



(12) **Offenlegungsschrift**

(21) Aktenzeichen: **10 2015 221 772.8**

(22) Anmeldetag: **05.11.2015**

(43) Offenlegungstag: **11.05.2017**

(51) Int Cl.: **G03F 9/00 (2006.01)**

(71) Anmelder:

**Carl Zeiss SMT GmbH, 73447 Oberkochen, DE**

(72) Erfinder:

**Stiepan, Hans-Michael, 73433 Aalen, DE; Zott,  
Andy, 89547 Gerstetten, DE; Mantz, Ulrich, 89601  
Schelklingen, DE**

(56) Ermittelter Stand der Technik:

**US 2004 / 0 017 574 A1**

**US 2008 / 0 106 728 A1**

**US 2013 / 0 116 978 A1**

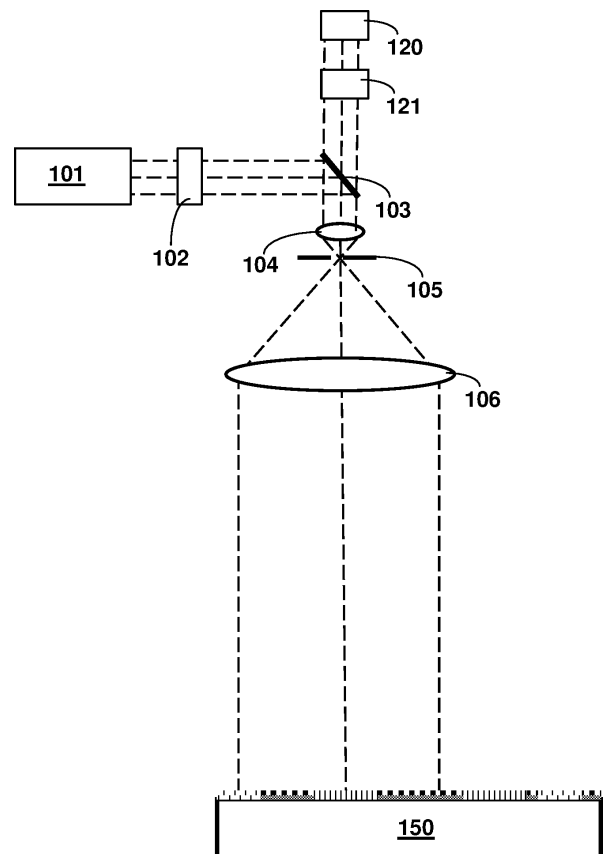
**US 2015 / 0 176 985 A1**

Prüfungsantrag gemäß § 44 PatG ist gestellt.

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

(54) Bezeichnung: **Verfahren und Vorrichtung zur Charakterisierung eines durch wenigstens einen Lithographieschritt strukturierten Wafers**

(57) Zusammenfassung: Die Erfindung betrifft ein Verfahren und eine Vorrichtung zur Charakterisierung eines durch wenigstens einen Lithographieschritt strukturierten Wafers, wobei eine Mehrzahl von für den strukturierten Wafer charakteristischen Parametern auf Basis von Messungen der Intensität elektromagnetischer Strahlung nach deren Beugung an dem strukturierten Wafer ermittelt wird, wobei diese Intensitätsmessungen für wenigstens eine Nutzstruktur und wenigstens eine Hilfsstruktur durchgeführt werden, wobei eine Ermittlung der Parameter basierend auf bei den Intensitätsmessungen für jeweils unterschiedliche Kombinationen aus Wellenlänge, Polarisierung und/oder Beugungsordnung gemessenen Intensitätswerten sowie entsprechend berechneten Intensitätswerten unter Anwendung einer mathematischen Optimierungsmethode erfolgt. Die Ermittlung der Parameter weist folgende Schritte auf: Ermitteln von Parametern eines ersten Parametersatzes der Parameter auf Basis der für die wenigstens eine Hilfsstruktur erhaltenen Intensitätswerte, und Ermitteln von Parametern eines zweiten Parametersatzes der Parameter unter Berücksichtigung der ermittelten Parameter des ersten Parametersatzes.



**Beschreibung**

## HINTERGRUND DER ERFINDUNG

## Gebiet der Erfindung

**[0001]** Die Erfindung betrifft ein Verfahren und eine Vorrichtung zur Charakterisierung eines durch wenigstens einen Lithographieschritt strukturierten Wafers.

## Stand der Technik

**[0002]** Mikrolithographie wird zur Herstellung mikrostrukturierter Bauelemente, wie beispielsweise integrierter Schaltkreise oder LCD's, angewendet. Der Mikrolithographieprozess wird in einer sogenannten Projektionsbelichtungsanlage durchgeführt, welche eine Beleuchtungseinrichtung und ein Projektionsobjektiv aufweist. Das Bild einer mittels der Beleuchtungseinrichtung beleuchteten Maske (= Retikel) wird hierbei mittels des Projektionsobjektivs auf ein mit einer lichtempfindlichen Schicht (Photoresist) beschichtetes und in der Bildebene des Projektionsobjektivs angeordnetes Substrat (z.B. ein Siliziumwafer) projiziert, um die Maskenstruktur auf die lichtempfindliche Beschichtung des Substrats zu übertragen.

**[0003]** Hierbei besteht in der Praxis der Bedarf, für den strukturierten Wafer charakteristische Parameter zu kontrollieren, z.B. den CD-Wert oder die Schichtdicke. Insbesondere bei sogenannten „Multi-Patterning“-Verfahren zur Unterschreitung der Auflösungsgrenze des optischen Systems mit in mehreren Lithographieschritten auf dem Wafer erzeugten Strukturen muss eine große Zahl von Prozessparametern kontrolliert werden. Von besonderer Bedeutung ist hier oft das sogenannte Overlay.

**[0004]** Bei der Bestimmung solcher Parameter ist es u.a. bekannt, Hilfsstrukturen in Form geeigneter Markerbereiche insbesondere in Randbereichen der jeweils hergestellten Waferelemente zu erzeugen, um anhand dieser Hilfsstrukturen eine beugungsbasierte Bestimmung der jeweiligen relevanten Parameter in einem scatterometrischen Aufbau durchzuführen.

**[0005]** Ein hierbei in der Praxis auftretendes Problem ist, dass die anhand solcher Hilfsstrukturen ermittelten Parameterwerte nicht notwendigerweise das tatsächliche Verhalten der auf dem Wafer enthaltenen Nutzstrukturen repräsentieren, was z.B. auf einer unzureichenden Korrelation zwischen Nutz- und Hilfsstruktur und/oder einem großen Abstand zwischen diesen zurückzuführen sein kann. Ein weiteres in der Praxis auftretendes Problem resultiert mitunter aus der vergleichsweise hohen Anzahl benötigter Hilfsstrukturen, deren sukzessive Auswertung mit ei-

ner signifikanten Beeinträchtigung des Durchsatzes des Lithographieverfahrens einherginge.

**[0006]** Des Weiteren stellt die Ermittlung einer Mehrzahl relevanter Parameter innerhalb einer gegebenenfalls komplex aufgebauten Nutzstruktur auf einem Wafer auch insoweit eine anspruchsvolle Herausforderung dar, als die betreffenden Parameter unter Umständen nur schwer simultan in einem einzigen Messaufbau bestimmt werden können. Dies ist dann der Fall, wenn diese Parameter in dem Sinne linear abhängig sind, dass gewisse Kombinationen dieser Werte im Kern (d.h. Eigenvektoren zum Eigenwert 0) der das Problem beschreibenden Kovarianzmatrix liegen. Oft trifft dieser Fall bei einer in einer beugungsbasierten Bestimmung erfassten Abweichung zwischen gemessenen und simulierten Werten auf, so dass nicht eindeutig entschieden werden kann, welche Parametervariation für diese Abweichung ursächlich ist.

**[0007]** Zum Stand der Technik wird lediglich beispielhaft auf US 2006/0274325 A1, US 8,339,595 B2, US 8,670,118 B2 und US 2012/0224176 A1 verwiesen.

