



(10) **DE 11 2019 006 092 T5** 2021.09.02

(12)

Veröffentlichung

der internationalen Anmeldung mit der
(87) Veröffentlichungs-Nr.: **WO 2020/118125**
in der deutschen Übersetzung (Art. III § 8 Abs. 2
IntPatÜG)

(21) Deutsches Aktenzeichen: **11 2019 006 092.9**

(86) PCT-Aktenzeichen: **PCT/US2019/064805**

(86) PCT-Anmeldetag: **06.12.2019**

(87) PCT-Veröffentlichungstag: **11.06.2020**

(43) Veröffentlichungstag der PCT Anmeldung
in deutscher Übersetzung: **02.09.2021**

(51) Int Cl.: **G01B 11/24 (2006.01)**
G01B 15/04 (2006.01)
H01L 21/66 (2006.01)

(30) Unionspriorität:

62/776,292 **06.12.2018** **US**
16/287,523 **27.02.2019** **US**

(71) Anmelder:

KLA Corporation, Milpitas, CA, US

(74) Vertreter:

Reichert & Lindner Partnerschaft Patentanwälte,
93049 Regensburg, DE

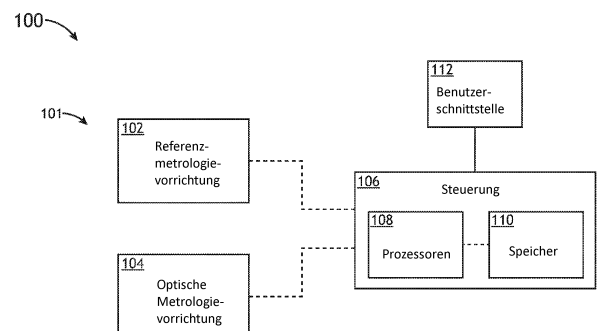
(72) Erfinder:

Wu, Song, Shanghai, CN; Xu, Yin, Shanghai, CN;
Shchegrov, Andrei, Los Gatos, CA, US; Lee, Lie-
Quan Rich, Fremont, CA, US; Rovira, Pablo, Santa
Clara, CA, US; Madsen, Jon, Los Altos, CA, US

Die folgenden Angaben sind den vom Anmelder eingereichten Unterlagen entnommen.

(54) Bezeichnung: **LOSE GEKOPPELTES INSPEKTIONS- UND METROLOGIESYSTEM ZUR ÜBERWACHUNG
EINES PRODUKTIONSPROZESSES MIT HOHEM VOLUMEN**

(57) Zusammenfassung: Ein Metrologiesystem ist offenbart. In einer Ausführungsform beinhaltet das Metrologiesystem eine Steuerung, die kommunikativ mit einer Referenzmetrologievorrichtung und einer optischen Metrologievorrichtung gekoppelt ist, wobei die Steuerung einen oder mehrere Prozessoren umfasst, die konfiguriert sind zum: Erzeugen eines geometrischen Modells zum Bestimmen eines Profils einer Test-HAR-Struktur aus Metrologiedaten von einer Referenzmetrologievorrichtung; Erzeugen eines Materialmodells zum Bestimmen eines oder mehrerer Materialparameter einer Test-HAR-Struktur aus Metrologiedaten von der optischen Metrologievorrichtung; Bilden eines Verbundmodells aus dem geometrischen Modell und dem Materialmodell; Messen mindestens einer zusätzlichen Test-HAR-Struktur mit der optischen Metrologievorrichtung; und Bestimmen eines Profils der mindestens einen zusätzlichen Test-HAR-Struktur basierend auf dem Verbundmodell und Metrologiedaten von der optischen Metrologievorrichtung, die mit der mindestens einen HAR-Teststruktur assoziiert sind.



Beschreibung

QUERVERWEIS AUF VERWANDTE ANMELDUNG

[0001] Die vorliegende Anmeldung beansprucht den Vorteil unter 35 U.S.C. § 119 (e) der vorläufigen US-Anmeldung mit der Seriennummer 62/776,292, eingereicht am 6. Dezember 2018, mit dem Titel LOOSELY COUPLED INSPECTION AND METROLOGY SYSTEM FOR HIGH VOLUME PRODUCTION PROCESS MONITORING, in der Song Wu, Yin Xu und Andrei Shchegrov, Lie-Quan Lee, Pablo Rovira und Jonathan Madsen als Erfinder genannt werden, die hierin durch Verweis zur Gänze aufgenommen wird.

TECHNISCHER BEREICH

[0002] Die vorliegende Erfindung betrifft allgemein die Bereiche Inspektion und Metrologie und insbesondere ein System und ein Verfahren zur Überwachung von Produktionsprozessen mit hohem Volumen.

HINTERGRUND

[0003] Die Forderung nach elektronischen Logik- und Speicherbauelementen mit immer kleinerem Platzbedarf und kleineren Merkmalen stellt eine Vielzahl von Fertigungsherausforderungen dar, die über die Herstellung in einem gewünschten Maßstab hinausgehen. Zunehmend komplexe Strukturen führen zu einer zunehmenden Anzahl von Parametern, die überwacht und gesteuert werden müssen, um die Bauteilintegrität aufrechtzuerhalten. Ein wichtiges Merkmal auf dem Gebiet der Halbleiterherstellung ist/ sind die kritische(n) Dimension(en) (CD) von Bauelementmerkmalen, einschließlich der kritischen Dimension von Strukturen mit hohem Seitenverhältnis (HAR).

[0004] Traditionell wurden optische Metrologievorrichtungen für kritische Dimensionen (Optical Critical Dimension, OCD) verwendet, um kritische Dimensionen von HAR-Strukturen zu messen. Die Genauigkeit der OCD-Modellierung von HAR-Strukturen ist jedoch begrenzt, da das in eine Probe eindringende Licht mit der Tiefe der gemessenen Probe abnimmt. Dementsprechend ist es schwierig, detaillierte Informationen zum HAR-Strukturprofil zu erhalten. Darüber hinaus können tiefere HAR-Strukturen mit herkömmlicher OCD-Modellierung äußerst schwierig zu messen sein. Das Unvermögen, tiefere HAR-Strukturen zu messen, wird durch die immer größere Tiefe der Proben verschärft. Wenn die Anzahl der Schichten in einer Probe zunimmt, nimmt die Tiefe der HAR-Strukturen zu, was dazu führen kann, dass die HAR-Strukturen stärker gebogen und / oder verdreht werden. Daher steigt die Notwendigkeit, das gesamte Profil von HAR-Strukturen genau zu messen, wei-

ter an, während die Wirksamkeit von OCD-Modellierungstechniken weiter abnimmt, wenn die Proben tiefer werden.

[0005] Ein anderer Ansatz, der verwendet wurde, um CDs von HAR-Strukturen zu messen, ist die Verwendung von Transmissionskleinwinkel-Röntgenstreuungstechniken (T-SAXS). T-SAXS-Techniken messen CDs und Profile von HAR-Strukturen genauer. Aufgrund der Tatsache, dass T-SAXS Röntgenstrahlen verwendet, die durch die Probe transmittiert werden, sind die von einem Detektor gesammelten Signale sehr schwach. In dieser Hinsicht leiden T-SAXS-Techniken unter einem extrem niedrigen Durchsatz, was ihre Anwendung bei der Produktion mit hoher Probennahmerate oder mit hohem Volumen verhindert.

