



(12) **Patentschrift**

(21) Deutsches Aktenzeichen: **11 2017 002 925.2**
(86) PCT-Aktenzeichen: **PCT/US2017/036417**
(87) PCT-Veröffentlichungs-Nr.: **WO 2017/214314**
(86) PCT-Anmeldetag: **07.06.2017**
(87) PCT-Veröffentlichungstag: **14.12.2017**
(43) Veröffentlichungstag der PCT Anmeldung
in deutscher Übersetzung: **07.03.2019**
(45) Veröffentlichungstag
der Patenterteilung: **14.08.2025**

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

H01L 21/67 (2006.01)
G01N 21/17 (2006.01)
G01N 21/21 (2006.01)
G03F 7/00 (2006.01)
G01J 3/00 (2006.01)
G01J 3/18 (2006.01)
G01J 3/447 (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:

62/348,870	11.06.2016	US
15/344,825	07.11.2016	US

(73) Patentinhaber:

KLA-Tencor Corporation, Milpitas, Calif., US

(74) Vertreter:

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

(72) Erfinder:

Krishnan, Shankar, Santa Clara, Calif., US;
Büttner, Alexander, 35781 Weilburg, DE;
**Purrucker, Kerstin, 35625 Hüttenberg, DE; Wang,
David Y., Santa Clara, Calif., US**

(56) Ermittelter Stand der Technik:

US	2006 / 0 066 837	A1
US	2015 / 0 153 165	A1
US	2015 / 0 193 926	A1

(54) Bezeichnung: **Simultane Mehrwinkel-Spektroskopie**

(57) Hauptanspruch: Ein Metrologiesystem (100), umfassend:

eine oder mehrere Beleuchtungsquellen (110), die konfiguriert sind, um eine Menge an breitbandigem Beleuchtungslicht (117) zu erzeugen;

ein Subsystem der Beleuchtungsoptiken, das konfiguriert ist, um eine Menge an Beleuchtungslicht (117) von der Beleuchtungsquelle (110) zu einem Messfleck (116) auf einer Oberfläche einer unter mehreren Einfallswinkeln, mehreren Azimutwinkeln oder einer Kombination davon zu vermessenden Probe (120) zu leiten;

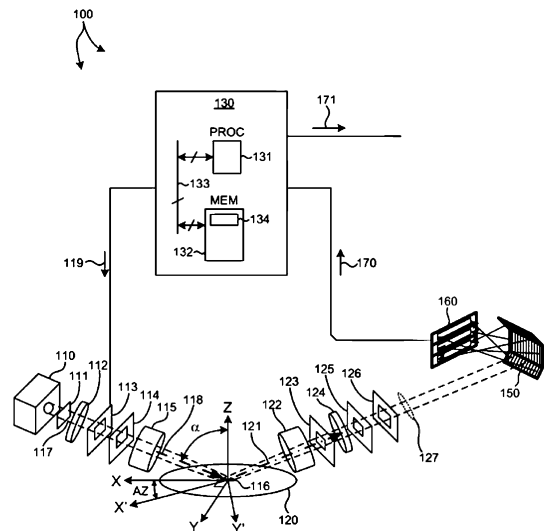
ein Subsystem von Sammeloptiken, das konfiguriert ist, um eine Menge an gesammeltem Licht (127) von dem Messfleck (116) auf der Oberfläche der Probe (120) zu sammeln, wobei das Subsystem der Sammeloptiken eine Messpupille aufweist;

einen oder mehrere Detektoren (160A-C), von denen jeder eine ebene, zweidimensionale Fläche besitzt, die auf einfallendes Licht empfindlich ist; und

eine Vorrichtung zur Segmentierung und Dispersion der Pupille (150), die konfiguriert ist, um ein Bild der Messpupille in zwei oder mehr Pupillensegmente zu segmentieren und um die beiden oder mehreren Pupillensegmente auf den einen oder die mehreren Detektoren (160A-C) über räumlich getrennte Bereiche zu dispergieren, wobei jedes Pupillensegment Signalinformationen umfasst, die distinkten Teilbereichen der mehreren Einfallswinkel, der mehre-

ren Azimutwinkel oder einer Kombination davon zugeordnet sind, wobei die Vorrichtung zur Segmentierung und Dispersion der Pupille (150) umfasst:

ein erstes diffraktives Element (150A), das eine Einfallsoberfläche in einem optischen Pfad des Subsystems der Sammeloptiken aufweist, die an oder nahe einer Bildebene (140) der Messpupille ...



Beschreibung

QUERVERWEIS AUF VERWANDTE ANMELDUNG

[0001] Die vorliegende Patentanmeldung beansprucht die Priorität unter 35 USC §119 von der provisorischen U.S. Patentanmeldung, mit der Seriennummer 62/348,870, mit dem Titel „Optics for Simultaneous Multi-Angel Spectroscopy“, angemeldet am 11. Juni 2016.

TECHNISCHEN GEBIET

[0002] Die beschriebenen Ausführungsformen beziehen sich auf Metrologiesysteme und Verfahren, und insbesondere auf Verfahren und Systeme zur Verbesserung der Messung von Halbleiterstrukturen.

HINTERGRUNDINFORMATION

[0003] Die Halbleiterbauteile wie Logik- und Speicherelemente werden typischerweise durch eine Folge von Verarbeitungsschritten, die auf eine Probe angewendet werden, hergestellt. Die verschiedenen Merkmale und mehrfachen Strukturebenen der Halbleiterbauteile werden durch diese Verarbeitungsschritte gebildet. Beispielsweise ist die Lithographie unter anderem ein Halbleiterherstellungsprozess, der die Erzeugung eines Musters auf einem Halbleiterwafer umfasst. Weitere Beispiele für Halbleiterherstellungsverfahren umfassen, sind aber nicht darauf beschränkt, chemisch-mechanisches Polieren, Ätzen, Abscheiden und Ionenimplantation. Mehrere Halbleiterbauteile 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 und eine höhere Ausbeute zu erzielen. Optische Metrologietechniken bieten das Potenzial für einen hohen Durchsatz, ohne das Risiko einer Zerstörung der Probe. Eine Vielzahl von optischen Metrologietechniken umfassen Implementierungen der Scatterometrie und der Reflektometrie und assoziierte Analysealgorithmen werden häufig verwendet, um kritische Dimensionen, Schichtdicken, die Zusammensetzung, den Overlay und andere Parameter der nanoskaligen Strukturen zu charakterisieren.

[0005] Messungen, die über mehrere Winkel durchgeführt wurden, ergeben Informationen mit höherer Genauigkeit und Präzision. In einem Beispiel führen die Systeme der spektroskopischen Ellipsometrie (SE) und die Systeme der spektroskopischen Reflektometrie (SR) gleichzeitige Messungen in einem breiten Spektrum von Beleuchtungswellenlängen durch. Jedoch bestimmen viele der bestehenden SR- und

SE-Systeme die Meßsignale bei einem Einfallswinkel (AOI) zu einem Zeitpunkt. Dies begrenzt den Durchsatz eines solchen Systems, wenn mehrere AOIs erforderlich sind, um genau die Probe zu charakterisieren.

[0006] In einem Beispiel umfasst ein Mehrfachwinkel-SE-Instrument, erhältlich von JA Woollam Co., Lincoln, Nebraska (USA), Mechanismen zum Drehen einer zu vermessenden Probe, Elemente des optischen Systems, oder beides, um nacheinander Messungen von verschiedenen AOI-Werten durchzuführen. In einem anderen Beispiel kann ein Mehrwinkel-SE-Instrument, erhältlich von KLA-Tencor Corp., Milpitas, California (USA), verwendet werden, das ein optisches System mit großer numerischer Apertur (NA) verwendet und alle AOIs von Interesse gleichzeitig, ohne die Probe oder wesentliche Teile des optischen Systems zu bewegen, erfasst.

[0007] In diesem Beispiel enthält die Sammelpupille den ganzen Bereich von Winkeln, der von der Probe reflektiert wird. In Abhängigkeit von der NA des Systems könnte der volle Winkelbereich von einem sehr kleinen Bereich (z.B. gebündelt) bis zu einem sehr großen Bereich (z.B. größer als fünf Grad) reichen. In bestehenden Metrologiesystemen wird das reflektierte Licht über den gesamten Winkelbereich nicht zur Durchführung einer Messung verwendet, weil die Messsignalinformationen, die mit zu vielen Einfallswinkeln assoziiert sind, am Detektor integriert werden. Der sich ergebende Verlust an Signalgenauigkeit begrenzt die Effektivität der gemessenen Signale. Um diesen Effekt zu mildern, wird der Bereich der gemessenen AOIs auf wenige Grad über jede Nenn-AOI begrenzt, die spektral gemessen wird.

[0008] Bei dem Mehrfachwinkel-SE-Instrument, erhältlich von KLA-Tencor werden mechanische Verschlüsse eingesetzt, um sequentielle Spektren an einem oder mehreren AOI-Unterbereichen zu messen. In diesem Beispiel wird eine Probe mit einer großen NA über den gesamten Wellenlängenbereich von Interesse beleuchtet und das reflektierte Licht wird durch die Systemoptik gesammelt. Die Sammelpupille enthält alle Winkel von Interesse, aber mechanische Verschlüsse oder Strahlblocker werden verwendet, um das gesammelte Licht mit Ausnahme eines ausgewählten Bereichs von AOIs von dem gesammelten Licht zu blockieren. Dieser ausgewählte Bereich wird nicht blockiert und wird durch den Messsensor gemessen. Bei diesem Ansatz wird die Optik in einer stationären Konfiguration gehalten und eine AOI-Auswahl wird mit mechanischen Verschlüssen oder Masken erreicht. Sequentielle spektrale Messungen bei unterschiedlichen AOIs ergeben eine erweiterte Waferbelichtung und eine Gesamtmesszeit. Weiterhin können zeitabhängige Effekte, die sich auf dem Wafer manifestieren, durch die

sequentiellen Messungen erfasst werden und beeinflussen negativ die Messergebnisse.

[0009] Zusammenfassend verursacht die laufende Reduzierung der Strukturgröße und die zunehmende Tiefe von Strukturmerkmalen schwierige Anforderungen an die optischen Metrologiesysteme. Optische Metrologiesysteme müssen hohe Präzision und Genauigkeitsanforderungen für zunehmend komplexere Messziele bei hohem Durchsatz erfüllen, um kosteneffektiv zu bleiben. In diesem Zusammenhang sind die Geschwindigkeit der Datenerfassung und der Bereich der Einfallswinkel wichtige Faktoren bei der Gestaltung von optischen Metrologiesystemen. Somit ist es wünschenswert, dass verbesserte Metrologiesysteme und Methoden diese Einschränkungen überwinden.

[0010] US 2015 / 0 153 165 A1 offenbart eine Vorrichtung zur optischen Metrologie, die Licht gleichzeitig bei verschiedenen Einfallswinkeln und/oder verschiedenen Azimut-Winkeln detektiert, um wenigstens einen Parameter einer Probe zu bestimmen. Hierzu wird eine Pupillenplatte verwendet, die Licht von der Probe in eine Vielzahl von Teilstrahlen zerlegt, welche z.B. spektroskopisch untersucht werden.

[0011] US 2015 / 0 193 926 A1 betrifft eine Vorrichtung, bei der eine Probe beleuchtet und das in Folge der Beleuchtung von der Probe ausgehende Licht über eine Pupille mit mehreren Segmenten erfasst wird. Dabei entsprechen verschiedene Segmente verschiedenen Beleuchtungs- oder Erfassungswinkeln. Für jedes Segment findet eine separate Auswertung der über dieses Segment erfassten Strahlung statt.

[0012] US 2006 / 0 066 837 A1 beschreibt die optische Untersuchung von kleinen sich bewegenden Objekten, etwa Zellen. Dabei wird von dem Objekt ausgehendes Licht erfasst und über eine Vielzahl dichroitischer Reflektoren in Anteile zerlegt, die jeweils auf einen entsprechenden Detektor geleitet werden.

ZUSAMMENFASSUNG DER ERFINDUNG

[0013] Verfahren und Systeme für die Durchführung gleichzeitiger spektroskopischer Messungen von Halbleiterstrukturen in einem breiten Bereich von Einfallswinkeln, Azimutwinkeln, oder beides, werden hier präsentiert. Spektren, die zwei oder mehr Unterbereiche von Einfallswinkeln, Azimutwinkeln oder beide umfassen, werden über unterschiedliche Sensorbereiche gleichzeitig bei hohem Durchsatz mit den gleichen Bedingungen der Ausrichtung gemessen. Auf diese Weise werden Maschinenfehler, wie beispielsweise Wellenlängenfehler, in allen gemessenen Wellenlängen einheitlich korrigiert. Das

gesammelte Licht wird über verschiedene lichtempfindliche Bereiche von einem oder mehreren Detektoren gemäß der Wellenlänge für jeden Unterbereich von AOIs, Azimutwinkeln oder beiden linear dispergiert. Jede unterschiedliche lichtempfindliche Fläche ist auf dem einen oder den mehreren Detektoren angeordnet, um eine separate, spektroskopische Messung eines jeden anderen Bereich von AOIs, Azimutwinkeln, oder beides auszuführen. Auf diese Weise kann ein breites Spektrum von AOIs, Azimutwinkeln oder beidem mit einem hohen Signal-Rausch-Verhältnis gleichzeitig erfasst werden. Diese Merkmale, einzeln oder in Kombination, ermöglichen Messungen mit einem hohen Durchsatz von Strukturen mit hohem Aspektverhältnis (z.B. Strukturen mit einer Tiefe von einem Mikrometer oder mehr) mit hohem Durchsatz, Genauigkeit und Präzision.

[0014] In einem Aspekt ist eine Vorrichtung zur Segmentierung und Dispersion der Pupille derart gestaltet, dass ein Bild der Messpupille in zwei oder mehr Pupillensegmente dispergiert wird und die zwei oder mehr Pupillensegmente werden auf einen oder mehrere Detektoren über räumlich getrennte Sensorflächen dispergiert. Jedes Pupillensegment enthält eine Signalinformation, die diskreten Teilbereichen der mehreren Einfallswinkel, der mehreren Azimutwinkel oder einer Kombination davon zugeordnet ist.

[0015] Auf diese Weise werden zwei oder mehrere Winkelsegmente der Messpupille räumlich so dispergiert, dass die gemessenen Spektren, die jedem Winkelsegment zugeordnet sind, voneinander räumlich versetzt sind. Dies erlaubt eine simultane Detektion durch mehrere, verschiedene Detektoren, durch einen Mehrzonendetektor oder eine Kombination davon. Bei diesem Ansatz wird die gesamte Messpupille gleichzeitig abgebildet, wodurch die Beschränkungen der sequenziellen Messungen vermieden werden.

[0016] In einem weiteren Aspekt der Erfindung wird ein Feinfokussensor (FFS) in das Subsystem für die Detektion integriert, um einen Messeingang für eine Fokusfehlerkorrektur während der Messung zu schaffen.

[0017] In einem anderen weiteren Aspekt der Erfindung verwendet das hierin beschriebene Metrologiesystem einen Mehrzonen-Infrarotdetektor, der unterschiedliche Bänder der Empfindlichkeit an verschiedenen Stellen auf einem einzelnen Detektorpaket kombiniert. Der Detektor ist so konfiguriert, dass er ein kontinuierliches Spektrum von Daten mit unterschiedlichen Empfindlichkeiten, je nach Lage des Einfalls, liefert. Gesammeltes Licht wird linear über die Oberfläche des Detektors, entsprechend der Wellenlänge, dispergiert. Jeder unterschiedliche, lichtempfindliche Bereich ist auf dem Detektor ange-

ordnet, um einen anderen Bereich der einfallenden Wellenlängen zu erfassen. Auf diese Weise wird ein breites Spektrum von Infrarot-Wellenlängen mit einem hohen Signal-Rausch-Verhältnis von einem einzigen Detektor erfasst.

[0018] In noch einem weiteren Aspekt der Erfindung ist die Vorrichtung zur Segmentierung und Dispersion der Pupille im Metrologiesystem dynamisch rekonfigurierbar. In einigen Ausführungsformen ist jeder der mehreren Gittersegmente bezüglich der Position der Orientierung, oder beides, beweglich.

[0019] In noch einem weiteren Aspekt der Erfindung, ist die Vorrichtung zur Segmentierung und Dispersion der Pupille im Metrologiesystem auswechselbar. Auf diese Weise kann eine geeignete Vorrichtung zur Segmentierung und Dispersion der Pupille ausgewählt und im Pfad der Sammeloptik für eine bestimmte Messanwendung positioniert werden.

[0020] In noch einem weiteren Aspekt wird die Größe des Beleuchtungsfelds angepasst, um die sich ergebende Messgenauigkeit und Geschwindigkeit in Abhängigkeit von der Art des zu vermessenden Messziels zu optimieren.

[0021] Das Vorstehende ist eine Zusammenfassung und enthält somit notwendigerweise Vereinfachungen, Verallgemeinerungen und Auslassungen von Details. Folglich werden Fachleute auf dem Gebiet erkennen, dass die Zusammenfassung nur illustrativ ist und nicht in irgendeiner Weise als Einschränkung zu verstehen ist. Andere Aspekte, erfindungsgemäße Merkmale und Vorteile der hierin beschriebenen Vorrichtungen und/oder Verfahren werden hier in der nicht einschränkenden detaillierten nachstehenden Beschreibung ersichtlich.

