



(10) **DE 10 2013 211 403 B4** 2020.12.17

(12)

## Patentschrift

(21) Aktenzeichen: **10 2013 211 403.6**  
(22) Anmeldetag: **18.06.2013**  
(43) Offenlegungstag: **18.12.2014**  
(45) Veröffentlichungstag  
der Patenterteilung: **17.12.2020**

(51) Int Cl.: **G03F 1/72 (2012.01)**  
**G01N 21/55 (2006.01)**  
**G03F 1/38 (2012.01)**

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

(74) Vertreter:  
**BARDEHLE PAGENBERG Partnerschaft mbB**  
**Patentanwälte, Rechtsanwälte, 81675 München,**  
**DE**

(72) Erfinder:  
**Budach, Michael, 63456 Hanau, DE; Schönberger,**  
**Ralf, 65199 Wiesbaden, DE; Jöst, Michael, 64521**  
**Groß-Gerau, DE**

(56) Ermittelter Stand der Technik:

<b>DE</b>	<b>37 44 320</b>	<b>A1</b>
<b>US</b>	<b>2004 / 0 121 069</b>	<b>A1</b>
<b>US</b>	<b>2005 / 0 205 781</b>	<b>A1</b>
<b>US</b>	<b>2008 / 0 151 234</b>	<b>A1</b>

(54) Bezeichnung: **Verfahren und Vorrichtung zum automatisierten Bestimmen eines Referenzpunktes einer Ausrichtungsmarkierung auf einem Substrat einer photolithographischen Maske**

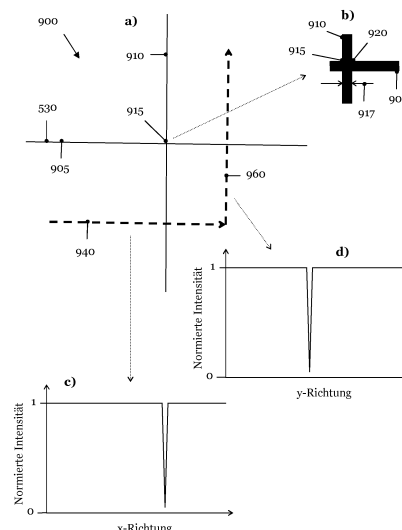
(57) Hauptanspruch: Verfahren zum automatisierten Bestimmen eines Referenzpunktes (920) einer Ausrichtungsmarkierung (515, 520, 525, 530, 1480) auf einem Substrat (505) einer photolithographischen Maske (510), wobei das Verfahren die folgenden Schritte aufweist:

a. Durchführen eines ersten Linienscans (940, 1410) innerhalb eines Startbereichs des Substrats (505) in einer ersten Richtung auf einer Oberfläche des Substrats (505), wobei die Ausrichtungsmarkierung (515, 520, 525, 530, 1480) innerhalb des Startbereichs angeordnet ist, zum Auffinden eines ersten Elements (910) der Ausrichtungsmarkierung (515, 520, 525, 530, 1480);

b. Durchführen eines zweiten Linienscans (960, 1420) innerhalb des Startbereichs in zumindest einer zweiten Richtung auf der Oberfläche des Substrats (504), welche die erste Richtung schneidet, zum Auffinden eines zweiten Elements (905) der Ausrichtungsmarkierung (515, 520, 525, 530, 1480);

c. Abschätzen des Referenzpunktes (920) der Ausrichtungsmarkierung (515, 520, 525, 530, 1480) aus dem aufgefundenen ersten Element (910) und dem aufgefundenen zweiten Element (905) der Ausrichtungsmarkierung (515, 520, 525, 530, 1480) mittels einer Recheneinheit (570); und

d. Abbilden eines Zielbereichs um den mittels der Recheneinheit (570) abgeschätzten Referenzpunkt (920) der Ausrichtungsmarkierung (515, 520, 525, 530, 1480) herum zum Bestimmen des Referenzpunktes (920) der Ausrichtungsmarkierung (515, 520, 525, 530, 1480), wobei das Abbilden mit einer höheren Auflösung erfolgt als das Durchführen der Linienscans (940, 960) in den Schritten a. und b.



**Beschreibung**

## Technisches Gebiet

**[0001]** Die vorliegende Erfindung betrifft ein Verfahren und eine Vorrichtung zum automatisierten Bestimmen eines Referenzpunktes einer Ausrichtungsmarkierung auf einem Substrat einer photolithographischen Maske.

## Stand der Technik

**[0002]** Als Folge der wachsenden Integrationsdichte in der Halbleiterindustrie (Moore'sches Gesetz) müssen Photolithographiemasken zunehmend kleinere Strukturen auf Wafern abbilden. Um die auf den Wafer abgebildeten kleinen Strukturabmessungen zu erzeugen, werden zunehmend komplexere Bearbeitungsprozesse benötigt.

**[0003]** Auf der Photolithographie-Seite wird dem Trend wachsender Integrationsdichte zum einen dadurch Rechnung getragen, indem die Belichtungswellenlänge von Lithographiegeräten zu immer kleineren Wellenlängen verschoben wird. In Lithographiegeräten wird derzeit häufig ein ArF (Argonfluorid) Excimerlaser als Lichtquelle eingesetzt, der bei einer Wellenlänge von etwa 193 nm emittiert. Gegenwärtig befinden sich Lithographiesysteme in der Entwicklung die elektromagnetische Strahlung im EUV (extremen ultravioletten) Wellenlängenbereich (im Bereich von 10 nm bis 15 nm) verwenden.

**[0004]** Zum anderen wird der wachsenden Integrationsdichte der Halbleiterindustrie durch abnehmende Strukturgrößen der abbildenden Elemente auf photolithographischen Masken Rechnung getragen. Beide Faktoren führen dazu, dass die bereits heute enormen Anforderungen an Fotomasken weiter steigen.

**[0005]** Aus den dargelegten Gründen ist der Herstellungsprozess von Fotomasken extrem Ressourcen- und Zeit-aufwändig. Dies schlägt sich in hohen Kosten für eine einzelne Maske nieder. Für einen kompletten Maskensatz zum Herstellen eines komplexen Halbleiter-Bauelements multiplizieren sich die Kosten mit der Anzahl der Masken, die für die komplette Herstellung des Halbleiter-Bauelements benötigt werden. Je nach Komplexität des Herstellungsprozesses kann ein Maskensatz einen Bereich von etwa 20 bis 50 einzelnen Masken umfassen.

**[0006]** Deshalb werden Belichtungsmasken repariert, wann immer dies möglich ist. Zum einen können Fehler während des Maskenherstellungsprozesses auftreten, die nach deren Detektion korrigiert werden. Andererseits können während des Einsatzes der Masken in der Produktion von Halbleiter-Bauelementen an einzelnen Masken eines Maskensatzes Fehler

auftreten, die korrigiert werden müssen, damit nicht der komplette Maskensatz wertlos wird.

**[0007]** Infolge der oben beschriebenen Problematik gestaltet sich die Korrektur von Maskenfehlern, d.h. die Korrektur der auf dem Maskensubstrat angeordneten Absorberelemente ebenfalls schwierig. Eine erste Problemstellung vor dem eigentlichen Reparaturprozess ist das Auffinden einer der Markierungen, die zum Ausrichten der Maske bezüglich des Maskeninternen Koordinatensystems an den Ecken des Maskensubstrats angebracht sind. Die **Fig. 1** zeigt schematisch, dass Fotomasken eine oder mehrere Ausrichtungsmarkierungen aufweisen, die als Bezugspunkt(e) für das Masken-interne Koordinatensystem dienen. In dem Beispiel der **Fig. 1** könnte als Referenzpunkt der Ausrichtungsmarkierung der Schnittpunkt der beiden Elemente des Kreuzes dienen, die ein „L“ bilden.

**[0008]** Wie durch den horizontalen und vertikalen Pfeil angedeutet, kann die Ausrichtungsmarkierung relativ zu den äußeren Rändern der Fotomaske einer Schwankung von bis zu  $\pm 500 \mu\text{m}$  unterliegen. Dies bedeutet, fehlerfreie Absorberelemente können von einer Maske zur nächsten im Extremfall um bis zu einem Millimeter verschoben sein.

**[0009]** Eine zu reparierende Fotomaske wird von einem Roboter aus einer Transportbox entnommen und auf einen Probentisch gelegt. Die **Fig. 2** zeigt die Schwankungen, mit der der Roboter Masken im zeitlichen Verlauf auf einen Probentisch platziert. Die Positionsabweichung vom Mittelwert beträgt wiederum in etwa  $\pm 500 \mu\text{m}$ .

**[0010]** Trotz dieser Schwankungen kommt in günstigen Fällen die Ausrichtungsmarkierung noch immer in dem Gesichtsfeld beispielsweise eines Mikroskops, beispielsweise eines Elektronenstrahlmikroskops, zu liegen und kann damit in einfacher Weise identifiziert werden. In einer Vielzahl von ungünstigen Konstellationen fällt jedoch die Ausrichtungsmarkierung nicht in das Gesichtsfeld des zur Untersuchung eingesetzten Mikroskops. Zum Auffinden einer Ausrichtungsmarkierung auf einer Fotomaske ist es deshalb notwendig, einen Bereich des Maskensubstrats mit dem Mikroskop mit hoher Auflösung abzusuchen, dessen Dimensionen mehrere Millimeter umfassen können. Dieser Suchprozess muss derzeit manuell ausgeführt werden und ist sehr Zeit-aufwändig.

**[0011]** Der naheliegende Ausweg aus diesem Dilemma - nämlich die Vergrößerung des Gesichtsfeldes des Mikroskops auf Kosten der Auflösung - führt nicht weiter. Die **Fig. 3** zeigt ein Gesichtsfeld eines Elektronenstrahlmikroskops, das sich über mehrere hundert Mikrometer erstreckt. Die Ausrichtungsmarkierung ist auf der **Fig. 3** nur äußerst schwer identifizierbar.

**[0012]** Der vorliegenden Erfindung liegt daher das Problem zu Grunde, ein Verfahren und eine Vorrichtung zum Bestimmen eines Referenzpunktes einer Ausrichtungsmarkierung auf einem Substrat einer photolithographischen Maske anzugeben, die ein manuelles Suchen der Ausrichtungsmarkierung vermeiden.

**[0013]** Die DE 37 44 320 A1 offenbart eine Einrichtung zum Ermitteln eines Objekts unter Verwendung eines Elektronenstrahls. Die Einrichtung enthält einen Strahlabgabeteil für das Zuführen eines Elektronenstrahls, ein Ablenssystem für das Abtasten des Objekts mit dem Elektronenstrahl, ein Wandlersystem für das Aufnehmen der von dem mit dem Elektronenstrahl abgetasteten Objekt kommenden Elektronen und für das Umsetzen der Elektronen in ein elektrisches Signal. Ferner umfasst die Einrichtung ein Erfassungssystem zum Ermitteln der Lage des Objekts aus dem Signal des Wandlersystems und eine Steuereinheit, mit der während der Abtastung des Objekts an dem Strahlerteil die Bedingungen für das Bestrahlen des Objekts mit dem Elektronenstrahl entsprechend den Eigenschaften des Objekts veränderbar sind.

**[0014]** Die US 2008 / 0 151 234 A1 offenbart eine Vorrichtung zum Inspizieren von Fremdstoffen, die eine Einheit zum Registrieren von Feature-Punkten von Ausrichtungsmarkierungen einschließt, die auf einer Oberfläche eines zu inspizierenden Objekts ausgebildet sind. Ferner umfasst die Vorrichtung eine Einheit zum Sammeln von Bilddaten der Ausrichtungsmarkierungen, die auf der Oberfläche des inspizierten Objekts ausgebildet sind und einen Datenprozessor zum Extrahieren eines Feature-Punktes aus den Bilddaten und Berechnen eines Korrelationswertes für beide Feature-Punkte und Registrieren der Bilddaten der Ausrichtungsmarkierung auf der Basis eines Schwellenwertes des Korrelationswertes.

**[0015]** Die US 2005 / 0 205 781 A1 offenbart einen Controller, der in Antwort auf eine Positionskoordinate eines X/Y Interferometers bestimmt, welcher Algorithmus für die gegenwärtige Inspektion benutzt werden sollte, und kontrolliert einen Verbindungsstatus eines Schalters, um ein dazugehöriges Referenzbild in einem Bildspeicher zu speichern. Das Referenzbild ist ein Bild aus der Gruppe: ein Bild einer Probenoberfläche, das von einer Bilddatenaufnahmeinheit erhalten wird, ein Bild, das von einer Zellenreferenzbilderzeugungseinheit bereitgestellt wird und ein Bild, das von einer CAD Datenreferenzbilderzeugungseinheit bereitgestellt wird. Der Controller kontrolliert auch einen Verbindungsstatus eines zweiten Schalters zum Bereitstellen des Referenzbildes, das dem gegenwärtigen Inspektionsalgorithmus zugeordnet ist, wobei das bereitgestellte Referenzbild mit einem gegenwärtig erhaltenen Bild verglichen wird. Auf der Basis des Vergleichs bestimmt eine Be-

stimmungseinheit die Anwesenheit/Abwesenheit eines Defekts.

**[0016]** Die US 2004 / 0 121 069 A1 beschreibt das Verwenden topographischer Daten eines Rastersondenmikroskops oder eines ähnlichen Geräts als ein Ersatz für eine Endpunkt-Detektion, um eine präzise Reparatur von Defekten phasenschiebender Masken unter Verwendung eines Systems zu ermöglichen, das einen geladenen Teilchenstrahl verwendet. Die topographischen Daten eines Fehlerbereichs werden verwendet, um eine Anzeige einer semitransparenten Karte zu erzeugen, die einem mit einem geladenen Teilchenstrahl aufgenommenen Bild überlagert werden kann. Die Dichte des topographischen Bildes und das Ausrichten der beiden Bilder kann durch einen Bediener angepasst werden, um den Strahl genau zu positionieren. Topographische Daten eines Rastersondenmikroskops können auch benutzt werden, um die Strahldosis des geladenen Teilchenstrahls für jeden Punkt innerhalb des Bereichs zu bestimmen, basierend auf der Erhebung und eines Oberflächenwinkels an dem speziellen Punkt.

