



(10) **DE 11 2013 005 748 B4** 2022.05.05

(12) **Patentschrift**

(21) Deutsches Aktenzeichen: **11 2013 005 748.4**  
(86) PCT-Aktenzeichen: **PCT/US2013/071733**  
(87) PCT-Veröffentlichungs-Nr.: **WO 2014/085343**  
(86) PCT-Anmeldetag: **25.11.2013**  
(87) PCT-Veröffentlichungstag: **05.06.2014**  
(43) Veröffentlichungstag der PCT Anmeldung  
in deutscher Übersetzung: **10.09.2015**  
(45) Veröffentlichungstag  
der Patenterteilung: **05.05.2022**

(51) Int Cl.: **H01L 21/027 (2006.01)**  
**H01L 21/66 (2006.01)**

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

(30) Unionspriorität:

**61/731,580**      **30.11.2012**      **US**  
**13/772,929**      **21.02.2013**      **US**

(73) Patentinhaber:

**KLA-Tencor Corporation, Milpitas, Calif., US**

(74) Vertreter:

**Reichert & Lindner Partnerschaft Patentanwälte,  
93049 Regensburg, DE**

(72) Erfinder:

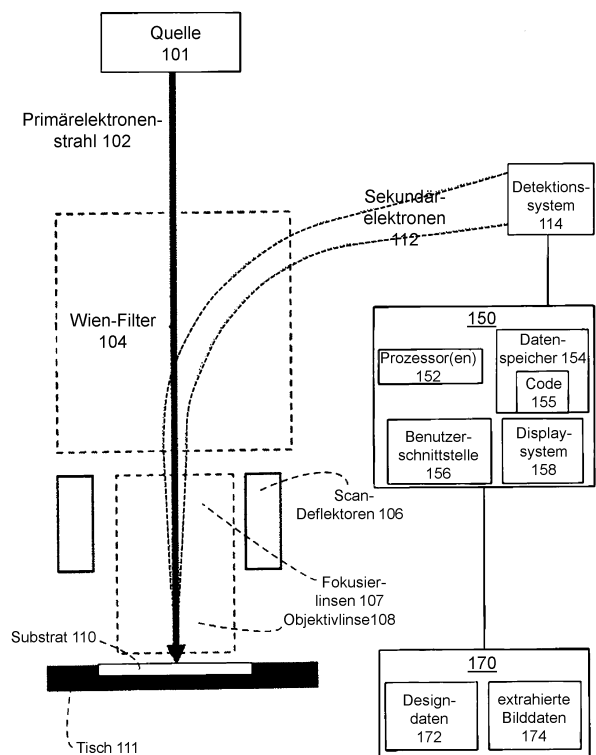
**Xiao, Hong, Pleasanton, Calif., US**

(56) Ermittelter Stand der Technik:

**US**      **2012 / 0 105 617**      **A1**  
**US**      **5 969 273**      **A**

(54) Bezeichnung: **Verfahren und Vorrichtung zur Messung der relativen kritischen Abmessung**

(57) Hauptanspruch: Ein Verfahren zum Messen einer relativen kritischen Abmessung bei Elektronenstrahl-Inspektion eines Zielsubstrats (110), umfassend:  
Erhalten eines Referenzbildes (300);  
Definieren eines Bereichs von Interesse (400) in dem Referenzbild (300);  
Erhalten eines Bildes (500) des Ziels unter Verwendung eines Bilderzeugungsgeräts mittels Elektronenstrahlen;  
Ausrichten des Bildes (500) des Ziels und des Referenzbildes (300);  
Lokalisieren des Bereichs von Interesse (400) in dem Bild (500) des Ziels; und  
Messen einer relativen kritischen Abmessung (RCD) innerhalb des Bereichs von Interesse (400) in dem Bild (500) des Ziels, wobei das Messen der RCD Folgendes umfasst:  
Scannen entlang einer Scanlänge, die senkrecht zu der RCD ist;  
punktweises Messen der RCD entlang der Scanlänge, wobei das punktweise Messen der RCD umfasst:  
Durchführen einer Ableitung der Pixelintensitäten in einer vertikalen Säule von Pixeln bei einem horizontalen Abtastpunkt, um eine Funktion zu bestimmen, die eine Änderung der Pixelintensität entlang der vertikalen Säule von Pixeln anzeigt;  
Anwenden positiver und negativer Schwellen auf die Änderung der Pixelintensität.



**Beschreibung**

## VERWEIS AUF VERWANDTE ANMELDUNGEN

**[0001]** Diese Anmeldung beansprucht in Bezug auf 35 U.S.C. die Priorität der provisorischen US-Anmeldung 61/731,580 mit dem Titel „Relative Critical Dimension Measurement for Hotspot Inspection and Control“ eingereicht am 30. November 2012 durch den Erfinder Hong XIAO.

## HINTERGRUND DER ERFINDUNG

## Technisches Gebiet

**[0002]** Die vorliegende Erfindung bezieht sich auf die Kontrolle und Überprüfung von Substraten, wie beispielsweise Halbleiterwafern und Retikel.

## Beschreibung des Standes der Technik

**[0003]** In einem herkömmlichen Instrument mit einem Strahl geladener Teilchen, wie etwa einem Inspektionsinstrument mit einem Elektronenstrahl (e-beam), wird ein hergestelltes Substrat (wie beispielsweise ein Silizium-Wafer oder ein Retikel) mit einem fokussierten Strahl von Elektronen gescannt, was in der Emission von Sekundärelektronen von der Substratoberfläche resultiert. Die emittierten Elektronen werden detektiert, und die Detektionsdaten werden typischerweise in Bilder der Oberfläche der Probe umgewandelt. Diese Bilder werden dann numerisch analysiert, um Anomalitäten (als Defekte bezeichnet) in dem hergestellten Substrat zu detektieren.

**[0004]** US-Patent US 5 969 273 A betrifft ein Verfahren zur Überwachung eines Prozesses, bei dem ein Strukturmerkmal auf einem Substrat gebildet wird. Etliche Abmessungen des Strukturmerkmals werden bestimmt. Daraus wird eine Kantenbreite des Strukturmerkmals berechnet, welche dazu dient, zu überprüfen, ob der Prozess innerhalb der gewünschten Spezifikationen arbeitet.

**[0005]** Die Patentanmeldung US 2012/ 0 105 617 A1 offenbart ein Verfahren zur Messung einer kritischen Dimension einer Struktur. Dabei wird ein Bild der Struktur gewonnen und mit Designdaten der Struktur abgeglichen, um einen Detektionsbereich im Bild der Struktur zu bestimmen. Eine kritische Dimension wird innerhalb eines Bereichs von Interesse gemessen.

## ZUSAMMENFASSUNG DER ERFINDUNG

**[0006]** Eine Ausführungsform betrifft ein Verfahren zum Messen einer relativen kritischen Abmessung (RCD) während der Inspektion eines Zielsubstrats mit dem Elektronenstrahl. Ein Referenzbild wird

erhalten. Ein Bereich von Interesse wird in dem Referenzbild definiert. Ein Bild eines Ziels wird unter Verwendung eines Bilderzeugungsgeräts mittels Elektronenstrahlen erhalten. Das Bild des Ziels und das Referenzbild werden ausgerichtet, und der interessierende Bereich liegt innerhalb des Bildes des Ziels. Die Messung der RCD wird dann innerhalb des interessierenden Bereichs in dem Bild des Ziels vorgenommen.

**[0007]** Eine weitere Ausführungsform betrifft ein Verfahren zum Messen einer RCD, die das Abtasten entlang einer Scanlänge beinhaltet, die senkrecht zu der RCD ausgerichtet ist. Punktweises Messen der RCDs entlang der Scanlänge wird ausgeführt. Ein Filter wird auf den Messpunkt der RCD angewendet, und eine Mittelung des Messpunkts der RCD wird berechnet.

**[0008]** Eine weitere Ausführungsform betrifft eine Vorrichtung mit einer Quelle zum Erzeugen eines einfallenden Elektronenstrahls, einem Abtastsystem zur steuerbaren Ablenkung des einfallenden Elektronenstrahls, um den einfallenden Elektronenstrahl derart über einer Oberfläche abzulenken, so dass davon Sekundärelektronen emittiert werden, und einem Detektionssystem zum Detektieren der Sekundärelektronen, um so Bilddaten zu erzeugen. Die Vorrichtung umfasst ferner ein Steuer- und Verarbeitungssystem, das programmiert ist, um ein Referenzbild zu erhalten, einen Bereich von Interesse in dem Referenzbild zu definieren, ein Bild des Ziels zu erhalten, das Bild des Ziels und das Referenzbild auszurichten, den Bereich von Interesse in dem Bild des Ziels zu lokalisieren, und die RCD in dem Bereich von Interesse im Bild des Ziels zu messen.

**[0009]** Andere Ausführungsformen, Aspekte und Merkmale werden ebenfalls offenbart.

## Figurenliste

**Fig. 1** ist eine schematische Darstellung einer Vorrichtung zur Erzeugung eines Strahls geladener Teilchen in Übereinstimmung mit einer Ausführungsform der Erfindung.

**Fig. 2** ist ein Flussdiagramm eines Verfahrens zur Messung einer relativen kritischen Abmessung in Verbindung mit einer Hotspot-Defektinspektion in Übereinstimmung mit einer Ausführungsform der Erfindung.

**Fig. 3** zeigt ein veranschaulichendes Beispiel eines Referenzbildes vom Ort der Referenz für die Inspektion in Übereinstimmung mit einer Ausführungsform der Erfindung.

**Fig. 4** zeigt ein veranschaulichendes Beispiel eines Bereichs von Interesse (ROI) innerhalb

eines Referenzbilds für die Inspektion gemäß einer Ausführungsform der Erfindung.

