

(12) NACH DEM VERTRAG ÜBER DIE INTERNATIONALE ZUSAMMENARBEIT AUF DEM GEBIET DES PATENTWESENS (PCT) VERÖFFENTLICHTE INTERNATIONALE ANMELDUNG

(19) Weltorganisation für geistiges Eigentum

Internationales Büro

(43) Internationales Veröffentlichungsdatum

24. Dezember 2014 (24.12.2014)

(10) Internationale Veröffentlichungsnummer
WO 2014/202517 A2(51) Internationale Patentklassifikation:
G03F 9/00 (2006.01)

(74) Anwalt: WEGNER, Hans; Bardehle Pagenberg Partnerschaft mbB, Prinzregentenplatz 7, 81675 München (DE).

(21) Internationales Aktenzeichen: PCT/EP2014/062533

(81) Bestimmungsstaaten (soweit nicht anders angegeben, für jede verfügbare nationale Schutzrechtsart): AE, AG, AL,

(22) Internationales Anmeldedatum: 16. Juni 2014 (16.06.2014)

AM, AO, AT, AU, AZ, BA, BB, BG, BH, BN, BR, BW,

(25) Einreichungssprache: Deutsch

BY, BZ, CA, CH, CL, CN, CO, CR, CU, CZ, DE, DK,

(26) Veröffentlichungssprache: Deutsch

DM, DO, DZ, EC, EE, EG, ES, FI, GB, GD, GE, GH, GM,

(30) Angaben zur Priorität:
10 2013 211 403.6 18. Juni 2013 (18.06.2013) DE

GT, HN, HR, HU, ID, IL, IN, IR, IS, JP, KE, KG, KN, KP,

(71) Anmelder: CARL ZEISS SMS GMBH [DE/DE]; Carl-Zeiss-Promenade 10, 07745 Jena (DE).

KR, KZ, LA, LC, LK, LR, LS, LT, LU, LY, MA, MD,

(72) Erfinder: BUDACH, Michael; Fliederstr. 42, 63456 Hanau (DE). SCHÖNBERGER, Ralf; Wiesbadener Str. 7, 65474 Wiesbaden (DE). JÖST, Michael; Hölderlinstr. 25, 64521 Gross-Gerau (DE).

ME, MG, MK, MN, MW, MX, MY, MZ, NA, NG, NI,

NO, NZ, OM, PA, PE, PG, PH, PL, PT, QA, RO, RS, RU,

RW, SA, SC, SD, SE, SG, SK, SL, SM, ST, SV, SY, TH,

TJ, TM, TN, TR, TT, TZ, UA, UG, US, UZ, VC, VN, ZA,

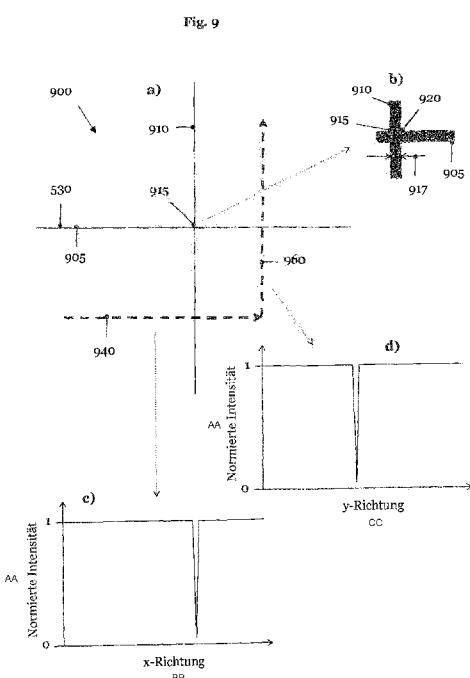
ZM, ZW.

(84) Bestimmungsstaaten (soweit nicht anders angegeben, für jede verfügbare regionale Schutzrechtsart): ARIPO (BW, GH, GM, KE, LR, LS, MW, MZ, NA, RW, SD, SL, SZ, TZ, UG, ZM, ZW), eurasisches (AM, AZ, BY, KG, KZ,

[Fortsetzung auf der nächsten Seite]

(54) Title: METHOD AND DEVICE FOR DETERMINING A REFERENCE POINT OF AN ORIENTATION MARKING ON A SUBSTRATE OF A PHOTOLITHOGRAPHIC MASK IN AN AUTOMATED MANNER

(54) Bezeichnung : VERFAHREN UND VORRICHTUNG ZUM AUTOMATISIERTEN BESTIMMEN EINES REFERENZPUNKTES EINER AUSRICHTUNGSMARKIERUNG AUF EINEM SUBSTRAT EINER PHOTOLITHOGRAPHISCHEN MASKE



(57) Abstract: The invention relates to a method for determining a reference point of an orientation marking on a substrate of a photolithographic mask in an automated manner, comprising the following steps: (a) performing a first line scan within a start region of the substrate in a first direction on a surface of the substrate, wherein the orientation marking is arranged within the start region, in order to find a first element of the orientation marking; (b) performing a second line scan within the start region in at least one second direction on the surface of the substrate, which at least one second direction intersects with the first direction, in order to find a second element of the orientation marking; (c) estimating the reference point of the orientation marking from the found first element and the found second element of the orientation marking; and (d) imaging a target region around the estimated reference point of the orientation marking in order to determine the reference of the orientation marking, wherein the imaging is performed with a higher resolution than the performance of the line scans in steps (a) and (b).

(57) Zusammenfassung:

[Fortsetzung auf der nächsten Seite]

Veröffentlicht:

- ohne internationalen Recherchenbericht und erneut zu veröffentlichen nach Erhalt des Berichts (Regel 48 Absatz 2 Buchstabe g)

RU, TJ, TM), europäisches (AL, AT, BE, BG, CH, CY, CZ, DE, DK, EE, ES, FI, FR, GB, GR, HR, HU, IE, IS, IT, LT, LU, LV, MC, MK, MT, NL, NO, PL, PT, RO, RS, SE, SI, SK, SM, TR), OAPI (BF, BJ, CF, CG, CI, CM, GA, GN, GQ, GW, KM, ML, MR, NE, SN, TD, TG).

Die Erfindung betrifft ein Verfahren zum automatisierten Bestimmen eines Referenzpunktes einer Ausrichtungsmarkierung auf einem Substrat einer photolithographischen Maske, das die folgenden Schritte aufweist: (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 ersten 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).

**Verfahren und Vorrichtung zum automatisierten Bestimmen
eines Referenzpunktes einer Ausrichtungsmarkierung auf ei-
nem Substrat einer photolithographischen Maske**

5 1. Technisches Gebiet

Die vorliegende Erfindung betrifft ein Verfahren und eine Vorrichtung
10 zum automatisierten Bestimmen eines Referenzpunktes einer Ausrich-
tungsmarkierung auf einem Substrat einer photolithographischen Mas-
ke.

15 2. Stand der Technik

Als Folge der wachsenden Integrationsdichte in der Halbleiterindustrie
(Mooresches Gesetz) müssen Photolithographiemasken zunehmend
kleinere Strukturen auf Wafern abbilden. Um die auf den Wafer abgebil-
deten kleinen Strukturabmessungen zu erzeugen, werden zunehmend
20 komplexere Bearbeitungsprozesse benötigt.

Auf der Photolithographieseite wird dem Trend wachsender Integrati-
onsdichte zum einen dadurch Rechnung getragen, indem die Belich-
tungswellenlänge von Lithographiegeräten zu immer kleineren Wellen-
25 längen 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 Li-
thographiesysteme in der Entwicklung die elektromagnetische Strahlung
im EUV (extremen ultravioletten) Wellenlängenbereich (im Bereich von
30 10 nm bis 15 nm) verwenden.

Zum anderen wird der wachsenden Integrationsdichte der Halbleiterin-
dustrie 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.

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.

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.

20

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 Masken-internen 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 25 Fig. 1 könnte als Referenzpunkt der Ausrichtungsmarkierung der Schnittpunkt der beiden Elemente des Kreuzes dienen, die ein „L“ bilden.
30

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.

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 $\pm 500 \mu\text{m}$.

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.

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.

30

Der vorliegenden Erfindung liegt daher das Problem zu Grunde, ein Verfahren und eine Vorrichtung zum Bestimmen eines Referenzpunktes einer Ausrichtungsmarkierung auf einem Substrat einer photolithogra-

phischen Maske anzugeben, die ein manuelles Suchen der Ausrichtungsmarkierung vermeiden.

3. Zusammenfassung der Erfindung

5

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).

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° verschiedenen Winkel bilden.

- 5 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.
- 10

- 15 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.
- 20

- 25 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.
- 30

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

- 5 Schwelle 100 µm, bevorzugt 20 µm, mehr bevorzugt 5 µm und am meisten bevorzugt 1 µm.

Das definierte Verfahren ermöglicht es, die beiden gekoppelten eindimensionalen Suchprozesse zu wiederholen, um dadurch eine für den

- 10 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.

- 15 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.

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

30

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.

