



(12) **Patentschrift**

(21) Deutsches Aktenzeichen: **11 2017 000 464.0**  
(86) PCT-Aktenzeichen: **PCT/US2017/014523**  
(87) PCT-Veröffentlichungs-Nr.: **WO 2017/127789**  
(86) PCT-Anmeldetag: **23.01.2017**  
(87) PCT-Veröffentlichungstag: **27.07.2017**  
(43) Veröffentlichungstag der PCT Anmeldung  
in deutscher Übersetzung: **27.09.2018**  
(45) Veröffentlichungstag  
der Patenterteilung: **03.07.2025**

(51) Int Cl.: **G01N 21/21 (2006.01)**  
**G01N 21/95 (2006.01)**  
**G01B 11/06 (2006.01)**  
**G01J 4/00 (2006.01)**  
**G01J 4/04 (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:

<b>62/286,279</b>	<b>22.01.2016</b>	<b>US</b>
<b>15/214,814</b>	<b>20.07.2016</b>	<b>US</b>

(73) Patentinhaber:

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

(74) Vertreter:

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

(72) Erfinder:

**Salcin, Esen, Milpitas, CA, US; Wang, Fuming,  
Santa Clara, CA, US; Peterlinz, Kevin, San Ramon,  
CA, US; Kwak, Hidong, San Jose, CA, US;  
Kvamme, Damon, Los Gatos, CA, US; Greenberg,  
Uri, San Jose, CA, US; Hennigan, Daniel R.,  
Livermore, CA, US**

(56) Ermittelter Stand der Technik:

**siehe Folgeseiten**

(54) Bezeichnung: **Einzelwellenlängen-Ellipsometrie mit verbesserter Spotgrößen-Fähigkeit**

(57) Hauptanspruch: Metrologiesystem (100), umfassend: eine schmalbandige Beleuchtungsquelle (110), die konfiguriert ist, um einen Beleuchtungslichtstrahl (114) zu erzeugen;

ein Subsystem einer Beleuchtungsoptik (112), das konfiguriert ist, um den Beleuchtungslichtstrahl (114) von der Beleuchtungsquelle (110) zu einem Messobjekt zu lenken, das auf einer zu vermessenden Probe (115) angeordnet ist, wobei das Subsystem einer Beleuchtungsoptik (112) umfasst:

einen Linearpolarisator (111), der so konfiguriert ist, dass er den von der schmalbandigen Beleuchtungsquelle (110) erzeugten Beleuchtungslichtstrahl (114) empfängt und dem Beleuchtungslichtstrahl (114) eine lineare Polarisation aufprägt; und

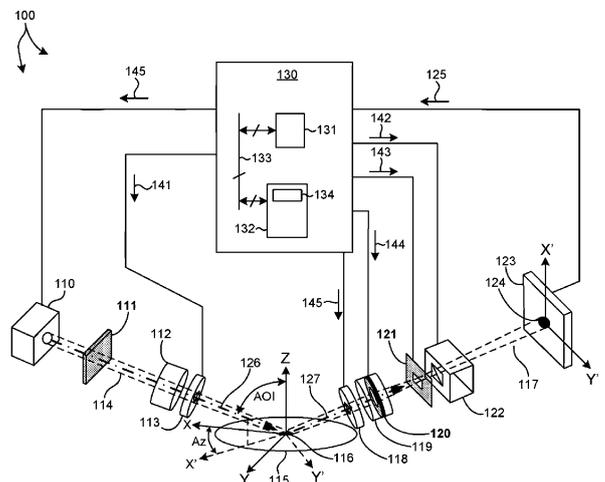
einen elliptischen Polarisator (113), der konfiguriert ist, um den Beleuchtungslichtstrahl (114) von dem Linearpolarisator (111) zu empfangen und dem Beleuchtungslichtstrahl (114) eine elliptische Polarisation aufzuprägen;

einen Detektor (123) mit einer planaren zweidimensionalen Oberfläche, die für einfallendes Licht empfindlich ist, wobei der Detektor (123) konfiguriert ist, um eine Vielzahl von Ausgangssignalen (125) zu erzeugen, die eine Antwort der Probe (115) auf den Beleuchtungslichtstrahl (114) anzeigen; und

ein Subsystem einer Sammeloptik (119), das konfiguriert ist, um einen Sammellichtstrahl (117) von der Probe (115)

zu sammeln und den Sammellichtstrahl (117) auf die Oberfläche des Detektors (123) zu richten, wobei das Subsystem einer Sammeloptik (119) umfasst:

einen Analysator (122), der konfiguriert ist, um den Sammellichtstrahl (117) zu empfangen und dem Sammellichtstrahl (117) eine lineare Polarisation aufzuprägen; und eine Feldblende (121), die in dem Sammellichtstrahl (117) nahe oder an einer ...



(56) Ermittelter Stand der Technik:

<b>US</b>	<b>6 734 968</b>	<b>B1</b>
<b>US</b>	<b>7 006 222</b>	<b>B2</b>
<b>US</b>	<b>7 253 901</b>	<b>B2</b>
<b>US</b>	<b>2013 / 0 114 085</b>	<b>A1</b>

**Beschreibung**

## Bezugnahme auf verwandte Anmeldungen

**[0001]** Die vorliegende Patentanmeldung beansprucht die Priorität der provisorischen US-Patentanmeldung 62/286,279, mit dem Titel „Methods of Improved Spot Size Capability in Single Wavelength Ellipsometry“, angemeldet am 22. Januar 2016.

## Technisches Gebiet

**[0002]** Die beschriebenen Ausführungsformen betreffen Metrologiesysteme und -verfahren und insbesondere Verfahren und Systeme zur verbesserten Messung von Halbleiterstrukturen.

## Hintergrund der Erfindung

**[0003]** Halbleiterbauelemente wie Logik- und Speicherbauelemente werden typischerweise durch eine Abfolge von Verarbeitungsschritten hergestellt, die auf eine Probe angewendet werden. Die verschiedenen Strukturen (Merkmale) und vielfachen strukturellen Ebenen der Halbleitervorrichtungen werden durch diese Verarbeitungsschritte gebildet. Beispielsweise ist Lithographie unter anderem ein Halbleiterherstellungsverfahren, das das Erzeugen einer Struktur (eines Musters) auf einem Halbleiterwafer beinhaltet. Zusätzliche Beispiele von Halbleiterherstellungsverfahren umfassen, sind jedoch nicht darauf beschränkt, chemisch-mechanisches Polieren, Ätzen, Abscheiden und Ionenimplantation. Mehrere Halbleitervorrichtungen können auf einem einzelnen Halbleiterwafer hergestellt und dann in einzelne Halbleitervorrichtungen getrennt werden. Metrologieprozesse werden in verschiedenen Schritten während eines Halbleiterherstellungsverfahrens verwendet, um Defekte auf Wafern zu detektieren, um eine höhere Ausbeute zu fördern. Optische Messtechniken bieten das Potenzial für einen hohen Durchsatz ohne das Risiko einer Zerstörung der Probe. Eine Reihe von Techniken, die auf optischer Metrologie basieren, einschließlich Scatterometrie- und Reflektometrie-Implementierungen und zugehörige Analysealgorithmen werden üblicherweise verwendet, um kritische Abmessungen (im Englischen „critical dimensions“), Filmdicken, Zusammensetzung, Overlay und andere Parameter von Strukturen im nanoskaligen Bereich zu charakterisieren.

**[0004]** Fortschreitende Verringerungen der Strukturgröße, zunehmende geometrische Komplexität und vielfältigere Materialzusammensetzungen von Halbleiterbauelementen stellen schwierige Anforderungen an optische Metrologiesysteme, auf die sich die Prozessentwicklung und die Prozessüberwachung stützen. Um die Leistungsanforderungen an das Bauelement (Vorrichtung) zu erfüllen, müssen die Dicke und die Zusammensetzung der dünnen Filme

(beispielsweise Oxid, Nitrid, Metallschichten usw.), die auf einem Siliziumwafer gebildet werden, während des Herstellungsprozesses der Halbleitervorrichtung genau gesteuert werden.

**[0005]** Auf Einzelwellenlängen-Ellipsometrie (im Englischen „Single Wavelength Ellipsometry“, abgekürzt mit „SWE“) basierende Messtechniken und -systeme werden häufig verwendet, um Eigenschaften von Dünnschichten zu messen. SWE-Systeme verwenden modellbasierte Messtechniken, um physikalische Eigenschaften von Filmstrukturen basierend auf Polarisierungseigenschaften von Licht zu bestimmen, das von der zu messenden Struktur reflektiert wird. Beispielhafte Metrologiesysteme und -techniken sind ausführlich beschrieben in dem am 11. Mai 2004 erteilten US-Patent US 6 734 968 B1, in dem am 28. Februar 2006 erteilten US-Patent US 7 006 222 B2 und in dem am 7. August 2007 erteilten US-Patent US 7 253 901 B2, die allesamt an KLA-Tencor Corporation übertragen wurden. US 2013 / 0 114 085 A1 beschreibt ein Metrologiesystem, bei dem eine Beleuchtungspupille, eine Sammelpupille und Feldblenden im Beleuchtungsweg im Sammelstrahlengang dynamisch anpassbar sind, wozu sie von einem Steuersystem angesteuert werden.

**[0006]** In vielen fortgeschrittenen Anwendungen von Filmmessungen werden SWE-Systeme wegen ihrer ausgezeichneten Messwiederholbarkeit und optischen Stabilität bevorzugt. Die Lichtquelle für polarisiertes Licht mit einer einzigen Wellenlänge liefert eine konstante Lichtleistung und eine ausgezeichnete Wellenlängenstabilität. SWE-Systeme stellen eine ausgezeichnete Anpassungsleistung zwischen einem Werkzeug und einem anderen Werkzeug unter mehreren Werkzeugen in den gleichen oder unterschiedlichen Fertigungseinrichtungen zur Verfügung. Dies ermöglicht die gemeinsame Nutzung von Ellipsometrie-Modellen, Messrezepten und optischen Konstanten über mehrere SWE-Systeme hinweg.

**[0007]** Die Lichtquellen, die von SWE-Systemen verwendet werden, weisen jedoch große Kohärenzlängen auf, beispielsweise in der Größenordnung von einigen zehn Metern. Dies führt zu signifikanten Kohärenzartefakten in Messsignalen, die die Systemleistung beeinträchtigen können. Kohärenzbasierte Artefakte treten unter vielen verschiedenen Umständen auf. In einem Beispiel führt von den Kanten eines Messobjekts (Metrologieziels) gebeugtes Licht zu einer Interferenz entlang des Ausbreitungsweges zwischen dem innerhalb der Grenze des Messobjekts reflektierten Licht und dem von außerhalb des Messobjekts reflektierten Licht. In einem anderen Beispiel entstehen Geisterbilder aufgrund von Interferenz zwischen geradzahligem Reflexionen von Oberflächen von optischen Elementen. In

einem anderen Beispiel sind Messdaten durch Streueffekte von optischer Oberflächenrauheit und Beschichtungen, partikulären Verunreinigungen, Behandlungen von schwarzen Oberflächen und anderen Lichtwechselwirkungen mit opto-mechanischen Strukturen kontaminiert.

**[0008]** Kontaminiertes Licht trägt nicht ausschließlich Informationen über die Messobjektbox. Jede vom SWE-System detektierte Menge an kontaminiertem Licht trägt zu Messfehlern bei. Die minimale Objektgröße, die innerhalb einer vorgegebenen Toleranzschwankung des Messfehlers der Dicke gemessen werden kann, wird oft als „Spotgröße“ (auch „Fleckgröße“ oder „Punktgröße“ genannt) bezeichnet. Die Messspotgröße ist eine Funktion des detektierten, kontaminierten Lichts. Je größer die Menge an detektiertem kontaminiertem Licht ist, desto größer wird die „Spotgröße“ für ein gegebenes Dickenfehlerkriterium gemessen. In einigen Beispielen müssen die Pegel des kontaminierten Lichts weniger als  $10^{-5}$  des detektierten Lichts sein, um die Messfehlerspezifikation für eine vernünftige Spotgröße zu erfüllen. Da die Anforderungen an die Spotgröße und die Messfehleranforderungen immer strenger werden, sind weitere Verringerungen des kontaminierten Lichts erforderlich.

**[0009]** Zukünftige Metrologieanwendungen stellen aufgrund kleiner Merkmalsgröße und Multiparameterkorrelation Herausforderungen dar. Verbesserungen an SWE-Systemen sind erwünscht.

#### Kurze Beschreibung der Erfindung

**[0010]** Verfahren und Systeme zum Durchführen von Einzelwellenlängen-Ellipsometrie (SWE) - Messungen mit verringerter Messspotgröße werden hierin vorgestellt.

**[0011]** Gemäß einem Aspekt ist eine Pupillenblende an oder nahe einer Pupillenebene in dem optischen Sammelweg angeordnet, um die Empfindlichkeit gegenüber Beugungseffekten am Rand des Objekts zu reduzieren. In einigen Ausführungsformen ist eine rundförmige Apertur in dem Strahl von gesammeltem Licht (Sammellichtstrahl) an oder nahe der Pupillenebene der Sammeloptik eines SWE-Systems angeordnet. In einer bevorzugten Ausführungsform befindet sich die Pupillenblende 120 in der Pupillenebene der Sammeloptik an einer Stelle, an der die räumliche Trennung der gewünschten Messsignale von kontaminierten Signalen maximal ist.

**[0012]** Gemäß einem anderen Aspekt ist eine Feldblende an oder nahe einer Bildebene angeordnet, die mit der Waferenebene in dem optischen Sammelweg konjugiert ist, um die Empfindlichkeit gegenüber unerwünschten optisch-strukturellen Wechselwirkungen zu verringern. In einigen Ausführungsformen

ist eine rechteckig geformte Feldblende in dem optischen Sammelweg enthalten. In einer bevorzugten Ausführungsform ist die Feldblende in der Bildebene vor dem Analysator angeordnet.

**[0013]** Gemäß einem anderen Aspekt umfasst ein linearer Polarisator, der auf den Eingangsstrahl des SWE-Systems einwirkt, ein dünnes, auf Nanopartikeln basierendes Polarisatorelement. Das auf Nanopartikeln basierende Polarisatorelement verbessert die Qualität des Beleuchtungsstrahls und verringert den Astigmatismus auf der Waferenebene. Das dünne, auf Nanopartikeln basierende Polarisatorelement ist im Beleuchtungsweg nach der Beleuchtungsquelle angeordnet, jedoch vor dem elliptischen Polarisator des SWE-Systems.

**[0014]** Gemäß einem weiteren Aspekt werden die Abmessungen der Aperturen der Feldblende, der Pupillenblende oder beider justiert, um die Messempfindlichkeit für strukturspezifische Merkmale, wie beispielsweise die Filmdicke, zu erhöhen, indem die Lichtübertragung begrenzt wird. Durch Begrenzen der Lichtübertragung wird Licht, das außerhalb des Messobjekts auf der Waferenebene entsteht, Licht, das mit Interferenz durch die Wechselwirkung zwischen innerhalb des Messobjekts erzeugtem Licht und außerhalb des Messobjekts erzeugtem Licht assoziiert ist, und in den gesammelten Strahl reflektiertes Streulicht absorbiert oder auf andere Weise vom Detektor weggeleitet werden. Im Ergebnis wird dadurch die Messspotgröße reduziert und die Anpassung zwischen einem Werkzeug und einem anderen Werkzeug für kleine Messobjekte wird erheblich verbessert.