**Fig. 5** zeigt ein veranschaulichendes Beispiel eines Bildes eines Ziels am Ort der Inspektion in Übereinstimmung mit einer Ausführungsform der Erfindung.

**Fig. 6** zeigt ein veranschaulichendes Beispiel, bei dem das Bild des Ziels und das Referenzbild der Inspektion zueinander ausgerichtet sind, in Übereinstimmung mit einer Ausführungsform der Erfindung.

**Fig. 7** zeigt ein veranschaulichendes Beispiel, bei dem eine ROI im Bild des Ziels angeordnet ist, in Übereinstimmung mit einer Ausführungsform der Erfindung.

**Fig. 8** zeigt ein veranschaulichendes Beispiel, bei dem ein Merkmal eines Abstands innerhalb einer ROI im Bild des Ziels, in Übereinstimmung mit einer Ausführungsform der Erfindung, auftritt.

**Fig. 9** ist ein Flussdiagramm eines Verfahrens zum Messen einer relativen kritischen Abmessung innerhalb einer ROI in Übereinstimmung mit einer Ausführungsform der Erfindung.

#### DETAILLIERTE BESCHREIBUNG

**[0010]** Verfahren und Vorrichtungen zur Messung der relativen kritischen Abmessungen unter Verwendung einer Vorrichtung zur Erzeugung eines Strahls geladener Teilchen werden hierin offenbart. Diese Verfahren und Vorrichtungen können vorteilhafterweise in Verbindung mit der „Hotspot“-Defektinspektion eingesetzt werden.

**[0011]** **Fig. 1** stellt im Querschnitt eine Abbildungsvorrichtung 100 mittels eines Strahls geladener Teilchen, die auf einem Rasterelektronenmikroskop (SEM) basiert und in Übereinstimmung mit einer Ausführungsform der Erfindung genutzt werden kann, dar. Wie in **Fig. 1** dargestellt, erzeugt eine Quelle 101 einen einfallenden Elektronenstrahl 102 (Primärelektronenstrahl). Der einfallende Strahl geladener Teilchen, der Elektronenstrahl 102, durchläuft ein Wien-Filter 104. Der Wien-Filter 104 ist ein optisches Element, das so konfiguriert ist, dass es elektrische und magnetische Felder erzeugt, welche sich kreuzen. Scan-Deflektoren 106 und Fokussierlinsen 107 für Elektronen werden verwendet. Die Scan-Deflektoren 106 werden verwendet, um den Strahl geladener Teilchen über die Oberfläche des Zielsubstrats 110 zu scannen. Das Zielsubstrat 110 kann beispielsweise ein strukturiertes Substrat sein, wie z.B. ein herzustellender integrierter Schaltkreis oder ein Retikel für die Lithographie.

**[0012]** Die Fokussierlinsen 107 für Elektronen werden verwendet, um den einfallenden Elektronen-

strahl 102 in einen Strahlpunkt auf der Oberfläche des Wafers oder eines anderen Substrats 110 der Probe zu fokussieren. In Übereinstimmung mit einer Ausführungsform werden die Fokussierlinsen 107 zur Erzeugung von elektrischen und/oder magnetischen Feldern betrieben.

**[0013]** Als Ergebnis der Abtastung des einfallenden Elektronenstrahls 102 werden Sekundärelektronen von der Oberfläche des Zielsubstrats 110 (bei dem es sich beispielsweise um einen Halbleiterwafer oder ein Retikel handeln kann) emittiert oder gestreut. Das Zielsubstrat 110 kann auf einen beweglichen Tisch 111 gehalten werden. Die Sekundärelektronen werden dann von dem Zielsubstrat 110 abgezogen, indem sie dem elektromagnetischen Feld der Objektivlinse 108 (final) ausgesetzt werden. Das elektromagnetische Feld wirkt derart, dass die emittierten Elektronen begrenzt innerhalb eines relativ kleinen Abstands von der optischen Achse des einfallenden Elektronenstrahls gehalten werden und dass diese Elektronen in die Säule nach oben beschleunigt werden. Auf diese Weise wird ein Sekundärelektronenstrahl 112 aus Sekundärelektronen gebildet.

**[0014]** Der Wien-Filter 104 lenkt die Sekundärelektronen 112 aus der optischen Achse des einfallenden Elektronenstrahls 102 heraus und in eine Achse für die Detektion (die optische Achse des Detektionssystems 114 der Vorrichtung). Dies dient dazu, die Sekundärelektronen 112 von dem einfallenden Elektronenstrahl 102 zu separieren. Das Detektionssystem 114 erfasst die Sekundärelektronen 112 und erzeugt Datensignale, die verwendet werden können, um Bilder der Oberfläche des Zielsubstrats zu erzeugen.

**[0015]** Ein Steuer- und Datenverarbeitungssystem 150 (Steuerung/Verarbeitung) kann einen oder mehrere Prozessoren 152 (wie z.B. Mikroprozessoren oder Mikrocontroller), Datenspeicher 154 (z.B. einschließlich Laufwerke für Festplattenspeicher, Speicherbausteine), eine Benutzerschnittstelle 156 und ein Displaysystem 158 umfassen. Der Datenspeicher 154 kann konfiguriert sein, dass er computerlesbare Programmcodes 155 (Anweisungen) und Daten speichern oder halten kann. Der Prozessor 152 ist derart konfiguriert, dass er den Programmcode 155 ausführen und die Daten verarbeiten kann. Die Benutzerschnittstelle 156 kann so konfiguriert werden, um Benutzereingaben zu empfangen. Das Displaysystem 158 kann konfiguriert sein, um einem Benutzer visuelle Darstellungen von der Substratoberfläche anzuzeigen.

**[0016]** Das Steuer- und Verarbeitungssystem 150 ist verbunden mit, und kann verwendet werden um, verschiedene Komponenten der Säule des Strahls geladener Teilchen zu steuern und die hierin offenb-

arten Verfahren zu implementieren. Zum Beispiel kann die Bewegung des Tisches 111 und die Abtastung durch die Scan-Deflektoren 106 durch den mittels des Steuer- und Verarbeitungssystems 150 ausgeführten computerlesbaren Programmcode 155 gesteuert werden.

**[0017]** Außerdem kann das Steuer- und Verarbeitungssystem 150 so konfiguriert sein, dass die elektronischen Bilddaten vom Detektionssystem 114 empfangen und verarbeitet werden. Insbesondere kann der computerlesbare Programmcode 155 im Steuer- und Verarbeitungssystem 150 verwendet werden, um Prozeduren der Messtechnik in Bezug auf die relative kritische Abmessung zu implementieren, wie dies hierin beschrieben wird.

**[0018]** Weiterhin kann in Übereinstimmung mit einer Ausführungsform der Erfindung das Steuer- und Verarbeitungssystem 150 so konfiguriert sein, dass dieses über eine Schnittstelle mit einem Datenserver 170 verbunden ist. Der Datenserver 170 kann derart ausgebildet sein, dass Designdaten 172 für das Muster und extrahierte Bilddaten 174 gespeichert werden. Während eines Inspektionslaufs kann der Datenserver 170 auf Anfrage des Steuer- und Verarbeitungssystems 150 der Abbildungsvorrichtung 100 mittels eines Strahls geladener Teilchen die Daten in Echtzeit zur Verfügung stellen.

**[0019]** Fig. 2 ist ein Flussdiagramm eines Verfahrens 200 für die Messung einer relativen kritischen Abmessung in Verbindung mit Defektinspektion gemäß einer Ausführungsform der Erfindung. Das Verfahren 200 kann zum Beispiel unter Verwendung der Abbildungsvorrichtung 100 mittels eines Strahls geladener Teilchen ausgeführt werden.

**[0020]** Durch Schritt 202 kann die Information über die Lage (d.h. die Lage der zu inspizierenden Messorte) mit dem Datenverarbeitungssystem von einer Quelle geladen werden. Die Informationen über die Lage der Messorte können zum Beispiel „Hotspots“ eines Design-Rule-Checks sein. Alternativ kann die Information über die Lage der Messorte die Lage von Defekten aus einer vorherigen Inspektion durch die Abbildungsvorrichtung 100 mittels eines Strahls geladener Teilchen oder durch eine andere Inspektionsapparatur umfassen.

**[0021]** Für jede Lage kann eine Prozedur 210 zur Inspektion des Hotspots und der RCD-Messung durchgeführt werden. Wie gezeigt, beinhaltet die Prozedur 210 die Ausführung der folgenden Schritte.

**[0022]** Bei Schritt 212 kann ein Referenzbild in ein Datenverarbeitungssystem, wie z. B. Steuer- und Verarbeitungssystem 150, geladen werden. In einer Ausführungsform kann das Referenzbild ein SEM-Bild sein, das durch eine Abbildungsvorrichtung,

wie z. B. eine Abbildungsvorrichtung 100 mittels eines Strahls geladener Teilchen, von der Position einer Referenz aufgenommen worden ist. Die Lage der Referenz ist vorzugsweise eine wohl bekannte (fehlerfreie) Lage, die einer Lage für die Inspektion entspricht. In einer anderen Ausführungsform kann das Referenzbild aus Designdaten berechnet werden, das dann zum Beispiel durch die Abbildungsvorrichtung 100 mittels eines Strahls geladener Teilchen vom Datenserver 170 abgerufen werden kann.