- Ebenfalls bevorzugt weist das Bestimmen des Referenzpunktes eine Positionsgenauigkeit < 10 µm, bevorzugt < 1 µm, mehr bevorzugt < 300 nm und am meisten bevorzugt < 100 nm auf.

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

- 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.

- Gemäß einem weiteren Aspekt umfasst das Durchführen des ersten und des zweiten Liniencans das Anwenden eines konfokalen spektroskopischen Reflektometers. Nach einem anderen günstigen Aspekt umfasst das Durchführen des ersten und des zweiten Liniencans das Anwenden des konfokalen spektroskopischen Reflektometers ohne vorhergehende Fokussierung.

25

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

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

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

- Nach einem günstigen Aspekt umfasst das Abbilden des Zielbereichs das Anwenden eines Rasterelektronenmikroskops und/oder eines Focussed
10 Ion Beam Mikroskops und/oder eines Lichtmikroskops.

- 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.
20
25

- In einem anderen Aspekt weist das Mittel zum Durchführen eines ersten Linienscans und eines zweiten Linienscans eine laterale Ortsauflösung < 100 µm, bevorzugt < 50 µm, mehr bevorzugt < 20 µm und am meisten bevorzugt < 10 µm auf.
30

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

- 5 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
10 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.
15

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

20

Gemäß einem weiteren Aspekt weist die Scaneinheit eine Ortsauflösung < 20 µm, bevorzugt < 10 µm, mehr bevorzugt < 1 µm und am meisten bevorzugt < 0,5 µm auf.

- 25 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
30 durch den Abstand des Substrats der photolithographischen Maske und einer Austrittslinse des konfokalen spektroskopischen Reflektometers eingestellt.

Nach einem bevorzugten Aspekt weist das Mittel zum Abbilden des Zielbereichs eine Ortsauflösung < 200 nm, bevorzugt < 50 nm, mehr bevorzugt < 10 nm und am meisten bevorzugt < 2 nm auf.

- 5 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.

- Gemäß einem günstigen Aspekt umfasst das Mittel zum Abschätzen des
- 10 Referenzpunktes der Ausrichtungsmarkierung einen Prozessor, der ausgebildet ist, aus den aufgefundenen ersten und zweiten Elementen den Referenzpunkt der Ausrichtungsmarkierung abzuschätzen und/oder aus der Abbildung des Zielbereichs den Referenzpunkt der Ausrichtungsmarkierung zu bestimmen.

- 15 Schließlich umfasst in noch einem weiteren Aspekt das Mittel zum Abschätzen des Referenzpunktes der Ausrichtungsmarkierung einen Speicher zum Speichern von Referenzmarkierungen.

20 **4. Beschreibung der Zeichnungen**

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

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

- Fig. 2 eine Verteilung einer Platzierung einer Maske auf einem
30 Probentisch 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;
- 5 Fig. 5 eine schematische Übersicht einer Vorrichtung zum automatisierten Bestimmen eines Referenzpunktes einer Ausrichtungsmarkierung veranschaulicht;
- 10 Fig. 6 eine schematische Übersicht einiger Komponenten eines konfokalen spektroskopischen Reflektometers zum Durchführen von Linienscans veranschaulicht;
- 15 Fig. 7 ein Diagramm wiedergibt, das die Änderung des Reflektivitätsverhältnisses zwischen dem Maskensubstrat und einer Ausrichtungsmarkierung darstellt;
- 20 Fig. 8 drei Intensitätsverläufe des Übergangs Maskensubstrat - Ausrichtungsmarkierung präsentiert, die von dem konfokalen spektroskopischen Reflektometer mit unterschiedlichem Abstand zur Oberfläche des Maskensubstrats gemessen wurden;
- 25 Fig. 9a eine Ausrichtungsmarkierung mit zwei Linienscans veranschaulicht;
- Fig. 9b einen vergrößerten Ausschnitts des Zentrums der Ausrichtungsmarkierung der Fig. 9a darstellt;
- 30 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;
- 5 Fig. 10b den Intensitätsverlauf des dritten Linienscans der Fig. 10a zeigt;
- Fig. 10c den Intensitätsverlauf des vierten Linienscans der Fig. 10a repräsentiert;
- 10 Fig. 11 einen alternativen Verlauf des dritten und des vierten Linienscans präsentiert;
- 15 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;
- 20 Fig. 14 eine Ausrichtungsmarkierung angibt, die in einem mehrdeutigen Bereich eines Maskensubstrats angeordnet ist, sowie einen ersten und eine zweiten Linienscan darstellt;
- 25 Fig. 15 einen dritten und vierten Linienscan zum Auflösen der Mehrdeutigkeit der Fig. 14 veranschaulicht;
- 30 Fig. 16 einen fünften und sechsten Linienscan zum Auflösen der Mehrdeutigkeit der Fig. 14 repräsentiert;

- Fig. 17 das Zentrum der Ausrichtungsmarkierung der Figuren 9a, 10a, 11, 12 und 13 im Bild eines Rasterelektronenmikroskops zeigt;
- 5 Fig. 18 die Scanbereiche des Rasterelektronenmikroskops zum Bestimmen des Referenzpunktes der Ausrichtungsmarkierung darstellt; und
- 10 Fig. 19 mögliche Scans des Rasterelektronenmikroskops zum Verfeinern der Bestimmung des Referenzpunktes der Ausrichtungsmarkierung angibt.

5. Detaillierte Beschreibung bevorzugter Ausführungsbeispiele

- 15 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.
- 20 25 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 Wafers in automatisierter Form zu bestimmen, um zum Beispiel einen Scanner
- 30 oder einen Stepper für eine Belichtung des Wafers bezüglich dieser Markierungen auszurichten.

Das Bild 400 der Fig. 4 zeigt eine schematische Darstellung der Aufsicht auf ein Substrat 505 einer photolithographischen Maske, einer Fotomas-

- ke 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.
- 5 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.
- 10 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
- 15 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
- 20 Maske 510 angeordnet sind (in der Fig. 4 nicht dargestellt).
- 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.
- 25 Eine Ausrichtungsmarkierung 515, 520, 525, 530 kann zum Beispiel in Form eines Absorberelements 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 Absorbermaterial, 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

- 5 530 in das Substrat 505 der Maske 510 zu ätzen. Für dieses Ausführungsbeispiel einer Ausrichtungsmarkierung weist das Bild eines Raster elektronenmikroskops oder eines Focussed Ion Beam Mikroskops ledig lich einen Topologiekontrast auf.

- 10 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.

- 15 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.
- 20 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 die den abgeschätzten Referenzpunkt der Ausrichtungsmarkierung 525, 530 – oder den Zielbereich – abtastet. Aus den Messdaten
5 der zweiten Vorrichtung 560, die der Recheneinheit 570 wiederum über die Verbindung 565 übermittelt werden, bestimmt die Recheneinheit 570 den Referenzpunkt der Ausrichtungsmarkierung 525 oder 530.

Die Fig. 6 zeigt schematisch ein Beispiel der ersten Vorrichtung 550 der
10 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 Profilmeter eingesetzt
15 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 Profilmeter eingesetzt werden, die mit optischen Methoden (wie
20 etwa Laser-Profilometrie oder Weißlichtinterferometrie) arbeiten und damit berührungslos die Oberfläche scannen.

Das Substrat 505 der Fotomaske 510, das die Ausrichtungsmarkierungen
25 515, 520, 525 und 530 aufweist, ist auf einem Probentisch 605 aufgebracht. Der Probentisch 605 kann von einer Scaneinheit 680 in definierter Weise in einer Ebene (x-/y-Ebene) bewegt werden. Zum Bewegen des Probentisches 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 Probentisches 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.

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 farbkompen-
5 siert 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. Andereits liegt der Brennpunkt des Linsensystems 640 aufgrund der Dispersion für den roten Anteil 660 des weißen Lichts der Weißlichtquelle
10 620 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 fokus-
15 siert wird. Die Oberfläche des Maskensubstrats 505 reflektiert einen bestimmten Anteil des grünen Lichts 655 zurück 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
20 675. Das Spektrometer 675 analysiert das von dem Maskensubstrat 505 reflektierte Licht spektral.

Fällt nun bei einer Bewegung des Probentisches 605 das Licht der Weiß-
lichtquelle 620 auf die Ausrichtungsmarkierung 530, so ändert dies auf-
25 grund 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 Ausrichtungsmarke-
30 rung 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 Wel-
lenlängen. Ist hingegen die Ausrichtungsmarkierung in Form einer Ab-

sorberstruktur 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 5 675 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 10 reflektierten Lichts in dem betrachteten Wellenlängenbereich.

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. 15

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 20 die Elemente der Ausrichtungsmarkierung 530 eine Breite im Bereich einiger Mikrometer auf. Dadurch können konfokale spektroskopische Reflektometer gängige Ausrichtungsmarkierungen detektieren.

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 25 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. 30

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 5 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 10 den roten Teil des weißen Lichts der Weißlichtquelle 620 das Reflektivitätsverhältnis um etwa einen Faktor zwei.

Die Fig. 8 repräsentiert Intensitätsverteilungen dreier Übergänge von einem Absorbermaterial – in dem in der Fig. 8 dargestellten Beispiel ist 15 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 20 oder der Balken der Ausrichtungsmarkierung 530 liegt im Bereich von ungefähr 5 µm.