**[0015]** Das Vorangegangene ist eine Zusammenfassung und enthält somit notwendigerweise Vereinfachungen, Verallgemeinerungen und Auslassungen von Details; folglich wird der Fachmann erkennen, dass die Zusammenfassung nur veranschaulichend und in keiner Weise einschränkend ist. Andere Aspekte, erfinderische Merkmale und Vorteile der hierin beschriebenen Vorrichtungen und/oder Verfahren werden in der hier nicht beschränkenden detaillierten Beschreibung ersichtlich.

#### Kurze Beschreibung der Zeichnungen

**Fig. 1** zeigt ein beispielhaftes SWE-System 100 mit verringerter Messspotgröße.

**Fig. 2** zeigt ein Diagramm, das eine Simulation der Bestrahlungsstärke an der Waferenebene in und um ein beleuchtetes Messobjekt veranschaulicht.

**Fig. 3** zeigt ein Diagramm 160, das eine Simulation der Bestrahlungsstärkeverteilung des gesammelten Strahls an einer Sammelpupillen-

ebene aufgrund von Licht darstellt, das aus dem Inneren des Messobjekts stammt.

**Fig. 4** zeigt ein Diagramm 165, das eine Simulation der Bestrahlungsstärkeverteilung des gesammelten Strahls an einer Sammelpupillenebene aufgrund von Licht darstellt, das von außerhalb des Messobjekts stammt.

**Fig. 5** zeigt ein Diagramm 170, das eine Simulation der Bestrahlungsstärkeverteilung des gesammelten Strahls an einer Sammelbildenebene aufgrund von Licht darstellt, das aus dem Inneren des Messobjekts stammt.

**Fig. 6** zeigt ein Diagramm 175, das eine Simulation der Bestrahlungsstärkeverteilung des gesammelten Strahls an einer Sammelbildenebene aufgrund von Licht darstellt, das von außerhalb des Messobjekts stammt.

**Fig. 7** zeigt ein Diagramm 180, das eine Simulation der Bestrahlungsstärkeverteilung des gesammelten Strahls an einer Sammelbildenebene darstellt aufgrund von Interferenz zwischen Licht, das von innerhalb des Messobjekts stammt, und Licht, das von außerhalb des Messobjekts stammt.

**Fig. 8** zeigt ein Diagramm 185, das eine Messung der Bestrahlungsstärkeverteilung an einer konjugierten Ebene bezüglich des Sammelobjektivs vor dem Filtern darstellt.

**Fig. 9** zeigt ein Diagramm 190, das eine Messung der Bestrahlungsstärkeverteilung an einer konjugierten Ebene bezüglich des Sammelobjektivs nach dem Filtern darstellt.

**Fig. 10** zeigt ein Diagramm 191, das Messspotgrößen darstellt, die mit verschiedenen Abständen des Offsets der Brennebene für ein herkömmliches SWE-System erhalten wurden.

**Fig. 11** zeigt ein Diagramm 194, das Messspotgrößen darstellt, die mit verschiedenen Abständen des Offsets der Brennebene für ein SWE-System erhalten wurden, das einen auf Nanopartikeln basierenden Eingangsstrahl-Polarisator umfasst.

**Fig. 12** zeigt ein Diagramm 197, das die SWE-Messergebnisse eines Messobjekts mit einer rechteckigen, wohlgeformten Struktur darstellt.

**Fig. 13** zeigt eine Ausführungsform einer Feldblende, die vier bewegbare absorbierende Platten umfasst, die so konfiguriert sind, dass sie sich relativ zueinander bewegen, um eine rechteckig geformte Apertur einer gewünschten Abmessung und Position zu erhalten.

**Fig. 14** veranschaulicht ein Verfahren 200 zum Durchführen von SWE-Messungen gemäß mindestens einem neuen Aspekt.

## Detaillierte Beschreibung

**[0016]** Es wird nun im Detail auf Hintergrundbeispiele und einige Ausführungsformen der Erfindung Bezug genommen, von denen Beispiele in den begleitenden Zeichnungen veranschaulicht sind.

**[0017]** Verfahren und Systeme zum Durchführen von Einzelwellenlängen-Ellipsometrie- (SWE) - Messungen mit verringerter Messspotgröße werden hierin vorgestellt. Eine Verringerung der Messspotgröße wird erreicht, indem 1) eine Pupillenblende in den optischen Sammelweg an einem Ort in der Nähe einer Pupillenebene des SWE-Systems vorgesehen ist; 2) eine Feldblende vorgesehen ist, die in dem optischen Sammelweg an einer Stelle nahe einer Bildebene angeordnet ist, die mit der Waferebene des SWE-Systems konjugiert ist; 3) ein Linearpolarisator vorgesehen ist, der ein dünnes polarisierendes Element auf Nanopartikelbasis mit hoher Extinktionsrate umfasst, das im Beleuchtungsweg zwischen der Beleuchtungsquelle und dem Wafer des SWE-Systems angeordnet ist; oder eine beliebige Kombination davon. Die Verringerung der Messspotgröße ermöglicht genauere Dünnschichtmessungen und eine verbesserte Anpassung zwischen einem Werkzeug und einem anderen Werkzeug. In einigen Beispielen wird eine Anpassungsspezifikation zwischen einem Werkzeug und einem anderen Werkzeug in Höhe von 0,02 Angström für eine Dünnschichtmessung mit Messspotgrößen im Bereich von 400 Mikrometer bis 40 Mikrometer erreicht.

**[0018]** Ein Einzelwellenlängen-Ellipsometer führt Dünnschichtmessungen mit verbesserter Strahlqualität und reduzierter Empfindlichkeit bezüglich Beugungseffekten an Objektkanten/-rändern und unerwünschten optisch-strukturellen Wechselwirkungen durch. Das SWE-System ist so konfiguriert, dass es eine Apertur in der Nähe der Sammelpupillenebene, eine Apertur in der Nähe der zur Waferebene konjugierten Bildebene und/oder einen linearen Polarisator mit einem dünnen Polarisatorelement auf Nanopartikelbasis umfasst. Jedes Element wird ausgewählt, um die Messempfindlichkeit für die interessierenden Parameter, die Messgenauigkeit und die Systemanpassung zu optimieren. Das auf Nanopartikeln basierende Polarisatorelement verbessert die Qualität des Beleuchtungsstrahls und verringert den Astigmatismus auf der Waferebene. Die Pupillen- und Feldblenden sorgen für eine Verdunkelung und absorbieren wirksam unerwünschtes gesammeltes Licht, das von außerhalb des Messobjekts gebeugt oder reflektiert wird, bevor es den Detektor erreicht. Als ein Ergebnis wird die Dünnschicht-Messgenauigkeit für kleine Messobjekte (beispielsweise  $40\ \mu\text{m} \times 40\ \mu\text{m}$  Objekte) stark verbessert.

**[0019]** **Fig. 1** zeigt ein beispielhaftes SWE-System 100 mit verringerter Messspotgröße. Das SWE-Sys-

tem 100 umfasst eine Beleuchtungsquelle 110, die einen auf einen Wafer 115 auftreffenden Beleuchtungslichtstrahl 114 erzeugt. Der Beleuchtungslichtstrahl 114 durchläuft einen Linearpolarisator, der ein dünnes, auf Nanopartikeln basierendes Eingangsstrahl-Polarisatorelement 111 mit einer hohen Extinktionsrate umfasst, eine Beleuchtungsoptik 112 und ein elliptisches Polarisatorelement 113 (beispielsweise ein Viertelwellenplattenkompensator, Phasenverzögerer usw.), wenn sich der Strahl von der Beleuchtungsquelle 110 zum Wafer 115 hin ausbreitet. Die Elemente zwischen der Beleuchtungsquelle 110 und dem Wafer 115 sind Teil eines Subsystems einer Beleuchtungsoptik. Der Strahl 114 beleuchtet einen Teil des Wafers 115, auf dem sich ein Messspot 116 befindet. Ein Strahl gesammelten Lichts 117 wird vom Messspot 116 gesammelt. Das gesammelte Licht 117 durchläuft einen Kompensator 118 (beispielsweise einen Viertelwellenplattenkompensator, Phasenverzögerer usw.), eine Sammeloptik 119 mit einer Sammel-Pupillenblende 120, eine Sammelfeldblende 121 und ein Analysatorelement 122. Der Strahl gesammelten Lichts 117 trifft auf die Oberfläche eines Detektors 123 auf. Die Elemente zwischen dem Wafer 115 und dem Detektor 123 sind Teil eines Subsystems einer Sammeloptik.

**[0020]** In einem Beispiel ist der Detektor 123 ein photovoltaischer Detektor. Im Allgemeinen können jedoch auch andere Detektortechnologien in Betracht gezogen werden (beispielsweise ein positionsempfindlicher Detektor (im Englischen „position sensitive detector“, abgekürzt mit „PSD“), ein Infrarotdetektor, eine ladungsgekoppelte Vorrichtung (im Englischen „charge coupled device“, abgekürzt mit „CCD“) usw.). Der Detektor 123 wandelt das gesammelte Licht in elektrische Signale 125 um, die die Intensität des gesammelten Lichts anzeigen. Von dem Messspot 116 gesammeltes Licht wird über den erfassten Spot 124 auf den Detektor 123 projiziert. In diesem Sinne umfasst der Messspot 116 Stellen auf dem Wafer, die den Teil des gesammelten Lichts erzeugen, der schließlich auf die Oberfläche des Detektors 123 projiziert wird.

**[0021]** Ein Rechnersystem 130 empfängt gemessene Signale 125 und führt basierend auf den gemessenen Signalen 125 modellbasierte Messungen von interessierenden Parametern des Messobjekts durch.

**[0022]** Wie in Fig. 1 gezeigt, trifft der Beleuchtungslichtstrahl 114 auf die Oberfläche des Wafers 115 unter einem schrägen Winkel. Im Allgemeinen kann Beleuchtungslicht an der Oberfläche des Wafers 115 unter einem beliebigen schrägen Winkel oder einer beliebigen Anzahl von schrägen Winkeln bereitgestellt werden.

**[0023]** Der Beleuchtungslichtstrahl 114 ist ein schmalbandiges Beleuchtungslicht. In einem Beispiel hat das schmalbandige Beleuchtungslicht eine Zentralwellenlänge von ungefähr 632,8 Nanometer mit einem extrem schmalen Band (beispielsweise im Sub-Nanometer-Wellenlängenbereich). In einigen Beispielen wird das Emissionsspektrum der schmalbandigen Lichtquelle durch einen Laser (beispielsweise einen Helium-Neon-Laser) erzeugt. Im Allgemeinen kann jedoch jede geeignete schmalbandige Beleuchtungsquelle innerhalb des Umfangs dieses Patentdokuments in Betracht gezogen werden.

**[0024]** Wie in Fig. 1 gezeigt, ist die Z-Achse senkrecht zu der Oberfläche des Wafers 115 ausgerichtet. Die X- und Y-Achsen sind koplanar mit der Oberfläche des Wafers 115 und somit senkrecht zu der Z-Achse. Der Hauptstrahl 126 des Beleuchtungslichtstrahls 114 und der Hauptstrahl 127 des Strahls des gesammelten Lichts 117 definieren eine Einfallsebene, die senkrecht zu der XY-Ebene ist. Der Beleuchtungslichtstrahl 114 trifft auf die Oberfläche des Wafers 115 mit einem Einfallswinkel AOI bezüglich der Z-Achse auf und liegt innerhalb der Einfallsebene X'Z. Die Einfallsebene ist in Bezug auf einen Koordinatenrahmen XY orientiert, der fest zum Wafer 116 unter einem Azimutwinkel Az orientiert ist.

**[0025]** Die geometrische Projektion eines Beleuchtungslichtstrahls auf die Oberfläche einer Probe unter einem schrägen Winkel führt zu einer Verlängerung des Beleuchtungsstrahlquerschnitts in der Richtung, die mit der Einfallsebene ausgerichtet ist. Als nicht einschränkendes Beispiel führt ein kreisförmiger Strahl von Beleuchtungslicht (Beleuchtungslichtstrahl), der auf die Waferoberfläche projiziert wird, zu einem Beleuchtungsbereich, der eine elliptische Form aufweist. Im Allgemeinen führt eine schräge Beleuchtung einer Oberfläche somit zu einer projizierten Beleuchtungsfläche, die relativ zu dem Beleuchtungsquerschnitt verlängert ist, und die Richtung der Verlängerung ist mit der Einfallsebene ausgerichtet. Darüber hinaus nimmt die Größe der Verlängerung mit zunehmendem Einfallswinkel zu. Genauer gesagt, ist die Strahlform umgekehrt proportional zum Kosinus des Einfallswinkels in der Richtung der Einfallsebene in Abwesenheit von Beugungs- und Aberrationseffekten.

**[0026]** Fig. 2 zeigt ein Diagramm, das eine Simulation der Bestrahlungsstärke an der Waferebene, die um die Mitte eines auf dem Wafer 115 angeordneten Messobjekts 128 zentriert ist. Der eintreffende Strahl (beispielsweise ein Strahl mit einem Gauß-Strahlprofil) beleuchtet sowohl das Messobjekt als auch das Messobjekt umgebenden Bereiche. Die Grenzen des Messobjekts 128 (beispielsweise ein Dünnschicht-Pad) sind dargestellt. Die Bestrahlungsstärke, die innerhalb der Grenzen des Messobjekts 128 existiert, ist mit  $I_{in}$  bezeichnet. Die Bestrahlungsstärke,

die außerhalb der Grenzen des Messobjekts 128 existiert, ist mit  $I_{out}$  bezeichnet. Wie in **Fig. 2** gezeigt, hat das Messobjekt eine quadratische Form mit Abmessungen von  $40 \mu\text{m}$  mal  $40 \mu\text{m}$ .

**[0027]** Ähnlich zu coronographischen Messungen in astronomischen Anwendungen wird das Beleuchtungslicht um die Kanten des Objekts herum gebeugt. In einigen Beispielen erzeugt die Beugung von Beleuchtungslicht an der Objektkante einen unerwünschten Halo in dem projizierten Bild. Die exakte physikalische Realisierung des Halo-Effekts hängt von der projizierten Form und Größe des Objekts ab. Dieses gebeugte Licht interferiert jedoch mit Licht, das aus dem Inneren des Messobjektbereichs stammt, und verursacht somit Fehler bei der Messung der Dicke.

**[0028]** Gemäß einem Aspekt ist eine rundförmige Apertur in dem Sammellichtstrahl in der Nähe der Pupillenebene der Sammeloptik des SWE-Systems 100 angeordnet. In der in **Fig. 1** dargestellten Ausführungsform umfasst die Sammeloptik 119 eine Pupillenblende 120, die in das Sammelobjektiv integriert ist. In der dargestellten Ausführungsform umfasst die Pupillenblende 120 eine nicht-transparente Struktur mit einer runden Apertur, durch die Licht frei hindurchtreten kann.

**[0029]** In einer bevorzugten Ausführungsform befindet sich die Pupillenblende 120 in der Pupillenebene der Sammeloptik. An dieser Stelle gibt es eine maximale Trennung zwischen Licht, das von innerhalb des Messobjekts stammt, und Licht, das von außerhalb des Messobjekts stammt. An dieser Stelle blockiert die Pupillenblende 120 am stärksten unerwünschtes Licht. Außerdem hat der gesammelte Lichtstrahl an dieser Stelle eine maximale Ausdehnung.