#### Zusammenfassung der Erfindung

**[0017]** Gemäß einem Ausführungsbeispiel der vorliegenden Erfindung wird dieses Problem durch ein Verfahren nach Anspruch 1 gelöst. In einer Ausführungsform weist das Verfahren zum automatisierten Bestimmen eines Referenzpunktes einer Ausrichtungsmarkierung auf einem Substrat einer photolithographischen Maske die folgenden Schritte auf: (a) Durchführen eines ersten Linienscans innerhalb eines Startbereichs des Substrats in einer ersten Richtung auf einer Oberfläche des Substrats, wobei die Ausrichtungsmarkierung innerhalb des Startbereichs angeordnet ist, zum Auffinden eines ersten Elements der Ausrichtungsmarkierung; (b) Durchführen eines zweiten Linienscans innerhalb des Startbereichs in zumindest einer zweiten Richtung auf der Oberfläche des Substrats, welche die erste Richtung schneidet, zum Auffinden eines zweiten Elements der Ausrichtungsmarkierung; (c) Abschätzen des Referenzpunktes der Ausrichtungsmarkierung aus dem aufgefundenen ersten Element und dem aufgefundenen zweiten Element der Ausrichtungsmarkierung; und (d) Abbilden eines Zielbereichs um den abgeschätzten Referenzpunkt der Ausrichtungsmarkierung herum zum Bestimmen des Referenzpunktes der Ausrichtungsmarkierung, wobei das Abbilden mit einer höheren Auflösung erfolgt als das Durchführen der Linienscans in den Schritten (a) und (b).

**[0018]** Das erfindungsgemäße Verfahren nutzt die geometrische Form von Ausrichtungsmarkierungen aus. Diese weisen typischerweise zwei langgestreckte Elemente auf, die unter einem rechten Winkel aufeinander stehen. Die beiden Elemente weisen in einer Ebene makroskopische Dimensionen auf. Das

definierte Verfahren zum automatisierten Bestimmen eines Referenzpunktes einer Ausrichtungsmarkierung ist jedoch nicht auf Ausrichtungsmarkierungen beschränkt, deren Elemente einen rechten Winkel bilden oder deren Elemente geradlinig sind. Vielmehr kann das erfindungsgemäße Verfahren auf beliebige Ausrichtungsmarkierungen angewendet werden, die zwei langgestreckte Elemente ausweisen, die einen von  $0^\circ$  verschiedenen Winkel bilden.

**[0019]** Das erfindungsgemäße Verfahren zerlegt das Bestimmen eines Referenzpunktes einer Ausrichtungsmarkierung in zwei Teilprozesse. Zum ersten in das Auffinden der Ausrichtungsmarkierung. Dazu wird der zweidimensionale Suchprozess in zwei gekoppelte eindimensionale Suchprozesse zerlegt. Damit wird ermöglicht, den Suchprozess zu automatisieren. Zudem werden die beiden gekoppelten eindimensionalen Suchprozesse vorzugsweise mit einer Auflösung durchgeführt, die an die Strukturgrößen der Ausrichtungsmarkierung angepasst sind. Durch die Kombination aus Automatisierung und angepasster Auflösung wird das Auffinden der Ausrichtungsmarkierung beschleunigt.

**[0020]** Das Abbilden des Zielbereichs zum Bestimmen des Referenzpunktes der Ausrichtungsmarkierung erfolgt dann mit einer höheren Auflösung, so dass der Referenzpunkt mit der geforderten Genauigkeit bestimmt werden kann. Somit optimiert das definierte Verfahren das Bestimmen des Referenzpunktes einer Ausrichtungsmarkierung sowohl in der Zeit als auch bezüglich der Genauigkeit.

**[0021]** In einem Aspekt weist das Verfahren ferner die Schritte auf: (e) Durchführen eines dritten und eines vierten Linienscans innerhalb eines Zwischenbereiches um die Abschätzung des Referenzpunktes der Ausrichtungsmarkierung herum nach dem Schritt (c), wobei der Zwischenbereich kleiner ist als der Startbereich und größer als der Zielbereich; (f) Erneutes Abschätzen des Referenzpunktes der Ausrichtungsmarkierung aus dem erneuten Auffinden des ersten Elements und des zweiten Elements der Ausrichtungsmarkierung durch den dritten Linienscan und vierten Linienscan; und (g) Durchführen des Schritts (d) unter Verwendung der erneuten Abschätzung des Referenzpunktes.

**[0022]** Nach einem weiteren Aspekt weist das Verfahren ferner den Schritt auf: Wiederholen der Schritte (e) bis (f) zum erneuten Abschätzen des Referenzpunktes mit einer Positionsungenauigkeit unterhalb einer vorgegebenen Schwelle. In einem anderen Aspekt beträgt die vorgegebene Schwelle  $100\text{ }\mu\text{m}$ , bevorzugt  $20\text{ }\mu\text{m}$ , mehr bevorzugt  $5\text{ }\mu\text{m}$  und am meisten bevorzugt  $1\text{ }\mu\text{m}$ .

**[0023]** Das definierte Verfahren ermöglicht es, die beiden gekoppelten eindimensionalen Suchprozesse

zu wiederholen, um dadurch eine für den zweiten Teilprozess geforderte Eingangsgenauigkeit zu erreichen. Dabei können die beiden Teilprozesse dergestalt ausgeführt werden, dass die Zeit zum Bestimmen des Referenzpunktes der Ausrichtungsmarkierung möglichst kurz wird.

**[0024]** In einem anderen Aspekt weist das Verfahren ferner die Schritte auf: (h) Durchführen eines dritten und eines vierten Linienscans innerhalb des Startbereichs und außerhalb eines Zwischenbereichs um die Abschätzung des Referenzpunktes der Ausrichtungsmarkierung herum nach dem Schritt (c), wobei der Zwischenbereich kleiner ist als der Startbereich und größer als ein Zielbereich; (i) Erneutes Abschätzen des Referenzpunktes der Ausrichtungsmarkierung aus dem erneuten Auffinden des ersten Elements und des zweiten Elements der Ausrichtungsmarkierung durch den dritten Linienscan und den vierten Linienscan; und (j) Durchführen des Schritts (d) unter Verwendung der erneuten Abschätzung des Referenzpunktes.

**[0025]** Bevorzugt umfasst der Schritt (c) des Verfahrens ein Vergleichen des ersten Linienscans und des zweiten Linienscans mit gespeicherten Referenzmarkierungen.

**[0026]** Das Rückgreifen auf vorhandene Referenzmarkierungen erhöht die Präzision beim Abschätzen des Referenzpunktes der Ausrichtungsmarkierung. Dies ist insbesondere dann der Fall, wenn die Referenzmarkierungen mehr Details aufweisen als die Auflösung, mit der der erste und der zweite Linienscan ausgeführt werden, wiedergeben kann oder falls die Referenzmarkierung Mehrdeutigkeiten aufweisen sollte.

**[0027]** Ebenfalls bevorzugt weist das Bestimmen des Referenzpunktes eine Positionsungenauigkeit  $< 10\text{ }\mu\text{m}$ , bevorzugt  $< 1\text{ }\mu\text{m}$ , mehr bevorzugt  $< 300\text{ nm}$  und am meisten bevorzugt  $< 100\text{ nm}$  auf.

**[0028]** In einem anderen Aspekt weist das Verfahren ferner die Schritte auf: (k) Verschieben des Startbereichs, wenn im Schritt (c) kein Referenzpunkt abgeschätzt wird; und (1) Wiederholen der Schritte (a), (b) und (c).

**[0029]** Das definierte Verfahren kann so konfiguriert werden, dass es angepasst an die Form einer Ausrichtungsmarkierung autonom und systematisch eine vorgegebene Fläche des Maskensubstrats durchsucht. Die Einteilung der Fläche in Teilflächen kann dabei in Abhängigkeit von der Form der Ausrichtungsmarkierung und der zweidimensionalen Verteilung der Ausrichtungsmarkierung(en) gewählt werden.

**[0030]** Gemäß einem weiteren Aspekt umfasst das Durchführen des ersten und des zweiten Linienscans das Anwenden eines konfokalen spektroskopischen Reflektometers. Nach einem anderen günstigen Aspekt umfasst das Durchführen des ersten und des zweiten Linienscans das Anwenden des konfokalen spektroskopischen Reflektometers ohne vorhergehende Fokussierung.

**[0031]** Dadurch kann das Zeit-aufwändige Fokussieren des Lichtstrahls des konfokalen spektroskopischen Reflektometers auf die Oberfläche des Substrats entfallen.

**[0032]** In noch einem anderen Aspekt weist das Verfahren ferner den Schritt auf: Einstellen des Signal-zu-Rauschverhältnisses des ersten und des zweiten Linienscans durch den Abstand des Substrats der photolithographischen Maske und einer Austrittslinse des konfokalen spektroskopischen Reflektometers.

**[0033]** Durch Auswählen eines entsprechenden Wellenlängenbereichs für die Detektion der von der Substratoberfläche reflektierten Strahlung kann bei Vorliegen einer reflektierenden Referenzmarkierung das Signal-zu-Rauschverhältnis der von der Referenzmarkierung reflektierten Strahlung optimiert werden.

**[0034]** Nach einem günstigen Aspekt umfasst das Abbilden des Zielbereichs das Anwenden eines Rasterelektronenmikroskops und/oder eines Focussed Ion Beam Mikroskops und/oder eines Lichtmikroskops.

**[0035]** In noch einem weiteren bevorzugten Aspekt umfasst eine Vorrichtung zum automatisierten Bestimmen eines Referenzpunktes einer Ausrichtungsmarkierung auf einem Substrat einer photolithographischen Maske: (a) Mittel zum Durchführen eines ersten Linienscans und eines zweiten Linienscans innerhalb eines Startbereichs des Substrats in einer ersten Richtung auf einer Oberfläche des Substrats, wobei die Ausrichtungsmarkierung innerhalb des Startbereichs angeordnet ist, zum Auffinden eines ersten Elements und eines zweiten Elements der Ausrichtungsmarkierung; (b) Mittel zum Abschätzen des Referenzpunktes der Ausrichtungsmarkierung aus dem ersten und dem zweiten Element der Ausrichtungsmarkierung; und (c) Mittel zum Abbilden eines Zielbereichs um den abgeschätzten Referenzpunkt der Ausrichtungsmarkierung herum zum Bestimmen des Referenzpunktes der Ausrichtungsmarkierung, wobei das Mittel zum Abbilden des Zielbereichs eine höhere Auflösung aufweist als das Mittel zum Durchführen des ersten Linienscans und des zweiten Linienscans.

**[0036]** In einem anderen Aspekt weist das Mittel zum Durchführen eines ersten Linienscans und ei-

nes zweiten Linienscans eine laterale Ortsauflösung  $< 100 \mu\text{m}$ , bevorzugt  $< 50 \mu\text{m}$ , mehr bevorzugt  $< 20 \mu\text{m}$  und am meisten bevorzugt  $< 10 \mu\text{m}$  auf.

**[0037]** Gemäß einem weiteren Aspekt umfasst das Mittel zum Durchführen eines ersten Linienscans und eines zweiten Linienscans Mittel zum lokalen Abtasten der Oberfläche des Substrats.

**[0038]** In einem weiteren vorteilhaften Aspekt umfasst das Mittel zum Durchführen eines ersten Linienscans und eines zweiten Linienscans: (d) einen Sensor, der ausgebildet ist, fokussierte elektromagnetische Strahlung auf das Substrat zu richten und von dem Substrat reflektierte und/oder transmittierte elektromagnetische Strahlung zu empfangen; (e) eine Scaneinheit, die ausgebildet ist, den Sensor und/oder das Substrat in einer Ebene senkrecht zu der fokussierten elektromagnetischen Strahlung zu scannen; und (f) eine Kontrolleinheit, die mit dem Sensor verbunden ist und die ausgebildet ist, aus der von dem Sensor empfangenen elektromagnetischen Strahlung eine lokale Intensitätsverteilung zu bestimmen.

**[0039]** In einem anderen Aspekt ist die Kontrolleinheit ferner mit der Scaneinheit verbunden und ist ausgebildet, die Scaneinheit zu steuern oder zu regeln.

**[0040]** Gemäß einem weiteren Aspekt weist die Scaneinheit eine Ortsauflösung  $< 20 \mu\text{m}$ , bevorzugt  $< 10 \mu\text{m}$ , mehr bevorzugt  $< 1 \mu\text{m}$  und am meisten bevorzugt  $< 0,5 \mu\text{m}$  auf.

**[0041]** In einem vorteilhaften Aspekt umfasst der Sensor ein konfokales spektroskopisches Reflektometer. Nach einem günstigen Aspekt ist der Sensor ausgebildet, den ersten und den zweiten Linienscan ohne vorhergehende Fokussierung durchzuführen. In einem anderen günstigen Aspekt wird das Signal-zu-Rauschverhältnis des ersten und des zweiten Linienscans durch den Abstand des Substrats der photolithographischen Maske und einer Austrittslinse des konfokalen spektroskopischen Reflektometers eingestellt.

**[0042]** Nach einem bevorzugten Aspekt weist das Mittel zum Abbilden des Zielbereichs eine Ortsauflösung  $< 200 \text{ nm}$ , bevorzugt  $< 50 \text{ nm}$ , mehr bevorzugt  $< 10 \text{ nm}$  und am meisten bevorzugt  $< 2 \text{ nm}$  auf.

**[0043]** In noch einem anderen Aspekt umfasst das Mittel zum Abbilden des Zielbereichs ein Rasterelektronenmikroskop und/oder ein Focussed Ion Beam Mikroskop und/oder ein Lichtmikroskop.

**[0044]** Gemäß einem günstigen Aspekt umfasst das Mittel zum Abschätzen des Referenzpunktes der Ausrichtungsmarkierung einen Prozessor, der ausgebildet ist, aus den aufgefundenen ersten und zwei-

ten Elementen den Referenzpunkt der Ausrichtungsmarkierung abzuschätzen und/oder aus der Abbildung des Zielbereichs den Referenzpunkt der Ausrichtungsmarkierung zu bestimmen.

**[0045]** Schließlich umfasst in noch einem weiteren Aspekt das Mittel zum Abschätzen des Referenzpunktes der Ausrichtungsmarkierung einen Speicher zum Speichern von Referenzmarkierungen.

