine Übereinstimmung der gemessenen Intensitätsverteilung und der berechneten Intensitätsverteilung innerhalb einer definierten Toleranz erreicht ist, und dass eine Abweichung der Solldaten von den variierten Solldaten ausgegeben wird.

2. Verfahren nach Anspruch 1, wobei bei Unterschreiten eines vordefinierten Werts der Variation der konstante Korrekturwert aus dem Mittelwert der ermittelten Verteilung mittels einer geeigneten mathematischen Funktion ermittelt wird.

3. Verfahren nach Anspruch 2, wobei der konstante Korrekturwert der Mittelwert der ermittelten Verteilung ist.

4. Verfahren nach Anspruch 2 oder 3, wobei die gemessenen Daten mit dem konstanten Korrekturwert verrechnet werden.

5. Verfahren nach Anspruch 1, wobei bei Überschreiten eines vordefinierten Werts der Variation eine Position der Struktur oder eine Abmessung der Struktur aus den variierten Solldaten berechnet wird.

6. Verfahren nach Anspruch 1, wobei bei Überschreiten eines vordefinierten Werts der Variation der ermittelten Verteilung eine Vielzahl variiertes Solldaten des strukturierten Bereichs erzeugt werden, die jeweils zu erwartenden Intensitätsverteilungen in einer Datenbank abgelegt werden und eine gemessene Intensitätsverteilung mit der Datenbank verglichen wird, wobei innerhalb der Datenbank nach der Intensitätsverteilung gesucht wird, die die größte Übereinstimmung mit der gemessenen Intensitätsverteilung aufweist und zwischen zwei zu erwartenden Intensitätsverteilungen interpoliert wird.

7. Verfahren nach Anspruch 6, wobei eine Position der Struktur oder eine Abmessung der Struktur aus der Intensitätsverteilung, die die größte Übereinstimmung mit der gemessenen Intensitätsverteilung aufweist, bestimmt wird.

8. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 7, wobei die Variation durch die Standardabweichung definiert ist.

9. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 8, wobei der strukturierte Bereich auf einer Maske (2) einem Messfenster eines Messobjektivs (9) entspricht, wobei im Messfenster mindestens eine zu vermessende Struktur (3) enthalten ist.

10. Verfahren nach Anspruch 1, wobei die zu erwartenden Intensitätsverteilungen mit einem Aerial Imager berechnet werden.

11. Verfahren nach Anspruch 10, wobei bei der Berechnung der zu erwartenden Intensitätsverteilungen mit dem Aerial Imager verwendete Beleuchtungsparameter berücksichtigt werden.

12. Verfahren nach Anspruch 10, wobei bei der Berechnung der zu erwartenden Intensitätsverteilungen mit dem Aerial Imager die Parameter des Abbildungsstrahlenganges berücksichtigt werden.

13. Verfahren nach Anspruch 1, wobei die optische Beugung an den Strukturen auf der Maske mittels einer auf Finiten Elementen basierenden Methode oder der Rigorous Coupled Wave Analysis (RCWA) berechnet wird.

14. Verfahren nach Anspruch 13, wobei die Daten der Strukturen auf der Maske aus den CAD-Daten gewonnen werden.

15. Verfahren nach Anspruch 13, wobei zumindest ein Teil der Daten der Strukturen auf der Maske durch zusätzliche Messungen gewonnen wird.