[0006] Ein früherer hybrider Ansatz beinhaltet die Kombination von OCD-Modellierungstechniken mit den T-SAXS-Techniken. Bei diesem Hybridansatz muss jedoch jede einzelne Probe sowohl von der OCD-Vorrichtung als auch von der Röntgenvorrichtung gemessen werden, wodurch der Hybridansatz unter dem geringen Durchsatz der T-SAXS-Technik leidet. Darüber hinaus war es schwierig, ein Modell zu analysieren, zu berechnen und zu optimieren, das Metrologieinformationen aus einem OCD-Tool und einem Röntgen-Tool kombiniert, was zu ungenauen Ergebnissen führte.

[0007] Daher wäre es wünschenswert, ein System und ein Verfahren bereitzustellen, die einen oder mehrere der oben identifizierten Mängel der vorherigen Ansätze beheben.

ÜBERSICHT

[0008] Ein Metrologiesystem für Strukturen mit hohem Seitenverhältnis (HAR) wird offenbart. In einer Ausführungsform umfasst das Metrologiesystem eine Steuerung, die kommunikativ mit einer Referenzmetrologievorrichtung und einer optischen Metrologievorrichtung gekoppelt ist. Die Steuerung kann einen oder mehrere Prozessoren enthalten, die konfiguriert sind, um Programmanweisungen auszuführen, die konfiguriert sind, den einen oder die mehreren Prozessoren zu veranlassen zum: Erzeugen eines geometrischen Modells zum Bestimmen eines Profils einer Test-HAR-Struktur aus Metrologiedaten von einer Referenzmetrologievorrichtung; Erzeugen eines Materialmodells zum Bestimmen eines oder mehrerer Materialparameter einer Test-HAR-Struktur aus Metrologiedaten von der optischen Metrologievorrichtung; Bilden eines Verbundmodells aus dem geometrischen Modell und dem Materialmodell zum Bestimmen eines Profils einer Test-HAR-Struktur basierend auf Metrologiedaten von der optischen Metrologievorrichtung; Messen mindestens einer zusätzlichen Test-HAR-Struktur mit der optischen Metrolo-

gievorrichtung; und Bestimmen eines Profils der mindestens einen zusätzlichen Test-HAR-Struktur basierend auf dem Verbundmodell und den Metrologiedaten von der optischen Metrologievorrichtung, die mit der mindestens einen HAR-Teststruktur assoziiert sind.

[0009] Ein Metrologiesystem für Strukturen mit hohem Seitenverhältnis (HAR) wird offenbart. In einer Ausführungsform umfasst das Metrologiesystem eine Referenzmetrologievorrichtung. In einer anderen Ausführungsform umfasst das Metrologiesystem eine optische Metrologievorrichtung. In einer anderen Ausführungsform umfasst das Metrologiesystem eine Steuerung, die kommunikativ mit der Referenzmetrologievorrichtung und der optischen Metrologievorrichtung gekoppelt ist, wobei die Steuerung einen oder mehrere Prozessoren umfasst, die konfiguriert sind, um Programmanweisungen auszuführen, die so konfiguriert sind, dass sie den einen oder die mehreren Prozessoren veranlassen zum: Erzeugen eines geometrischen Modells zum Bestimmen eines Profils einer Test-HAR-Struktur aus Metrologiedaten von der Referenzmetrologievorrichtung; Erzeugen eines Materialmodells zum Bestimmen eines oder mehrerer Materialparameter einer Test-HAR-Struktur aus Metrologiedaten von der optischen Metrologievorrichtung; Bilden eines Verbundmodells aus dem geometrischen Modell und dem Materialmodell zum Bestimmen eines Profils einer Test-HAR-Struktur aus Metrologiedaten von der optischen Metrologievorrichtung; Messen mindestens einer zusätzlichen Test-HAR-Struktur mit der optischen Metrologievorrichtung; und Bestimmen eines Profils der mindestens einen zusätzlichen Test-HAR-Struktur basierend auf Metrologiedaten von der optischen Metrologievorrichtung, die mit der mindestens einen HAR-Teststruktur assoziiert sind, basierend auf dem Verbundmodell.

[0010] Ein Metrologieverfahren wird offenbart. In einer Ausführungsform umfasst das Metrologieverfahren das Erzeugen eines geometrischen Modells zum Bestimmen eines Profils einer Test-HAR-Struktur aus Metrologiedaten von einer Referenzmetrologievorrichtung; das Erzeugen eines Materialmodells zum Bestimmen eines oder mehrerer Materialparameter einer Test-HAR-Struktur aus Metrologiedaten von einer optischen Metrologievorrichtung; das Bilden eines Verbundmodells aus dem geometrischen Modell und dem Materialmodell zum Bestimmen eines Profils einer Test-HAR-Struktur aus Metrologiedaten von der optischen Metrologievorrichtung; das Messen mindestens einer zusätzlichen Test-HAR-Struktur mit der optischen Metrologievorrichtung; und das Bestimmen eines Profils der mindestens einen zusätzlichen Test-HAR-Struktur basierend auf dem endgültigen Verbundmodell und Metrologiedaten aus der optischen Metrologievorrichtung, die mit der mindestens einen HAR-Teststruktur assoziiert sind.

[0011] Es versteht sich, dass sowohl die vorstehende allgemeine Beschreibung als auch die folgende detaillierte Beschreibung nur beispielhaft und erklärend sind und die beanspruchte Erfindung nicht notwendigerweise einschränken. Die beigefügten Zeichnungen, die in der Beschreibung enthalten sind und einen Teil davon bilden, veranschaulichen Ausführungsformen der Erfindung und dienen zusammen mit der allgemeinen Beschreibung dazu, die Prinzipien der Erfindung zu erklären.

Figurenliste

[0012] Die zahlreichen Vorteile der Offenbarung können vom Fachmann unter Bezugnahme auf die beigefügten Figuren besser verstanden werden, in denen:

Fig. 1 ein vereinfachtes Blockdiagramm eines Metrologiesystems gemäß einer oder mehreren Ausführungsformen der vorliegenden Offenbarung darstellt;

Fig. 2 ein vereinfachtes Blockdiagramm eines Metrologiesystems mit einer Referenzmetrologievorrichtung gemäß einer oder mehreren Ausführungsformen der vorliegenden Offenbarung darstellt;

Fig. 3 ein vereinfachtes Blockdiagramm eines Metrologiesystems mit einer optischen Metrologievorrichtung gemäß einer oder mehreren Ausführungsformen der vorliegenden Offenbarung darstellt;

Fig. 4A ein Flussdiagramm eines Verfahrens zum Charakterisieren von Strukturen mit hohem Seitenverhältnis gemäß einer oder mehreren Ausführungsformen der vorliegenden Offenbarung darstellt;

Fig. 4B ein Flussdiagramm eines Teils eines Verfahrens zur Charakterisierung von Strukturen mit hohem Seitenverhältnis gemäß einer oder mehreren Ausführungsformen der vorliegenden Offenbarung darstellt;

Fig. 5 eine Querschnittsansicht einer Probe mit einer Struktur mit hohem Seitenverhältnis gemäß einer oder mehreren Ausführungsformen der vorliegenden Offenbarung darstellt;

Fig. 6A einen Graphen von Messungen kritischer Dimensionen von einer herkömmlichen optischen Vorrichtung für kritische Dimensionen gemäß einer oder mehreren Ausführungsformen der vorliegenden Offenbarung darstellt;

Fig. 6B einen Graphen von Messungen kritischer Dimensionen von einer Kleinwinkel-Röntgenstreuungsvorrichtung für kritische Dimensionen (CD-SAXS) gemäß einer oder mehreren Ausführungsformen der vorliegenden Offenbarung darstellt; und

Fig. 6C einen Graphen von Messungen kritischer Dimensionen, die sowohl unter Verwendung einer herkömmlichen optischen Vorrichtung für kritische Dimensionen als auch einer Kleinwinkel-Röntgenstreuungsvorrichtung für kritische Dimensionen (CD-SAXS) erhalten wurden, gemäß einer oder mehreren Ausführungsformen der vorliegenden Offenbarung darstellt.