#### Figurenliste

**[0046]** In der folgenden detaillierten Beschreibung werden derzeit bevorzugte Ausführungsbeispiele der Erfindung unter Bezugnahme auf die Zeichnungen beschrieben, wobei

**Fig. 1** eine Aufsicht auf ein Substrat einer Maske zeigt, die eine Ausrichtungsmarkierung aufweist;

**Fig. 2** eine Verteilung einer Platzierung einer Maske auf einem Probenstisch durch einen Roboter darstellt;

**Fig. 3** einen Ausschnitt einer Aufsicht auf das Substrat einer Maske wiedergibt, der eine Ausrichtungsmarkierung aufweist;

**Fig. 4** eine schematische Aufsicht auf das Substrat einer Fotomaske zeigt, in deren Ecken jeweils eine Ausrichtungsmarkierung in Form eines Kreuzes angebracht ist;

**Fig. 5** eine schematische Übersicht einer Vorrichtung zum automatisierten Bestimmen eines Referenzpunktes einer Ausrichtungsmarkierung veranschaulicht;

**Fig. 6** eine schematische Übersicht einiger Komponenten eines konfokalen spektroskopischen Reflektometers zum Durchführen von Linienscans veranschaulicht;

**Fig. 7** ein Diagramm wiedergibt, das die Änderung des Reflektivitätsverhältnisses zwischen dem Maskensubstrat und einer Ausrichtungsmarkierung darstellt;

**Fig. 8** drei Intensitätsverläufe des Übergangs Maskensubstrat - Ausrichtungsmarkierung präsentiert, die von dem konfokalen spektroskopischen Reflektometer mit unterschiedlichem Abstand zur Oberfläche des Maskensubstrats gemessen wurden;

**Fig. 9a** eine Ausrichtungsmarkierung mit zwei Linienscans veranschaulicht;

**Fig. 9b** einen vergrößerten Ausschnitts des Zentrums der Ausrichtungsmarkierung der **Fig. 9a** darstellt;

**Fig. 9c** den Intensitätsverlauf des ersten Linienscans der **Fig. 9a** wiedergibt;

**Fig. 9d** den Intensitätsverlauf des zweiten Linienscans der **Fig. 9a** angibt;

**Fig. 10a** die Ausrichtungsmarkierung der **Fig. 9a** mit einem dritten und einem vierten Linienscan veranschaulicht darstellt;

**Fig. 10b** den Intensitätsverlauf des dritten Linienscans der **Fig. 10a** zeigt;

**Fig. 10c** den Intensitätsverlauf des vierten Linienscans der **Fig. 10a** repräsentiert;

**Fig. 11** einen alternativen Verlauf des dritten und des vierten Linienscans präsentiert;

**Fig. 12** eine Ausrichtungsmarkierung zeigt, die gegenüber den Richtungen des ersten und des zweiten Linienscans verdreht ist;

**Fig. 13** einen dritten und einen vierten Linienscan in einem Startbereich um eine Abschätzung eines Referenzpunktes der Ausrichtungsmarkierung angibt, so dass mit Hilfe der ersten beiden Linienscans der **Fig. 12** und dem dritten und vierten Linienscan der Referenzpunkt für eine Ausrichtungsmarkierung ermittelt werden kann;

**Fig. 14** eine Ausrichtungsmarkierung angibt, die in einem mehrdeutigen Bereich eines Maskensubstrats angeordnet ist, sowie einen ersten und einen zweiten Linienscan darstellt;

**Fig. 15** einen dritten und vierten Linienscan zum Auflösen der Mehrdeutigkeit der **Fig. 14** veranschaulicht;

**Fig. 16** einen fünften und sechsten Linienscan zum Auflösen der Mehrdeutigkeit der **Fig. 14** repräsentiert;

**Fig. 17** das Zentrum der Ausrichtungsmarkierung der **Fig. 9a**, **Fig. 10a**, **Fig. 11**, **Fig. 12** und **Fig. 13** im Bild eines Rasterelektronenmikroskops zeigt;

**Fig. 18** die Scanbereiche des Rasterelektronenmikroskops zum Bestimmen des Referenzpunktes der Ausrichtungsmarkierung darstellt; und

**Fig. 19** mögliche Scans des Rasterelektronenmikroskops zum Verfeinern der Bestimmung des Referenzpunktes der Ausrichtungsmarkierung angibt.

#### Detaillierte Beschreibung bevorzugter Ausführungsbeispiele

**[0047]** Im Folgenden werden derzeit bevorzugte Ausführungsformen des erfindungsgemäßen Verfahrens und der erfindungsgemäßen Vorrichtung genauer erläutert. Diese werden am Beispiel des Ausrichtens transmissiver photolithographischer Masken ausgeführt. Das erfindungsgemäße Verfahren und die erfindungsgemäße Vorrichtung sind jedoch nicht

auf die Anwendung transmissiver Fotomasken eingeschränkt. Vielmehr können diese ebenfalls zum automatisierten Bestimmen von Referenzpunkten reflektiver Masken etwa von EUV-Masken eingesetzt werden.

**[0048]** Ferner kann das erfindungsgemäße Verfahren allgemein zum automatisierten Bestimmen von Referenzmarkierungen oder Ausrichtungsmarkierungen benutzt werden. Insbesondere ist es beispielsweise mit dem definierten Verfahren möglich, Referenzmarkierungen auf Wafern in automatisierter Form zu bestimmen, um zum Beispiel einen Scanner oder einen Stepper für eine Belichtung des Wafers bezüglich dieser Markierungen auszurichten.

**[0049]** Das Bild **400** der **Fig. 4** zeigt eine schematische Darstellung der Aufsicht auf ein Substrat **505** einer photolithographischen Maske, einer Fotomaske oder kurz einer Maske **510**. Das Substrat **505** ist derzeit bevorzugt ein Quarzsubstrat. Andere Materialien können ebenfalls zum Herstellen eines Substrats eingesetzt werden wie etwa ultra low expansion Glas (z.B. ULE®), low thermal expansion Glas, bzw. Glaskeramik (z.B. Ceran® oder LTEM®) oder andere geeignete Materialien mit einem niedrigen thermischen Ausdehnungskoeffizienten. Derzeit werden häufig quadratische Fotomasken mit einer Abmessung von 6 Zoll eingesetzt. Das nachstehend beschriebene Verfahren kann selbstverständlich zum Ausrichten von Fotomasken unterschiedlicher Größe genutzt werden.

**[0050]** Das Substrat **505** der quadratischen Maske **510** weist in der Nähe der vier Ecken Referenzmarkierungen oder Ausrichtungsmarkierungen **515**, **520**, **525** und **530** in Form von Kreuzen auf. Die hier dargestellten Ausrichtungsmarkierungen in Kreuzform sind lediglich beispielhaft. Das in dieser Anmeldung präsentierte Verfahren kann für alle derzeit üblichen Referenzmarkierungen zum Ausrichten von Fotomasken eingesetzt werden. Neben Kreuzen, die häufig noch weitere Elemente wie etwa Quadrate umfassen, werden derzeit ebenfalls häufig Winkel als Ausrichtungsmarkierungen benutzt, die an den vier Ecken des Substrats **505** der Maske **510** angeordnet sind (in der **Fig. 4** nicht dargestellt).

**[0051]** Das hier präsentierte Verfahren ist von der Form der Ausrichtungsmarkierung unabhängig, solange diese in zwei Richtungen, die nicht kollinear sind, Elemente aufweist, die eine makroskopische Ausdehnung aufweisen. So liegt typischerweise die Länge der Balken der Kreuze oder der Elemente der Ausrichtungsmarkierungen **515**, **520**, **525** und **530** des Substrats **504** im Bereich von Millimetern. Deren Breite beträgt hingegen lediglich einige Mikrometer.

**[0052]** Eine Ausrichtungsmarkierung **515**, **520**, **525**, **530** kann zum Beispiel in Form eines Absorberele-

ments auf das Substrat **505** der Maske **510** aufgebracht werden. Alternativ ist es ebenfalls möglich, eine Ausrichtungsmarkierung in einen Bereich der Maske **510** zu ätzen, dessen Substrat **505** mit einem Absorbiermaterial, wie etwa Chrom, bedeckt ist. Diese Ausführungsformen weisen bei der Abtastung mit einem Rasterelektronenmikroskop und/oder mit einem Focussed Ion Beam Mikroskop neben einem Materialkontrast auch einen Topologiekontrastanteil auf. Zudem ist es möglich, die Ausrichtungsmarkierungen **515**, **520**, **525** und **530** in das Substrat **505** der Maske **510** zu ätzen. Für dieses Ausführungsbeispiel einer Ausrichtungsmarkierung weist das Bild eines Rasterelektronenmikroskops oder eines Focussed Ion Beam Mikroskops lediglich einen Topologiekontrast auf.

**[0053]** Die **Fig. 5** gibt schematisch einen Überblick über die Teile einer Vorrichtung **500** zum automatisierten Bestimmen eines Referenzpunktes einer Ausrichtungsmarkierung **515**, **520**, **525** und **530**. Der untere Teil der **Fig. 5** zeigt einen Schnitt durch das Substrat **505** der Fotomaske **510** der **Fig. 4** im Bereich der Ausrichtungsmarkierungen **525** und **530**. Die erste Vorrichtung **550** ist dafür ausgelegt, Linienscans in den Bereichen des Substrats **505** durchzuführen, in denen die Ausrichtungsmarkierungen **525** und **530** angebracht sind. Für den nachfolgenden Maskenreparaturprozess kann das Auffinden einer der Ausrichtungsmarkierungen **525** oder **530** bzw. **515** oder **520** ausreichend sein. Häufig werden jedoch zumindest zwei der Ausrichtungsmarkierungen **515**, **520**, **525** und **530** untersucht, um neben einer Verschiebung auch eine mögliche Verdrehung des Substrats **505** der Maske **510** zu ermitteln. Ferner können mehr als zwei Ausrichtungsmarkierungen **515**, **520**, **525** und **530** analysiert werden, um Effekte höherer Ordnung für die nachfolgende Maskenreparatur zu berücksichtigen.

**[0054]** Die Messdaten der Linienscans gibt die erste Vorrichtung **550** über die Verbindung **555** an die Rechen- oder Kontrolleinheit **570** weiter. Die Rechen- oder Kontrolleinheit **570** kann beispielsweise in Form eines Mikroprozessors oder in Form eines Computersystems ausgeführt sein. In dem in der **Fig. 5** dargestellten Beispiel ermittelt die Rechen- oder Kontrolleinheit **570** aus den Daten der Linienscans eine Abschätzung für einen Referenzpunkt der Ausrichtungsmarkierung **525** oder **530**. Mit dieser Abschätzung steuert die Recheneinheit **570** über die Verbindung **565** die zweite Vorrichtung **560**, die mit einer höheren Auflösung als die erste Vorrichtung **550** arbeitet, so dass die zweite Vorrichtung **560** einen Bereich um den abgeschätzten Referenzpunkt der Ausrichtungsmarkierung **525**, **530** - oder den Zielbereich - abtastet. Aus den Messdaten der zweiten Vorrichtung **560**, die der Recheneinheit **570** wiederum über die Verbindung **565** übermittelt werden, bestimmt die Rechen-

einheit **570** den Referenzpunkt der Ausrichtungsmarkierung **525** oder **530**.

**[0055]** Die **Fig. 6** zeigt schematisch ein Beispiel der ersten Vorrichtung **550** der **Fig. 5** zum Durchführen von Linienscans. In dem Beispiel der **Fig. 6** ist schematisch ein konfokales spektroskopisches Reflektometer **600** dargestellt. Dieses Messgerät ist nur ein Beispiel einer Klasse von Messgeräten, die zum Auffinden der Elemente einer Ausrichtungsmarkierung verwendet werden können. Allgemein kann ein Profilometer eingesetzt werden, d.h. ein Messgerät zur zwei- oder dreidimensionalen Vermessung mikroskopischer oder submikroskopischer Oberflächentopographien. Neben einem taktil arbeitenden Gerät, das beispielsweise die Oberfläche des Substrats **505** mit einer Diamantnadel abtastet, können auch Profilometer eingesetzt werden, die mit optischen Methoden (wie etwa Laser-Profilometrie oder Weißlichtinterferometrie) arbeiten und damit berührungslos die Oberfläche scannen.

**[0056]** Das Substrat **505** der Fotomaske **510**, das die Ausrichtungsmarkierungen **515**, **520**, **525** und **530** aufweist, ist auf einem Probenstisch **605** aufgebracht. Der Probenstisch **605** kann von einer Scaneinheit **680** in definierter Weise in einer Ebene (x-/y-Ebene) bewegt werden. Zum Bewegen des Probenstisches **605** können beispielsweise Mikromanipulatoren oder Servomotoren eingesetzt werden (in der **Fig. 6** nicht gezeigt). Die Auflösung der Bewegung der Scaneinheit **680** in x- und y-Richtung sollte im Bereich von einem Mikrometer liegen. Anstatt des Probenstisches **605** kann die Scaneinheit **680** bei einer ortsfesten Fotomaske **510** alternativ das konfokale spektroskopische Reflektometer **600** über die Oberfläche der Fotomaske **510** scannen. Ferner ist eine kombinierte Bewegung Fotomaske **510** und des Reflektometers **600** möglich.

**[0057]** Eine Weißlichtquelle **620** des konfokalen spektroskopischen Reflektometers **600** wird durch eine Lichtleitfaser **625** und die Blende **630** auf eine Linse oder ein Linsensystem **640** gerichtet, das nicht farbkompensiert und somit dispersiv ist. In dem in der **Fig. 6** dargestellten Beispiel fokussiert das Linsensystem **640** den blauen Anteil **650** der Weißlichtquelle **620** vor der Oberfläche des Substrats **505** der Maske **510**. Andererseits liegt der Brennpunkt des Linsensystems **640** aufgrund der Dispersion für den roten Anteil **660** des weißen Lichts der Weißlichtquelle **620** hinter der Oberfläche des Maskensubstrats **505**. Der Abstand der Austrittslinse des konfokalen spektroskopischen Reflektometers **600** vom Substrat **505** der Maske **510** ist in dem in der **Fig. 6** dargestellten Beispiel gerade so eingestellt, dass der grüne Wellenlängenanteil **655** der Weißlichtquelle **620** auf die Oberfläche des Maskensubstrats **505** fokussiert wird. Die Oberfläche des Maskensubstrats **505** reflektiert einen bestimmten Anteil des grünen Lichts **655** zu-

rück in das Linsensystem **640**. Über einen semitransparenten Strahlteiler **635** wird das reflektierte Licht auf die Blende **665** abgebildet und gelangt von dort direkt oder wie in der **Fig. 6** gezeigt mit Hilfe eines Lichtleiters **670** in das Spektrometer **675**. Das Spektrometer **675** analysiert das von dem Maskensubstrat **505** reflektierte Licht spektral.

**[0058]** Fällt nun bei einer Bewegung des Probenstisches **605** das Licht der Weißlichtquelle **620** auf die Ausrichtungsmarkierung **530**, so ändert dies aufgrund einer Stufe im Höhenprofil der Oberfläche des Substrats **505** die Fokusbedingung. Zudem weist in der Regel die Ausrichtungsmarkierung **530** (beispielsweise Chrom) ein anderes Material auf als ihre Umgebung (z. B. Quarz). Die beiden verschiedenen Materialien weisen in der Regel eine unterschiedliche Reflektivität auf. Weist die Ausrichtungsmarkierung **530** eine Vertiefung auf, so verschiebt diese den Fokus in Richtung des roten Bereichs des Wellenlängenspektrums der Weißlichtquelle **620**. Das Spektrometer **675** detektiert eine spektrale Verschiebung des von der Ausrichtungsmarkierung **530** reflektierten Lichts zu längeren Wellenlängen. Ist hingegen die Ausrichtungsmarkierung in Form einer Absorberstruktur auf das Maskensubstrat aufgebracht, so verschiebt das Auftreffen des weißen Lichts auf die Ausrichtungsmarkierung **530** das von dem Spektrometer **675** detektierte reflektierte Licht zum blauen Ende des Spektrums der Weißlichtquelle **620**. Wird mit dem Spektrometer **675** nur ein kleiner Wellenlängenbereich um die Fokusbedingung auf dem Substrat **505** der Maske **510** betrachtet (d.h. des grünen Wellenlängenanteils **655** im Beispiel der **Fig. 6**), so führt das Auftreffen des Lichts der Weißlichtquelle **620** auf die Ausrichtungsmarkierung **530** für beide beispielhafte Ausführungsformen zu einer Abnahme der Intensität des reflektierten Lichts in dem betrachteten Wellenlängenbereich.