Es folgen 7 Seiten Zeichnungen

Anhängende Zeichnungen

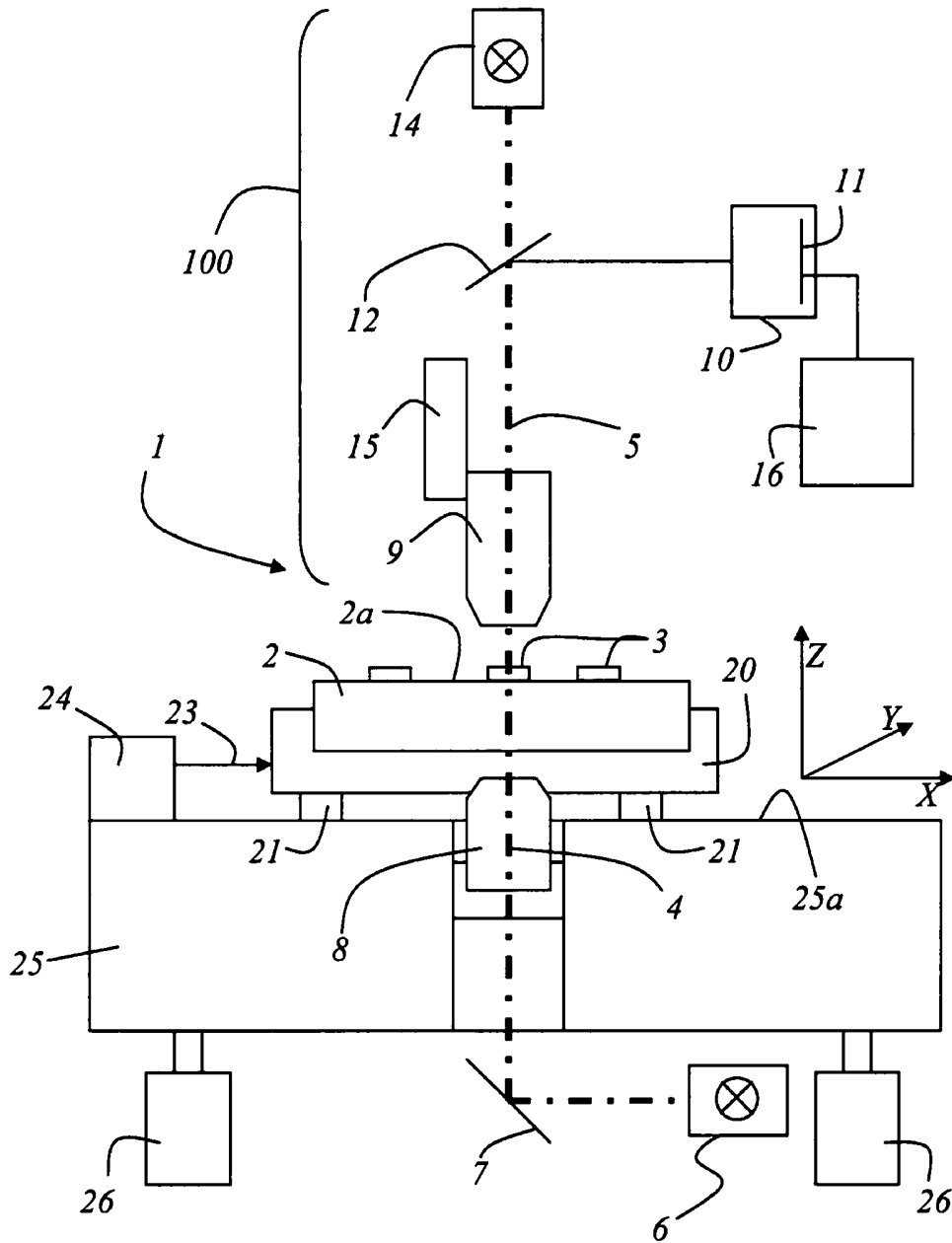


Fig. 1 Stand der Technik