KURZE BESCHREIBUNG DER ZEICHNUNGEN

Fig. 1 zeigt ein beispielhaftes Metrologiesystem 100 zur Durchführung von simultanen spektroskopischen Messungen von Halbleiterstrukturen in einem breiten Bereich von Einfallswinkeln, Azimutwinkeln oder beiden.

Fig. 2 zeigt eine Maske 141 in der Ebene eines Bildes 145 der Messpupille des Metrologiesystems 100.

Fig. 3 zeigt eine Maske 143 in der Ebene eines Bildes 145 der Messpupille des Metrologiesystems 100.

Fig. 4 zeigt eine andere Darstellung der Vorrichtung 150 zur Segmentierung und Dispersion der Pupille und des Subsystems 160 des Detektors aus **Fig. 1**.

Fig. 5 zeigt eine andere Darstellung der Vorrichtung 151 zur Segmentierung und Dispersion der Pupille und des Subsystems 162 des Detektors gemäß einem anderen Ausführungsbeispiel.

Fig. 6 zeigt eine andere Darstellung der Vorrichtung 152 zur Segmentierung und Dispersion der Pupille und des Subsystems 164 des Detektors gemäß einem noch anderen Ausführungsbeispiel.

Fig. 7 zeigt eine Darstellung der Vorrichtung 153 zur Segmentierung und Dispersion der Pupille und des Subsystems 164 des Detektors gemäß einer anderen Ausführungsform.

Fig. 8 zeigt eine Darstellung eines Mehrzonen-Infrarotdetektors 180.

Fig. 9 zeigt typische Lichtempfindlichkeitskurven von vier verfügbaren Indium-Gallium-Arsenid (InGaAs) Sensoren.

Fig. 10 zeigt eine NAND-Struktur 300 mit einem beispielhaften hohen Aspektverhältnis, das von dem geringen Eindringen von Licht in die zu vermessende Struktur herrührt.

Fig. 11 veranschaulicht ein Verfahren 200 zur Ausführung von simultanen spektroskopischen Messungen von einer oder mehreren Strukturen über einen breiten Bereich von Einfallswinkeln, Azimutwinkeln oder einer Kombination aus beiden, gemäß mindestens eines hierin beschriebenen neuen Aspekts.

DETAILLIERTE BESCHREIBUNG

[0022] Es wird nun im Detail auf Beispiele des Standes der Technik und einige Ausführungsformen der Erfindung eingegangen, von denen Beispiele in den beigefügten Zeichnungen dargestellt werden.

[0023] Verfahren und Systeme für die Durchführung von gleichzeitigen spektroskopischen Messungen von Halbleiterstrukturen in einem breiten Bereich von Einfallswinkeln, Azimutwinkel oder beiden, werden hier präsentiert. Spektren, die zwei oder mehr Unterbereiche von Einfallswinkeln, Azimutwinkeln oder beiden umfassen, werden gleichzeitig über unterschiedliche Sensorbereiche bei hohem Durchsatz mit gleicher Ausrichtung gemessen. Auf diese Weise werden Maschinenfehler, wie beispielsweise Wellenlängenfehler in allen gemessenen Wellenlängen einheitlich korrigiert. Gesammeltes Licht wird über verschiedene lichtempfindliche Bereiche von einem oder mehreren Detektoren gemäß der Wellenlänge für jeden Unterbereich von AOIs, Azimutwinkeln oder beiden linear dispergiert. Jede unterschiedliche lichtempfindliche Fläche, die auf dem einen oder den mehreren Detektoren angeordnet sind, führen eine separate spektroskopische Messung eines jeden anderen Bereichs von AOIs, Azi-

mutwinkeln, oder beiden aus. Auf diese Weise kann ein breites Spektrum von AOIs, Azimutwinkeln oder beiden mit einem hohen Signal-Rausch-Verhältnis gleichzeitig erfasst werden. Diese Merkmale ermöglichen einzeln oder in Kombination einen hohen Durchsatz von Messungen von Strukturen mit hohem Aspektverhältnis (z.B. Strukturen mit einer Tiefe von einem Mikrometer oder mehr) mit hohem Durchsatz, Genauigkeit und Präzision.

[0024] Fig. 1 zeigt ein beispielhaftes Metrologiesystem 100 zur Ausführung von simultanen spektroskopischen Messungen von Halbleiterstrukturen in einem breiten Bereich von Einfallswinkeln, Azimutwinkeln oder beiden. In einigen Beispielen umfassen die einen oder mehreren Strukturen mindestens eine Struktur mit hohem Aspektverhältnis (HAR) oder zumindest eine Struktur mit einer großen seitlichen Abmessung. Wie in Fig. 1 dargestellt, ist das Metrologiesystem 100 als spektroskopisches Breitbandellipsometer konfiguriert. Jedoch kann im allgemeinen das Metrologiesystem 100 als ein spektroskopisches Reflektometer, ein Scatterometer, ein Ellipsometer oder einer beliebigen Kombination davon konfiguriert werden.

[0025] Das Metrologiesystem 100 umfasst eine Beleuchtungsquelle 110, die einen Strahl von Beleuchtungslicht 117 erzeugt, der auf den Wafer 120 einfällt. In einigen Ausführungsformen ist die Beleuchtungsquelle 110 eine breitbandige Lichtquelle, die Beleuchtungslicht in ultravioletten, sichtbaren und infraroten Spektren emittiert. In einer Ausführungsform ist die Beleuchtungsquelle 110 eine Lichtquelle aus mittels Laser aufrechterhaltenem Plasma (LSP) (auch bekannt als mittels Laser angetriebene Plasmaquelle). Der Pumplaser der LSP-Lichtquelle kann ein Dauerstrichlaser oder ein gepulster Laser sein. Eine mittels Laser angetriebene Plasmaquelle kann wesentlich mehr Photonen als eine Xenon-Lampe über den gesamten Wellenlängenbereich von 150 Nanometer bis 2000 Nanometer erzeugen. Die Beleuchtungsquelle 110 kann eine einzige Lichtquelle oder eine Kombination aus einer Vielzahl von Breitband oder diskreten Wellenlängen-Lichtquellen sein. Das Licht, das durch die Beleuchtungsquelle 110 erzeugt wird, umfasst ein kontinuierliches Spektrum oder Teile eines kontinuierlichen Spektrums von Ultraviolett bis Infrarot (zum Beispiel Vakuum-Ultraviolett bis mittleres Infrarot). Im Allgemeinen kann die Beleuchtungslichtquelle 110 einen Superkontinuum-Laser, einen Helium-Neon-Laser für infrarotes Licht, eine Bogenlampe, oder jede andere geeignete Lichtquelle umfassen.

[0026] In einem weiteren Aspekt kann die Menge an Beleuchtungslicht ein breitbandiges Beleuchtungslicht sein, das einen Wellenlängenbereich von mindestens 500 Nanometer überspannt. In einem Bei-

spiel umfasst das breitbandige Beleuchtungslicht Wellenlängen unterhalb von 250 Nanometer und Wellenlängen über 750 Nanometer. Im Allgemeinen umfasst das breitbandige Beleuchtungslicht Wellenlängen zwischen 120 Nanometer und 3000 Nanometer. In einigen Ausführungsformen können für das breitbandige Beleuchtungslicht Wellenlängen unterhalb 3000 Nanometer verwendet werden.

[0027] Wie in Fig. 1 dargestellt, umfasst das Metrologiesystem 100 ein Subsystem für die Beleuchtung, das konfiguriert ist, um Beleuchtungslicht 117 auf eine oder mehrere auf dem Wafer 120 ausgebildete Strukturen zu richten. Das dargestellte Subsystem für die Beleuchtung kann die Lichtquelle 110, ein oder mehrere optische Filter 111, eine Polarisationskomponente 112, eine Feldblende 113 und eine Beleuchtungsoptik 115 umfassen. Der eine oder die mehreren optischen Filter 111 werden verwendet, um den Lichtpegel, die spektrale Leistung, oder beides des Subsystems für die Beleuchtung zu steuern. Die Polarisationskomponente 112 erzeugt den gewünschten Polarisationszustand am Austritt aus dem Subsystem für die Beleuchtung. In einigen Ausführungsformen kann die Polarisationskomponente ein Polarisator, ein Kompensator oder beides sein und kann jede beliebige und kommerziell verfügbare polarisierende Komponente umfassen. Die Polarisationskomponente kann fest, rotierbar zwischen festen Positionen oder kontinuierlich rotierbar ausgebildet sein. Obwohl das Subsystem für die Beleuchtung, wie in Fig. 1 dargestellt, eine Polarisationskomponente enthält, kann das Subsystem für die Beleuchtung mehr als eine Polarisationskomponente umfassen. Die Feldblende 113 steuert das Sichtfeld (FOV) des Subsystems für die Beleuchtung und kann jede geeignete, im Handel verfügbare Feldblende umfassen. Die Aperturblende 114 steuert die numerische Apertur (NA) des Subsystems für die Beleuchtung und kann jede geeignete im Handel erhältliche Aperturblende umfassen. Das Licht von der Beleuchtungsquelle 110 wird durch eine Beleuchtungsoptik 115 geleitet, um auf eine oder mehrere Strukturen auf dem Wafer 120 fokussiert zu werden (nicht in Fig. 1 gezeigt). Das Subsystem für die Beleuchtung kann jede Art und Anordnung von optischen Filtern 111, der Feldblende 113, der Aperturblende 114 und der Beleuchtungsoptik 115 umfassen, wie sie aus dem Stand der Technik der spektroskopischen Ellipsometrie, der Reflektometrie und Scatterometrie bekannt sind.

[0028] Wie in Fig. 1 dargestellt, durchläuft der Strahl des Beleuchtungslichts 117 mindestens einen optischen Filter 111, die Polarisationskomponente 112, die Feldblende 113, die Aperturblende 114 und die Beleuchtungsoptik 115, während sich der Strahl von der Beleuchtungsquelle 110 zum Wafer 120 hin ausbreitet. Der Strahl 117 beleuchtet über einen Messfleck 116 einen Teil des Wafers 120.

[0029] In einigen Beispielen ist die Strahlgröße der Menge des Beleuchtungslichts 117, das auf die Oberfläche des Wafers 120 projiziert wird, kleiner als eine Größe eines Messziels, das auf der Oberfläche der Probe gemessen wird. Beispielhafte Strahlformungstechniken sind im Detail in der US-Patentanmeldung US 2013/0114085 von Wang et al. beschrieben.

[0030] Das Metrologiesystem 100 umfasst auch ein Subsystem für die Sammeloptik, das konfiguriert ist, um Licht, das durch die Wechselwirkung zwischen der einen oder mehreren Strukturen und dem einfallenden Beleuchtungsstrahl 117 erzeugt wird, zu sammeln. Ein Strahl 127 des gesammelten Lichts wird vom Messfleck 116 durch eine Sammeloptik 122 gesammelt. Das gesammelte Licht 127 tritt für die Sammlung durch die Aperturblende 123, das polarisierende Element 124 und die Feldblende 125 in das Subsystem für die Sammeloptik ein.

[0031] Die Sammeloptik 122 umfasst jedes geeignete optische Element, um Licht von dem einen oder den mehreren Strukturen auf dem Wafer 120 zu sammeln. Die Aperturblende 123 für die Sammlung steuert die NA des Subsystems für die Sammeloptik. Das Polarisationselement 124 analysiert den gewünschten Polarisationszustand. Das polarisierende Element 124 ist ein Polarisator oder ein Kompensator. Das polarisierende Element 124 kann fest, rotierbar an verschiedenen festen Positionen oder kontinuierlich drehbar befestigt sein. Obwohl das in **Fig. 1** dargestellte Subsystem für die Sammlung ein Polarisationselement enthält, kann das Subsystem mehr als ein Polarisationselement umfassen. Die Feldblende 125 für die Sammlung steuert das FOV des Subsystems für die Sammlung. Das Subsystem für die Sammlung nimmt Licht vom Wafer 120 und lenkt das Licht durch die Sammeloptik 122 und das polarisierende Element 124, um auf die Feldblende 125 fokussiert zu werden. In einigen Ausführungsformen wird die Feldblende 125 für die Sammlung als Schlitz des Spektrometers für das Spektrometer des Subsystems für die Detektion verwendet. Jedoch kann die Feldblende 125 für die Sammlung an oder nahe des Schlitzes 126 des Spektrometers des Subsystems für die Detektion angeordnet sein.

[0032] Das Subsystem für die Sammlung kann eine beliebige Art und Anordnung der Sammeloptik 122, der Aperturblende 123, des polarisierenden Elements 124 und der Feldblende 125 enthalten, wie sie aus dem Stand der Technik der spektroskopischen Ellipsometrie, der Reflektometrie und der Scatterometrie bekannt sind

[0033] In der in **Fig. 1** dargestellten Ausführungsform richtet das Subsystem für die Sammeloptik das Licht zu einem oder mehreren Spektrometern des Subsystems für die Detektion. Das Subsystem

für die Detektion erzeugt eine Ausgabe, die eine Antwort auf das von der einen oder den mehreren Strukturen gesammelte Licht ist, das durch das Subsystem für die Beleuchtung beleuchtet wurde.

[0034] Wie in **Fig. 1** dargestellt, ist die Z-Achse senkrecht zur Oberfläche des Wafers 120 orientiert. Die X- und Y-Achsen sind koplanar mit der Oberfläche des Wafers 120 ausgerichtet und somit senkrecht zur Z-Achse. In ähnlicher Weise sind die X' und Y' Achsen koplanar mit der Oberfläche des Wafers 120 und damit senkrecht zur Z-Achse. Die X' und Y' Achsen sind in Bezug auf die X und Y-Achsen durch einen Azimutwinkel AZ gedreht. Der Azimutwinkel spezifiziert die Ausrichtung der Lichtabgabe an den Wafer 120 um die Z-Achse. Der Hauptstrahl 118 des Strahls des Beleuchtungslichts 117 und der Hauptstrahl 121 des Strahls des gesammelten Lichts 127 definieren eine Ebene des Einfalls. Die X'-Achse ist mit der Einfallsebene ausgerichtet und die Y'-Achse ist orthogonal zu der Einfallsebene. Auf diese Weise liegt die Einfallsebene in der X'Z'-Ebene. Der Strahl Beleuchtungslicht 117 trifft auf die Oberfläche des Wafers 120 in einem Einfallswinkel α in Bezug auf die Z-Achse auf und liegt innerhalb der Einfallsebene.

[0035] In einem Aspekt der Erfindung ist eine Vorrichtung zur Segmentierung und Dispersion der Pupille derart konfiguriert, dass ein Bild der Messpupille in zwei oder mehr Pupillensegmente segmentiert und die zwei oder mehr Pupillensegmente auf einen oder mehrere Detektoren über räumlich getrennte Sensorflächen dispergiert werden. Jedes Pupillensegment umfasst ein Informationssignal, das den unterschiedlichen Teilbereichen der mehreren Einfallswinkel, der mehreren Azimutwinkel oder einer Kombination davon zugeordnet ist. In einigen Ausführungsformen wird die Vorrichtung zur Segmentierung und Dispersion der Pupille an oder nahe an einer Aperturblende des Metrologiesystem oder an oder in der Nähe einer Konjugierten einer Aperturblende des Metrologiesystems angeordnet.

[0036] Auf diese Weise können zwei oder mehrere Winkelsegmente in der Messpupille räumlich dispergiert werden, so dass die gemessenen Spektren, die jedem Winkelsegment zugeordnet sind, voneinander räumlich versetzt sind. Dies erlaubt die gleichzeitige Detektion durch mehrere, verschiedene Detektoren, einen Mehrzonendetektor oder eine Kombination davon. Bei diesem Ansatz wird die gesamte Messpupille gleichzeitig abgebildet; somit werden die Beschränkungen der sequenziellen Messungen vermieden.

[0037] Die Messpupille (d.h. Sammelpupille) wird typischerweise an oder nahe der Sammellinse 122 angebracht. Die Messpupille umfasst den vollen Bereich von Winkeln, die von dem Wafer 120 reflek-

tiert werden. Das gesamte Spektrum der Winkel hängt von der NA des optischen Designs ab, aber es könnte von sehr klein (z.B. kollimiert) bis sehr groß (z.B. größer als fünf Grad) variiert werden. Wenn das gesamte reflektierte Licht über einen vollen Bereich von Winkeln in einem gemessenen Spektrum aggregiert wird, leidet das gemessene Signal typischerweise an dem Verlust von Genauigkeit, weil zu viele Winkel im Messsignal integriert sind. Früher war es üblich, den Winkelbereich bestimmter gemessener Spektren auf wenige Grad um einen Nenneinfallswinkel unter der Berücksichtigung einer bestimmten Messung zu begrenzen.