## ZUSAMMENFASSUNG DER ERFINDUNG

**[0008]** Vor dem obigen Hintergrund ist es eine Aufgabe der vorliegenden Erfindung, ein Verfahren und eine Vorrichtung zur Charakterisierung eines durch wenigstens einen Lithographieschritt strukturierten Wafers bereitzustellen, welche die möglichst rasche und zuverlässige Ermittlung von einer oder mehreren für den strukturierten Wafer charakteristischen Kenngrößen unter möglichst geringer Beeinträchtigung des Durchsatzes der Projektionsbelichtungsanlage ermöglichen.

**[0009]** Diese Aufgabe wird durch das Verfahren gemäß den Merkmalen des unabhängigen Patentanspruchs 1 bzw. die Vorrichtung gemäß den Merkmalen des nebengeordneten Patentanspruchs 11 gelöst.

**[0010]** Bei einem erfindungsgemäßen Verfahren zur Charakterisierung eines durch wenigstens einen Lithographieschritt strukturierten Wafers wird eine Mehrzahl von für den strukturierten Wafer charakteristischen Parametern auf Basis von Messungen der Intensität elektromagnetischer Strahlung nach deren Beugung an dem strukturierten Wafer ermittelt, wobei diese Intensitätsmessungen für wenigstens eine Nutzstruktur und wenigstens eine Hilfsstruktur durchgeführt werden, und wobei eine Ermittlung der Parameter basierend auf bei den Intensitätsmessungen für jeweils unterschiedliche Kombinationen aus Wellenlänge, Polarisation und/oder Beugungsordnung gemessenen Intensitätswerten sowie entsprechend

berechneten Intensitätswerten unter Anwendung einer mathematischen Optimierungsmethode erfolgt.

**[0011]** Die Ermittlung der Parameter weist folgende Schritte auf:

- Ermitteln von Parametern eines ersten Parametersatzes der Parameter auf Basis der für die wenigstens eine Hilfsstruktur erhaltenen Intensitätswerte; und
- Ermitteln von Parametern eines zweiten Parametersatzes der Parameter unter Berücksichtigung der ermittelten Parameter des ersten Parametersatzes.

**[0012]** Der Erfindung liegt insbesondere das Konzept zugrunde, bei den jeweils zu ermittelnden, für einen strukturierten Wafer charakteristischen Parametern zwischen zwei unterschiedlichen Parametersätzen hinsichtlich der Auswertung der in einem scatterometrischen Aufbau durchgeführten Intensitätsmessungen insoweit zu unterscheiden, als in einer zweistufigen Auswertung zunächst nur die an einer oder mehreren Hilfsstrukturen durchgeführten Intensitätsmessungen ausgewertet und zur Bestimmung eines ersten Parametersatzes herangezogen werden. Die in solcher Weise anhand der wenigstens einen Hilfsstruktur ausgewerteten Parameter des ersten Parametersatzes werden dann anschließend für die verbleibenden Parameter des zweiten Parametersatzes (ggf. unter Berücksichtigung geeigneter Unsicherheiten bzw. eines jeweils vorgegebenen Variationsintervalls) entsprechend vorgegeben, so dass im Ergebnis auch bei einer vergleichsweise komplexen Waferstrukturierung sämtliche Parameter – sowohl die des ersten wie auch die des zweiten Parametersatzes – ermittelt werden können.

**[0013]** Dadurch, dass erfindungsgemäß in der vorstehend beschriebenen zweistufigen Auswertung zunächst nur bestimmte Parameter anhand einer oder mehrerer geeigneter Hilfsstrukturen berechnet werden, ermöglicht es die Erfindung, zwischen anhand der Messung von Hilfsstrukturen gut bestimmbar Parametern und anderen – etwa infolge einer bestehenden Abhängigkeit von diesen Parametern – vergleichsweise schwieriger zu bestimmenden Parametern zu unterscheiden und die aus der ersten Stufe der o.g. Auswertung gewonnenen Informationen bei der nachfolgenden Ermittlung der jeweiligen Parameter des zweiten Parametersatzes (bei denen es sich typischerweise um die vergleichsweise schwieriger zu bestimmenden Parameter handelt) zu nutzen. Beispielsweise können dem ersten Parametersatz solche Parameter zugeordnet werden, welche über den Wafer hinweg vergleichsweise wenig variieren und/oder deren Eigenschaften sich bei Bestimmung an den Hilfsstrukturen von denjenigen bei Bestimmung an den Nutzstrukturen nur vergleichsweise wenig unterscheiden.

**[0014]** Ausgehend von diesem Konzept beinhaltet die Erfindung das weitere Prinzip, die betreffenden Hilfsstrukturen auf dem Wafer von vorneherein (d.h. noch vor Durchführung der o.g. Intensitätsmessungen) gezielt in solcher Weise auszugestalten, dass diese Hilfsstrukturen gerade für die Bestimmung der betreffenden Parameter des ersten Parametersatzes geeignet bzw. optimiert sind.

**[0015]** Diese gezielte Ausgestaltung der Hilfsstrukturen kann jeweils auf Basis einer Sensitivitätsanalyse erfolgen, bei welcher die Sensitivität unterschiedlicher Hilfsstrukturen für eine beugungsbasierte Messung jeweils eines der Parameter des ersten Parametersatzes bewertet wird. Hierzu wird auf Thomas A. Germer et al.: „Developing an uncertainty analysis for optical scatterometry Metrology, Inspection, and Process Control for Microlithography XXIII, J.A. Allgair, Ed., Proc. SPIE 7272, (2009) verwiesen.

**[0016]** Gemäß einer Ausführungsform werden die Intensitätsmessungen für die wenigstens eine Nutzstruktur und die wenigstens eine Hilfsstruktur für jeweils eine Kombination aus Wellenlänge, Polarisation und/oder Beugungsordnung simultan durchgeführt. Mit anderen Worten erfolgt die erfindungsgemäße beugungsbasierte Messung für einen bestimmten Messzeitpunkt bzw. Messschritt nicht nur für einen Bereich auf dem Wafer, sondern es werden simultan mehrere Bereiche bzw. Strukturen auf dem Wafer vermessen, so dass auch eine zur Charakterisierung komplexer Nutzstrukturen erforderliche Vermessung einer Vielzahl von Nutz- und/oder Hilfsstrukturen ohne signifikante Beeinträchtigung des Durchsatzes der Projektionsbelichtungsanlage ermöglicht wird.

**[0017]** Gemäß einer Ausführungsform werden die Intensitätsmessungen für eine Mehrzahl von Hilfsstrukturen durchgeführt, wobei diese Durchführung für jeweils eine Kombination aus Wellenlänge, Polarisation und/oder Beugungsordnung simultan erfolgt. Hierbei kann das Ermitteln von Parametern des ersten Parametersatzes auf Basis der für die Hilfsstrukturen erhaltenen Intensitätswerte jeweils einen Vergleich dieser Intensitätswerte mit in wenigstens einer Datenbank gespeicherten Intensitätswerten umfassen, wobei in dieser Datenbank mehreren Hilfsstrukturen jeweils ein zugehöriges Intensitätsspektrum zugeordnet ist. Auf Basis dieses Vergleichs mit in der wenigstens einen Datenbank gespeicherten Intensitätswerten kann eine Lokalisierung von zur Bestimmung eines Parameters jeweils geeigneten Strukturen auf dem Wafer erfolgen.

**[0018]** Gemäß diesem Aspekt beinhaltet die Erfindung das weitere Konzept, bereits anhand der durchgeführten Intensitätsmessungen zu entscheiden, wo auf dem Wafer die jeweils zur Auswertung bestimmter Parameter relevanten Strukturen ange-

ordnet sind, so dass eine entsprechende vorherige Eingabe dieser Information entbehrlich ist. Vielmehr kann erfindungsgemäß direkt eine scatterometrische Aufnahme eines größeren Feldes auf dem Wafer erfolgen, da die betreffende Information über die Position der auszumessenden, relevanten Strukturen aus den gemessenen Daten und deren Vergleich mit einer vorab bereitgestellten Datenbank selbst geliefert wird.