**[0023]** Ein veranschaulichendes Beispiel eines Referenzbildes von einer Lage der Referenz ist in Fig. 3 dargestellt. Wie dargestellt, kann das Referenzbild 300 eine Vielzahl von Merkmalen (302, 304, 306, 308, 310, 312, 314, 316, 318 und 320) umfassen. Während das veranschaulichende Beispiel nur die Umrisse eines jeden Merkmal zeigt, kann jedes Merkmal in dem Referenzbild von dem Hintergrund oder den umgebenden Pixeln durch Kontrast unterschieden werden. Zum Beispiel kann jedes Merkmal dunklere Pixel gegen einen Hintergrund von helleren Pixeln des Referenzbildes haben. Alternativ kann jede Funktion hellere Pixel vor dem Hintergrund mit dunklen Pixeln haben. Bei SEM-Bildern entsprechen hellere Pixel typischerweise einer größeren Intensität der detektierten Sekundärelektronen und dunklere Pixel entsprechen typischerweise einer niedrigeren Intensität der detektierten Sekundärelektronen.

**[0024]** Bei Schritt 214 kann ein Bereich von Interesse (ROI) im Referenzbild definiert werden. Ein veranschaulichendes Beispiel einer ROI 400 in einem Referenzbild ist in Fig. 4 dargestellt. Wie dargestellt, kann die ROI 400 eine rechteckige Form aufweisen. In diesem besonderen Beispiel umfasst die ROI 400 Abschnitte von zwei Merkmalen (304 und 306), die benachbart oder in der Nähe voneinander sind.

**[0025]** Bei Schritt 216 kann ein Bild des Ziels des zu inspizierenden Orts erhoben oder aufgenommen werden. Das Bild des Ziels kann ein SEM-Bild sein und kann z.B. unter Verwendung des Strahls geladener Teilchen der Abbildungsvorrichtung 100 aufgenommen werden.

**[0026]** Ein anschauliches Beispiel für ein Bild des Ziels 500 ist in Fig. 5 dargestellt. Das Bild des Ziels 500 entspricht dem Referenzbild 300 in Fig. 3. Wie dargestellt, kann das Bild des Ziels 400 mehrere Merkmale (502, 504, 506, 508, 510, 512, 514, 516, 518 und 520) umfassen, die den mehreren Merkmalen (302, 304, 306, 308, 310, 312, 314, 316, 318 und 320) in dem Referenzbild 300 entsprechen (aber möglicherweise etwas davon abweichen). Auch hier zeigt das veranschaulichte Beispiel nur die Umrisse jedes Merkmals, wobei jedes Merkmal in dem Referenzbild

renzbild über den Kontrast gegenüber dem Hintergrund oder umgebenden Pixeln unterscheidbar ist.

**[0027]** Bei Schritt 218 kann das Bild des Ziels und das Referenzbild zueinander ausgerichtet werden. Der Ausrichtungsvorgang kann beispielsweise eine Verschiebung der Position des Bildes des Ziels relativ zum Referenzbild umfassen, bis eine gute Übereinstimmung zwischen den beiden erreicht ist. Die Güte der Übereinstimmung kann beispielsweise durch eine Anpassung der kleinsten Quadrate bestimmt werden. Andere Ausrichtungsvorgänge können in anderen Implementierungen verwendet werden.

**[0028]** Ein illustratives Beispiel, bei dem das Bild des Ziels und das Referenzbild zueinander ausgerichtet sind, ist in **Fig. 6** dargestellt. In **Fig. 6** sind die Umrisse der Merkmale (502 bis 520) des Bild des Ziels mit durchgezogenen Linien dargestellt, während die Konturen der angepassten Merkmale (302 bis 320) in dem Referenzbild mit gestrichelten Linien dargestellt sind. Wie gezeigt, korrespondieren die Merkmale des Ziels und die Merkmale der Referenz zueinander, aber sie können in ihren exakten Formen und der Positionierung voneinander abweichen.

**[0029]** Bei Schritt 220 kann die ROI 700 im Bild des Ziels 500 angeordnet sein, wie dies in **Fig. 7** dargestellt ist. In diesem besonderen Beispiel weist die ROI 700 Abschnitte von zwei Zielmerkmalen (504 und 506) auf, wobei sich zwei Referenzmerkmale (304 bzw. 306) in der entsprechenden ROI 400 im Referenzbild 300 befinden.

**[0030]** Bei Schritt 222 kann eine Inspektionsprozedur oder Review-Prozedur durchgeführt werden, um festzustellen, ob die ROI einen Defekt aufweist und/oder um den Defekt zu klassifizieren. Diese Prozedur kann unter Verwendung von bestehenden Techniken ausgeführt werden.

**[0031]** Bei Schritt 224 kann eine Messung für die relativ kritische Abmessung (RCD) durchgeführt werden. Die RCD-Messung kann durchgeführt werden, um eine RCD für ein bestimmtes Merkmal innerhalb der ROI zu bestimmen. Die RCD-Messung bei Schritt 224 kann parallel zu der Defekterkennung und/oder Klassifizierung bei Schritt 222 durchgeführt werden.

**[0032]** In einem anschaulichen Beispiel kann das bestimmte Merkmal die Breite des Abstands zwischen Kanten zwischen zwei linearen Merkmalen (504 und 506) in der ROI 700 sein. Dieses Abstandsmerkmal ist in **Fig. 8** dargestellt. In diesem Beispiel gibt es zwei Abschnitte (802 und 804), die den Abstand ausbilden und zwischen denen es scheint, als sei der Abstand geschlossen. In einem anderen

Beispiel kann das bestimmte Merkmal eine Linie anstatt eines Abstands sein.

**[0033]** Die RCD des bestimmten Merkmals (zum Beispiel die Breite eines Abstands oder einer Linie) kann relativ zu einer Pixelgröße gemessen werden. Mit anderen Worten kann die RCD des bestimmten Merkmals in Bezug auf eine Anzahl von Pixeln bestimmt werden. Die Anzahl der Pixel kann in einen Abstand (beispielsweise in Nanometer) basierend auf der Vergrößerung des Bildes umgewandelt werden. Eine solche Breite des Merkmal, die auf Bildpixel basiert, kann als eine RCD-Messung bezeichnet werden, da sie eine Messung in Bezug auf die Bildpixel, anstatt eine absolute Messung in Nanometern, ist.

**[0034]** In Übereinstimmung mit einer Ausführungsform der Erfindung kann die RCD gemäß der in **Fig. 9** gezeigten Ausführungsform des in **Fig. 9** gezeigten Verfahrens 900 gemessen werden. Alternativ können auch andere, ähnliche Verfahren verwendet werden.

**[0035]** In dem beispielhaften Verfahren 900 kann das bestimmte Merkmal entlang einer Länge abgetastet werden, die senkrecht zu der kritischen Abmessung ist (die Länge ist hierin als die „Scan Länge“ oder die „senkrechte Länge“ bezeichnet). Das Abtasten kann in Schritten von einem oder mehreren Pixeln durchgeführt werden. Zum Beispiel kann die zur RCD senkrechte Länge innerhalb des ROI 1024 Pixel lang sein und kann von 1 bis 1024 nummeriert sein. In diesem Fall würde das Abtasten in Schritten von einem Pixel 1024 Abtastpunkte (Messpunkte) ergeben und das Abtasten in Einheiten von zwei Bildpunkten würde 512 Abtastpunkte ergeben, usw. Ein Inkrement für die Abtastung kann bei Schritt 901 festgelegt oder ausgewählt werden. Es wird erwartet, dass ein Inkrement für die Abtastung von einem Pixel typischerweise ausgewählt werden kann.

**[0036]** Bei Schritt 902 kann ein nächster Abtastpunkt entlang der senkrechten Länge gewählt werden. Die RCD kann dann beim Abtastpunkt (die „Punkt - RCD“) bei Schritt 904 gemessen werden. Die Punkt - RCD kann in Bezug auf eine Anzahl von Pixeln gemessen werden. Zum Beispiel sind die Punkt RCDs 1002 für das Beispiel des Abstandsmerkmals zwischen zwei Linien (504 und 506) durch die Pfeile in **Fig. 10** dargestellt.

**[0037]** Bei dem in **Fig. 10** gezeigten Beispiel, kann jede Punkt RCD unter Berücksichtigung der vertikalen Säule von Pixeln beim horizontalen Abtastpunkt gemessen werden. Eine Ableitung kann auf die Pixelintensitäten in der Säule von Pixeln durchgeführt werden, um eine Funktion zu bestimmen, die die Änderung der Pixelintensität entlang der Säule

anzeigt. Positive und negative Schwellen können dann auf die Änderung der Pixelintensität angewendet werden, um die Start- und Endpixel des bestimmten Merkmals an diesem Punkt festzulegen. Die Punkt - RCD kann dann als eine Anzahl von Pixeln vom Startpixel bis zum Endpixel bestimmt werden.

**[0038]** Das Verfahren 900 kann fortgesetzt werden, um einen nächsten Abtastpunkt entlang der senkrechten Länge auszuwählen und die Punkt - RCD am Abtastpunkt zu messen, bis bei Schritt 906 festgestellt wird, dass keine weiteren Abtastpunkte ausgewählt werden. In Übereinstimmung mit einer Ausführungsform der Erfindung, falls alle Punkt - RCDs gemessen worden sind, kann ein optionales Filtern auf die Daten der Punkt RCD bei Schritt 908 durchgeführt werden.

**[0039]** In einer Ausführungsform kann der angewandte Filter ein nächster Nachbar (NN) Filter sein. Der NN-Filter kann jede Punkt - RCD mit seinen nächsten Nachbarn der Punkt - RCDs mitteln. Mit anderen Worten, kann die NN gefilterte Punkt - RCD für den Abtastpunkt  $j$  der Mittelwert der drei unverarbeiteten Punkt - RCDs für die Abtastpunkte  $j-1$ ,  $j$  und  $j+1$  sein. Alternativ kann der NN-Filter die unverarbeiteten Punkt - RCD für den mittleren Punkt  $j$  mit einem Gewichtungsfaktor gewichten. Zum Beispiel, wenn der Gewichtungsfaktor zwei ist, dann ist die NN gefilterte Punkt - RCD für den Abtastpunkt  $j$  der Mittelwert der vier unverarbeiteten Punkt - RCDs für die Abtastpunkte  $j-1$ ,  $j$ ,  $j$  und  $j+1$ .