[0038] Wie hier beschrieben, wird ein Bild der Messpupille bezüglich Winkel und Wellenlänge separiert, um gleichzeitig mehrere Spektren zu erzeugen, wobei jedes Segment einem anderen Sollwinkel und einem Unterbereich von Winkeln um den Sollwinkel entspricht. Die erzeugten Spektren sind räumlich voneinander getrennt und werden separat durch einen oder mehrere Detektoren (wie beispielsweise separate Detektoren, einen Mehrzonen-Detektor oder eine Kombination davon) detektiert.

[0039] In der in **Fig. 1** dargestellten Ausführungsform, tritt das gesammelte Licht 127 durch einen Schlitz 126 des Spektrometers und fällt auf die Pupille der Vorrichtung 150 zur Segmentierung und Dispergierung. In dem Ausführungsbeispiel in **Fig. 1** umfasst die Vorrichtung 150 zur Segmentierung und Dispergierung der Pupille mehrere Reflexionsgitter. Jedes Reflexionsgitter ist in einem anderen Winkel in Bezug zueinander angeordnet. Licht, das von jedem Gitter in Richtung des Subsystems 160 zur Detektion dispergiert wird, ist räumlich auf der Oberfläche des Subsystems 160 zur Detektion räumlich getrennt.

[0040] **Fig. 2** zeigt ein Bild 145 der Messpupille des Metrologiesystems 100. Wie in **Fig. 2** dargestellt ist, enthält das Bild 145 der Messpupille die Information der Einfallswinkel, die über eine Richtung des Bildes verteilt ist, und enthält Information zum Azimutwinkel über eine andere Richtung des Bildes. **Fig. 2** zeigt auch eine Maske 141 in der Ebene des Bildes der Messpupille 145. Wie in **Fig. 2** gezeigt ist, verdeckt die Maske 141 Teile des Bildes, wobei drei Pupillensegmente 142A-C für die Transmission zur Verfügung stehen. Jedes dieser Pupillensegmente enthält die gleiche Information zum Azimutwinkel, aber unterschiedliche Information zum Einfallswinkel. Auf diese Weise unterteilt die Maske 141 das Bild der Messpupille 145 in verschiedene Segmente, die jeweils unterschiedlichen Bereichen von Einfallswinkeln zugeordnet sind.

[0041] **Fig. 3** zeigt eine andere Darstellung des Bildes 145 der Messpupille des Metrologiesystems 100. Wie in **Fig. 3** dargestellt ist, umfasst das Bild

145 der Messpupille Information zum Einfallswinkel, die über eine Richtung des Bildes verteilt ist und die Information zum Azimutwinkel ist in einer anderen Richtung des Bildes verteilt. **Fig. 3** zeigt eine Maske 143 in der Ebene des Bildes 145 der Messpupille. Wie in **Fig. 3** dargestellt, verdeckt die Maske 143 Teile des Bildes, wobei drei Pupillensegmente 144A-C für die Transmission verfügbar sind. Jedes dieser Pupillensegmente enthält die gleiche AOI Information, aber unterschiedliche Information zum Azimutwinkel. Auf dieser Weise unterteilt die Maske 143 das Bild der Messpupille 145 in verschiedene Segmente, die jeweils unterschiedlichen Bereichen des Azimutwinkels zugeordnet sind.

[0042] Die dargestellten Bilder der Messpupille 145 sind in drei Segmente unterteilt. Aber im Allgemeinen kann eine beliebige Anzahl von verschiedenen Segmenten im Rahmen dieser Patentschrift in Betracht gezogen werden. Ferner zeigen die **Fig. 2** und **3** Beispiele der Segmentierung entlang der Richtungen des AOI und Azimutwinkels. Jedoch kann im Allgemeinen die Segmentierung der Messpupille entlang einer beliebigen Richtung in der Bildebene der Messpupille im Rahmen dieser Patentanmeldung in Betracht gezogen werden. Auf diese Weise kann jedes Segment unterschiedliche Information bezüglich AOI und Azimutwinkel umfassen. In einem Beispiel können beide Masken 141 und 143 in der Bildebene verwendet werden, um die Messpupille in neun verschiedenen Segmente zu unterteilen, die jeweils unterschiedliche Information bezüglich AOI und Azimutwinkel enthalten. In einem anderen Beispiel, kann die Maske 141 oder die Maske 143 innerhalb der Bildebene rotiert werden, um unterschiedliche Streifen der Information bezüglich AOI und Azimutwinkel zu enthalten.

[0043] Die **Fig. 2** und **3** zeigen Darstellungen einer Maske in einer Bildebene der Messpupille des Metrologiesystems 100, die sich vor der Pupille der Vorrichtung zur Segmentierung und Dispergierung befindet. Die Maske definiert Segmente der Winkelinformation für die getrennte und gleichzeitige Messung. Eine solche Maske kann vorteilhaft sein, um genaue Unterteilungen der Messpupille vor dem Auftreffen auf der Pupille in der Vorrichtung zur Segmentierung und Dispergierung zu ermöglichen. Im Allgemeinen erfordern jedoch die hierin beschriebenen Techniken der Segmentierung und Dispergierung der Pupille nicht, da eine Maske sich in einer Bildebene der Messpupille befindet. Wenn eine Maske nicht verwendet wird, wird die Vorrichtung zur Segmentierung und Dispergierung die Messpupille segmentieren, indem verschiedene Abschnitte des ankommenden Strahls zu verschiedenen Bereichen des Subsystems der Detektoren auf Basis der Position des Einfalls des gesammelten Strahls auf die Vorrichtung zur Segmentierung und Dispergierung geleitet werden. Als solche kann die Vorrichtung zur

Segmentierung und Dispergierung der Pupille in jeder geeigneten Art und Weise angeordnet werden, um die Messpupille in der gewünschten Weise zu segmentieren.

[0044] Fig. 4 zeigt eine andere Darstellung der Vorrichtung 150 zur Segmentierung und Dispergierung der Pupille und das in Fig. 1 dargestellte Subsystem 160 zur Detektion. Wie in Fig. 4 gezeigt, ist die Vorrichtung 150 zur Segmentierung und Dispergierung der Pupille an oder in der Nähe einer Bildebene 140 der Messpupille des Metrologiesystems 100 angeordnet. Bei Bildebene 140 umfasst der gesammelte Strahl 127 Information zum Azimutwinkel, die in der einen Richtung dispergiert ist und Information zum Einfallswinkel, die in einer anderen Richtung dispergiert ist. Die Vorrichtung 150 zur Segmentierung und Dispergierung der Pupille weist drei Reflexionsgittersegmente 150A-C auf. Wie in Fig. 4 dargestellt, umfasst der Teil des gesammelten Licht 127, das auf jedes Segment einfällt, die gleiche Information zum Azimutwinkel, aber unterschiedliche Information zum Einfallswinkel. In dieser Ausführungsform entsprechen die drei Reflexionsgittersegmente den drei Pupillenbildsegmenten aus Fig. 2. Durch die Anordnung der Vorrichtung zur Segmentierung und Dispergierung der Pupille bei oder in der Nähe einer Bildebene der Messpupille, werden die Pupillensegmente, die verschiedene Winkelinformationen besitzen, räumlich unterschieden und separat auf verschiedene Sensorflächen eines Subsystems zur Detektion dispergiert.

[0045] Bei der in Fig. 4 dargestellten Ausführungsform ist jedes Segment des Reflexionsgitters unter einem anderen Winkel in Bezug zueinander orientiert. Zum Beispiel ist das Segment 150B des Reflexionsgitters in der Bildebene 140 orientiert, das Segment 150A des Reflexionsgitters ist in einem Winkel Θ_2 in Bezug auf die Bildebene 140 orientiert, und das Reflexionsgittersegment 150C ist in einem Winkel Θ_1 in Bezug auf Bildebene 140 orientiert. Wie in Fig. 4 dargestellt, verursachen die unterschiedlichen Orientierungen, dass jedes Segment das einfallende Licht in eine andere Richtung dispergiert.

[0046] In der Ausführungsform der Fig. 4, ist das Segment 150C des Reflexionsgitters um einen Winkel Θ_1 um eine Achse A1 gekippt, die innerhalb der Bildebene 140 liegt, und sich in eine Richtung erstreckt, die parallel zur Blaze-Richtung der Gitterstrukturen der Segmente 150A-C des Reflexionsgitters ist. In ähnlicher Weise wird das Segment 150A des Reflexionsgitters durch den Winkel Θ_2 um die Achse A2 geneigt, die innerhalb der Bildebene 140 liegt und sich in eine Richtung parallel zur Blaze-Richtung der Gitterstrukturen der Segmente 150A-C des Reflexionsgitters erstreckt. In dieser Konfiguration wird das gemessene Spektrum 161A von 150A des Reflexionsgitters dispergiert, so dass es auf den

Detektor 160A fällt. Das gemessene Spektrum 161B wird durch das Segment 150B des Reflexionsgitters dispergiert, so dass es auf den Detektor 160B fällt. Das gemessene Spektrum 161C wird durch das Segment 150C des Reflexionsgitters dispergiert, so dass es auf den Detektor 160C fällt. Wie in Fig. 4 dargestellt ist, enthält das Subsystem 160 zur Detektion drei Detektoren 160A-C, wobei jeder auf den jeweils anderen in einer Richtung orthogonal zu der Richtung der Dispersion der Wellenlänge angeordnet ist. Die Größe der Winkel Θ_1 und Θ_2 bestimmen die Größe der räumlichen Verschiebung an den Detektoren.

[0047] Die beugenden Gitter der Vorrichtung 150 zur Segmentierung und Dispergierung der Pupille dispergieren linear das in erster Ordnung gebeugte Licht gemäß der Wellenlänge entlang einer Dimension eines jeden der jeweiligen zweidimensionalen Detektoren (d.h. die Richtung der in Fig. 4 dargestellten Wellenlängendispersion für jeden der jeweiligen Detektoren). Jedes Segment des Beugungsgitters bewirkt eine räumliche Trennung zwischen zwei unterschiedlichen Wellenlängen des Lichts, das auf die Oberfläche jedes entsprechenden Detektors entlang der Richtung der Wellenlängendispersion projiziert wird.

[0048] In einem Beispiel sind die Detektoren des Subsystems 160 zur Detektion ladungsgekoppelte Bauelemente (CCD), die für ultraviolettes und sichtbares Licht (beispielsweise für Licht mit Wellenlängen zwischen 190 Nanometer und 860 Nanometer) empfindlich sind: In anderen Beispielen können ein oder mehrere der Detektoren des Subsystems 160 zur Detektion als ein Photodetektorarray (PDA) ausgebildet sein, das für Infrarotlicht (zum Beispiel Licht mit Wellenlängen zwischen 950 Nanometer und 2500 Nanometer) empfindlich ist. Jedoch können in der Regel andere zweidimensionale Detektortechnologien in Betracht gezogen werden (beispielsweise ein positionsempfindlicher Detektor (PSD), ein Infrarotdetektor, ein Photovoltaikdetektor, etc.). Jeder Detektor wandelt das einfallende Licht in elektrische Signale, die für spektrale Intensität des einfallenden Lichts bezeichnend sind. Im Allgemeinen erzeugen Detektoren des Subsystems 160 Ausgangssignale 170 für Licht, das gleichzeitig mit jedem Detektor des Subsystems 160 zur Detektion detektiert wurde.

[0049] Wie in Fig. 1 dargestellt, ist das Subsystem zur Detektion so angeordnet, dass sich das gesammelte Licht gleichzeitig zu allen Detektoren des Metrologiesystems 100 ausbreitet. Das Metrologiesystem 100 umfasst auch ein Computersystem 130, das konfiguriert ist, um detektierte Signale 170 zu empfangen und eine Abschätzung eines Wertes eines Parameters von Interesse 171 der gemessenen Struktur/Strukturen auf Basis der gemessenen Signale zu bestimmen. Durch das gleichzeitige Sam-

meln der Spektren, die unterschiedlichen Winkeldaten zugeordnet sind, werden die Messzeiten reduziert und alle Spektren sind mit den gleichen Bedingungen der Ausrichtung gemessen worden. Dies ermöglicht es, dass Wellenlängenfehler leichter korrigiert werden können, da eine gemeinsame Korrektur auf alle spektralen Datensätzen angewendet werden kann.

[0050] Fig. 5 zeigt eine Darstellung einer Vorrichtung 151 zur Segmentierung und Dispergierung der Pupille und ein Subsystem 162 zur Detektion bei einem anderen Ausführungsbeispiel. Wie in Fig. 5 dargestellt ist, ist die Vorrichtung 151 zur Segmentierung und Dispergierung der Pupille an oder nahe einer Bildebene 140 der Messpupille des Metrologiesystems 100 angeordnet. Bei dieser Ausführungsform umfasst die Vorrichtung 151 zur Segmentierung und Dispergierung der Pupille drei Segmente 151A-C eines Reflexionsgitters. Wie in Fig. 5 dargestellt, umfasst der Teil des gesammelten Lichts 127, der auf jedes Segment einfällt, die gleiche Information zum Azimutwinkel, aber eine unterschiedliche Information zum Einfallswinkel. In dieser Ausführungsform entsprechen die drei Segmente des Reflexionsgitters den drei Segmenten des Pupillenbilds aus Fig. 2.

[0051] In der in Fig. 5 dargestellten Ausführungsform ist jedes Segment des Reflexionsgitters in einem anderen Winkel in Bezug zueinander ausgerichtet. Zum Beispiel ist das Segment 151B des Reflexionsgitters in der Bildebene 140 ausgerichtet. Das Segment 151A des Reflexionsgitters ist unter einem Winkel $\Phi 1$ in Bezug auf die Bildebene 140 orientiert. Das Segment 151C des Reflexionsgitters ist unter einem Winkel $\Phi 2$, in Bezug auf die Bildebene 140 orientiert. Wie in Fig. 5 dargestellt ist, verursachen die unterschiedlichen Orientierungen eines jeden Segments, dass das einfallende Licht in eine andere Richtung dispergiert wird.

[0052] In der in Fig. 5 dargestellten Ausführungsform, ist das Segment 151C des Reflexionsgitters um einen Winkel $\Phi 2$ um die Achse B geneigt, die innerhalb der Bildebene 140 liegt und sich in einer Richtung senkrecht zur Blaze-Richtung der Gitterstrukturen der Segmente 151A-C des Reflexionsgitters erstreckt. In ähnlicher Weise ist das Segment 151A des Reflexionsgitters um einen Winkel $\Phi 2$ gegenüber der Achse B geneigt. In dieser Konfiguration fällt das durch das Segment 151A des Reflexionsgitters dispergierte Spektrum 163A auf den Detektor 162A. Das durch das Segment 151B des Reflexionsgitters dispergierte Spektrum 163B fällt auf den Detektor 162B. Das durch das Segment 151C des Reflexionsgitters dispergierte Spektrum 163C fällt auf den Detektor 162C. Wie in Fig. 5 dargestellt ist, umfasst das Subsystem 162 zur Detektion drei Detektoren 162A-C, die jeweils benachbart zueinander und parallel zur Richtung der Dispersion

der Wellenlängen angeordnet sind. Die Größe der Winkel $\Phi 1$ und $\Phi 2$ bestimmt die Größe der räumlichen Verschiebung auf den Detektoren.

[0053] Fig. 6 zeigt eine Darstellung einer Vorrichtung 152 zur Segmentierung und Dispergierung der Pupille und ein Subsystem 164 zur Detektion in einer weiteren Ausführungsform der Erfindung. Wie in Fig. 6 dargestellt ist, ist die Vorrichtung 152 zur Segmentierung und Dispergierung der Pupille an oder nahe einer Bildebene 140 des Metrologiesystems 100 angeordnet. Bei dieser Ausführungsform umfasst die Vorrichtung 152 zur Segmentierung und Dispergierung der Pupille drei Segmente 152A-C eines Reflexionsgitters. Wie in Fig. 6 dargestellt ist, umfasst der Teil des gesammelten Lichts 127, der auf jedes Segment fällt, die gleiche Information des Einfallswinkels, aber unterschiedliche Information zum Azimutwinkel. In dieser Ausführungsform entsprechen die drei Segmente des Reflexionsgitters den drei Segmenten des Pupillenbilds aus Fig. 3.

[0054] In der in Fig. 6 dargestellten Ausführungsform ist jedes Segment des Reflexionsgitters in einem anderen Winkel in Bezug zueinander orientiert. Zum Beispiel ist das Segment 152B des Reflexionsgitters in der Bildebene 140 orientiert. Das Segment 152A des Reflexionsgitters ist in einem Winkel $\alpha 1$ in Bezug auf die Bildebene 140 orientiert. Das Segment 152C des Reflexionsgitters ist in einem Winkel $\alpha 2$ in Bezug auf die Bildebene 140 orientiert. Wie in Fig. 6 dargestellt ist, verursachen die verschiedenen Orientierungen, dass jedes Segment das einfallende Licht in eine andere Richtung dispergiert.