**[0019]** Mit anderen Worten kann erfindungsgemäß zunächst eine Datenbank mit einzelnen typischen Strukturen und jeweils zugeordneten Intensitätsspektren bereitgestellt werden, welche für jede der betreffenden Strukturen ein charakteristisches Intensitätsspektrum enthält. Ein im Rahmen der eigentlichen beugungsbasierten Intensitätsmessung dann erhaltenes Messergebnis, welches mit einem der betreffenden, in der Datenbank enthaltenen Referenzspektren hinreichend (d.h. innerhalb vorgegebener Fehlergrenzen) gut übereinstimmt, erlaubt sodann den Rückschluss, dass die dem Referenzspektrum in der Datenbank zugeordnete Struktur in dem betreffenden Waferbereich vorliegt und für die jeweils geeignete Parameterbestimmung herangezogen werden kann.

**[0020]** Das vorstehend beschriebene Konzept der datenbankbasierten Lokalisierung von Hilfsstrukturen auf dem Wafer ist auch unabhängig von dem zuvor beschriebenen Ansatz einer zweistufigen Auswertung unter Unterscheidung in Parameter des ersten und des zweiten Parametersatzes vorteilhaft.

**[0021]** Die Erfindung betrifft daher gemäß einem weiteren Aspekt auch ein Verfahren zur Charakterisierung eines durch wenigstens einen Lithographieschritt strukturierten Wafers,

- wobei wenigstens ein für den strukturierten Wafer charakteristischer Parameter auf Basis einer Mehrzahl von Messungen der Intensität elektromagnetischer Strahlung nach deren Beugung an dem strukturierten Wafer ermittelt wird;
- wobei eine Ermittlung des wenigstens einen Parameters basierend auf bei diesen Intensitätsmessungen für jeweils unterschiedliche Kombinationen aus Wellenlänge, Polarisation und/oder Beugungsordnung gemessenen Intensitätswerten sowie entsprechend berechneten Intensitätswerten unter Anwendung einer mathematischen Optimierungsmethode erfolgt; und
- wobei das Ermitteln der Parameter vor der Anwendung einer mathematischen Optimierungsmethode einen Vergleich von bei den Intensitätsmessungen erhaltenen Intensitätswerten mit in wenigstens einer Datenbank gespeicherten Intensitätswerten umfasst, wobei in dieser Datenbank mehreren Strukturen jeweils ein zugehöriges Intensitätsspektrum zugeordnet ist.

**[0022]** Gemäß einer Ausführungsform erfolgt auf Basis dieses Vergleichs mit in der wenigstens einen Datenbank gespeicherten Intensitätswerten eine Lokalisierung von zur Bestimmung eines Parameters jeweils geeigneten Strukturen auf dem Wafer.

**[0023]** Gemäß einer Ausführungsform umfassen die für den strukturierten Wafer charakteristischen Parameter wenigstens einen Parameter aus der Gruppe CD-Wert, Ätztiefe und Überdeckungsgenauigkeit (Overlay) von zwei in unterschiedlichen Lithographieschritten erzeugten Strukturen.

**[0024]** Die Erfindung betrifft weiter eine Vorrichtung zur Charakterisierung eines durch wenigstens einen Lithographieschritt strukturierten Wafers, wobei die Vorrichtung dazu konfiguriert ist, ein Verfahren mit den vorstehend beschriebenen Merkmalen durchzuführen. Zu Vorteilen sowie vorteilhaften Ausgestaltungen der Vorrichtung wird auf die vorstehenden Ausführungen im Zusammenhang mit dem erfindungsgemäßen Verfahren Bezug genommen.

**[0025]** Weitere Ausgestaltungen der Erfindung sind der Beschreibung sowie den Unteransprüchen zu entnehmen.

**[0026]** Die Erfindung wird nachstehend anhand von in den beigefügten Abbildungen dargestellten Ausführungsbeispielen näher erläutert.

#### KURZE BESCHREIBUNG DER ZEICHNUNGEN

**[0027]** Es zeigen:

**[0028]** Fig. 1 eine schematische Darstellung des möglichen Aufbaus einer Messanordnung bzw. Vorrichtung zur Durchführung des erfindungsgemäßen Verfahrens;

**[0029]** Fig. 2 ein Flussdiagramm zur Erläuterung des möglichen Ablaufs eines erfindungsgemäßen Verfahrens in einer Ausführungsform;

**[0030]** Fig. 3–Fig. 7 schematische Darstellungen zur Erläuterung unterschiedlicher Ausführungsformen der Erfindung; und

**[0031]** Fig. 8 eine schematische Darstellung zur Erläuterung eines der vorliegenden Erfindung zugrundeliegenden Problems.

#### DETAILLIERTE BESCHREIBUNG BEVORZUGTER AUSFÜHRUNGSFORMEN

**[0032]** Fig. 1 zeigt zunächst in schematischer Darstellung den möglichen Aufbau einer Messanordnung bzw. Vorrichtung zur Durchführung des erfindungsgemäßen Verfahrens.

**[0033]** Die Messanordnung von **Fig. 1** ist als Scatterometer ausgestaltet und weist eine Lichtquelle **101** auf, bei der es sich z.B. um eine stimbare Lichtquelle zur Erzeugung eines Wellenlängenspektrums (beispielsweise im Wellenlängenbereich von 300nm bis 800nm) handeln kann. Das Licht der Lichtquelle **101** trifft über einen (ggf. zur Einstellung von linear polarisiertem Licht unterschiedlicher Polarisationsrichtungen austauschbaren) Polarisator **102**, einen Strahlteiler **103**, eine Linse **104**, eine Blende **105** und eine weitere Linse **106** auf einen auf einer Waferebene bzw. Waferstage **140** angeordneten Wafer **150** bzw. die auf diesem Wafer **150** bereits lithographisch erzeugten (und in **Fig. 1** lediglich schematisch angedeuteten) Strukturen.

**[0034]** Nach Beugung an diesen Strukturen gelangt das Licht gemäß **Fig. 1** in der 0. Beugungsordnung zurück über einen Analysator **121** auf einen Detektor (Kamera) **120**. Unter Einsatz unterschiedlicher Spektralfilter bzw. Polarisatoren **102** kann die Intensitätsmessung mit dem Detektor **120** für eine Vielzahl unterschiedlicher Wellenlängen bzw. Polarisationszustände erfolgen. In weiteren Ausführungsformen können zusätzlich oder alternativ zu der 0. Beugungsordnung auch andere Beugungsordnungen berücksichtigt werden.

**[0035]** Auf Basis der mit dem Detektor **120** gemessenen Intensitätswerte lässt sich durch Vergleich (insbesondere Differenzbildung) grundsätzlich modellbasiert in für sich bekannter Weise eine Bestimmung bzw. Kontrolle der relativen Position von in unterschiedlichen Lithographieschritten auf dem Wafer **150** erzeugten Strukturen (z.B. hierzu vorgesehenen Markerstrukturen) vornehmen.