**[0059]** Die Auflösung eines konfokalen spektroskopischen Reflektometers **600** zum Bestimmen der Topologie einer Oberfläche reicht bis in den einstelligen Nanometerbereich und ist damit für das Auffinden einer Ausrichtungsmarkierung mehr als ausreichend.

**[0060]** Die laterale Auflösung des konfokalen spektroskopischen Reflektometers **600** hängt vom Durchmesser der Blenden **630** und **665** ab und reicht in den einstelligen Mikrometerbereich. Wie bereits oben erwähnt, weisen die Elemente der Ausrichtungsmarkierung **530** eine Breite im Bereich einiger Mikrometer auf. Dadurch können konfokale spektroskopische Reflektometer gängige Ausrichtungsmarkierungen detektieren.

**[0061]** Die **Fig. 7** zeigt, wie durch die Wahl des Abstandes zwischen dem konfokalen spektroskopischen Reflektometer **600** und der Oberfläche des Maskensubstrats **505** und damit der Wahl der Farbe



des Lichts der Weißlichtquelle **620** im Fokus auf der Substratoberfläche, das Reflektivitätsverhältnis der Oberfläche des Substrats zur Oberfläche der Ausrichtungsmarkierung **530** eingestellt werden kann. Damit kann in Abhängigkeit des Materials des Maskensubstrats **505** und der Ausrichtungsmarkierung **530** und/oder der Topologie des Übergangs vom Substrat **505** zur Ausrichtungsmarkierung **530** der zum Messen eingesetzte Wellenlängenbereich der Weißlichtquelle **620** ausgewählt werden.

**[0062]** Der Abstand zwischen der Oberfläche des Maskensubstrats **505** und konfokalem spektroskopischen Reflektometer **600** beträgt in dem Beispiel der **Fig. 7** ungefähr 15 mm. Durch Ändern des Abstandes um etwa 1,3 mm kann das Reflektivitätsverhältnis um mehr als einen Faktor zwei verbessert werden. Damit einher geht eine entsprechende Verbesserung des Signal-zu-Rauschverhältnisses des Ausgangssignals des Spektrometers **675** der **Fig. 6**. Für das in der **Fig. 7** dargestellte Beispiel für einen Übergang von dem Maskensubstrat **505** auf die Ausrichtungsmarkierung **530** verbessert das Verschieben des benutzten Wellenlängenbereichs in den roten Teil des weißen Lichts der Weißlichtquelle **620** das Reflektivitätsverhältnis um etwa einen Faktor zwei.

**[0063]** Die **Fig. 8** repräsentiert Intensitätsverteilungen dreier Übergänge von einem Absorbermaterial - in dem in der **Fig. 8** dargestellten Beispiel ist dies Chrom - auf das Substrat **505**, im dargestellten Beispiel ist dies Quarz. In dem Beispiel der **Fig. 8**, wie auch in den nachstehend diskutierten Beispielen, wurde die Ausrichtungsmarkierung **530** in das Absorbermaterial auf dem Substrat **505** der Maske **510** geätzt. Die Dicke der Absorberschicht beträgt ungefähr 70 nm und die Breite der Elemente oder der Balken der Ausrichtungsmarkierung **530** liegt im Bereich von ungefähr 5 µm.

**[0064]** In dem Beispiel der **Fig. 8** ist nicht der Übergang Substrat **505** - Ausrichtungsmarkierung **530** - Substrat **505** wiedergegeben, sondern vielmehr ein Übergang von Absorbermaterial auf einen breiten Bereich des vom Absorber befreiten Substrats. Die rechte Kurve der **Fig. 8** zeigt die Intensitätsänderung des reflektierten Lichts, wenn der Fokus des roten Anteils **660** des Lichts der Weißlichtquelle **620** auf der Oberfläche des Maskensubstrats **505** lag. Entsprechend zeigen die mittlere und die linke Kurve den Intensitätsverlauf des Topologiesprungs und des Materialübergangs von der Substratoberfläche auf das Niveau der Ausrichtungsmarkierung **530**, wenn der Fokus des grünen Anteils **655** bzw. des blauen Anteils **650** auf der Oberfläche des Substrats **505** der Maske **510** lag. Von der rechten Kurve bis zur linken Kurve der **Fig. 8** wurde der Abstand zwischen dem konfokalen spektroskopischen Reflektometer **600** und der Oberfläche des Substrats **505** um 1,2 mm verringert.

**[0065]** Aus den Kurven der **Fig. 8** ist zu entnehmen, dass die Steigung bzw. der Abfall der drei Kurven im Wesentlichen unabhängig vom verwendeten Wellenlängenbereich der Weißlichtquelle **620** ist. Dieser Sachverhalt hat den großen Vorzug, dass das konfokale spektroskopische Reflektometer **600** ohne vorhergehende aufwändige Fokussierung zum Auffinden der Ausrichtungsmarkierung **530** eingesetzt werden kann. Dadurch wird die Identifizierung der Ausrichtungsmarkierung **530** signifikant beschleunigt. Die laterale Auflösung des eingesetzten konfokalen spektroskopischen Reflektometers **600** (80% - 20 % Definition) liegt im Bereich von 8 µm.

**[0066]** Wieder mit Bezug auf die **Fig. 6**, die Weißlichtquelle **620** wie auch das Spektrometer **675** sind mit der Rechen- oder Kontrolleinheit **570** verbunden. Die Rechen- oder Kontrolleinheit **570** kann sowohl die Weißlichtquelle **620** wie auch das Spektrometer **675** steuern bzw. regeln. Ferner erhält die Recheneinheit **570** vom Spektrometer **675** die gemessenen spektralen Intensitätsverteilungen. Darüber hinaus ist die Scaneinheit **680** ebenfalls mit der Rechen- oder Kontrolleinheit **570** verbunden und kann damit die Linienscans der Weißlichtquelle **620** des konfokalen spektroskopischen Reflektometers **600** steuern.

**[0067]** Die **Fig. 9a** präsentiert einen vergrößerten Ausschnitt **900** der Aufsicht auf das Substrat **505** der Maske **510** der **Fig. 5**, der die Ausrichtungsmarkierung **530** enthält. Wie bereits oben erwähnt, hat die Ausrichtungsmarkierung **530** die Form eines Kreuzes mit einem ersten horizontalen Element **905** und einem zweiten vertikalen Element **910**. Die Längen des ersten **905** und des zweiten Elements **910** liegen in der Größenordnung von einem Millimeter. Das Zentrum **915** der Ausrichtungsmarkierung **530** der **Fig. 9a** ist in der **Fig. 9b** links oben nochmals vergrößert dargestellt. Die Breite **917** des ersten **905** und des zweiten Elements **910** liegen im diskutierten Beispiel bei ungefähr 5 µm. Das linke obere Eck der Kreuzung des ersten **905** und des zweiten Elements **910** der Ausrichtungsmarkierung **530** markiert im Beispiel der **Fig. 9** den Referenzpunkt **920** der Ausrichtungsmarkierung **530**.

**[0068]** Die gestrichelte horizontale Linie der **Fig. 9a** bezeichnet den ersten Linienscan **940** des konfokalen spektroskopischen Reflektometers **600**. Die **Fig. 9c** stellt schematisch den während des ersten Linienscans **940** von dem Spektrometer **675** des konfokalen spektroskopischen Reflektometers **600** detektierten Intensitätsverlauf in normierter Form dar. Wenn der Lichtstrahl der Weißlichtquelle **620** des Reflektometers **600** auf das zweite Element **910** der Ausrichtungsmarkierung **530** trifft, ändert sich die Intensität des reflektierten Lichts hauptsächlich aufgrund des Materialunterschieds zwischen der Ausrichtungsmarkierung **530** und dem Substrat sowie aufgrund der durch das zweite Element **910** der Ab-

sorbermarkierung **530** geänderten Fokusbedingung. Der letzte Effekt hängt entscheidend von der Dicke der Absorbermarkierung **530** ab und ist für dünne Absorbermarkierungen ( $< 100$  nm) klein gegenüber dem Effekt des Materialunterschieds. Das Spektrometer **675** registriert dies durch einen Einbruch der Intensität in dem Wellenlängenbereich, der die Fokusbedingung für die Oberfläche des Maskensubstrats **505** erfüllt.

**[0069]** Nachdem der erste Linienscan **940** seine vorbestimmte Länge erreicht hat, wird in dem in der **Fig. 9** dargestellten Beispiel vom Endpunkt des ersten Linienscans **940** ausgehend unter einem Winkel von  $90^\circ$  ein zweiter Linienscan **960** durchgeführt. In dem in der **Fig. 9** dargestellten Beispiel trifft der zweite Linienscan **960** entlang seines vorgegebenen Weges auf das erste Element **905** der Ausrichtungsmarkierung **530**. Die **Fig. 9d** veranschaulicht den entlang des Weges gemessenen normierten Intensitätsverlauf während des zweiten Linienscans **960**.

**[0070]** Das Spektrometer **675** des Reflektometers **600** übermittelt die detektierten Intensitätsverläufe des ersten **940** und des zweiten Linienscans **960** an die Rechen- oder Kontrolleinheit **570**. Diese ermittelt aus diesen Daten eine erste Abschätzung für den Referenzpunkt **920** der Ausrichtungsmarkierung **530**.

**[0071]** Falls der erste Linienscan **940** entlang seines vorgegebenen Pfades das zweite Element **905** der Ausrichtungsmarkierung **530** nicht trifft, verschiebt die Recheneinheit **570** das Substrat **505** mit Hilfe der Scaneinheit **680** nach einem wählbaren Algorithmus, um einen einstellbaren Betrag in horizontaler Richtung oder in vertikaler Richtung oder in horizontaler und vertikaler Richtung. Sodann wird der erste Linienscan **940** wiederholt. Für den Fall, dass der erste Linienscan **940** das zweite Element **910** der Ausrichtungsmarkierung **530** findet, der zweite Linienscan **960** entlang seines Pfades jedoch nicht auf das erste Element **905** der Ausrichtungsmarkierung **530** trifft, verschiebt die Rechen- oder Kontrolleinheit **570** den Pfad des zweiten Linienscans **960** in vertikaler Richtung um eine vorgegebene Strecke und veranlasst ein Wiederholen des zweiten Linienscans **960**.

**[0072]** Zum Abschätzen des Referenzpunktes **920** der Ausrichtungsmarkierung **530** ist es nicht notwendig, dass der erste **940** und der zweite Linienscan **960** einen rechten Winkel zueinander aufweisen. Vielmehr erfordert das vorgestellte Verfahren lediglich, dass die beiden Linienscans **940** und **960** nicht parallel zu einander sind. Allerdings ist es für die Genauigkeit der Bestimmung des Referenzpunktes der Ausrichtungsmarkierung günstig, die Richtungen der beiden Linienscans **940** und **960** an die Symmetrie der Ausrichtungsmarkierung anzupassen. Ferner ist es nicht notwendig, dass die Linienscans **940** und **960** entlang einer geraden Linie verlaufen. Vielmehr kön-

nen die Linienscans **940** und **960** gekrümmten Bahnen folgen. Insbesondere ist es denkbar, die beiden Linienscans **940**, **960** als einen Halbkreis auszuführen.

**[0073]** Bei Bedarf kann die Abschätzung des Referenzpunktes **920** der Ausrichtungsmarkierung **530** durch weitere Linienscans verfeinert werden. Dazu ermittelt die Rechen- oder Kontrolleinheit **960** einen Zwischenbereich **1050**, der in der **Fig. 10a** dargestellt ist. Der Zwischenbereich **1050** liegt innerhalb des Bereichs der ersten beiden Linienscans **940** und **960** oder eines Startbereichs. Entlang des unteren horizontalen Randes des Zwischenbereichs **1050** führt das konfokale spektroskopische Reflektometer **600** einen dritten Linienscan **1040** durch. Die **Fig. 10b** veranschaulicht den Intensitätsverlauf entlang des dritten Linienscans **1040**. Sodann führt das Reflektometer **600** entlang des rechten vertikalen Randes des Zwischenbereichs **1050** einen vierten Linienscan **1060** durch. Die während des vierten Linienscans **1060** von dem Spektrometer **675** des Reflektometers **600** detektierte reflektierte Intensität ist in normierter Form in der **Fig. 10c** dargestellt. Die Auswertung der durch die Linienscans **1040** und **1060** aufgenommenen Messdaten erfolgt wie oben im Zusammenhang der Diskussion der **Fig. 9** beschrieben.

**[0074]** Wenn die Genauigkeit der Abschätzung des Referenzpunktes **920** der Ausrichtungsmarkierung **530** für den Einsatz der zweiten Vorrichtung **560** der **Fig. 5** ausreichend ist, wird der Referenzpunkt **920** mit Hilfe der zweiten Vorrichtung **560** bestimmt. Falls jedoch die Abschätzung des Referenzpunktes **920** noch immer größer als eine vorgegebene Schwelle ist, kann die Abschätzung des Referenzpunktes **920** durch weitere Linienscans weiter verfeinert (in der **Fig. 10a** nicht dargestellt).

**[0075]** Anstelle des Durchführens des dritten **1040** und des vierten Linienscans **1060** kann die Rechen- oder Kontrolleinheit **570** einen Speicher (in den **Fig. 5** und **Fig. 6** nicht gezeigt) aufweisen, in dem Referenzmarkierungen abgelegt sind. Diese Referenzmarkierungen können mehr Details des ersten **905** und des zweiten Elements **910** der Ausrichtungsmarkierung **530** wiedergeben als der erste **940** und der zweite Linienscan **960** auflösen können und können damit zur Verbesserung der Abschätzung des Referenzpunktes **920** der Ausrichtungsmarkierung **530** herangezogen werden. Ferner ist es möglich, vier **940**, **960**, **1040**, **1060** oder mehr Linienscans zusammen mit gespeicherten Referenzmarkierungen zum verfeinerten Abschätzen des Referenzpunktes **920** der Ausrichtungsmarkierung **530** zu verwenden.

**[0076]** Die Unsicherheit in der Abschätzung des Referenzpunktes **920**, die für den Einsatz der zweiten Vorrichtung **560** ausreichend ist, hängt von der Art der zweiten Vorrichtung **560** der **Fig. 6** und der Grö-

ße ihres Gesichtsfeldes ab. Generell ist eine Abschätzung des Referenzpunktes **920** der Ausrichtungsmarkierung **530** mit einer Halbwertsbreite (FWHM) unterhalb 20 µm ausreichend, um zum Einsatz der ersten Vorrichtung **550** (des konfokalen spektroskopischen Reflektometers **600** in dem Beispiel der **Fig. 6**) zu beenden und mit der zweiten Vorrichtung **560** den Referenzpunkt **920** der Ausrichtungsmarkierung **530** zu bestimmen.