[0055] In der in Fig. 6 dargestellten Ausführungsform, ist das Segment 152C des Reflexionsgitters um einen Winkel $\alpha 2$ um die Achse C2 geneigt, wobei die Achse innerhalb der Bildebene 140 liegt und sich in eine Richtung parallel zur der Blaze-Richtung der Gitterstrukturen der Segmente 152A-C des Reflexionsgitters erstreckt. In ähnlicher Weise ist das Segment 152A des Reflexionsgitters durch den Winkel $\alpha 1$ um die Achse C1 geneigt. In dieser Konfiguration wird das gemessene Spektrum 165A des Reflexionsgitters durch das Segment 152A des Reflexionsgitters dispergiert und fällt auf den Detektor 164A. Das gemessene Spektrum 165B wird durch das Segment 152B des Reflexionsgitters dispergiert und fällt auf den Detektor 164B. Das gemessene Spektrum 165C wird durch das Segment 152C des Reflexionsgitters dispergiert und fällt auf den Detektor 164C. Wie in Fig. 6 dargestellt, umfasst das Subsystem 164 zur Detektion drei Detektoren 164A-C, die jeweils benachbart zueinander und parallel zur Richtung der Dispersion der Wellenlängen angeordnet sind. Die Größe des Winkels $\alpha 1$ und $\alpha 2$ bestimmt die Größe der räumlichen Verschiebung an den Detektoren.

[0056] Fig. 7 zeigt eine Darstellung einer Vorrichtung 153 zur Segmentierung und Dispergierung einer Pupille und das Subsystem 166 der Detektion in einer weiteren Ausführungsform. Wie in Fig. 7 dargestellt ist, ist die Vorrichtung 153 zur Segmentierung und Dispergierung einer Pupille an oder nahe einer Bildebene 140 des Metrologiesystems 100 angeordnet. Bei dieser Ausführungsform umfasst die Vorrichtung 153 zur Segmentierung und Dispergierung einer Pupille drei Segmente 153A-C eines Reflektionsgitters. Wie in Fig. 7 dargestellt ist, umfasst der Teil des auf jedes Segment einfallenden und gesammelten Lichts 127 die gleiche Information zum Einfallswinkel, aber eine unterschiedliche Information zum Azimutwinkel. In dieser Ausführungsform entsprechen die drei Segmente des Reflektionsgitters den drei in Fig. 3 dargestellten Segmenten des Bildes der Pupille.

[0057] In der in Fig. 7 dargestellten Ausführungsform ist jedes Segment des Reflektionsgitters in einem anderen Winkel in Bezug zueinander ausgerichtet. Zum Beispiel ist das Segment 153B des Reflektionsgitters in der Bildebene 140 orientiert. Das Segment 153A des Reflektionsgitters ist in Bezug auf die Bildebene 140 unter einen Winkel β_2 ausgerichtet. Das Segment 153C des Reflektionsgitters ist unter einen Winkel β_1 in Bezug auf die Bildebene 140 orientiert. Wie in Fig. 7 dargestellt, verursachen unterschiedlichen Orientierungen, dass jedes Segment das einfallende Licht in eine andere Richtung dispergiert.

[0058] In der in Fig. 7 dargestellten Ausführungsform ist das Segment 153C des Reflektionsgitters um einen Winkel β_1 um die Achse D geneigt, die innerhalb der Bildebene 140 liegt und sich in eine Richtung senkrecht zur Blaze-Richtung der Gitterstrukturen der Segmente 153A-C der Reflektionsgitter erstreckt. In ähnlicher Weise ist das Segment 153A des Reflektionsgitters um einen Winkel β_1 gegenüber der Achse D geneigt. Bei dieser Konfiguration wird das gemessene Spektrum 167A durch Segmente 153A des Reflektionsgitters dispergiert und fällt auf den Detektor 166A. Das gemessene Spektrum 167B wird durch das Segment 153B des Reflektionsgitters dispergiert und fällt auf den Detektor 166B. Das gemessene Spektrum 167C wird durch das Segment 153C des Reflektionsgitters dispergiert und trifft auf den Detektor 166C. Wie in Fig. 7 dargestellt umfasst das Subsystem 166 zur Detektion drei Detektoren 166A-C, die jeweils benachbart zueinander, senkrecht zur Richtung der Dispersion der Wellenlängen angeordnet sind. Die Größe der Winkel β_1 und β_2 bestimmt die Größe der räumlichen Verschiebung an den Detektoren.

[0059] In den Ausführungsformen, die mit Bezug auf die Fig. 4-7 beschrieben worden sind, sind die Detektorelemente jedes entsprechenden Subsys-

tems zur Detektion separate Detektoren, die in einer gestapelten Anordnung angeordnet sind (beispielsweise übereinander oder jeweils Ende an Ende grenzend). Aber im Allgemeinen können die Detektorelemente in jeder geeigneten Weise angeordnet werden, um dispergiertes Licht von jedem entsprechenden Pupillensegment zu empfangen, das durch die Vorrichtung zur Segmentierung und Dispergierung der Pupille erzeugt wurde. Darüber hinaus werden in einigen Ausführungsformen mehrere Detektorelemente konfiguriert, um Licht von einem bestimmten Pupillensegment über verschiedene Wellenlängenbänder zu erhalten. In einer Ausführungsform wird ein gemessenes Spektrum, das von einem bestimmten Pupillensegment dispergiert wurde, durch eine ladungsgekoppelte Vorrichtung (CCD-Sensor) in einem Wellenlängenband erfasst, das ultraviolette Wellenlänge beinhaltet und von einem Photodetektorarray (PDA) in einem Wellenlängenband erfasst, das Infrarot-Wellenlängen umfasst. Im Allgemeinen kann jede beliebig geeignete Kombination von Detektorelementen verwendet werden, um ein gemessenes Spektrum zu detektieren, das von einem bestimmten Pupillensegment durch die Vorrichtung zur Segmentierung und Dispergierung dispergiert wird.

[0060] In einigen Ausführungsformen kann ein Subsystem zur Detektion einen Mehrzonen-Infrarot-Detektor umfassen, der die Bänder unterschiedlicher Empfindlichkeit an verschiedenen Stellen auf einem einzelnen Detektorpaket kombiniert. Der Detektor ist so konfiguriert, dass er ein kontinuierliches Spektrum von Daten bei verschiedenen Empfindlichkeiten liefert, was vom Ort des Einfalls abhängig ist.

[0061] Fig. 9 veranschaulicht typische Lichtempfindlichkeitskurven der verfügbaren Indiumgalliumarsenid (InGaAs)-Sensoren. Wie in Fig. 9 dargestellt ist, ist kein einziger Sensor der verfügbaren InGaAs-Sensoren in der Lage, über einen Wellenlängenbereich von 1 Mikrometer bis 2,5 Mikrometer eine ausreichende Lichtempfindlichkeit bereitzustellen. So sind die individuell verfügbaren Sensoren nur geeignet, einen schmalen Wellenlängenbereich zu detektieren.

[0062] In einem Aspekt der Erfindung sind mehrere Sensorchips vorgesehen, die jeweils in einem anderen Wellenlängenbereich empfindlich sind und zu einem einzigen Detektorpaket kombiniert sind. Wiederum ist dieser Mehrzonen-Detektor in dem hier beschriebenen Metrologiesystem implementiert.

[0063] Fig. 8 zeigt vier Sensorchips 180A-D, die aus vier verschiedenen Wellenlängenbereichen herrühren, um einen Mehrzonen-Infrarot-Detektor 180 zu schaffen. Die vier Sensorchips umfassen unterschiedliche Materialzusammensetzungen, die jeweils eine unterschiedliche Eigenschaft bezüglich

der Lichtempfindlichkeit aufweisen. Wie in **Fig. 9** dargestellt, weist der Sensorchip 180A eine hohe Empfindlichkeit über einen Wellenbereich A, der Sensorchip 180B weist eine hohe Empfindlichkeit über einen Wellenbereich B, der Sensorchip 180C weist eine hohe Empfindlichkeit über einen Wellenbereich C, und die Sensor-Chip 180D weist eine hohe Empfindlichkeit über einen Wellenbereich D auf. Ein Metrologiesystem, das den Detektor 180 umfasst, ist so konfiguriert, dass es Wellenlängen im Wellenlängenband A auf dem Sensor-Chip 180A dispergiert, Wellenlängen im Wellenlängenbereich B auf dem Sensor-Chip 180B dispergiert, Wellenlängen im Wellenbereich C werden auf den Sensorchip 180C dispergiert, und Wellenlängen im Wellenbereich D werden auf dem Sensorchip 180D dispergiert. Auf diese Weise wird eine hohe Lichtempfindlichkeit (d.h. hohe SNR) über den gesamten Wellenlängenbereich erreicht, der die Wellenlängenbänder A-D der einzelnen Detektoren enthält.

[0064] In einigen Beispielen umfasst ein Mehrzonen-Detektor InGaAs-Sensoren mit einer Empfindlichkeit gegenüber unterschiedlichen Spektralbereichen, die in einem einzigen Sensorkpaket zusammengefügt sind, um ein einziges, zusammenhängendes Spektrum zu erzeugen, das mit Wellenlängen von 750 Nanometer bis 3.000 Nanometer oder darüber hinaus Spektralbereiche abdeckt.

[0065] Im Allgemeinen kann jede Anzahl von einzelnen Sensoren entlang der Richtung der Dispersion der Wellenlängen zu einem Mehrzonen-Detektor zusammengebaut werden, so dass ein zusammenhängendes Spektrum möglicherweise von dem Detektor geliefert wird. Jedoch werden typischerweise zwei bis vier Einzelsensoren in einem Mehrzonen-Detektor, wie beispielsweise Detektor 180, verwendet.

[0066] Die Ausführungsformen einer Pupillensegmentierung und der Vorrichtung zur Dispersion, wie in den **Fig. 4-7** dargestellt, sind durch ein nicht einschränkendes Beispiel bereitgestellt. Obwohl die dargestellten Ausführungsformen drei verschiedene Segmente der Reflexionsgitter umfassen, kann im Allgemeinen eine beliebige Anzahl von unterschiedlichen Segmenten, die größer als eins ist, ins Auge gefasst werden, und liegt dabei immer noch im Schutzbereich dieser Patentanmeldung. Zusätzlich kann der Orientierungswinkel zwischen jedem Gitter und der Bildebene der Messpupillen der gleiche sein wie für alle Gitterelemente, oder er kann auch verschieden sein. Auf diese Weise werden die Neigungswinkel konfiguriert, um die gewünschte Trennung zwischen den gleichzeitig gemessenen Spektren zu erzielen. In einigen Ausführungsformen werden die Pupillensegmente in Bezug auf eine Achse parallel zur Blaze-Richtung und auch in

Bezug auf eine Achse senkrecht zur Blaze-Richtung geneigt.

[0067] Des Weiteren sind die Form und Anordnung der verschiedenen Segmente nicht auf die in den **Fig. 4-7** vorgesehenen Darstellungen beschränkt. Eine beliebige Anzahl von verschiedenen Formen und Anordnung der Segmente können im Rahmen dieser Patentanmeldung in Betracht gezogen werden. In einigen Beispielen sind die Segmente so angeordnet, dass jedes Segment unterschiedliche Informationen zum AOI und Informationen zum Azimutwinkel enthält. In einem Beispiel wird eine zweidimensionale Anordnung von Gittersegmenten quer über der Messpupille angeordnet. In einem anderen Beispiel kann ein eindimensionales oder zweidimensionales Array von Gittersegmenten in einem schrägen Winkel in Bezug auf eine Ausbreitungsrichtung des Einfallswinkels oder Azimutwinkels in der Messpupille ausgerichtet sein. In einem Beispiel ist ein eindimensionales Array von Gittersegmenten diagonal durch die Messpupille orientiert, um Information zum Winkel in einer gewünschten Weise mischen zu können.

[0068] Obwohl die dargestellten Ausführungsformen reflektierende Gittersegmente umfassen, können andere Dispersionselemente im Umfang dieser Patentanmeldung in Betracht gezogen werden. In einigen Ausführungsformen werden durchlässige Gitterelemente eingesetzt, um einfallendes Licht zu dispergieren. In einem anderen Beispiel werden segmentierte Prismenoptiken eingesetzt, um einfallendes Licht zu dispergieren. In einigen Ausführungsformen bestimmt die Orientierung der Gitter oder Prismenelemente die Richtung der Dispersion von Licht eines jeden Pupillensegments. Jedoch sind in einigen anderen Ausführungsformen Spiegelelemente eingesetzt, um das durch die Gitter oder Prismenelemente dispergierte Licht zu unterschiedlichen Detektorelementen zu leiten.

[0069] In einigen Ausführungsformen hat jedes Gittersegment die gleiche Periode und Reflexionsfunktion. Jedoch können in einigen anderen Ausführungsformen eine oder mehrere der Gittersegmente unterschiedliche Gitterperioden und Reflexionsfunktionen umfassen. Auf diese Weise werden verschiedene Dispersionseigenschaften für unterschiedliche Pupillensegmente erzeugt. Dieser Ansatz kann vorteilhaft sein, um die Signalpegel oder Sensorkonstruktionen zu optimieren, und um Anforderungen des Messsystems zu erfüllen.

[0070] In einigen Ausführungsformen kann eine sequentielle Gitteranordnung verwendet werden, um unterschiedliche Wellenbereiche eines jeden Pupillensegments zu dispergieren. In einer Ausführungsform dispergiert ein Reflexionsgittersegment ultraviolettes Licht an der +1/-1-Beugungsordnung

und reflektiert Infrarotlicht in der nullten Beugungsordnung. Das reflektierte Infrarotlicht wird anschließend durch ein nachfolgendes Gitterelement dispergiert.

[0071] In einem weiteren Aspekt der Erfindung werden die Pupillensegmentierung und die Vorrichtung zur Dispersion dynamisch im Metrologiesystem 100 rekonfiguriert. In einigen Ausführungsformen ist jedes der mehrfachen Gittersegmente in Position, Orientierung oder beides bewegbar. Die Position, Orientierung oder beides eines jedem der Gittersegmente wird durch das Computersystem 130 gesteuert. Das Computersystem 130 kommuniziert Steuersignale an eine dynamisch rekonfigurierbare Vorrichtung zur Segmentierung und Dispergierung der Pupille. Als Reaktion darauf stellt die Vorrichtung zur Segmentierung und Dispergierung der Pupille eine Position, Orientierung oder beides, von einem oder mehreren der Pupillensegmente ein, um die gewünschte Information zum Winkel über die Messpupille auszuwählen und die entsprechenden Spektren mit den entsprechenden Detektorelementen zu dispergieren.

[0072] In einigen Ausführungsformen umfasst eine dynamisch rekonfigurierbare Vorrichtung zur Segmentierung und Dispergierung der Pupille ein mikroelektromechanisches (MEMS) Array von reflektierenden oder durchlässigen Gitterelementen, das konfiguriert ist, um Licht einschließlich unterschiedlicher Informationen zum Winkel an verschiedene Detektorelemente zu dispergieren.

[0073] In einem anderen weiteren Aspekt der Erfindung ist die Vorrichtung zur Segmentierung und Dispergierung der Pupille auswechselbar innerhalb des Metrologiesystems 100 ausgestaltet. Auf diese Weise kann eine geeignete Vorrichtung zur Segmentierung und Dispergierung der Pupille für eine bestimmte Messanwendung ausgewählt und in den Pfad der Sammeloptik eingesetzt werden.

[0074] In der in **Fig. 1** dargestellten Ausführungsform umfasst die Vorrichtung zur Segmentierung und Dispergierung der Pupille mehrere reflektierende Gittersegmente. Zusätzlich kann zu der Pupillensegmentierung die Vorrichtung zur Segmentierung und Dispergierung der Pupille derart konfiguriert sein, dass das einfallende Licht in verschiedene Wellenlängenbänder unterteilt wird, die unterschiedlichen Wellenlängenbänder sich in unterschiedlichen Richtungen ausbreiten, und dass das Licht von einem der Wellenlängenbänder auf einen oder mehrere Detektoren in geeigneter Weise dispergiert wird. In einigen Beispielen wird ein Strahlteiler verwendet, um den Sammelstrahl 127 in verschiedene Wellenlängenbänder zu unterteilen, und getrennte reflektierende Gitterstrukturen werden

eingesetzt, um die Messpupille in jedem Wellenlängenband zu segmentieren.

[0075] In den in den **Fig. 4-7** dargestellten Ausführungsformen, wird ein Reflexionsgitter verwendet, weil es eine hohe Beugungseffizienz in der +1/-1-Ordnung aufweist. Durch die Verwendung eines reflektierenden Gitters werden inhärente Verluste der Elemente zur Strahlteilung (wie beispielsweise ein dichroitisches Strahlenteilungselement) vermieden.

[0076] In einem weiteren Aspekt wird ein Feinfokussensor (FFS) in das Subsystem zur Detektion integriert, um einen Messeingang für die Fokusfehlerkorrektur während der Messung zu schaffen. In einigen Ausführungsformen kann das von einem oder mehreren der reflektierenden Gittersegmente gebeugte Licht bei der nullten Beugungsordnung zu einem Feinfokussensor gerichtet werden. In einigen Ausführungsformen ist der FFS ein Fotodiodenarray. Die durch den FFS (nicht gezeigt) erzeugte Ausgabe wird an das Computersystem 130 kommuniziert. Das Computersystem 130 bestimmt, basierend auf der Ausgabe des FFS, Änderungen in der Fokusposition (Z-Position) des Wafers 120. Die gewünschten Änderungen in der Fokusposition des Wafers 120 werden an ein Wafer-Positionierungssystem (nicht dargestellt) kommuniziert, das entsprechend die Z-Position des Wafers 120 einstellt.