In dem Beispiel der Fig. 8 ist nicht der Übergang Substrat 505 - Ausrichtungsmarkierung 530 – Substrat 505 wiedergegeben, sondern vielmehr 25 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 30 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 Ab-

stand zwischen dem konfokalen spektroskopischen Reflektometer 600 und der Oberfläche des Substrats 505 um 1,2 mm verringert.

- Aus den Kurven der Fig. 8 ist zu entnehmen, dass die Steigung bzw. der
- 5 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
- 10 Identifizierung der Ausrichtungsmarkierung 530 signifikant beschleunigt. Die laterale Auflösung des eingesetzten konfokalen spektroskopischen Reflektometers 600 (80% - 20 % Definition) liegt im Bereich von 8 µm.
- 15 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
- 20 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.
- 25 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
- 30 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.

- 5 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
10 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 Absorbermarkierung 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.
15
20

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° 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.
25

30

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 Da-

ten eine erste Abschätzung für den Referenzpunkt 920 der Ausrichtungsmarkierung 530.

- Falls der erste Linienscan 940 entlang seines vorgegebenen Pfades das
- 5 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 wieder-
- 10 holt. 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
- 15 eine vorgegebene Strecke und veranlasst ein Wiederholen des zweiten Linienscans 960.

- Zum Abschätzen des Referenzpunktes 920 der Ausrichtungsmarkierung 530 ist es nicht notwendig, dass der erste 940 und der zweite Linienscan
- 20 960 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
- 25 Symmetrie der Ausrichtungsmarkierung anzupassen. Ferner ist es nicht notwendig, dass die Linienscans 940 und 960 entlang einer geraden Linie verlaufen. Vielmehr können die Linienscans 940 und 960 gekrümmten Bahnen folgen. Insbesondere ist es denkbar, die beiden Linienscans 940, 960 als einen Halbkreis auszuführen.

30

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 Linienscan 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.

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).

Anstelle des Durchführens des dritten 1040 und des vierten Linienscans 1060 kann die Rechen- oder Kontrolleinheit 570 einen Speicher (in den Figuren 5 und 6 nicht gezeigt) aufweisen, in dem Referenzmarkierungen abgelegt sind. Diese Referenzmarkierungen können mehr Details des ersten 940 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.

- 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 Größe ihres Gesichtsfeldes ab. Generell ist eine Abschätzung des Referenzpunktes 920 der
- 5 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.

10

- 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 Zwischenbereiches 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
- 15 und zudem ist es möglich eine Drehung der Ausrichtungsmarkierung 530 bezüglich den Richtungen der Linienscans 940, 960, 1140 und 1160 bestimmt werden.
- 20

- Falls die beispielhafte Ausrichtungsmarkierung 1200 mit dem ersten 25 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 – 30 der tatsächliche Referenzpunkt 1215 der Ausrichtungsmarkierung 1200 mit größtmöglichen 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
- 5 nahe dem tatsächlichen Referenzpunkt **1215** der Ausrichtungsmarkierung **1200**.

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.

- 10
- 15 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.
- 20
- 25 Die systematische Anwendung des definierten Verfahrens zum Bestimmen eines Referenzpunktes einer Ausrichtungsmarkierung führt jedoch, wie in den Figuren **14** bis **16** veranschaulicht, nach dem fünften **1650** und dem sechsten systematischen Linienscan **1660** zur Auflösung der Mehrdeutigkeit der beispielhaften Anordnung **1400**. Somit kann in
- 30 dem Beispiel der Figuren **14** bis **16** nach insgesamt sechs Linienscans **1410, 1420, 1530, 1530, 1650** und **1660** eindeutig ein Referenzpunkt für die Ausrichtungsmarkierung **1480** der Anordnung **140** bestimmt werden.

Die Fig. 17 zeigt das Zentrum 915 sowie das erste Element 905 und der 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

- 5 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
10 atomic force microscope) bzw. Modifikationen dieses Mikroskoptyps einzusetzen.

Wie bereits erwähnt, ist die Ausrichtungsmarkierung 530 in dem hier diskutierten Beispiel in das Absorbermaterial der Fotomaske 510 geätzt.

- 15 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 Figuren
20 18 und 19 sind Artefakte, die beim Drucken der Bilder erzeugt werden.

- 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, 18320, 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,
25 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 Verbindungsline 1850 und aus den Daten der
30

Scansbereich 1820 und 1840 bzw. den Verläufen der Kanten 1720 und 1735 die Verbindungsgeraden 1860. Aus dem Schnittpunkt der Verbindungsgeraden 1850 und 1860 ermittelt die Rechen- und Kontrolleinheit den Referenzpunkt 920 der Ausrichtungsmarkierung 530.

5

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 Scansbereiche 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 Scansbereiche 1920 und 19440 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 Verbindungsgeraden 1950 und 1960, die einen geringeren Messfehler als die Verbindungsgeraden 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.

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.

Ansprüche

- 5 1. Verfahren zum automatisierten Bestimmen eines Referenzpunktes einer Ausrichtungsmarkierung auf einem Substrat einer photolithographischen Maske, wobei das Verfahren die folgenden Schritte aufweist:
- 10 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;
- 15 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;
- 20 c. Abschätzen des Referenzpunktes der Ausrichtungsmarkierung aus dem aufgefundenen ersten Element und dem aufgefundenen zweiten Element der Ausrichtungsmarkierung;
- 25 und
- 30 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.
2. Verfahren nach Anspruch 1, ferner die Schritte aufweisend:

- 5 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;
 - 10 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
 - 15 g. Durchführen des Schritts d. unter Verwendung der erneuten Abschätzung des Referenzpunktes.
- 20 3. Verfahren nach Anspruch 2, ferner den Schritt aufweisend: Wiederholen der Schritte e. bis f. zum erneuten Abschätzen des Referenzpunktes mit einer Positionsungenaugigkeit unterhalb einer vorgegebenen Schwelle.
- 25 4. Verfahren nach Anspruch 3, wobei die vorgegebene Schwelle 100 µm, bevorzugt 20 µm, mehr bevorzugt 5 µm und am meisten bevorzugt 1 µm beträgt.
- 30 5. Verfahren nach Anspruch 1, ferner die Schritte aufweisend:
 - h. Durchführen eines dritten und eines vierten Linienscans innerhalb des Startbereiches 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 der 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 vierten Linienscan;
5 und
 - j. Durchführen des Schritts d. unter Verwendung der erneuten Abschätzung des Referenzpunktes.
- 10 6. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche, wobei der Schritt c. des Verfahrens umfasst: Vergleichen des ersten Linienscans und des zweiten Linienscans mit gespeicherten Referenzmarkierungen.
- 15 7. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche, wobei das Bestimmen des Referenzpunktes eine Positionsungenauigkeit < 10 µm, bevorzugt < 1 µm, mehr bevorzugt < 300 nm und am meisten bevorzugt < 100 nm aufweist.
- 20 8. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche, ferner die Schritte aufweisend:
 - k. Verschieben des Startbereichs, wenn im Schritt c. kein Referenzpunkt abgeschätzt wird; und
 - 25 l. Wiederholen der Schritte a., b. und c.
- 30 9. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche, wobei das Durchführen des ersten und des zweiten Linienscans das Anwenden eines konfokalen spektroskopischen Reflektometers umfasst.
10. Verfahren nach Anspruch 9, wobei das Durchführen des ersten und des zweiten Linienscans das Anwenden des konfokalen

spektroskopischen Reflektometers ohne vorhergehende Fokussierung umfasst.

11. Verfahren nach Anspruch 9 oder 10, ferner den Schritt aufweisend: 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.
5
- 10 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.
- 15 13. Vorrichtung zum automatisierten Bestimmen eines Referenzpunktes einer Ausrichtungsmarkierung auf einem Substrat einer photolithographischen Maske, aufweisend:
20
 - 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 Ausrichtungsmar
25 kierung;
- 30
 - 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.

14. Vorrichtung nach Anspruch 13, wobei das Mittel zum Durchführen eines ersten Linienscans und eines zweiten Linienscans eine laterale Ortsauflösung < 100 µm, bevorzugt < 50 µm, mehr bevorzugt < 20 µm und am meisten bevorzugt < 10 µm aufweist.
5
15. Vorrichtung nach Anspruch 13 oder 14, wobei das Mittel zum Durchführen eines ersten Linienscans und eines zweiten Linien-scans Mittel zum lokalen Abtasten der Oberfläche des Substrats umfasst.
10
16. Vorrichtung nach einem der Ansprüche 13 - 15, wobei das Mittel zum Durchführen eines ersten Linienscans und eines zweiten Li-niencans umfasst:
15
- d. einen Sensor, der ausgebildet ist fokussierte elektromagneti sche Strahlung auf das Substrat zu richten und von dem Sub strat reflektierte und/oder transmittierte elektromagnetische Strahlung zu empfangen;
20
- e. eine Scaneinheit, die ausgebildet ist den Sensor und/oder das Substrat in einer Ebene senkrecht zu der fokussierten elektromagnetischen Strahlung zu scannen; und
25
- f. eine Kontrolleinheit, die mit dem Sensor verbunden ist und die ausgebildet ist, aus der von dem Sensor empfangenen elektromagnetischen Strahlung eine lokale Intensitätsvertei lung zu bestimmen.
30
17. Vorrichtung nach Anspruch 16, wobei die Kontrolleinheit ferner mit der Scaneinheit verbunden ist und ausgebildet ist, die Scaneinheit zu steuern oder zu regeln.