**[0036]** Dabei werden die für unterschiedliche Kombinationen aus Wellenlänge, Polarisierung und Beugungsordnung erhaltenen Messwerte (z.B.  $2 \cdot 2 \cdot 10 = 40$  Messwerte bei Messung für zwei unterschiedliche Polarisationszustände, zwei Beugungsordnungen und zehn unterschiedliche Wellenlängen) jeweils an ein durch Lösung der Maxwell-Gleichungen erzeugtes Modell angefügt, wobei z.B. die Methode der kleinsten quadratischen Abweichung angewendet werden kann. Hierbei kann angedeutet gegebenenfalls auch eine Iteration durchgeführt werden. Dabei erfolgt die vorstehend beschriebene Bestimmung der jeweils einem strukturierten Waferbereich zugeordneten Werte der relevanten Parameter (z.B. Overlay-Wertes, CD-Wert, etc.) zu jedem Messzeitpunkt bzw. in jedem Messschritt nicht nur für einen einzigen strukturierten Waferbereich, sondern simultan für eine Mehrzahl von Waferbereichen, d.h. zur Ermittlung einer Mehrzahl von Werten der jeweiligen Parameter, wobei dieser Werte eines Parameters jeweils einem der Mehrzahl von simultan vermessenden Bereichen zugeordnet ist. Demzufolge werden erfindungsgemäß in jedem Messschritt bzw. zu jedem Mess-

zeitpunkt nicht nur einzelne Spots (zur Bestimmung jeweils nur eines einzigen Overlay-Wertes) vermessen, sondern es wird ein Feld auf dem betreffenden Detektor (Kamera) **110** bzw. **120** abgebildet. Das erfindungsgemäß abgebildete Feld kann hierbei eine Größe von typischerweise mehreren  $\text{mm}^2$  aufweisen. Hierbei kann lediglich beispielhaft der simultan aufgenommene Gesamtbereich auf dem Wafer der Größe eines typischen Waferelements bzw. Chips („Die“) entsprechen und einen Wert von z.B.  $26\text{mm} \cdot 33\text{mm}$  besitzen.

**[0037]** Im Folgenden wird eine mögliche Ausführungsform des erfindungsgemäßen Verfahrens unter Bezugnahme auf **Fig. 2** bis **Fig. 4** beschrieben.

**[0038]** **Fig. 3** zeigt in lediglich schematischer und stark vereinfachter Darstellung einen Wafer **301** in Draufsicht, wobei sich auf dem Wafer sowohl diverse Nutzstrukturen **310** als auch Hilfsstrukturen **321** befinden, wobei die zuletzt genannten Hilfsstrukturen **321** typischerweise außerhalb der Nutzstrukturen bzw. zwischen den jeweils hergestellten Chips befindlichen „scribe lines“ (d.h. Bruchlinien bzw. -bereiche des Wafers) angeordnet sind. In **Fig. 4** sind lediglich schematisch mögliche Parameter zur Charakterisierung eines strukturierten Wafers veranschaulicht, wobei „a“ und „b“ jeweils Schichtdicken zweier in unterschiedlichen Lithographieschritten über einem Substrat **401** aufgebracht Schichten **411** bzw. **412** bezeichnen, und wobei „c“ den Abstand der hierdurch auf dem Substrat **401** erzeugten Schichtbereiche am Übergang zwischen den Schichten **411**, **412** bezeichnet.

**[0039]** Während nun die gleichzeitige Ermittlung sämtlicher Parameter a, b und c in einem derart strukturierten Wafer dadurch erschwert wird, dass diese Parameter a, b und c unter Umständen nicht voneinander unabhängig sind, kann gleichwohl zunächst eine separate Bestimmung sowohl des Parameters a als auch des Parameters c anhand geeigneter Hilfsstrukturen gemäß **Fig. 4b** erfolgen.

**[0040]** Erfindungsgemäß erfolgt daher in einer zweistufigen Auswertung zunächst die Bestimmung der Parameter a' und c', die – wie aufgrund vorheriger Analysen bekannt – direkt mit a bzw. c korreliert sind, auf Basis der für die betreffenden Hilfsstrukturen erhaltenen Intensitätswerte und unter Anwendung des vorstehend beschriebenen Optimierungsverfahrens. Nach Ermittlung der Parameter a' und c' (entsprechend einem ersten Parametersatz) werden nun die hierbei erhaltenen Werte für a und c (gegebenenfalls mit jeweils einem geeigneten möglichen Variationsintervall) einem zweiten Auswerteschritt zur Ermittlung des Parameters b (entsprechend dem zweiten Parametersatz) vorgegeben, welcher nun ebenfalls anhand der vorstehend beschriebenen mathematischen Optimierungsmethode und gemäß Aus-

wertung der eigentlichen Nutzstruktur gemäß **Fig. 4a** ermittelt werden kann.

**[0041]** Wie vorstehend anhand von **Fig. 4b** beschrieben wurde, sind die für die Ermittlung des ersten Parametersatzes herangezogenen Hilfsstrukturen vorzugsweise gerade gezielt dahingehend optimiert, dass diese jeweils zur Bestimmung eines oder mehrerer Parameter geeignet sind, was anhand einer Sensitivitätsanalyse erfolgen kann. Mit anderen Worten werden die in **Fig. 3** gezeigten Hilfsstrukturen **321** vorzugsweise von vorneherein auf dem Wafer **301** derart ausgestaltet, dass sie jeweils auf die Messung bestimmter Parameter optimiert sind.

**[0042]** **Fig. 2** stellt den Ablauf des vorstehend beschriebenen Verfahrens in einem Flussdiagramm dar.

**[0043]** In einem ersten Schritt S5 erfolgt eine Analyse der zu vermessenden Struktur bzgl. eines zweiten Parametersatzes dahingehend, welche Parameter direkt bestimmbar sind, bzw. welche weiteren Parameter über ggf. zu erzeugende Hilfsstrukturen zu erfolgen hat.

**[0044]** Demnach erfolgt in einem weiteren Schritt S10 das geeignete Design der Hilfs- bzw. Markerstrukturen, die zur Bestimmung der Parameter eines ersten Parametersatzes geeignet sind, welche so gewählt werden, dass damit die nicht direkt zu bestimmenden Parameter des zweiten Parametersatzes bestimmt werden können, wiederum basierend auf einer Sensitivitätsanalyse.

**[0045]** Anschließend erfolgt in einem Schritt S20 die beugungsbasierte Vermessung der auf dem Wafer erzeugten Nutzstrukturen sowie der o.g. Hilfsstrukturen. Diese Intensitätsmessungen selbst werden gemäß der Erfindung sowohl für die Nutz- als auch die Hilfsstrukturen vorzugsweise für jede Kombination aus Wellenlänge, Polarisation und Beugungsordnung simultan durchgeführt. Mit anderen Worten erfolgt anstelle einer sukzessiven Beleuchtung und beugungsbasierter Vermessung einzelner Hilfsstrukturen **821** gemäß **Fig. 8** die Beleuchtung eines ganzen Feldes **501** gemäß **Fig. 5**, wobei dieses Feld lediglich beispielhaft eine Größe von mehreren mm<sup>2</sup>, z.B. 30mm·40mm aufweisen kann. Demzufolge werden erfindungsgemäß auch etwaige, bei dem herkömmlichen Verfahren gemäß **Fig. 8** erforderliche Alignment-Schritte vermieden.

**[0046]** Hierbei entsprechen einzelne (z.B. gemäß **Fig. 5** durch Aufteilung in eine Vielzahl von einzelnen Messkanälen erhaltene) Waferbereiche jeweils einem Detektorbereich (mit umfassend einen oder mehrere Kamerapixel auf dem Detektor).

**[0047]** Die erhaltenen Intensitätswerte werden dann wie vorstehend beschrieben zweistufig ausgewertet. Zunächst erfolgt im Schritt S30 anhand der an den Hilfsstrukturen erhaltenen Messergebnisse die Bestimmung eines ersten Parametersatzes. Im Schritt S40 erfolgt dann erst unter Nutzung der Ergebnisse aus Schritt S30 (nämlich unter Vorgabe der für die Parameter des ersten Parametersatzes erhaltenen Werte, ggf. unter Zulassung von Abweichungen innerhalb eines Variationsintervalls) die Bestimmung der Parameter des zweiten Parametersatzes.