[0077] In einem weiteren Aspekt der Erfindung, wird die Größe der Feldblende des Beleuchtungsfelds so ausgewählt, dass die resultierende Messgenauigkeit und -geschwindigkeit von der Art des zu vermessenden Messziels optimiert ist.

[0078] In einem weiteren Aspekt der Erfindung, wird die Feldblende der Beleuchtung eingestellt, um die sich ergebende Messgenauigkeit und -geschwindigkeit bezüglich der Art des zu vermessenden Messziels zu optimieren.

[0079] In einigen Beispielen wird die Größe der Beleuchtungsfeldblende eingestellt, um die gewünschte spektrale Auflösung zu erreichen. In einigen Beispielen wird die Größe der Beleuchtungsfeldblende eingestellt, um den Lichtdurchsatz zu erhöhen und die Messzeit zu verkürzen.

[0080] In der in **Fig. 1** dargestellten Ausführungsform, ist das Computersystem 130 konfiguriert, um Signale 170 zu empfangen, welche der spektralen Empfindlichkeit des Subsystems 160 zur Detektion entsprechen. Das Computersystem 130 ist ferner konfiguriert, um Steuersignale 119 zu bestimmen, die an die programmierbare Beleuchtungsfeldblende 113 weitergeleitet werden. Die programmierbare Beleuchtungsfeldblende 113 empfängt die Steuersignale 119 und passt die Größe der Beleuchtungs-

apertur an, um die gewünschte Beleuchtungsfeldgröße zu erreichen.

[0081] In einigen Beispielen wird die Beleuchtungsfeldblende eingestellt, um die Messgenauigkeit und die -geschwindigkeit, wie oben beschrieben, zu optimieren. In einem anderen Beispiel wird die Beleuchtungsfeldblende so eingestellt, um ein Beschneiden des Bildes durch den Schlitz des Spektrometers und eine entsprechende Verschlechterung der Messergebnisse zu verhindern. Auf diese Weise wird die Beleuchtungsfeldgröße so eingestellt, dass das Bild des Messziels den Schlitz des Spektrometers unterfüllt. In einem Beispiel wird die Beleuchtungsfeldblende so eingestellt, dass die Projizierung des Schlitzes des Polarisators der Beleuchtungsoptik den Schlitz des Spektrometers des Metrologiesystems unterfüllt.

[0082] Fig. 11 veranschaulicht ein Verfahren 200 zur Ausführung spektroskopischer Messungen gemäß mindestens einem neuartigen Aspekt. Das Verfahren 200 ist für die Implementierung durch ein Metrologiesystem, wie das in Fig. 1 der vorliegenden Erfindung veranschaulichte Metrologiesystem 100, geeignet. In einem Aspekt ist es erkannt worden, dass die Blöcke der Datenverarbeitung des Verfahrens 200 mittels eines vorprogrammierten Algorithmus von einem oder mehreren Prozessoren des Computersystems 130 oder jedem anderen Mehrzweckcomputersystem durchgeführt werden können. Es sei hier bemerkt, dass die besonderen strukturellen Aspekte des Metrologiesystems 100 keine Einschränkungen darstellen und nur als illustrativ interpretiert werden sollten.

[0083] Im Block 201 wird eine Menge von breitbandigen Beleuchtungslicht von einer Beleuchtungsquelle an einen auf einer Oberfläche einer zu vermessenden Probe vorgesehenen Messfleck gerichtet. Das Beleuchtungslicht wird dabei unter mehreren Einfallswinkeln, mehreren Azimutwinkeln oder einer Kombination davon auf die Probe gerichtet.

[0084] Im Block 202 wird eine Menge an Licht von dem Messfleck auf der Oberfläche der Probe gesammelt und ein Bild der Messpupille wird an oder nahe einer Ebene der Messpupille erzeugt.

[0085] Im Block 203 wird das gemessene Bild der Pupille in zwei oder mehr Pupillensegmente segmentiert und die zwei oder mehreren Pupillensegmente werden auf einem oder mehreren Detektoren über räumlich getrennte Bereiche verteilt. Jedes Pupillensegment enthält Signalinformationen, die unterschiedlichen Teilbereichen der mehreren Einfallswinkel, der mehreren Azimutwinkel oder eine Kombination davon zugeordnet sind.

[0086] In Block 204 werden Messspektren, die mit den zwei oder mehr Pupillensegmenten verbunden sind, gleichzeitig detektiert.

[0087] Beispielhafte Messtechniken, die, wie hier beschrieben konfiguriert sein können, umfassen, sind aber nicht darauf beschränkt, die spektroskopische Ellipsometrie (SE), einschließlich der Mueller Matrix Ellipsometrie (MMSE), der rotierende Polarisator SE (RPSE), der rotierende Polarisator, rotierende Kompensator SE (RPRC), der rotierende Kompensator, rotierende Kompensator SE (RCRC), die spektroskopische Reflektometrie (SR), einschließlich polarisierten SR, unpolarisierten SR, spektroskopischer Scatterometrie, overlay Scatterometrie, Strahlprofil-Reflektometrie, die beide winkel aufgelöst und polarisations aufgelöst sind, Strahlprofil-Ellipsometrie, diskrete einzelne oder mehrfache Wellenlängen- Ellipsometrie usw. Im Allgemeinen kann jede Metrologietechnik, die in den Messsignalen eine breite Palette von Winkelinformationen enthält, einzeln oder in jeder Kombination in Betracht gezogen werden. Zum Beispiel kann jede SR oder SE-Technik, die für die Charakterisierung von Halbleiterstrukturen, einschließlich der bildbasierten Metrologietechniken, einzeln oder in beliebiger Kombination in Betracht gezogen werden.

[0088] In einer weiteren Ausführungsform umfasst das System 100 ein oder mehrere Computersysteme 130, die eingesetzt werden, um Messungen der tatsächlichen Vorrichtungsstrukturen auf Basis von gesammelten spektroskopischen Messdaten in Übereinstimmung mit den hier beschriebenen Verfahren auszuführen. Das eine oder die mehreren Computersysteme 130 können kommunikativ mit dem Spektrometer gekoppelt sein. In einem Aspekt sind das eine oder die mehreren Computersysteme 130 konfiguriert, um Messdaten 170 in Verbindung mit den Messungen der Struktur 120 der Probe zu erhalten.

[0089] Es sollte erkannt werden, dass ein oder mehrere Schritte, die in der gesamten vorliegenden Offenbarung beschrieben sind, von einem einzelnen Computersystem 130 oder alternativ von einem Mehrfachcomputersystem 130 ausgeführt werden können. Darüber hinaus können verschiedene Subsysteme des Systems 100 ein Computersystem enthalten, das zur Durchführung eines Teils der hierin beschriebenen Schritte geeignet ist. Daher soll die vorgenannte Beschreibung nicht als eine Einschränkung der vorliegenden Erfindung ausgelegt werden, sondern ist lediglich als eine Illustration der Erfindung zu verstehen.

[0090] Darüber hinaus kann das Computersystem 130 kommunikativ mit dem Spektrometer in irgendeiner aus dem Stand der Technik bekannten Art und Weise gekoppelt sein. Zum Beispiel können das eine

oder die mehreren Computersysteme 130 mit den den Spektrometern zugeordneten Computersystemen gekoppelt werden. In einem anderen Beispiel können die Spektrometer direkt von einem einzigen Computersystem gesteuert werden, das mit dem Computersystem 130 gekoppelt ist.

[0091] Das Computersystem 130 des Metrologiesystems 100 kann so konfiguriert werden, dass es Daten oder Informationen von den Subsystemen des Systems (z.B. Spektrometer und dergleichen) durch ein Übertragungsmedium empfängt und/oder akquiriert, das drahtgebundene und/oder drahtlose Abschnitte umfassen kann. Auf diese Weise kann das Übertragungsmedium als eine Datenverbindung zwischen dem Computersystem 130 und anderen Subsystemen des Systems 100 dienen.

[0092] Das Computersystem 130 des Metrologiesystems 100 kann konfiguriert sein, um Daten oder Informationen (z.B. Messergebnisse, Eingänge einer Modellierung, Modellierungsergebnisse, Referenzmessergebnisse, etc.) von anderen Systemen durch ein Übertragungsmedium zu empfangen und/oder zu akquirieren, wobei das Übertragungsmedium drahtgebundene und/oder drahtlose Abschnitte umfassen kann. Auf diese Weise kann das Übertragungsmedium als eine Datenverbindung zwischen dem Computersystem 130 und anderen Systemen (z.B. dem Speicher des Metrologiesystems 100, dem externen Speicher, oder den anderen externen Systemen) dienen. Zum Beispiel kann das Computersystem 130 so konfiguriert sein, dass es Messdaten von einem Speichermedium (d.h. Speicher 132 oder einem externen Speicher) über eine Datenverbindung empfangen kann. Zum Beispiel können spektrale Ergebnisse, die unter Verwendung der hierin beschriebenen Spektrometer erhalten wurden, in einer permanenten oder semipermanenten Speichervorrichtung (z.B. Speicher 132 oder ein externer Speicher) gespeichert werden. In dieser Hinsicht können die spektralen Ergebnisse vom Speicher des Metrologiesystems oder von einem externen Speichersystem importiert werden. Außerdem kann das Computersystem 130 Daten an andere Systeme über ein Übertragungsmedium senden. Zum Beispiel kann ein Messmodell oder ein abgeschätzter Parameterwert 171, der von dem Computersystem 130 bestimmt wurde, an einen externen Speicher übermittelt und dort gespeichert werden. In dieser Hinsicht können die Messergebnisse an ein anderes System exportiert werden.

[0093] Das Computersystem 130 kann, ist aber nicht darauf beschränkt, ein Personal-Computersystem, Mainframe-Computersystem, eine Workstation, einen Bild-Computer, einen Parallelprozessor oder irgendeine andere im Stand der Technik bekannte Vorrichtung umfassen. Im Allgemeinen kann der Begriff „Computersystem“ breit ausgelegt werden,

um jede Vorrichtung mit einem oder mehreren Prozessoren, die Befehle von einem Speichermedium ausführen, zu umfassen.

[0094] Programminstruktionen 134, die Verfahren, wie die hier beschriebenen implementieren, können über ein Übertragungsmedium, wie beispielsweise einen Draht, ein Kabel oder eine drahtlose Übertragungstrecke übertragen werden. Zum Beispiel, wie in **Fig. 1** dargestellt, werden im Speicher 132 gespeicherte Programmbefehle 134 an den Prozessor 131 über den Bus 133 übertragen. Programmbefehle 134 werden in einem computerlesbaren Medium (beispielsweise Speicher 132) gespeichert. Beispielhafte computerlesbare Medien umfassen einen Nur-Lese-Speicher, einen Direktzugriffsspeicher, eine magnetische oder optische Platte oder ein Magnetband.

[0095] In einigen Beispielen werden die Messmodelle als Element eines SpectraShape® optischen Metrologiesystems für kritische Dimensionen umgesetzt, das von der KLA-Tencor Corporation Milpitas, Kalifornien, USA erhältlich ist. Auf diese Weise wird das Modell erstellt und sofort betriebsbereit, nachdem die Spektre, durch das System gesammelt wurden.

[0096] In einigen anderen Beispielen werden die Messmodelle off-line implementiert, wie beispielsweise durch ein Computersystem, das die AcuShape® Software von KLA-Tencor Corporation Milpitas, Kalifornien, USA implementiert hat. Das sich ergebende, trainierte Modell kann als ein Element in einer AcuShape® Bibliothek aufgenommen werden, die von einem die Messungen durchführenden Messsystem zugänglich ist.

[0097] In einem anderen Aspekt der Erfindung können die hier beschriebenen Verfahren und Systeme zur spektroskopischen Metrologie von Halbleitervorrichtungen auf die Messung von Strukturen mit einem hohem Aspektverhältnis (HAR), auf Strukturen mit großer lateraler Abmessung oder beides angewendet werden. Die beschriebenen Ausführungsformen ermöglichen die Metrologie der optischen kritischen Dimension (CD), die Metrologie von Schichten, und die Metrologie der Zusammensetzung von Halbleiterbauelementen einschließlich dreidimensionaler NAND Strukturen, wie z.B. vertical-NAND (V-NAND) Strukturen, dynamische Direktzugriffsspeicherstrukturen (DRAM) usw., die von verschiedenen Halbleiterherstellern wie Samsung Inc. (Südkorea), SK Hynix Inc. (Südkorea), Toshiba Corporation (Japan) und Micron Technology, Inc. (USA), usw. hergestellt werden. Diese komplexen Bauelemente leiden unter einer schlechten Penetration des Lichts in die zu vermessende Struktur bzw. die **Fig. 10** zeigt beispielhaft eine NAND Struktur 300 mit einem hohen Aspektverhältnis, die vom dem schwachem Eindringen des Lichts in die zu vermessende Struktur

bzw. die zu vermessenden Strukturen beeinträchtigt wird. Ein spektroskopisches Ellipsometer mit einer Breitbandfähigkeit und breiten Bereichen von AOI, Azimutwinkel, oder beiden, das die gleichzeitige Detektion des Spektralbands, wie hierin beschrieben, ist geeignet für Messungen dieser Strukturen mit hohem Aspektverhältnis. HAR Strukturen umfassen oft Hartmaskenschichten, die den Ätzprozess für HARs erleichtern. Wie hierin beschrieben, bezieht sich der Begriff „HAR-Struktur“ auf jede Struktur, die durch ein Seitenverhältnis gekennzeichnet ist, die ein Aspektverhältnis von 10: 1 übersteigen, und können ein Aspektverhältnis so hoch wie 100: 1 oder höher erreichen.

[0098] In noch einem weiteren Aspekt der Erfindung, können die hierin beschriebenen Messergebnisse verwendet werden, um ein aktives Feedback für ein Prozesswerkzeug (z.B. Lithographiewerkzeug, Ätzanlage, Abscheideanlage, etc.) zur Verfügung zu stellen. Beispielsweise können die Werte, die mit den hier beschriebenen Messmethoden gemessenen Parameter an ein Lithographiewerkzeug zur Einstellung des Lithographiesystems kommuniziert werden, um eine gewünschte Ausbeute zu erzielen. In ähnlicher Weise können Ätzparameter (beispielsweise Ätzzeit, Diffusionsvermögen, etc.) oder Abscheidungsparameter (beispielsweise Zeit, Konzentration, etc.) in ein Messmodell einbezogen werden, um ein aktives Feedback an das Ätzwerkzeug bzw. an Beschichtungswerkzeuge zu liefern. In einem Beispiel können die ermittelnden Parameter zur Prozesskorrektur auf Basis der gemessenen Werte der Geräteparameter und einem trainierten Messmodell an ein Lithographiewerkzeug, eine Ätzanlage oder eine Abscheideanlage übertragen werden.

[0099] Wie hier beschrieben, umfasst der Begriff „kritische Dimension“ jede kritische Abmessung einer Struktur (beispielsweise eine untere kritische Dimension, eine mittlere kritische Dimension, eine obere kritische Dimension, einen Seitenwandwinkel, eine Gitterhöhe, usw.), eine kritische Dimension zwischen irgendwelchen zwei oder mehr Strukturen (beispielsweise ein Abstand zwischen zwei Strukturen) und eine Verschiebung zwischen zwei oder mehr Strukturen (beispielsweise eine Overlay-Verschiebung zwischen zwei übereinanderliegenden Gitterstrukturen, etc.). Die Strukturen können dreidimensionale Strukturen, gemusterte Strukturen, Overlay-Strukturen, usw. umfassen.

[0100] Wie hierin beschrieben umfasst der Ausdruck „Anwendung der kritischen Dimension“ oder „Anwendung der Messung der kritischen Dimension“ jede Messung der kritischen Dimension.

[0101] Wie hierin beschrieben, beinhaltet der Begriff „Metrologiesystem“ jedes System, das zumindest

teilweise eingesetzt werden kann, um eine Probe in irgendeinem Aspekt zu charakterisieren, einschließlich Messanwendungen, wie die Metrologie der kritischen Dimension, die Overlay-Metrologie, die Metrologie des Fokus/Dosis und die Metrologie der Zusammensetzung. Allerdings beschränken diese Begriffe des Standes der Technik nicht den Umfang des Begriffs des hier beschriebenen „Metrologiesystems“. Zusätzlich kann das Metrologiesystem 100 zur Messung von strukturierten Wafern und/oder unstrukturierten Wafern ausgestaltet werden. Das Metrologiesystem kann als ein LED Inspektionswerkzeug, ein Kanteninspektionswerkzeug, ein Rückseiteninspektionswerkzeug, ein Makroinspektionswerkzeug oder ein Multi-Mode-Inspektionswerkzeug (unter gleichzeitiger Einbeziehung von Daten von einer oder mehreren Plattformen), und ein anderes Metrologiewerkzeug oder Inspektionswerkzeug konfiguriert sein, das einen Vorteil aus der Kalibrierung von Systemparametern, basierend auf kritischen Dimensionsdaten, hat.