**[0040]** In einer anderen Ausführungsform kann der angewendete Filter ein übernächster Nachbar (NNN) Filter sein. Ein NNN Filter kann jede Punkt - RCD mit den Punkt - RCDs seiner nächsten Nachbarn und seiner übernächsten Nachbarn mitteln. Mit anderen Worten, kann die NNN gefilterte Punkt - RCD für den Abtastpunkt  $j$  der Mittelwert der fünf unverarbeiteten Punkt - RCDs für die Abtastpunkte  $j-2$ ,  $j-1$ ,  $j$ ,  $j+1$  und  $j+2$  sein. Alternativ kann der NNN-Filter die unverarbeitete Punkt - RCD für den mittleren Punkt  $j$  mit einem Gewichtungsfaktor gewichten. Zum Beispiel, wenn der Gewichtungsfaktor zwei ist, dann ist die NNN gefilterte Punkt - RCD für den Abtastpunkt  $j$  der Mittelwert der sechs unverarbeiteten Punkt - RCDs für die Abtastpunkte  $j-2$ ,  $j-1$ ,  $j$ ,  $j$ ,  $j+1$  und  $j+2$ .

**[0041]** In einer weiteren Ausführungsform kann der angewendete Filter ein überübernächster Nachbar (NNNN) Filter sein. Ein NNNN-Filter kann jede Punkt - RCD mit den Punkt - RCDs seiner nächsten Nachbarn, seiner übernächsten Nachbarn und seiner überübernächsten Nachbarn mitteln. Mit anderen Worten, kann die NNNN gefilterte Punkt - RCD für den Abtastpunkt  $j$  der Mittelwert der sieben unverarbeiteten Punkt - RCDs für die Abtastpunkte  $j-3$ ,  $j-2$ ,  $j-1$ ,  $j$ ,  $j+1$ ,  $j+2$  und  $j+3$  sein. Alternativ kann der NNNN-Filter die unverarbeitete Punkt - RCD für den

mittleren Punkt  $j$  mit einem Gewichtungsfaktor gewichten. Zum Beispiel, wenn der Gewichtungsfaktor zwei ist, dann ist die NNNN gefilterte Punkt - RCD für den Abtastpunkt  $j$  der Mittelwert der acht unverarbeiteten Punkt - RCDs für die Abtastpunkte  $j-3$ ,  $j-2$ ,  $j-1$ ,  $j$ ,  $j$ ,  $j+1$ ,  $j+2$  und  $j+3$ .

**[0042]** Die Grenzwerte können auf verschiedene Weise behandelt werden. Es ist zu bedenken, dass es  $M$  Abtastpunkte gibt, so dass  $j$  von 1 bis  $M$  reicht. Eine Möglichkeit, die Randwerte zu behandeln, ist nachstehend beschrieben, aber auch andere Implementierungen sind möglich.

**[0043]** Bei einer Ausführungsform können nicht existente Abtastpunkte der nächsten Nachbarn bei der Berechnung der Mittelwerte vernachlässigt werden. Zum Beispiel kann die NN gefilterte Punkt - RCD (ohne Gewichtung des mittleren Punkts) beim Abtastpunkt 1 als Mittelwert der zwei Punkt - RCDs für die Abtastpunkte 1 und 2 berechnet werden und kann beim Abtastpunkt  $M$  der Mittelwert der beiden Punkt - RCDs für die Abtastpunkte  $M-1$  und  $M$  sein. Als ein anderes Beispiel kann die NN gefilterte Punkt - RCD mit einer Doppelgewichtung des mittleren Punkts beim Abtastpunkt 1 berechnet werden, um effektiv den Mittelwert der drei Punkt - RCDs für die Abtastpunkte 1, 1 und 2 zu mitteln und kann für den Abtastpunkt  $M$  berechnet werden, um effektiv den Durchschnitt der drei Punkt - RCDs für die Abtastpunkte  $M-1$ ,  $M$  und  $M$  zu berechnen.

**[0044]** Zurück zu **Fig. 9**, wobei nach dem optionalen Filtern bei Schritt 908 verschiedene RCD-Eigenschaften bei Schritt 910 berechnet werden können. In einer Ausführungsform umfassen die RCD-Eigenschaften eine gemittelte RCD, eine maximale RCD, eine minimale RCD, und eine Standardabweichung für die RCD, eine verbundene/gebrochene Markierung, und eine verbundene/gebrochene Länge.

**[0045]** Jede RCD-Eigenschaft kann auf der Grundlage der unverarbeiteten und/oder gefilterten Daten der Punkt-RCD berechnet werden. Die gemittelte RCD kann durch Mittelung aller unverarbeiteten Punkt - RCDs oder alternativ aller gefilterten Punkt - RCDs berechnet werden. Die minimale RCD kann durch Auffinden der kürzesten unverarbeiteten Punkt - RCD oder alternativ der kürzesten gefilterten Punkt - RCD bestimmt werden. Die maximale RCD kann durch Auffinden der längsten unverarbeiteten Punkt - RCD oder alternativ der längsten gefilterten Punkt - RCD bestimmt werden. Die Standardabweichung kann als die Standardabweichung der unverarbeiteten Punkt - RCDs oder alternativ als die Standardabweichung der gefilterten Punkt - RCDs berechnet werden.

**[0046]** Die verbundene/gebrochene Markierung kann verwendet werden, um anzuzeigen, ob es

einen geschlossenen Abstand, der einen Kurzschluss zwischen zwei Linien ist oder ob es eine gebrochene Linie gibt, die auf eine offene Schaltung hindeutet. Die verbundene/gebrochene Markierung kann gesetzt werden, wenn die bestimmte minimale RCD Null ist. Die verbundene/gebrochene Länge kann vorgesehen werden, wenn die verbundene/gebrochene Markierung gesetzt wird. Die verbundene/gebrochene Länge kann beispielsweise auf der Basis der Anzahl der Bildpunkte entlang der Länge des Abstands oder der Linie berechnet werden, die den Wert Null für die Punkt - RCD (entweder unverarbeitet oder gefiltert) aufweisen. In anderen Worten kann die Lauflänge für verbunden/gebrochen berechnet und ausgegeben werden.

### Patentansprüche

1. Ein Verfahren zum Messen einer relativen kritischen Abmessung bei Elektronenstrahl-Inspektion eines Zielsubstrats (110), umfassend:  
Erhalten eines Referenzbildes (300);  
Definieren eines Bereichs von Interesse (400) in dem Referenzbild (300);  
Erhalten eines Bildes (500) des Ziels unter Verwendung eines Bilderzeugungsgeräts mittels Elektronenstrahlen;  
Ausrichten des Bildes (500) des Ziels und des Referenzbildes (300);  
Lokalisieren des Bereichs von Interesse (400) in dem Bild (500) des Ziels; und  
Messen einer relativen kritischen Abmessung (RCD) innerhalb des Bereichs von Interesse (400) in dem Bild (500) des Ziels, wobei das Messen der RCD Folgendes umfasst:  
Scannen entlang einer Scanlänge, die senkrecht zu der RCD ist;  
punktweises Messen der RCD entlang der Scanlänge, wobei das punktweise Messen der RCD umfasst:  
Durchführen einer Ableitung der Pixelintensitäten in einer vertikalen Säule von Pixeln bei einem horizontalen Abtastpunkt, um eine Funktion zu bestimmen, die eine Änderung der Pixelintensität entlang der vertikalen Säule von Pixeln anzeigt;  
Anwenden positiver und negativer Schwellen auf die Änderung der Pixelintensität.

2. Verfahren nach Anspruch 1, wobei die Messung der relativen kritischen Abmessung (RCD) ferner umfasst:  
Mittelung der Messpunkte der RCD.

3. Verfahren nach Anspruch 2, ferner umfassend:  
Anwenden eines Filters auf die Messpunkte der RCD.

4. Verfahren nach Anspruch 3, wobei der Filter vom Typ Nächster-Nachbar ist, der einen Mess-

punkt der RCD mit Nachbarmesspunkten der RCD mittelt.

5. Verfahren nach Anspruch 4, wobei der Filter vom Typ Nächster-Nachbar einen Messpunkt mit einem vorgeordneten Messpunkt der RCD und einen nachgeordneten Messpunkt der RCD entlang der Scanlänge mittelt.

6. Verfahren nach Anspruch 4, wobei der Filter vom Typ Nächster-Nachbar einen Messpunkt mit zwei vorgeordneten Messpunkten der RCD und zwei nachgeordneten Messpunkten der RCD entlang der Scanlänge mittelt.

7. Verfahren nach Anspruch 4, wobei der Filter vom Typ Nächster-Nachbar einen Messpunkt mit drei vorgeordneten Messpunkten der RCD und drei nachgeordneten Messpunkten der RCD entlang der Scanlänge mittelt.

8. Verfahren nach Anspruch 4, wobei der Filter vom Typ Nächster-Nachbar den RCD-Messpunkt gewichtet.

9. Verfahren nach Anspruch 2, ferner umfassend:  
Bestimmen, ob die Messpunkte der RCD einen Nullwert umfassen, um eine verbindende oder gebrochene Eigenschaft zu erkennen.

10. Verfahren nach Anspruch 9, ferner umfassend:  
Berechnen der Lauflänge der verbindenden oder gebrochenen Eigenschaft.

