



(10) **DE 11 2016 000 853 B4** 2024.10.24

(12) **Patentschrift**

(21) Deutsches Aktenzeichen: **11 2016 000 853.8**  
(86) PCT-Aktenzeichen: **PCT/US2016/017399**  
(87) PCT-Veröffentlichungs-Nr.: **WO 2016/133765**  
(86) PCT-Anmeldetag: **10.02.2016**  
(87) PCT-Veröffentlichungstag: **25.08.2016**  
(43) Veröffentlichungstag der PCT Anmeldung  
in deutscher Übersetzung: **09.11.2017**  
(45) Veröffentlichungstag  
der Patenterteilung: **24.10.2024**

(51) Int Cl.: **H01L 21/66** (2006.01)  
**G01R 31/265** (2006.01)  
**G01R 31/311** (2006.01)

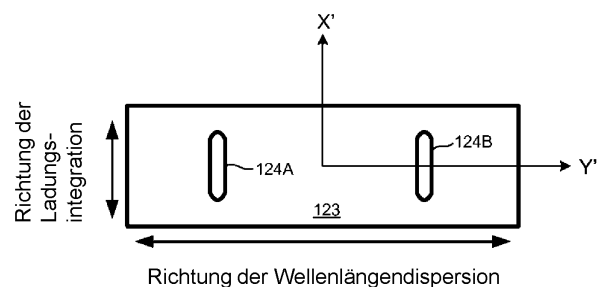
Innerhalb von neun Monaten nach Veröffentlichung der Patenterteilung kann nach § 59 Patentgesetz gegen das Patent Einspruch erhoben werden. Der Einspruch ist schriftlich zu erklären und zu begründen. Innerhalb der Einspruchsfrist ist eine Einspruchsgebühr in Höhe von 200 Euro zu entrichten (§ 6 Patentkostengesetz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

<div>(30) Unionspriorität:</div> <div><div>62/119,24322.02.2015US</div><div>14/833,37024.08.2015US</div></div>	<div>(72) Erfinder:</div> <div>Krishnan, Shankar, Santa Clara, Calif., US; Zhuang, Guorong Vera, San Jose, Calif., US; Wang, David Y., Santa Clara, Calif., US; Liu, Xuefeng, San Jose, Calif., US</div>
<div>(73) Patentinhaber:</div> <div>KLA-Tencor Corporation, Milpitas, Calif., US</div>	
<div>(74) Vertreter:</div> <div>Reichert &amp; Lindner Partnerschaft Patentanwälte, 93049 Regensburg, DE</div>	<div>(56) Ermittelter Stand der Technik:</div> <div><div>US2005 / 0 001 914A1</div><div>JP2012 - 104 586A</div></div>

(54) Bezeichnung: **Optische Metrologie mit reduzierter Empfindlichkeit gegenüber Fokus-Fehlern**

(57) Hauptanspruch: Metrologiesystem (100), umfassend: eine Beleuchtungsquelle (110), dazu ausgebildet, eine Menge an Beleuchtungslicht (114) zu erzeugen; ein Beleuchtungsoptik-Subsystem, dazu ausgebildet, die Menge an Beleuchtungslicht (114) von der Beleuchtungsquelle (110) unter einem oder mehreren Einfallswinkeln ( $\alpha$ ) innerhalb einer Einfallsebene auf einen Messbereich (116) auf einer Oberfläche einer der Vermessung unterzogenen Probe (115) zu richten; einen Detektor (123), der eine planare, zweidimensionale Oberfläche hat, welche auf einfallendes Licht empfindlich ist, wobei der Detektor (123) dazu ausgebildet ist, eine Vielzahl an Ausgangssignalen, die eine Antwort der Probe (115) auf die Menge an Beleuchtungslicht (114) anzeigen, zu erzeugen, indem Ladung über eine Vielzahl an Pixeln in einer Richtung senkrecht zu einer Richtung der Wellenlängendispersion auf der Detektoroberfläche integriert wird; und ein Erfassungsoptik-Subsystem, dazu ausgebildet, eine Menge an erfasstem Licht (117) von dem Messbereich (116) auf der Oberfläche der Probe (115) zu erfassen und die Menge an erfasstem Licht (117) auf die Oberfläche des Detektors (123) zu richten, wobei das Erfassungsoptik-Subsystem den Messbereich (116) derart auf die Oberfläche des Detektors (123) abbildet, dass eine Richtung, welche auf der Waferoberfläche in der Einfallsebene ausge-

richtet ist, auf der Detektoroberfläche senkrecht zu der Richtung der Wellenlängendispersion orientiert ist.



**Beschreibung****VERWEIS AUF VERWANDTE ANMELDUNG**

**[0001]** Die vorliegende Patentanmeldung beansprucht die Priorität gemäß 35 U.S.C. §119 der provisorischen US-Patentanmeldung 62/119,243, mit dem Titel „Apparatus and Methods of High Throughput Large NA Optical Metrology System“, eingereicht am 22. Februar 2015.

**TECHNISCHES GEBIET**

**[0002]** Die beschriebenen Ausführungsformen betreffen Metrologiesysteme und -verfahren, und insbesondere Verfahren und Systeme für die verbesserte Messung von Halbleiterstrukturen.

**HINTERGRUNDINFORMATION**

**[0003]** Halbleiterbauelemente, etwa Logik- und Speicherbauelemente, werden üblicherweise über eine Folge von Verarbeitungsschritten hergestellt, die auf ein Exemplar angewendet werden. Die verschiedenen Strukturmerkmale und mehreren Strukturebenen der Halbleiterbauelemente werden durch diese Verarbeitungsschritte gebildet. Beispielsweise ist Lithographie, neben anderen, ein Halbleiterherstellungsprozess, der die Herstellung einer Struktur auf einem Halbleiterwafer involviert. Zusätzliche Beispiele von Halbleiterherstellungsprozessen beinhalten, ohne aber darauf beschränkt zu sein, chemisch-mechanisches Polieren, Ätzen, Abscheidung, und Ionenimplantierung. Mehrere Halbleiterbauelemente können auf einem einzigen Halbleiterwafer hergestellt und dann in einzelne Halbleiterbauelemente getrennt werden.

**[0004]** Metrologieprozesse werden bei verschiedenen Schritten während eines Halbleiterherstellungsprozesses verwendet, um Defekte auf Wafern zu detektieren um höheren Ausstoß zu fördern. Optische Metrologietechniken bieten das Potenzial für hohen Durchsatz ohne das Risiko der Zerstörung der Probe. Eine Anzahl von auf optischer Metrologie basierenden Techniken, darunter Implementierungen von Scatterometrie und Reflektometrie und zugehörige Analysealgorithmen, werden gemeinhin verwendet, um kritische Dimensionen, Schichtdicken, Zusammensetzung, Overlay und andere Parameter von Strukturen auf Nanoskala zu charakterisieren.

**[0005]** Fortschreitende Verkleinerung der Strukturgröße und zunehmende Komplexität von Halbleiterbauelementen stellen schwierige Anforderungen an optische Metrologiesysteme. Um kosteneffizient zu bleiben müssen optische Metrologiesysteme hohen Anforderungen an Präzision und Genauigkeit für zunehmend kleinere Metrologieziele bei hohem

Durchsatz (d.h. kurze Move-Acquire-Measure-(MAM)-Zeiten, Bewegen-Erfassen-Messen-Zeiten) genügen. In diesem Zusammenhang haben sich Fokussierfehler als ein kritisches, die Leistung begrenzendes Problem bei dem Entwurf optischer Metrologiesysteme herausgestellt. Insbesondere ist das Aufrechterhalten der Fokussierung mit hinreichender Genauigkeit, besonders während des Betriebs mit hohem Durchsatz (d.h. kurzen MAM-Zeiten), ein kritisches Problem für optische Metrologiesysteme geworden, die eine hohe Empfindlichkeit gegenüber Fokus-Fehlern haben.

**[0006]** JP 2012 - 104 586 A zeigt eine Messvorrichtung für die Halbleiterindustrie, bei der Beleuchtungslicht unter mehreren Einfallswinkeln auf eine Probe einfällt und spektralzerlegt auf eine zweidimensionale Detektorfläche trifft, wobei eine Richtung auf der Detektoroberfläche dem Einfallswinkel entspricht, und eine dazu senkrechte Richtung auf der Detektoroberfläche der Wellenlänge entspricht.

**[0007]** US 2005 / 0 001 914 A1 betrifft die Vergrößerung des Dynamikbereichs eines CCD-Detektors ohne signifikante Erhöhung des Rauschens.

**[0008]** Fig. 1 zeigt ein beispielhaftes Metrologiesystem 10 nach dem Stand der Technik, das eine hohe Empfindlichkeit gegenüber Fokus-Fehlern hat. Das Metrologiesystem 10 beinhaltet eine Beleuchtungsquelle 25, die einen Strahl von Beleuchtungslicht 14 erzeugt, der auf einen Wafer 15 trifft. Der Strahl von Beleuchtungslicht 14 durchläuft eine Beleuchtungspupille 11, eine Beleuchtungsblende 12 und Beleuchtungsoptik 13, während der Strahl von der Beleuchtungsquelle 25 zu Wafer 15 läuft. Strahl 14 beleuchtet einen Teil des Wafers 15 über einen Messbereich 16. Ein Strahl erfassten Lichts 17 wird durch Erfassungsoptik 18 von dem Messbereich 16 erfasst. Erfasstes Licht 17 läuft durch Erfassungsblende 19, Erfassungspupille 20 und Spektrometerspalt 21. Der Strahl erfassten Lichts 17 wird durch Beugungsgitter 22 gebeugt, um den Strahl erfassten Lichts entsprechend der Wellenlänge räumlich aufzuspalten. Das nach Wellenlängen aufgespaltene, erfasste Licht trifft auf die Oberfläche eines zweidimensionalen Detektors (z.B. Charge-Coupled-Device (CCD)) 23. Der CCD-Detektor 23 konvertiert das erfasste Licht in elektrische Signale, die die spektrale Intensität des erfassten Lichts anzeigen. Wie in Fig. 1 dargestellt, beinhaltet der erfasste Lichtstrahl 17 zwei verschiedene Wellenlängen. Das Beugungsgitter 22 verursacht eine räumliche Trennung zwischen den zwei verschiedenen Wellenlängen des Lichts, das auf die Oberfläche des Detektors 23 projiziert wird. Auf diese Weise wird Licht, das vom Messbereich 16 erfasst wird und eine bestimmte Wellenlänge hat, auf den Detektor 23 über den Fleck 24A projiziert, und Licht, das vom Messbereich 16 erfasst wird und eine andere, verschiedene Wellen-

länge hat, wird auf den Detektor 23 über den Fleck 24B projiziert.

**[0009]** Wie in **Fig. 1** dargestellt, ist die Z-Achse senkrecht zu der Oberfläche des Wafers 15 orientiert. Die X- und Y-Achsen sind mit der Oberfläche des Wafers 15 komplanar, und somit senkrecht zu der Z-Achse. Der Mittelstrahl 26 des Strahls von Beleuchtungslicht 14 und der Mittelstrahl 27 des Strahls erfassten Lichts 17 definieren eine Einfallsebene. Die X-Achse ist in der Einfallsebene ausgerichtet, und die Y-Achse ist senkrecht zu der Einfallsebene. Somit liegt die Einfallsebene in der XZ-Ebene. Der Strahl von Beleuchtungslicht 14 trifft unter einem Einfallswinkel  $\alpha$  bezüglich der Z-Achse auf die Oberfläche des Wafers 15 und liegt in der Einfallsebene.

**[0010]** **Fig. 2A** zeigt eine Draufsicht auf einen Wafer 15, welche eine Darstellung des Messbereichs 16 beinhaltet, der von dem Strahl Beleuchtungslicht 14 der **Fig. 1** beleuchtet wird. In der in **Fig. 1** gezeigten Ausführungsform ist der Querschnitt des Strahls an Beleuchtungslicht 14 kreisförmig (z.B. bei Beleuchtungsblende 12). Jedoch führt die geometrische Projektion des kreisförmigen Strahls 14 auf die Oberfläche des Wafers 15 zu einem Messbereich 16, der eine gestreckte Form hat, die in der in **Fig. 2A** dargestellten Einfallsebene ausgerichtet ist. Für einen kreisförmigen Strahl Beleuchtungslicht ist der auf die Oberfläche des Wafers 15 projizierte Messbereich 16 von elliptischer Form. Im Allgemeinen führt schiefe Beleuchtung einer Oberfläche zu einem projizierten Beleuchtungsgebiet, welches relativ zu dem Beleuchtungsquerschnitt gestreckt ist, und die Richtung der Streckung ist in der Einfallsebene ausgerichtet. Ferner nimmt die Größe der Streckung zu, wenn der Einfallswinkel zunimmt. Insbesondere ist die Strahlform umgekehrt proportional zu dem Cosinus des Einfallswinkels in der Richtung der Einfallsebene. In Abwesenheit von Beugungs- und Aberrationseffekten bleibt das projizierte Beleuchtungslicht in der Richtung senkrecht zu der Beleuchtungsebene (z.B. Y-Richtung) unverzerrt.