DETAILLIERTE BESCHREIBUNG

[0013] Die vorliegende Offenbarung wurde insbesondere in Bezug auf bestimmte Ausführungsformen und spezifische Merkmale davon gezeigt und beschrieben. Die hier dargelegten Ausführungsformen dienen eher der Veranschaulichung als der Einschränkung. Es sollte für den Durchschnittsfachmann leicht ersichtlich sein, dass verschiedene Änderungen und Modifikationen in Form und Detail vorgenommen werden können, ohne vom Geist und Umfang der Offenbarung abzuweichen.

[0014] Traditionell wurden optische Metrologievorrichtungen für kritische Dimensionen (Optical Critical Dimension, OCD) verwendet, um kritische Dimensionen von HAR-Strukturen zu messen. Die Genauigkeit der OCD-Modellierung von HAR-Strukturen ist jedoch begrenzt, da das in eine Probe eindringende Licht mit der Tiefe der gemessenen Probe abnimmt. Ein anderer Ansatz, der verwendet wurde, um CDs von HAR-Strukturen zu messen, ist die Verwendung von Transmissionskleinwinkel-Röntgenstreuungstechniken (T-SAXS). Obwohl T-SAXS-Techniken bei der Messung von CDs und Profilen von HAR-Strukturen genauer sind, leiden T-SAXS-Techniken unter einem extrem niedrigen Durchsatz, was ihre Anwendung bei der Überwachung von Produktionsprozessen mit hohem Volumen verhindert. Die Verwendung von Röntgenfluoreszenz (XRF) und Elektronenmikroskopanalyse zur Messung dünner Filme ist allgemein im US-Patent Nr. 6,816,570, eingereicht am 7. März 2002 mit dem Titel MULTI-TECHNIQUE THIN FILM ANALYSIS TOOL beschrieben, welches hierin durch Verweis zur Gänze aufgenommen wird. Darüber hinaus beinhaltet ein früherer Hybridansatz die Kombination von OCD-Modellierungstechniken mit den T-SAXS-Techniken. Bei diesem Hybridansatz muss jedoch jede einzelne Probe sowohl mit der OCD-Vorrichtung als auch mit der Röntgenvorrichtung gemessen werden. Darüber hinaus war es schwierig, ein Modell zu analysieren, zu berechnen und zu optimieren, das Metrologieinformationen aus einer OCD-Vorrichtung und einer Röntgen-Vorrichtung kombiniert, was zu ungenauen Ergebnissen führte. Ein hybrider Ansatz, der die T-SAXS-Technologie mit optischen Metrologievorrichtungen kombiniert, ist allgemein in dem am 7. November 2013 eingereichten US-Patent Nr. 9,535,018 B2 mit dem Titel COMBINED X-RAY AND OPTICAL ME-

TROLOGY beschrieben, welches hierin durch Verweis zur Gänze aufgenommen wird.

[0015] Es wird nun detailliert auf den offenbarten Gegenstand Bezug genommen, der in den beigefügten Zeichnungen dargestellt ist.

[0016] Unter allgemeiner Bezugnahme auf die **Fig. 1 - Fig. 6C** werden ein System und ein Verfahren zur Überwachung von Produktionsprozessen mit hohem Volumen gemäß einer oder mehreren Ausführungsformen der vorliegenden Offenbarung beschrieben.

[0017] Ausführungsformen der vorliegenden Offenbarung sind auf ein lose gekoppeltes System zur Metrologie oder Inspektion mit hohem Durchsatz und hoher Präzision zur Überwachung von Produktion in hohem Volumen gerichtet. Insbesondere sind Ausführungsformen der vorliegenden Offenbarung auf ein System gerichtet, das eine Referenzvorrichtung mit hoher Auflösung / niedrigem Durchsatz für eine hochpräzise Referenzmessung in Kombination mit einer optischen Vorrichtung mit niedriger Auflösung / hohem Durchsatz enthält. Es wird hierin angemerkt, dass das System, das eine Referenzmetrologievorrichtung und eine optische Metrologievorrichtung enthält, die den gleichen Modellierungsaspekt verwenden, die Überwachung von Produktionsprozessen mit hohem Volumen erleichtern kann.

[0018] Weitere Ausführungsformen der vorliegenden Offenbarung sind auf ein Verfahren zum Messen kritischer Dimensionen (CDs) von Strukturen mit hohem Seitenverhältnis (HAR) innerhalb einer Probe gerichtet. In einer Ausführungsform umfasst das Verfahren das Kombinieren von Metrologiedaten, die von einer Referenzmetrologievorrichtung erfasst wurden, mit Metrologiedaten, die von einer optischen Metrologievorrichtung erfasst wurden, um ein Verbundmodell zu erzeugen, das zum Bestimmen von Profilen und CDs von HAR-Strukturen verwendet werden kann.

[0019] **Fig. 1** zeigt ein vereinfachtes Blockdiagramm eines Metrologiesystems **100** gemäß einer oder mehreren Ausführungsformen der vorliegenden Offenbarung. Das System **100** kann einen Metrologievorrichtungscluster **101**, eine Steuerung **106** und eine Benutzerschnittstelle **112** umfassen, ist aber nicht darauf beschränkt. Der Metrologievorrichtungscluster **101** kann eine oder mehrere Metrologievorrichtungen, eine oder mehrere Inspektionsvorrichtungen und dergleichen enthalten. Zum Beispiel, wie in **Fig. 1** gezeigt, umfasst der Metrologievorrichtungscluster **101** eine Referenzmetrologievorrichtung **102** und eine optische Metrologievorrichtung **104**.

[0020] In einigen Ausführungsformen umfasst die Referenzmetrologievorrichtung **102** eine hochauflösende Metrologievorrichtung. Beispielsweise kann

die Referenzmetrologievorrichtung **102** eine Röntgenmetrologievorrichtung enthalten. Beispielsweise kann die Referenzmetrologievorrichtung **102** eine Metrologievorrichtung mit weicher Röntgenstrahlung, eine Kleinwinkel-Röntgenstreuungsvorrichtung (z. B. T-SAXS, CD-SAXS) und dergleichen enthalten. Als ein anderes Beispiel kann die Referenzmetrologievorrichtung **102** eine Elektronenstrahl-Metrologievorrichtung, ein Rasterelektronenmikroskop (SEM), ein Transmissionselektronenmikroskop (TEM), ein Rastertkraftmikroskop (AFM) und dergleichen umfassen, ist aber nicht darauf beschränkt. In einer anderen Ausführungsform umfasst die optische Metrologievorrichtung **104** eine Metrologievorrichtung mit hohem Durchsatz. Beispielsweise kann die optische Metrologievorrichtung **104** eine optische Metrologievorrichtung für kritische Dimensionen (OCD) enthalten, ist aber nicht darauf beschränkt.

[0021] Obwohl ein Großteil der vorliegenden Offenbarung im Zusammenhang mit der Metrologie gezeigt und beschrieben wird, ist dies nicht als Einschränkung der vorliegenden Offenbarung anzusehen, sofern hierin nicht anders angegeben. Es wird hierin angemerkt, dass Ausführungsformen der vorliegenden Offenbarung in anderen Inspektionskontexten als der Metrologie angewendet werden können. Beispielsweise wird hierin in Betracht gezogen, dass das System und das Verfahren der vorliegenden Offenbarung als lose gekoppeltes Inspektionssystem angewendet werden können, das eine Referenzvorrichtung (z. B. eine Röntgenvorrichtung) zum feindetaillierten Scannen und eine optische Vorrichtung für grobes Scannen verwendet, die ähnliche Modellierungsaspekte aufweisen.