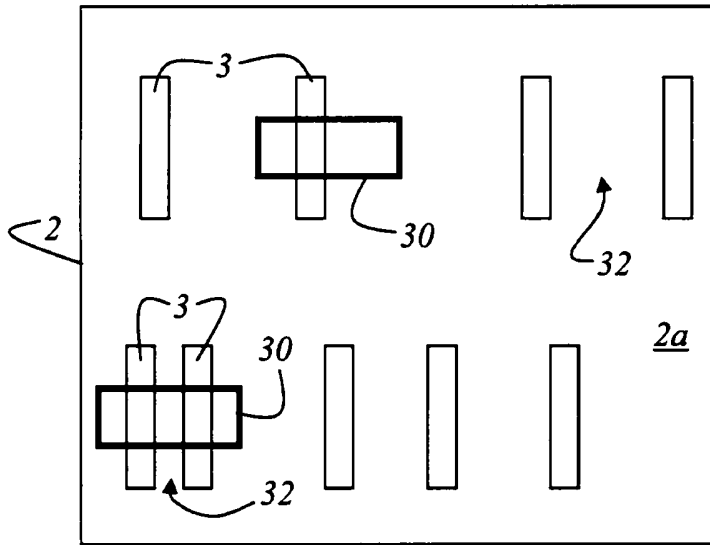


Fig. 2

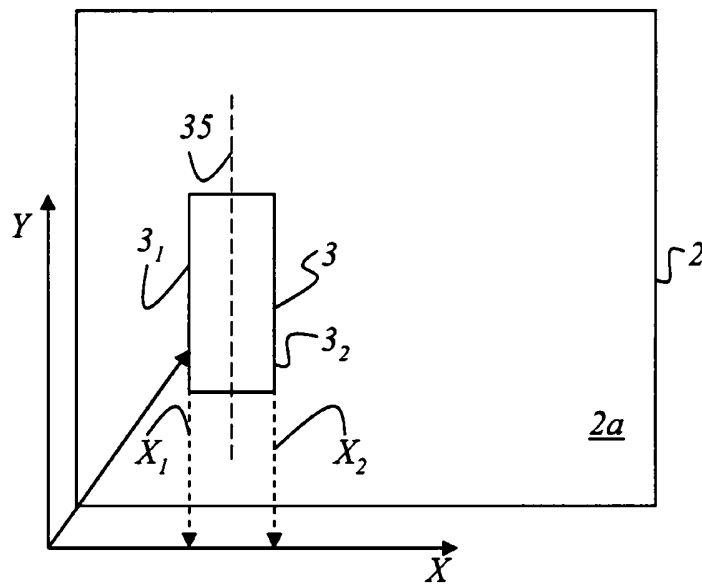


Fig. 3

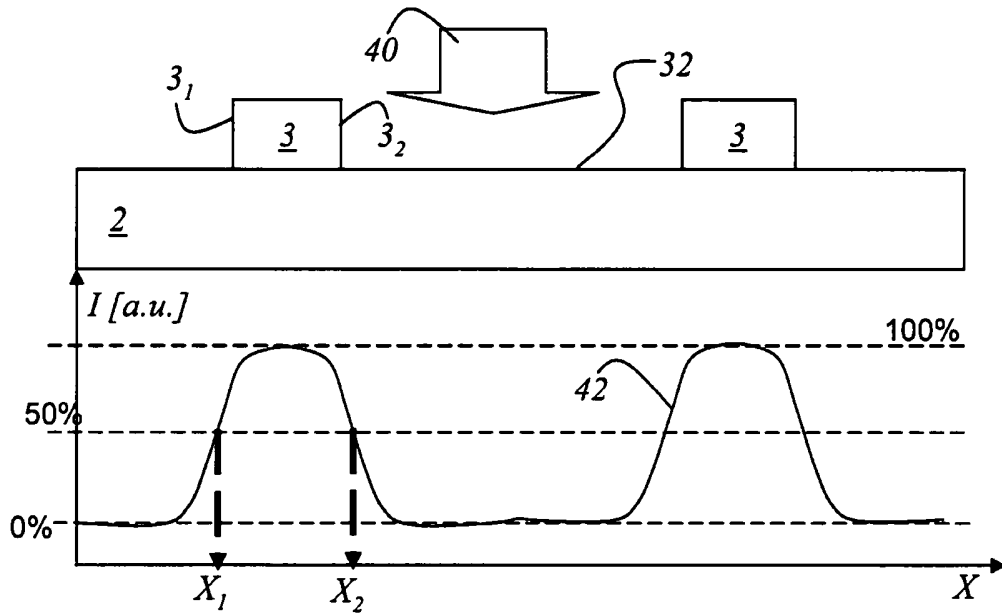