18. Vorrichtung nach Anspruch 16 oder 17, wobei die Scaneinheit eine Ortsauflösung < 20 µm, bevorzugt < 10 µm, mehr bevorzugt < 1 µm und am meisten bevorzugt < 0,5 µm aufweist.
5
19. Vorrichtung nach einem der Ansprüche 16 - 18, wobei der Sensor ein konfokales spektroskopisches Reflektometer umfasst.
- 10 20. Vorrichtung nach Anspruch 19, wobei der Sensor ausgebildet ist, den ersten und den zweiten Linienscan ohne vorhergehende Fokusierung durchführen.
- 15 21. Vorrichtung nach Anspruch 19 oder 20, wobei 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 wird.
- 20 22. Vorrichtung nach einem der Ansprüche 16 - 21, wobei das Mittel zum Abbilden des Zielbereichs eine Ortsauflösung < 200 nm, bevorzugt < 50 nm, mehr bevorzugt < 10 nm und am meisten bevorzugt < 2 nm aufweist.
- 25 23. Vorrichtung nach einem der Ansprüche 16 - 22, wobei das Mittel zum Abbilden des Zielbereichs ein Rasterelektronenmikroskop und/oder ein Focussed Ion Beam Mikroskop und/oder ein Lichtmikroskop umfasst.
- 30 24. Vorrichtung nach einem der Ansprüche 16 - 23, wobei das Mittel zum Abschätzen des Referenzpunktes der Ausrichtungsmarkierung einen Prozessor umfasst, der ausgebildet ist aus den aufgefundenen ersten und zweiten Elementen den Referenzpunkt der Ausrichtungsmarkierung abzuschätzen und/oder aus der Abbil-

dung des Zielbereichs den Referenzpunkt der Ausrichtungsmar-
kierung zu bestimmen.

25. Vorrichtung nach einem der Ansprüche 16 - 24, wobei das Mittel
5 zum Abschätzen des Referenzpunktes der Ausrichtungsmarkie-
rung einen Speicher umfasst zum Speichern von Referenzmar-
kierungen.

Figuren

Fig. 1 (Stand der Technik)

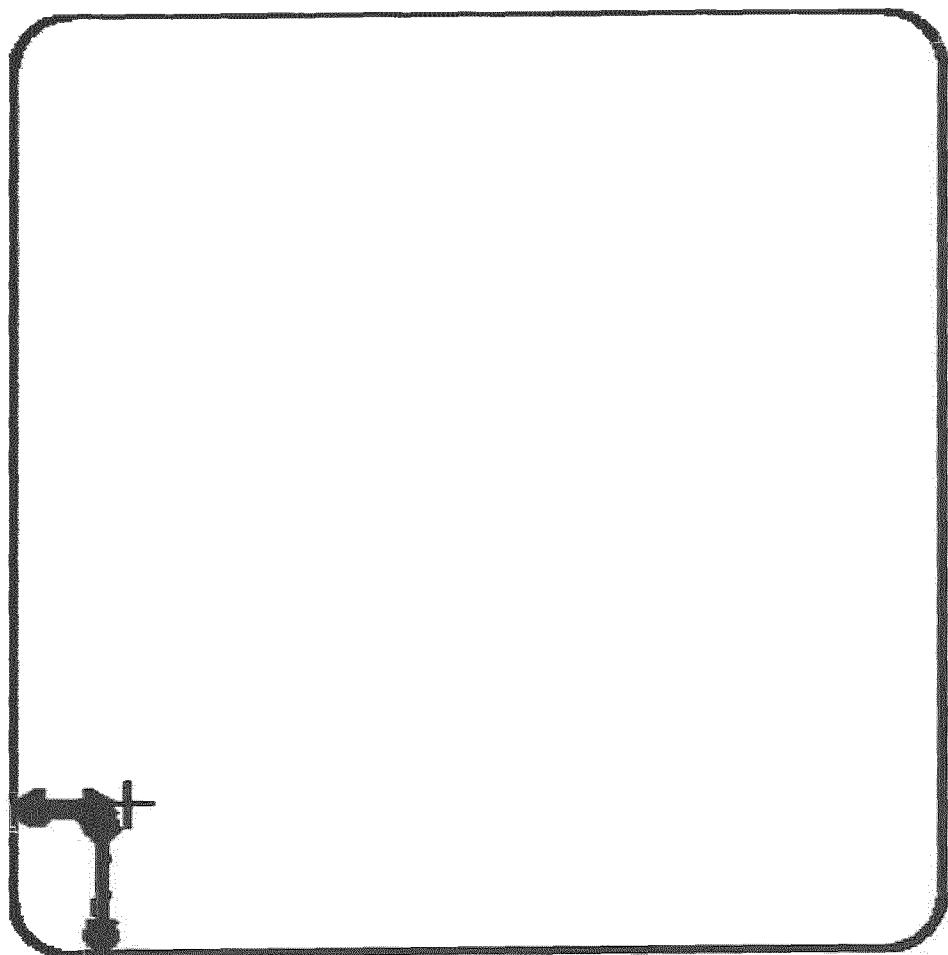


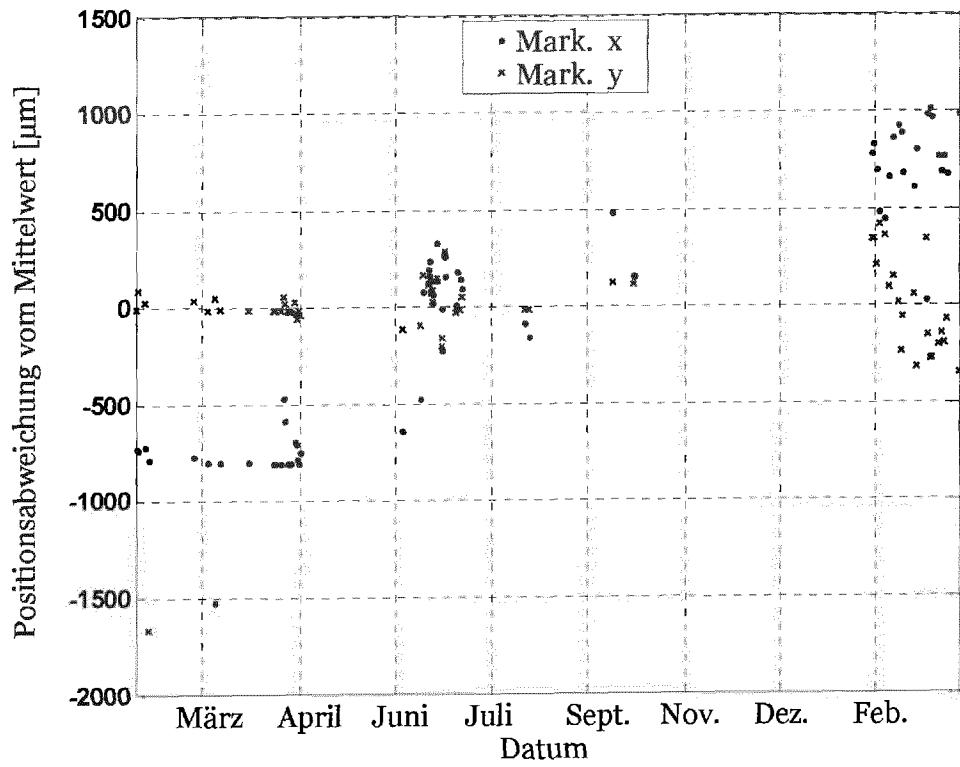
Fig. 2 (Stand der Technik)

FIG. 3 (Stand der Technik)