11. Verfahren nach Anspruch 2, ferner umfassend:  
Berechnen eines Minimums der RCD, eines Maximums der RCD und einer Standardabweichung für die RCD.

12. Eine Vorrichtung (100) umfasst:  
eine Quelle (101) zum Erzeugen eines einfallenden Elektronenstrahls (102);  
ein Abtastsystem zur steuerbaren Ablenkung des einfallenden Elektronenstrahls (102), um den einfallenden Elektronenstrahl (102) über eine Oberfläche zu scannen, so dass Sekundärelektronen (112) daraus emittierbar sind;  
ein Detektionssystem (114) zum Detektieren der Sekundärelektronen (112), um so Bilddaten zu erzeugen; und  
ein Steuer- und Verarbeitungssystem (150), das programmiert ist, um  
ein Referenzbild (300) zu erhalten,  
einen Bereich von Interesse (400) in dem Referenzbild (300) zu definieren,  
ein Bild (500) des Ziels zu erhalten,  
das Bild (500) des Ziels und das Referenzbild (300)

auszurichten,  
 den Bereich von Interesse (400) in dem Bild (500) des Ziels zu lokalisieren, und  
 eine relative kritische Abmessung (RCD) innerhalb des Bereichs von Interesse (400) des Bilds (500) des Ziels zu messen, durch  
 Abtasten entlang einer Scanlänge, die senkrecht zur RCD ist;  
 punktwises Messen der RCD entlang der Scanlänge, wobei das punktwise Messen der RCD umfasst:  
 Durchführen einer Ableitung der Pixelintensitäten in einer vertikalen Säule von Pixeln bei einem horizontalen Abtastpunkt, um eine Funktion zu bestimmen, die eine Änderung der Pixelintensität entlang der vertikalen Säule von Pixeln anzeigt;  
 Anwenden positiver und negativer Schwellen auf die Änderung der Pixelintensität.

13. Vorrichtung (100) nach Anspruch 12, wobei das Steuer- und Verarbeitungssystem (150) weiterhin programmiert ist, um die relative kritische Abmessung (RCD) durch Mitteln der punktwise gemessenen RCD entlang der Scanlänge zu bestimmen.

14. Vorrichtung (100) nach Anspruch 13, wobei das Steuer- und Verarbeitungssystem (150) weiterhin programmiert ist, um einen Filter auf die Messpunkte der RCD anzuwenden.

15. Vorrichtung (100) nach Anspruch 14, wobei der Filter vom Typ Nächster-Nachbar ist, der einen Messpunkt der RCD mit den Nachbarmesspunkten der RCD mittelt.

16. Vorrichtung (100) nach Anspruch 15, wobei der Filter vom Typ Nächster-Nachbar den RCD-Messpunkt gewichtet.

17. Vorrichtung (100) nach Anspruch 13, wobei das Steuer- und Verarbeitungssystem (150) weiterhin programmiert ist, um zu bestimmen, ob die Messpunkte der RCD einen Nullwert umfassen, um eine verbindende oder gebrochene Eigenschaft zu erkennen.

18. Vorrichtung (100) nach Anspruch 17, wobei das Steuer- und Verarbeitungssystem (150) weiterhin programmiert ist, um eine Lauflänge der verbindenden oder gebrochenen Eigenschaft zu berechnen.

19. Vorrichtung (100) nach Anspruch 13, wobei das Steuer- und Verarbeitungssystem (150) weiterhin programmiert ist, um ein Minimum der RCD, ein Maximum der RCD und eine Standardabweichung für die RCD zu berechnen.

20. Ein Verfahren zum Messen einer relativen kritischen Abmessung (RCD) umfassend:  
 Abtasten entlang einer Scanlänge, die senkrecht zu der RCD ist;  
 punktwises Messen der RCD entlang der Scanlänge, wobei das punktwise Messen der RCD umfasst:  
 Durchführen einer Ableitung der Pixelintensitäten in einer vertikalen Säule von Pixeln bei einem horizontalen Abtastpunkt, um eine Funktion zu bestimmen, die eine Änderung der Pixelintensität entlang der vertikalen Säule von Pixeln anzeigt;  
 Anwenden positiver und negativer Schwellen auf die Änderung der Pixelintensität;  
 Anwenden eines Filters auf die Messpunkte der RCD; und  
 Mittelung der Messpunkte der RCD.

21. Verfahren nach Anspruch 20, wobei der Filter vom Typ Nächster-Nachbar ist, der einen Messpunkt der RCD mit den Nachbarmesspunkten der RCD mittelt.