Fig. 4

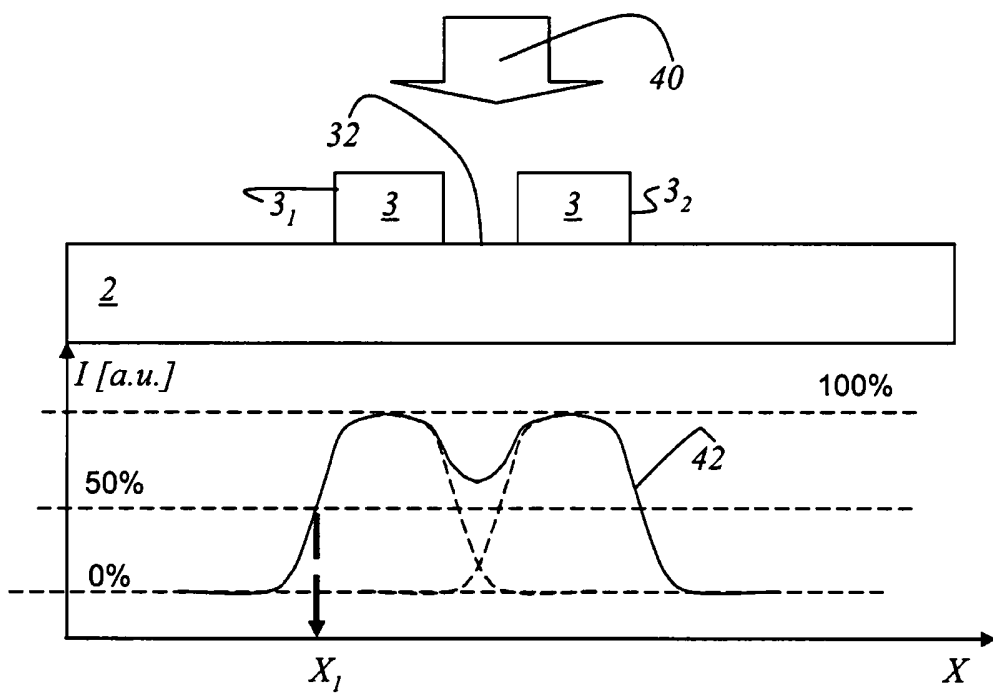


Fig. 5

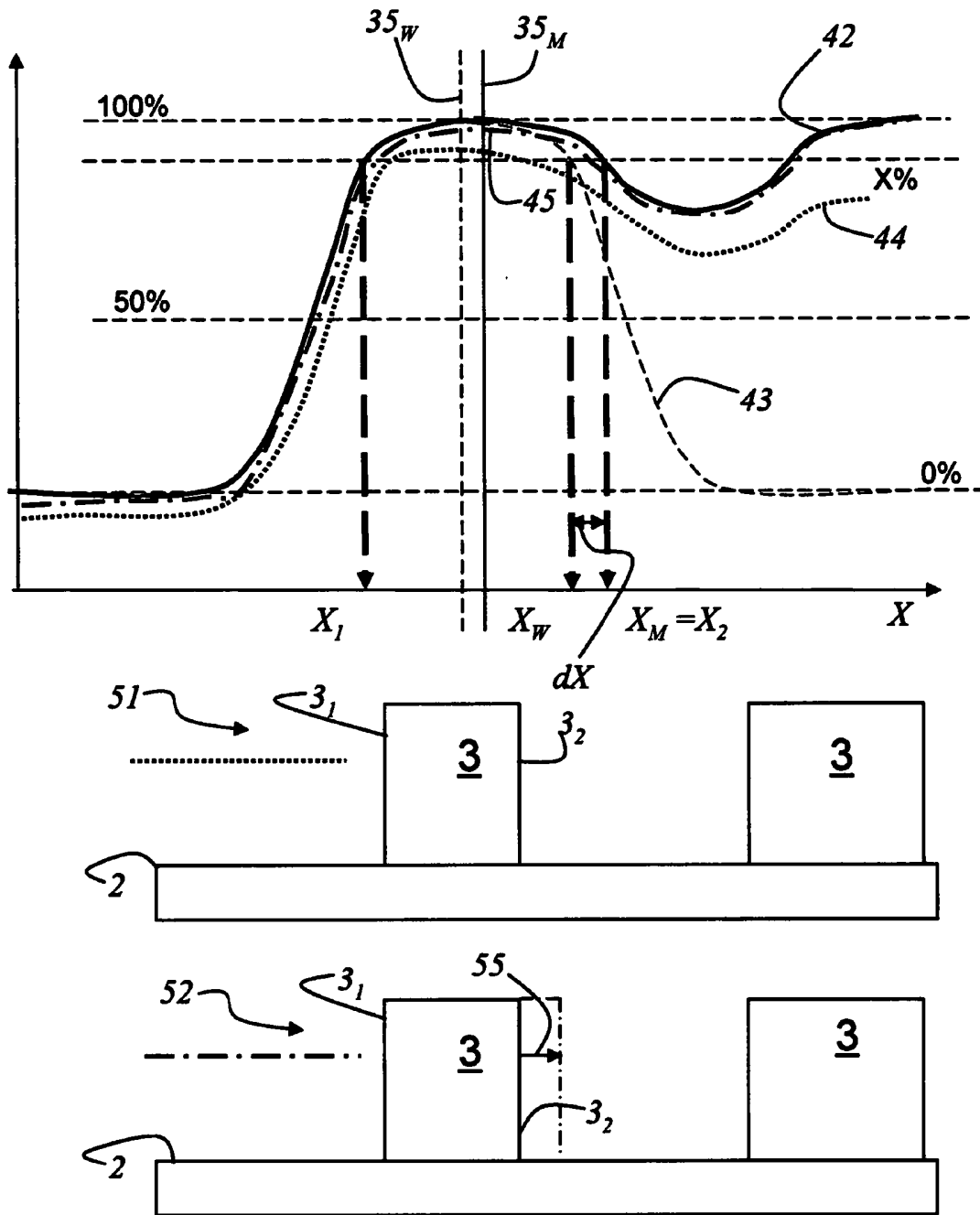


Fig. 6