**[0048]** Wie im Weiteren unter Bezugnahme auf **Fig. 6** und **Fig. 7** erläutert wird, können auf Basis dieser jeweils simultan gemessenen Intensitätswerte auch die jeweils für die Parameterbestimmung heranzuziehenden (Hilfs-)Strukturen auf dem Wafer lokalisiert werden. Hierzu können von vorneherein in einer Datenbank einzelne typische Strukturen mit jeweils zugeordneten Intensitätsspektren abgespeichert werden, wobei ein Vergleich der anhand der tatsächlich ermittelten Intensitätsmessungen erhaltenen Spektren mit den in der betreffenden Datenbank enthaltenen Spektren jeweils die Entscheidung ermöglicht, ob in dem jeweiligen Waferbereich eine bereits bekannte bzw. identifizierte Struktur vorliegt und um welche Struktur (bzw. welche anhand dieser Struktur zu bestimmende Parameter) es sich hierbei handelt.

**[0049]** Wenn somit beispielsweise die Durchführung der Intensitätsmessungen mit der Anordnung gemäß **Fig. 1** für zehn unterschiedliche Wellenlängen und zwei Polarisierungen erfolgt und die Datenbank zwölf Paare aus jeweils einer typischen (Hilfs-)Struktur und einem jeweils zugehörigen, wellenlängenabhängigen Intensitätsspektrum umfasst, wird anhand eines Vergleichs des die 10·2 Intensitätswerte umfassenden Vektors mit den zwölf Spektren der Datenbank entschieden, ob in dem jeweiligen Waferbereich eine bereits bekannte bzw. identifizierte Struktur vorliegt und um welche Struktur (bzw. welchen anhand dieser Struktur zu bestimmenden Parameter) es sich hierbei handelt.

**[0050]** In **Fig. 7a** und **Fig. 7c** sind lediglich beispielhaft typische Strukturen **711** und **712** angedeutet, wobei **Fig. 7b** und **Fig. 7d** die in einer Datenbank gespeicherten, zugehörigen Spektren **731** und **732** zeigen. In **Fig. 6** ist angedeutet, dass einzelne Hilfsstrukturen **621** auf einem Wafer **601** jeweils zur Bestimmung von unterschiedlichen Parametern (z.B. Overlay, Schichtdicke, CD-Wert etc.) optimiert sein können, wobei die entsprechende Identifizierung der betreffenden Hilfsstrukturen datenbankbasiert erfolgen kann (also eine vorherige Eingabe der betreffenden Information über die Position der Hilfsstrukturen auf dem Wafer entbehrlich ist).

**[0051]** Wenn die Erfindung auch anhand spezieller Ausführungsformen beschrieben wurde, erschließen sich für den Fachmann zahlreiche Variationen und alternative Ausführungsformen, z.B. durch Kombination und/oder Austausch von Merkmalen einzelner Ausführungsformen. Dementsprechend versteht es sich für den Fachmann, dass derartige Variationen und alternative Ausführungsformen von der vorliegenden Erfindung mit umfasst sind und die Reichweite der Erfindung nur im Sinne der beigefügten Patentansprüche und deren Äquivalente beschränkt ist.

## ZITATE ENHALTEN 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

- US 2006/0274325 A1 [0007]
- US 8339595 B2 [0007]
- US 8670118 B2 [0007]
- US 2012/0224176 A1 [0007]

### Zitierte Nicht-Patentliteratur

- Thomas A. Germer et al.: „Developing an uncertainty analysis for optical scatterometry Metrology, Inspection, and Process Control for Microlithography XXIII, J.A. Allgair, Ed., Proc. SPIE 7272, (2009) [0015]



## Patentansprüche

1. Verfahren zur Charakterisierung eines durch wenigstens einen Lithographieschritt strukturierten Wafers,

- wobei eine Mehrzahl von für den strukturierten Wafer charakteristischen Parametern auf Basis von Messungen der Intensität elektromagnetischer Strahlung nach deren Beugung an dem strukturierten Wafer ermittelt wird, wobei diese Intensitätsmessungen für wenigstens eine Nutzstruktur und wenigstens eine Hilfsstruktur durchgeführt werden;
- wobei eine Ermittlung der Parameter basierend auf bei den Intensitätsmessungen für jeweils unterschiedliche Kombinationen aus Wellenlänge, Polarisation und/oder Beugungsordnung gemessenen Intensitätswerten sowie entsprechend berechneten Intensitätswerten unter Anwendung einer mathematischen Optimierungsmethode erfolgt;

**dadurch gekennzeichnet**, dass die Ermittlung der Parameter folgende Schritte aufweist:

- a) Ermitteln von Parametern eines ersten Parametersatzes der Parameter auf Basis der für die wenigstens eine Hilfsstruktur erhaltenen Intensitätswerte; und
- b) Ermitteln von Parametern eines zweiten Parametersatzes der Parameter unter Berücksichtigung der im Schritt a) ermittelten Parameter des ersten Parametersatzes.

2. Verfahren nach Anspruch 1, **dadurch gekennzeichnet**, dass bei dem Schritt des Ermittlens von Parametern des zweiten Parametersatzes die im Schritt a) ermittelten Parameter des ersten Parametersatzes innerhalb eines vorgegebenen Variationsintervalls vorgegeben werden.

3. Verfahren nach Anspruch 1 oder 2, **dadurch gekennzeichnet**, dass die wenigstens eine Hilfsstruktur auf Basis einer Sensitivitätsanalyse ausgestaltet wird, bei welcher die Sensitivität unterschiedlicher Hilfsstrukturen für eine beugungsbasierte Bestimmung jeweils eines der Parameter des ersten Parametersatzes bewertet wird.

4. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 3, **dadurch gekennzeichnet**, dass die Intensitätsmessungen für die wenigstens eine Nutzstruktur und die wenigstens eine Hilfsstruktur für jeweils eine Kombination aus Wellenlänge, Polarisation und/oder Beugungsordnung simultan durchgeführt werden.

5. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche, **dadurch gekennzeichnet**, dass die Intensitätsmessungen für eine Mehrzahl von Hilfsstrukturen durchgeführt werden, wobei diese Durchführung für jeweils eine Kombination aus Wellenlänge, Polarisation und/oder Beugungsordnung simultan erfolgt.

6. Verfahren nach Anspruch 5, **dadurch gekennzeichnet**, dass das Ermitteln von Parametern des ersten Parametersatzes auf Basis der für die Hilfsstrukturen erhaltenen Intensitätswerte einen Vergleich dieser Intensitätswerte mit in wenigstens einer Datenbank gespeicherten Intensitätswerten umfasst, wobei in dieser Datenbank mehreren Hilfsstrukturen jeweils ein zugehöriges Intensitätsspektrum zugeordnet ist.

7. Verfahren nach Anspruch 6, **dadurch gekennzeichnet**, dass auf Basis dieses Vergleichs mit in der wenigstens einen Datenbank gespeicherten Intensitätswerten eine Lokalisierung von zur Bestimmung eines Parameters jeweils geeigneten Strukturen auf dem Wafer erfolgt.

8. Verfahren zur Charakterisierung eines durch wenigstens einen Lithographieschritt strukturierten Wafers,

- wobei wenigstens ein für den strukturierten Wafer charakteristischer Parameter auf Basis einer Mehrzahl von Messungen der Intensität elektromagnetischer Strahlung nach deren Beugung an dem strukturierten Wafer ermittelt wird;

- wobei eine Ermittlung des wenigstens einen Parameters basierend auf bei diesen Intensitätsmessungen für jeweils unterschiedliche Kombinationen aus Wellenlänge, Polarisation und/oder Beugungsordnung gemessenen Intensitätswerten sowie entsprechend berechneten Intensitätswerten unter Anwendung einer mathematischen Optimierungsmethode erfolgt;

**dadurch gekennzeichnet**, dass das Ermitteln der Parameter vor der Anwendung einer mathematischen Optimierungsmethode einen Vergleich von bei den Intensitätsmessungen erhaltenen Intensitätswerten mit in wenigstens einer Datenbank gespeicherten Intensitätswerten umfasst, wobei in dieser Datenbank mehreren Strukturen jeweils ein zugehöriges Intensitätsspektrum zugeordnet ist.