**[0011]** Wie in **Fig. 1** dargestellt, wird der Messbereich 16 auf die Oberfläche des Detektors 23 in einer wellenlängendispersiven Weise projiziert. Metrologiesysteme nach dem Stand der Technik, wie etwa Metrologiesystem 10, sind derart ausgebildet, dass die Projektion der gestreckten Richtung des Messbereichs 16 entlang der Richtung der Wellenlängendispersion auf der Oberfläche des Detektors 23 ausgerichtet ist. Die in **Fig. 1** gezeigte X'-Achse ist repräsentativ für die Projektion der gestreckten Richtung des Messbereichs 16 (d.h. der X-Achse) auf den Detektor 23. Wie in **Fig. 1** dargestellt, ist die X'-Achse entlang der Richtung der Wellenlängendispersion auf der Oberfläche des Detektors 23 ausgerichtet.

**[0012]** **Fig. 2B** zeigt eine senkrechte Ansicht der Oberfläche des Detektors 23. Wie in **Fig. 2B** dargestellt, ist die Projektion der gestreckten Richtung des Messbereichs 16 entlang der Richtung der Wellenlängendispersion auf der Oberfläche des Detektors 23 ausgerichtet. Beispielsweise ist die gestreckte Richtung der Flecken 24A und 24B entlang der Richtung der Wellenlängendispersion ausgerichtet. Die wellenlängenabhängigen Bilder (z.B. Flecken 24A und 24B) auf der Oberfläche des Detektors 23 werden in der Richtung senkrecht zu der Richtung der Wellenlängendispersion integriert, um ein Spektrum zu erhalten, d.h. die Intensität als eine Funktion der Wellenlänge entlang der Achse der Wellenlängendispersion. Für einen CCD-Detektor wird Ladung in der Richtung senkrecht zu der Wellenlängendispersion integriert, um das Spektrum zu erhalten.

**[0013]** Wenn der Messbereich derart auf den Detektor abgebildet wird, dass die auf der Waferoberfläche in der Einfallsebene ausgerichtete Richtung entlang der Richtung der Wellenlängendispersion auf der Detektoroberfläche ausgerichtet ist, so ist die sich ergebende Punktbildfunktion (PSF, point spread function) stark wellenlängenabhängig. Die sich ergebende PSF weist hohe Spitzen auf, weil die Bildintensität für eine gegebene Wellenlänge stark in der gestreckten Richtung schwankt. Um die PSF mit hohen Spitzen richtig zu erfassen, muss das Spektrometer spektrale Daten mit hoher Auslösung aufnehmen. Dies erhöht die Messzeit und reduziert den Durchsatz.

**[0014]** In einem anderen Beispiel hängt die sich ergebende PSF für eine bestimmte Wellenlänge von dem Einfallswinkel ab, wenn das gestreckte Bild und die entsprechende gestreckte Intensitätsverteilung entlang der Richtung der spektralen Dispersion ausgerichtet sind. Die sich ergebende PSF verbreitert oder verschmälert sich in Abhängigkeit vom Einfallswinkel.

**[0015]** In einem anderen Beispiel ist die sich ergebende PSF hoch empfindlich gegen Fokus-Fehler. Wenn sich das Messziel auf dem Wafer in den und aus dem Fokus bewegt, ändert das detektierte Bild des Messbereichs auf dem Wafer die Größe und die Position. Zusätzlich ändert sich die Position des Messbereichs auf dem Wafer. Wie in **Fig. 3** gezeigt, beleuchtet der Strahl Beleuchtungslicht 14 den Wafer bei der Position A, wenn der Wafer 15 im Fokus ist. Der Strahl erfassten Lichts 17 wird nach Wellenlängen aufgespalten und auf den Detektor 23 über Flecken 24A und 24B abgebildet, wie in **Fig. 4** gezeigt. Wenn der Wafer 15 in der z-Richtung nach oben bewegt und um einen Betrag  $\Delta Z$  defokussiert wird, der größer als Null ist, so beleuchtet der Strahl Beleuchtungslicht 14 den Wafer bei Position C. Der Strahl erfassten Lichts 17' wird nach Wellenlängen aufgespalten und auf den Detektor 23 über die Fle-

cken 24A' und 24B' abgebildet. Die sich ergebenden Bilder sind größer, wenn der Wafer von der Fokusebene des optischen Systems fort bewegt wird, und die Mittenposition der Bilder verschiebt sich in die Richtung, die entlang der Richtung der Wellenlängendispersion ausgerichtet ist. Diese Verschiebung in der Richtung der Wellenlängendispersion führt zu spektralen Messfehlern, da sich die Wellenlänge-zu-Pixel-Abbildung ändert. Wenn der Wafer 15 in der z-Richtung nach unten bewegt und um einen Betrag  $\Delta Z$  defokussiert wird, der kleiner als Null ist, so beleuchtet der Strahl Beleuchtungslicht 14 den Wafer bei Position B. Der Strahl erfassten Lichts 17" wird nach Wellenlängen aufgespalten und auf den Detektor 23 über die Flecken 24A" und 24B" abgebildet. Wiederum sind die sich ergebenden Bilder größer, wenn der Wafer von der Fokusebene des optischen Systems fort bewegt wird, und die Mittenposition der Bilder verschiebt sich in die Richtung, die entlang der Richtung der Wellenlängendispersion ausgerichtet ist.

**[0016]** Die Bewegung des Messbereichs auf dem Wafer 15 aufgrund des Fokus-Fehlers, d.h.  $\Delta Z \neq 0$ , führt zu Bildbewegung entlang der dispersiven Achse des Spektrometers als einer Funktion der Wellenlänge. Da die Wellenlängenkalibrierung in der Fokusebene, d.h.  $\Delta Z = 0$ , durchgeführt wird, macht jegliche Bildbewegung in der dispersiven Richtung des Spektrometers, die von Fokus-Fehlern induziert wird, das gemessene Spektrum sehr empfindlich gegen Abweichungen von der Wellenlängenkalibrierung.

**[0017]** In einigen Beispielen beinhaltet das Emissionsspektrum der Breitbandlichtquelle eine oder mehrere charakteristische atomare Linien, z.B. eine Xenon-Bogenlampe. Die atomaren Linien können verwendet werden, um Fokus-Fehler aufzuspüren und zu korrigieren. In Metrologiesystemen nach dem Stand der Technik sind die Überwachung und Korrektur des Fokus essenziell, um Messgenauigkeit und System-zu-System-Abgleich zu erzielen. Wenn die Breitbandlichtquelle jedoch eine lasergetriebene Lichtquelle (LDLS, Laser Driven Light Source) hoher Helligkeit ist, sind die charakteristischen atomaren Linien nicht länger für Aufspürung und Korrektur von Fokus-Fehlern verfügbar. Ferner verschärft sich die Empfindlichkeit gegenüber Fokus-Fehlern für optische Metrologiesysteme mit hoher numerischer Apertur (NA).

**[0018]** Zusammenfassend stellen die Empfindlichkeit gegenüber Fokus-Fehlern und Fehlern, die von schiefwinkliger Beleuchtung verursacht sind, Beschränkungen für die Leistungsfähigkeit von Metrologiesystemen, und insbesondere von optischen Metrologiesystemen mit hoher NA, dar.

## ÜBERSICHT

**[0019]** Hierin werden Verfahren und Systeme zur Durchführung breitbandiger spektroskopischer Metrologie mit reduzierter Empfindlichkeit gegenüber Fokus-Fehlern vorgestellt. Eine signifikante Verringerung der Empfindlichkeit gegenüber Fehlern der Fokus-Position wird erzielt, indem der Messbereich derart auf den Detektor abgebildet wird, dass die Richtung, welche auf der Waferoberfläche in der Einfallsebene ausgerichtet ist, senkrecht zu der Richtung der Wellenlängendispersion auf der Detektoroberfläche orientiert ist. Diese Reduzierung in Empfindlichkeit gegenüber Fokus-Fehlern ermöglicht verringerte Anforderungen an Fokusgenauigkeit und Fokuswiederholbarkeit, schnellere Fokussierzeiten und verringerte Empfindlichkeit gegenüber Wellenlängenfehlern, ohne die Messgenauigkeit zu beeinträchtigen. Diese Vorteile sind in optischen Metrologiesystemen mit hoher numerischer Apertur besonders offensichtlich.

**[0020]** In einer Hinsicht ist ein breitbandiges spektroskopisches Metrologiesystem derart ausgebildet, dass der Messbereich derart auf den Detektor abgebildet wird, dass die Richtung, welche auf der Waferoberfläche in der Einfallsebene ausgerichtet ist, senkrecht zu der Richtung der Wellenlängendispersion auf der Detektoroberfläche orientiert ist. In dieser Anordnung ist die Empfindlichkeit des Metrologiesystems gegenüber Fokus-Fehlern stark verringert. Bei verringerter Empfindlichkeit gegenüber Fokus-Fehlern werden präzise Messungen bei kürzeren MAM-Zeiten erzielt, und damit ein höherer Durchsatz.

**[0021]** In einer weiteren Hinsicht wird die Abmessung des auf die Waferebene projizierten Beleuchtungsfeldes in der Richtung senkrecht zu der Einfallsebene angepasst, um die sich ergebende Messgenauigkeit und Messgeschwindigkeit auf Grundlage der Art des einer Messung unterzogenen Zieles zu optimieren. In einigen Ausführungsformen wird die Beleuchtungsblende, die auf die Waferebene projiziert wird, in der Richtung senkrecht zu der Einfallsebene angepasst, um die PSF zu formen um ein Profil mit flachem Maximum zu erhalten, welches für jede Messanwendung weniger empfindlich gegenüber der Wellenlänge ist. Zusätzlich wird die spektrale Auflösung angepasst, um auf Grundlage des Profils mit flachem Maximum optimierte Messgenauigkeit und Messgeschwindigkeit zu erzielen.

**[0022]** Vorstehendes ist eine Übersicht und enthält daher notwendigerweise Vereinfachungen, Verallgemeinerungen und Auslassungen von Einzelheiten; folglich ist es dem Fachmann klar, dass die Übersicht lediglich erläuternd ist und in keiner Weise beschränkend. Weitere Aspekte, erfinderische Merkmale und Vorteile der hierin beschriebenen Vorrichtungen und

/ oder Verfahren werden in der hierin dargelegten nichteinschränkenden detaillierten Beschreibung offenkundig.

#### KURZE BESCHREIBUNG DER ZEICHNUNGEN

**Fig. 1** zeigt ein beispielhaftes Metrologiesystem 10 nach dem Stand der Technik, welches eine hohe Empfindlichkeit gegenüber Fokus-Fehlern hat.

**Fig. 2A** zeigt eine Draufsicht auf Wafer 15 einschließlich einer Darstellung des Messbereichs 16, der von dem Strahl Beleuchtungslicht 14 der **Fig. 1** beleuchtet wird.

**Fig. 2B** zeigt eine senkrechte Ansicht der Oberfläche des in **Fig. 1** gezeigten Detektors 23.

**Fig. 3** zeigt einen Wafer 15, der Fehlern der Fokusposition unterliegt.

**Fig. 4** zeigt einen Strahl erfassten Lichts 17, der nach Wellenlängen aufgespalten und auf die Oberfläche des Detektors 23 abgebildet wird.

**Fig. 5** zeigt ein beispielhaftes Metrologiesystem 100, das eine verringerte Empfindlichkeit gegenüber Fokus-Fehlern hat.

**Fig. 6** zeigt eine senkrechte Ansicht der Oberfläche des in **Fig. 5** gezeigten Detektors 123.

**Fig. 7** zeigt Bilder 124A und 124B des Messbereichs 116, projiziert auf den Detektor 123.

**Fig. 8** zeigt ein Diagramm 150, welches Simulationsergebnisse darstellt, die für das mit Bezug auf **Fig. 5** beschriebene System auf eine gegenüber dem mit Bezug auf **Fig. 1** beschriebenen System verringerte Empfindlichkeit gegenüber Fokus-Fehlern hinweisen.

**Fig. 9** zeigt ein Diagramm 160 von Werten des spektroskopischen Parameters,  $\beta$ , über einen Bereich an Wellenlängen für eine Reihe von dreißig wiederholten Messungen einer vertikalen NAND-Struktur (VNAND) mit einem herkömmlichen breitbandigen spektroskopischen Ellipsometer-System, wie etwa dem mit Bezug auf **Fig. 1** beschriebenen System.

**Fig. 10** zeigt ein Diagramm 170 von Werten des spektroskopischen Parameters,  $\beta$ , über einen Bereich von Wellenlängen für eine Reihe von dreißig wiederholten Messungen derselben vertikalen NAND-Struktur (VNAND) mit einem breitbandigen spektroskopischen Ellipsometer-System, welches den Messbereich derart auf den Detektor abbildet, dass die Richtung, welche auf der Waferoberfläche in der Einfallsebene ausgerichtet ist, auf der Detektoroberfläche senkrecht zu der Richtung der Wellenlängendispersion orientiert ist.

**Fig. 11** zeigt ein Verfahren 200 zur Durchführung spektroskopischer Messungen in zumindest einer neuen Hinsicht, wie hierin beschrieben.

**Fig. 12** zeigt ein beispielhaftes Metrologiesystem 300, welches eine verringerte Empfindlichkeit gegenüber Fokus-Fehlern aufweist.

#### DETAILLIERTE BESCHREIBUNG

**[0023]** Nun wird im Detail auf Hintergrundbeispiele und einige Ausführungsformen der Erfindung Bezug genommen, von denen Beispiele in den beigefügten Zeichnungen gezeigt sind.