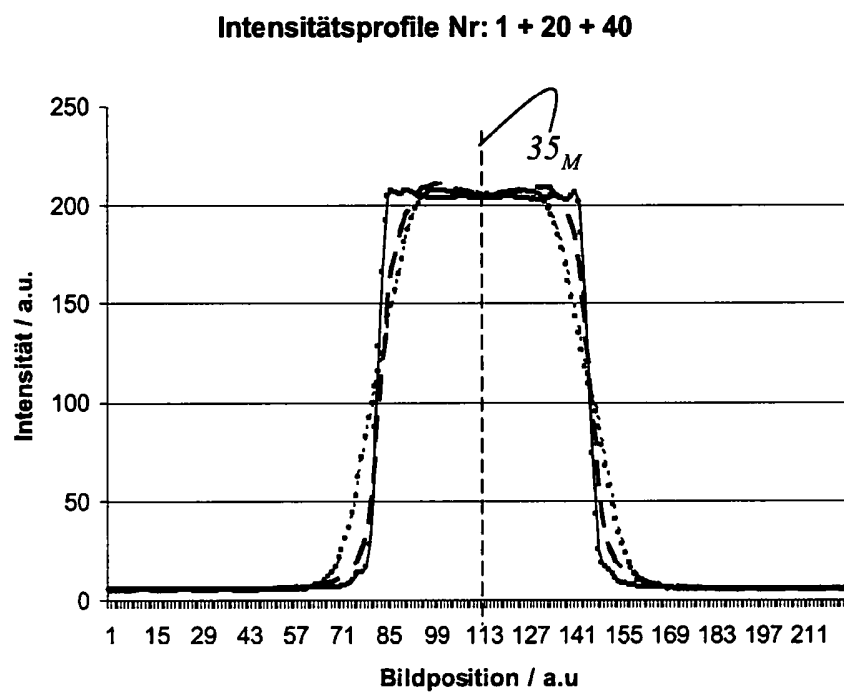


Fig. 7

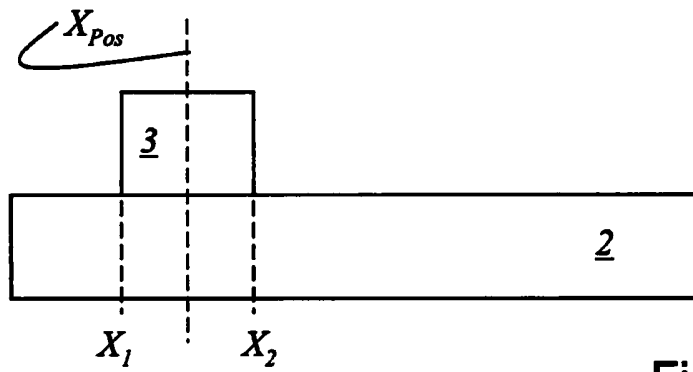


Fig. 8

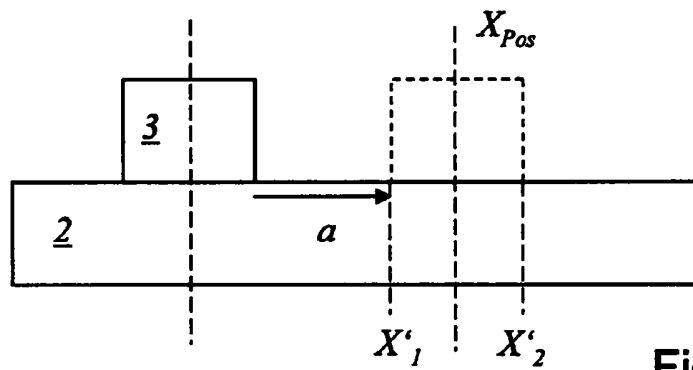