[0022] In einer Ausführungsform ist die Referenzmetrologievorrichtung **102** konfiguriert, um Metrologiedaten einer Probe zu sammeln und die gesammelten Metrologiedaten an die Steuerung **106** zu übertragen. In ähnlicher Weise ist in einer anderen Ausführungsform die optische Metrologievorrichtung **104** konfiguriert, um Metrologiedaten einer Probe zu sammeln und die gesammelten Metrologiedaten an die Steuerung **106** zu übertragen. Es wird hierin angemerkt, dass die Steuerung **106** kommunikativ mit den verschiedenen Vorrichtungen des Metrologievorrichtungsklusters **101** (z. B. der Referenzmetrologievorrichtung **102** und der optischen Metrologievorrichtung **104**) unter Verwendung beliebiger auf dem Fachgebiet bekannter Techniken gekoppelt werden kann.

[0023] In einer Ausführungsform umfasst die Steuerung **106** einen oder mehrere Prozessoren **108** und einen Speicher **110**. In einer anderen Ausführungsform können der eine oder die mehreren Prozessoren **108** konfiguriert sein, um einen Satz von Programmanweisungen auszuführen, die in dem Speicher **110** gespeichert sind, wobei der Satz von Programmanweisungen konfiguriert ist, um den einen

oder die mehreren Prozessoren **108** zu veranlassen, die Schritte der vorliegenden Offenbarung auszuführen.

[0024] Es wird hierin angemerkt, dass die eine oder mehreren Komponenten des Systems **100** auf irgendeine im Stand der Technik bekannte Weise kommunikativ mit den verschiedenen anderen Komponenten des Systems **100** gekoppelt sein können. Beispielsweise können der eine oder die mehreren Prozessoren **108** über eine Drahtleitung (z. B. Kupferdraht, Glasfaserkabel und dergleichen) oder eine drahtlose Verbindung (z. B. RF-Kopplung, IR-Kopplung, Datennetzwerk-Kommunikation (z. B. 3G, 4G, 4G LTE, 5G, WiFi, WiMax, Bluetooth und dergleichen)) miteinander und mit anderen Komponenten kommunikativ gekoppelt sein.

[0025] In einer Ausführungsform können der eine oder die mehreren Prozessoren **108** ein oder mehrere im Stand der Technik bekannte Verarbeitungselemente enthalten. In diesem Sinne können der eine oder die mehreren Prozessoren **108** eine beliebige Vorrichtung vom Mikroprozessortyp enthalten, die zum Ausführen von Softwarealgorithmen und / oder -anweisungen konfiguriert ist. In einer Ausführungsform können der eine oder die mehreren Prozessoren **108** aus einem Desktop-Computer, einem Mainframe-Computersystem, einer Workstation, einem Bildcomputer, einem Parallelprozessor oder einem anderen Computersystem (z. B. einem Netzwerkcomputer) bestehen, konfiguriert zum Ausführen eines Programms, das zum Betreiben des Systems **100** wie in der gesamten vorliegenden Offenbarung beschrieben konfiguriert ist. Es sollte anerkannt werden, dass die in der vorliegenden Offenbarung beschriebenen Schritte von einem einzelnen Computersystem oder alternativ von mehreren Computersystemen ausgeführt werden können. Weiterhin sollte anerkannt werden, dass die in der vorliegenden Offenbarung beschriebenen Schritte auf einem oder mehreren der einen oder mehreren Prozessoren **108** ausgeführt werden können. Im Allgemeinen kann der Begriff „Prozessor“ breit definiert werden, um jede Vorrichtung mit einem oder mehreren Verarbeitungselementen zu umfassen, die Programmanweisungen aus dem Speicher **110** ausführen. Darüber hinaus können verschiedene Subsysteme des Systems **100** (z. B. die Referenzmetrologievorrichtung **102**, die optische Metrologievorrichtung **104**, die Steuerung **106**) Prozessor- oder Logikelemente enthalten, die zum Ausführen mindestens eines Teils der in der vorliegenden Offenbarung beschriebenen Schritte geeignet sind. Daher sollte die obige Beschreibung nicht als Einschränkung der vorliegenden Offenbarung interpretiert werden, sondern lediglich als Illustration.

[0026] Der Speicher **110** kann jedes auf dem Fachgebiet bekannte Speichermedium enthalten, das zum Speichern von Programmanweisungen, die von dem

zugeordneten einen oder mehreren Prozessoren **108** ausführbar sind, und von von den Vorrichtungen des Metrologievorrichtungsclusters **101** (z. B. Referenzmetrologievorrichtung **102**, optische Metrologievorrichtung **104**, Steuerung **106**) empfangenen Daten geeignet ist. Beispielsweise kann der Speicher **110**, ohne aber darauf beschränkt zu sein, einen Nur-Lese-Speicher (ROM), einen Direktzugriffsspeicher (RAM), eine magnetische oder optische Speichervorrichtung (z. B. eine Platte), ein Magnetband, ein Solid-State-Drive und dergleichen enthalten.

[0027] Es wird ferner angemerkt, dass der Speicher **110** in einem gemeinsamen Steuerungsgehäuse mit dem einen oder den mehreren Prozessoren **1058** untergebracht sein kann. In einer alternativen Ausführungsform kann der Speicher **110** in Bezug auf den physikalischen Ort der Prozessoren **108**, der Steuerung **106** und dergleichen entfernt angeordnet sein. In einer anderen Ausführungsform verwaltet der Speicher **110** Programmanweisungen, um den einen oder die mehreren Prozessoren **108** zu veranlassen, die verschiedenen Schritte auszuführen, die durch die vorliegende Offenbarung beschrieben werden.

[0028] In einer Ausführungsform ist eine Benutzerschnittstelle **112** kommunikativ mit der Steuerung **106** gekoppelt. In einer Ausführungsform kann die Benutzerschnittstelle **112** einen oder mehrere Desktops, Tablets, Smartphones, Smartwatches oder dergleichen umfassen, ist aber nicht darauf beschränkt. In einer anderen Ausführungsform umfasst die Benutzerschnittstelle **112** eine Anzeige, die verwendet wird, um einem Benutzer Daten des Systems **100** anzuzeigen. Die Anzeige der Benutzerschnittstelle **112** kann jede auf dem Fachgebiet bekannte Anzeige umfassen. Beispielsweise kann die Anzeige eine Flüssigkristallanzeige (LCD), eine Anzeige auf Basis einer organischen Leuchtdiode (OLED) oder eine CRT-Anzeige umfassen, ist aber nicht darauf beschränkt. Fachleute sollten erkennen, dass jede Anzeigevorrichtung, die in eine Benutzerschnittstelle **112** integriert werden kann, zur Implementierung in der vorliegenden Offenbarung geeignet ist. In einer anderen Ausführungsform kann ein Benutzer Auswahlen und / oder Anweisungen eingeben, in Reaktion auf Daten, die dem Benutzer über die Benutzerschnittstelle **112** angezeigt werden.

[0029] **Fig. 2** zeigt ein vereinfachtes Blockdiagramm eines Metrologiesystems **100** mit einer Referenzmetrologievorrichtung **102** gemäß einer oder mehreren Ausführungsformen der vorliegenden Offenbarung. Insbesondere zeigt **FIG. 2** zeigt ein vereinfachtes Blockdiagramm des Systems **100** mit einer Röntgenmetrologievorrichtung (z. B. Referenzmetrologievorrichtung **102**). Es wird hier jedoch weiter angemerkt, dass die relativen Komponenten und die Konfiguration der Referenzmetrologievorrichtung **102**, die in **Fig. 2** dargestellt sind, nur zur Veranschaulichung

dienen und nicht als einschränkend anzusehen sind, sofern hierin nicht anders angegeben.