**[0024]** Verfahren und Systeme zur Durchführung breitbandiger spektroskopischer Metrologie mit verringerter Empfindlichkeit gegenüber Fokus-Fehlern werden hierin vorgestellt. In einigen Beispielen wird eine zwanzigfache Verringerung in der Empfindlichkeit gegenüber Fokus-Fehlern erzielt, indem der Messbereich derart auf den Detektor abgebildet wird, dass die Richtung, die auf der Waferoberfläche in der Einfallsebene ausgerichtet ist, auf der Detektoroberfläche senkrecht zu der Richtung der Wellenlängendispersion orientiert ist. Diese Verringerung in der Empfindlichkeit gegenüber Fokus-Fehlern ermöglicht verringerte Anforderungen an die Fokusgenauigkeit und Fokuswiederholbarkeit, schnellere Fokussierzeiten und verringerte Empfindlichkeit gegenüber Wellenlängenfehlern, ohne die Messgenauigkeit zu beeinträchtigen. Diese Vorteile sind in optischen Metrologiesystemen mit großer numerischer Apertur besonders augenfällig.

**[0025]** In einer Hinsicht ist ein breitbandiges spektroskopisches Metrologiesystem derart ausgebildet, dass der Messbereich derart auf den Detektor abgebildet wird, dass die Richtung, die auf der Waferoberfläche in der Einfallsebene ausgerichtet ist, auf der Detektoroberfläche senkrecht zu der Richtung der Wellenlängendispersion orientiert ist. In dieser Anordnung ist die Empfindlichkeit des Metrologiesystems gegenüber Fokus-Fehlern stark verringert. Bei verringerter Empfindlichkeit gegenüber Fokus-Fehlern werden präzise Messungen bei kürzeren MAM-Zeiten und damit ein höherer Durchsatz erzielt.

**[0026]** **Fig. 5** zeigt ein beispielhaftes Metrologiesystem 100 mit einer verringerten Empfindlichkeit gegenüber Fokus-Fehlern. Das Metrologiesystem 100 kann als ein breitbandiges spektroskopisches Ellipsometer, Reflektormeter oder jegliche Kombination daraus ausgebildet sein. Das Metrologiesystem 100 beinhaltet eine Beleuchtungsquelle 110, die einen Strahl an Beleuchtungslicht 114 erzeugt, welcher auf einen Wafer 115 trifft. Der Strahl an Beleuchtungslicht 114 durchläuft Beleuchtungspupille 111, Beleuchtungsblende 112 und Beleuchtungsoptik 113, während der Strahl von der Beleuchtungsquelle

110 zu Wafer 115 läuft. Der Strahl 114 beleuchtet einen Bereich des Wafers 115 über einen Messbereich 116. Ein Strahl erfassten Lichts 117 wird von dem Messbereich 116 durch Erfassungsoptik 118 erfasst. Das erfasste Licht 117 läuft durch eine Erfassungsblende 119, eine Erfassungspupille 120 und Spektrometerspalt 121. Der Strahl erfassten Lichts 117 wird durch Beugungsgitter 122 gebeugt, um den Strahl erfassten Lichts nach Wellenlängen räumlich aufzuspalten. Das nach Wellenlängen aufgespaltene erfasste Licht trifft auf die Oberfläche eines zweidimensionalen Detektors. In einem Beispiel ist der Detektor 123 ein Charge-Coupled-Device (CCD). Jedoch können im Allgemeinen andere zweidimensionale Detektortechnologien in Betracht gezogen werden (z.B. ein positionsempfindlicher Detektor (PSD, position sensitive detector), ein Infrarotdetektor, ein photovoltaischer Detektor, etc.). Der Detektor 123 setzt das erfasste Licht in elektrische Signale 125 um, welche die spektrale Intensität des erfassten Lichts anzeigen. Wie in **Fig. 5** gezeigt, beinhaltet der erfasste Lichtstrahl 117 zwei verschiedene Wellenlängen, als ein nicht-einschränkendes Beispiel. Das Beugungsgitter 122 verursacht eine räumliche Trennung zwischen den zwei unterschiedlichen Wellenlängen des auf die Oberfläche des Detektors 123 projizierten Lichts. Auf diese Weise wird vom Messbereich 116 erfasstes Licht mit einer bestimmten Wellenlänge auf den Detektor 123 über Fleck 124A projiziert, und vom Messbereich 116 erfasstes Licht mit einer anderen, verschiedenen Wellenlänge wird auf den Detektor 123 über Fleck 124B projiziert.

**[0027]** Wie in **Fig. 5** gezeigt, wird der Strahl an Beleuchtungslicht 114 unter einem schiefen Winkel zu der Oberfläche des Wafers 115 geführt. Im Allgemeinen kann Beleuchtungslicht unter einem beliebigen schiefen Winkel oder einer Anzahl schiefer Winkel zu der Oberfläche des Wafers 115 geführt werden. In einigen Ausführungsformen wird eine Menge an Beleuchtungslicht unter senkrechtem Einfall zu der Oberfläche geführt (d.h. entlang der Oberflächennormale ausgerichtet), zusätzlich zu schiefwinkliger Beleuchtung.

**[0028]** In einer weiteren Hinsicht ist die Menge an Beleuchtungslicht Breitbandbeleuchtungslicht, welches einen Wellenlängenbereich beinhaltet, der sich über mindestens 500 Nanometer erstreckt. In einem Beispiel beinhaltet das Breitbandbeleuchtungslicht Wellenlängen unter 250 Nanometer und Wellenlängen über 750 nm. Im Allgemeinen beinhaltet das Breitbandbeleuchtungslicht Wellenlängen zwischen 150 Nanometer und 2500 Nanometer.

**[0029]** In einigen Beispielen ist die auf die Oberfläche des Wafers 115 projizierte Strahlgröße der Menge an Beleuchtungslicht 114 kleiner als eine Größe eines Messziels, das auf der Oberfläche der

Probe gemessen wird. Beispielhafte Strahlformungstechniken werden im Detail beschrieben in der US-Patentanmeldung 2013/0114085 von Wang et al.

**[0030]** Wie in **Fig. 5** gezeigt, ist die Z-Achse senkrecht zu der Oberfläche des Wafers 115 orientiert. Die X- und die Y-Achsen sind komplanar mit der Oberfläche des Wafers 115 und damit senkrecht zu der Z-Achse. Der Mittelstrahl 126 des Strahls an Beleuchtungslicht 114 und der Mittelstrahl 127 des Strahls an erfasstem Licht 117 definieren eine Einfallsebene. Die X-Achse ist in der Einfallsebene ausgerichtet und die Y-Achse ist senkrecht zu der Einfallsebene. Somit liegt die Einfallsebene in der XZ-Ebene. Der Strahl an Beleuchtungslicht 114 fällt unter einem Einfallswinkel  $\alpha$  bezüglich der Z-Achse auf die Oberfläche des Wafers 115 und liegt innerhalb der Einfallsebene.

**[0031]** Wie mit Bezug auf das in **Fig. 1** dargestellte Metrologiesystem 10 beschrieben, führt die geometrische Projektion eines Strahls an Beleuchtungslicht auf die Oberfläche einer Probe unter einem schiefen Winkel zu einer Streckung des Querschnitts des Beleuchtungsstrahls in der Richtung, welche in der Einfallsebene liegt. Als ein nichteinschränkendes Beispiel führt ein kreisförmiger Strahl an Beleuchtungslicht, der auf die Waferoberfläche projiziert wird, zu einem Beleuchtungsgebiet, das elliptisch geformt ist. Somit führt im Allgemeinen eine schiefwinkliger Beleuchtung einer Oberfläche zu einem projizierten Beleuchtungsgebiet, welches relativ zu dem Beleuchtungsquerschnitt gestreckt ist, und die Richtung der Streckung ist in der Einfallsebene ausgerichtet. Ferner nimmt das Ausmaß der Streckung zu, wenn der Einfallswinkel zunimmt. Genauer ist die Strahlform in der Richtung der Einfallsebene umgekehrt proportional zu dem Cosinus des Einfallswinkels. Bei Abwesenheit von Beugungs- und Aberrationseffekten bleibt das projizierte Beleuchtungslicht in der Richtung senkrecht zu der Beleuchtungsebene (z.B. Y-Richtung) unverzerrt.

**[0032]** Wie in **Fig. 5** dargestellt, wird der Messbereich 116 auf die Oberfläche des Detektors 123 in einer wellenlängendispersiven Weise projiziert. Das Metrologiesystem 100 ist derart ausgebildet, dass die Projektion der gestreckten Richtung des Messbereichs 116 senkrecht zu der Richtung der Wellenlängendispersion auf der Oberfläche des Detektors 123 orientiert ist. Die in **Fig. 5** gezeigte X'-Achse ist repräsentativ für die Projektion der gestreckten Richtung des Messbereichs 116 (d.h. der X-Achse) auf den Detektor 123. Wie in **Fig. 5** gezeigt, ist die X'-Achse senkrecht zu der Richtung der Wellenlängendispersion auf der Oberfläche des Detektors 123 orientiert.

**[0033]** In der in **Fig. 5** gezeigten Ausführungsform sind im Vergleich zu dem in **Fig. 1** gezeigten Metrologiesystem 10 alle Spektrometerkomponenten des

Metrologiesystems 100 mit Ausnahme des Spektrometerspalts um neunzig Grad bezüglich des erfassten Strahls rotiert. Auf diese Weise ist die Projektion der gestreckten Richtung des Messbereichs 116 senkrecht zu der Richtung der Wellenlängendispersion orientiert.

**[0034]** Fig. 12 zeigt ein Metrologiesystem 300 mit verringerter Empfindlichkeit gegenüber Fokus-Fehlern in einer anderen Ausführungsform. Das Metrologiesystem 300 beinhaltet Elemente mit gleicher Nummerierung wie mit Bezug auf das in Fig. 5 gezeigte Metrologiesystem 100 beschrieben. Zusätzlich beinhaltet das Metrologiesystem 300 Strahlrotierungsoptik 128, die im Erfassungspfad angeordnet ist, um das Bild um neunzig Grad zu rotieren (d.h. den Strahl erfassten Lichts 117 entlang der Strahlachse zu rotieren). Metrologiesystem 300 unterscheidet sich auch darin vom Metrologiesystem 100, dass alle Spektrometerkomponenten des Metrologiesystems 300 mit Ausnahme des Spektrometerspalts (z.B. Detektor 123, Gitter 122, etc.) in derselben Orientierung wie das in Fig. 1 gezeigte Metrologiesystem 10 verbleiben. Der Spektrometerspalt des Metrologiesystems 300 ist um neunzig Grad bezüglich des erfassten Strahls im Vergleich zu dem in Fig. 1 gezeigten Metrologiesystem 10 rotiert. Auf diese Weise ist die Projektion der gestreckten Richtung des Messbereichs 116 senkrecht zu der Richtung der Wellenlängendispersion orientiert.

**[0035]** Fig. 6 zeigt eine senkrechte Ansicht der Oberfläche des Detektors 123. Wie in Fig. 6 gezeigt, ist die Projektion der gestreckten Richtung des Messbereichs 116 (d.h. X'-Achse) senkrecht zu der Richtung der Wellenlängendispersion über die Oberfläche des Detektors 123 orientiert. Beispielsweise ist die gestreckte Richtung der Flecken 124A und 124B senkrecht zu der Richtung der Wellenlängendispersion orientiert. Die wellenlängenabhängigen Bilder (z.B. Flecken 124A und 124B) auf der Oberfläche des Detektors 123 werden in der Richtung senkrecht zu der Richtung der Wellenlängendispersion integriert, um ein Spektrum zu erhalten, d.h. Intensität als eine Funktion der Wellenlänge entlang der Achse der Wellenlängendispersion. Bei einem CCD-Detektor wird Ladung in der Richtung senkrecht zu der Wellenlängendispersion integriert, um das Spektrum zu erhalten.

**[0036]** Die auf die Oberfläche des Detektors (z.B. CCD 123) projizierten Bilder werden bei jeder Wellenlänge in der Richtung senkrecht zu der wellenlängendispersiven Achse des Spektrometers integriert, um das gemessene Spektrum zu erhalten. Die individuelle spektrale Gestalt bei jeder Wellenlänge ist die Punktbildfunktion (PSF) des Systems bei der jeweiligen Wellenlänge.

**[0037]** Wenn der Messbereich derart auf den Detektor abgebildet wird, dass die auf der Waferoberfläche in der Einfallsebene ausgerichtete Richtung auf der Detektoroberfläche senkrecht zu der Richtung der Wellenlängendispersion orientiert ist, so ist die sich ergebende Punktbildfunktion (PSF) erheblich weniger von der Wellenlänge abhängig als in Konfigurationen nach dem Stand der Technik. Die sich ergebende Punktbildfunktion weist weniger ausgeprägte Maxima auf, da die Bildintensität für eine gegebene Wellenlänge nicht stark in der Richtung senkrecht zu der gestreckten Richtung (z.B. über die kurze Achse der Ellipse) variiert.

**[0038]** Ferner werden, obwohl die Bildintensität in der Richtung der Streckung (z.B. entlang der langen Achse der Ellipse) stark variiert, die Variationen ausintegriert, da die Richtung der Streckung in der Richtung der Ladungsintegration des CCD liegt. Somit braucht das Spektrometer spektrale Daten nicht bei hoher Auflösung erfassen, um die PSF genau konstruieren zu können. Dies reduziert die Messzeit und erhöht den Durchsatz.