9. Verfahren nach Anspruch 8, **dadurch gekennzeichnet**, dass auf Basis dieses Vergleichs mit in der wenigstens einen Datenbank gespeicherten Intensitätswerten eine Lokalisierung von zur Bestimmung eines Parameters jeweils geeigneten Strukturen auf dem Wafer erfolgt.

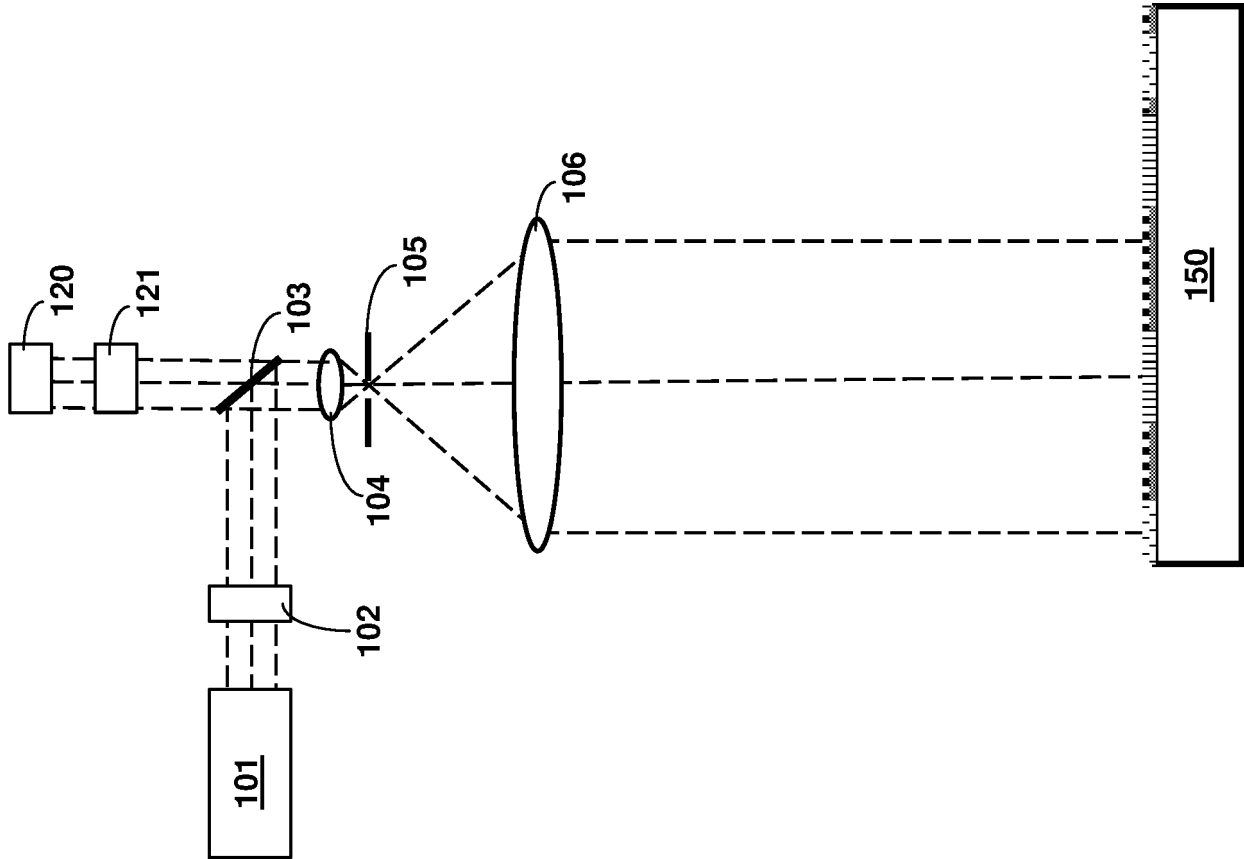
10. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche, **dadurch gekennzeichnet**, dass die für den strukturierten Wafer charakteristischen Parameter wenigstens einen Parameter aus der Gruppe CD-Wert, Ätztiefe und Überdeckungsgenauigkeit (Overlay) von zwei in unterschiedlichen Lithographieschritten erzeugten Strukturen umfassen.

11. Vorrichtung zur Charakterisierung eines durch wenigstens einen Lithographieschritt strukturierten Wafers, **dadurch gekennzeichnet**, dass die Vorrich-

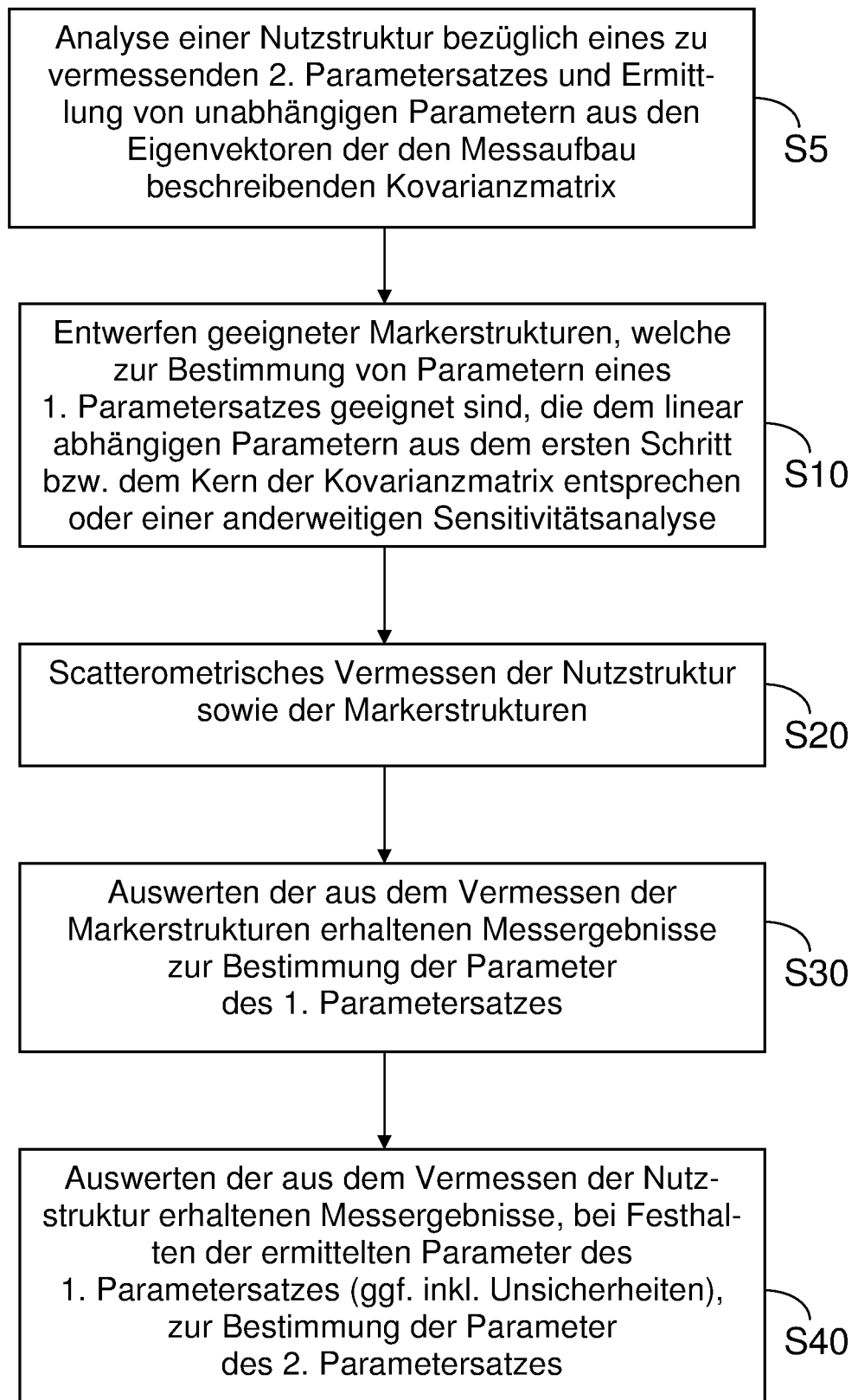
tung dazu konfiguriert ist, ein Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche durchzuführen.