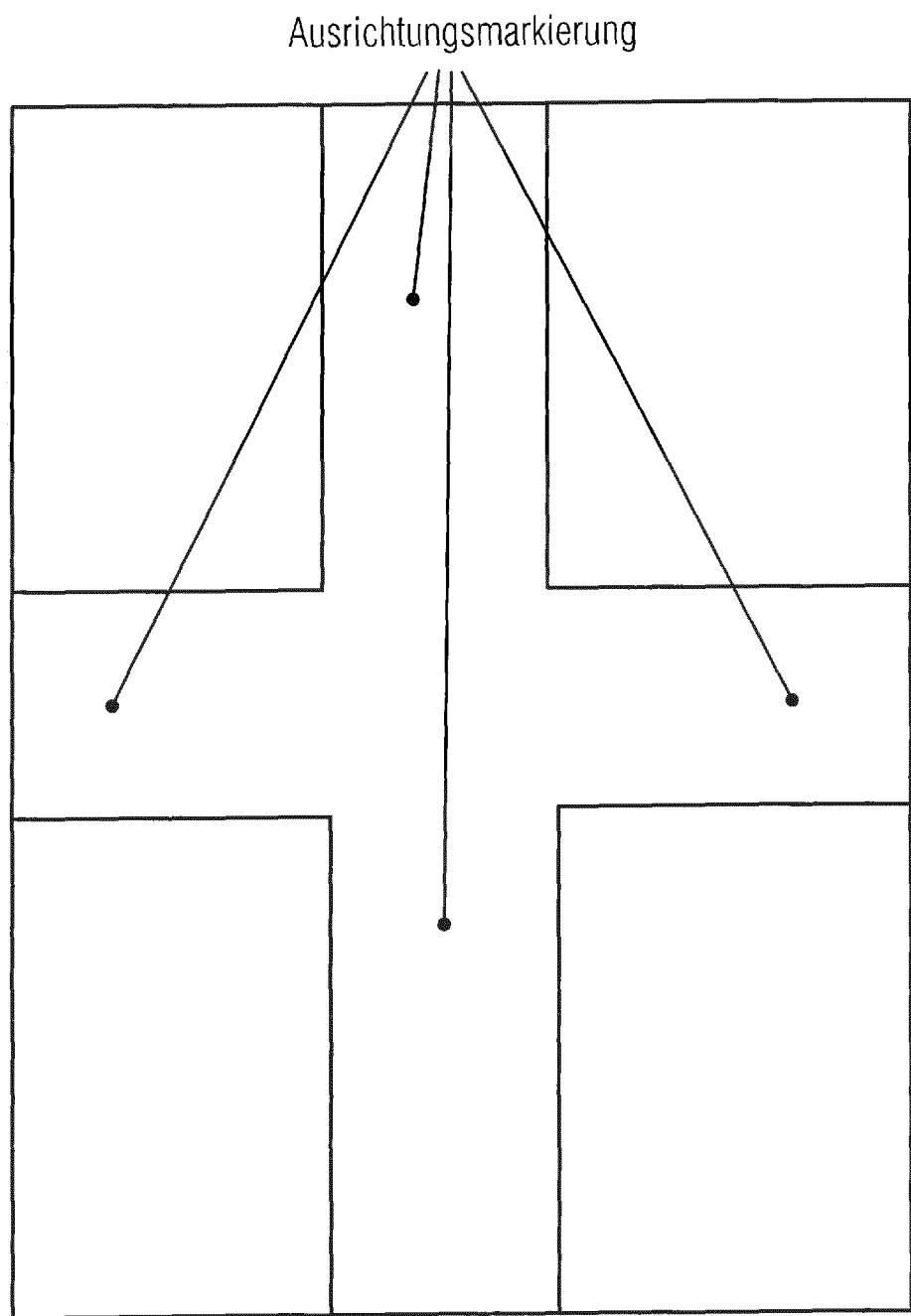


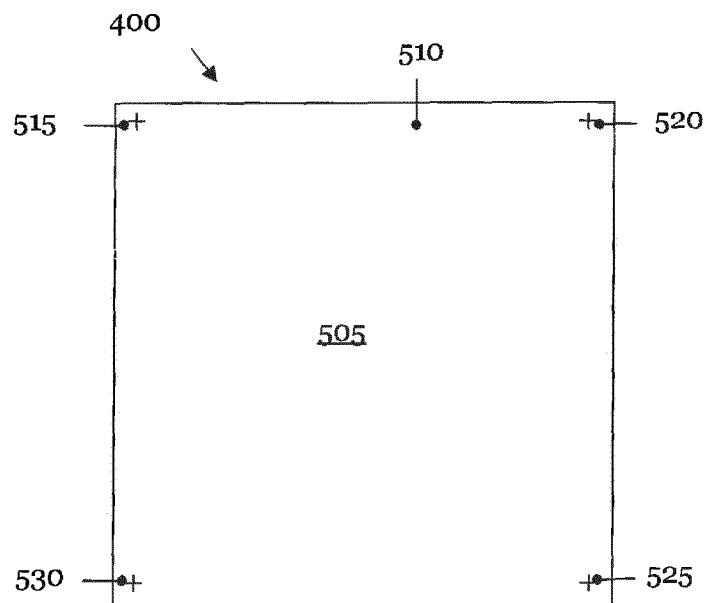
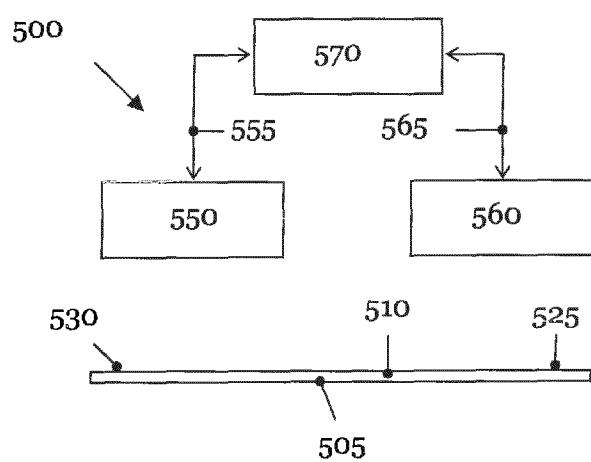
Fig. 4**Fig. 5**