[0030] In einer Ausführungsform umfasst die Referenzmetrologievorrichtung **102** eine Röntgenquelle **103**, die zum Erzeugen eines oder mehrerer Röntgenstrahlen **107** konfiguriert ist, und einen Röntgendetektor **122**. Die Röntgenquelle **103** kann jede im Stand der Technik bekannte Röntgenquelle enthalten. In einer Ausführungsform umfasst die Röntgenquelle **103** eine Röntgenquelle auf Basis eines durch Laser erzeugten Plasmas (LPP). Beispielsweise kann die Röntgenquelle **103** eine Laserquelle **114** enthalten, die konfiguriert ist, um einen Strahl **105** zum Pumpen von Plasma **116** zu erzeugen. In Reaktion auf die Laserstrahlung kann das Plasma **116** konfiguriert sein, um einen räumlich kohärenten Röntgenstrahl **107** zu erzeugen.

[0031] In einer anderen Ausführungsform ist die Röntgenquelle **103** konfiguriert, um einen oder mehrere Röntgenstrahlen **107** auf eine Probe **118** zu richten, die auf einer Tischanordnung **120** angeordnet ist. Die Probe **118** kann jede auf dem Fachgebiet bekannte Probe enthalten, einschließlich, aber nicht darauf beschränkt, eines Halbleiterwafers, eines dreidimensionalen Flash-Speicherstapels, einer dreidimensionalen vertikalen Stapelstruktur und dergleichen. Die Tischanordnung **120** kann jede auf dem Fachgebiet bekannte Tischanordnung umfassen, die konfiguriert ist, um die Bewegung der Probe **118** zu ermöglichen, einschließlich, ohne darauf beschränkt zu sein, eines X-Y-Tisches oder eines R- θ -Tisches. In einer anderen Ausführungsform ist die Tischanordnung **120** so konfiguriert, dass die Höhe der Probe **118** während der Inspektion eingestellt wird, um den Fokus auf die Probe **118** aufrechtzuerhalten.

[0032] Die Röntgenquelle **103** und der Röntgendetektor **122** können im Transmissionsmodus angeordnet sein. In einer zusätzlichen und / oder alternativen Ausführungsform können die Röntgenquelle **103** und der Röntgendetektor **122** im Reflexionsmodus angeordnet sein. Umgekehrt ist der Röntgendetektor **122** konfiguriert, um die von der Probe **118** gestreuten Röntgenstrahlen zu sammeln. In einer Ausführungsform ist der Röntgendetektor **122** konfiguriert, um Metrologiedaten der Probe **118** durch Sammeln / Messen des einen oder der mehreren Röntgenbeugungsmuster **109** zu erhalten, die durch die eine oder die mehreren HAR-Strukturen, Defekte oder andere Merkmale der Probe **118** verursacht werden.

[0033] In einer anderen Ausführungsform ist der Röntgendetektor **122** konfiguriert, um gesammelte und / oder erfasste Metrologiedaten an die Steuerung **106** zu übertragen.

[0034] **Fig. 3** zeigt ein vereinfachtes Blockdiagramm eines Metrologiesystems **100** mit einer optischen Me-

trologievorrichtung **104** gemäß einer oder mehreren Ausführungsformen der vorliegenden Offenbarung. Wie zuvor hierin erwähnt, kann die optische Metrologievorrichtung **104** eine optische Metrologievorrichtung für kritische Dimensionen umfassen, ist aber nicht darauf beschränkt. Die optische Metrologievorrichtung **104** kann eine Beleuchtungsquelle **124**, einen Beleuchtungsarm **111**, einen Sammelarm **113** und eine Detektoranordnung **134** umfassen, ist aber nicht darauf beschränkt.

[0035] In einer Ausführungsform ist die optische Metrologievorrichtung **104** konfiguriert, um die auf der Tischanordnung **120** angeordnete Probe **118** zu inspizieren und / oder zu messen. Die Beleuchtungsquelle **124** kann jede im Stand der Technik bekannte Beleuchtungsquelle zum Erzeugen der Beleuchtung **125** umfassen, einschließlich, aber nicht darauf beschränkt, einer Breitbandstrahlungsquelle.

[0036] In einer anderen Ausführungsform kann die optische Metrologievorrichtung **104** einen Beleuchtungsarm **111** enthalten, der konfiguriert ist, um die Beleuchtung **125** auf die Probe **118** zu richten. Es wird angemerkt, dass die Beleuchtungsquelle **124** der optischen Metrologievorrichtung **104** in jeder auf dem Fachgebiet bekannten Orientierung konfiguriert sein kann, einschließlich, aber nicht darauf beschränkt, einer Dunkelfeldorientierung, einer Hellfeldorientierung und dergleichen. Der Beleuchtungsarm **111** kann eine beliebige Anzahl und Art von optischen Komponenten enthalten, die auf dem Fachgebiet bekannt sind. In einer Ausführungsform umfasst der Beleuchtungsarm **111** ein oder mehrere optische Elemente **126**, einen Strahlteiler **128** und eine Objektivlinse **130**. In dieser Hinsicht kann der Beleuchtungsarm **111** konfiguriert sein, um Beleuchtung **125** von der Beleuchtungsquelle **124** auf die Oberfläche der Probe **118** zu fokussieren. Das eine oder die mehreren optischen Elemente **126** können beliebige optische Elemente umfassen, die auf dem Fachgebiet bekannt sind, einschließlich, aber nicht darauf beschränkt, eines oder mehrerer Spiegel, einer oder mehrerer Linsen, eines oder mehrerer Polarisatoren, eines oder mehrerer Strahlteiler und dergleichen.

[0037] In einer anderen Ausführungsform umfasst die optische Metrologievorrichtung **104** einen Sammelarm **113**, der konfiguriert ist, um die von der Probe **118** reflektierte oder gestreute Beleuchtung zu sammeln. In einer anderen Ausführungsform kann der Sammelarm **113** das reflektierte und gestreute Licht auf einen oder mehrere Sensoren einer Detektoranordnung **134** lenken und / oder fokussieren. Es wird angemerkt, dass die Detektoranordnung **134** jede auf dem Fachgebiet bekannte Sensor- und Detektoranordnung zum Erfassen einer von der Probe **118** reflektierten oder gestreuten Beleuchtung umfassen kann.

[0038] In einer anderen Ausführungsform ist die Detektoranordnung **134** der optischen Metrologievorrichtung **104** konfiguriert, um Metrologiedaten der Probe **118** basierend auf der von der Probe **118** reflektierten oder gestreuten Beleuchtung zu sammeln. In einer anderen Ausführungsform ist die Detektoranordnung **134** konfiguriert, um gesammelte und / oder erfasste Metrologiedaten an die Steuerung **106** zu übertragen.