Es folgen 8 Seiten Zeichnungen

Anhängende Zeichnungen

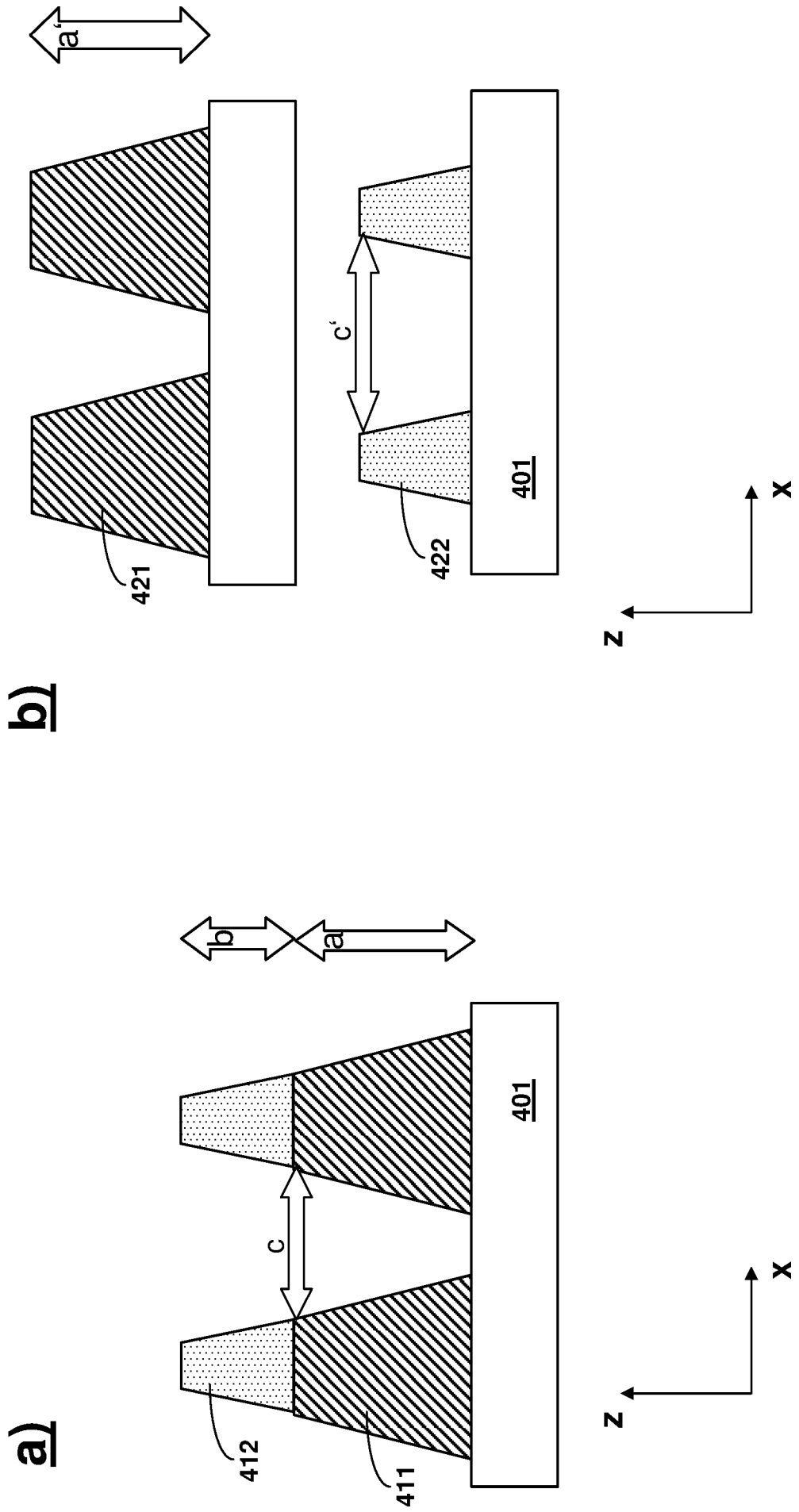


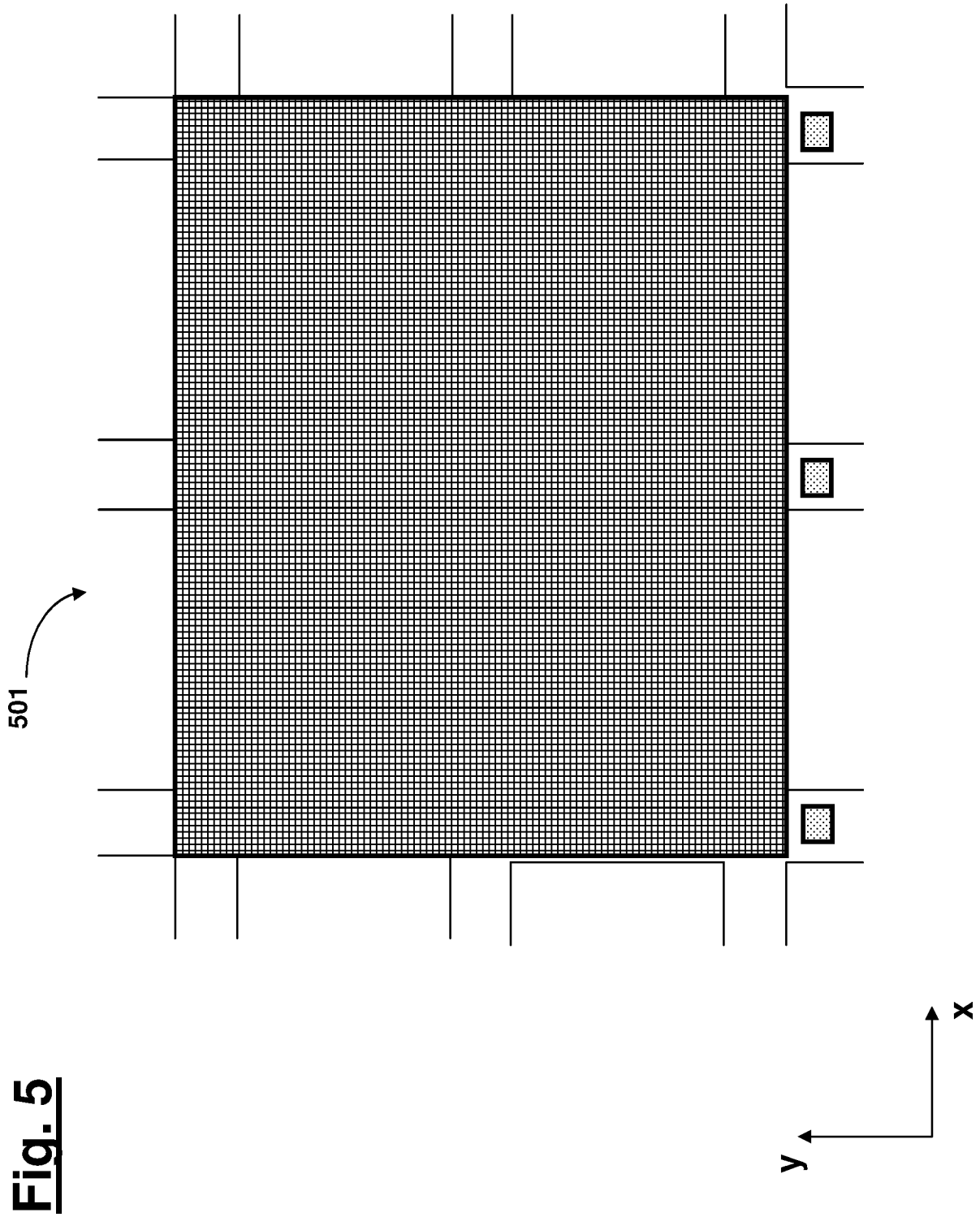