[0102] Verschiedene Ausführungsformen werden hier für ein Halbleiter-Messsystem beschrieben, das zum Messen einer Probe innerhalb eines Halbleiterverarbeitungsprozessors verwendet werden kann (beispielsweise ein Inspektionssystem oder ein Lithographiesystem). Der Begriff „Probe“ wird hier verwendet, um auf einen Wafer, eine Strichplatte, oder jede andere Probe, die mit Mitteln des Standes der Technik verarbeitet werden kann (beispielsweise gedruckt oder auf Defekte untersucht) Bezug zu nehmen.

[0103] Wie hier verwendet, bezieht sich der Begriff „Wafer“ im Allgemeinen auf Substrate aus einem Halbleiter oder einem Nicht-Halbleitermaterial. Beispiele schließen ein, sind aber nicht auf einkristallines Silizium, Galliumarsenid und Indiumphosphid beschränkt. Solche Substrate können häufig gefunden und/oder in den Halbleiterherstellungsanlagen verarbeitet werden. In einigen Fällen kann ein Wafer nur das Substrat (d.h. einen blanken Wafer) umfassen. 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 ausgebildet sind, können „gemustert“ oder „unstrukturiert“ sein. Zum Beispiel kann ein Wafer eine Vielzahl von DIES aufweisen, die sich wiederholende Merkmale eines Musters umfassen.

[0104] Ein „Retikel“ kann ein Retikel in irgendeiner Stufe eines Herstellungsprozesses für das Retikel oder ein fertiges Retikel sein, das zur Verwendung in einer Halbleiterfertigungsanlage 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 darauf ausgebildet hat und ein Mus-

ter konfiguriert. Das Substrat kann zum Beispiel ein Glasmaterial, wie amorphes SiO₂ umfassen. Ein Retikel kann über einen mit Resist bedeckten Wafer während eines Belichtungsschrittes eines Lithographieprozesses angeordnet sein, so dass das Muster auf dem Retikel auf den Resist übertragen werden kann.

[0105] Eine oder mehr auf einem Wafer ausgebildete Schichten, können gemustert oder ungemustert sein. Beispielsweise kann ein Wafer eine Vielzahl von DIES umfassen, von denen jeder wiederholbare Mustereigenschaften hat. Die Bildung und Verarbeitung solcher Materialschichten kann letztlich zu fertigen Bauelementen führen. Viele verschiedene Arten von Bauelementen können auf einem Wafer gebildet werden, und der Begriff Wafer, wie er hierin verwendet wird, soll einen Wafer umfassen, auf dem jede Art von aus dem Stand der Technik bekannte Bauelemente hergestellt werden.

[0106] Bei einem oder mehreren Ausführungsbeispielen können die hier beschriebenen Funktionen in Hardware, Software, Firmware oder einer beliebigen Kombination implementiert werden. Falls die Funktionen in einer Software implementiert sind, können die Funktionen auf dem oder an das computerlesbare Medium als eine oder mehrere Anweisungen oder Code übertragen werden. Computerlesbare Medien umfassen sowohl Computerspeichermedien und Kommunikationsmedien einschließlich jedes Medium, das eine Übertragung von Computerprogrammen von einem Ort zum anderen unterstützt. Speichermedien können beliebige verfügbare Medien sein, auf die von einem Allzweck- oder Spezialcomputer zugegriffen werden kann. Als Beispiel, und nicht als Einschränkung, können solche computerlesbaren Medien RAM, ROM, EEPROM, CD-ROM oder andere optische Plattenspeicher, Magnetplattenspeicher oder andere magnetische Speichervorrichtungen oder jedes andere Medium, das verwendet werden kann, um gewünschte Programmcodemittel in Form von Anweisungen oder Datenstrukturen zu tragen oder zu speichern, und auf die durch einen Allzweck- oder Spezialzweckcomputer zugegriffen werden kann, oder einen Allzweck- oder Spezialprozessor umfassen. Außerdem wird jede Verbindung richtig als ein computerlesbares Medium bezeichnet. Wenn beispielsweise die Software von einer Webseite, einem Server oder anderen entfernten Quellen unter Verwendung eines Koaxialkabels, eines Glasfaserkabels, einer verdrehten Digital-Subscriber-Line (DSL) oder die drahtlosen Technologien, wie Infrarot, Funk und Mikrowelle übertragen wird, dann sind das Koaxialkabel, das Glasfaserkabel, das verdrehte DSL oder die drahtlosen Technologien wie Infrarot, Radio- und Mikrowellen, in der Definition des Mediums eingeschlossen. Der Begriff „Scheibe“ wie hier verwendet, schließt eine Compact-Disc (CD), eine Laser-

disc, eine optische Platte, eine Digital-Versatile-Disc (DVD), eine Diskette und eine Blu-Ray-Disc ein, wobei Platten in der Regel Daten magnetisch wiedergeben, während die Scheiben Daten optisch mit dem Laser reproduzieren. Kombinationen des oben Genannten sollten ebenfalls in den Umfang der computerlesbaren Medien enthalten sein.

Patentansprüche

1. Ein Metrologiesystem (100), umfassend:
 eine oder mehrere Beleuchtungsquellen (110), die konfiguriert sind, um eine Menge an breitbandigem Beleuchtungslicht (117) zu erzeugen;
 ein Subsystem der Beleuchtungsoptiken, das konfiguriert ist, um eine Menge an Beleuchtungslicht (117) von der Beleuchtungsquelle (110) zu einem Messfleck (116) auf einer Oberfläche einer unter mehreren Einfallswinkeln, mehreren Azimutwinkeln oder einer Kombination davon zu vermessenden Probe (120) zu leiten;
 ein Subsystem von Sammeloptiken, das konfiguriert ist, um eine Menge an gesammeltem Licht (127) von dem Messfleck (116) auf der Oberfläche der Probe (120) zu sammeln, wobei das Subsystem der Sammeloptiken eine Messpupille aufweist;
 einen oder mehrere Detektoren (160A-C), von denen jeder eine ebene, zweidimensionale Fläche besitzt, die auf einfallendes Licht empfindlich ist; und eine Vorrichtung zur Segmentierung und Dispersion der Pupille (150), die konfiguriert ist, um ein Bild der Messpupille in zwei oder mehr Pupillensegmente zu segmentieren und um die beiden oder mehreren Pupillensegmente auf den einen oder die mehreren Detektoren (160A-C) über räumlich getrennte Bereiche zu dispergieren, wobei jedes Pupillensegment Signalinformationen umfasst, die distinkten Teilbereichen der mehreren Einfallswinkel, der mehreren Azimutwinkel oder einer Kombination davon zugeordnet sind, wobei die Vorrichtung zur Segmentierung und Dispersion der Pupille (150) umfasst:
 ein erstes diffraktives Element (150A), das eine Einfallsoberfläche in einem optischen Pfad des Subsystems der Sammeloptiken aufweist, die an oder nahe einer Bildebene (140) der Messpupille angeordnet ist, wobei ein erstes Pupillensegment ein Teil des gesammelten Lichts (127) auf der Einfallsoberfläche des ersten diffraktiven Elements (150A, 151A, 152A, 153A) ist; und
 ein zweites diffraktives Element (150B, 151B, 152B, 153B), das eine Einfallsoberfläche im optischen Pfad des Subsystems der Sammeloptiken besitzt, die an oder nahe einer Bildebene (140) der Messpupille angeordnet ist, wobei ein zweites Pupillensegment ein Teil des gesammelten Lichts ist, das auf die Einfallsoberfläche des zweiten diffraktiven Elements (150B, 151B, 152B, 153B) einfällt, wobei eine Normale zu der Einfallsoberfläche des ersten diffraktiven Elements (150A, 151A, 152A, 153A) unter einem ersten Winkel in Bezug auf eine Nor-

male zu der Einfallsoberfläche des zweiten diffraktiven Elements (150B, 151B, 152B, 153B) orientiert ist.

2. Metrologiesystem (100) nach Anspruch 1, wobei jedes des ersten diffraktiven Elements (150A, 151A, 152A, 153A) und des zweiten diffraktiven Elements (150B, 151B, 152B, 153B) eine reflektierende Gitterstruktur, eine transmissive Gitterstruktur oder eine dispersive Prismen-Struktur ist.

3. Metrologiesystem (100) nach Anspruch 2, wobei ein Achsenwinkel dem ersten Winkel zwischen dem ersten diffraktiven Element (150A, 153A) und dem zweiten diffraktiven Element (150B, 153B) zugeordnet ist, und parallel zu einer Blaze-Richtung des ersten diffraktiven Elements (150A, 153A) ausgerichtet ist.

4. Metrologiesystem (100) nach Anspruch 2, wobei ein Achsenwinkel dem ersten Winkel zwischen dem ersten diffraktiven Element (151A, 152A) und dem zweiten diffraktiven Element (151B, 152B) zugeordnet ist, und senkrecht zu einer Blaze-Richtung des ersten diffraktiven Elements (151A, 152A) ausgerichtet ist.

5. Metrologiesystem (100) nach Anspruch 2, wobei ein Achsenwinkel dem ersten Winkel zwischen dem ersten diffraktiven Element und dem zweiten diffraktiven Element zugeordnet ist und unter einem schrägen Winkel in Bezug auf eine Blaze-Richtung des ersten diffraktiven Elements ausgerichtet ist.

6. Metrologiesystem (100) nach Anspruch 1, wobei die Vorrichtung zur Segmentierung und Dispersion der Pupille (150) ferner umfasst: ein drittes diffraktives Element (150C, 151C, 152C, 153C), das eine Einfallsoberfläche in einem optischen Pfad des Subsystems der Sammeloptiken in der Nähe der Bildebene (140) der Messpupille aufweist, wobei ein drittes Pupillensegment ein Teil des gesammelten Lichts ist, das auf die Einfallsoberfläche des dritten diffraktiven Elements (150C, 151C, 152C, 153C) einfällt, wobei eine Normale zur Einfallsoberfläche des ersten diffraktiven Elements (150A, 151A, 152A, 153A) unter einem zweiten Winkel in Bezug auf eine Normale zur Einfallsoberfläche des dritten diffraktiven Elements (150C, 151C, 152C, 153C) ausgerichtet ist.

7. Metrologiesystem (100) nach Anspruch 6, wobei ein Achsenwinkel, der dem zweiten Winkel zwischen dem ersten diffraktiven Element (150A, 151A, 152A, 153A) und dem dritten diffraktiven Element (150C, 151C, 152C, 153C) zugeordnet ist, gleich groß und entgegengesetzt der Richtung des Achsenwinkels ist, der dem ersten Winkel zwischen dem ersten diffraktiven Element (150A, 151A, 152A,

153A) und dem zweiten diffraktiven Element (150B, 151B, 152B, 153B) zugeordnet ist.

8. Metrologiesystem (100) nach Anspruch 2, wobei ein Gitterabstand des ersten diffraktiven Elements (150A, 151A, 152A, 153A) sich von einem Gitterabstand des zweiten diffraktiven Elements (150B, 151B, 152B, 153B) unterscheidet.

9. Metrologiesystem (100) nach Anspruch 1, wobei die Vorrichtung zur Segmentierung und Dispersion der Pupille (150) im Metrologiesystem (100) konfigurierbar, mit einer anderen Vorrichtung zur Segmentierung und Dispersion der Pupille austauschbar, oder beides ist.

10. Metrologiesystem (100) nach Anspruch 1, wobei ein erster der einen oder mehreren Detektoren zwei oder mehr verschiedene Oberflächenbereiche umfasst, die jeweils eine unterschiedliche Lichtempfindlichkeit besitzen, wobei die zwei oder mehreren der verschiedenen Oberflächenbereiche in einer Richtung der Wellenlängendispersion entlang der Oberfläche des ersten Detektors ausgerichtet sind.

11. Metrologiesystem (100) nach Anspruch 1, wobei ein zweiter der einen oder mehreren Detektoren das Hintergrundrauschen misst.

12. Metrologiesystem (100) nach Anspruch 1, wobei die Menge des breitbandigen Beleuchtungslichts (117) einen Wellenlängenbereich umfasst, der infrarote, sichtbare und ultraviolette Wellenlängen einschließt.

13. Metrologiesystem (100) nach Anspruch 1, wobei das Metrologiesystem (100) als ein spektroskopisches Ellipsometer, als ein spektroskopisches Reflektometer oder als eine Kombination daraus konfiguriert ist.

14. Metrologiesystem (100) nach Anspruch 1, ferner umfassend: ein Computersystem (130), das konfiguriert ist, um einen geschätzten Wert eines Parameters von Interesse der zu vermessenden Probe (120) zu erzeugen, der auf einer Analyse des Ausgangssignals des einen oder der mehreren Detektoren basiert.

15. Ein Metrologiesystem (100), umfassend: ein Subsystem von Beleuchtungsoptiken, das konfiguriert ist, um die Menge von breitbandigem Beleuchtungslicht (117) von der Beleuchtungsquelle (110) zu einem Messfleck (116) auf einer Oberfläche einer unter mehreren Einfallswinkeln, mehreren Azimutwinkeln oder einer Kombination davon zu vermessenden Probe (120) zu lenken; ein Subsystem von Sammeloptiken, das konfiguriert ist, um eine Menge an gesammeltem Licht (121) von

dem Messfleck (116) auf der Oberfläche der Probe (120) zu sammeln, wobei das Subsystem der Sammeloptiken eine Messpupille aufweist; einen oder mehrere Detektoren, von denen jeder eine ebene, zweidimensionale Fläche besitzt, die auf einfallendes Licht empfindlich ist; ein erstes diffraktives Element (150A, 151A, 152A, 153A), das eine Einfallsoberfläche in einem optischen Pfad des Subsystems der Sammeloptiken besitzt, die an oder nahe einer Bildebene (140) der Messpupille angeordnet ist, wobei ein erstes Pupillensegment ein Teil des gesammelten Lichts auf der Einfallsoberfläche des ersten diffraktiven Elements (150A, 151A, 152A, 153A) ist, wobei das erste diffraktive Element (150A, 151A, 152A, 153A) einen Teil des ersten Pupillensegments über einen ersten lichtempfindlichen Bereich des einen oder der mehreren Detektoren dispergiert; und ein zweites diffraktives Element (150B, 151B, 152B, 153B), das eine Einfallsoberfläche im optischen Pfad des Subsystems der Sammeloptiken besitzt, die an oder nahe einer Bildebene (140) der Messpupille angeordnet ist, wobei ein zweites Pupillensegment ein Teil des gesammelten Lichts ist, das auf der Einfallsoberfläche des zweiten diffraktiven Elements (150B, 151B, 152B, 153B) einfällt, wobei das zweite diffraktive Element (150B, 151B, 152B, 153B) das zweite Pupillensegment über einen zweiten lichtempfindlichen Bereich des einen oder der mehreren Detektoren dispergiert, der von dem ersten lichtempfindlichen Bereich räumlich getrennt ist, und eine Normale zu der Einfallsoberfläche des ersten diffraktiven Elements (150A, 151A, 152A, 153A) unter einem ersten Winkel in Bezug auf eine Normale zu der Einfallsoberfläche des zweiten diffraktiven Elements (150B, 151B, 152B, 153B) orientiert ist.

16. Metrologiesystem (100) nach Anspruch 15, wobei jedes des ersten diffraktiven Elements (150A, 151A, 152A, 153A) und des zweiten diffraktiven Elements (150B, 151B, 152B, 153B) eine reflektierende Gitterstruktur, eine transmissive Gitterstruktur oder eine dispersive Prismen-Struktur ist.

17. Metrologiesystem (100) nach Anspruch 15, wobei ein erster der einen oder mehreren Detektoren zwei oder mehr verschiedene Oberflächenbereiche umfasst, die jeweils eine unterschiedliche Lichtempfindlichkeit besitzen, wobei die zwei oder mehreren der verschiedenen Oberflächenbereiche in einer Richtung der Wellenlängendispersion entlang der Oberfläche des ersten Detektors ausgerichtet sind.

18. Ein Verfahren umfasst die Schritte:
Richten einer Menge an breitbandigem Beleuchtungslicht (117) von einer Beleuchtungsquelle (110) zu einem Messfleck (116) auf einer Oberfläche einer unter mehreren Einfallswinkeln, mehreren Azimut-

winkeln oder einer Kombination davon zu vermessenden Probe (120);
Sammeln einer Menge an gesammeltem Licht (121) von dem Messfleck (116) auf der Oberfläche der Probe (120) und Erzeugen eines Bildes der Messpupille an oder nahe einer Bildebene (140) der Messpupille;
Segmentieren des Bildes der Messpupille in zwei oder mehr Pupillensegmente und Dispergieren der zwei oder mehreren Pupillensegmente auf einen oder mehrere Detektoren über räumlich getrennte Bereiche, wobei jedes Pupillensegment Signalinformationen enthält, die mit unterschiedlichen Teilbereichen der mehreren Einfallswinkel, der mehreren Azimutwinkel oder einer Kombination davon verbunden sind; und
gleichzeitiges Detektieren von Messspektren, die zwei oder mehreren Pupillensegmenten zugeordnet sind, wobei das Segmentieren und Dispergieren eines ersten der zwei oder mehr Pupillensegmente ein erstes diffraktives Element (150A, 151A, 152A, 153A) einbezieht, das eine Einfallsoberfläche in einem optischen Pfad des Subsystems der Sammeloptiken in der Nähe einer Bildebene (140) der Messpupille besitzt, und wobei das Segmentieren und Dispergieren eines zweiten der zwei oder mehr Pupillensegmente ein zweites diffraktives Element (150B, 151B, 152B, 153B) einbezieht, das eine Einfallsoberfläche im optischen Pfad des Subsystems der Sammeloptiken in der Nähe der Bildebene (140) der Messpupille besitzt, wobei eine Normale zu der Einfallsoberfläche des ersten diffraktiven Elements (150A, 151A, 152A, 153A) unter einem ersten Winkel in Bezug auf eine Normale zu der Einfallsoberfläche des zweiten diffraktiven Elements (150B, 151B, 152B, 153B) orientiert ist.