**[0077]** Bei punktsymmetrischen Ausrichtungsmarkierungen, wie der Ausrichtungsmarkierung **530**, kann es günstig sein, den dritten und vierten Linienscan wie in der **Fig. 11** dargestellt durchzuführen. Falls der dritte Linienscan **1140** entlang des oberen horizontalen Randes des Zwischenbereichs **1050** in der angegebenen Richtung ausgeführt wird und der vierte Linienscan **1160** entlang des linken vertikalen Randes des Zwischenbereichs **1050** erfolgt, kann aus den vier Signalen der Linienscans **940**, **960**, **1140** und **1160** des Spektrometers **675** der Referenzpunkt **920** der Ausrichtungsmarkierung **530** mit größerer Genauigkeit ermittelt werden und zudem ist es möglich, eine Drehung der Ausrichtungsmarkierung **530** bezüglich den Richtungen der Linienscans **940**, **960**, **1140** und **1160** bestimmt werden.

**[0078]** Falls die beispielhafte Ausrichtungsmarkierung **1200** mit dem ersten **1205** und dem zweiten Element **1210** gegenüber den Richtungen des ersten **940** und des zweiten Linienscans **960** verdreht ist, liegt der aus den Linienscans **940** und **960** ermittelte Referenzpunkt **1230** weit entfernt von dem tatsächlichen Referenzpunkt **1215** der Ausrichtungsmarkierung **1200**. In diesem Fall kann - wie in der **Fig. 13** schematisch dargestellt - der tatsächliche Referenzpunkt **1215** der Ausrichtungsmarkierung **1200** mit größtmöglicher Genauigkeit bestimmt werden, wenn ein dritter Linienscan **1340** durchgeführt wird, der sich an den zweiten Linienscan **960** anschließt und vorzugsweise in der entgegengesetzten Richtung des ersten Linienscans **940** ausgeführt wird. Schließlich wird ausgehend vom Endpunkt des dritten Linienscans **1340** ein vierter Linienscan **1360** durchgeführt, der - wie in der **Fig. 13** veranschaulicht - vorzugsweise am Startpunkt des ersten Linienscans endet. Der aus den vier Linienscans **940**, **960**, **1340** und **1360** ermittelte Referenzpunkt **1230** liegt bereits nahe dem tatsächlichen Referenzpunkt **1215** der Ausrichtungsmarkierung **1200**.

**[0079]** Bei einer Verdrehung der Ausrichtungsmarkierung **1200** gegenüber den ersten beiden Linienscans **940** und **960** ist es generell günstig, vier Linienscans in dem Startbereich um den abgeschätzten Referenzpunkt einer Ausrichtungsmarkierung herum durchzuführen, wobei der dritte und der vierte Linienscan möglichst nahe der äußeren Begrenzung des Startbereichs ausgeführt werden sollten.

**[0080]** Die **Fig. 14** veranschaulicht beispielhaft eine Referenzmarkierung oder eine Ausrichtungsmarkierung **1480** in Form eines Quadrats, die in eine regelmäßige Anordnung kleinerer Quadrate **1470** eingebettet ist. Damit ist die Anordnung **1400** mehrdeutig, da nach dem ersten **1410** und dem zweiten Linienscan **1420** kein Referenzpunkt für die Ausrichtungsmarkierung **1480** ermittelt werden kann. Selbst nach einem dritten **1530** und einem vierten Linienscan **1540** kann, wie in dem Beispiel der **Fig. 15** dargestellt, noch immer kein Referenzpunkt für die Ausrichtungsmarkierung **1480** der Anordnung **1400** bestimmt werden.

**[0081]** Die systematische Anwendung des definierten Verfahrens zum Bestimmen eines Referenzpunktes einer Ausrichtungsmarkierung führt jedoch, wie in dem in den **Fig. 14** bis **Fig. 16** veranschaulicht, nach dem fünften **1650** und dem sechsten systematischen Linienscan **1660** zur Auflösung der Mehrdeutigkeit der beispielhaften Anordnung **1400**. Somit kann in dem Beispiel der **Fig. 14** bis **Fig. 16** nach insgesamt sechs Linienscans **1410**, **1420**, **1530**, **1530**, **1650** und **1660** eindeutig ein Referenzpunkt für die Ausrichtungsmarkierung **1480** der Anordnung **140** bestimmt werden.

**[0082]** Die **Fig. 17** zeigt das Zentrum **915** sowie das erste Element **905** und das zweite Element **910** der Ausrichtungsmarkierung **530** auf dem Substrat **505** der Fotomaske **510**, das mit der zweiten Vorrichtung **560** aufgenommen wurde. In dem Beispiel des Bildes der **Fig. 17** war die zweite Vorrichtung **560** ein Rasterelektronenmikroskop. Als zweite Vorrichtung **560** kann auch ein Focussed Ion Beam Mikroskop oder ein Lichtmikroskop eingesetzt werden, das Licht aus dem ultravioletten Bereich des elektromagnetischen Spektrums verwendet. Darüber hinaus ist es möglich, als zweite Vorrichtung **560** auch ein Rasterkraftmikroskop (AFM atomic force microscope) bzw. Modifikationen dieses Mikroskoptyps einzusetzen.

**[0083]** Wie bereits erwähnt, ist die Ausrichtungsmarkierung **530** in dem hier diskutierten Beispiel in das Absorbermaterial der Fotomaske **510** geätzt. Aus diesem Grund kann das Rasterelektronenmikroskop einen Topologiekontrast und einen Materialkontrast darstellen, der an den Kanten **1710–1745** des ersten **905** und des zweiten Elements **910** der Ausrichtungsmarkierung **530** zum Substrat **505** der Maske **510** erzeugt wird. Die Interferenzstrukturen der **Fig. 17** ebenso wie der nachfolgenden **Fig. 18** und **Fig. 19** sind Artefakte, die beim Drucken der Bilder erzeugt werden.

**[0084]** In der **Fig. 18** sind die vier Scanbereiche **1810**, **1820**, **1830** und **1840** des Rasterelektronenmikroskops in dem Bereich des Bildes der **Fig. 17** dargestellt, die zum Bestimmen des Referenzpunktes **920** der Ausrichtungsmarkierung **530** eingesetzt

werden. In den einzelnen Scanbereichen **1810**, **1820**, **1830** und **1840** ermittelt das Rasterelektronenmikroskop oder allgemeiner die zweite Vorrichtung **560** den Verlauf der Kanten **1710**, **1720**, **1725** und **1735** des ersten **905** und des zweiten Elements **910** der Ausrichtungsmarkierung **530**. Die Verläufe der Kanten **1710**, **1720**, **1725** und **1735** in den Scanbereichen **1810**, **1820**, **1830** und **1840** überträgt das Rasterelektronenmikroskop an die Rechen- oder Kontrolleinheit **570**. Die Rechen- oder Kontrolleinheit **570** bestimmt aus den Daten der Scanbereiche **1810** und **1830**, d.h. aus den Verläufen der Kanten **1710** und **1725**, die Verbindungslinie **1850** und aus den Daten der Scanbereiche **1820** und **1840** bzw. den Verläufen der Kanten **1720** und **1735** die Verbindungslinie **1860**. Aus dem Schnittpunkt der Verbindungslinien **1850** und **1860** ermittelt die Rechen- und Kontrolleinheit den Referenzpunkt **920** der Ausrichtungsmarkierung **530**.

**[0085]** Bei Bedarf kann die Genauigkeit der Bestimmung des Referenzpunktes **920** der Ausrichtungsmarkierung **530** verbessert werden. Dieser Vorgang ist schematisch in der **Fig. 19** angegeben. Dazu werden die Kanten **1710** und **1725** des ersten Elements **905** der Ausrichtungsmarkierung **530** durch die Scanbereiche **1910** und **1930** über einen längeren Bereich hinweg abgetastet. Ferner werden die Kanten **1720** und **1735** des zweiten Elements **905** der Ausrichtungsmarkierung **530** durch die Scanbereiche **1920** und **1940** ebenfalls über eine größere Strecke gescannt. Den Verlauf der Kanten **1710** und **1725** sowie der Kanten **1720** und **1735** überträgt das Rasterelektronenmikroskop an die Rechen- und Kontrolleinheit **570**. Letztere bestimmt aus diesen Daten die Verbindungslinien **1950** und **1960**, die einen geringeren Messfehler als die Verbindungslinien **1850** und **1860** aufweisen. Damit ermöglicht der in der **Fig. 19** dargestellte Verfeinerungsschritt die Präzision der Bestimmung des Referenzpunktes **920** der Ausrichtungsmarkierung gegenüber der anhand der **Fig. 18** erläuterten Ausführung zu steigern.

**[0086]** Das vorgestellte Verfahren erlaubt es, einen Referenzpunkt einer Ausrichtungsmarkierung eines Substrats einer Fotomaske auch dann ohne manuellen Suchprozess zu bestimmen, wenn die Variation der Ausrichtungsmarkierung von Fotomaske zu Fotomaske in den Bereich von Millimetern reicht.

### Patentansprüche

1. Verfahren zum automatisierten Bestimmen eines Referenzpunktes (920) einer Ausrichtungsmarkierung (515, 520, 525, 530, 1480) auf einem Substrat (505) einer photolithographischen Maske (510), wobei das Verfahren die folgenden Schritte aufweist:  
a. Durchführen eines ersten Linienscans (940, 1410) innerhalb eines Startbereichs des Substrats (505) in einer ersten Richtung auf einer Oberfläche des Sub-

strats (505), wobei die Ausrichtungsmarkierung (515, 520, 525, 530, 1480) innerhalb des Startbereichs angeordnet ist, zum Auffinden eines ersten Elements (910) der Ausrichtungsmarkierung (515, 520, 525, 530, 1480);

b. Durchführen eines zweiten Linienscans (960, 1420) innerhalb des Startbereichs in zumindest einer zweiten Richtung auf der Oberfläche des Substrats (504), welche die erste Richtung schneidet, zum Auffinden eines zweiten Elements (905) der Ausrichtungsmarkierung (515, 520, 525, 530, 1480);

c. Abschätzen des Referenzpunktes (920) der Ausrichtungsmarkierung (515, 520, 525, 530, 1480) aus dem aufgefundenen ersten Element (910) und dem aufgefundenen zweiten Element (905) der Ausrichtungsmarkierung (515, 520, 525, 530, 1480) mittels einer Recheneinheit (570); und

d. Abbilden eines Zielbereichs um den mittels der Recheneinheit (570) abgeschätzten Referenzpunkt (920) der Ausrichtungsmarkierung (515, 520, 525, 530, 1480) herum zum Bestimmen des Referenzpunktes (920) der Ausrichtungsmarkierung (515, 520, 525, 530, 1480), wobei das Abbilden mit einer höheren Auflösung erfolgt als das Durchführen der Linienscans (940, 960) in den Schritten a. und b.

2. Verfahren nach Anspruch 1, ferner die Schritte aufweisend:

e. Durchführen eines dritten (1040, 1140, 1340, 1530) und eines vierten Linienscans (1060, 1160, 1360, 1540) innerhalb eines Zwischenbereiches (1050) um die von der Recheneinheit (570) durchgeführte Abschätzung des Referenzpunktes (920) der Ausrichtungsmarkierung (515, 520, 525, 530, 1480) herum nach dem Schritt c., wobei der Zwischenbereich (1050) kleiner ist als der Startbereich und größer als der Zielbereich;

f. Erneutes Abschätzen des Referenzpunktes (920) der Ausrichtungsmarkierung (515, 520, 525, 530, 1480) aus dem erneuten Auffinden des ersten Elements (910) und des zweiten Elements (905) der Ausrichtungsmarkierung (515, 520, 525, 530, 1480) durch den dritten Linienscan (1040, 1140, 1340) und vierten Linienscan (1060, 1140, 1340) mittels der Recheneinheit (570); und

g. Durchführen des Schritts d. unter Verwendung der erneuten von der Recheneinheit (570) durchgeführten Abschätzung des Referenzpunktes (920).

3. Verfahren nach Anspruch 2, ferner den Schritt aufweisend: Wiederholen der Schritte e. bis f. zum erneuten Abschätzen des Referenzpunktes (920) mittels der Recheneinheit (570) mit einer Positionsungenauigkeit unterhalb einer vorgegebenen Schwelle.

4. Verfahren nach Anspruch 3, wobei die vorgegebene Schwelle 100 µm beträgt.

5. Verfahren nach Anspruch 1, ferner die Schritte aufweisend:

h. Durchführen eines dritten (1040, 1140) und eines vierten Linienscans (1060, 1160) innerhalb des Startbereiches und außerhalb eines Zwischenbereichs (1050) um die von der Recheneinheit (570) durchgeführte Abschätzung des Referenzpunktes (920) der Ausrichtungsmarkierung (515, 520, 525, 530, 1480) herum nach dem Schritt c., wobei der Zwischenbereich (1050) kleiner ist als der Startbereich und größer als der Zielbereich;

i. Erneutes Abschätzen des Referenzpunktes (920) der Ausrichtungsmarkierung (515, 520, 525, 530, 1480) aus dem erneuten Auffinden des ersten Elements (910) und des zweiten Elements (905) der Ausrichtungsmarkierung (515, 520, 525, 530, 1480) durch den dritten Linienscan (1040, 1140) und vierten Linienscan (1040, 1140) mittels der Recheneinheit (570); und

j. Durchführen des Schritts d. unter Verwendung der erneuten von der Recheneinheit (570) durchgeführten Abschätzung des Referenzpunktes (920).

6. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche, wobei der Schritt c. des Verfahrens umfasst: Vergleichen des ersten Linienscans (940, 1410) und des zweiten Linienscans (960, 1420) mit gespeicherten Referenzmarkierungen.

7. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche, wobei das Bestimmen des Referenzpunktes (920) eine Positionsungenauigkeit  $< 10 \mu\text{m}$  aufweist.

8. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche, ferner die Schritte aufweisend:

k. Verschieben des Startbereichs, wenn im Schritt c. kein Referenzpunkt (920) abgeschätzt wird; und

l. Wiederholen der Schritte a., b. und c.

9. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche, wobei das Durchführen des ersten (940, 1410) und des zweiten Linienscans (960, 1420) das Anwenden eines konfokalen spektroskopischen Reflektometers (600) umfasst.

10. Verfahren nach Anspruch 9, wobei das Durchführen des ersten (940, 1410) und des zweiten Linienscans (960, 1420) das Anwenden des konfokalen spektroskopischen Reflektometers (600) ohne vorhergehende Fokussierung umfasst.

11. Verfahren nach Anspruch 9 oder 10, ferner den Schritt aufweisend: Einstellen des Signal-zu-Rauschverhältnisses des ersten (940, 1410) und des zweiten Linienscans (960, 1420) durch den Abstand des Substrats (505) der photolithographischen Maske (510) und einer Austrittslinse (640) des konfokalen spektroskopischen Reflektometers (600).

12. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche, wobei das Abbilden des Zielbereichs das Anwenden eines Rasterelektronenmikroskops und/

oder eines Focussed Ion Beam Mikroskops und/oder eines Lichtmikroskops umfasst.

13. Vorrichtung (500) zum automatisierten Bestimmen eines Referenzpunktes (920) einer Ausrichtungsmarkierung (515, 520, 525, 530, 1480) auf einem Substrat (505) einer photolithographischen Maske (510), aufweisend:

a. zumindest ein Mittel (550, 600) zum Durchführen eines ersten Linienscans (940, 1410) und eines zweiten Linienscans (960, 1420) innerhalb eines Startbereichs des Substrats (505) in einer ersten Richtung auf einer Oberfläche des Substrats (505), wobei die Ausrichtungsmarkierung (515, 520, 525, 530, 1480) innerhalb des Startbereichs angeordnet ist, zum Auffinden eines ersten Elements (910) und eines zweiten Elements (905) der Ausrichtungsmarkierung (515, 520, 525, 530, 1480), wobei das zumindest eine Mittel (550, 600) ein optisches Profilometer umfasst;

b. zumindest ein Mittel (570) zum Abschätzen des Referenzpunktes (920) der Ausrichtungsmarkierung (515, 520, 525, 530, 1480) aus dem ersten (910) und dem zweiten Element (905) der Ausrichtungsmarkierung (515, 520, 525, 530, 1480), wobei das zumindest eine Mittel (570) zum Abschätzen des Referenzpunktes (920) eine Recheneinheit (570) umfasst; und

c. zumindest ein Mittel (560) zum Abbilden eines Zielbereichs um den durch die Recheneinheit (570) abgeschätzten Referenzpunkt (920) der Ausrichtungsmarkierung (515, 520, 525, 530, 1480) herum zum Bestimmen des Referenzpunktes (920) der Ausrichtungsmarkierung (515, 520, 525, 530, 1480), wobei das zumindest eine Mittel (560) zum Abbilden des Zielbereichs eine höhere Auflösung aufweist als das zumindest eine Mittel (550, 600) zum Durchführen des ersten Linienscans (940, 1410) und des zweiten Linienscans (960, 1420).

14. Vorrichtung (500) nach Anspruch 13, wobei das zumindest eine Mittel (550, 600) zum Durchführen eines ersten Linienscans (940, 1410) und eines zweiten Linienscans (960, 1420) eine laterale Ortsauflösung  $< 100 \mu\text{m}$  aufweist.

15. Vorrichtung (500) nach Anspruch 13 oder 14, wobei das zumindest eine Mittel (550, 600) zum Durchführen eines ersten Linienscans (940, 1410) und eines zweiten Linienscans (960, 1420) zumindest ein Mittel zum lokalen Abtasten der Oberfläche des Substrats (505) umfasst.

16. Vorrichtung (500) nach einem der Ansprüche 13-15, wobei das zumindest eine Mittel (550, 600) zum Durchführen eines ersten Linienscans (940, 1410) und eines zweiten Linienscans (960, 1420) umfasst:

d. einen Sensor, der ausgebildet ist fokussierte elektromagnetische Strahlung (650, 655, 660) auf das Substrat (505) zu richten und von dem Substrat

(505) reflektierte und/oder transmittierte elektromagnetische Strahlung zu empfangen;  
 e. eine Scaneinheit (680), die ausgebildet ist den Sensor und/oder das Substrat (505) in einer Ebene senkrecht zu der fokussierten elektromagnetischen Strahlung (650, 655, 660) zu scannen; und  
 f. eine Kontrolleinheit (570), die mit dem Sensor verbunden ist und die ausgebildet ist, aus der von dem Sensor empfangenen elektromagnetischen Strahlung eine lokale Intensitätsverteilung zu bestimmen.

17. Vorrichtung (500) nach Anspruch 16, wobei die Kontrolleinheit (570) ferner mit der Scaneinheit (680) verbunden ist und ausgebildet ist, die Scaneinheit (680) zu steuern oder zu regeln.

18. Vorrichtung (500) nach Anspruch 16 oder 17, wobei die Scaneinheit (680) eine Ortsauflösung  $< 20 \mu\text{m}$  aufweist.

19. Vorrichtung (500) nach einem der Ansprüche 16-18, wobei der Sensor ein konfokales spektroskopisches Reflektometer (600) umfasst.

20. Vorrichtung (500) nach Anspruch 19, wobei der Sensor ausgebildet ist, den ersten (940, 1410) und den zweiten Linienscan (960, 1420) ohne vorhergehende Fokussierung durchführen.

21. Vorrichtung (500) nach Anspruch 19 oder 20, wobei das Signal-zu-Rauschverhältnis des ersten (940, 1410) und des zweiten Linienscans (960, 1420) durch den Abstand des Substrats der photolithographischen Maske (510) und einer Austrittslinse (640) des konfokalen spektroskopischen Reflektometers (600) eingestellt wird.

22. Vorrichtung (500) nach einem der Ansprüche 16-21, wobei das zumindest eine Mittel zum Abbilden des Zielbereichs eine Ortsauflösung  $< 200 \text{ nm}$  aufweist.

23. Vorrichtung (500) nach einem der Ansprüche 16-22, wobei das zumindest eine Mittel zum Abbilden des Zielbereichs (560) ein Rasterelektronenmikroskop und/oder ein Focussed Ion Beam Mikroskop und/oder ein Lichtmikroskop umfasst.

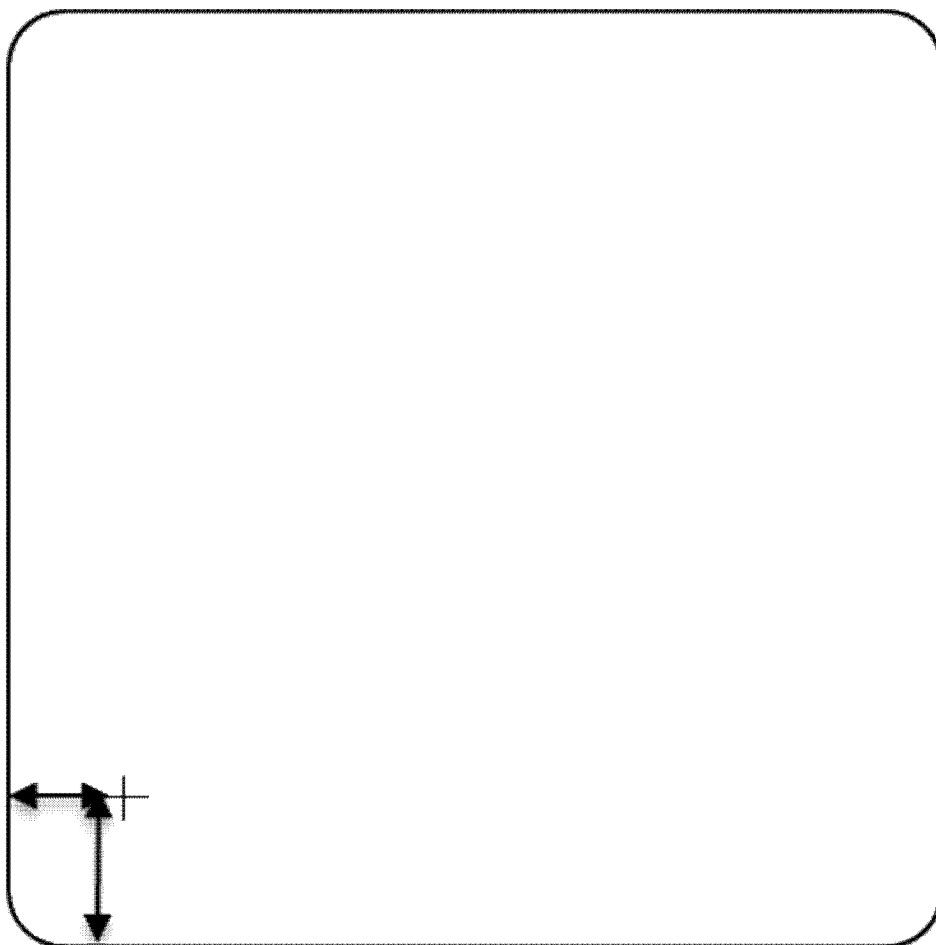
24. Vorrichtung (500) nach einem der Ansprüche 16-23, wobei die Recheneinheit (570) zum Abschätzen des Referenzpunktes (920) der Ausrichtungsmarkierung (515, 520, 525, 530, 1480) einen Prozessor umfasst, der ausgebildet ist aus den aufgefundenen ersten (910) und zweiten Elementen (905) den Referenzpunkt (920) der Ausrichtungsmarkierung (515, 520, 525, 530, 1480) abzuschätzen und/oder aus der Abbildung des Zielbereichs den Referenzpunkt (920) der Ausrichtungsmarkierung (515, 520, 525, 530, 1480) zu bestimmen.

25. Vorrichtung (500) nach einem der Ansprüche 16-24, wobei die Recheneinheit (570) zum Abschätzen des Referenzpunktes (920) der Ausrichtungsmarkierung (515, 520, 525, 530, 1480) einen Speicher umfasst zum Speichern von Referenzmarkierungen (920).

Es folgen 15 Seiten Zeichnungen

Anhängende Zeichnungen

**Fig. 1 (Stand der Technik)**



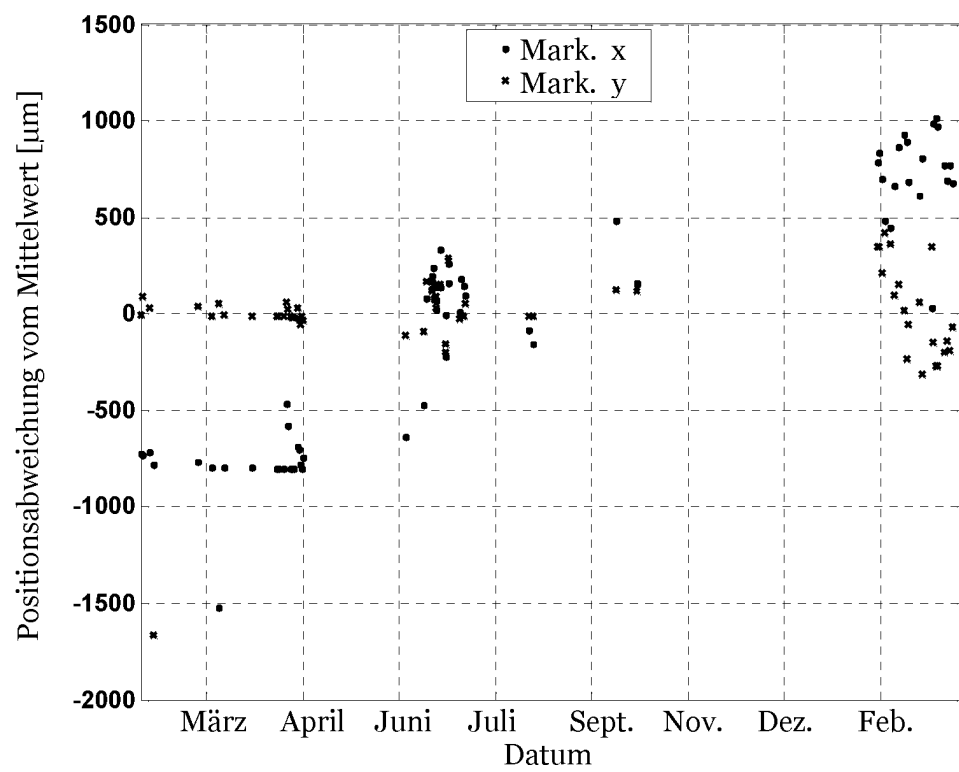
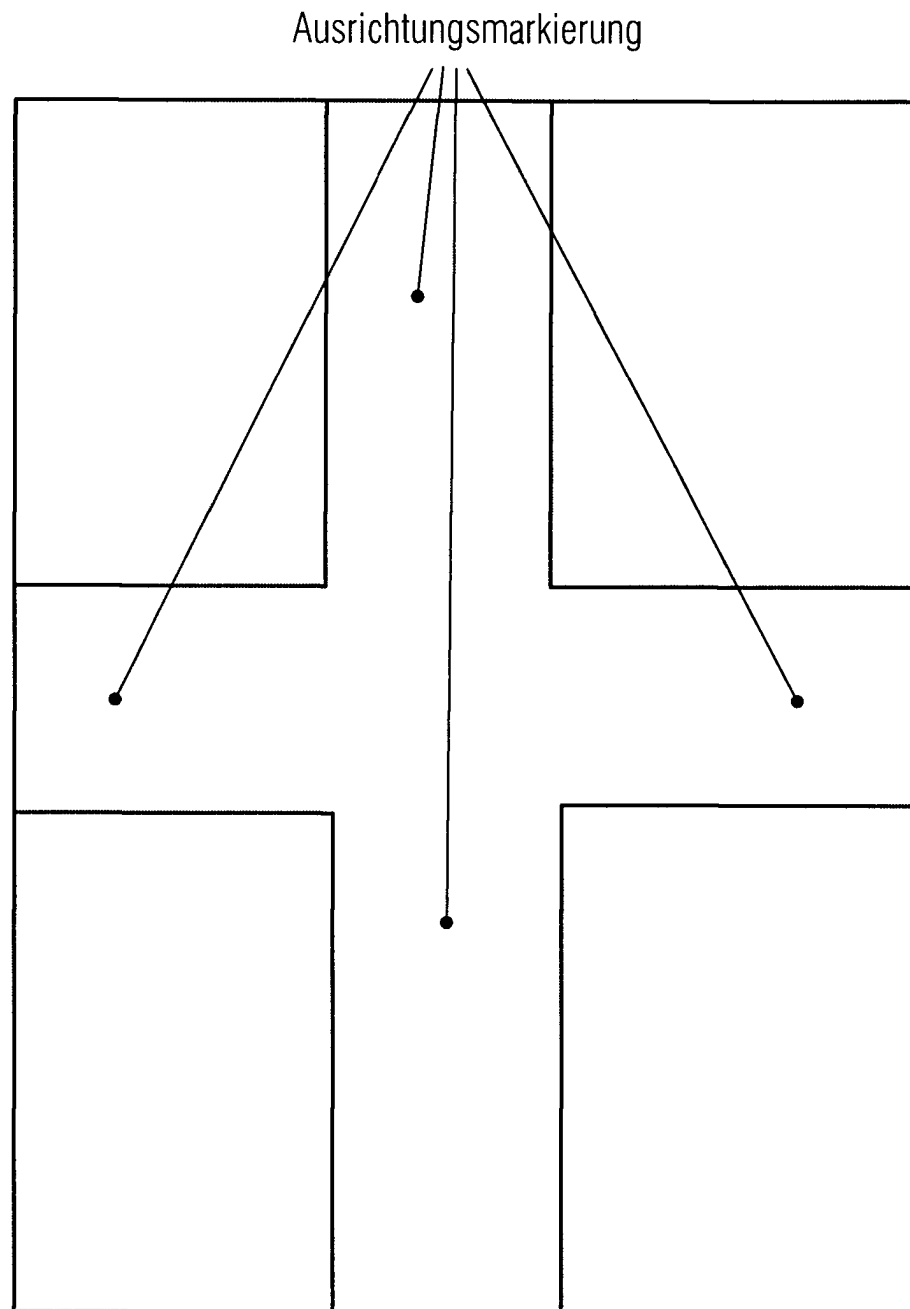
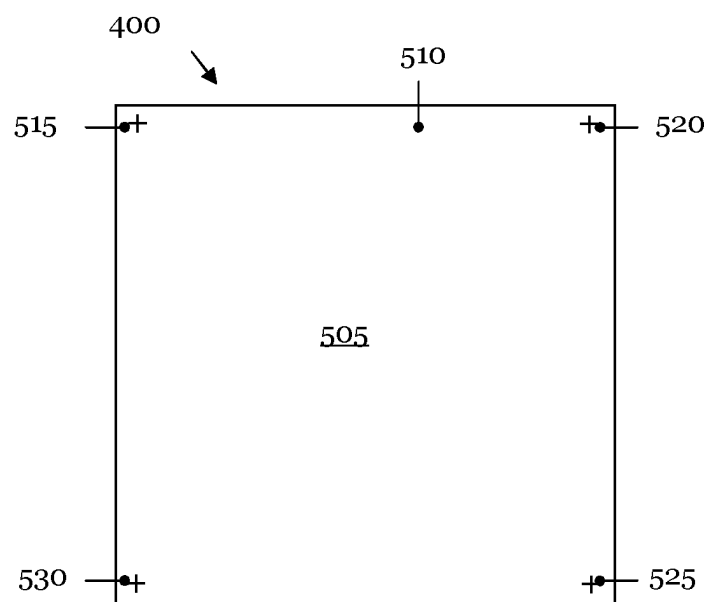
**Fig. 2 (Stand der Technik)**