**[0030]** Die gesamte Bestrahlungsstärke  $I(r)$  an jeder Ebene entlang der optischen Achse des gesammelten Lichts (das heißt optische z-Achse) kann durch Gleichung (1) ausgedrückt werden:

$$I(r) = I_{in} + I_{out} + I_{int} \quad (1)$$

wobei  $I_{in}$  die Bestrahlungsstärke ist, die von Licht innerhalb des Messobjekts herrührt,  $I_{out}$  die Bestrahlungsstärke ist, die von Licht außerhalb des Messobjekts herrührt, und  $I_{int}$  ist die Bestrahlungsstärke, die von der Interferenz zwischen Licht innerhalb des Messobjekts und Licht außerhalb des Messobjekts herrührt, wie durch Gleichung (2) ausgedrückt wird:

$$I_{int} = 2\sqrt{I_{in} I_{out}} |\hat{a}_{in} \cdot \hat{a}_{out}| \cos(k_{\Delta} \cdot r + \varphi_{\Delta} + \varphi_p) \quad (2)$$

wobei  $\hat{a} = a_x \hat{x} + a_y \hat{y} + a_z \hat{z}$  der Polarisationsvektor jeder Welle mit  $|\hat{a}| = 1$  ist, und  $\varphi_{\Delta}$  ist die Phasendifferenz zwischen den Komponenten und  $\varphi_p = \arg(\hat{a}_{in})$

$\hat{a}_{out}$ ). Unter der Annahme des Worst-Case-Szenarios werden die Polarisationsvektoren, die mit Licht innerhalb des Messobjekts assoziiert sind, und die Polarisationsvektoren, die mit Licht außerhalb des Messobjekts assoziiert sind, gleich eingestellt:  $\hat{a}_{in} = \hat{a}_{out}$ .

**[0031]** Gleichung (3) drückt eine Signal-zu-Kontaminations-Metrik (SCR) aus, die ein Verhältnis von gewünschten Signalen (das heißt Signalen, die von innerhalb des Messobjektbereichs stammen) zu Kontaminationssignalen (beispielsweise Signalen, die von außerhalb des Messobjektbereichs stammen und Interferenzsignale) definiert als eine Funktion des Ortes entlang der optischen Achse des gesammelten Lichts (das heißt der optischen z-Achse).

$$SCR(z) = \frac{I_{in}}{I_{out} + I_{int}} \quad (3)$$

**[0032]** Es wird eine Suche durchgeführt, um den Ort des höchsten Werts des SCR entlang des optischen Weges zu identifizieren. In einigen Ausführungsformen ist der Ort des höchsten SCR-Werts dort lokalisiert, wo eine maximale Trennung zwischen gewünschten Signalen und Kontaminationssignalen vorliegt, wo eine physikalische Verdunkelungsvorrichtung, beispielsweise eine Apertur, Kontaminationssignale mit minimaler Blockierung erwünschter Signale am wirksamsten blockiert. In einem Beispiel ist nur eine Interferenz als eine Quelle einer unerwünschten Signalkontamination enthalten. Gemäß Babinets Prinzip wird das gebeugte Feld von der Apertur in Segmente zerlegt und für Modellierungszwecke separat weiter gegeben.

**[0033]** **Fig. 3** zeigt ein Diagramm 160, das eine Simulation der Bestrahlungsstärkeverteilung des gesammelten Strahls an der Sammelpupillenebene aufgrund von Licht darstellt, das aus dem Inneren des Messobjekts stammt.

**[0034]** **Fig. 4** zeigt ein Diagramm 165, das eine Simulation der Bestrahlungsstärkeverteilung des gesammelten Strahls an der Sammelpupillenebene aufgrund von Licht darstellt, das von außerhalb des Messobjekts stammt.

**[0035]** Die in **Fig. 3** dargestellten Signale sind wünschenswert und sollten erfasst werden, wohingegen die in **Fig. 4** dargestellten Signale unerwünscht sind und vor der Erkennung entfernt werden sollten.

**[0036]** Das Licht, das von dem Messobjekt 128 gebeugt wird, wie es in der Pupillenebene abgebildet wird, wird umverteilt und nahe den Kanten der Pupille konzentriert, wie in **Fig. 3** dargestellt. Somit wird an dieser Stelle ein hoher SCR erhalten. Die unerwünschten Signale, die an der Peripherie des Strahls konzentriert sind, werden durch eine Pupillenblende mit einer relativ großen Öffnung (beispielsweise in

der Größenordnung von Millimetern) entfernt. Die Bestrahlungsstärkeverteilung der Sammellichtquelle ist am stärksten räumlich in der Waferebene konzentriert. Daher sind Beugungseffekte an Kanten bzw. Rändern bei relativ kleinen Messobjekten am auffälligsten. Daher ist die Verwendung einer Pupillenblende zur Milderung dieser Effekte am effektivsten für relativ kleine Messobjekte.

**[0037]** Fig. 5 zeigt ein Diagramm 170, das eine Simulation der Bestrahlungsstärkeverteilung des gesammelten Strahls an der Sammelbildebene aufgrund von Licht darstellt, das aus dem Inneren des Messobjekts stammt.

**[0038]** Fig. 6 zeigt ein Diagramm 175, das eine Simulation der Bestrahlungsstärkeverteilung des gesammelten Strahls an der Sammelbildebene aufgrund von Licht veranschaulicht, das von außerhalb des Messobjekts stammt.

**[0039]** Fig. 7 zeigt ein Diagramm 180, das eine Simulation der Bestrahlungsstärkeverteilung des gesammelten Strahls an der Sammelbildebene aufgrund von Interferenz zwischen Licht, das aus dem Inneren des Messobjekts kommt, und Licht, das von außerhalb des Messobjekts stammt, darstellt.

**[0040]** Fig. 5 zeigt ein Bild des gewünschten Lichts, das detektiert werden sollte. Wie in Fig. 6 und 7 gezeigt, ist jedoch unerwünschtes Licht aufgrund von Kantenbeugung und Interferenz auf einfache Weise an der Bildebene der Sammeloptik nicht räumlich von dem gewünschten Licht getrennt. Somit wird an dieser Stelle ein niedriger SCR erhalten. Aus diesem Grund ist eine Apertur, die an der Bildebene angeordnet ist, nicht wirksam beim Blockieren unerwünschter Lichtsignale, die durch Beugung an den Kanten eines Messobjekts induziert werden.

**[0041]** Gemäß einem anderen Aspekt ist eine rechteckig geformte Feldblende in dem optischen Sammelweg in der Nähe einer Bildebene der Sammeloptik eines SWE-Systems enthalten. In der in Fig. 1 dargestellten Ausführungsform befindet sich die Feldblende 121 in der Bildebene vor dem Analysator 122. In der dargestellten Ausführungsform umfasst die Feldblende 121 eine nicht transparente Platte mit einer rechteckförmigen Apertur, durch die Licht frei hindurchtreten kann.

**[0042]** Eine Feldblende, die in dem optischen Sammelweg bei einem Zwischenbild angeordnet ist, verhindert, dass Licht von außerhalb des Sichtfelds den Detektor erreicht. In einem Beispiel entfernt die Feldblende Streulicht, das aus Wechselwirkungen zwischen dem Sammellichtstrahl und optomechanischen Elementen in dem Strahlengang entsteht. Diese Wechselwirkungen manifestieren sich typi-

scherweise als ein Ring mit relativ großem Radius um den Sammellichtstrahl herum. Diese besondere Manifestation ist auf die symmetrischen zylindrischen Gehäuse der optischen Elemente im Strahlengang zurückzuführen.

**[0043]** Streulicht, das aus Wechselwirkungen zwischen dem Sammellichtstrahl und optomechanischen Elementen in dem Strahlengang entsteht, ist insbesondere bei der Messung von größeren Objekten vorherrschend. In einem Beispiel wird eine Projektion des Bildes des Objekts auf eine Bildebene des Sammelobjektivs basierend auf der Größe des Messobjekts bestimmt. Die Größe der Apertur der Feldblende wird basierend auf der Vergrößerung des Sammelobjektivs berechnet.

**[0044]** Fig. 8 zeigt ein Diagramm 185, das eine Messung eines Beleuchtungsstrahls an einer konjugierten Ebene bezüglich des Sammelobjektivs ohne Filterung darstellt. Wie in Fig. 8 gezeigt, erscheint Streulicht in dem Bild als ein Ring 128 um den Lichtstrahl herum.

**[0045]** Fig. 9 zeigt ein Diagramm 190, das eine Messung eines Beleuchtungsstrahls an einer konjugierten Ebene bezüglich des Sammelobjektivs für den Fall veranschaulicht, in dem eine Feldblende geeigneter Größe in dem optischen Sammelweg, wie hierin beschrieben, angeordnet ist. Wie in Fig. 9 gezeigt, filtert die Feldblende das unerwünschte Licht heraus, das von außerhalb des Messobjekts reflektiert wird.

**[0046]** Gemäß einem anderen Aspekt umfasst ein linearer Polarisator, der in dem Beleuchtungsweg eines SWE-Systems zwischen der Beleuchtungsquelle und einem beliebigen elliptischen Polarisatorelement angeordnet ist, ein dünnes Polarisatorelement auf Nanopartikelbasis mit hoher Extinktionsrate. In der in Fig. 1 gezeigten Ausführungsform ist ein dünnes, auf Nanopartikeln basierendes Polarisatorelement 111 im Beleuchtungsweg nach der Beleuchtungsquelle 110, jedoch vor dem elliptischen Polarisator 113 angeordnet. Daher wird das Polarisatorelement 111 manchmal als Eingangsstrahl-Polarisator zum Konditionieren des Eingangsstrahls bezeichnet, wohingegen der elliptische Polarisator dazu verwendet wird, um dem Beleuchtungsstrahl eine Referenzpolarisation zu Messzwecken aufzuprägen. In der in Fig. 1 gezeigten Ausführungsform absorbiert das dünne, auf Nanopartikeln basierende Polarisatorelement 111 Licht, das senkrecht zur Transmissionsachse polarisiert ist. Die Polarisation wird in dem dünnen, auf Nanopartikeln basierenden Polarisatorelement 111 durch kugelförmige Ellipsoid-Nanopartikel erzeugt, die in Natriumsilikatglas eingebettet sind. Beispielhafte dünne Polarisatoren auf Nanopartikelbasis

sind von Thorlabs, Inc., Newton, New Jersey (USA) erhältlich.

**[0047]** Dünne Polarisatoren auf Nanopartikelbasis ergeben eine ähnliche Extinktionsrate wie ein herkömmlicher Glan-Thompson (GT) -Polarisator und eine signifikant höhere Schwelle gegen Beschädigung im Vergleich zu herkömmlichen Komponenten auf Polymerbasis. In einigen Ausführungsformen ist das dünne Polarisatorelement 111 auf Nanopartikelbasis ungefähr 200 Mikrometer dick, während ein vergleichbarer GT-Polarisator ungefähr 10 Millimeter dick ist. Der dünne Polarisator sorgt für eine bessere Aberrationssteuerung, und der Brechungsindex des dünnen Polarisators auf Nanopartikelbasis hängt nicht vom Einfallswinkel ab. Dies führt zu einer signifikanten Verringerung des Astigmatismus in dem optischen System und somit zu einer verminderten Spotgrößenfähigkeit. Im Gegensatz dazu trennt eine herkömmliche GT-Polarisator-Konfiguration Strahlpolarisationen durch Brechung, aber der außerordentliche Brechungsindex des Strahls ist winkelabhängig, während der ordentliche Brechungsindex konstant ist. Dies führt zu Aberrationen und einer Verringerung der Strahlqualität.

**[0048]** Fig. 10 zeigt ein Diagramm 191, das Messspotgrößen darstellt, die mit verschiedenen Abständen des Offsets der Brennebene für ein herkömmliches SWE-System erhalten wurden. Die Kurve 192 veranschaulicht die Messspotgröße an der Wafer-Ebene in der X'-Richtung, die in Fig. 1 für verschiedene Abstände des Offsets der Brennebene dargestellt ist. Die Kurve 193 veranschaulicht die Messspotgröße an der Wafer-Ebene in der Y'-Richtung, die in Fig. 1 für verschiedene Abstände des Offsets der Brennebene dargestellt ist. Das Diagramm 191 wird basierend auf experimentellen Daten erzeugt, die von einem SWE-System gesammelt wurden, das einen herkömmlichen GT-Polarisator verwendet. Aufgrund von Astigmatismuseffekten erreichen die minimalen Spotgrößen, die in der X'-Richtung und der Y'-Richtung gemessen werden, ihre minimalen Größen bei verschiedenen Abständen des Offsets der Brennebene. Daher ist es nicht möglich, einen Abstand des Offsets der Brennebene auszuwählen, der die Größe des Messspots in beiden Richtungen minimiert.

**[0049]** Fig. 11 zeigt ein Diagramm 194, das Messspotgrößen darstellt, die mit unterschiedlichen Abständen des Offsets der Brennebene für ein SWE-System erhalten wurden, das einen Nanopartikel-basierten Eingangsstrahl-Polarisator umfasst, wie beispielsweise das SWE-System 100. Die Kurve 195 veranschaulicht die Messspotgröße an der Wafer-Ebene in der X'-Richtung, die in Fig. 1 für verschiedene Abstände des Offsets der Brennebene dargestellt ist. Die Kurve 196 zeigt die Messspotgröße an der Wafer-Ebene in der Y'-Richtung, die in

Fig. 1 für verschiedene Abstände des Offsets der Brennebene dargestellt ist. In diesem Szenario erreichen die minimalen Spotgrößen, die in der X'-Richtung und der Y'-Richtung gemessen werden, ihre minimalen Größen bei nahezu demselben Abstand des Offsets der Brennebene (das heißt Abstand des Offsets der Brennebene von ungefähr 15 Mikrometern, wie in Fig. 11 gezeigt). Somit ist es möglich, einen Abstand des Offsets der Brennebene auszuwählen, der die Größe des Messspots in beiden Richtungen minimiert.

**[0050]** Beispielhaft veranschaulicht Fig. 12 Verbesserungen (das heißt eine Verringerung) der effektiven Messspotgröße durch Anwenden von Feld- und Pupillenblenden, wie hierin beschrieben. Fig. 12 zeigt ein Diagramm 197, das die SWE-Messergebnisse eines Messobjekts mit einer rechteckigen, wohlgeformten Struktur darstellt. Der Beleuchtungspot wurde über dem Objekt gescannt. In dem gegebenen Beispiel wurde eine Filmdicke, die das Objekt charakterisiert, gemessen, indem ein Filmdickenparameter identifiziert wurde, der die beste Anpassung an gemessene SWE-Signale ergab. Es wird erwartet, dass die Variation der Filmdicke innerhalb eines vorgeschriebenen Bereichs bleibt, während der Beleuchtungsstrahl innerhalb der wohlgeformten Struktur verbleibt. Daher wird angenommen, dass eine unerwünschte Wechselwirkung des Beleuchtungsstrahls mit den Kanten des Objektbereichs auftritt, wenn sich die Messergebnisse außerhalb dieses Bereichs bewegen.

**[0051]** Die Kurve 198 zeigt Messungen, die mit einem herkömmlichen SWE-System durchgeführt wurden, das keine Pupillenblende, keine Feldblende und keinen dünnen Nanopartikel-basierten Eingangsstrahl-Polarisator, wie hierin beschrieben, umfasst. In dem dargestellten Beispiel ist die Messung über eine lineare Abtastung von ungefähr 20 Mikrometern stabil (das heißt, wenn die Mitte des Messstrahls zwischen 30 Mikrometern und 50 Mikrometern abgetastet wird). Jenseits dieses begrenzten Bereichs beginnt der Strahl mit den Kanten des wohlgeformten Objekts zu interagieren und die gemessene Dicke beginnt anzusteigen.