[0039] Wie zuvor hierin erwähnt, kann die Steuerung **106** des Systems **100** einen oder mehrere Prozessoren **108** und einen Speicher **110** enthalten. Der Speicher **110** kann Programmanweisungen enthalten, die konfiguriert sind, um zu bewirken, dass der eine oder die mehreren Prozessoren **108** verschiedene Schritte der vorliegenden Offenbarung ausführen. In einer Ausführungsform sind die Programmanweisungen so konfiguriert, dass sie den einen oder die mehreren Prozessoren **108** veranlassen zum: Veranlassen der Referenzmetrologievorrichtung **102** zum Sammeln von Metrologiedaten einer Probe **118**, die eine oder mehrere HAR-Strukturen enthält; Veranlassen der optischen Metrologievorrichtung **104** zum Sammeln von Metrologiedaten der Probe **118**; Erzeugen eines geometrischen Modells zum Bestimmen eines Profils einer Test-HAR-Struktur aus Metrologiedaten von der Referenzmetrologievorrichtung **102**; Erzeugen eines Materialmodells zum Bestimmen eines oder mehrerer Materialparameter einer Test-HAR-Struktur aus Metrologiedaten von der optischen Metrologievorrichtung **104**; Bilden eines Verbundmodells aus dem geometrischen Modell und dem Materialmodell zum Bestimmen eines Profils einer Test-HAR-Struktur basierend auf Metrologiedaten von der optischen Metrologievorrichtung **104**; Messen mindestens einer zusätzlichen Test-HAR-Struktur mit der optischen Metrologievorrichtung **104**; und Bestimmen eines Profils der mindestens einen zusätzlichen Test-HAR-Struktur basierend auf dem Verbundmodell und Metrologiedaten von der optischen Metrologievorrichtung **104**, die mit der mindestens einen HAR-Teststruktur assoziiert sind. Die verschiedenen Schritte der vorliegenden Offenbarung werden in Bezug auf **Fig. 4** ausführlicher beschrieben.

[0040] **Fig. 4A** zeigt ein Flussdiagramm eines Verfahrens **400** zum Charakterisieren von Strukturen mit hohem Seitenverhältnis (HAR) gemäß einer oder mehreren Ausführungsformen der vorliegenden Offenbarung. Das Verfahren **400** kann verwendet werden, um eine beliebige Anzahl physikalischer Eigenschaften von HAR-Strukturen zu charakterisieren, einschließlich, aber nicht darauf beschränkt, CDs, Asymmetrie, Verdrehung und dergleichen. In einigen Ausführungsformen werden physikalische Eigenschaften von HAR-Strukturen unter Verwendung eines Verbundmodells gemessen, das auf Metrologiedaten einer Metrologievorrichtung mit hohem Durchsatz (z. B. der optischen Metrologievorrichtung

104) basiert, wobei das Verbundmodell zumindest teilweise basierend auf Referenzmessungen von einer hochauflösenden Metrologievorrichtung (z. B. Referenzmetrologievorrichtung **102**) erzeugt wird. In dieser Hinsicht kann das Verbundmodell die Vorteile hochauflösender Messungen von Referenzproben mit einer Metrologie mit hohem Durchsatz kombinieren. Es wird hierin angemerkt, dass die Schritte des Verfahrens **400** ganz oder teilweise durch das System **100** implementiert werden können. Es ist jedoch weiterhin anerkannt, dass das Verfahren **400** nicht auf das System **100** beschränkt ist, indem zusätzliche oder alternative Ausführungsformen auf Systemebene alle oder einen Teil der Schritte des Verfahrens **400** ausführen können.

[0041] In einem Schritt **402** wird ein geometrisches Modell zum Bestimmen einer oder mehrerer physikalischer Eigenschaften (z. B. eines Profils) einer Test-HAR-Struktur basierend auf Metrologiedaten erzeugt, die von einer Referenzmetrologievorrichtung (z. B. Referenzmetrologievorrichtung **102**) empfangen wurden. Wie hierin verwendet, bezieht sich der Begriff „geometrisches Modell“ auf ein Modell zum Bestimmen eines Profils einer HAR-Struktur, einschließlich spezifischer geometrischer Informationen bezüglich der HAR-Struktur. Beispielsweise kann das geometrische Modell ein detailliertes Profil einer HAR-Struktur bestimmen, indem spezifische Höhen und / oder Höhenverhältnisse der HAR-Struktur auf entsprechende CD-Werte, Asymmetrie, Verdrehungswerte der HAR-Struktur und dergleichen abgebildet werden. In dieser Hinsicht kann das geometrische Modell HAR-Profildaten einer Probe basierend auf Metrologiedaten von der Referenzmetrologievorrichtung bereitstellen.

[0042] Beispielsweise können der eine oder die mehreren Prozessoren **108** konfiguriert sein, eine Referenzmetrologievorrichtung **102** zu veranlassen, Metrologiedaten von einer oder mehreren Test-HAR-Strukturen einer Probe **118** zu sammeln. Der eine oder die mehreren Prozessoren **108** können ferner konfiguriert sein, Metrologiedaten zu empfangen, die von der Referenzmetrologievorrichtung **102** gesammelt wurden, und die Metrologiedaten in dem Speicher **110** zu speichern. Der eine oder die mehreren Prozessoren **108** können ferner konfiguriert sein, um ein geometrisches Modell zum Bestimmen eines Profils mindestens einer der Test-HAR-Strukturen zu erzeugen.

[0043] In einer Ausführungsform wird das geometrische Modell basierend auf Metrologiedaten erzeugt, die mit zwei oder mehr Test-HAR-Strukturen auf einer oder mehreren Referenzproben **118** assoziiert sind. Zum Beispiel können die HAR-Teststrukturen Metrologieziele enthalten, als solche wirken oder in diese eingebaut sein, die sich an einer beliebigen Stelle auf den Referenzproben **118** befinden (z. B. in Zellen,

in Schreibzeilen oder dergleichen). Die Metrologieziele können jede Art von Metrologieziel umfassen, die auf dem Fachgebiet bekannt ist, wie beispielsweise ein In-Cell-Ziel oder ein Box-Ziel, ohne darauf beschränkt zu sein. Das geometrische Modell kann auf Metrologiedaten basieren, die mit der Messung einer beliebigen ausgewählten Referenzmetrologievorrichtung **102** assoziiert sind. Darüber hinaus kann die ausgewählte Referenzmetrologievorrichtung **102** Metrologiedaten basierend auf jeder Art von gemessener Materialeigenschaft erzeugen. Beispielsweise können im Fall einer Röntgenmetrologievorrichtung (z. B. CD-SAXS) die Metrologiedaten basierend auf der Trägerdichte erzeugt werden.

[0044] In einer Ausführungsform kann das geometrische Modell eine oder mehrere physikalische Eigenschaften einer HAR-Struktur (z. B. Profildaten, CD-Werte, Asymmetrie, Verdrehung und dergleichen) unter Verwendung einer flexiblen mathematischen Beschreibung wie einer Polynomkurve, einer Gauß-Funktion oder einer anderen nichtlinearen Funktion darstellen. Beispielsweise kann das Profil einer Test-HAR-Struktur durch ein geometrisches Modell dargestellt werden, das eine Gauß-Funktion, ein traditionelles Polynom, ein Legendre-Polynom, ein Tschebyschow-Polynom und dergleichen enthält, aber nicht darauf beschränkt ist. Dementsprechend können die modellierten physikalischen Eigenschaften der HAR-Struktur durch Anpassen von Metrologiedaten aus der Referenzmetrologievorrichtung **102** unter Verwendung von Polynom Anpassungsverfahren bestimmt werden.