Es folgen 9 Seiten Zeichnungen



## Anhängende Zeichnungen

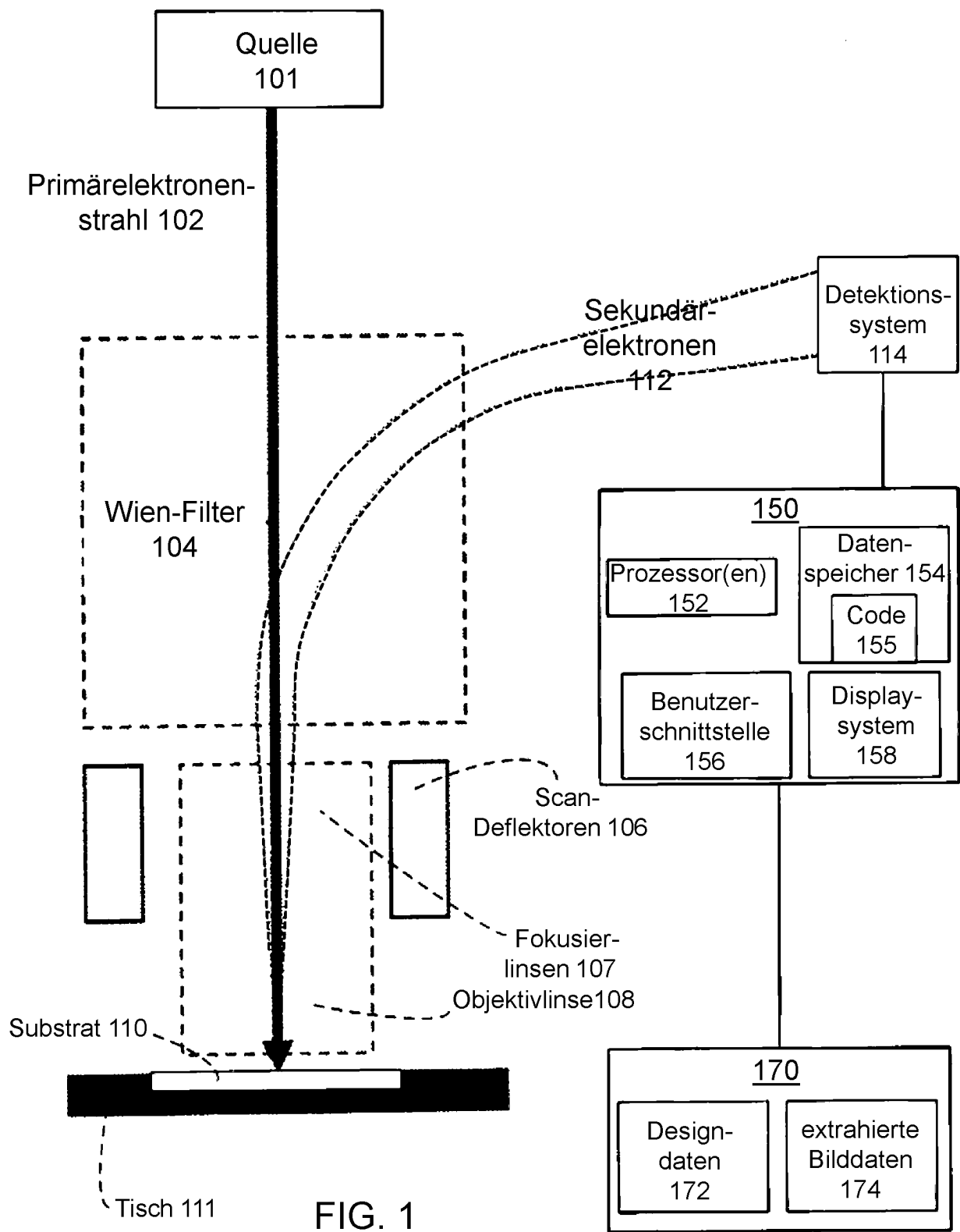


FIG. 1

100

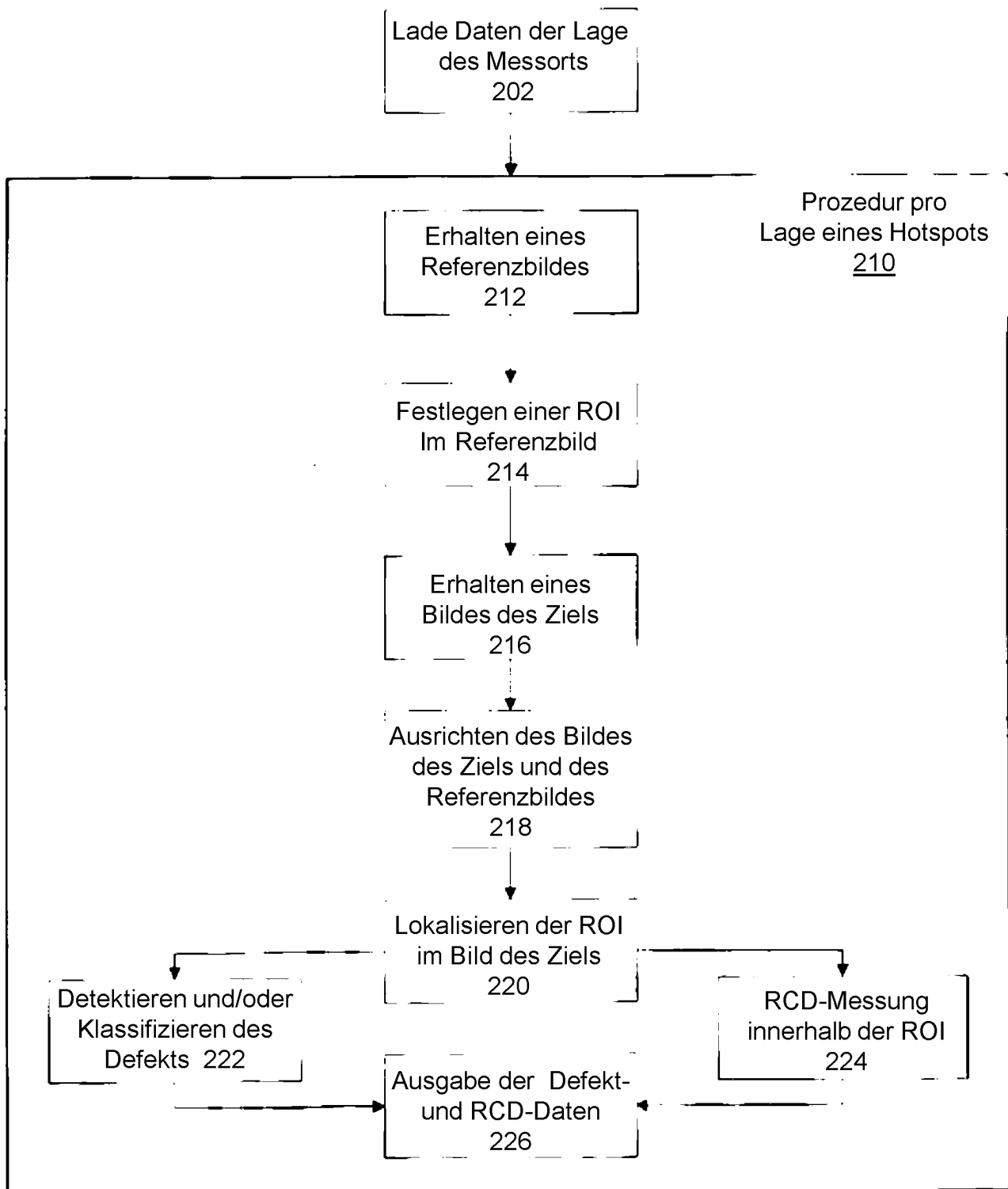


FIG. 2

200

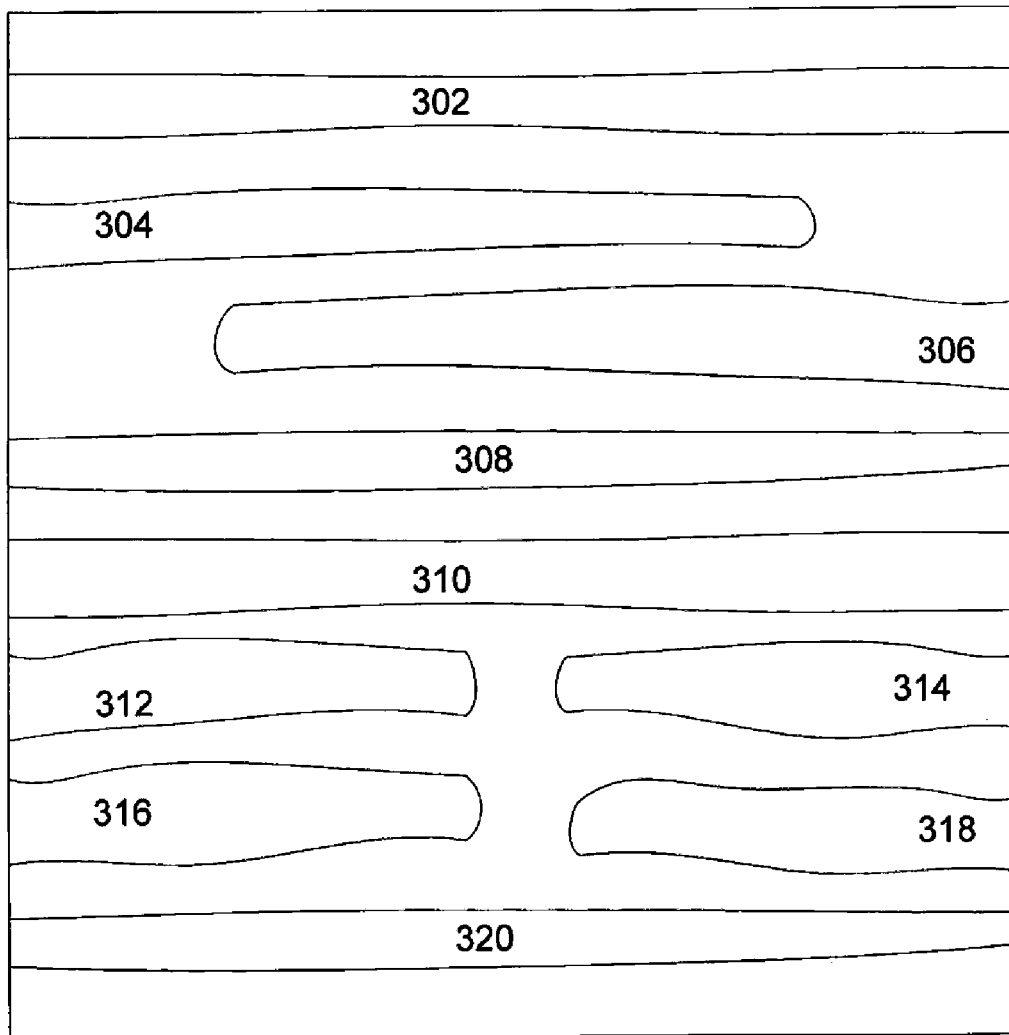