**[0039]** In einem anderen Beispiel ist die sich ergebende PSF für eine bestimmte Wellenlänge unabhängig vom Einfallswinkel, wenn die Richtung der Streckung senkrecht zu der Richtung der spektralen Dispersion orientiert ist. Das Bild und die entsprechende Intensitätsverteilung senkrecht zu der Richtung der Streckung (d.h. über die kurze Achse der Ellipse) sind weitgehend unabhängig vom Einfallswinkel. Somit sind das Bild und die entsprechende Intensitätsverteilung, projiziert in die Richtung der spektralen Dispersion, weitgehend unabhängig vom Einfallswinkel. Daher zeigen die berechneten PSFs geringe Abhängigkeit vom Einfallswinkel.

**[0040]** In einem anderen Beispiel ist die sich ergebende PSF deutlich weniger empfindlich gegenüber Fokus-Fehlern als Konfigurationen nach dem Stand der Technik. Wenn sich das Messziel auf dem Wafer in den und aus dem Fokus bewegt, so ändert das detektierte Bild des Messbereichs auf dem Wafer die Position. Analog zu der Beschreibung des Metrologiesystems 10 und der Fig. 3 beleuchtet der Strahl des Beleuchtungslichts 114 den Wafer bei der Position A, wenn der Wafer 115 sich im Fokus befindet. Der Strahl erfassten Lichts 117 wird nach Wellenlängen aufgespalten und auf den Detektor 123 über die Flecken 124A und 124B abgebildet, wie in Fig. 6 gezeigt. Wenn der Wafer 115 in der z-Richtung nach oben bewegt und um einen Betrag  $\Delta z$ , der größer als Null ist, defokussiert wird, so beleuchtet der Strahl des Beleuchtungslichts 114 den Wafer an der Position C. Der Strahl erfassten Lichts 117' wird nach Wellenlängen aufgespalten und auf den Detektor 123 über die Flecken 124A' und 124B' abgebildet. Diese Verschiebung in der Bildposition senkrecht zu der Richtung der Wellenlängendispersion minimiert

von Fokus-Fehlern induzierte spektrale Messfehler, während die Zuordnung von Wellenlänge zu Pixel unverändert bleibt. Wenn der Wafer 115 in der z-Richtung nach unten bewegt und um einen Betrag  $\Delta Z$ , der kleiner als Null ist, defokussiert wird, so beleuchtet der Strahl des Beleuchtungslichts 114 den Wafer an der Position B. Der Strahl erfasst den Lichts 117" wird nach Wellenlängen aufgespalten und auf den Detektor 123 über die Flecken 124A" und 124B" abgebildet. Wiederum minimiert diese Verschiebung in der Bildposition senkrecht zu der Richtung der Wellenlängendispersion von Fokus-Fehlern induzierte spektrale Messfehler.

**[0041]** In dieser Konfiguration verschieben Fokus-Fehler das Bild auf dem Detektor in die Richtung senkrecht zu der Wellenlängendispersionsachse. Da sich das berechnete Spektrum durch Integration des Bildes senkrecht zu der dispersiven Achse des Spektrometers ergibt, wird die durch den Fokus-Fehler induzierte Bildverschiebung ausintegriert und verursacht keinen substanziellen spektralen Messfehler. Diese reduzierte Empfindlichkeit gegenüber Fokus-Fehlern eliminiert das Erfordernis, Fokus-Fehler basierend auf atomarer Linienemission aufzuspüren und zu korrigieren. Somit können Breitbandlichtquellen, etwa lasergetriebene Lichtquellen (LDLS) hoher Helligkeit, als Lichtquelle in spektroskopischen Metrologiesystemen, etwa System 100, mit geringeren Anforderungen an die Fokuspositionierung eingesetzt werden.

**[0042]** Wie hierin zuvor beschrieben ist die vom Spektrometer projizierte PSF weitgehend durch die Lichtverteilung senkrecht zu der Einfallsebene (d.h. XZ-Ebene) bestimmt. Aus diesem Grund ist die PSF unabhängig von dem schiefen Einfallswinkel. Somit ist die Abhängigkeit der PSF von der Wellenlänge wesentlich geringer als bei einer herkömmlichen Konfiguration, etwa der mit Bezug auf **Fig. 1** beschriebenen Konfiguration.

**[0043]** Wenn das Bild in der AOI-Richtung senkrecht zu der Richtung der Wellenlängendispersion auf dem Detektor ist, wie in **Fig. 5-6** gezeigt, so ist die PSF auf dem Detektor durch die geometrische Fleckgröße in der Richtung senkrecht zu der Einfallsebene beschränkt.

**[0044]** In einer weiteren Hinsicht wird die Abmessung der auf die Waferebene projizierten Beleuchtungsblende in der Richtung senkrecht zu der Einfallsebene angepasst, um die sich ergebende Messgenauigkeit und Messgeschwindigkeit basierend auf der Art des vermessenen Ziels zu optimieren.

**[0045]** Die auf die Waferebene projizierte Beleuchtungsblende wird in der Richtung senkrecht zur Einfallsebene angepasst, um die PSF zu formen um ein

Profil mit flachem Maximum zu erzielen, welches für jede Messanwendung weniger empfindlich gegenüber der Wellenlänge ist. Zusätzlich wird die spektrale Auflösung angepasst, um die Messgenauigkeit und Messgeschwindigkeit basierend auf dem Profil mit flachem Maximum zu optimieren.

**[0046]** In einigen Beispielen, z.B. wenn die Probe eine sehr dicke Schicht oder eine Gitterstruktur ist, wird die auf die Waferebene projizierte Beleuchtungsblende in der Richtung senkrecht zu der Einfallsebene angepasst, um die Feldgröße zu verringern, um eine Erhöhung der spektralen Auflösung zu erreichen. In einigen Beispielen, z.B. wenn die Probe eine dünne Schicht ist, wird die auf die Waferebene projizierte Beleuchtungsblende in der Richtung senkrecht zu der Einfallsebene angepasst, um die Feldgröße zu erhöhen, um eine Verkürzung der Messzeit ohne Verlust spektraler Auflösung zu erreichen.

**[0047]** **Fig. 7** zeigt auf den Detektor 123 projizierte Flecken 124A und 124B. In diesem Beispiel wird die in **Fig. 5** gezeigte Beleuchtungsblende 112 angepasst, um die auf die Waferebene projizierte Feldgröße in der Richtung senkrecht zur Einfallsebene (d.h. der Y-Richtung) zu reduzieren. Dies wiederum führt zu auf den Detektor 123 projizierten Flecken 124A und 124B mit reduzierter Feldgröße in der Richtung der Wellenlängendispersion.

**[0048]** In der in **Fig. 5** gezeigten Ausführungsform ist das Computersystem 130 dazu ausgebildet, um Signale 125 zu empfangen, die die von CCD 123 detektierte spektrale Antwort anzeigen. Das Computersystem 130 ist ferner dazu ausgebildet, Steuersignale 126 zu bestimmen, die an die programmierbare Beleuchtungsblende 112 übermittelt werden. Die programmierbare Beleuchtungsblende 112 empfängt Steuersignale 126 und passt die Größe der Beleuchtungsapertur an, um die gewünschte Größe des Beleuchtungsfeldes zu erzielen.

**[0049]** In einigen Beispielen wird die Beleuchtungsblende angepasst, um die Messgenauigkeit und die Messgeschwindigkeit zu optimieren, wie hierin zuvor beschrieben. In einem anderen Beispiel wird die Beleuchtungsblende angepasst, um eine Bildbeschneidung durch den Spektrometerspalt und eine entsprechende Verschlechterung der Messergebnisse zu vermeiden. Auf diese Weise wird die Größe des Beleuchtungsfeldes derart angepasst, dass das Bild des Messziels den Spektrometerspalt nicht vollständig ausfüllt. In einem Beispiel wird die Beleuchtungsblende derart angepasst, dass die Projektion des Polarisatorspalts der Beleuchtungsoptik den Spektrometerspalt des Metrologiesystems nicht vollständig ausfüllt.



**[0050]** Wenn der Messbereich derart auf den Detektor abgebildet wird, dass die auf der Waferoberfläche in der Einfallsebene ausgerichtete Richtung auf der Detektoroberfläche senkrecht zu der Richtung der Wellenlängendispersion orientiert ist, so sind die Messergebnisse viel weniger empfindlich gegenüber Fokus-Fehlern. **Fig. 8** zeigt ein Diagramm 150, welches Simulationsergebnisse darstellt, die eine verringerte Empfindlichkeit gegenüber Fokus-Fehlern für das mit Bezug auf **Fig. 5** beschriebene System im Vergleich zu dem mit Bezug auf **Fig. 1** beschriebenen System zeigen. Das Diagramm 150 zeigt die vom Fokus-Fehler verursachte Veränderung in dem Spektrometersignal  $\beta$  für eine Anzahl unterschiedlicher Szenarios.

**[0051]** Die Veränderung in dem Spektrometersignal,  $\delta\beta$ , ist die Differenz zwischen dem Spektrometersignal, gemessen, wenn sich die Zielposition außerhalb des Fokus befindet, und dem Spektrometersignal, gemessen, wenn sich das Ziel im nominellen Fokus befindet. Die Linien 151 und 152 des Diagramms zeigen die Werte von  $\delta\beta$  für einen Bereich an Wellenlängen, der sich über mehr als 500 Nanometer erstreckt, mit einem Fokus-Fehler von +1 Mikrometer bzw. -1 Mikrometer, für ein herkömmliches Metrologiesystem wie das mit Bezug auf **Fig. 1** beschriebene. Die Linien 153 und 154 des Diagramms zeigen die Werte von  $\delta\beta$  für einen Bereich an Wellenlängen mit einem Fokus-Fehler von +1 Mikrometer bzw. -1 Mikrometer, für ein neues Metrologie-System wie das mit Bezug auf **Fig. 5** beschriebene. Wie in **Fig. 8** gezeigt, sind die Messergebnisse viel weniger empfindlich gegenüber Fokus-Fehlern, wenn der Messbereich derart auf den Detektor abgebildet wird, dass die auf der Waferoberfläche in der Einfallsebene ausgerichtete Richtung auf der Detektoroberfläche senkrecht zu der Richtung der Wellenlängendispersion orientiert ist.

**[0052]** **Fig. 9** zeigt ein Diagramm 160 von Werten des spektroskopischen Parameters  $\beta$  über einen Bereich an Wellenlängen, der sich über mehr als 500 Nanometer erstreckt, für eine Reihe von dreißig wiederholten Messungen einer vertikalen NAND-Struktur (VNAND). Die in **Fig. 9** gezeigten Daten wurden durch ein herkömmliches breitbandiges spektroskopisches Ellipsometersystem wie das mit Bezug auf **Fig. 1** beschriebene System erzeugt.

**[0053]** **Fig. 10** zeigt ein Diagramm 170 von Werten des spektroskopischen Parameters  $\beta$  über einen Bereich an Wellenlängen, der sich über mehr als 500 Nanometer erstreckt, für eine Reihe von dreißig wiederholten Messungen der selben vertikalen NAND-Struktur (VNAND). Die in **Fig. 10** gezeigten Daten wurden mit einem breitbandigen spektroskopischen Ellipsometersystem erzeugt, welches den Messbereich derart auf den Detektor abbildet, dass die auf der Waferoberfläche in der Einfallsebene aus-

gerichtete Richtung auf der Detektoroberfläche senkrecht zu der Richtung der Wellenlängendispersion orientiert ist. Solch ein System wird mit Bezug auf **Fig. 5** beschrieben. Aus dem Vergleich der Ergebnisse in **Fig. 9** und **10** wird klar, dass die Abbildung des Messbereichs auf den Detektor derart, dass die auf der Waferoberfläche in der Einfallsebene ausgerichtete Richtung auf der Detektoroberfläche senkrecht zu der Richtung der Wellenlängendispersion orientiert ist, zu einer signifikanten Verbesserung der Systemwiederholbarkeit führt, vorwiegend durch eine reduzierte Empfindlichkeit gegenüber Fokus-Fehlern.

**[0054]** **Fig. 11** zeigt ein Verfahren 200 zur Durchführung spektroskopischer Messungen in zumindest einer neuen Hinsicht. Das Verfahren 200 eignet sich für die Implementierung durch ein Metrologiesystem, etwa das in **Fig. 5** gezeigte Metrologiesystem 100 der vorliegenden Erfindung. In einer Hinsicht können die Datenverarbeitungsblöcke des Verfahrens 200 durch einen vorprogrammierten Algorithmus durchgeführt werden, der durch einen oder durch mehrere Prozessoren des Computersystems 130 oder eines beliebigen anderen Universalrechnersystems ausgeführt wird. Die spezifischen strukturellen Aspekte des Metrologiesystems 100 stellen keine Beschränkungen dar und sollten als lediglich veranschaulichend ausgelegt werden.

**[0055]** In Block 201 wird eine Menge an Breitbandbeleuchtungslicht von einer Beleuchtungsquelle unter einem oder mehreren Einfallswinkeln innerhalb einer Einfallsebene auf einen Messbereich auf einer Oberfläche einer vermessenen Probe projiziert.