**[0052]** Die Kurve 199 zeigt Messungen, die mit einem SWE-System durchgeführt wurden, das die Pupillenblende, die Feldblende und den dünnen Eingangsstrahl-Polarisator auf Nanopartikelbasis, wie hierin beschrieben, umfasst. In dem veranschaulichten Beispiel ist die Messung über eine lineare Abtastung von ungefähr 40 Mikrometern stabil (das heißt, wenn die Mitte des Messstrahls zwischen 20 Mikrometern und 60 Mikrometern abgetastet wird). Jenseits dieses Bereichs beginnt der Strahl mit den Kanten des wohlgeformten Objekts zu interagieren und die gemessene Dicke beginnt anzusteigen. Beachten Sie, dass die effektive Messspotgröße für das

SWE-System mit Pupillenblende, Feldblende und dünnem, auf Nanopartikeln basierendem Eingangsstrahl-Polarisator kleiner ist, da der Bereich des linearen Scans deutlich größer ist, bevor Kanten-/Randeffekte die Messung beeinflussen.

**[0053]** Messungen durch ein SWE-System, das die Pupillenblende, die Feldblende und den dünnen, auf Nanopartikeln basierenden Eingangsstrahl-Polarisator wie hierin beschrieben umfasst, zeigen eine Anpassung zwischen einem Werkzeug und einem anderen Werkzeug (im Englischen „tool-to-tool matching“) von Filmdickenmessungen bis hinunter zu 0,02 Angström für eine  $40\ \mu\text{m} \times 40\ \mu\text{m}$  großes Messobjekt. Ähnliche Messungen, die an einem SWE-System durchgeführt wurden, das die Pupillenblende, die Feldblende und den dünnen Nanopartikel-basierten Eingangsstrahl-Polarisator, wie hierin beschrieben, nicht umfasst, zeigen eine Anpassung zwischen einem Werkzeug und einem anderen Werkzeug von Filmdickenmessungen von mehr als 0,2 für dasselbe  $40\ \mu\text{m} \times 40\ \mu\text{m}$  große Messobjekt.

**[0054]** In einigen Ausführungsformen ist das SWE-System 100 als ein diskreter Messpolarisator und ein rotierendes Kompensatorsystem konfiguriert. In diesen Ausführungsformen werden Messungen bei diskreten Polarisatorwinkeln mit einem kontinuierlich rotierenden Kompensator (beispielsweise der in **Fig. 1** gezeigte Kompensator 118) für einen oder mehrere Azimutwinkel und Einfallswinkel durchgeführt. In einigen Ausführungsformen umfasst der Polarisator 113 ein drehbares Polarisatorelement, und das Rechnersystem 130 übermittelt ein Befehlssignal 141, das dem Polarisator 113 einen gewünschten Polarisationszustand anzeigt. Als Reaktion dreht sich der Polarisator 113 und stoppt bei dem gewünschten Polarisationszustand. Auf diese Weise ist das SWE-System 100 so konfiguriert, dass es bei einem festen Polarisationswinkel stoppt.

**[0055]** In einigen Ausführungsformen ist das SWE-System 100 als ein rotierendes Polarisatorsystem konfiguriert. In diesen Ausführungsformen werden Messungen durchgeführt, während sich der Polarisationszustand für einen oder mehrere Azimutwinkel und Einfallswinkel kontinuierlich ändert. In einigen Ausführungsformen umfasst der Polarisator 113 ein drehbares Polarisatorelement, und das Computersystem 130 übermittelt ein Befehlssignal 141, das dem Polarisator 113 eine gewünschte Änderungsrate des Polarisationszustands anzeigt. Als Reaktion dreht sich der Polarisator 113 mit einer gewünschten Winkelgeschwindigkeit.

**[0056]** In einigen Ausführungsformen ist das SWE-System 100 als ein rotierender Polarisator und ein rotierendes Kompensatorsystem konfiguriert. In diesen Ausführungsformen werden Messungen mit einem kontinuierlich rotierenden Polarisator (bei-

spielsweise der in **Fig. 1** dargestellte Polarisator 113) und einem kontinuierlich rotierenden Kompensator (beispielsweise der in **Fig. 1** dargestellte Kompensator 118) für einen oder mehrere Azimutwinkel und Einfallswinkel durchgeführt. In einigen Ausführungsformen umfasst der Kompensator 118 ein drehbares Polarisatorelement, und das Computersystem 130 übermittelt ein Befehlssignal 145, das dem Kompensator 118 eine gewünschte Änderungsrate des Polarisationszustands anzeigt. Als Reaktion dreht sich der Kompensator 118 mit der gewünschten Winkelgeschwindigkeit.

**[0057]** Gemäß einem weiteren Aspekt umfasst das SWE-System 100 auch einen selektiven Analysatorwinkel. In ähnlicher Weise übermittelt das Computersystem 130 ein Befehlssignal 142, das dem selektiven Analysator 122 einen gewünschten Analysatorwinkel anzeigt.

**[0058]** Ungeachtet des Polarisationszustands ist das SWE-System 100 in einigen Ausführungsformen auch dazu konfiguriert, Bereiche des AOI und Az für die Messung auszuwählen.

**[0059]** In einigen Ausführungsformen wird die Feldblende 121 justiert, um die gewünschte Signalunterdrückung zu erreichen. Wie in **Fig. 1** gezeigt, kommuniziert das Computersystem 130 ein Befehlssignal 143, das der Feldblende 121 eine gewünschte Aperturgröße anzeigt. Als Reaktion darauf stellt sich die Feldblende 121 auf die gewünschte Aperturgröße ein. In einigen Ausführungsformen umfasst die Feldblende 121 aktive Elemente wie bewegliche Schlitze, Messerkanten, MEMS-basierte Spiegelemente usw., die konfiguriert sind, um die Aperturgröße einzustellen. **Fig. 13** zeigt eine Ausführungsform einer Feldblende 121 mit vier beweglichen, absorbierenden Platten 151 - 154, die so konfiguriert sind, dass sie sich relativ zueinander bewegen, um eine rechteckig geformte Apertur mit einer gewünschten Abmessung und Position zu erhalten.

**[0060]** In einigen Ausführungsformen wird die Pupillenblende 120 justiert, um die gewünschte Signal-sperrung zu erreichen. Wie in **Fig. 1** gezeigt, übermittelt das Computersystem 130 ein Befehlssignal 144, das eine gewünschte Aperturgröße der Pupillenblende 120 an die Pupillenblende 120 angibt. Als Reaktion darauf stellt sich die Pupillenblende 120 auf die gewünschte Aperturgröße ein. In diesen Ausführungsformen umfasst die Pupillenblende 120 aktive Elemente wie bewegliche Verschlusselemente, Messerkanten, MEMS-basierte Spiegelemente usw., die konfiguriert sind, um die Apertur der Pupillenblende 120 einzustellen.

**[0061]** In einigen Ausführungsformen wird der Azimutwinkel durch Drehen des Messobjekts in Bezug

auf die Einfallsebene des Metrologiesystems (Messsystems) ausgewählt. Beispielsweise kann das SWE-System 100 einen Drehtisch zum Tragen der Probe 115 umfassen. In diesen Ausführungsformen übermittelt das Computersystem 130 ein Befehlssignal an den Drehtisch, um die Probe 115 in Bezug auf das Optiksistem zu drehen (beispielsweise Drehung um die z-Achse in **Fig. 1**), um den gewünschten Azimutwinkel zu erreichen.

**[0062]** Gemäß einem weiteren Aspekt werden die Abmessungen der Aperturen der Feldblende, der Pupillenblende oder beider angepasst, um die Messempfindlichkeit zu erhöhen, um spezifische Merkmale, wie etwa die Filmdicke, durch Begrenzen der Lichtübertragung zu strukturieren. Durch Begrenzen der Lichtübertragung wird Licht, das mit Licht assoziiert ist, das von außerhalb des Messobjekts auf der Waferebene auftritt, Interferenzlicht, das durch die Wechselwirkung zwischen innerhalb des Messobjekts erzeugtem Licht und außerhalb des Messobjekts erzeugtem Licht erzeugt wird, und in den gesammelten Strahl reflektiertes Streulicht absorbiert oder auf andere Weise vom Detektor weggeleitet. Auf diese Weise werden Lichtstrahlen detektiert, die für Änderungen des interessierenden Parameters am empfindlichsten sind.

**[0063]** **Fig. 14** veranschaulicht ein Verfahren 200 zum Durchführen von SWE-Messungen gemäß mindestens einem neuen Aspekt. Das Verfahren 200 ist zur Implementierung durch ein Metrologiesystem, wie das in **Fig. 1** dargestellte SWE-System 100 gemäß der vorliegenden Erfindung, geeignet. Gemäß einem Aspekt wird erkannt, dass Datenverarbeitungsblöcke des Verfahrens 200 über einen vorprogrammierten Algorithmus ausgeführt werden können, wobei der vorprogrammierte Algorithmus von einem oder mehreren Prozessoren des Computersystems 130 oder einem beliebigen anderen Universalrechnersystem ausgeführt wird. Es ist hierin anerkannt, dass die speziellen strukturellen Aspekte des SWE-Systems 100 keine Beschränkungen darstellen und nur als veranschaulichend interpretiert werden sollten.

**[0064]** In Block 201 wird ein schmalbandiger Beleuchtungslichtstrahl durch eine Beleuchtungsquelle erzeugt.

**[0065]** In Block 202 wird der schmalbandige Beleuchtungslichtstrahl durch ein Subsystem einer Beleuchtungsoptik auf ein Messobjekt gerichtet, das auf einer Probe (beispielsweise einem Halbleiterwafer) angeordnet ist, die gerade gemessen wird.

**[0066]** In Block 203 wird der schmalbandige Beleuchtungslichtstrahl durch einen linearen Polarisator linear polarisiert. In einigen Ausführungsformen

ist der Linearpolarisator ein dünner Polarisator auf Nanopartikelbasis.

**[0067]** Nach linearer Polarisation wird in Block 204 der schmalbandige Beleuchtungslichtstrahl elliptisch polarisiert.

**[0068]** In Block 205 wird ein Sammellichtstrahl von dem Messobjekt gesammelt, das von dem schmalbandigen Beleuchtungslichtstrahl beleuchtet wird.

**[0069]** In Block 206 wird ein erster Teil des Strahls von gesammeltem Licht von dem Rest des Strahls von gesammeltem Licht an oder in der Nähe einer Pupillenebene eines Subsystems einer Sammeloptik entfernt, das zum Sammeln des Strahls von gesammeltem Licht von dem Messobjekt konfiguriert ist. In einigen Ausführungsformen wird der erste Teil des Strahls von gesammeltem Licht durch eine Apertur entfernt, die konfiguriert ist, um das entfernte Licht zu absorbieren oder umzuleiten.

**[0070]** In Block 207 wird ein zweiter Teil des Strahls von gesammeltem Licht von dem Rest des Strahls von gesammeltem Licht an oder nahe einer Bildebene des Subsystems einer Sammeloptik entfernt. In einigen Ausführungsformen wird der zweite Teil des Strahls von gesammeltem Licht durch eine Apertur entfernt, die konfiguriert ist, um das entfernte Licht zu absorbieren oder umzuleiten.

**[0071]** In Block 208 wird ein dritter Teil des Strahls von gesammeltem Licht auf einer Oberfläche eines Detektors detektiert, die für einfallendes Licht empfindlich ist.

**[0072]** In Block 209 wird eine Vielzahl von Ausgangssignalen, die den detektierten Teil des Strahls von gesammeltem Licht anzeigen, durch den Detektor erzeugt.

**[0073]** Im Allgemeinen sind die hierin beschriebenen Verfahren und Systeme zur Steuerung der Signalkontamination nicht auf die Anwendung in Ellipsometer-Systemen mit einer einzigen Wellenlänge beschränkt und können in jedem teilkohärenten Metrologiesystem, einschließlich spektroskopischer Ellipsometriesysteme usw., implementiert werden.

**[0074]** In einer weiteren Ausführungsform umfasst das System 100 ein oder mehrere Computersysteme 130, die verwendet werden, um Messungen von tatsächlichen Vorrichtungsstrukturen basierend auf Messdaten, die gemäß den hier beschriebenen Verfahren gesammelt wurden, durchzuführen. Das eine oder die mehreren Computersysteme 130 können kommunikativ mit einem Detektor (beispielsweise Detektor 123) gekoppelt sein. Gemäß einem Aspekt sind das eine oder die mehreren Computersysteme 130 konfiguriert, um Messdaten 125 zu empfangen,

die mit Messungen der Struktur der Probe 115 assoziiert sind.

**[0075]** Es sollte erkannt werden, dass ein oder mehrere Schritte, die in der vorliegenden Offenbarung beschrieben sind, durch ein einzelnes Computersystem 130 oder alternativ ein Mehrfachcomputersystem 130 ausgeführt werden können. Darüber hinaus können verschiedene Subsysteme des Systems 100, wie beispielsweise der Detektor 123, ein Computersystem umfassen, das zum Ausführen von mindestens einem Teil der hier beschriebenen Schritte geeignet ist. Daher sollte die vorstehende Beschreibung nicht als eine Beschränkung der vorliegenden Erfindung interpretiert werden, sondern lediglich als Veranschaulichung.

**[0076]** Außerdem kann das Computersystem 130 auf eine beliebige aus dem Stand der Technik bekannte Weise mit dem Detektor 123 kommunikativ gekoppelt sein. Beispielsweise können das eine oder die mehreren Computersysteme 130 mit Computersystemen verbunden sein, die dem Detektor 123 zugeordnet sind. In einem anderen Beispiel kann der Detektor 123 direkt durch ein einzelnes Computersystem gesteuert werden, das mit dem Computersystem 130 gekoppelt ist.

**[0077]** Das Computersystem 130 des SWE-Systems 100 kann konfiguriert sein, um Daten oder Informationen von den Subsystemen des Systems (beispielsweise Detektor 123 und dergleichen) durch ein Übertragungsmedium zu empfangen und/oder zu erfassen, wobei das Übertragungsmedium drahtgebundene und/oder drahtlose Teile umfassen kann. Auf diese Weise kann das Übertragungsmedium als eine Datenverbindung zwischen dem Computersystem 130 und anderen Subsystemen des Systems 100 dienen.

**[0078]** Das Computersystem 130 des SWE-Systems 100 kann dazu konfiguriert sein, Daten oder Informationen (beispielsweise Messergebnisse, Modellierungseingaben, Modellierungsergebnisse, Referenzmessergebnisse usw.) von anderen Systemen durch ein Übertragungsmedium zu empfangen und/oder zu erfassen, wobei das Übertragungsmedium drahtgebundene und/oder drahtlose Teile umfassen kann. Auf diese Weise kann das Übertragungsmedium als eine Datenverbindung zwischen dem Computersystem 130 und anderen Systemen (beispielsweise einem memory-on-board SWE-System 100, einem externen Speicher oder anderen externen Systemen) dienen. Beispielsweise kann das Computersystem 130 konfiguriert sein, um Messdaten von einem Speichermedium (das heißt Speicher 132 oder einem externen Speicher) über eine Datenverbindung zu empfangen. Beispielsweise können die unter Verwendung des Detektors 123 erhaltenen Intensitätsmessungsergebnisse in

einer permanenten oder semi-permanenten Speichervorrichtung (beispielsweise Speicher 132 oder einem externen Speicher) gespeichert werden. In dieser Hinsicht können die Messergebnisse aus dem On-Board-Speicher oder von einem externen Speichersystem importiert werden. Darüber hinaus kann das Computersystem 130 Daten über ein Übertragungsmedium an andere Systeme senden. Beispielsweise kann ein Messmodell oder ein tatsächlicher Geräteparameterwert, der durch das Computersystem 130 bestimmt wurde, kommuniziert und in einem externen Speicher gespeichert werden. In dieser Hinsicht können Messergebnisse in ein anderes System exportiert werden.

**[0079]** Das Rechnersystem 130 kann ein Personal Computer System, Mainframe-Computersystem, Workstation, Bildcomputer, Parallelprozessor oder eine beliebige andere aus dem Stand der Technik bekannte Vorrichtung umfassen, ist jedoch nicht darauf beschränkt. Im Allgemeinen kann der Begriff „Rechnersystem“ beziehungsweise „Computersystem“ im weitesten Sinne so definiert werden, dass er jede Vorrichtung mit einem oder mehreren Prozessoren umfasst, die Anweisungen von einem Speichermedium ausführen.