FIG. 3

300

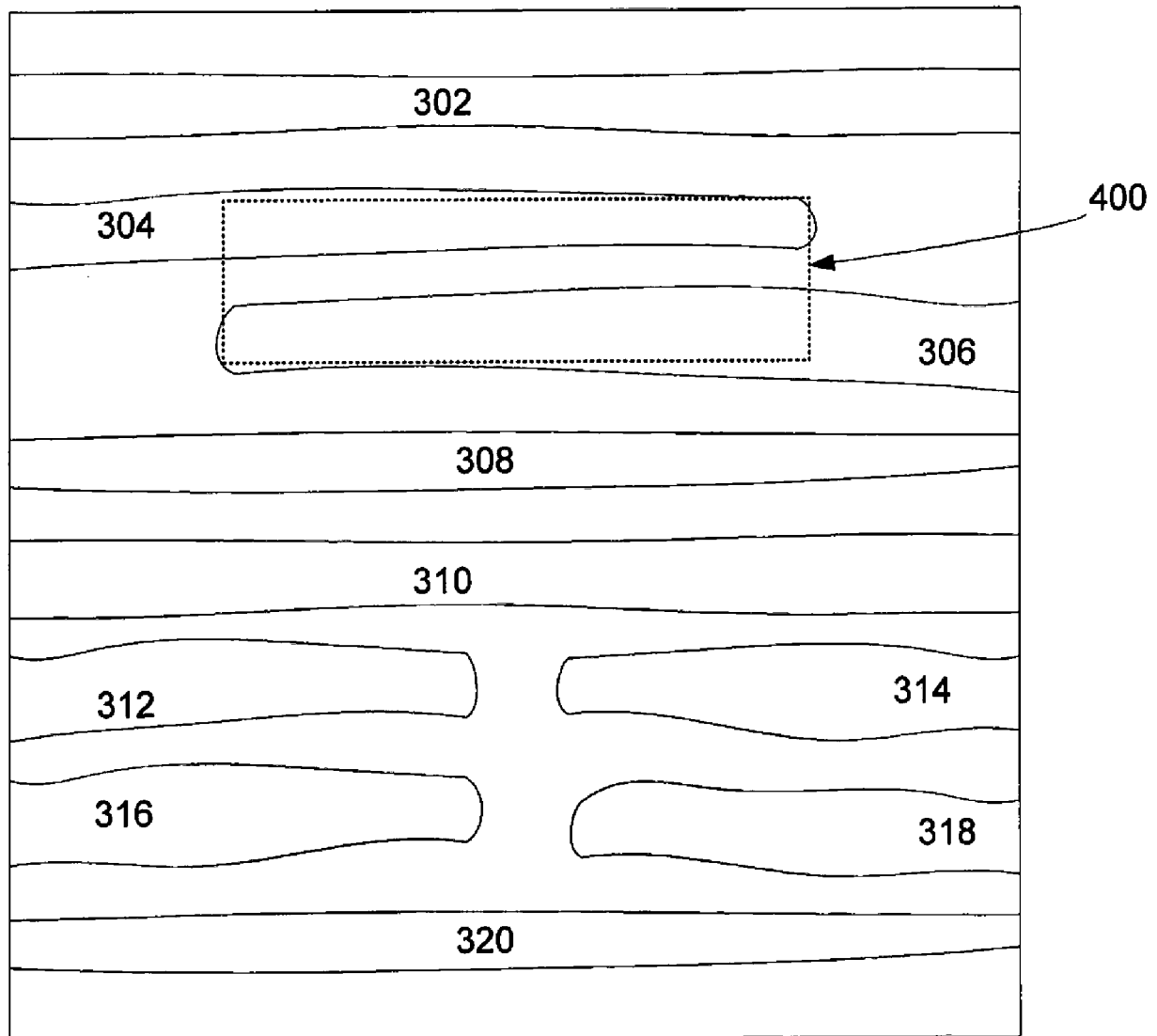


FIG. 4

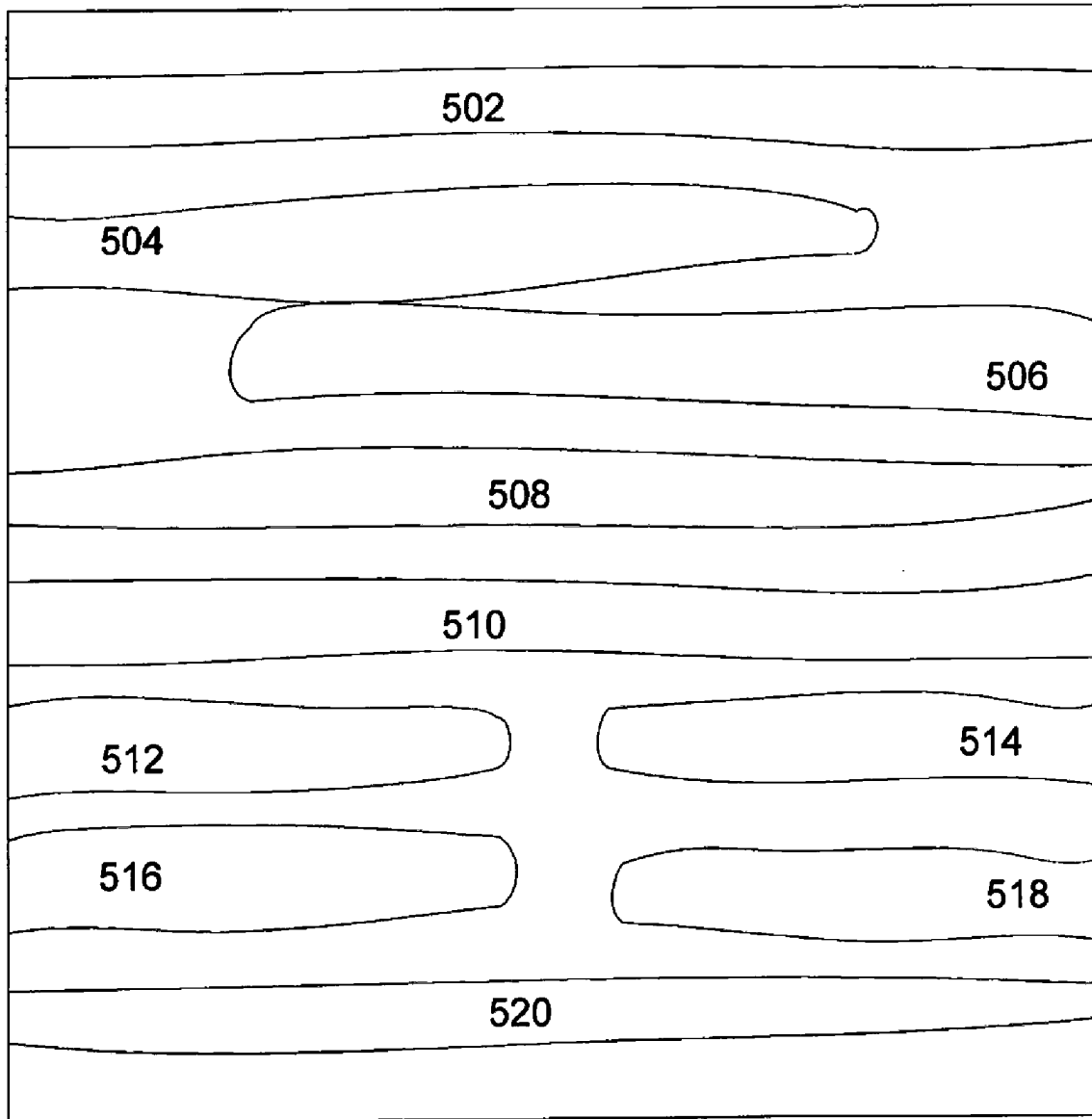


FIG. 5

500

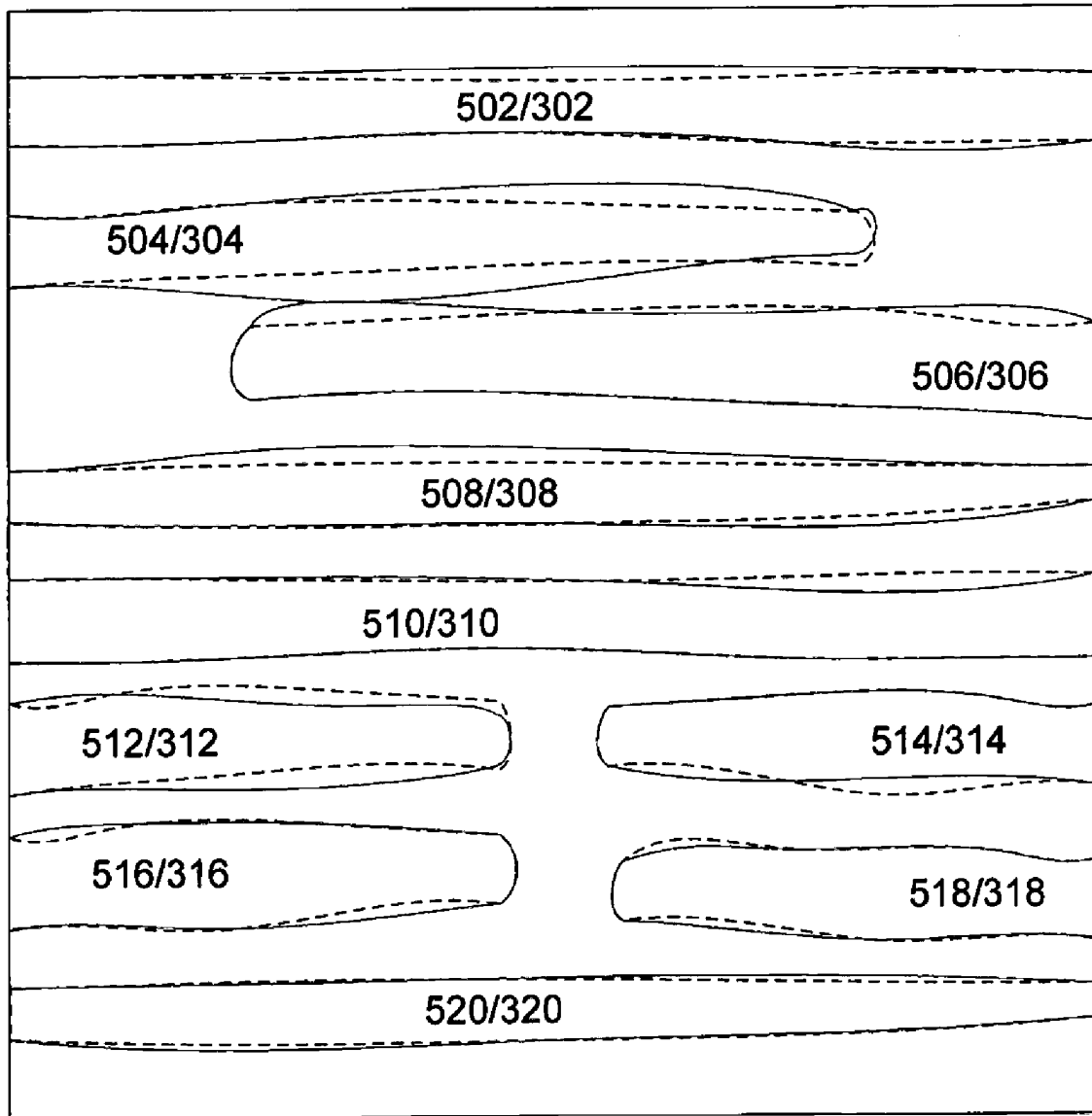


FIG. 6