**[0056]** Im Block 202 wird eine Menge an erfasstem Licht von dem Messbereich auf der Oberfläche der Probe auf eine zweidimensionale Detektoroberfläche derart abgebildet, dass eine Richtung, die auf der Probenoberfläche in der Einfallsebene ausgerichtet ist, auf der Detektoroberfläche senkrecht zu einer Richtung der Wellenlängendispersion orientiert ist.

**[0057]** Im Block 203 wird eine Vielzahl an Ausgangssignalen erzeugt, welche eine Antwort der Probe auf die Menge an Beleuchtungslicht anzeigen. Die Ausgangssignale werden, zumindest zum Teil, erzeugt durch Integration von Ladung über eine Vielzahl an Pixeln in einer Richtung senkrecht zu der Richtung der Wellenlängendispersion auf der Detektoroberfläche.

**[0058]** In einer weiteren Hinsicht wird ein Schätzwert eines Strukturparameters der Probe bestimmt, zumindest zum Teil auf Grundlage der Vielzahl an Ausgangssignalen.

**[0059]** Wie hierin beschrieben kann jedes breitbandige optische Metrologiesystem mit senkrechtem

oder mit schiefwinkeligem Einfall derart konfiguriert werden, dass der Messbereich derart auf die Oberfläche des Detektors abgebildet wird, dass eine Richtung, welche auf der Waferoberfläche in der Einfallsebene ausgerichtet ist, auf der Detektoroberfläche senkrecht zu einer Richtung der Wellenlängendispersion orientiert ist. In einigen Ausführungsformen ist die Spektrometerdispersionsachse senkrecht zu der Waferfokusachse (z.B. z-Achse in **Fig. 5**) orientiert, um die Empfindlichkeit des Systems gegenüber Fokus-Fehlern zu verringern.

**[0060]** Beispielhafte Messtechniken, welche wie hierin beschrieben konfiguriert werden können, beinhalten, ohne aber darauf beschränkt zu sein, spektroskopische Ellipsometrie (SE), darunter Mueller-Matrix-Ellipsometrie, SE mit rotierendem Polarisator, SE mit rotierendem Polarisator und rotierendem Kompensator, SE mit rotierendem Kompensator, spektroskopische Reflektometrie (SR), darunter polarisierte SR, unpolarisierte SR, spektroskopische Scatterometrie, Scatterometrie-Overlay, Strahlprofil-Reflektometrie, sowohl winkelaufgelöst als auch polarisationsaufgelöst, Strahlprofilellipsometrie, Ellipsometrie mit einer oder mehreren diskreten Wellenlängen, Röntgenreflektivität (XRR), Röntgenfluoreszenz (XRF), Röntgenfluoreszenz mit streifendem Einfall (GIXRF), Röntgenellipsometrie etc. Im Allgemeinen kann jede Metrologietechnik in Betracht gezogen werden, welche Beleuchtung mit mehreren Wellenlängen beinhaltet, separat oder in beliebiger Kombination. Beispielsweise kann jede beliebige auf die Charakterisierung von Halbleiterstrukturen anwendbare SR- oder SE-Technik, darunter bildbasierte Metrologietechniken, in Betracht gezogen werden, einzeln oder in beliebiger Kombination.

**[0061]** In einer weiteren Ausführungsform beinhaltet das System 100 ein oder mehrere Computersysteme 130, die dazu eingesetzt werden, Messungen tatsächlicher Strukturen von Bauelementen durchzuführen, auf Grundlage spektroskopischer Messdaten, die gemäß den hierin beschriebenen Verfahren erfasst wurden. Das eine oder die mehreren Computersysteme 130 können mit dem Spektrometer (z.B. Spektrometer 123) kommunikativ verbunden sein. In einer Hinsicht sind das eine oder die mehreren Computersysteme 130 dazu ausgebildet, Messdaten 125 zu empfangen, die mit Messungen der Struktur auf Probe 115 assoziiert sind.

**[0062]** Der eine oder die mehreren in der vorliegenden Offenbarung beschriebenen Schritte können durch ein Computersystem 130 mit einem einzelnen Computer oder durch ein Computersystem 130 mit mehreren Computern durchgeführt werden. Ferner können verschiedene Subsysteme des Systems 100, etwa das spektroskopische Ellipsometer 123, ein Computersystem beinhalten, das dazu geeignet ist, zumindest einen Teil der hierin beschriebenen

Schritte auszuführen. Daher sollte die vorstehende Beschreibung nicht als eine Beschränkung der vorliegenden Erfindung ausgelegt werden, sondern lediglich als eine Veranschaulichung.

**[0063]** Zusätzlich kann das Computersystem 130 auf jede bekannte Weise mit dem Spektrometer 123 kommunikativ verbunden sein. Beispielsweise können das eine oder die mehreren Computersysteme 130 mit Computersystemen, die mit dem Spektrometer 123 assoziiert sind, gekoppelt sein. In einem anderen Beispiel kann das Spektrometer 123 direkt durch ein einziges Computersystem gesteuert werden, das an Computersystem 130 gekoppelt ist.

**[0064]** Das Computersystem 130 des Metrologiesystems 100 kann dazu ausgebildet sein, Daten oder Information von den Subsystemen des Systems (z.B. Spektrometer 123 und dergleichen) über ein Transmissionsmedium, das drahtgebundene und/oder drahtlose Abschnitte beinhalten kann, zu empfangen und/oder abzurufen. Auf diese Weise kann das Transmissionsmedium als eine Datenverbindung zwischen dem Computersystem 130 und anderen Subsystemen des Systems 100 dienen.

**[0065]** Das Computersystem 130 des Metrologiesystems 100 kann dazu ausgebildet sein, Daten oder Information (z.B. Messergebnisse, Modellierungs-Input, Modellierungs-Ergebnisse, Referenzmessergebnisse, etc.) von anderen Systemen über ein Transmissionsmedium, das drahtgebundene und/oder drahtlose Abschnitte beinhalten kann, zu empfangen und/oder abzurufen. Auf diese Weise kann das Transmissionsmedium als eine Datenverbindung zwischen dem Computersystem 130 und anderen Systemen (z.B. Speicher im Metrologiesystem 100, externer Speicher oder andere externe Systeme) dienen. Beispielsweise kann das Computersystem 130 dazu ausgebildet sein, Messdaten von einem Speichermedium (d.h. von Speicher 132 oder einem externen Speicher) über eine Datenverbindung zu empfangen. Beispielsweise können spektrale Ergebnisse, die unter Verwendung des Spektrometers 123 erhalten wurden, in einem permanenten oder semi-permanenten Speicherelement (z.B. Speicher 132 oder externer Speicher) gespeichert werden. In dieser Hinsicht können die spektralen Ergebnisse von internem Speicher oder von einem externen Speichersystem importiert werden. Ferner kann das Computersystem 130 über ein Übertragungsmedium Daten an andere Systeme senden. Beispielsweise kann ein Messmodell oder ein tatsächlicher Geräteparameterwert, der vom Computersystem 130 bestimmt worden ist, übermittelt und in einem externen Speicher gespeichert werden. In dieser Hinsicht können Messergebnisse zu einem anderen System exportiert werden.

**[0066]** Das Computersystem 130 kann, ohne aber darauf beschränkt zu sein, ein Personalcomputersystem, ein Großrechnersystem, eine Workstation, einen Bildrechner, einen Parallelprozessor oder jegliche andere bekannte Vorrichtung enthalten. Im Allgemeinen kann der Begriff „Computersystem“ breit definiert werden als jede Vorrichtung umfassend, die einen oder mehrere Prozessoren aufweist, welche Instruktionen von einem Speichermedium ausführen.

**[0067]** Programmanweisungen 134, die Verfahren wie die hierin beschriebenen implementieren, können über ein Übertragungsmedium wie etwa einen Draht, ein Kabel, oder eine drahtlose Übertragungsverbindung übertragen werden. Beispielsweise werden, wie in **Fig. 5** gezeigt, im Speicher 132 gespeicherte Programmanweisungen 134 dem Prozessor 131 über Bus 133 übermittelt. Programmanweisungen 134 werden in einem computerlesbaren Medium (z.B. Speicher 132) gespeichert. Beispielhafte computerlesbare Medien beinhalten Nurlesespeicher, einen Speicher mit wahlfreiem Zugriff, eine magnetische oder optische Disk oder ein Magnetband.

**[0068]** In einigen Beispielen werden die Messmodelle als ein Element eines optischen Kritische-Dimensions-Metrologiesystems SpectraShape®, erhältlich von KLA-Tencor Corporation, Milpitas, California, USA implementiert. In dieser Hinsicht wird das Modell erzeugt und ist einsatzbereit unmittelbar nachdem die Spektren von dem System erfasst wurden.

**[0069]** In einigen anderen Beispielen werden die Messmodelle off-line implementiert, beispielsweise durch ein Computersystem, das AcuShape®-Software, erhältlich von KLA-Tencor Corporation, Milpitas, California, USA, implementiert. Das sich ergebende, eingelernte Modell kann als ein Bestandteil einer AcuShape®-Bibliothek verwendet werden, auf die von einem Metrologiesystem, das Messungen durchführt, zugegriffen werden kann.

**[0070]** In noch einer anderen Hinsicht können die hierin beschriebenen Messmodellergebnisse verwendet werden, um aktive Rückkopplung zu einer Prozessvorrichtung (z.B. Lithographievorrichtung, Ätzevorrichtung, Abscheidevorrichtung, etc.) zu ermöglichen. Beispielsweise können Werte von gemessenen Parametern, die auf Grundlage hierin beschriebener Messverfahren bestimmt wurden, an eine Lithographievorrichtung übermittelt werden, um das Lithographiesystem anzupassen um ein gewünschtes Ergebnis zu erzielen. In ähnlicher Weise können Ätzparameter (z.B. Ätzzeit, Diffusivität, etc.) oder Abscheideparameter (z.B. Zeit, Konzentration, etc.) in einem Messmodell enthalten sein, um eine aktive Rückkopplung an Ätzevorrichtungen bzw. Abscheidevorrichtungen zu ermöglichen. In

einigen Beispielen können Korrekturen für Prozessparameter, die auf Grundlage gemessener Geräteparameterwerte und eines eingelernten Messmodells bestimmt wurden, an eine Lithographievorrichtung, eine Ätzevorrichtung oder eine Abscheidevorrichtung übermittelt werden.

**[0071]** Wie hierin beschrieben beinhaltet der Begriff „Critical Dimension“ jegliche kritische Dimension einer Struktur (z.B. untere kritische Dimension, mittlere kritische Dimension, obere kritische Dimension, Böschungswinkel, Gitterhöhe, etc.), eine kritische Dimension zwischen beliebigen zwei oder mehr Strukturen (z.B. Abstand zwischen zwei Strukturen), und eine Verschiebung zwischen zwei oder mehr Strukturen (z.B. Overlay-Verschiebung zwischen übereinanderliegenden Gitterstrukturen, etc.). Strukturen können dreidimensionale Strukturen, gemusterte Strukturen, Overlay-Strukturen etc. beinhalten.

**[0072]** Wie hierin beschrieben beinhaltet der Begriff „kritische Dimensionsanwendung“ oder „kritische Dimensions-Messanwendung“ jegliche Messung der kritischen Dimension.

**[0073]** Wie hierin beschrieben beinhaltet der Begriff „Metrologiesystem“ jegliches System, das zumindest zum Teil dazu eingesetzt wird, eine Probe in einer beliebigen Hinsicht zu charakterisieren, einschließlich Messanwendungen wie Kritische-Dimensions-Metrologie, Overlay-Metrologie, Fokus-/Dosis-Metrologie und Kompositionsmetrologie. Jedoch beschränken solche Fachbegriffe nicht den Umfang des Begriffs „Metrologiesystem“, wie er hierin beschrieben wird. Zusätzlich kann das Metrologiesystem 100 zur Messung strukturierter Wafer und/oder unstrukturierter Wafer ausgebildet sein. Das Metrologie-System kann als eine LED-Inspektionsvorrichtung, eine Kanten-Inspektionsvorrichtung, eine Rückseiten-Inspektionsvorrichtung, eine Makro-Inspektionsvorrichtung oder eine Multimodus-Inspektionsvorrichtung (welche Daten von einer oder mehreren Plattformen zur gleichen Zeit involviert) ausgebildet sein, und als jegliche andere Metrologie- oder Inspektionsvorrichtung, welche von der Kalibrierung von Systemparametern auf Grundlage von Daten zur kritischen Dimension profitiert.

**[0074]** Verschiedene Ausführungsformen werden hierin für ein Halbleiterbearbeitungssystem (z.B. ein Inspektionssystem oder ein Lithographiesystem) beschrieben, die für die Verarbeitung einer Probe verwendet werden können. Der Begriff „Probe“ wird hierin verwendet, um einen Wafer, ein Retikel oder jegliche andere Probe, die durch bekannte Mittel verarbeitet (z.B. gedruckt oder auf Defekte inspiziert) werden kann, zu bezeichnen.