**[0080]** Programmanweisungen 134, die Verfahren wie die hierin beschriebenen implementieren, können über ein Übertragungsmedium wie etwa eine Draht-, Kabel- oder drahtlose Übertragungsverbindung übertragen werden. Wie beispielsweise in **Fig. 1** gezeigt, werden im Speicher 132 gespeicherte Programmbefehle 134 über den Bus 133 zum Prozessor 131 übertragen. Programmbefehle 134 sind in einem computerlesbaren Medium (beispielsweise dem Speicher 132) gespeichert. Beispielhafte computerlesbare Medien umfassen einen Nur-Lese-Speicher (ROM), einen Direktzugriffsspeicher (RAM), eine magnetische oder optische Platte oder ein Magnetband.

**[0081]** In einigen Beispielen sind die Messmodelle als ein Element eines optischen Messsystems SpectraShape<sup>®</sup> für kritische Abmessungen, erhältlich von KLA-Tencor Corporation, Milpitas, Kalifornien, USA, implementiert. Auf diese Weise wird das Modell erstellt und ist sofort einsatzbereit, nachdem die Messsignale vom System gesammelt wurden.

**[0082]** In einigen anderen Beispielen werden die Messmodelle offline implementiert, beispielsweise durch ein Computersystem, das AcuShape<sup>®</sup>-Software implementiert hat, die von der KLA-Tencor Corporation, Milpitas, Kalifornien, USA, erhältlich ist. Das resultierende, eingelernte Modell kann als ein Element einer AcuShape<sup>®</sup>-Bibliothek eingebaut sein, auf die ein Messsystem, das Messungen durchführt, zugreifen kann. Gemäß einem noch weiteren Aspekt können die hierin beschriebenen Messmo-

dellerggebnisse verwendet werden, um eine aktive Rückkopplung an ein Prozesswerkzeug (beispielsweise Lithographiewerkzeug, Ätzwerkzeug, Abscheidewerkzeug usw.) bereitzustellen. Beispielsweise können Werte von gemessenen Parametern, die basierend auf hierin beschriebenen Messverfahren bestimmt werden, an ein Lithographiewerkzeug übermittelt werden, um das Lithographiesystem einzustellen, um einen gewünschten Output zu erzielen. Auf ähnliche Weise können Ätzparameter (beispielsweise Ätzzeit, Diffusivität usw.) oder Abscheideparameter (beispielsweise Zeit, Konzentration usw.) in einem Messmodell enthalten sein, um eine aktive Rückkopplung an Ätzwirkzeuge bzw. Abscheidewerkzeuge bereitzustellen. In einigen Beispielen können Korrekturen an Prozessparametern, die basierend auf gemessenen Geräteparameterwerten und einem eingelernten Messmodell bestimmt werden, an ein Lithographiewerkzeug, ein Ätzwerkzeug oder ein Abscheidewerkzeug übermittelt werden. Wie hierin beschrieben, umfasst der Begriff „kritische Abmessung“ jede kritische Abmessung einer Struktur (beispielsweise untere kritische Abmessung, mittlere kritische Abmessung, obere kritische Abmessung, Seitenwandwinkel, Gitterhöhe usw.), eine kritische Abmessung zwischen beliebigen zwei oder mehr Strukturen (beispielsweise Abstand zwischen zwei Strukturen) und eine Verschiebung zwischen zwei oder mehr Strukturen (beispielsweise Overlay-Verschiebung zwischen sich überlagernden Gitterstrukturen usw.). Strukturen können dreidimensionale Strukturen, gemusterte Strukturen, Overlay-Strukturen usw. umfassen.

**[0083]** Wie hier beschrieben, umfasst der Begriff „Anwendung kritischer Abmessung“ oder „Anwendung kritischer Dimensions-Abmessungen“ jede Messung kritischer Abmessungen.

**[0084]** Wie hierin beschrieben, umfasst der Begriff „Metrologiesystem“ jedes System, das zumindest teilweise zur Charakterisierung einer Probe gemäß einem beliebigen Aspekt verwendet wird, einschließlich Messanwendungen, wie beispielsweise Metrologie von kritischen Abmessungen, Metrologie von Overlays, Fokus- / Dosismetrologie und Metrologie von Zusammensetzungen. Solche Fachbegriffe beschränken jedoch nicht den Umfang des hier beschriebenen Begriffs „Metrologiesystem“. Zusätzlich kann das SWE-System 100 zum Messen von strukturierten (gemusterten) Wafern und/oder unstrukturierten Wafern konfiguriert sein. Das Messsystem (Metrologiesystem) kann als ein LED-Inspektionswerkzeug, Kanteninspektionswerkzeug, Rückseiteninspektionswerkzeug, Makroinspektionswerkzeug oder Multimode-Inspektionswerkzeug (das gleichzeitig Daten von einer oder mehreren Plattformen einbezieht) und jedes andere beliebige Metrologie- oder Inspektionswerkzeug konfiguriert sein, das von den hier beschriebenen Verfahren profitiert.

**[0085]** Verschiedene Ausführungsformen werden hierin für ein Bearbeitungssystem für Halbleiter (beispielsweise ein Inspektionssystem oder ein Lithographiesystem) beschrieben, das zum Bearbeiten einer Probe verwendet werden können. Der Begriff „Probe“ wird hierin verwendet, um sich auf einen Wafer, ein Retikel oder eine beliebige andere Probe zu beziehen, die durch aus dem Stand der Technik bekannte Mittel verarbeitet (beispielsweise gedruckt oder auf Defekte inspiziert) werden kann.

**[0086]** Wie hierin verwendet, bezieht sich der Begriff „Wafer“ allgemein auf Substrate, die aus einem Halbleiter- oder Nicht-Halbleitermaterial gebildet sind. Beispiele umfassen, sind jedoch nicht darauf beschränkt, monokristallines Silizium, Galliumarsenid und Indiumphosphid. Solche Substrate können üblicherweise in Einrichtungen zur Herstellung von Halbleitern gefunden und/oder verarbeitet werden. In einigen Fällen kann ein Wafer nur das Substrat (das heißt den blanken Wafer) enthalten. Alternativ kann ein Wafer eine oder mehrere Schichten aus unterschiedlichen Materialien umfassen, die auf einem Substrat ausgebildet sind. Eine oder mehrere Schichten, die auf einem Wafer gebildet sind, können „strukturiert“ („gemustert“) oder „unstrukturiert“ sein. Beispielsweise kann ein Wafer eine Vielzahl von Dies mit wiederholbaren Strukturmerkmalen umfassen.

**[0087]** Ein „Retikel“ kann ein Retikel in einer beliebigen Phase eines Retikel-Herstellungsprozesses sein oder ein fertig hergestelltes Retikel, das zur Verwendung in einer Fertigungseinrichtung für Halbleiter freigegeben werden kann oder nicht. Ein Retikel oder eine „Maske“ wird im Allgemeinen als ein im Wesentlichen transparentes Substrat definiert, das im Wesentlichen opake Bereiche aufweist, die darauf ausgebildet und in einer Struktur (Muster) konfiguriert sind. Das Substrat kann beispielsweise ein Glasmaterial wie amorphes SiO<sub>2</sub> umfassen. Ein Retikel kann während eines Belichtungsschrittes eines Lithographieprozesses über einem mit Resist bedeckten Wafer angeordnet sein, so dass die Struktur auf dem Retikel auf den Resist übertragen werden kann.

**[0088]** Eine oder mehrere Schichten, die auf einem Wafer ausgebildet sind, können strukturiert oder unstrukturiert sein. Beispielsweise kann ein Wafer eine Vielzahl von Dies umfassen, die jeweils wiederholbare Struktur-/Mustermerkmale aufweisen. Die Bildung und Verarbeitung solcher Materialschichten kann letztendlich zu fertigen Vorrichtungen führen. Viele unterschiedliche Arten von Vorrichtungen können auf einem Wafer gebildet werden, und der Begriff Wafer, wie er hierin verwendet wird, soll einen Wafer umfassen, auf dem eine beliebige Art von Vorrichtung, die aus dem Stand der Technik bekannt ist, hergestellt wird.

**[0089]** In einer oder mehreren beispielhaften Ausführungsformen können die beschriebenen Funktionen in Hardware, Software, Firmware oder einer beliebigen Kombination davon implementiert werden. Wenn sie in Software implementiert sind, können die Funktionen als eine oder mehrere Anweisungen oder als Code auf einem computerlesbaren Medium gespeichert oder übertragen werden. Computerlesbare Medien umfassen sowohl Computer-speichermedien als auch Kommunikationsmedien, einschließlich eines beliebigen Mediums, das die Übertragung eines Computerprogramms von einem Ort zu einem anderen erleichtert. Ein Speichermedium kann jedes verfügbare Medium sein, auf das von einem Allzweck- oder Spezialcomputer zugegriffen werden kann. Beispielsweise und nicht einschränkend können solche computerlesbaren Medien einen RAM-, ROM-, EEPROM-, CD-ROM- oder anderen optischen Plattenspeicher, Magnetplattenspeicher oder andere magnetische Speichervorrichtungen oder jedes andere Medium umfassen, das zum Tragen oder Speichern von gewünschten Programmcodemitteln in der Form von Befehlen oder Datenstrukturen verwendet werden kann und auf das durch einen Allzweck- oder Spezialzweckcomputer oder einen Allzweck- oder Spezialzweckprozessor zugegriffen werden kann. Auch jede Verbindung wird korrekt als computerlesbares Medium bezeichnet. Wenn beispielsweise die Software von einer Website, einem Server oder einer anderen entfernten Quelle (remote source) unter Verwendung eines Koaxialkabels, eines Glasfaserkabels, einer verdrehten Doppelleitung (Twisted Pair Kabel), einer digitalen Teilnehmerleitung (DSL) oder drahtloser Technologien wie Infrarot, Radio und Mikrowelle übertragen wird, dann sind das Koaxialkabel, Glasfaserkabel, Twisted Pair Kabel, DSL oder drahtlose Technologien wie Infrarot, Radio und Mikrowelle von der Definition des Mediums umfasst. Disk und Disc, wie hierin verwendet, umfassen eine Compact Disc (CD), Laserdisc, optische Disc, Digital Versatile Disc (DVD), Floppy Disk und Blu-ray Disc, wobei Disks üblicherweise Daten magnetisch wiedergeben, während Discs Daten optisch mit Lasern wiedergeben. Kombinationen derselben sollten ebenfalls in den Bereich computerlesbarer Medien fallen.

**[0090]** Obwohl bestimmte spezifische Ausführungsformen oben für Instruktionzwecke beschrieben wurden, haben die Lehren dieses Patentdokuments allgemeine Anwendbarkeit und sind nicht auf die oben beschriebenen spezifischen Ausführungsformen beschränkt. Dementsprechend können verschiedene Modifikationen, Anpassungen und Kombinationen von verschiedenen Merkmalen der beschriebenen Ausführungsformen ausgeführt werden, ohne vom Umfang der Erfindung, wie er in den Ansprüchen dargelegt ist, abzuweichen.

	Liste der Bezugszeichen
100	SWE-System
110	Beleuchtungsquelle
111	Eingangsstrahl-Polarisatorelement
112	Beleuchtungsoptik
113	elliptisches Polarisatorelement
114	Strahl von Beleuchtungslicht (Beleuchtungslichtstrahl)
115	Probe, Wafer
116	Messspot
117	Strahl von gesammeltem Licht (Sammellichtstrahl, gesammelter Lichtstrahl)
118	Kompensator
119	Sammeloptik
120	Sammel-Pupillenblende
121	Sammelfeldblende
122	Analysatorelement
123	Detektor
124	Spot
125	elektrisches Signal, Messdaten
126	Hauptstrahl
127	Hauptstrahl
128	Messobjekt (Metrologieziel)
130	Rechnersystem, Computersystem
131	Prozessor
132	Speicher
133	Bus
134	Programmbefehl
141	Befehlssignal
142	Befehlssignal
143	Befehlssignal
144	Befehlssignal
145	Befehlssignal
151	Platte
152	Platte
153	Platte
154	Platte
160	Diagramm
165	Diagramm
170	Diagramm

175	Diagramm
180	Diagramm
185	Diagramm
190	Diagramm
191	Diagramm
192	Kurve
193	Kurve
194	Diagramm
195	Kurve
196	Kurve
197	Diagramm
198	Kurve
199	Kurve
200	Verfahren

### Patentansprüche

1. Metrologiesystem (100), umfassend:  
eine schmalbandige Beleuchtungsquelle (110), die konfiguriert ist, um einen Beleuchtungslichtstrahl (114) zu erzeugen;  
ein Subsystem einer Beleuchtungsoptik (112), das konfiguriert ist, um den Beleuchtungslichtstrahl (114) von der Beleuchtungsquelle (110) zu einem Messobjekt zu lenken, das auf einer zu vermessenden Probe (115) angeordnet ist, wobei das Subsystem einer Beleuchtungsoptik (112) umfasst:  
einen Linearpolarisator (111), der so konfiguriert ist, dass er den von der schmalbandigen Beleuchtungsquelle (110) erzeugten Beleuchtungslichtstrahl (114) empfängt und dem Beleuchtungslichtstrahl (114) eine lineare Polarisation aufprägt; und  
einen elliptischen Polarisator (113), der konfiguriert ist, um den Beleuchtungslichtstrahl (114) von dem Linearpolarisator (111) zu empfangen und dem Beleuchtungslichtstrahl (114) eine elliptische Polarisation aufzuprägen;  
einen Detektor (123) mit einer planaren zweidimensionalen Oberfläche, die für einfallendes Licht empfindlich ist, wobei der Detektor (123) konfiguriert ist, um eine Vielzahl von Ausgangssignalen (125) zu erzeugen, die eine Antwort der Probe (115) auf den Beleuchtungslichtstrahl (114) anzeigen; und  
ein Subsystem einer Sammeloptik (119), das konfiguriert ist, um einen Sammellichtstrahl (117) von der Probe (115) zu sammeln und den Sammellichtstrahl (117) auf die Oberfläche des Detektors (123) zu richten, wobei das Subsystem einer Sammeloptik (119) umfasst:  
einen Analysator (122), der konfiguriert ist, um den Sammellichtstrahl (117) zu empfangen und dem Sammellichtstrahl (117) eine lineare Polarisation aufzuprägen; und  
eine Feldblende (121), die in dem Sammellichtstrahl

(117) nahe oder an einer Bildebene des Subsystems einer Sammeloptik (119) angeordnet ist, und/oder eine Pupillenblende (120), die in dem Sammellichtstrahl (117) an oder nahe einer Pupillenebene des Subsystems einer Sammeloptik (119) angeordnet ist.

2. Metrologiesystem (100) nach Anspruch 1, wobei der Linearpolarisator (111) ein auf Nanopartikeln basierendes Polarisatorelement umfasst.

3. Metrologiesystem (100) nach Anspruch 1, wobei die Feldblende (121) eine rechteckig geformte Öffnung ist.

4. Metrologiesystem (100) nach Anspruch 1, wobei die Pupillenblende (120) eine kreisförmige Öffnung ist.

5. Metrologiesystem (100) nach Anspruch 1, wobei ein Bereich einer Apertur der Pupillenblende (120), ein Bereich einer Apertur der Feldblende (121) oder beide Bereiche justierbar sind.

6. Metrologiesystem (100) nach Anspruch 1, wobei die Pupillenblende (120), die Feldblende (121) oder beide in einem optischen Sammelweg des Metrologiesystems (100) an einer oder mehreren Stellen angeordnet sind, an denen ein Signal zur Kontaminationsmetrik maximiert ist.