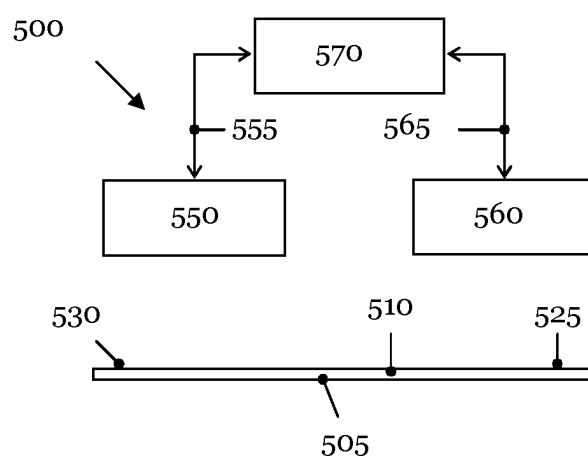
FIG. 3 (Stand der Technik)



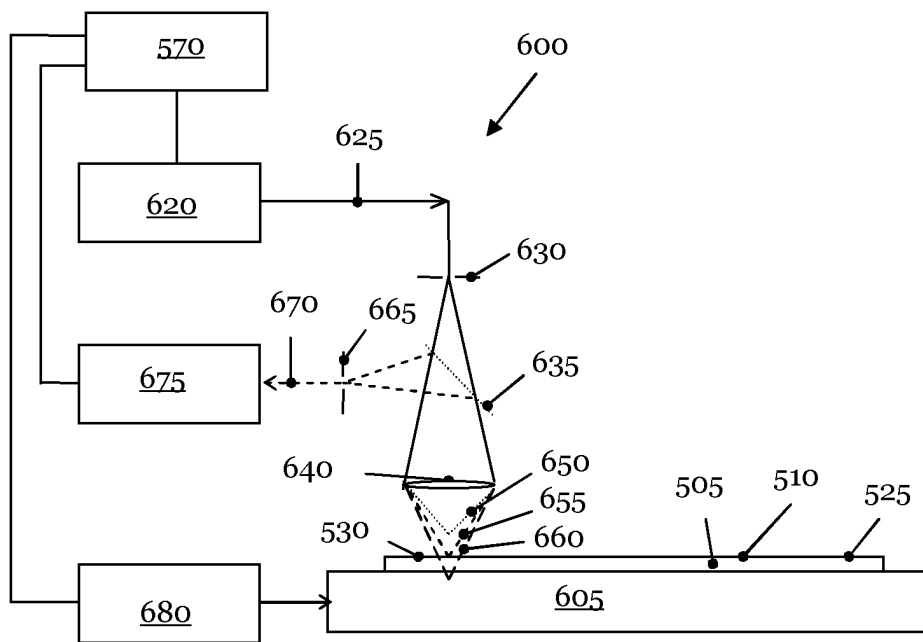
**Fig. 4**

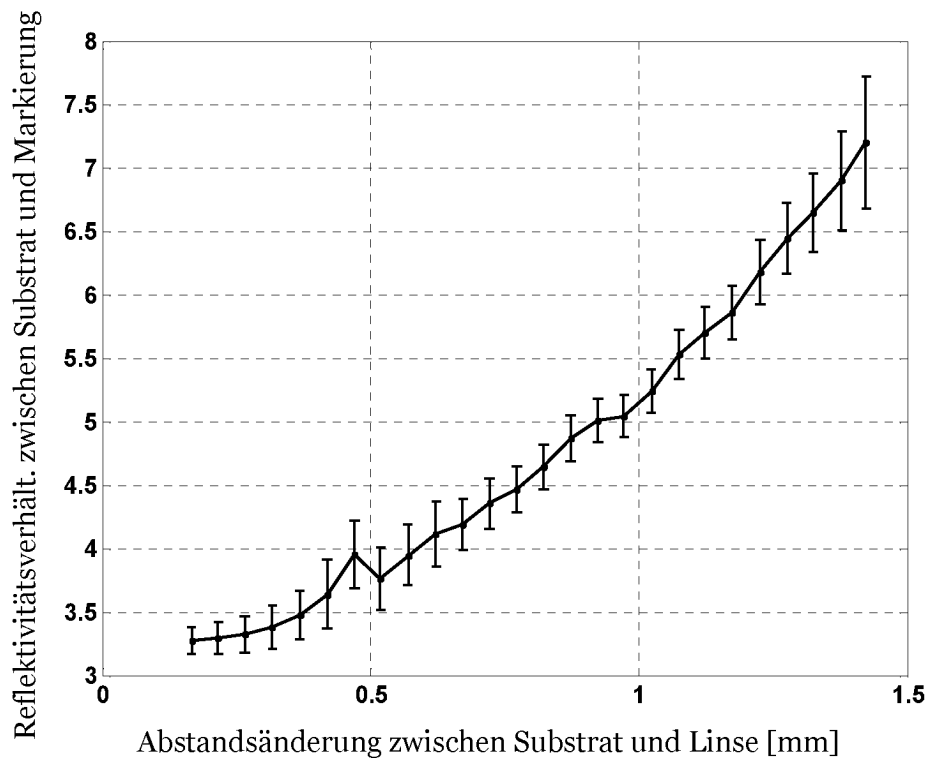
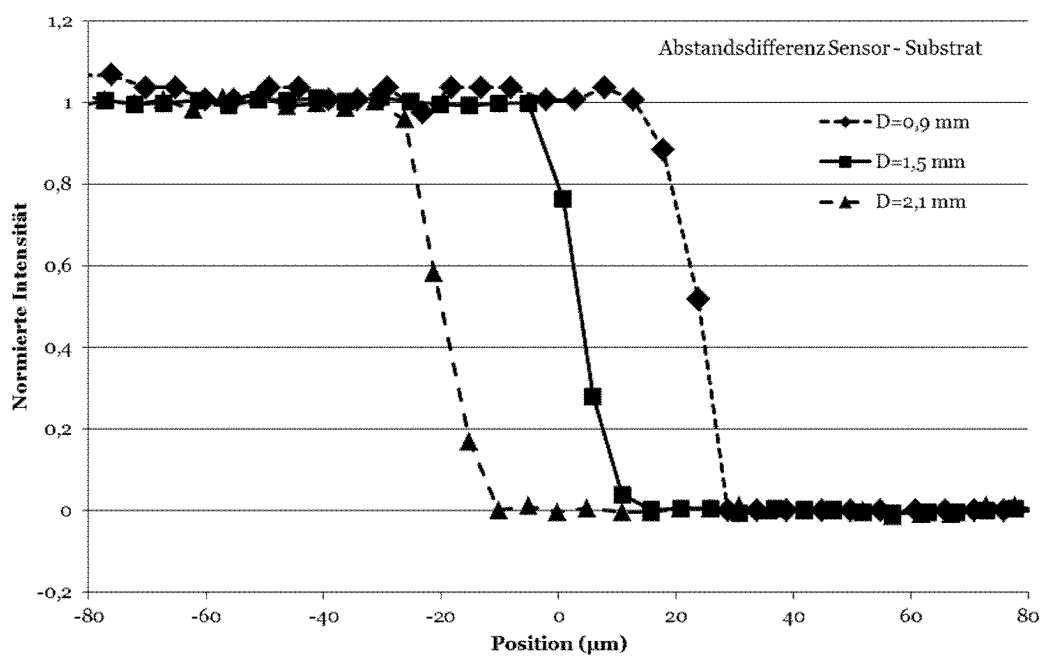