Fig. 9

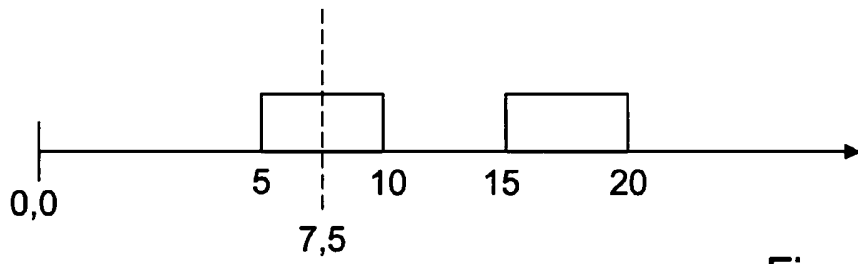


Fig. 10

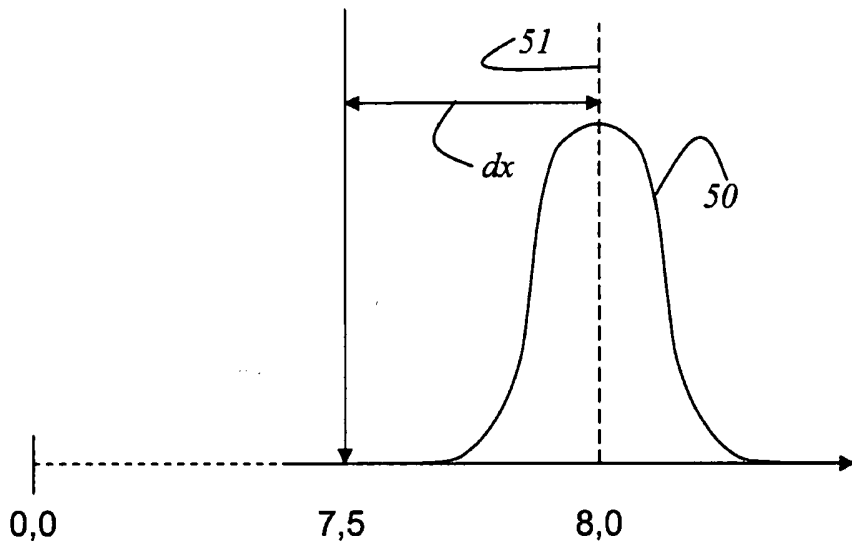


Fig. 11