7. Metrologiesystem (100) nach Anspruch 1, fern-  
umfassend:  
ein Computersystem (130), das konfiguriert ist, um ein erstes Befehlssignal (144) an die Pupillenblende (120) zu übermitteln, was bewirkt, dass die Pupillenblende (120) den Bereich der Apertur der Pupillenblende (120) justiert, um Lichtstrahlen zu blockieren, die mit von Kanten des Messobjekts gebeugtem Licht assoziiert sind, um ein zweites Befehlssignal (143) an die Feldblende (121) zu übermitteln, was bewirkt, dass die Feldblende (121) den Bereich der Apertur der Feldblende (121) justiert, um Lichtstrahlen zu blockieren, die unerwünschten Lichtwechselwirkungen mit optomechanischen Elementen des Subsystems einer Sammeloptik (119) zugeordnet sind, oder um sowohl das erste (144) als auch das zweite (143) Befehlssignal zu übermitteln.

8. Metrologiesystem (100) nach Anspruch 1, wobei sich der elliptische Polarisator (113) mit einer vorbestimmten Winkelgeschwindigkeit dreht.

9. Metrologiesystem (100) nach Anspruch 1, wobei das Metrologiesystem (100) als ein Einzelwellenlängen-Ellipsometer konfiguriert ist.

10. Metrologiesystem (100) nach Anspruch 1, wobei der Beleuchtungslichtstrahl (114) schmalban-

diges Licht mit einem Wellenlängenbereich von weniger als einem Nanometer ist.

#### 11. Verfahren umfassend:

Erzeugen eines schmalbandigen Beleuchtungslichtstrahls (114);  
 Richten des schmalbandigen Beleuchtungslichtstrahls (114) auf ein Messobjekt, das auf einer zu vermessenden Probe (115) angeordnet ist;  
 lineares Polarisieren des schmalbandigen Beleuchtungslichtstrahls (114);  
 elliptisches Polarisieren des schmalbandigen Beleuchtungslichtstrahls (114) nach der linearen Polarisation;  
 Sammeln eines Sammellichtstrahls (117) von dem Messobjekt, das von dem schmalbandigen Beleuchtungslichtstrahl (114) beleuchtet wird;  
 Entfernen eines ersten Teils des Sammellichtstrahls (117) nahe oder an einer Pupillenebene eines Subsystems einer Sammeloptik (119), das konfiguriert ist, um den Sammellichtstrahl (117) von dem Messobjekt zu sammeln;  
 Entfernen eines zweiten Teils des Sammellichtstrahls (117) nahe oder an einer Bildebene des Subsystems einer Sammeloptik (119);  
 Detektieren eines dritten Teils des Sammellichtstrahls (117) auf einer Oberfläche, die für einfallendes Licht empfindlich ist; und  
 Erzeugen einer Vielzahl von Ausgangssignalen (125), die den detektierten Teil des Sammellichtstrahls (117) anzeigen.

12. Verfahren nach Anspruch 11, wobei das lineare Polarisieren des schmalbandigen Beleuchtungslichtstrahls (114) ein auf Nanopartikeln basierendes Polarisatorelement involviert.

13. Verfahren nach Anspruch 11, wobei das Entfernen des ersten Teils des Sammellichtstrahls (117) nahe oder an der Pupillenebene des Subsystems einer Sammeloptik (119) eine kreisförmige Öffnung involviert.

14. Verfahren nach Anspruch 11, wobei das Entfernen des zweiten Teils des Sammellichtstrahls (117) nahe oder an der Bildebene des Subsystems einer Sammeloptik (119) eine rechteckig geformte Öffnung involviert.

15. Verfahren nach Anspruch 11, ferner umfassend:  
 Übermitteln eines ersten Befehlssignals (144) an eine Pupillenblende (120), was bewirkt, dass die Pupillenblende (120) einen Bereich einer Apertur der Pupillenblende (120) justiert, um Lichtstrahlen zu blockieren, die mit Licht assoziiert sind, das von Kanten des Messobjekts gebeugt wird; und  
 Übermitteln eines zweiten Befehlssignals (143) an eine Feldblende (121), was bewirkt, dass die Feldblende (121) einen Bereich einer Apertur der Feld-

blende (121) justiert, um Lichtstrahlen zu blockieren, die mit unerwünschten Lichtwechselwirkungen mit optomechanischen Elementen eines Subsystems einer Sammeloptik (119) assoziiert sind.

#### 16. Metrologiesystem (100), umfassend:

eine schmalbandige Beleuchtungsquelle (110), die konfiguriert ist, um einen Beleuchtungslichtstrahl (114) zu erzeugen;  
 ein Subsystem einer Beleuchtungsoptik (112), das konfiguriert ist, um den Beleuchtungslichtstrahl (114) von der Beleuchtungsquelle (110) zu einem Messobjekt zu lenken, das auf einer zu vermessenden Probe (115) angeordnet ist, wobei das Subsystem einer Beleuchtungsoptik (112) umfasst:  
 einen Linearpolarisator (111), der so konfiguriert ist, dass er den von der schmalbandigen Beleuchtungsquelle (110) erzeugten Beleuchtungslichtstrahl (114) empfängt und dem Beleuchtungslichtstrahl (114) eine lineare Polarisation aufprägt; und  
 einen elliptischen Polarisator (113), der konfiguriert ist, um den Beleuchtungslichtstrahl (114) von dem Linearpolarisator (111) zu empfangen und dem Beleuchtungslichtstrahl (114) eine elliptische Polarisation aufzuprägen;  
 einen Detektor (123) mit einer planaren zweidimensionalen Oberfläche, die für einfallendes Licht empfindlich ist, wobei der Detektor (123) konfiguriert ist, um eine Vielzahl von Ausgangssignalen (125) zu erzeugen, die eine Antwort der Probe (115) auf den Beleuchtungslichtstrahl (114) anzeigen;  
 ein Subsystem einer Sammeloptik (119), das konfiguriert ist, um einen Sammellichtstrahl (117) von der Probe (115) zu sammeln und den Sammellichtstrahl (117) auf die Oberfläche des Detektors (123) zu richten, wobei das Subsystem einer Sammeloptik (119) umfasst:  
 einen Analysator (122), der konfiguriert ist, um den Sammellichtstrahl (117) zu empfangen und dem Sammellichtstrahl (117) eine lineare Polarisation aufzuprägen; und  
 eine Feldblende (121), die in dem Sammellichtstrahl (117) nahe oder an einer Bildebene des Subsystems einer Sammeloptik (119) angeordnet ist, und/oder eine Pupillenblende (120), die in dem Sammellichtstrahl (117) an oder nahe einer Pupillenebene des Subsystems einer Sammeloptik (119) angeordnet ist; und  
 ein nichtflüchtiges, computerlesbares Medium, umfassend:  
 Code, um ein Computersystem (130) zu veranlassen, ein erstes Befehlssignal (144) an die Pupillenblende (120) zu übermitteln, was bewirkt, dass die Pupillenblende (120) einen Bereich einer Apertur der Pupillenblende (120) justiert; und  
 Code, um das Computersystem (130) zu veranlassen, ein zweites Befehlssignal (143) an die Feldblende (121) zu übermitteln, was bewirkt, dass die Feldblende (121) einen Bereich einer Öffnung der Feldblende (121) justiert.

17. Metrologiesystem (100) nach Anspruch 16, wobei der Linearpolarisator (111) ein auf Nanopartikeln basiertes Polarisatorelement umfasst.

18. Metrologiesystem (100) nach Anspruch 16, wobei die Feldblende (121) eine rechteckig geformte Öffnung ist und wobei die Pupillenblende (120) eine kreisförmige Öffnung ist.

19. Metrologiesystem (100) nach Anspruch 16, wobei das Metrologiesystem (100) als ein Einzelwellenlängen-Ellipsometer konfiguriert ist.

20. Metrologiesystem (100) nach Anspruch 16, wobei der Beleuchtungslichtstrahl (114) mit einer Vielzahl von Einfallswinkeln auf das Messobjekt gerichtet ist.

Es folgen 10 Seiten Zeichnungen

Anhängende Zeichnungen

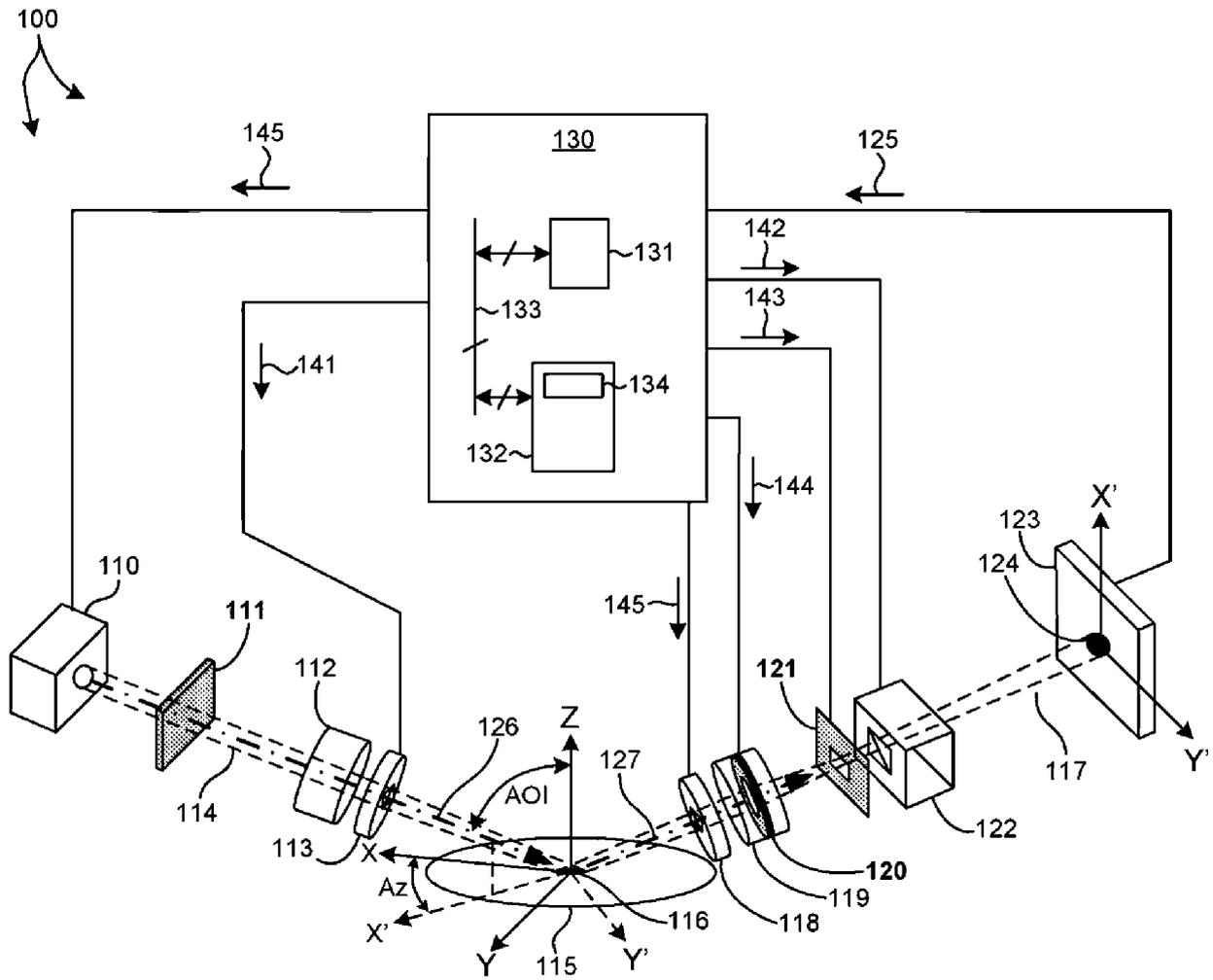


FIG. 1

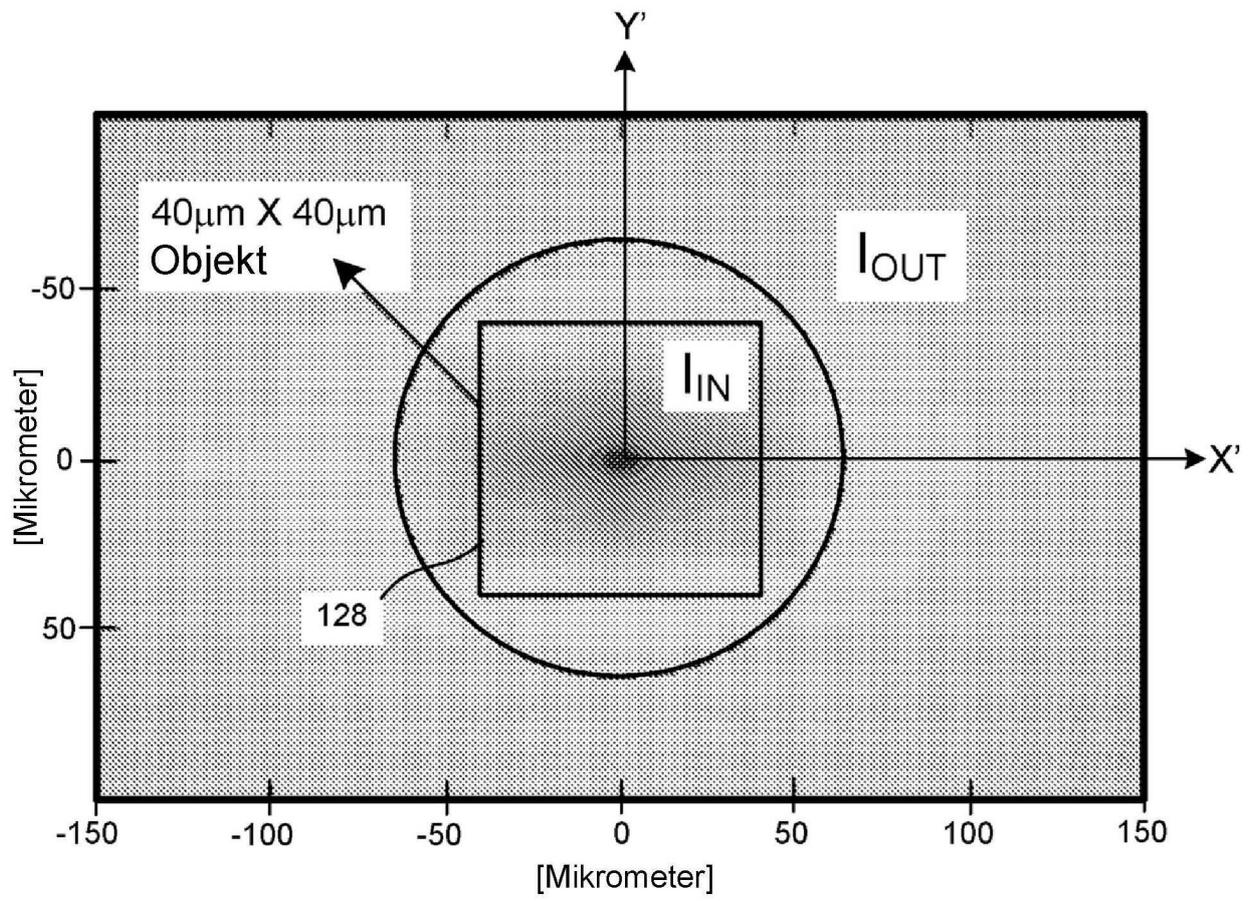
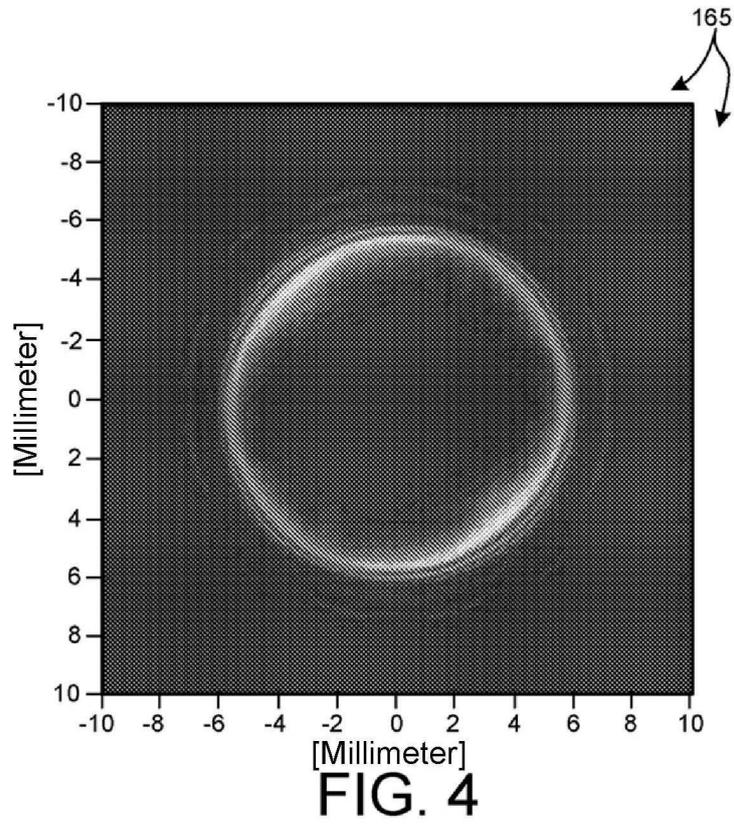
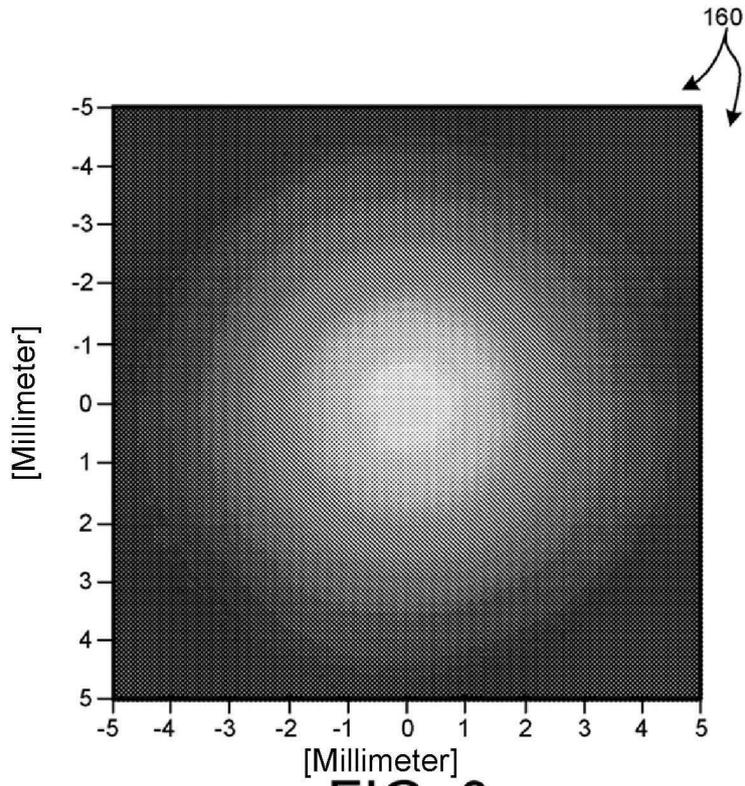