[0045] Das geometrische Modell kann die physikalischen Eigenschaften einer Test-HAR-Struktur unter Verwendung einer beliebigen im Stand der Technik bekannten Formulierung darstellen. In einer Ausführungsform sind der eine oder die mehreren Prozessoren **108** konfiguriert, um das Profil der Test-HAR-Struktur gemäß dem Polynom der in Gleichung 1 gezeigten Form darzustellen:

$$P(x) = \sum_{i=0}^n a_i x^i = a_0 + a_1 x^1 + a_2 x^2 + \dots + a_n x^n \quad (1)$$

wobei x eine physikalische Dimension darstellt und a_i Parameter des Modells darstellen. Die Parameter a_i können sich auf einen oder mehrere Aspekte der Metrologiedaten aus der Referenzmetrologievorrichtung beziehen (z. B. Beugungswinkel, Intensität oder dergleichen). Zusätzlich kann, wie in Gleichung 1 zu sehen ist, der Grad des Polynoms (z. B. der Wert von n in Gleichung 1) flexibel angepasst werden, um das wahre Profil der Test-HAR-Struktur genau darzustellen.

[0046] Es wird hierin angemerkt, dass das Erzeugen eines geometrischen Profils in Schritt **402** das

Erzeugen einer Sammlung eines oder mehrerer Polynome umfassen kann, die mit verschiedenen Parametern der HAR-Strukturen assoziiert sind (z. B. CDs, Asymmetrie, Verdrehungswerte und dergleichen). Beispielsweise kann ein geometrisches Modell drei Polynome enthalten, wobei ein erstes Polynom $P_1(x)$ detaillierte Profilinformatoren der HAR-Struktur beschreibt, ein zweites Polynom $P_2(x)$ die Asymmetrie der HAR-Struktur beschreibt und ein drittes Polynom $P_3(x)$ die Verdrehung der HAR-Struktur beschreibt. In dieser Hinsicht kann das erzeugte geometrische Modell eine beliebige Anzahl von Polynomen enthalten, die auf Metrologiedaten basieren, die von der Referenzmetrologievorrichtung **102** empfangen wurden und zusammengenommen geometrische Parameter der HAR-Struktur beschreiben.

[0047] Obwohl das geometrische Modell konfiguriert ist, um verschiedene geometrische Parameter der HAR-Struktur zu beschreiben, wird hier angemerkt, dass das geometrische Modell inhärent Daten bezüglich der Materialeigenschaften der Probe **118** im Spektralbereich der Referenzmetrologievorrichtung **102** (z. B. Röntgenspektrum und dergleichen) enthält. In dieser Hinsicht kann das geometrische Modell inhärent Materialeigenschaftsinformationen (z. B. Brechungsindexeigenschaften, Absorptionseigenschaften und dergleichen) der Probe **118** im Spektralbereich der Referenzmetrologievorrichtung **102** enthalten. Beispielsweise können die Parameter α_i der Geometrie durch das Spektrum (z. B. Energie und / oder Wellenlängen) der einfallenden Strahlung beeinflusst werden, die von der Referenzmetrologievorrichtung **102** verwendet wird (z. B. den Röntgenstrahlen **107** oder dergleichen) sowie durch die Materialeigenschaften der HAR-Strukturen in diesem Spektralbereich.

[0048] In einem Schritt **404** wird ein Materialmodell zum Bestimmen von Material- und / oder physikalischen Eigenschaften einer Test-HAR-Struktur basierend auf Metrologiedaten erzeugt, die von einer optischen Metrologievorrichtung (z. B. einer Metrologievorrichtung mit hohem Durchsatz) empfangen wurden. Beispielsweise können der eine oder die mehreren Prozessoren **108** so konfiguriert sein, eine optische Metrologievorrichtung **104** zu veranlassen, Metrologiedaten einer Probe **118** (z. B. einer Probe mit einer oder mehreren HAR-Strukturen) zu sammeln. Der eine oder die mehreren Prozessoren **108** können ferner so konfiguriert sein, dass sie Metrologiedaten empfangen, die von der optischen Metrologievorrichtung **104** gesammelt wurden, und die Metrologiedaten in dem Speicher **110** speichern. Der eine oder die mehreren Prozessoren **108** können ferner konfiguriert sein, ein Materialmodell zum Bestimmen einer oder mehrerer Materialeigenschaften einer Test-HAR-Struktur basierend auf Metrologiedaten von der optischen Metrologievorrichtung **104** zu erzeugen.

[0049] Das Materialmodell kann Material- und / oder physikalische Eigenschaften von HAR-Strukturen unter Verwendung einer im Stand der Technik bekannten Formulierung darstellen. In einer Ausführungsform repräsentiert das Materialmodell eine oder mehrere Material- und / oder physikalische Eigenschaften gemäß dem Polynom der in Gleichung 1 gezeigten Form. In dieser Hinsicht kann das Materialmodell verwendet werden, um Werte von mindestens einigen der gleichen Eigenschaften einer Test-HAR-Struktur wie das geometrische Modell zu bestimmen (z. B. Profilinformatoren, CD in verschiedenen Höhen, Asymmetrie, Verdrehung oder dergleichen). aber auf Grundlage von Metrologiedaten aus der Metrologievorrichtung mit hohem Durchsatz und nicht von der Referenzmetrologievorrichtung. Wie hierin zuvor erwähnt, können Metrologiedaten, die von der optischen Metrologievorrichtung **104** erfasst wurden, jedoch eine geringere Auflösung und / oder Genauigkeit aufweisen als Metrologiedaten, die von der Referenzmetrologievorrichtung **102** erfasst wurden. Daher wird hier in Betracht gezogen, dass Terme höherer Ordnung der Polynome des Materialmodells einen gewissen Grad an Ungenauigkeit in Bezug auf das geometrische Modell enthalten können. Es wird hierin weiter in Betracht gezogen, dass Polynome des Materialmodells weniger Terme als die Polynome des geometrischen Modells enthalten können, um die Einführung potenzieller Fehler zu vermeiden.

[0050] Ferner kann, wie zuvor hierin in Bezug auf die Referenzmetrologievorrichtung **102** beschrieben, das Materialmodell Materialeigenschaftsinformationen (z. B. Brechungsindexeigenschaften, Absorptionseigenschaften und dergleichen) der HAR-Strukturen im Spektralbereich der optischen Metrologievorrichtung **104** enthalten. Beispielsweise können die Parameter α_i des Materialmodells durch das Spektrum (z. B. Energie und / oder Wellenlängen) der einfallenden Strahlung beeinflusst werden, die von der optischen Metrologievorrichtung **104** verwendet wird (z.B. Röntgenstrahlen **107** oder dergleichen), sowie durch die Materialeigenschaften der HAR-Strukturen in diesem Spektralbereich.

[0051] In einer Ausführungsform wird das Materialmodell basierend auf Metrologiedaten von der optischen Metrologievorrichtung **104** erzeugt, die mit einer oder mehreren HAR-Strukturen auf einer oder mehreren Referenzproben **118** assoziiert sind, und die Metrologieziele umfassen, als solche wirken oder in solche eingebaut sein können, die sich an jeder beliebigen Stelle auf den Referenzproben **118** befinden können (z. B. in Zellen, in Schreibzeilen oder dergleichen). Beispielsweise können der eine oder die mehreren Prozessoren **108** so konfiguriert sein, dass sie die optische Metrologievorrichtung **104** veranlassen, Metrologiedaten von den Metrologiezielen zu erfassen. In einer anderen Ausführungsform kann die optische Metrologievorrichtung **104** Metrologieda-

ten von einem oder mehreren Filmstapeln erfassen, die für Proben repräsentativ sind, aus denen HAR-Strukturen hergestellt werden. Beispielsweise können der eine oder die mehreren Prozessoren **108** konfiguriert sein, die optische Metrologievorrichtung **104** zu veranlassen, Metrologiedaten von Zielen / Stellen zu sammeln, die sich neben oder in der Nähe der einen oder mehreren HAR-Strukturen befinden, und die unter Verwendung gemeinsamer Verarbeitungsschritte wie die HAR-Strukturen hergestellt wurden. In dieser Hinsicht können die Filmstapel Metrologieziele enthalten, als solche wirken oder in diese eingebaut sein, die sich an einer beliebigen Stelle auf den Referenzproben **118** befinden (z. B. in Zeilen, in Schreibzeilen oder dergleichen). Ferner können die Metrologieziele jede Art von Metrologieziel umfassen, die auf dem Fachgebiet bekannt ist, wie beispielsweise ein In-Cell-Ziel oder ein Box-Ziel, ohne darauf beschränkt zu sein. Es wird hierin in Betracht gezogen, dass das Erfassen von Metrologiedaten (über Brechungsindexdaten) von Zielen / Stellen, die sich neben HAR-Strukturen befinden, eine vollständige und / oder effiziente Modellierung der Materialeigenschaften von Filmstapeln, die mit HAR-Strukturen assoziiert sind, mit OCD-Metrologiedaten bereitstellen kann, was dann eine genauere Anpassung und Modellierung basierend auf den Referenzmetrologiedaten in einem oder mehreren nachfolgenden Schritten ermöglicht.