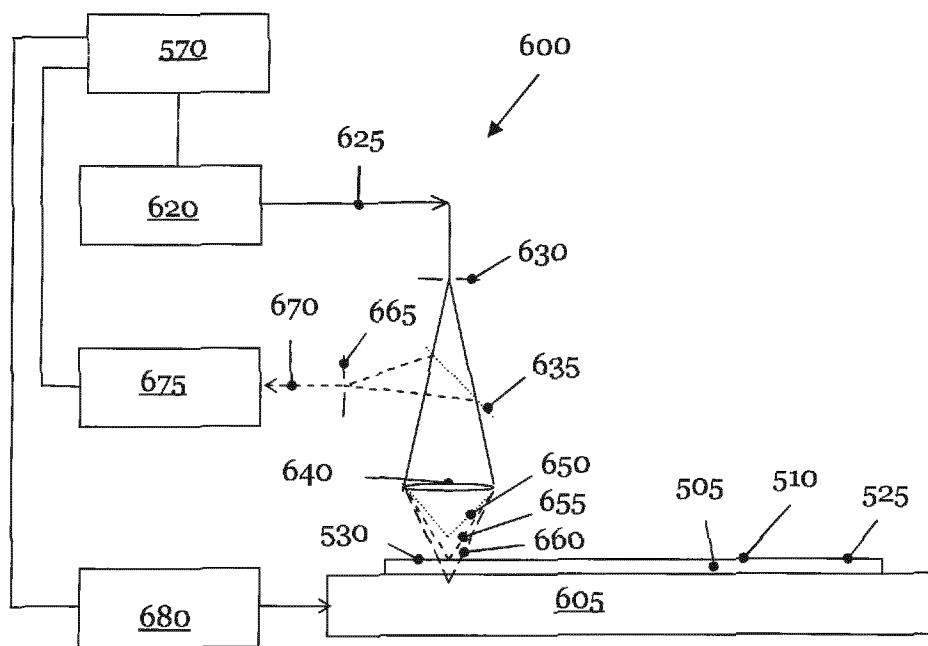
Fig. 6

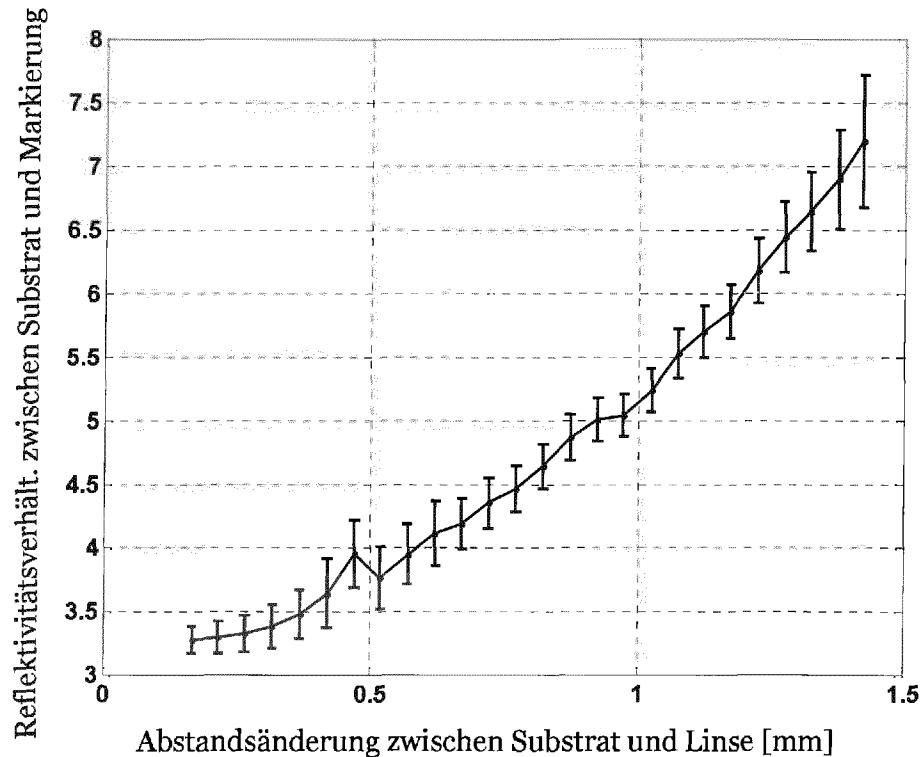
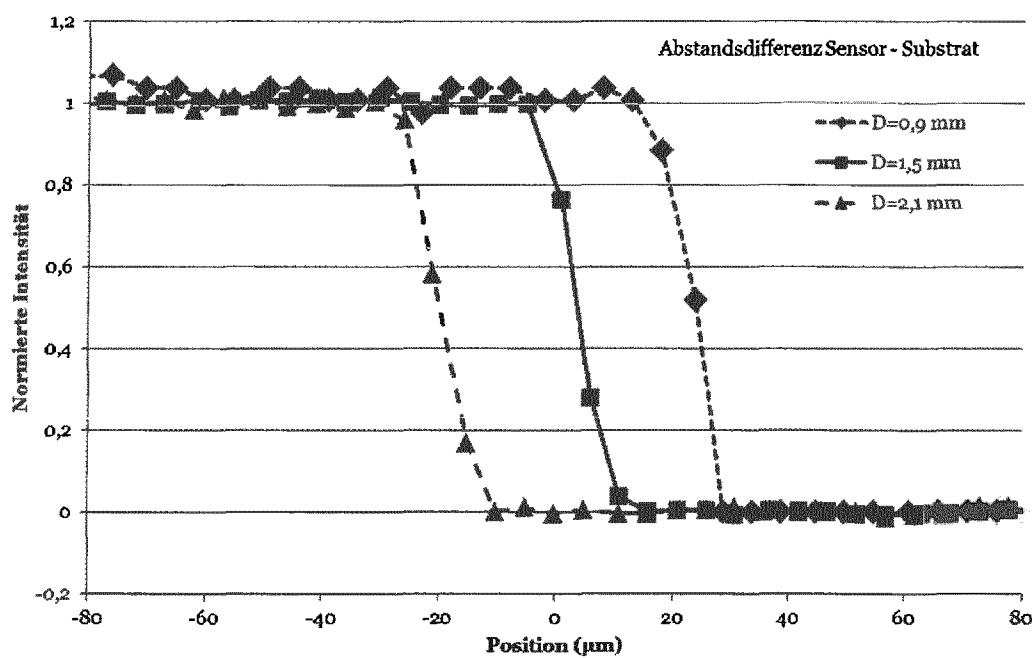
Fig. 7**Fig. 8**