**Fig. 1**

**Fig. 2**

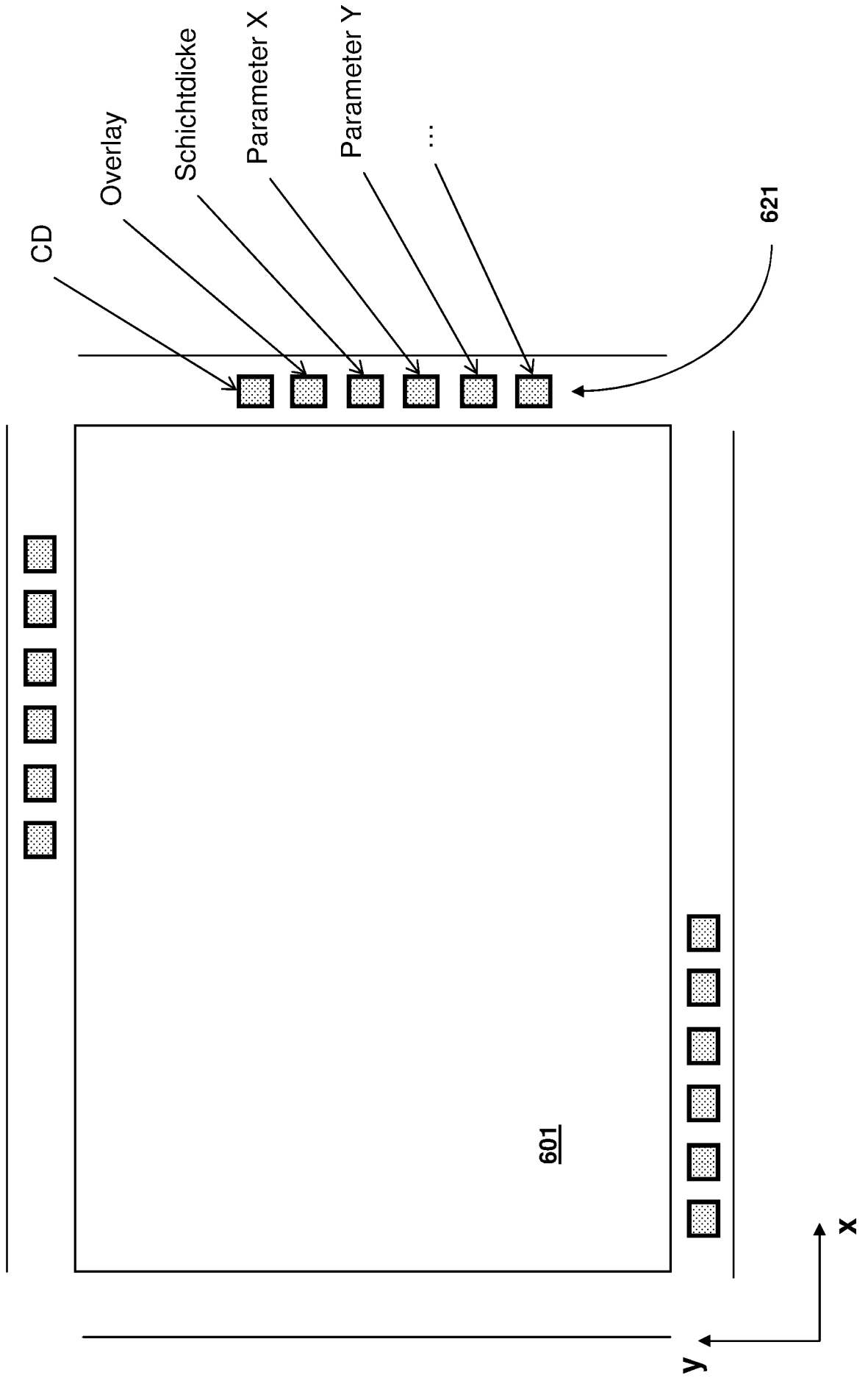


**Fig. 4**



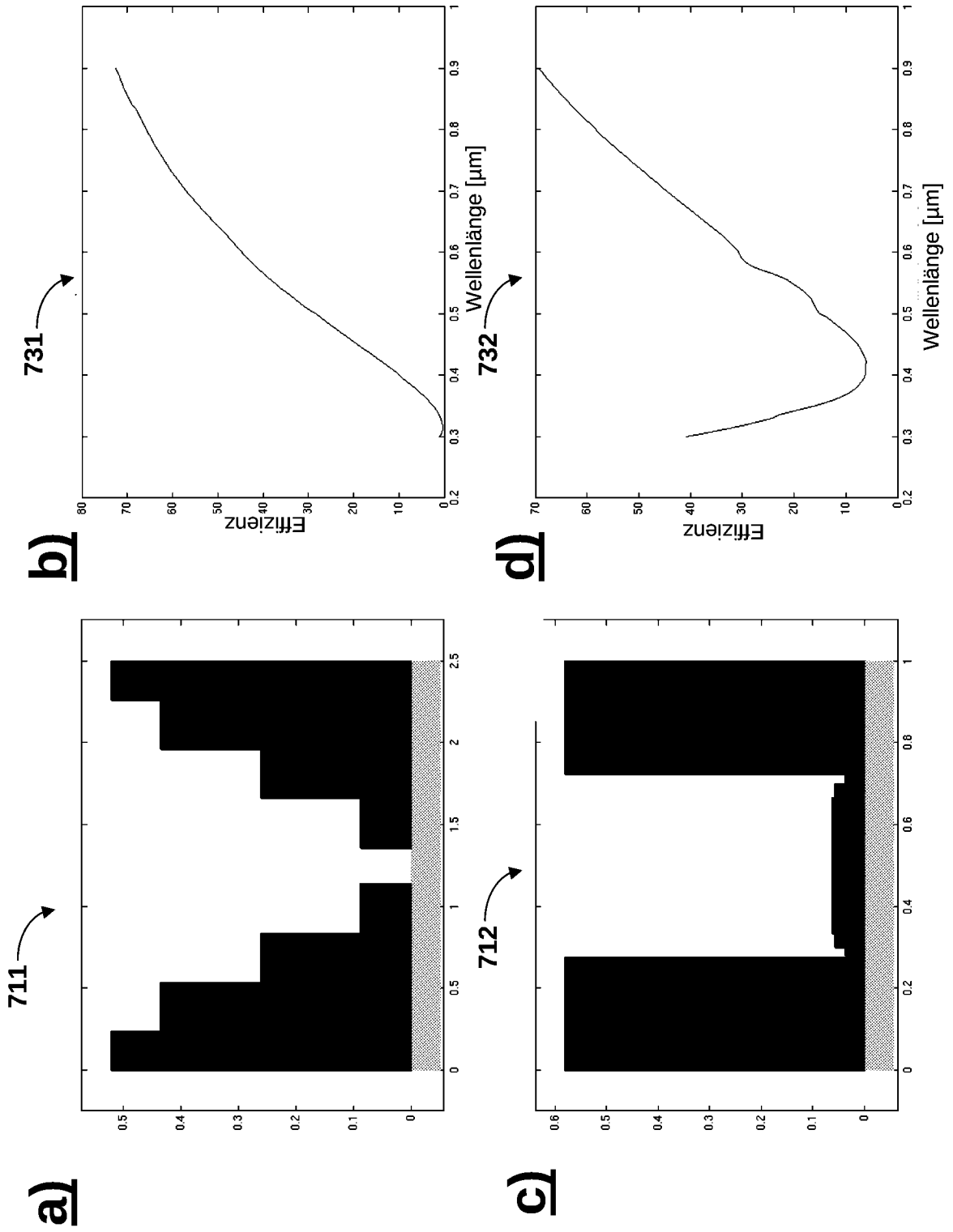


**Fig. 6**





**Fig. 7**



**Fig. 8**