19. Verfahren nach Anspruch 18, wobei die zu vermessende Probe (120) eine dreidimensionale NAND-Struktur oder eine dynamische Direktzugriffsspeicherstruktur ist.

Es folgen 9 Seiten Zeichnungen

Anhängende Zeichnungen

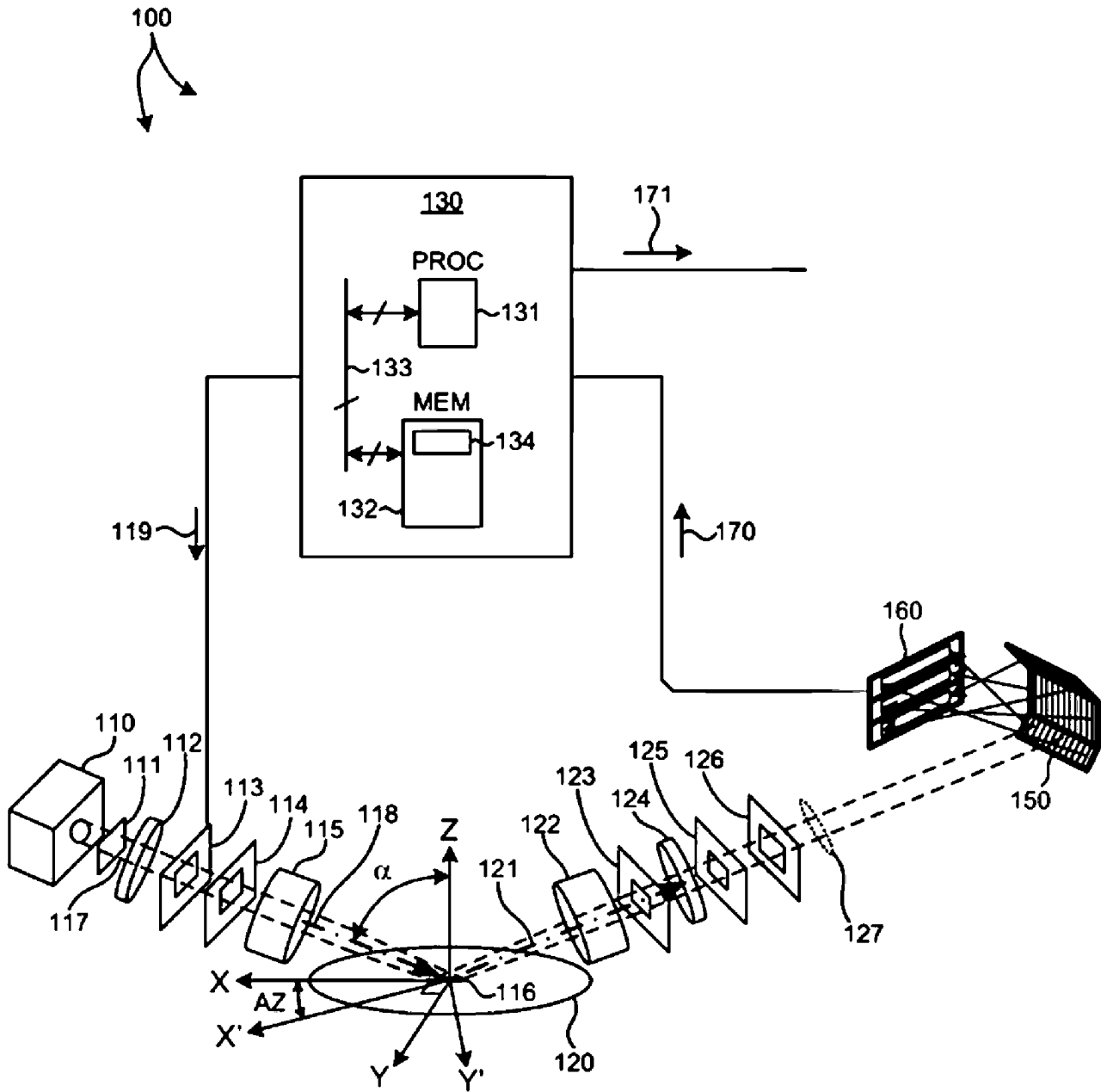


FIG. 1

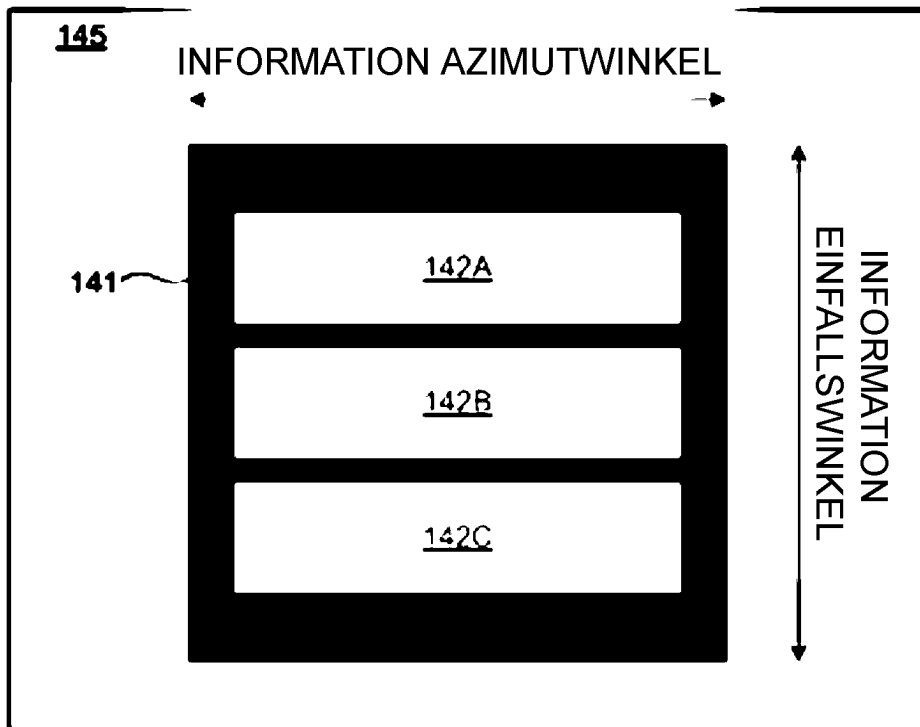


FIG. 2

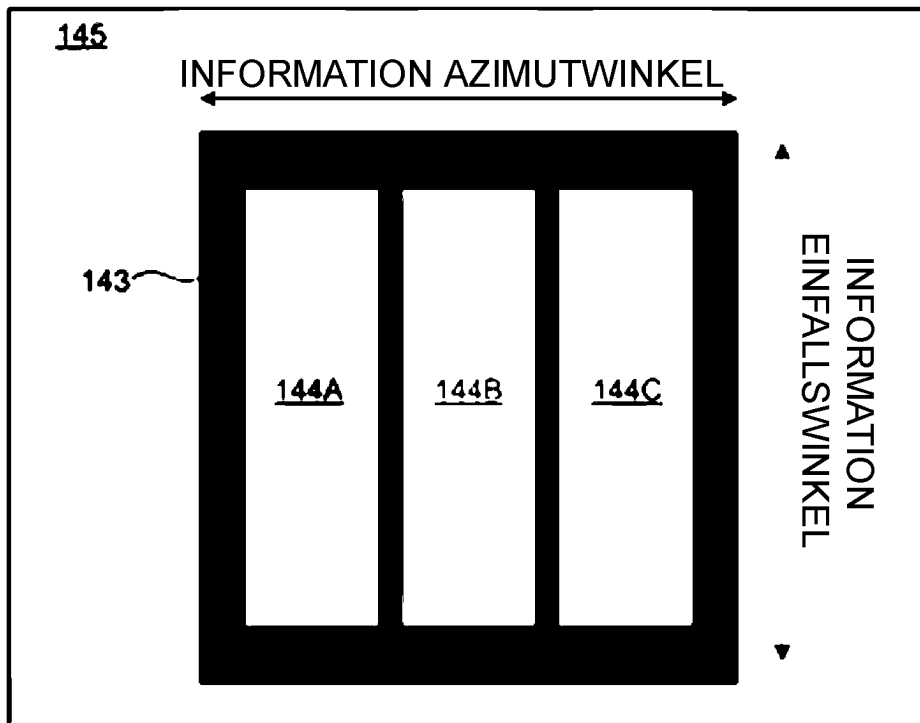


FIG. 3