**[0075]** Der Begriff „Wafer“, wie er hierin verwendet wird, bezeichnet allgemein Substrate, die aus

einem Halbleitermaterial oder einem Nicht-Halbleitermaterial gebildet sind. Beispiele beinhalten, ohne aber darauf beschränkt zu sein, monokristallines Silizium, Galliumarsenid und Indiumphosphid. Derartige Substrate finden sich gemeinhin in Halbleiterfabrikationseinrichtungen und/oder werden dort verarbeitet. In manchen Fällen kann ein Wafer lediglich das Substrat beinhalten (d.h. blanker Wafer). Alternativ kann ein Wafer eine oder mehrere Schichten aus unterschiedlichen Materialien beinhalten, die auf einem Substrat ausgebildet sind. Ein oder mehrere auf einem Wafer ausgebildete Schichten können „strukturiert“ oder „unstrukturiert“ sein. Beispielsweise kann ein Wafer eine Vielzahl an Dies beinhalten, die wiederholbare Strukturmerkmale aufweisen.

**[0076]** Ein „Retikel“ kann ein Retikel in jedem Stadium eines Retikelherstellungsprozesses sein, oder ein fertiges Retikel, das für die Verwendung in einer Halbleiterherstellungseinrichtung freigegeben wurde oder nicht. Ein Retikel oder eine „Maske“ ist allgemein definiert als ein im Wesentlichen transparentes Substrat, das darauf ausgebildete und in einem Muster angeordnete, im Wesentlichen opake Bereiche aufweist. Das Substrat kann beispielsweise ein Glasmaterial, etwa amorphes  $\text{SiO}_2$ , beinhalten. Ein Retikel kann während eines Belichtungsschritts eines Lithographieprozesses oberhalb eines mit Photolack bedeckten Wafers angeordnet werden, so dass das Muster auf dem Retikel auf den Photolack übertragen werden kann.

**[0077]** Ein oder mehrere auf einem Wafer ausgebildete Schichten können strukturiert oder unstrukturiert sein. Beispielsweise kann ein Wafer eine Vielzahl an Dies beinhalten, von denen jeder wiederholbare Strukturmerkmale aufweist. Die Ausbildung und Verarbeitung solcher Materialschichten kann letztlich zu kompletten Bauelementen führen. Viele unterschiedliche Arten von Bauelementen können auf einem Wafer ausgebildet werden, und der Begriff Wafer, wie er hierin verwendet wird, soll einen Wafer mit umfassen, auf dem jegliche Art von bekanntem Bauelement hergestellt wird.

**[0078]** In einer oder in mehreren beispielhaften Ausführungsformen können die beschriebenen Funktionen in Hardware, Software, Firmware oder jeder Kombination daraus implementiert werden. Im Falle der Implementierung in Software können die Funktionen als eine oder mehrere Instruktionen oder Code auf einem computerlesbaren Medium gespeichert sein oder darüber übermittelt werden. Computerlesbare Medien beinhalten sowohl Computerspeichermedien als auch Kommunikationsmedien, darunter jegliches Medium, das die Übertragung eines Computerprogramms von einem Ort zu einem anderen ermöglicht. Ein Speichermedium kann jegliches verfügbare Medium sein, auf das durch einen Universalrechner oder einen Spezialrechner zugegriffen wer-

den kann. Als Beispiel, nicht als Beschränkung, können solche computerlesbaren Medien RAM, ROM, EEPROM, CD-ROM oder andere optische Disk-Speicher, magnetische Plattenspeicher oder andere magnetische Speichervorrichtungen, oder jegliches andere Medium, das verwendet werden kann, um gewünschte Programmcodemittel in der Form von Instruktionen oder Datenstrukturen zu befördern oder zu speichern, und auf das durch einen Universalrechner oder einen Spezialrechner oder einen Universalprozessor oder einen Spezialprozessor zugegriffen werden kann, umfassen. Ebenso wird jede Verbindung adäquat als computerlesbares Medium bezeichnet. Wenn beispielsweise die Software von einer Website, einem Server oder einer anderen entfernten Datenquelle unter Verwendung eines Koaxialkabels, eines Glasfaserkabels, gekreuzter Aderpaare, Digital Subscriber Line (DSL) oder drahtloser Technologien wie Infrarot, Funk und Mikrowellen übertragen wird, dann sind das Koaxialkabel, das Glasfaserkabel, die gekreuzten Aderpaare, DSL oder die drahtlosen Technologien wie Infrarot, Funk und Mikrowellen in die Definition von Medium eingeschlossen. Platte und Disc, wie hierin verwendet, beinhaltet Compact Disc (CD), Laserdisc, optische Disc, Digital Versatile Disc (DVD), Floppy Disk und Blu-Ray-Disc, wobei normalerweise Platten Daten magnetisch reproduzieren, wohingegen Discs Daten optisch mit Lasern reproduzieren. Kombinationen des obigen sollen ebenfalls unter die computerlesbaren Medien eingeschlossen sein.

### Patentansprüche

1. Metrologiesystem (100), umfassend:  
eine Beleuchtungsquelle (110), dazu ausgebildet, eine Menge an Beleuchtungslicht (114) zu erzeugen;  
ein Beleuchtungsoptik-Subsystem, dazu ausgebildet, die Menge an Beleuchtungslicht (114) von der Beleuchtungsquelle (110) unter einem oder mehreren Einfallswinkeln ( $\alpha$ ) innerhalb einer Einfallsebene auf einen Messbereich (116) auf einer Oberfläche einer der Vermessung unterzogenen Probe (115) zu richten;  
einen Detektor (123), der eine planare, zweidimensionale Oberfläche hat, welche auf einfallendes Licht empfindlich ist, wobei der Detektor (123) dazu ausgebildet ist, eine Vielzahl an Ausgangssignalen, die eine Antwort der Probe (115) auf die Menge an Beleuchtungslicht (114) anzeigen, zu erzeugen, indem Ladung über eine Vielzahl an Pixeln in einer Richtung senkrecht zu einer Richtung der Wellenlängendispersion auf der Detektoroberfläche integriert wird; und  
ein Erfassungsoptik-Subsystem, dazu ausgebildet, eine Menge an erfasstem Licht (117) von dem Messbereich (116) auf der Oberfläche der Probe (115) zu erfassen und die Menge an erfasstem

Licht (117) auf die Oberfläche des Detektors (123) zu richten, wobei das Erfassungsoptik-Subsystem den Messbereich (116) derart auf die Oberfläche des Detektors (123) abbildet, dass eine Richtung, welche auf der Waferoberfläche in der Einfallsebene ausgerichtet ist, auf der Detektoroberfläche senkrecht zu der Richtung der Wellenlängendispersion orientiert ist.

2. Metrologiesystem (100) nach Anspruch 1, wobei die Menge an Beleuchtungslicht (114) Breitbandbeleuchtungslicht ist, welches einen Wellenlängenbereich beinhaltet, der sich zumindest über 500 Nanometer erstreckt.

3. Metrologiesystem (100) nach Anspruch 1, wobei zumindest ein Teil der Menge an Beleuchtungslicht (114) der Probe (115) unter senkrechtem Einfall zugeführt wird.

4. Metrologiesystem (100) nach Anspruch 1, wobei zumindest ein Teil der Menge an Beleuchtungslicht (114) der Probe (115) unter einem schiefen Einfallswinkel ( $\alpha$ ) zugeführt wird.

5. Metrologiesystem (100) nach Anspruch 1, wobei das Metrologiesystem (100) als spektroskopisches Ellipsometer und/oder als spektroskopisches Reflektometer ausgebildet ist.

6. Metrologiesystem (100) nach Anspruch 1, wobei eine Projektion eines Polarisatorspalts des Beleuchtungsoptik-Subsystems einen Spektrometerspalt (121) des Metrologiesystems (100) nicht ausfüllt.

7. Metrologiesystem (100) nach Anspruch 1, wobei die Beleuchtungsquelle (110) eine lasergetriebene Lichtquelle ist.

8. Metrologiesystem (100) nach Anspruch 1, wobei das Beleuchtungsoptik-Subsystem eine programmierbare Beleuchtungsblende (112) beinhaltet, die dazu ausgebildet ist, ein auf die Probe (115) projiziertes Beleuchtungsfeld in einer Richtung senkrecht zu der Einfallsebene zu beschränken.

9. Metrologiesystem (100) nach Anspruch 8, ferner umfassend:  
eine Steuerung, dazu ausgebildet, ein Steuersignal zu der programmierbaren Beleuchtungsblende (112) zu übermitteln, um einen Zustand der Beleuchtungsblende (112) zu verändern, um eine gewünschte Punktbildfunktion entlang der Richtung der Wellenlängendispersion auf der Detektoroberfläche zu erhalten.

10. Metrologiesystem (100) nach Anspruch 1, wobei eine Strahlgröße der Menge an auf eine Oberfläche der Probe (115) projiziertem Beleuch-

tungslicht (114) kleiner ist, als eine Größe eines Messziels, das auf der Oberfläche der Probe (115) gemessen wird.

11. Metrologiesystem (100) nach Anspruch 1, wobei der Detektor (123) ein Charge-Coupled-Device-(CCD)-Detektor ist.

12. Vorrichtung umfassend:  
ein Beleuchtungssystem, dazu ausgebildet, eine Menge an Breitbandbeleuchtungslicht (114) von einer Beleuchtungsquelle (110) auf einen Messbereich (116) auf einer Oberfläche einer Vermessung unterzogenen Probe (115) unter einem oder mehreren Einfallswinkeln ( $\alpha$ ) innerhalb einer Einfallsebene zu richten;  
einen spektroskopischen Detektor mit einer planaren, zweidimensionalen Oberfläche, welche auf einfallendes Licht empfindlich ist, wobei der spektroskopische Detektor dazu ausgebildet ist, eine Vielzahl von Ausgangssignalen zu erzeugen, indem Ladung über eine Vielzahl an Pixeln in einer Richtung senkrecht zu einer Richtung der Wellenlängendispersion auf der Detektoroberfläche integriert wird; und  
ein Erfassungsoptik-Subsystem, dazu ausgebildet, eine Menge an erfasstem Licht von dem Messbereich (116) auf der Oberfläche der Probe (115) zu erfassen und die Menge an erfasstem Licht zu der Oberfläche des spektroskopischen Detektors zu richten, wobei das Erfassungsoptik-Subsystem den Messbereich (116) auf die Oberfläche des spektroskopischen Detektors (123) derart abbildet, dass eine Richtung, welche auf der Waferoberfläche in der Einfallsebene ausgerichtet ist, auf der Oberfläche des spektroskopischen Detektors senkrecht zu der Richtung der Wellenlängendispersion orientiert ist.

13. Vorrichtung nach Anspruch 12, wobei das Beleuchtungssystem eine programmierbare Beleuchtungsblende (112) beinhaltet, die dazu ausgebildet ist, ein auf die Probe (115) projiziertes Beleuchtungsfeld in einer Richtung senkrecht zu der Einfallsebene zu beschränken.

14. Vorrichtung nach Anspruch 13, ferner eine Steuerung umfassend, die dazu ausgebildet ist, ein Steuersignal zu der programmierbaren Beleuchtungsblende (112) zu übermitteln, um einen Zustand der Beleuchtungsblende (112) zu verändern, um eine gewünschte Punktbildfunktion entlang der Richtung der Wellenlängendispersion auf der Detektoroberfläche zu erhalten.

15. Verfahren umfassend:  
Projizieren einer Menge an Breitbandbeleuchtungslicht (114) von einer Beleuchtungsquelle (110) auf einen Messbereich (116) auf einer Oberfläche einer Vermessung unterzogenen Probe (115) unter einem oder mehreren Einfallswinkeln ( $\alpha$ ) innerhalb

einer Einfallsebene;

Abbilden einer Menge an erfasstem Licht (117) von dem Messbereich (116) auf der Oberfläche der Probe (115) zu einer zweidimensionalen Detektoroberfläche, derart, dass eine Richtung, welche auf der Probenoberfläche in der Einfallsebene ausgerichtet ist, auf der Detektoroberfläche senkrecht zu einer Richtung der Wellenlängendispersion orientiert ist; und

Erzeugen einer Vielzahl von Ausgangssignalen, welche eine Antwort der Probe (115) auf die Menge an Beleuchtungslicht (114) anzeigen, wobei das Erzeugen der Vielzahl an Ausgangssignalen die Integration von Ladung über eine Vielzahl an Pixeln in einer Richtung senkrecht zu der Richtung der Wellenlängendispersion auf der Detektoroberfläche involviert.

16. Verfahren nach Anspruch 15, ferner die Bestimmung eines Schätzwerts eines Strukturparameters zumindest zum Teil auf Grundlage der Vielzahl der Ausgangssignale umfassend.

17. Verfahren nach Anspruch 15, wobei die Menge an Breitbandbeleuchtungslicht (114) einen Wellenlängenbereich beinhaltet, der sich über mindestens 500 Nanometer erstreckt.

18. Verfahren nach Anspruch 15, wobei zumindest einer des einen oder der mehreren Einfallswinkel ( $\alpha$ ) ein schiefer Einfallswinkel ist.

19. Verfahren nach Anspruch 15, ferner umfassend:

Beschränken einer Ausdehnung eines auf die Oberfläche der Probe (115) projizierten Beleuchtungsfeldes in einer Richtung senkrecht zu der Einfallsebene.

20. Verfahren nach Anspruch 19, wobei das Beschränken der Ausdehnung des Beleuchtungsfeldes es involviert, ein Steuersignal zu einer programmierbaren Beleuchtungsblende (112) zu übermitteln, um einen Zustand der Beleuchtungsblende (112) zu verändern, um eine gewünschte Punktbildfunktion entlang der Richtung der Wellenlängendispersion auf der Detektoroberfläche zu erzielen.