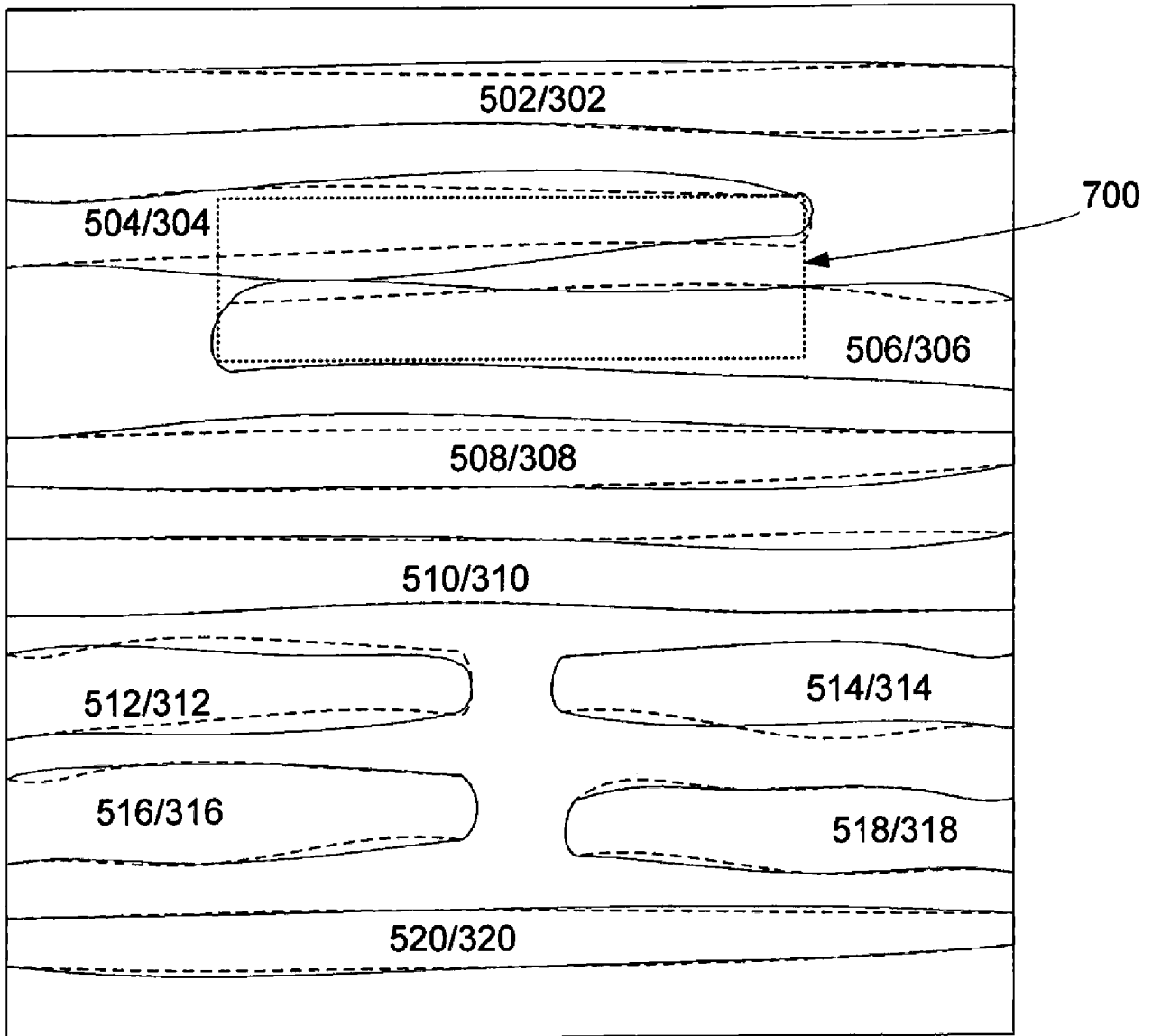


FIG. 7

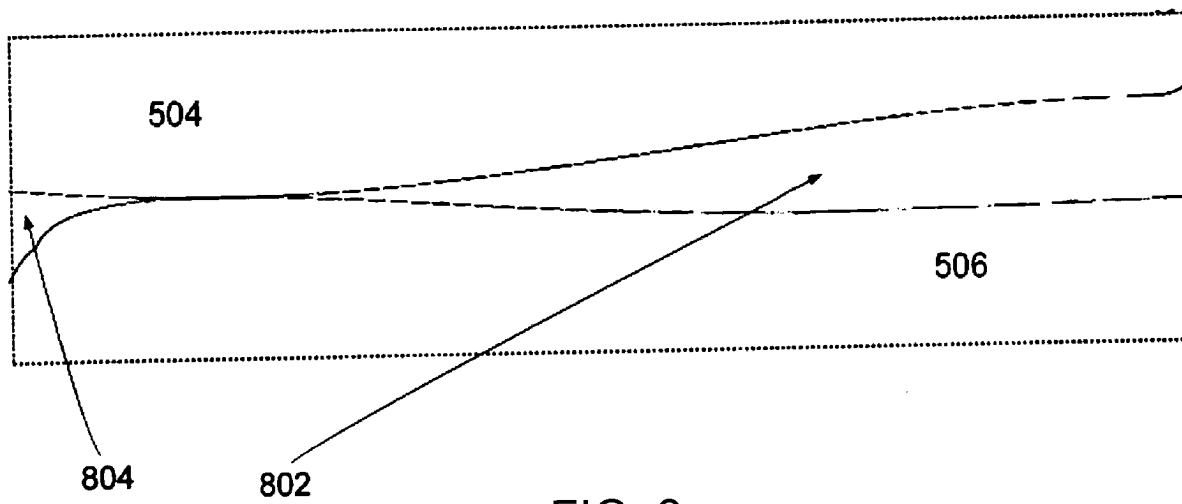


FIG. 8

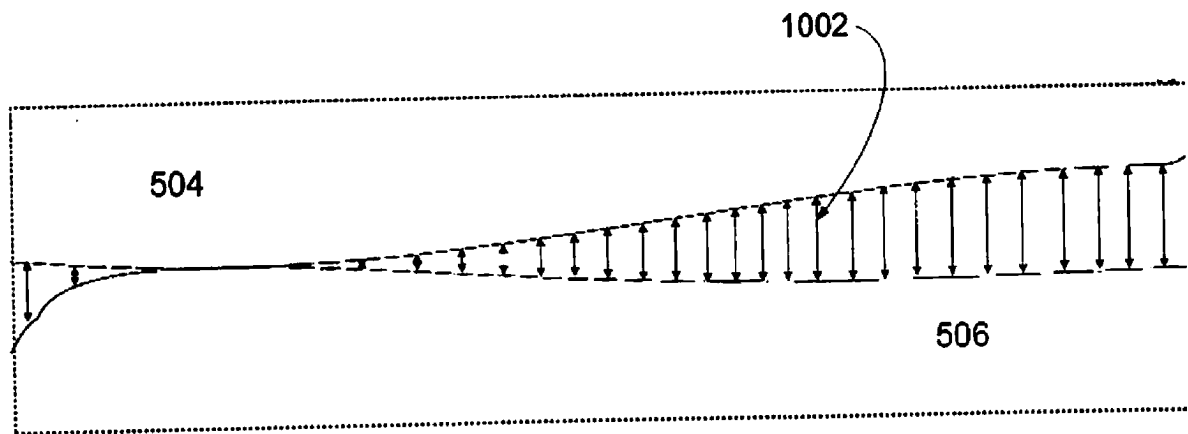


FIG. 10



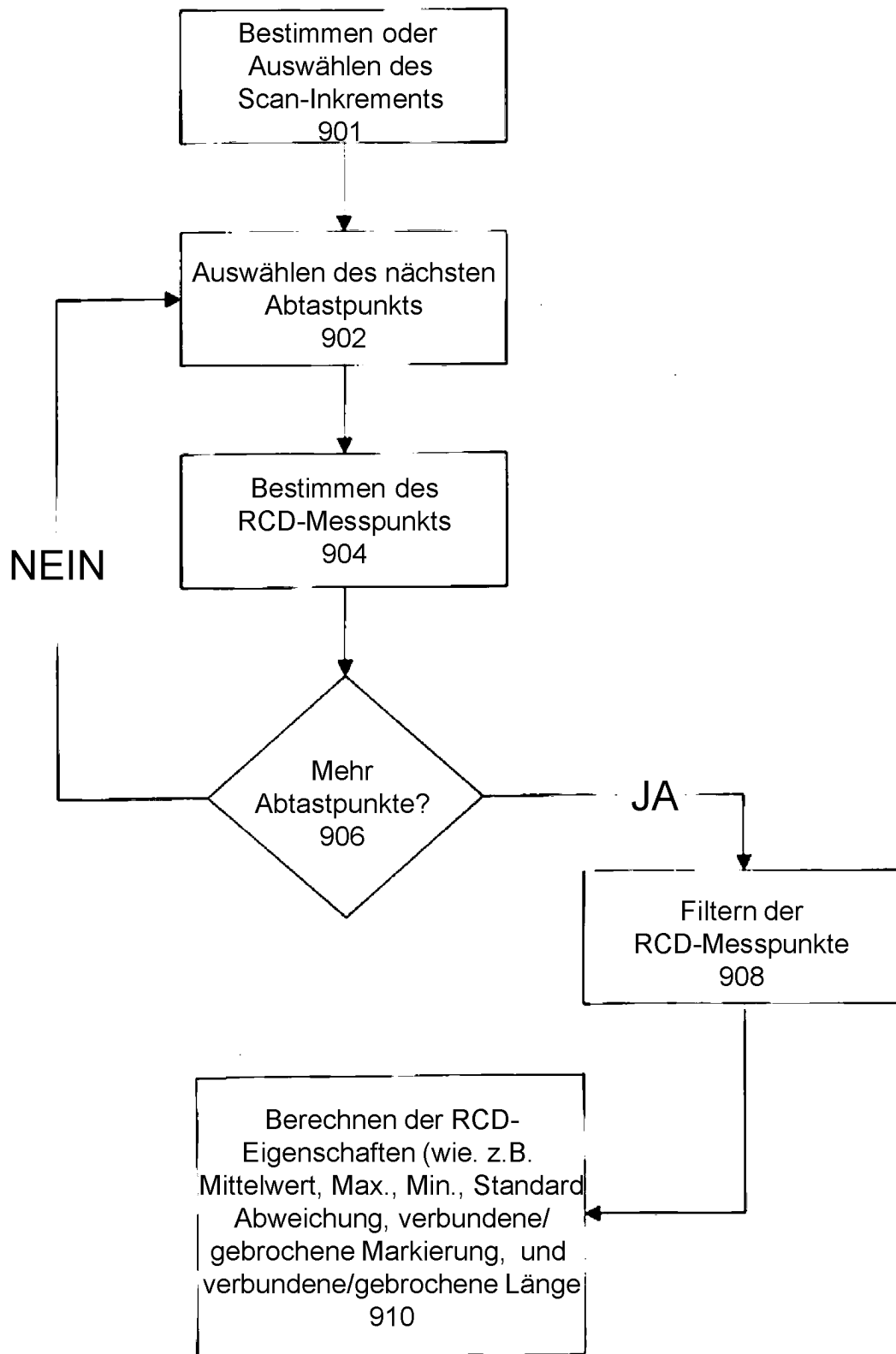
900

FIG.9