**Fig. 5**

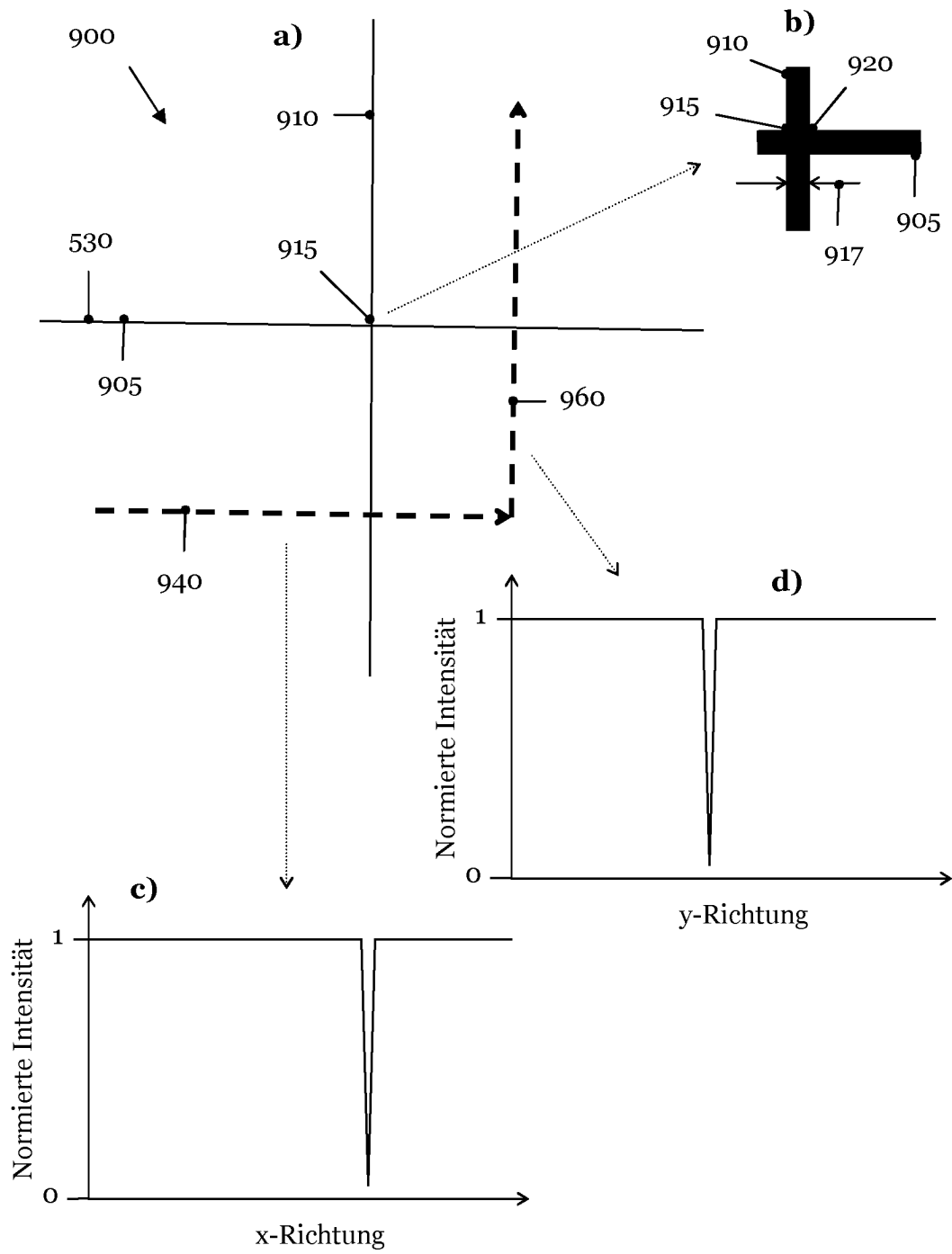


**Fig. 6**



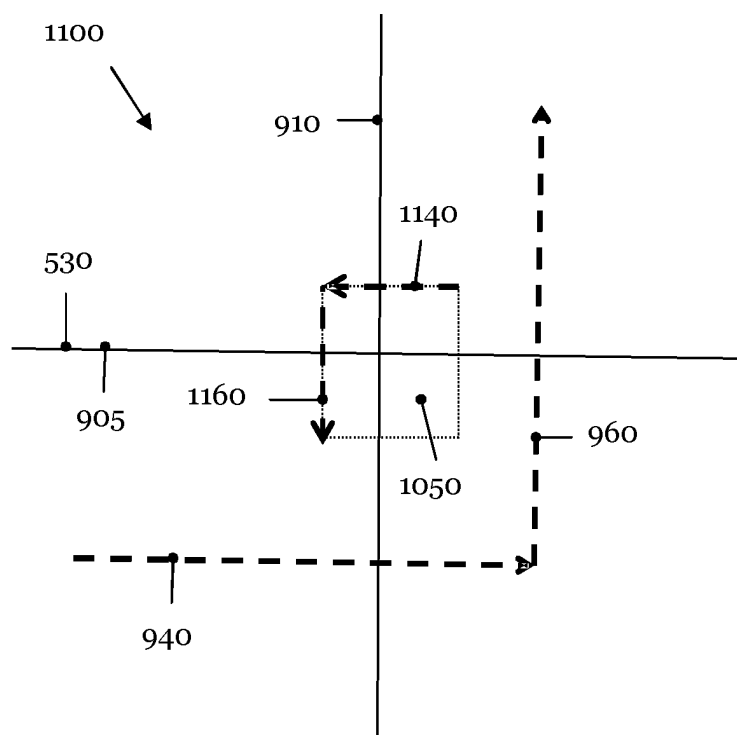
**Fig. 7****Fig. 8**

**Fig. 9**

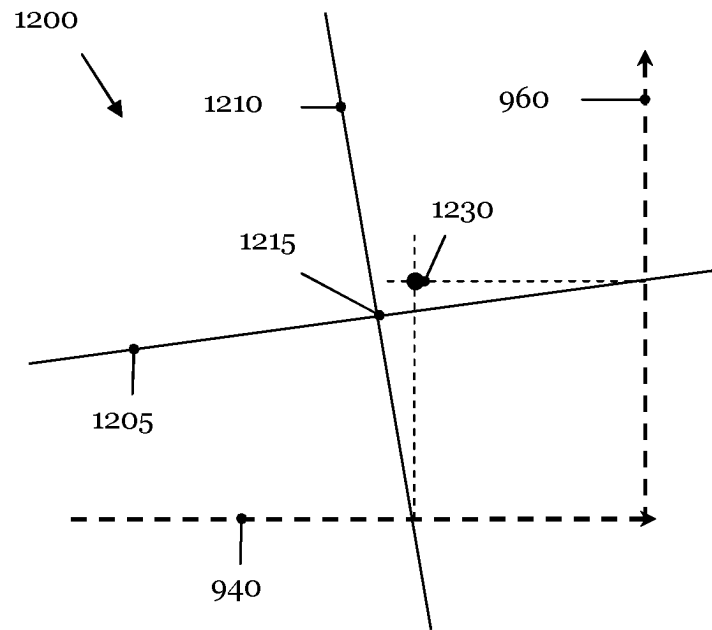




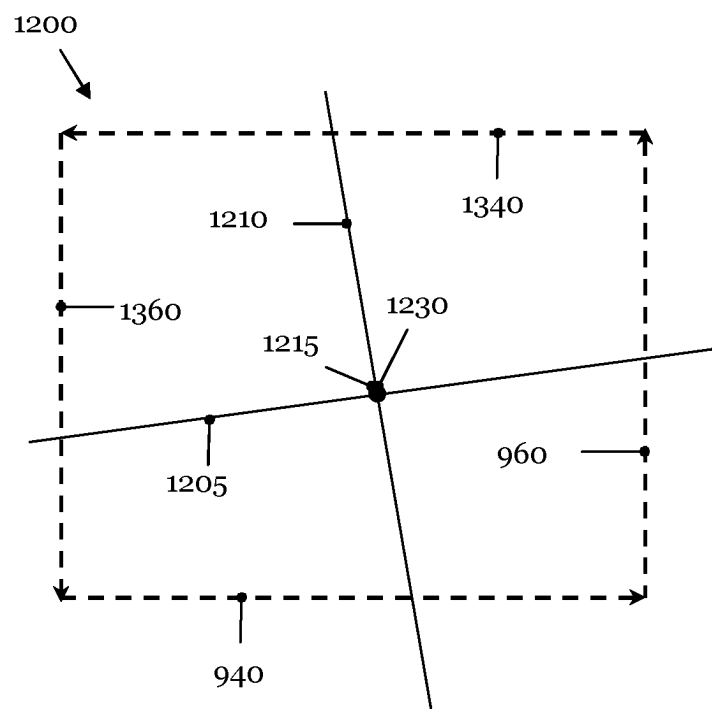
**Fig. 11**



**Fig. 12**

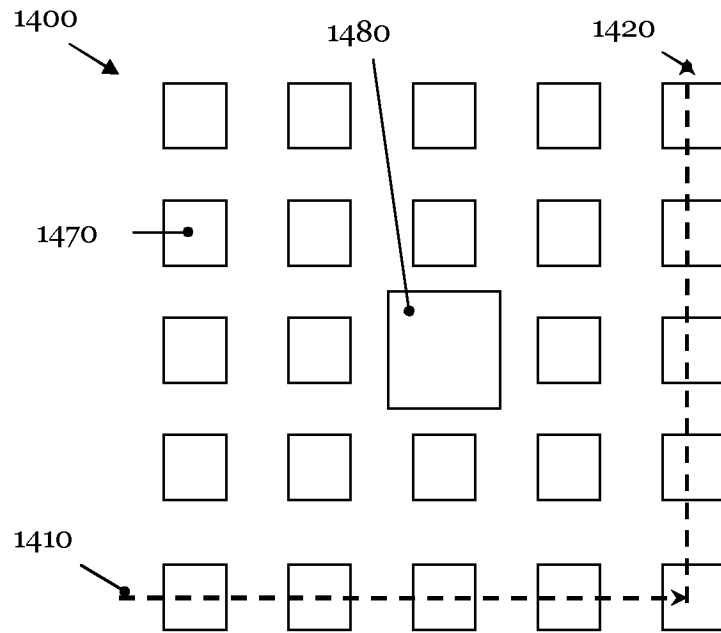


**Fig. 13**

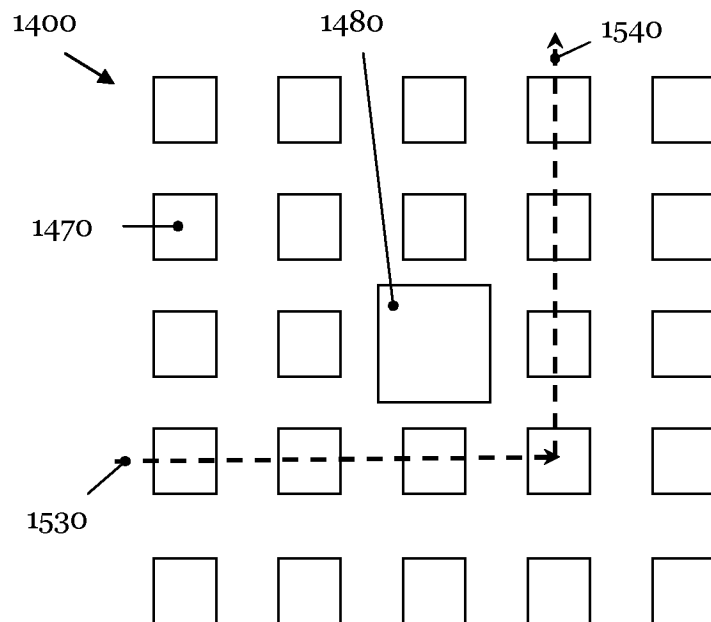




**Fig. 14**



**Fig. 15**



**Fig. 16**

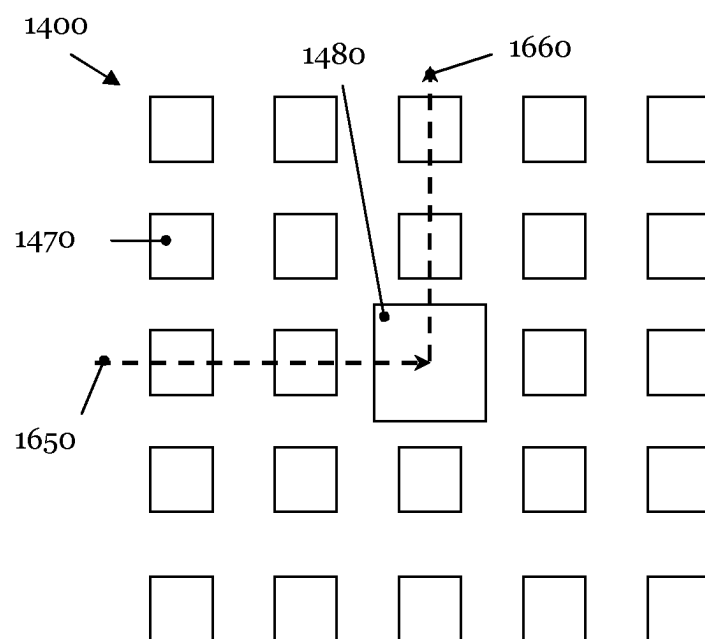


FIG. 17

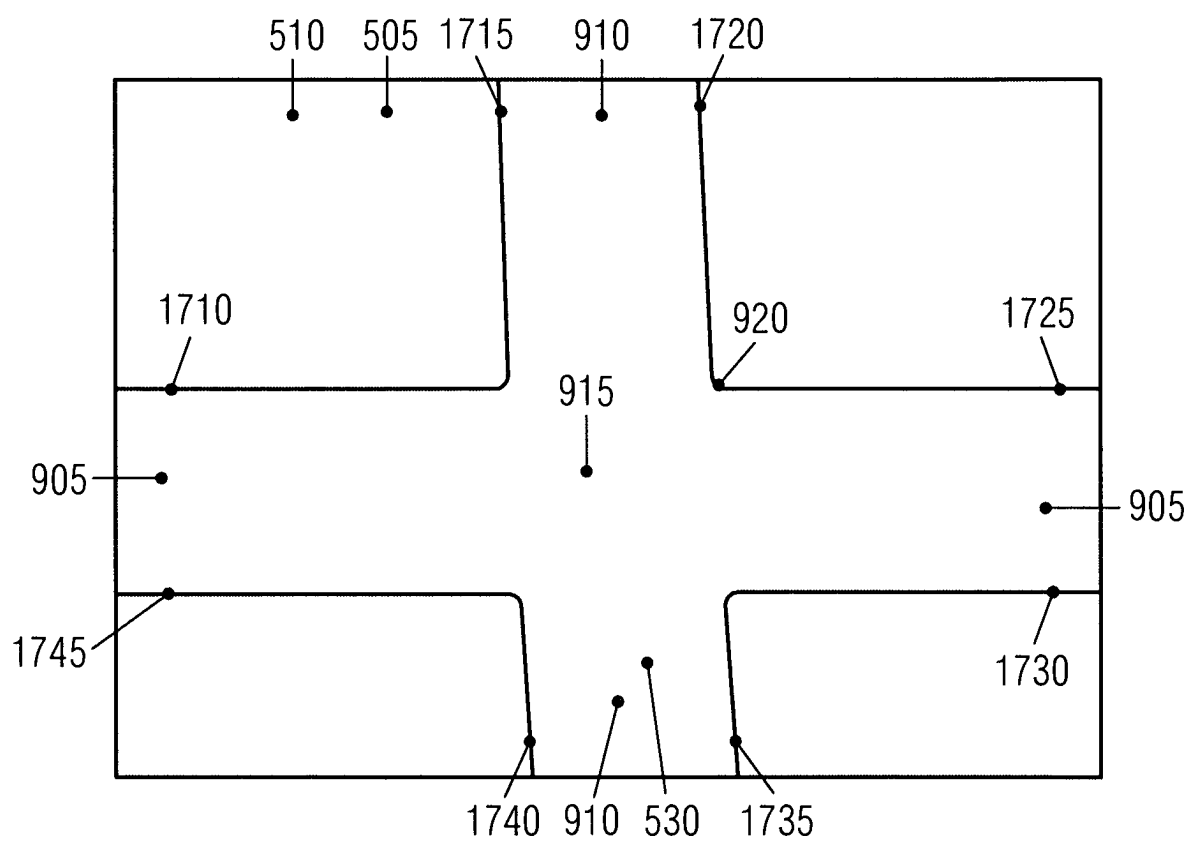


FIG. 18

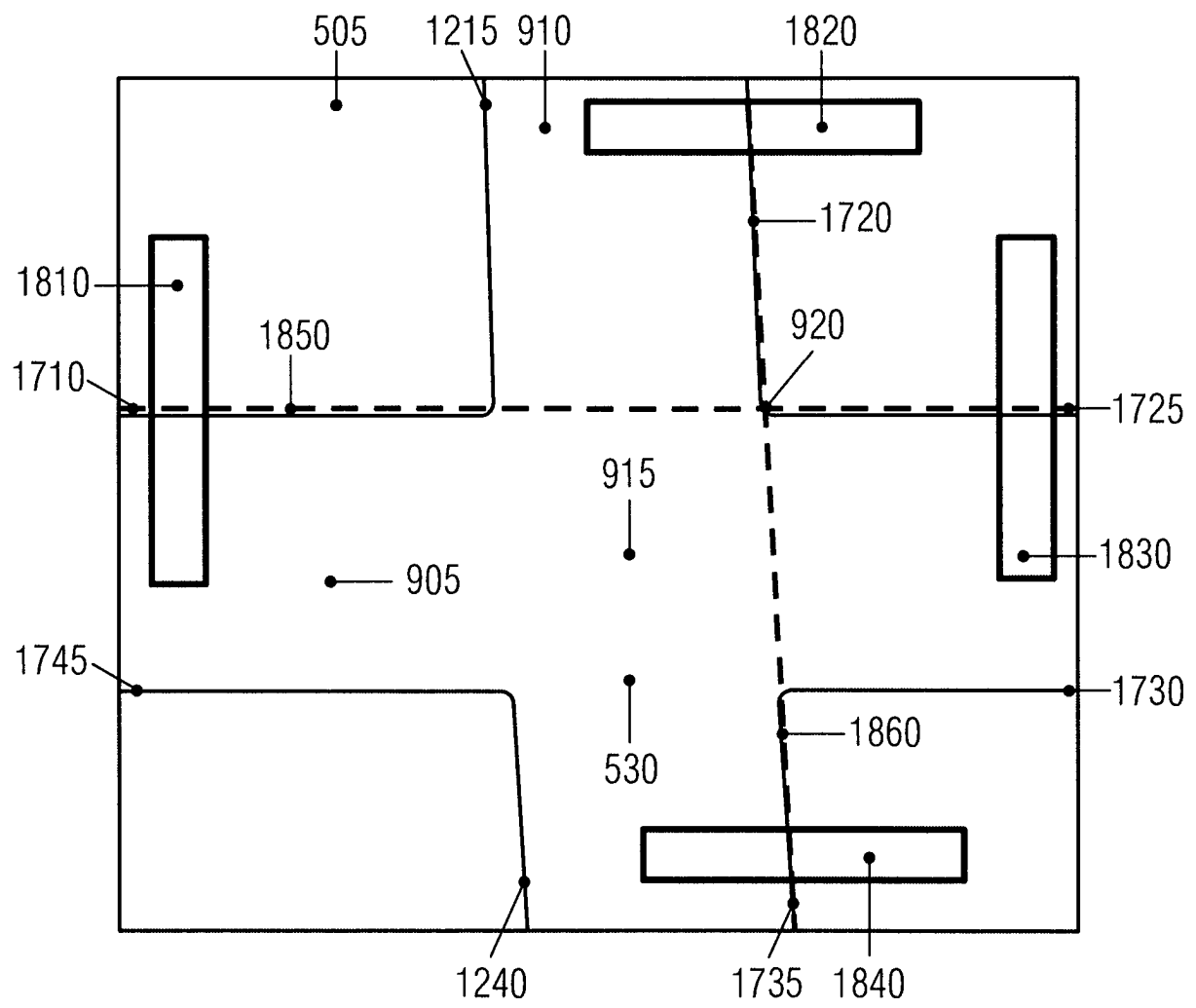


FIG. 19