Es folgen 8 Seiten Zeichnungen

Anhängende Zeichnungen

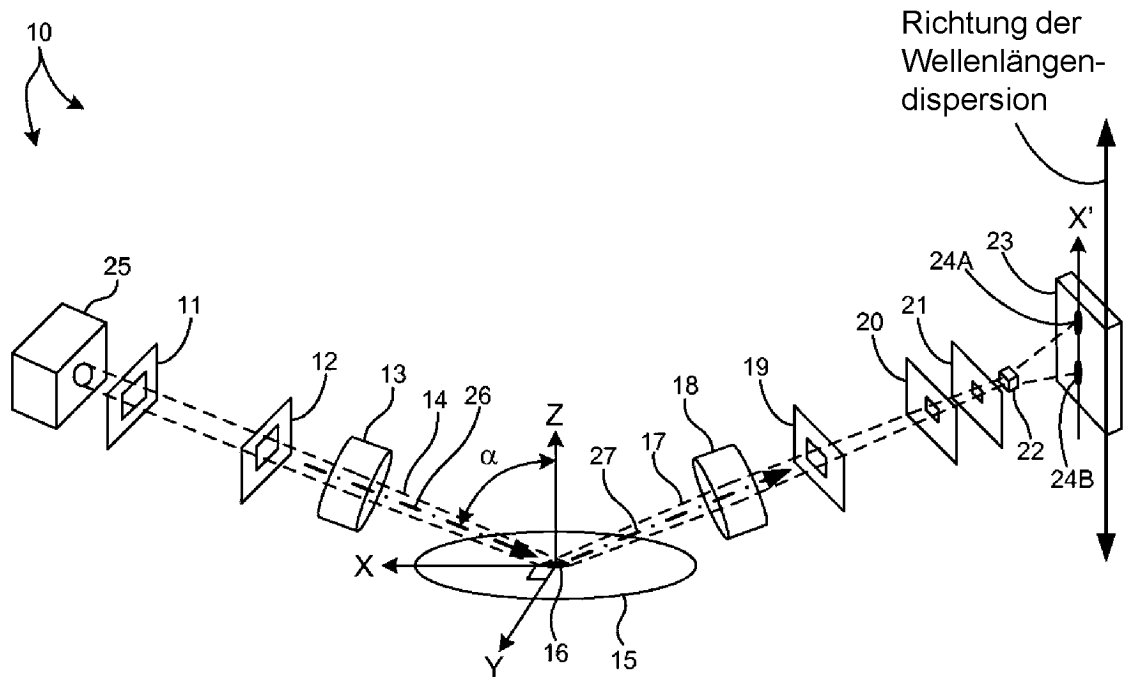


FIG. 1

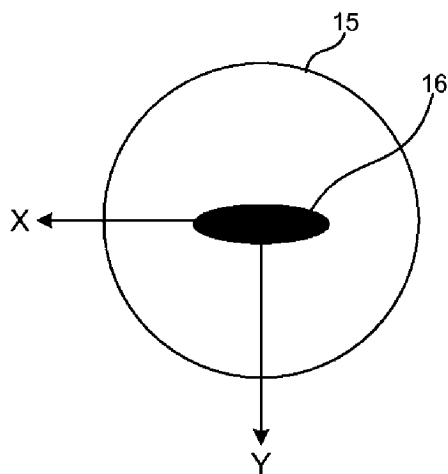


FIG. 2A

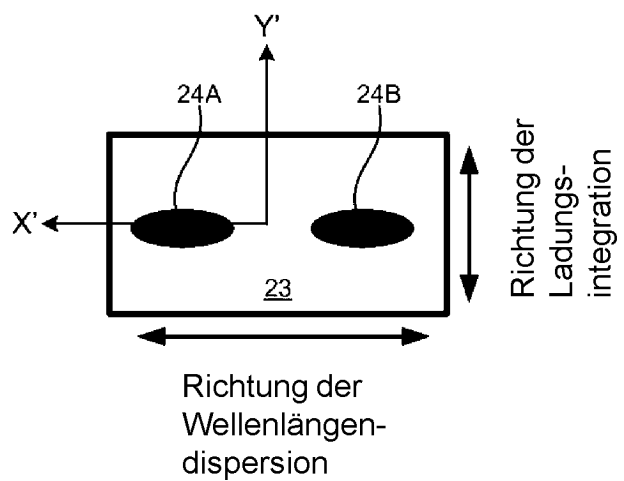


FIG. 2B

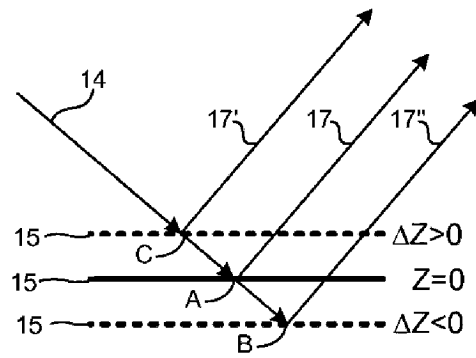


FIG. 3

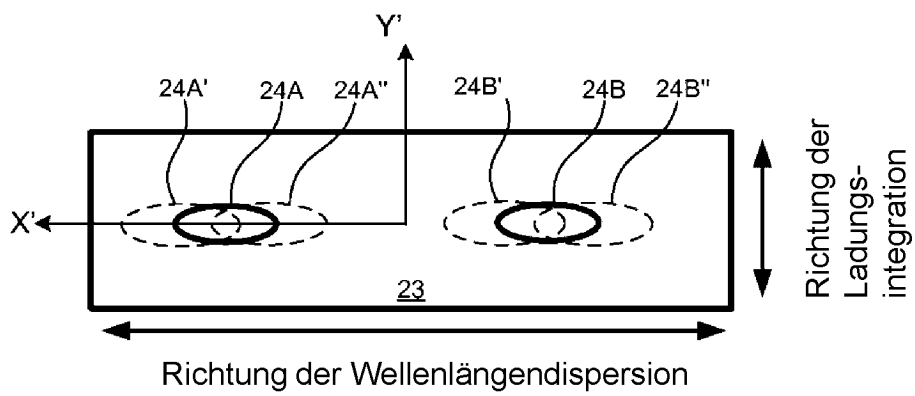


FIG. 4



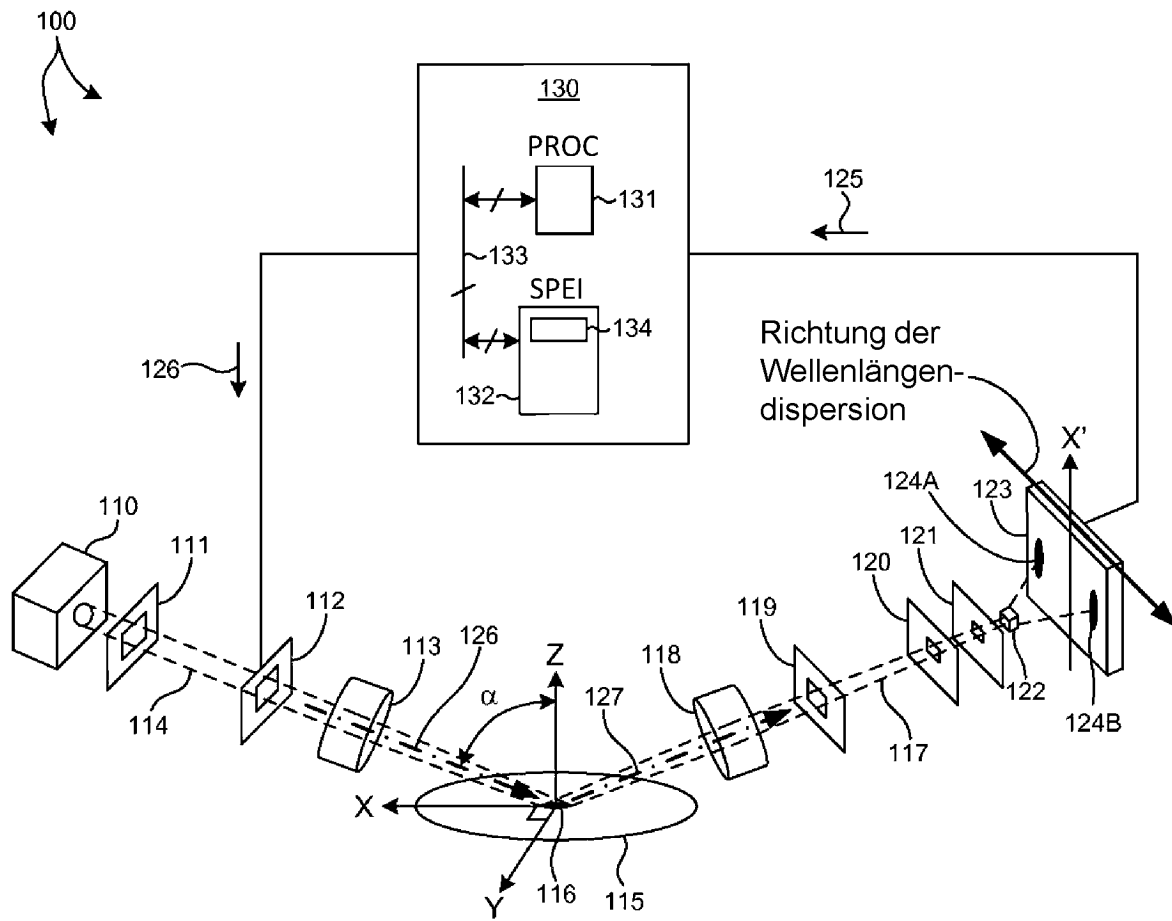