Fig. 9

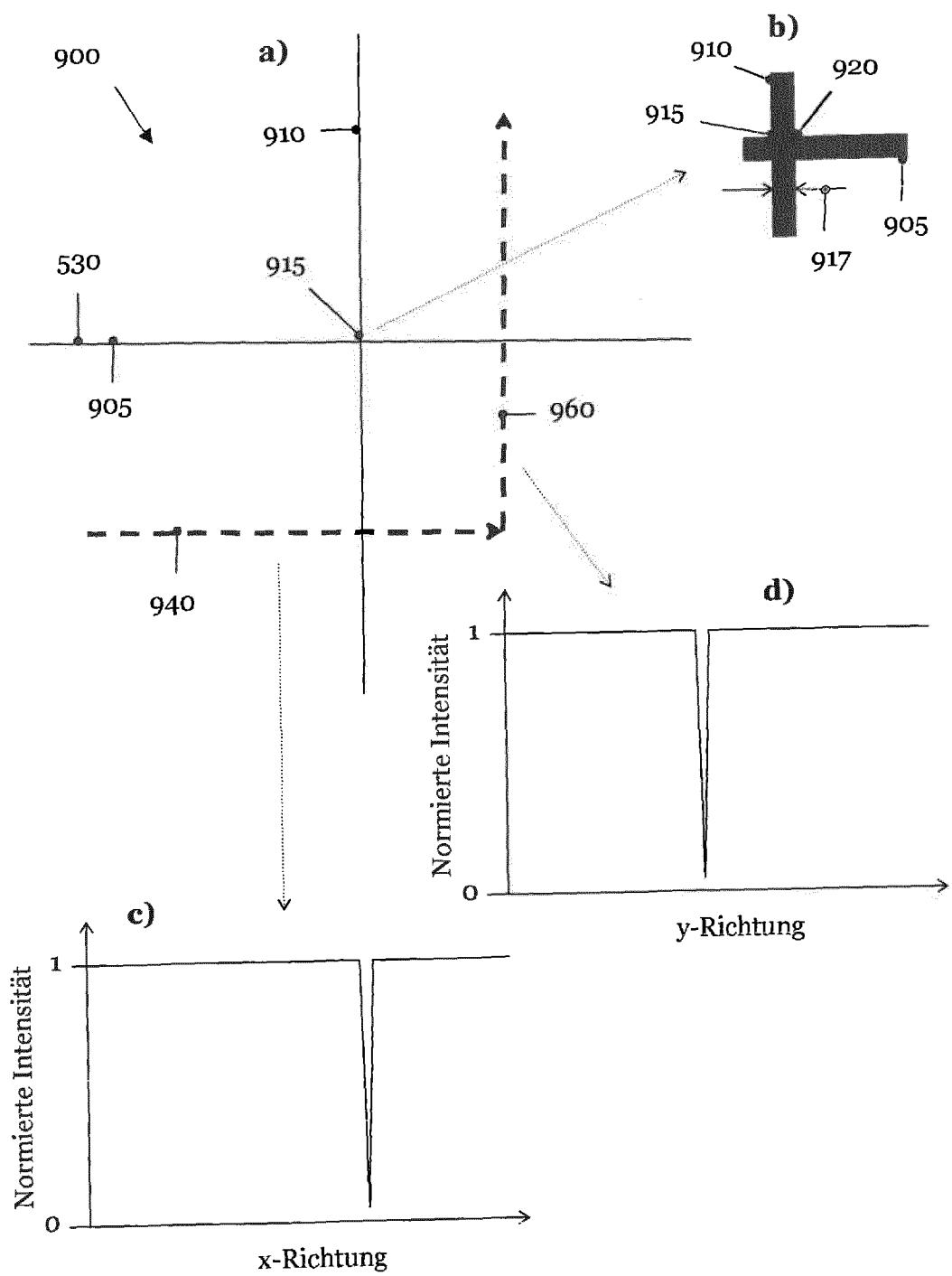


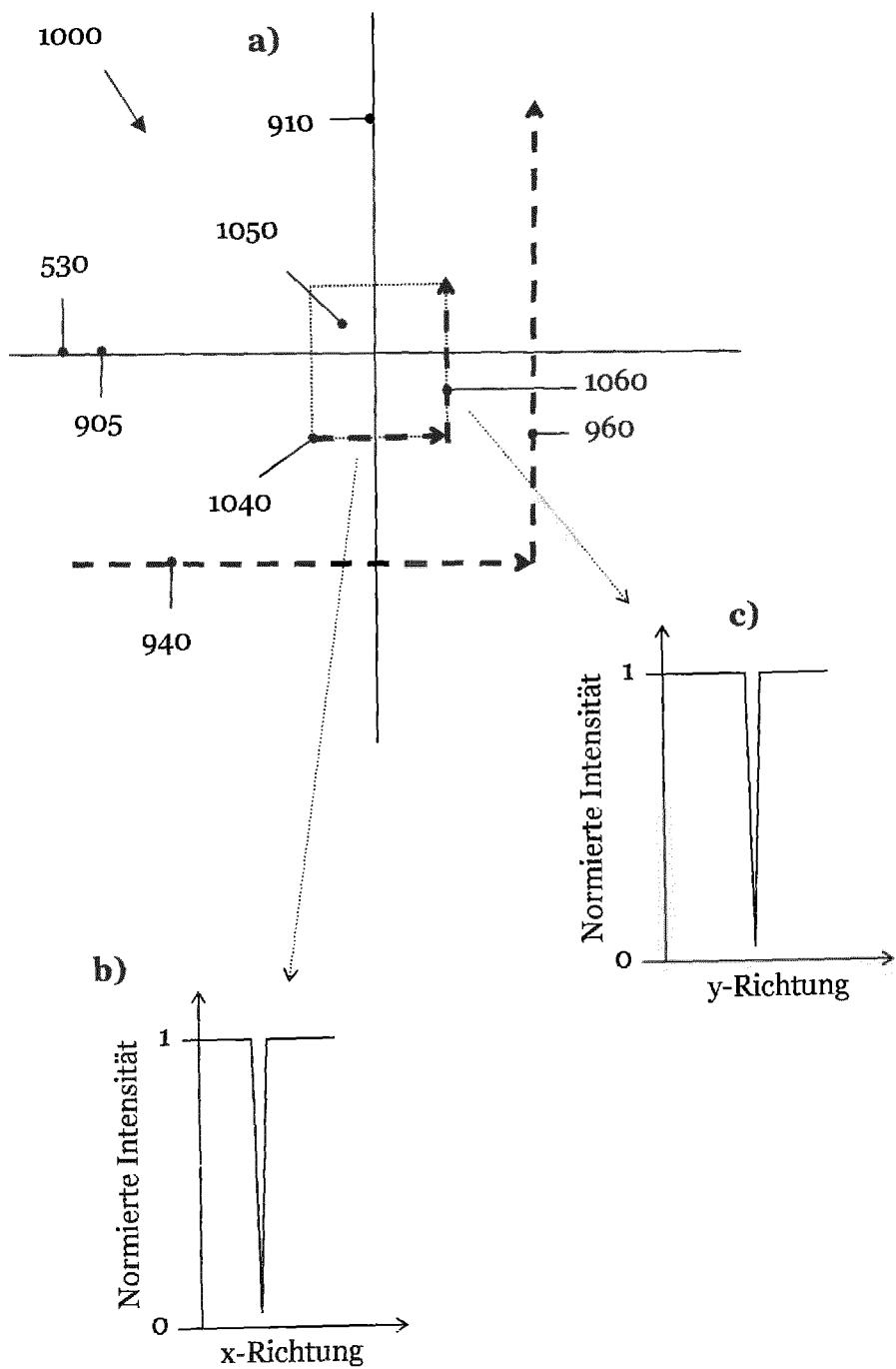
Fig. 10

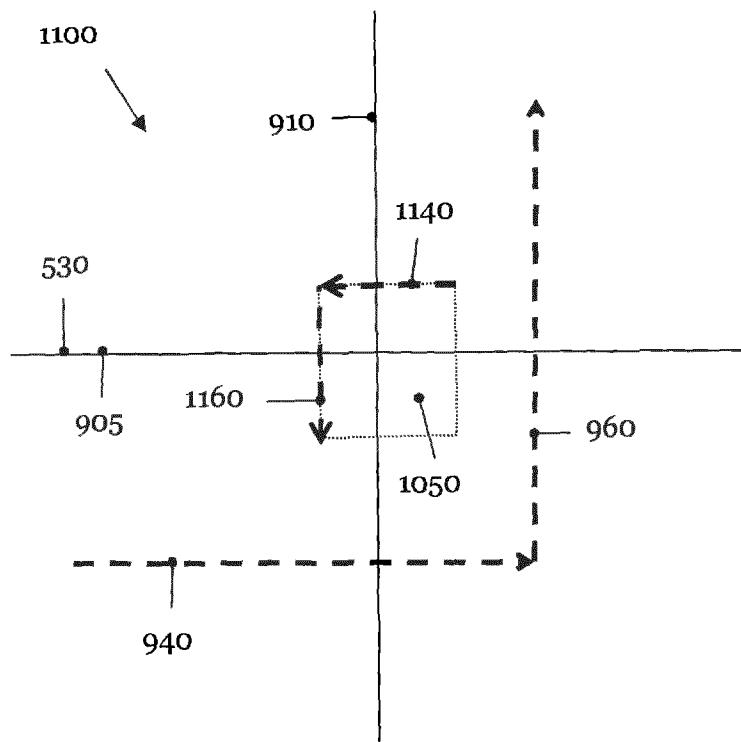
Fig. 11

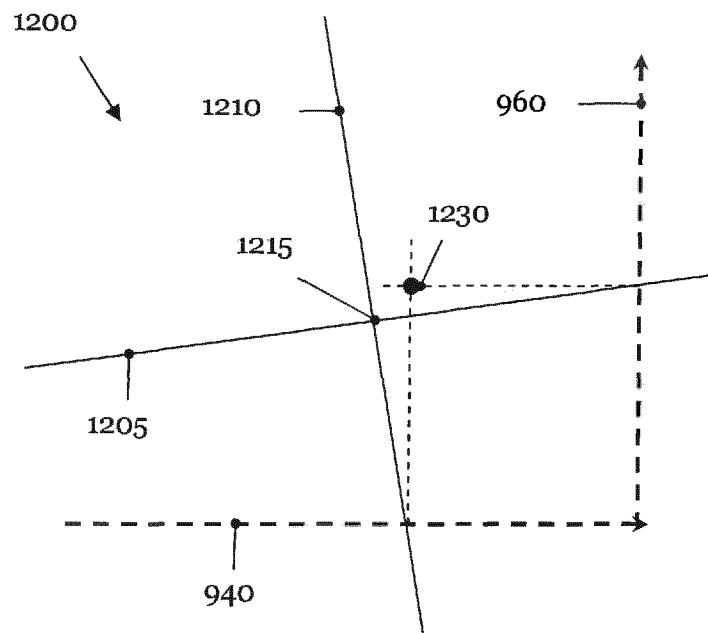
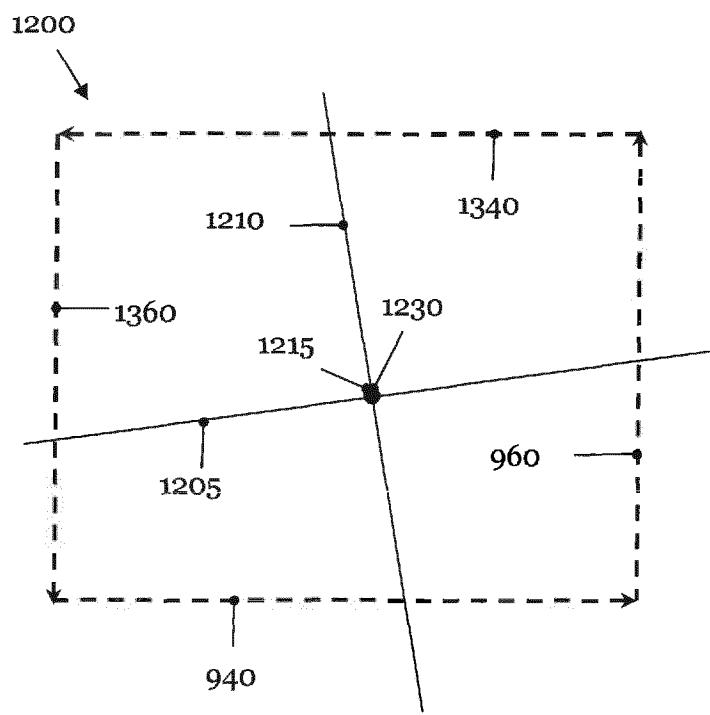
Fig. 12**Fig. 13**

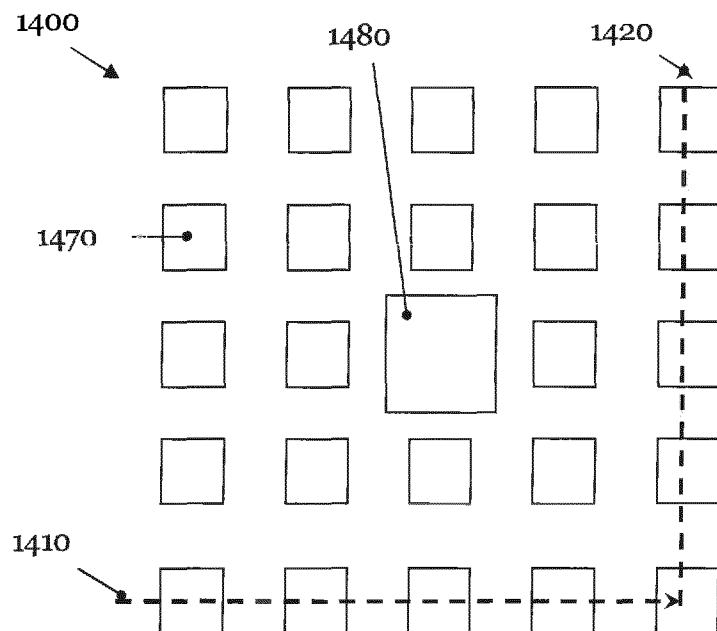
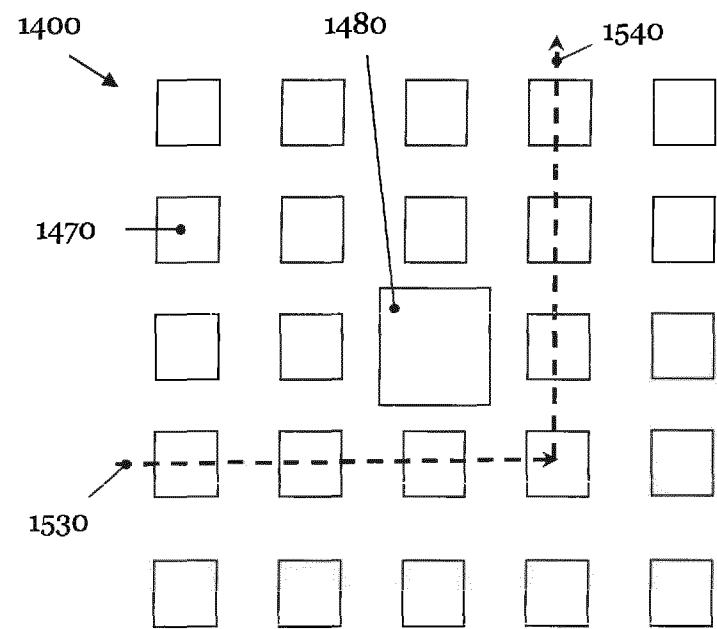
Fig. 14**Fig. 15**