FIG. 2



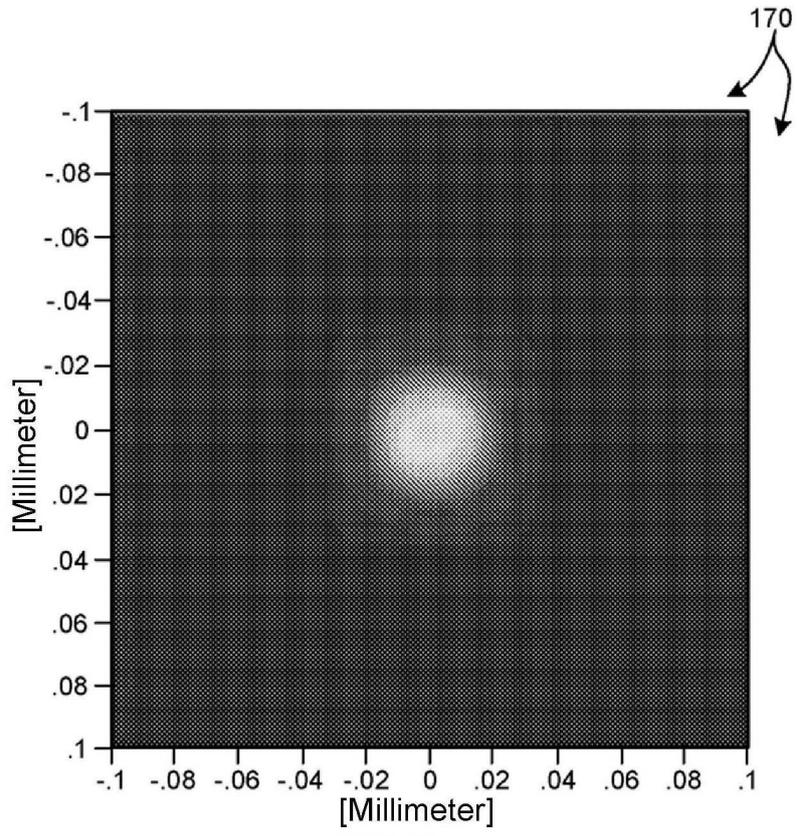


FIG. 5

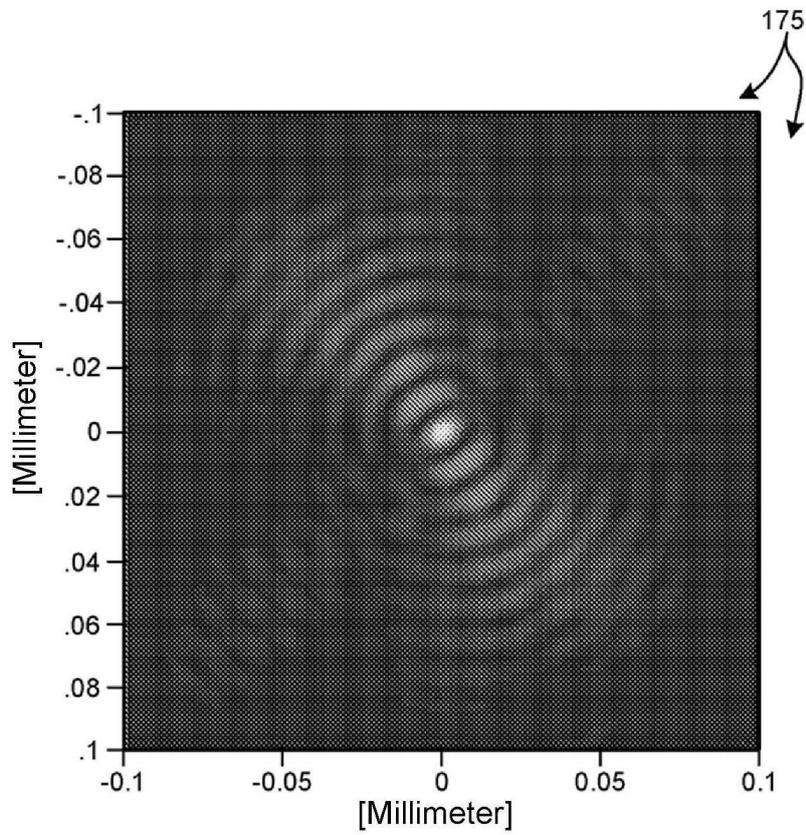


FIG. 6

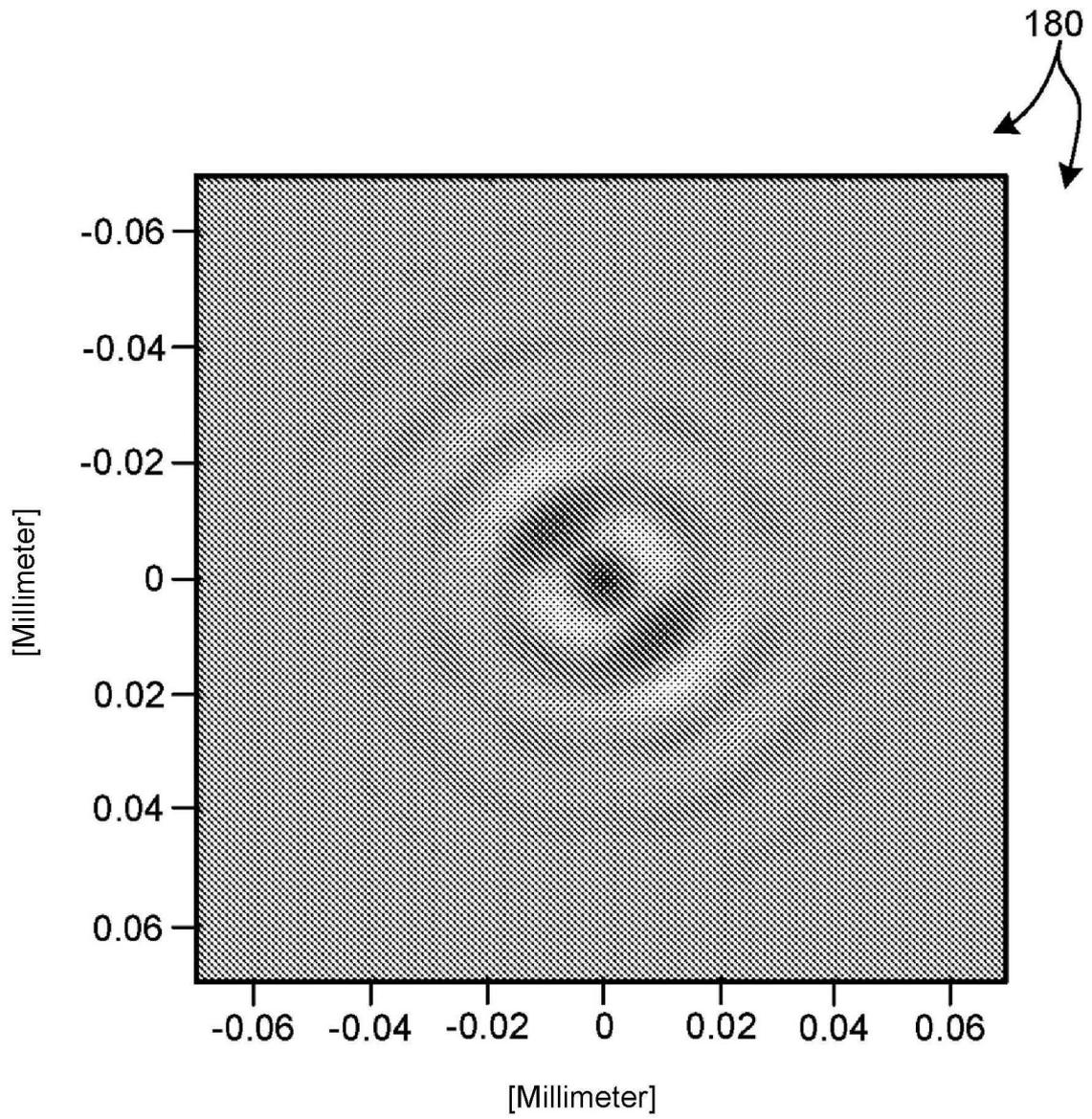


FIG. 7

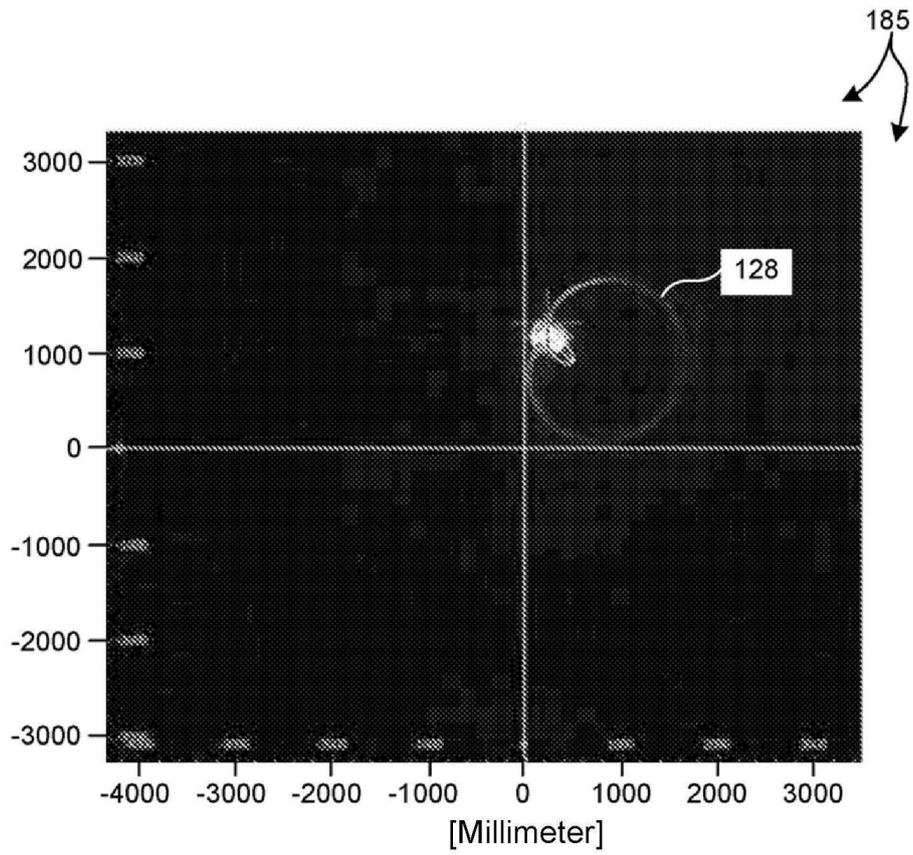


FIG. 8

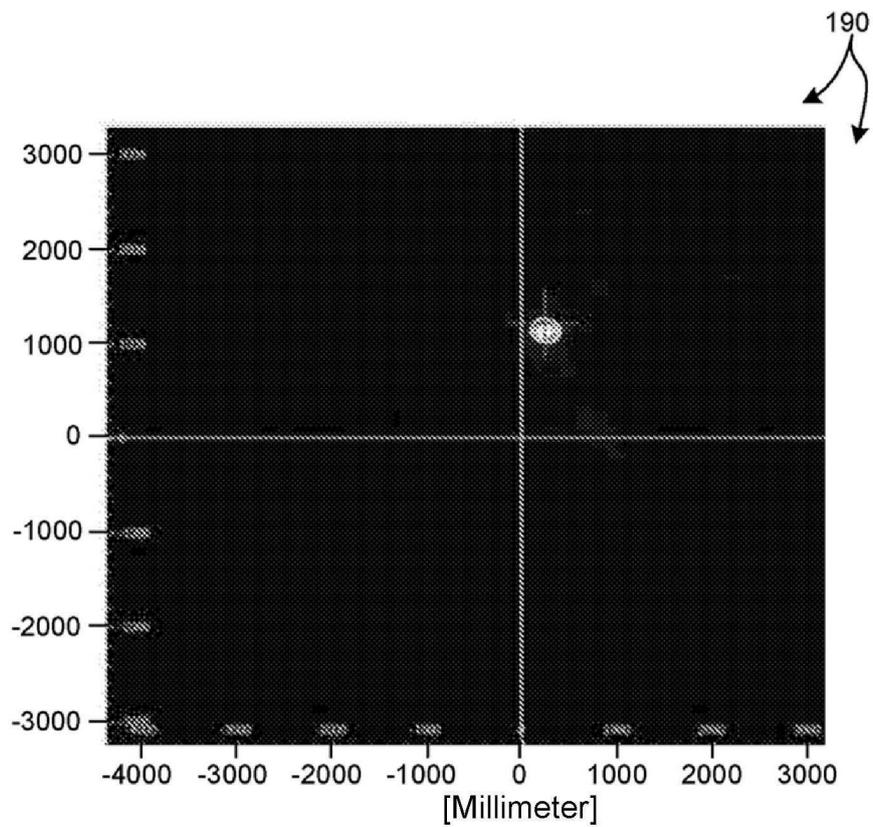


FIG. 9