FIG. 5

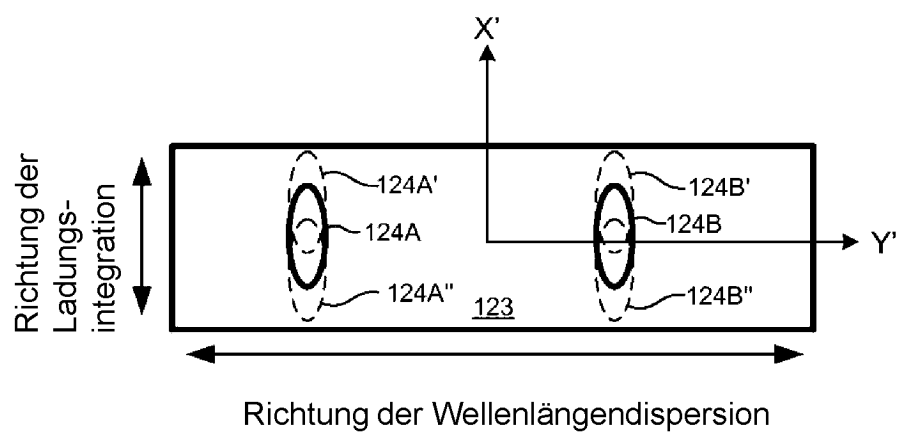


FIG. 6

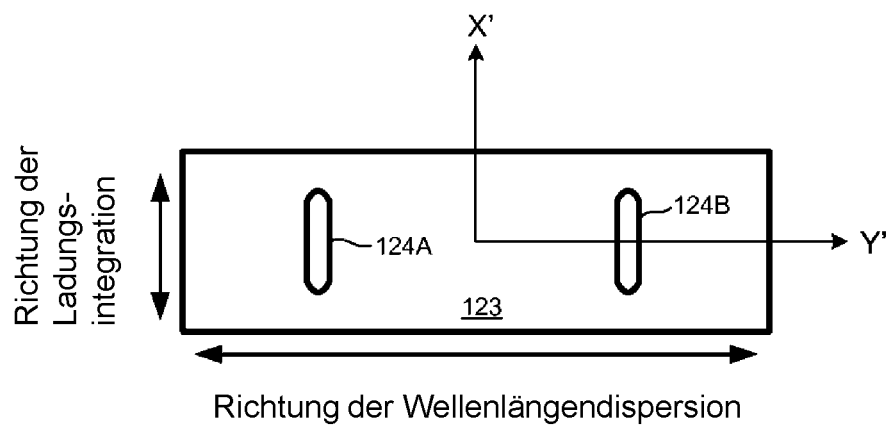


FIG. 7

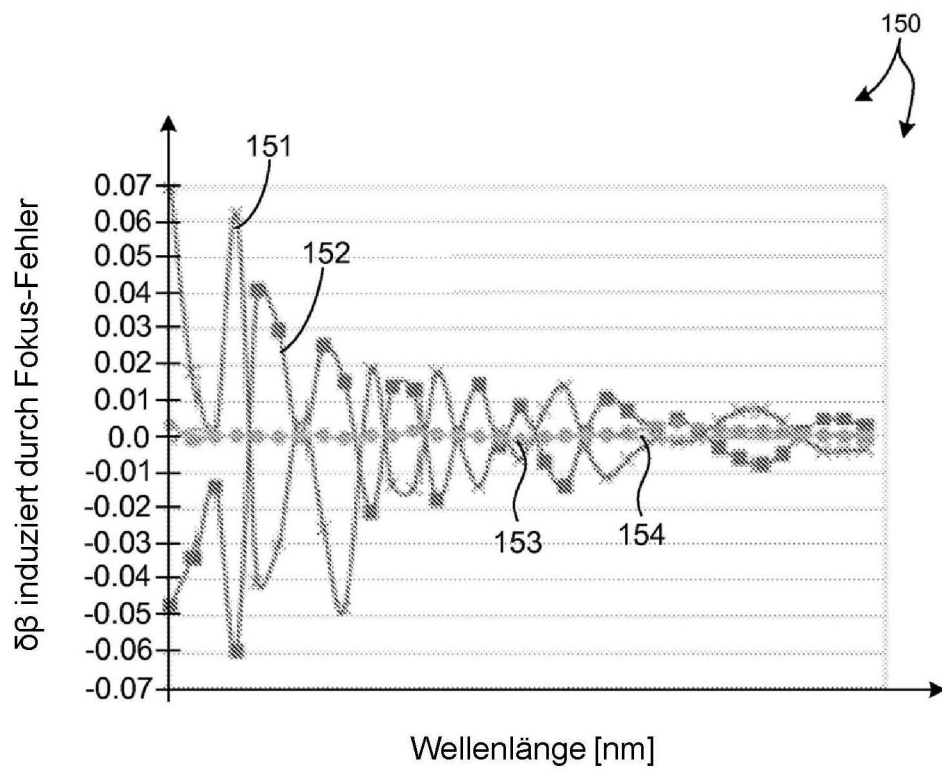


FIG. 8

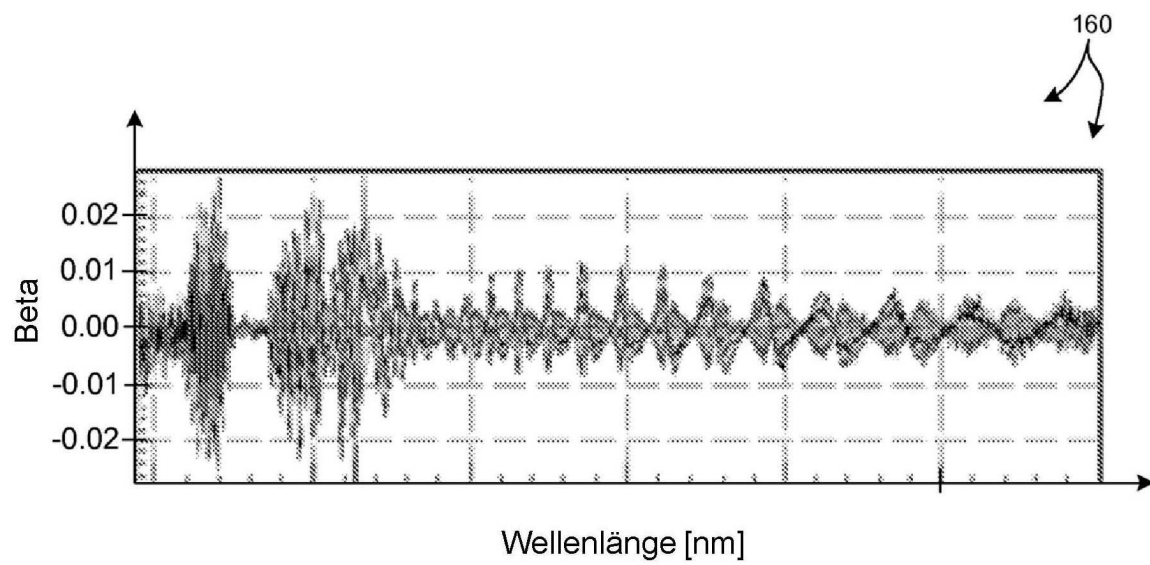


FIG. 9

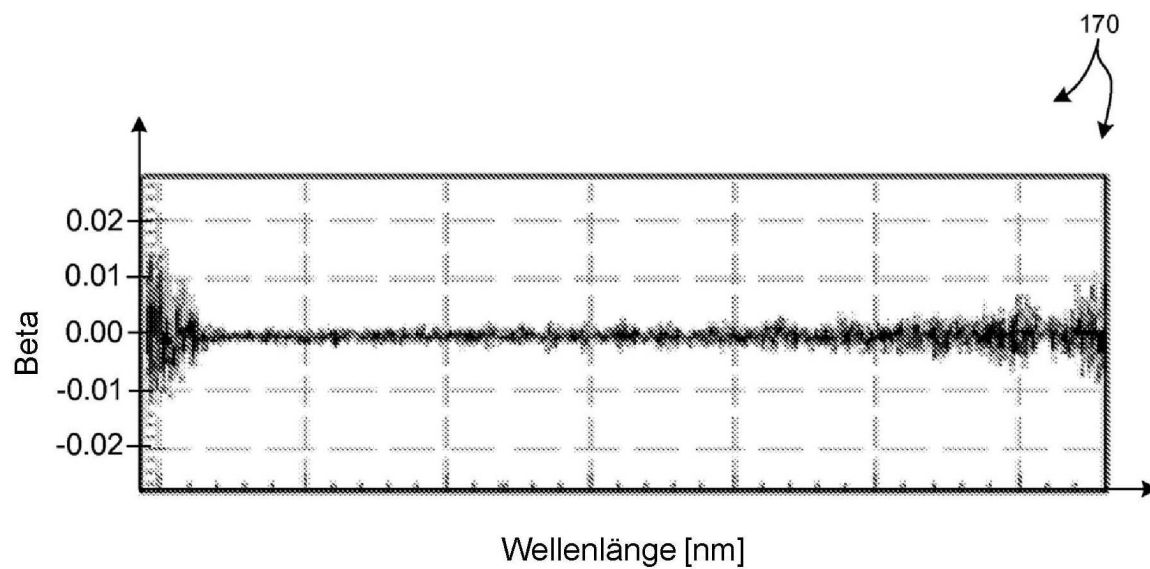


FIG. 10

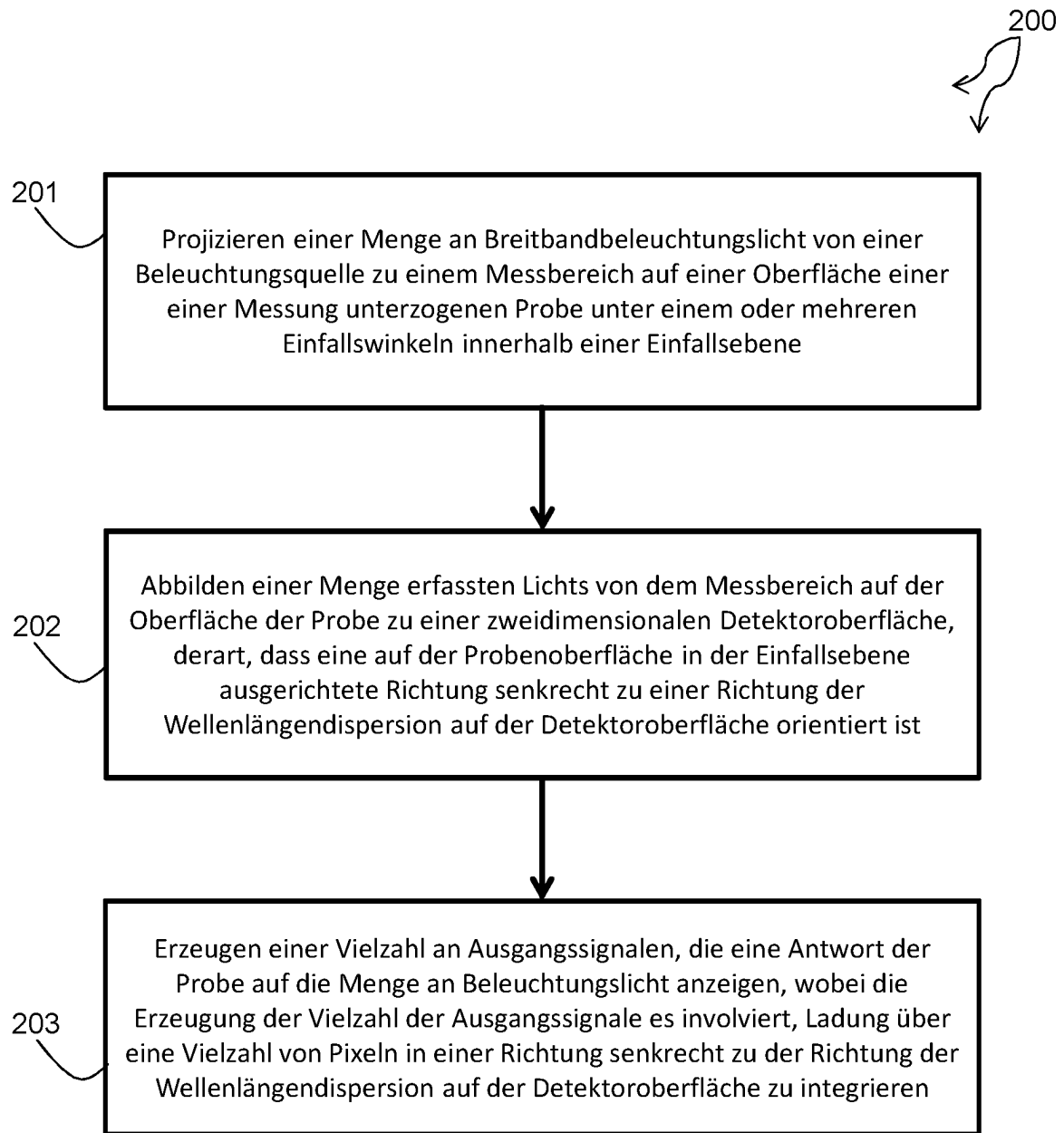


FIG. 11

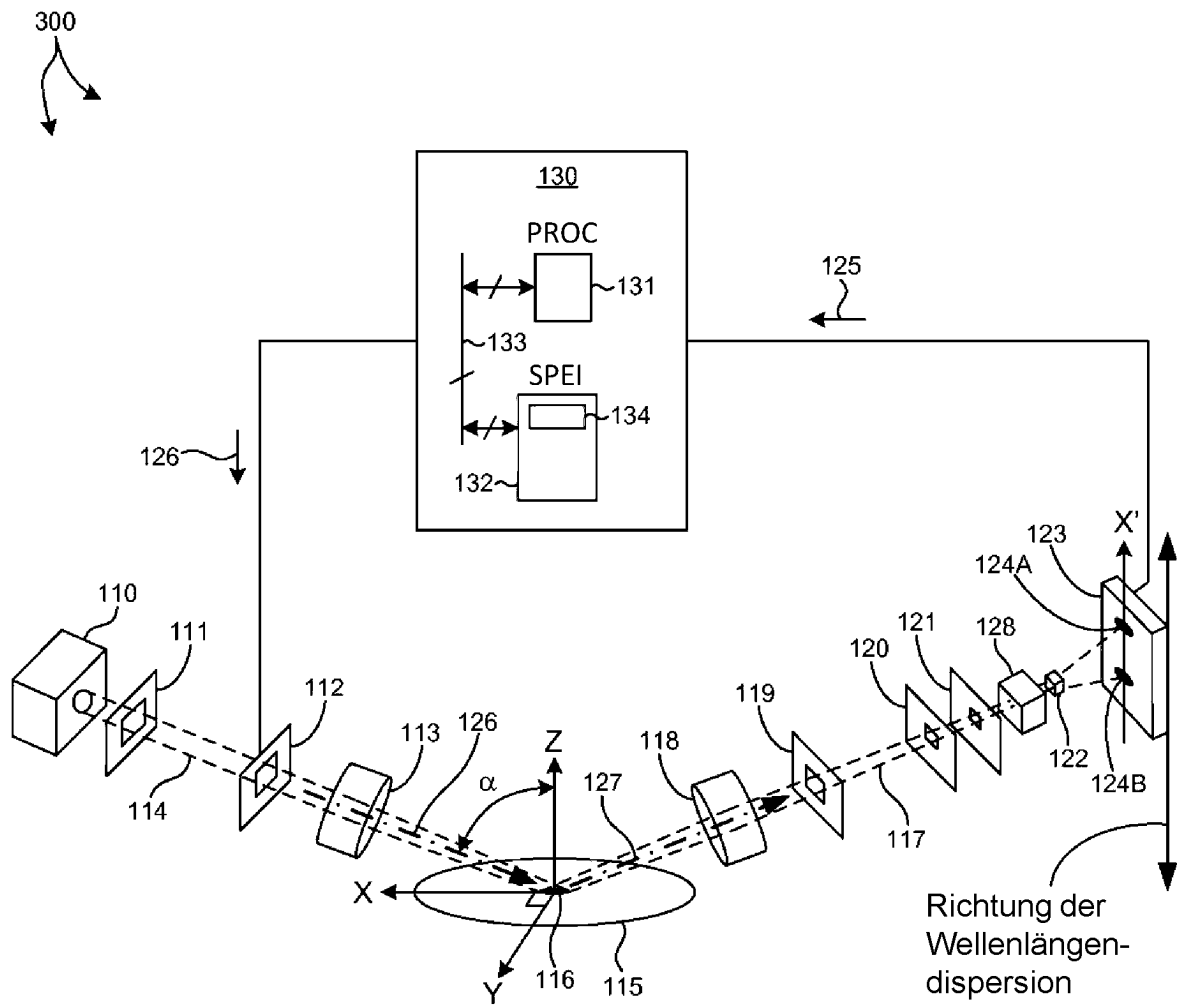


FIG. 12