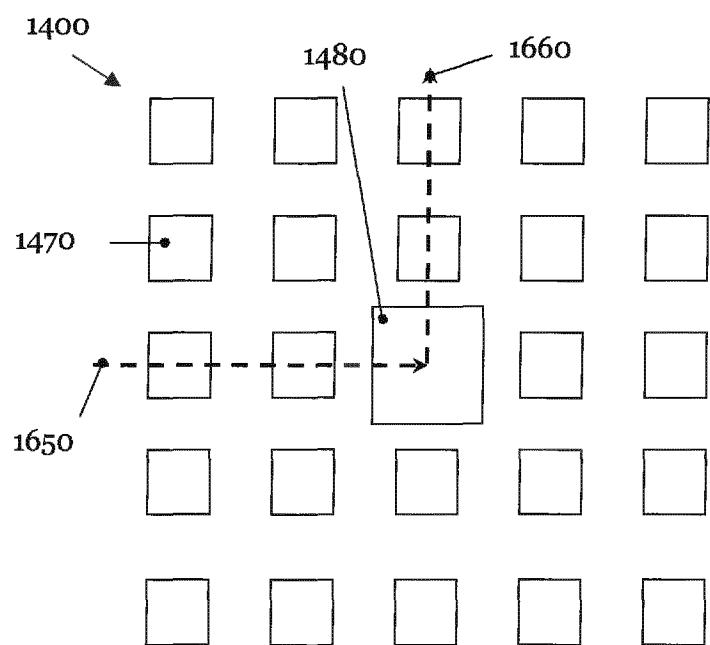
Fig. 16

FIG. 17

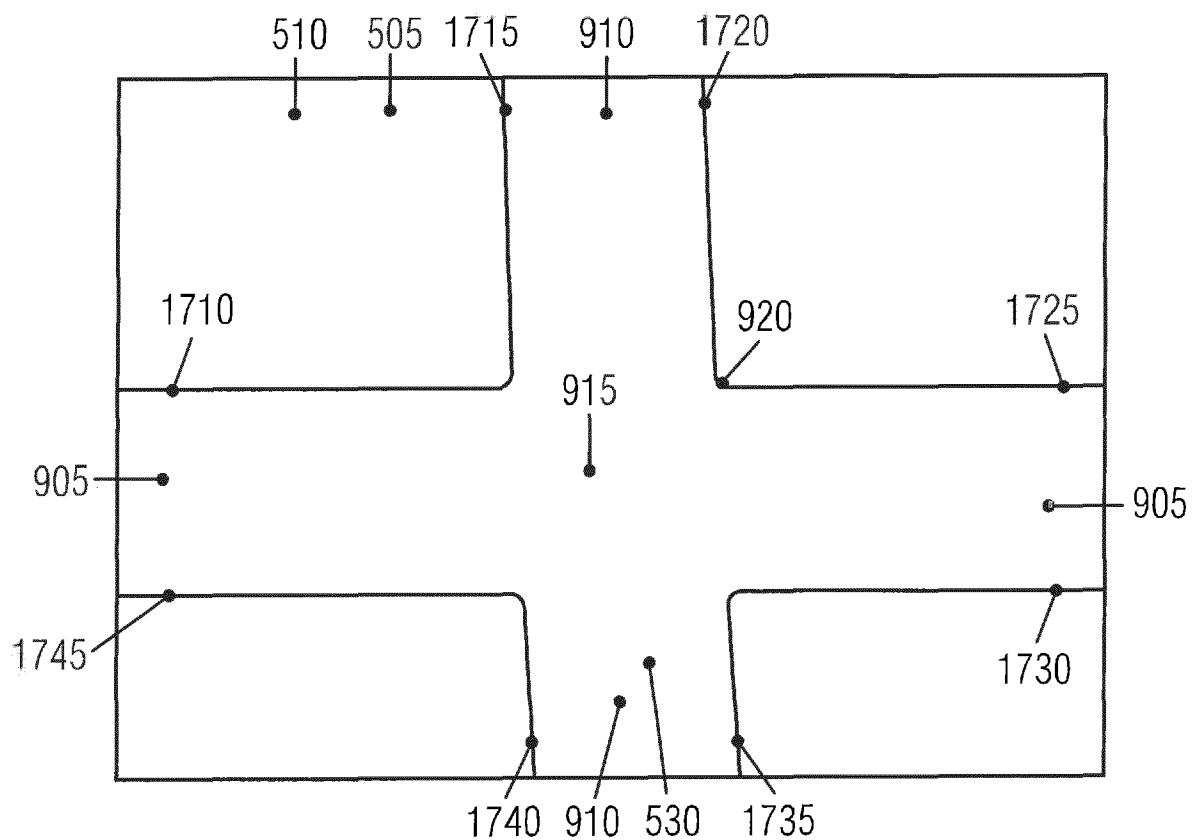


FIG. 18

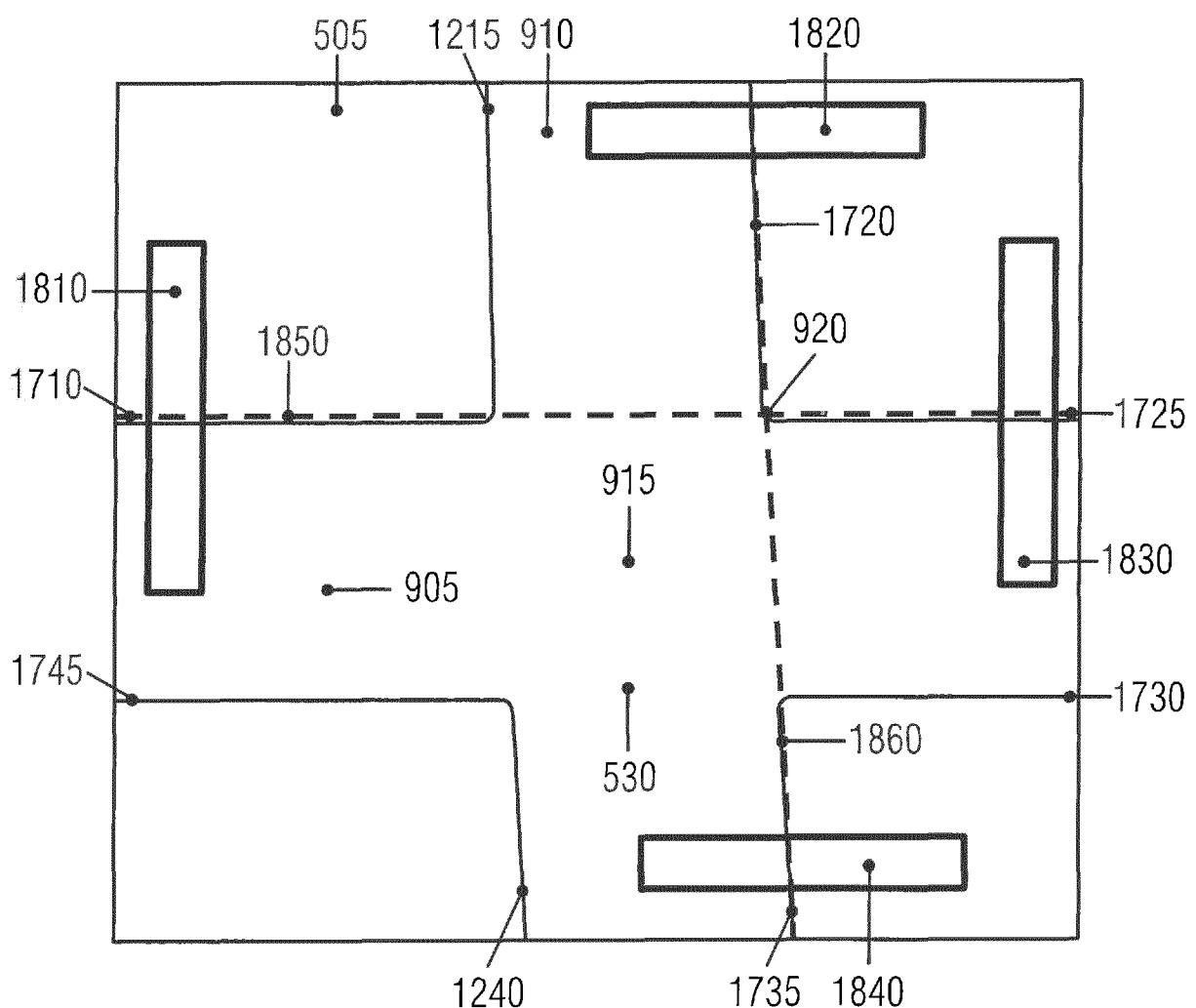


FIG. 19