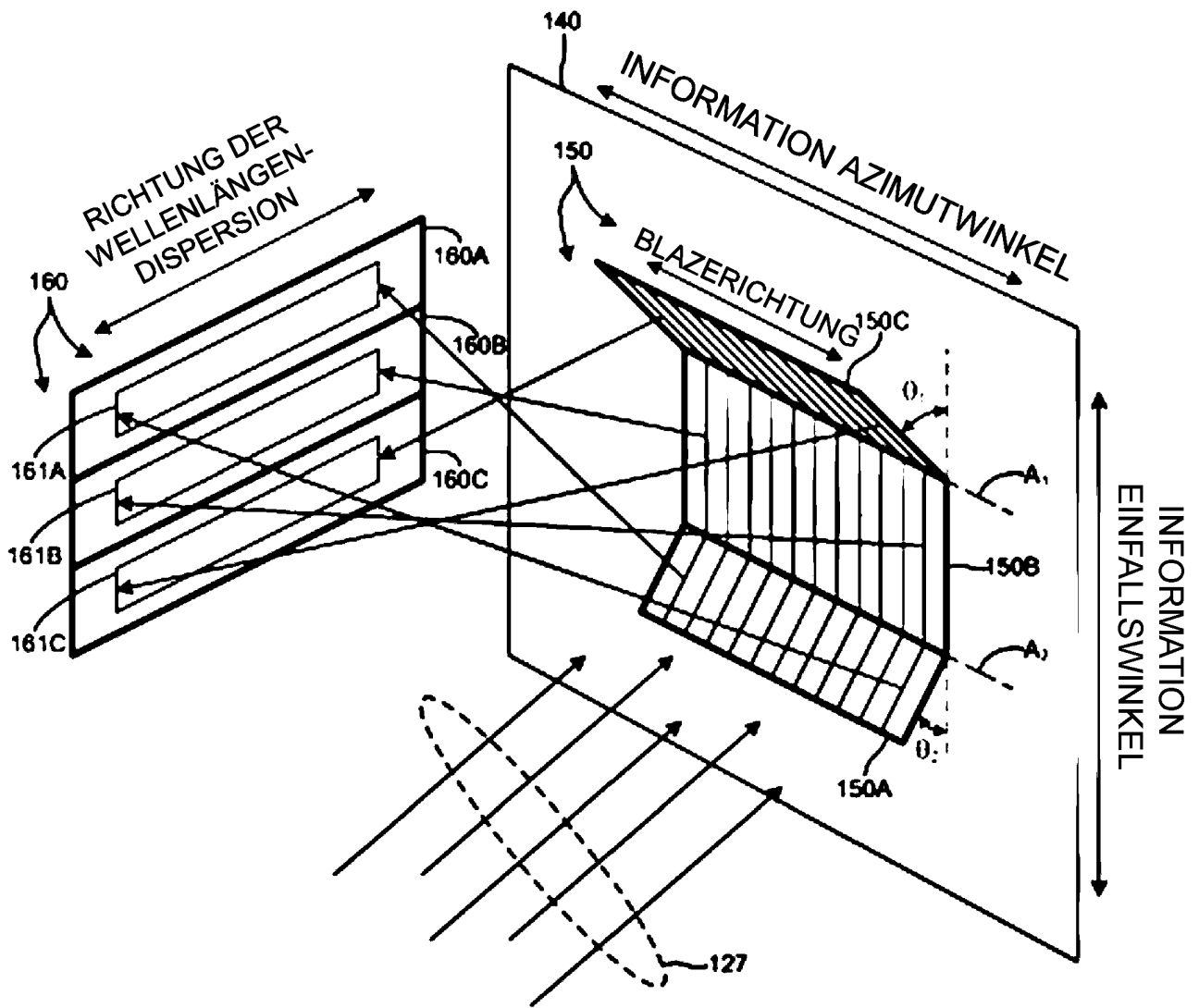


FIG. 4

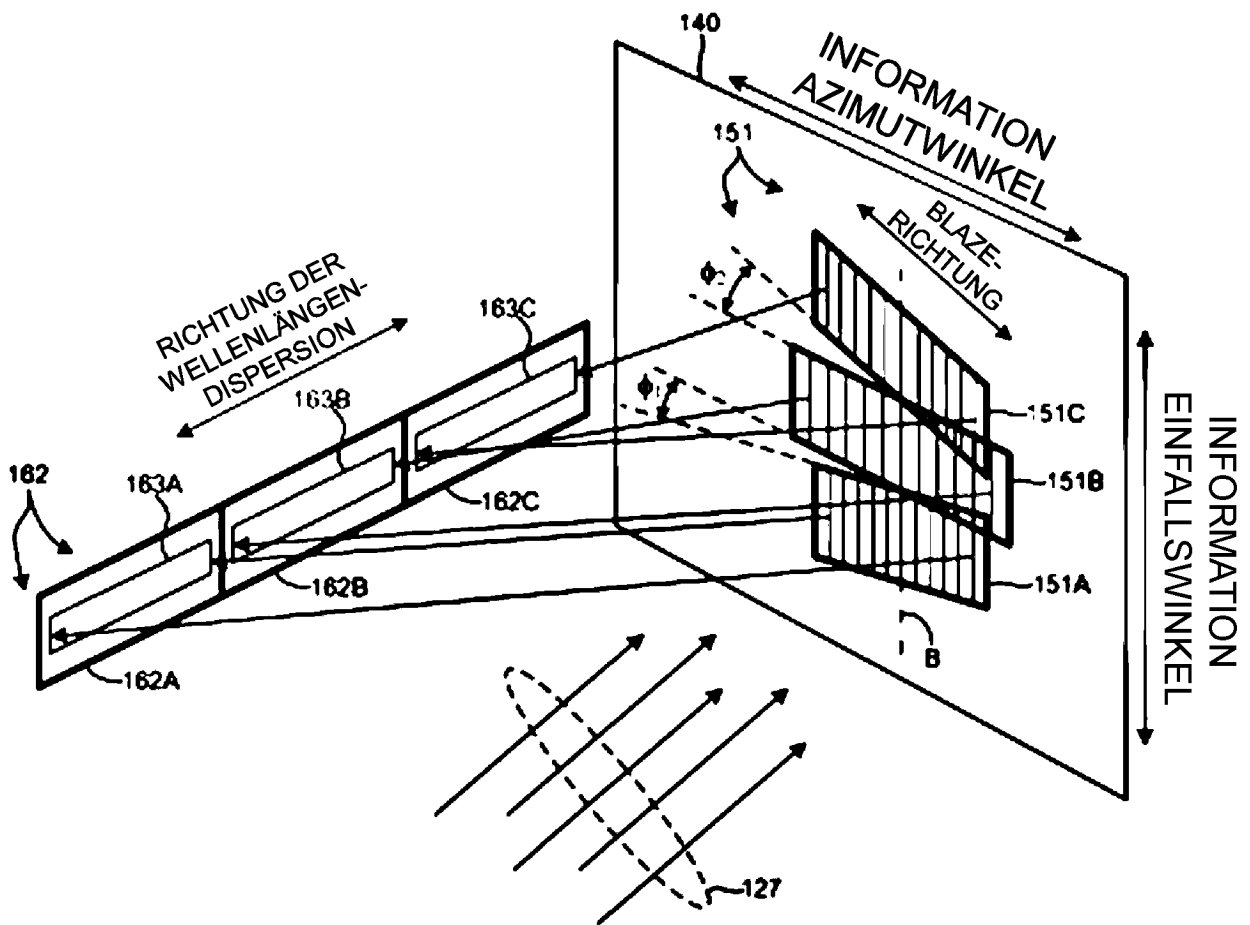


FIG. 5

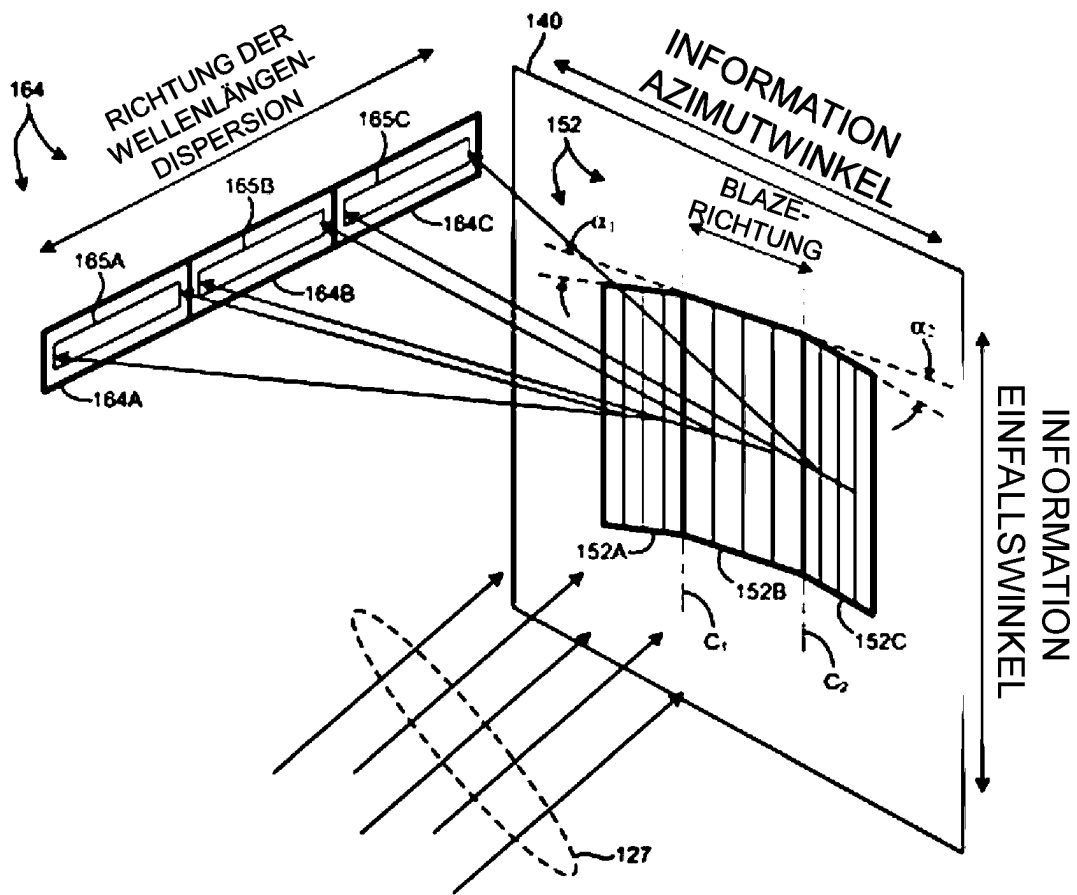


FIG. 6

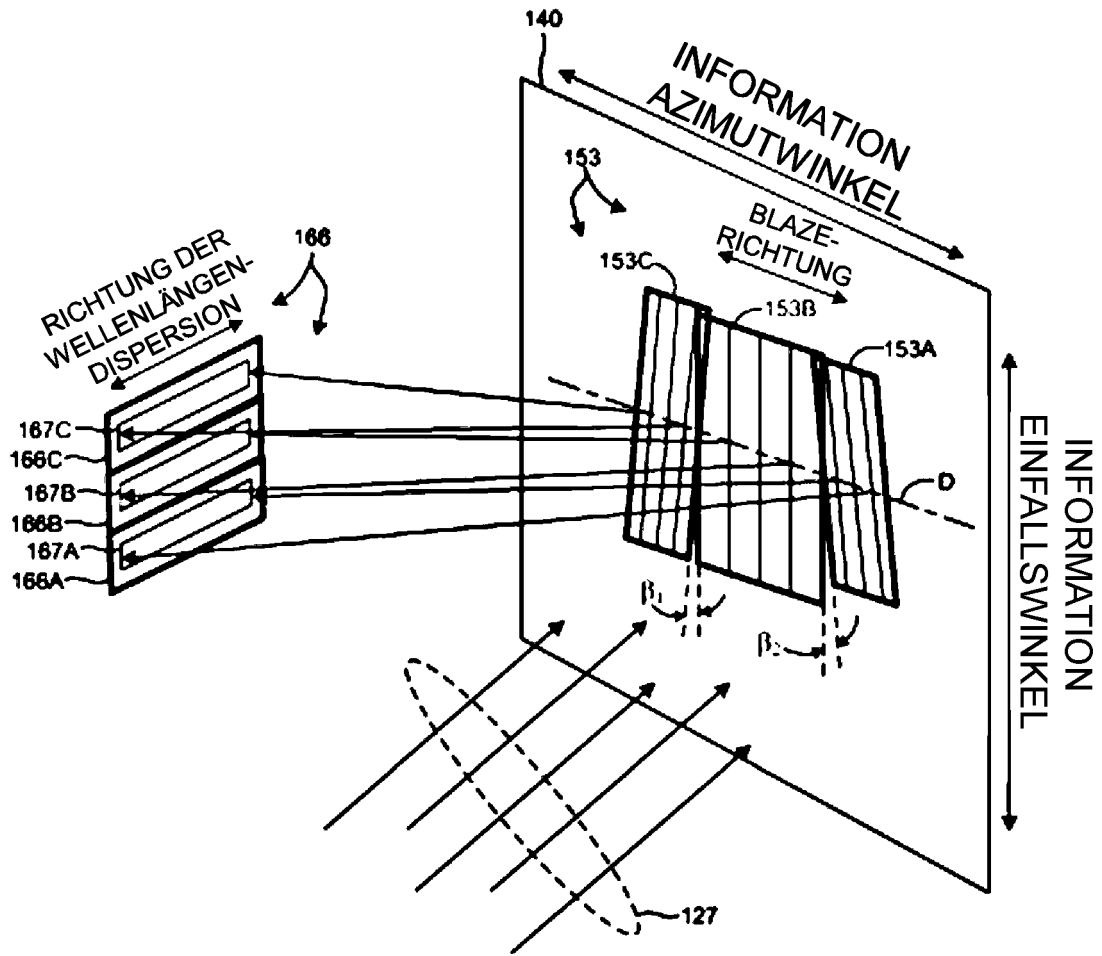


FIG. 7

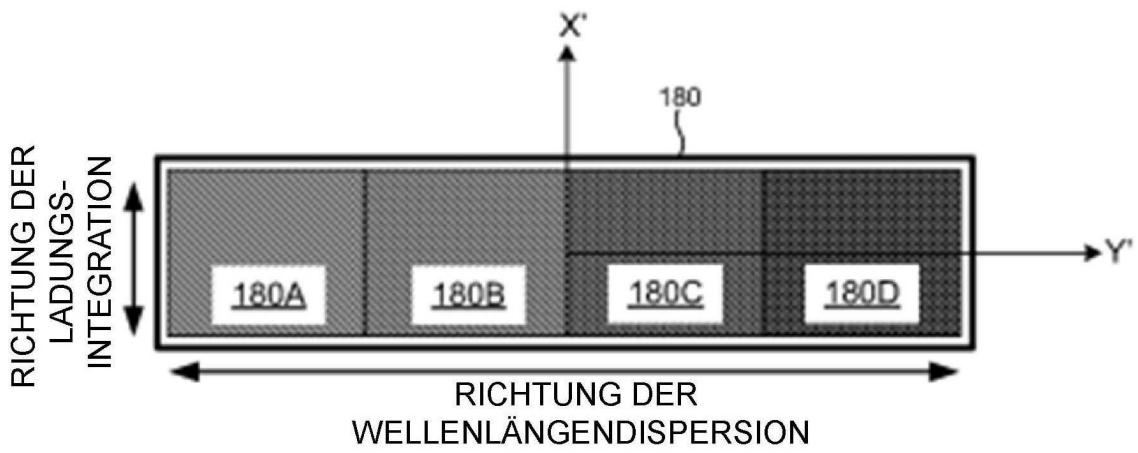


FIG. 8

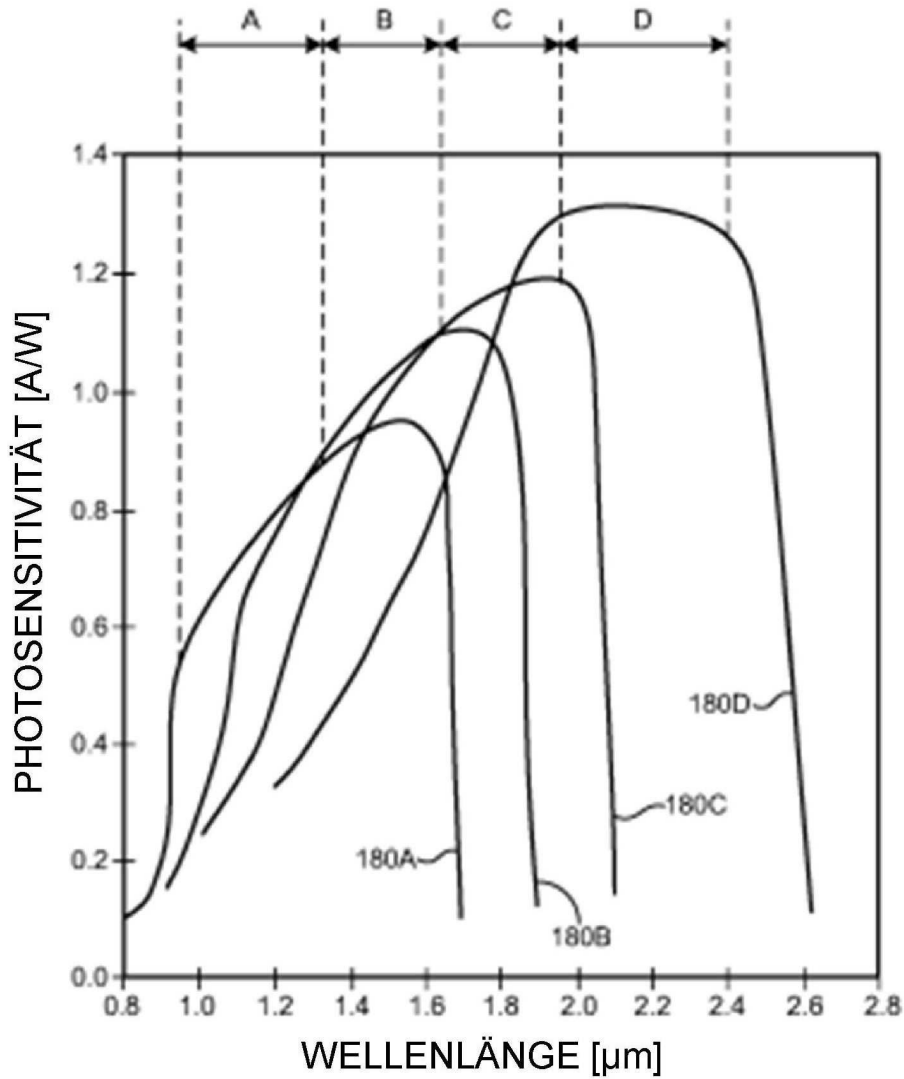


FIG. 9

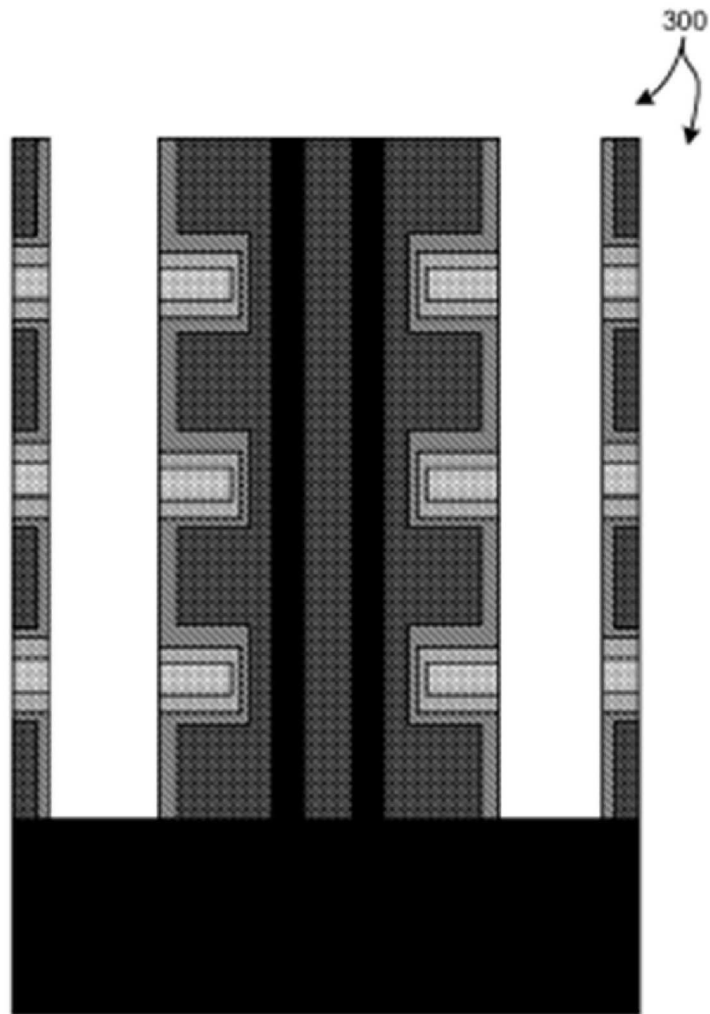


FIG. 10

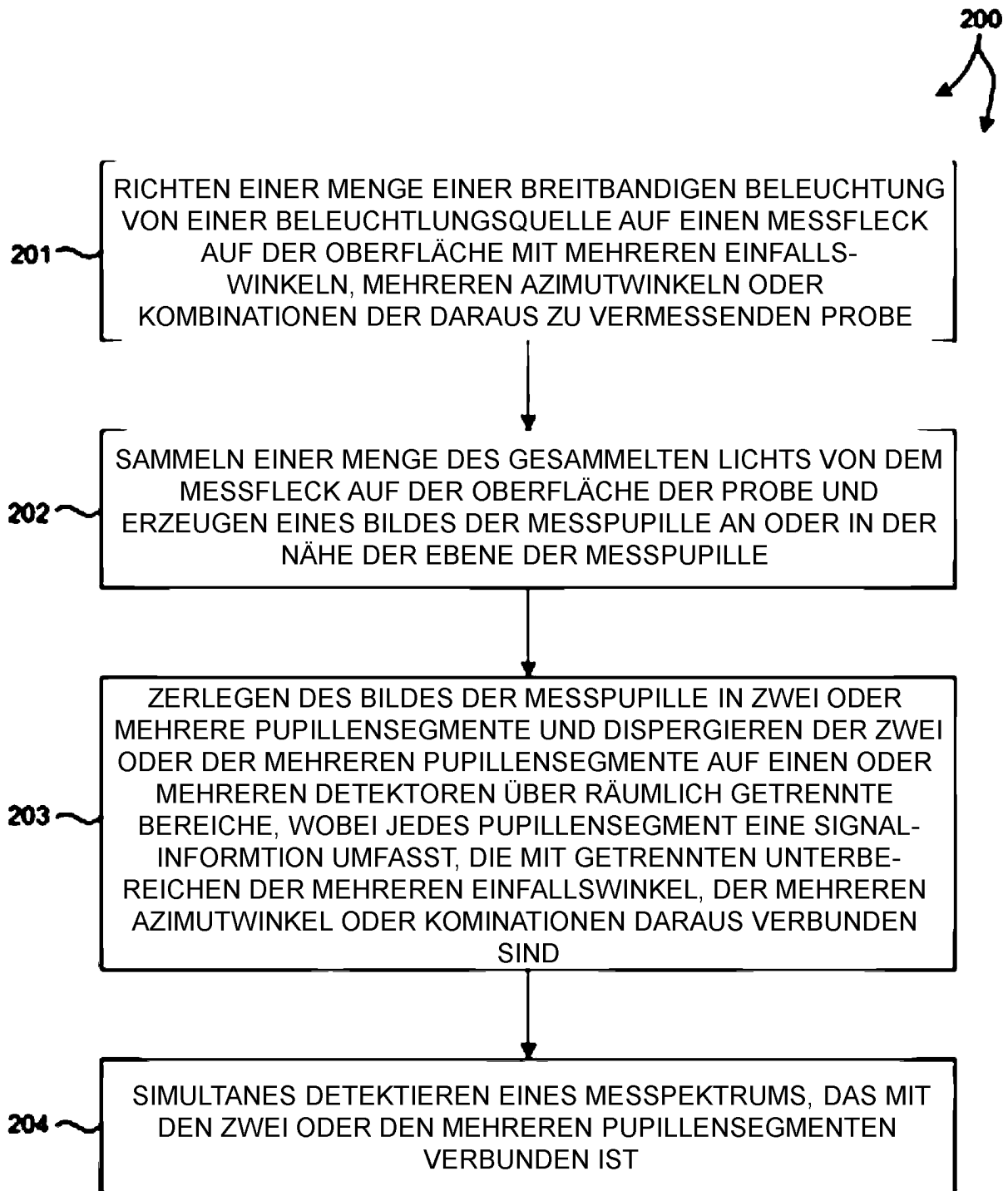


FIG. 11