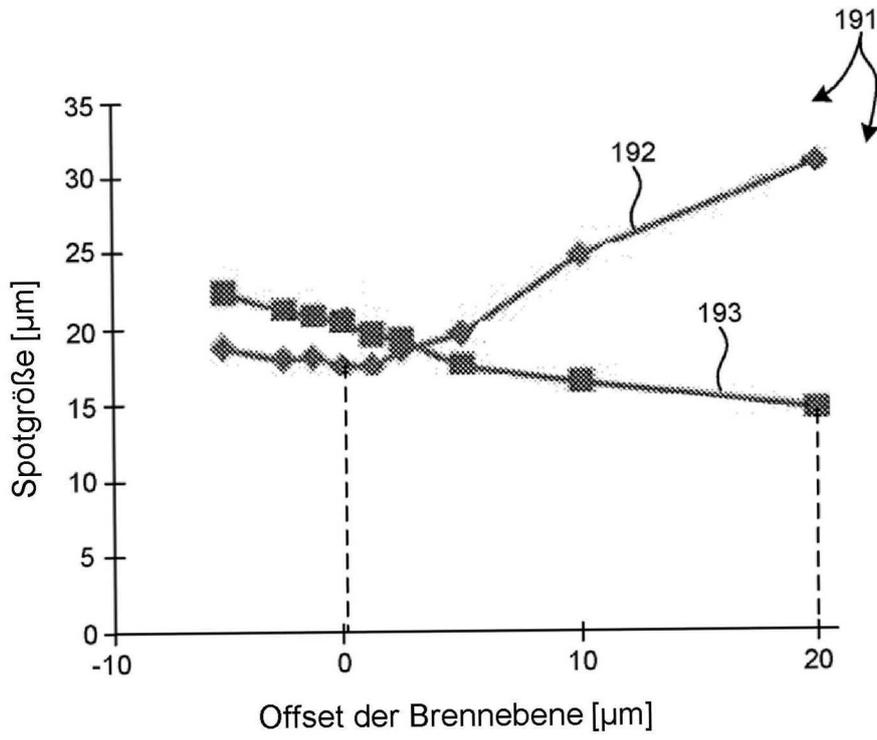


FIG. 10

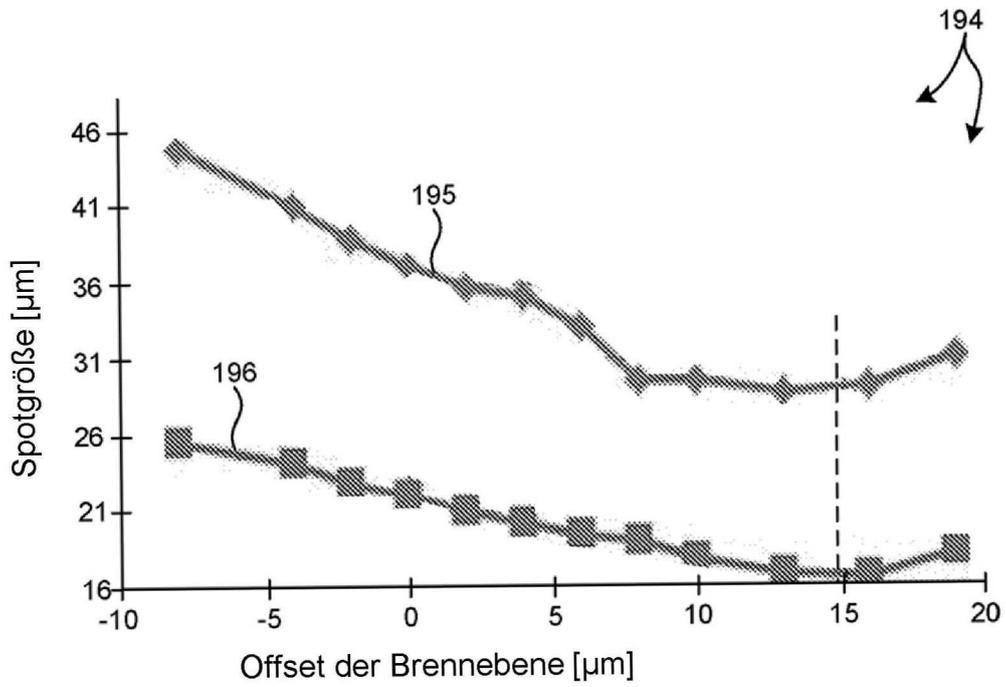


FIG. 11

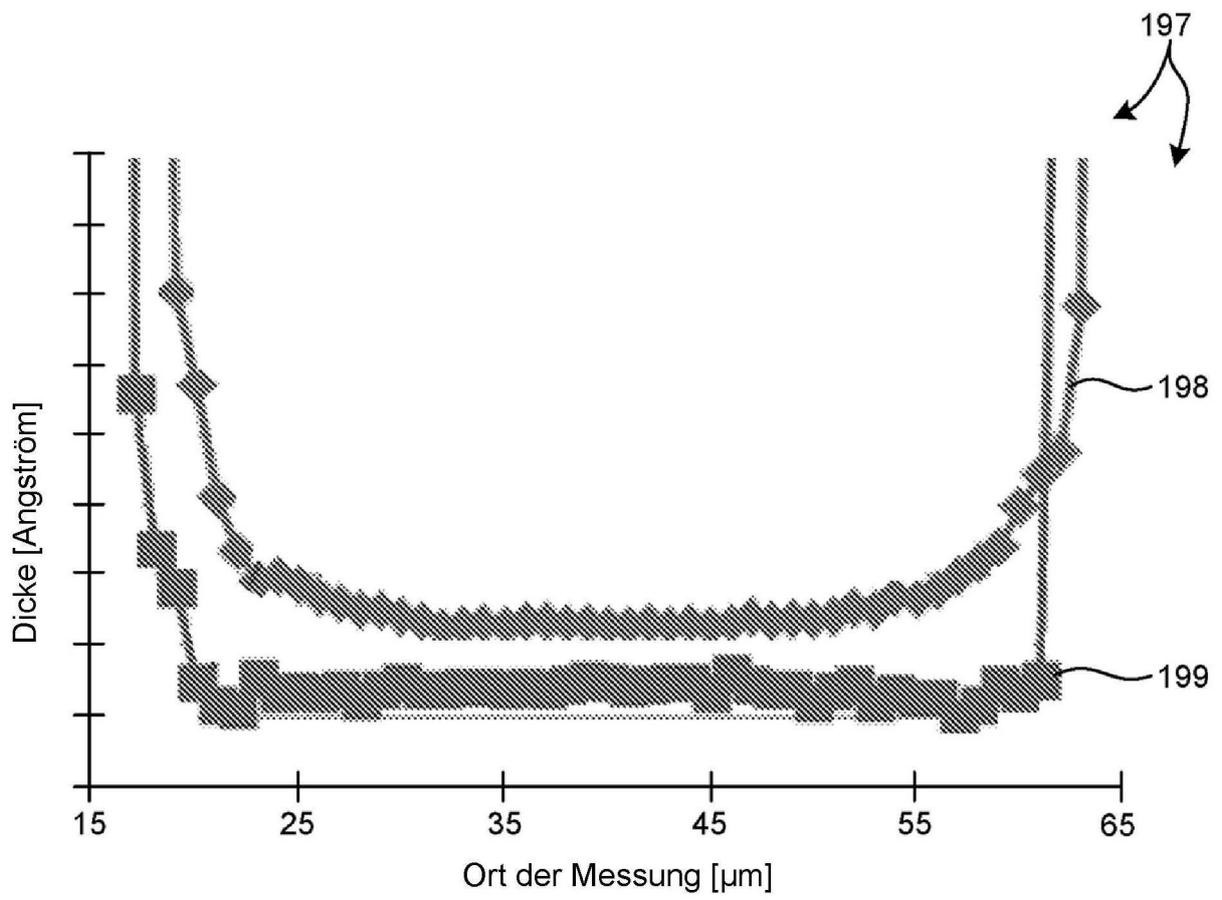


FIG. 12

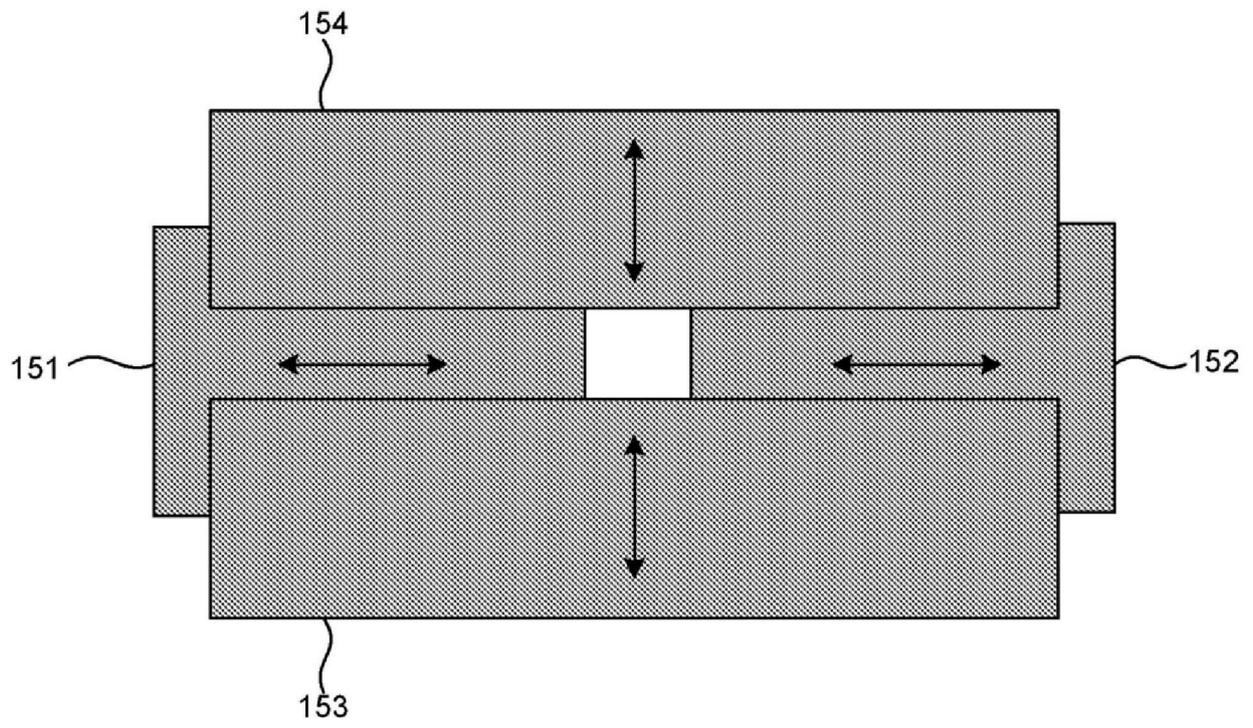


FIG. 13

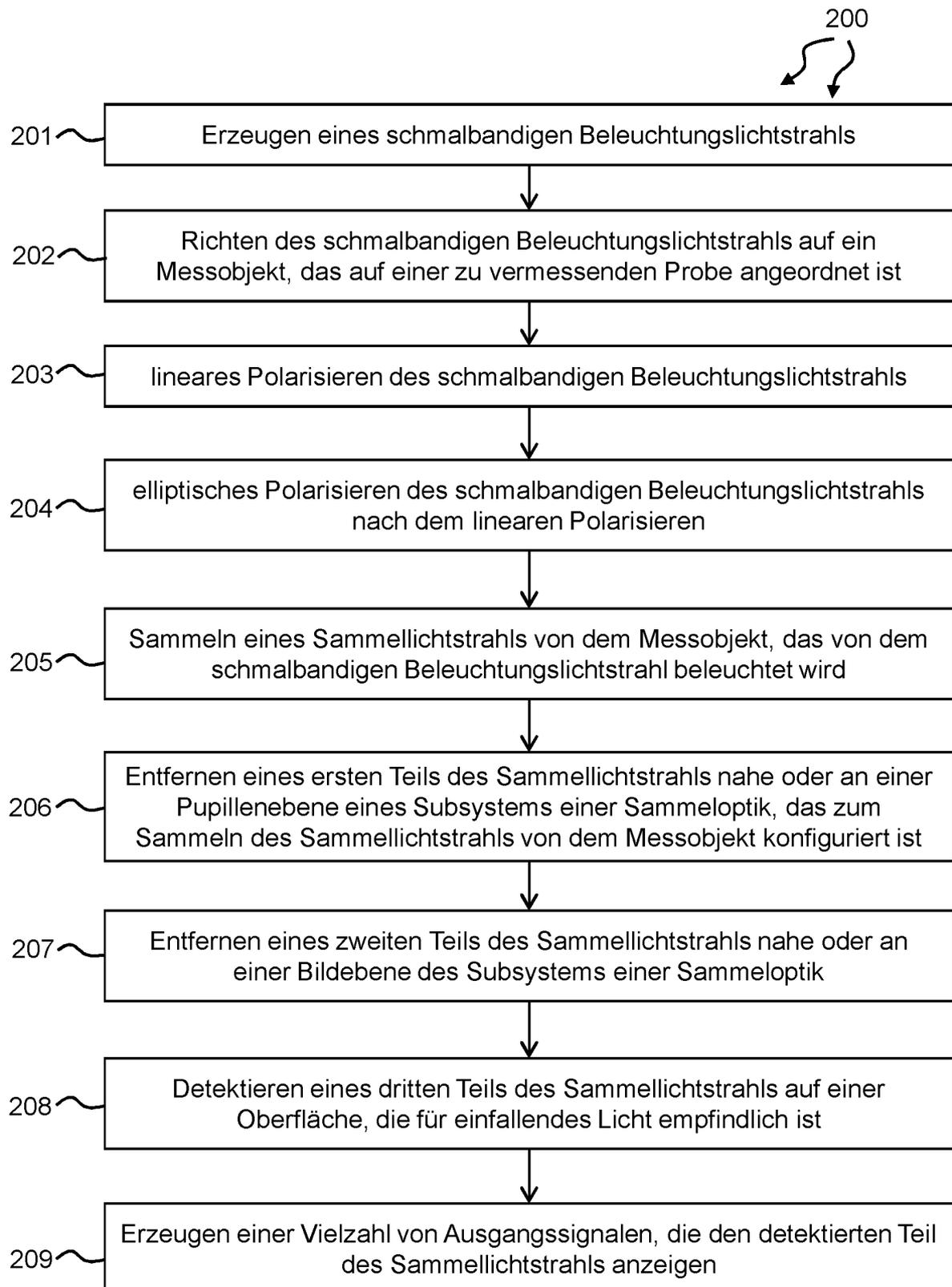


FIG. 14