[0052] Es wird hierin ferner in Betracht gezogen, dass in Schritt **404** zur Erzeugung des Materialmodells gemessene Metrologieziele und / oder Stellen mindestens einige der gleichen Ziele und / oder Stellen einschließen können, die in Schritt **402** zur Erzeugung des geometrischen Modells gemessen wurden, dies aber nicht müssen. Umgekehrt unterscheiden sich in einigen Ausführungsformen die mit der Bildung des geometrischen Modells und des Materialmodells assoziierten Metrologieziele und / oder Stellen.

[0053] Das Materialmodell kann eine Liste von optischen Dispersionen für Materialien enthalten, die in einem Vollstrukturmodell für die Probe **118** und / oder die Test-HAR-Strukturen vorkommen. Jede Dispersion kann eine Tabelle oder eine Formel von Brechungsindizes in Bezug auf optische Wellenlängen sein. Beispielsweise kann das Materialmodell mit der optischen Metrologievorrichtung **104** für die Ziele mit den ähnlichen Prozessschritten gemessen oder dafür berechnet werden, wie 1-D-Filmziel oder 2D-Filmziel. In einer Ausführungsform kann ein Materialmodell mit einer Abbildung von einem Satz Elektronendichte auf einen Satz optischer Dispersionen gemäß einer vordefinierten Tabelle erstellt werden.

[0054] In einem Schritt **406** wird ein Verbundmodell erzeugt, das Aspekte sowohl des geometrischen Modells als auch des Materialmodells enthält, um

physikalische und / oder Materialeigenschaften (z. B. ein Profil) einer Test-HAR-Struktur basierend auf Metrologiedaten zu bestimmen, die von einer optischen Metrologievorrichtung **104** empfangen wurden. In dieser Hinsicht kann das Verbundmodell auf dem geometrischen Modell basieren, ist jedoch angepasst, um Metrologiedaten aus der optischen Metrologievorrichtung **104** zu verwenden. Dementsprechend kann das Verbundmodell als „neues“ oder „aktualisiertes“ OCD-Modell angesehen werden. In einigen Ausführungsformen sind der eine oder die mehreren Prozessoren **108** konfiguriert, um das Verbundmodell im Speicher **110** zu speichern.

[0055] Wie zuvor hierin beschrieben, können Durchsatzbeschränkungen in Zusammenhang mit der Referenzmetrologievorrichtung **102** zu praktischen Einschränkungen für die Verwendung der Vorrichtung in einer Produktionsumgebung führen. Die optische Metrologievorrichtung **104** kann hingegen ein gewünschtes Durchsatzniveau bereitstellen, jedoch mit einer niedrigeren Auflösung. Dementsprechend kann das Verbundmodell Metrologiemessungen mit hohem Durchsatz erleichtern, während zumindest ein Teil der Genauigkeit des geometrischen Modells beibehalten wird, das mit der Referenzmetrologievorrichtung **102** assoziiert ist.

[0056] In einer Ausführungsform umfasst das Verbundmodell eine oder mehrere Gleichungen (z. B. ein oder mehrere Polynome $P_1(x)$, $P_2(x)$, $P_3(x)$, eine oder mehrere Gauß-Funktionen oder dergleichen), die sowohl die physikalische Geometrie der gemessenen Probe **118** (z. B. CDs von HAR-Strukturen, Tiefe der HAR-Strukturen, Gesamtfilmdicke und dergleichen) charakterisieren, als auch Materialeigenschaften der Probe **118** (z. B. Dicke der beteiligten Filme, Brechungsindexwerte der beteiligten Filme, Anzahl der Filme innerhalb der Probe **118** und dergleichen). Beispielsweise können der eine oder die mehreren Prozessoren **108** konfiguriert sein, um Geometrieinformationen, die durch Polynomkurven ausgedrückt werden, unter Verwendung eines oder mehrerer Algorithmen oder anderer mathematischer Verfahren aus dem geometrischen Modell zu extrahieren. Der eine oder die mehreren Prozessoren **108** können ferner konfiguriert sein, um Materialinformationen aus dem Materialmodell zu extrahieren und die Materialinformationen mit den Geometrieinformationen zu kombinieren, um das Verbundmodell zu bilden.

[0057] Das Bilden des Verbundmodells (Schritt **406**) wird detaillierter mit Bezug auf **Fig. 4B** beschrieben.

[0058] **Fig. 4B** zeigt ein Flussdiagramm eines Teils des Verfahrens **400** zum Charakterisieren von Strukturen mit hohem Seitenverhältnis gemäß einer oder mehreren Ausführungsformen der vorliegenden Offenbarung.

[0059] In einem Schritt **408** wird das Materialmodell auf das geometrische Modell abgebildet, um ein anfängliches Verbundmodell zu erzeugen. Es ist hierin anerkannt, dass Materialeigenschaften der Test-HAR-Struktur und / oder der Probe **118**, wie, aber nicht beschränkt auf, Brechungsindizes oder Absorptionswerte, zwischen verschiedenen Spektralbereichen variieren können. Ferner können die von der Referenzmetrologievorrichtung **102** und der optischen Metrologievorrichtung **104** gesammelten Metrologiedaten auf unterschiedlichen Materialeigenschaften / Materialcharakteristiken basieren. Beispielsweise kann, wie zuvor hierin erwähnt, CD-SAXS (z. B. Referenzmetrologievorrichtung **102**) die Trägerdichte als Materialeigenschaft verwenden, an der Berechnungen durchgeführt werden sollen. Im Vergleich dazu kann die optische Metrologievorrichtung **104** Brechungsindizes als Materialeigenschaft verwenden, an der Berechnungen durchgeführt werden sollen. In dieser Hinsicht können sich die Metrologiedaten desselben Ziels bei Verwendung verschiedener Metrologievorrichtungen (z. B. einer röntgenbasierten Referenzmetrologievorrichtung und einer optischen Metrologievorrichtung) unterscheiden. Dementsprechend können sich auch Modellierungsparameter (z. B. die Parameter α_i) des geometrischen Modells und des Materialmodells sowie die zugehörigen Beziehungen zwischen Metrologiedaten und der interessierenden Eigenschaft unterscheiden.

[0060] In einem Schritt **408** wird das Materialmodell auf das geometrische Modell abgebildet, um Materialparameter einer Probe **118** (z. B. Brechungsindizes als Funktion der Wellenlänge), die für den Spektralbereich der optischen Metrologievorrichtung **104** relevant sind, in den Rahmen des geometrischen Modells einzuführen. In dieser Hinsicht können von der optischen Metrologievorrichtung **104** empfangene Metrologiedaten unter Verwendung des anfänglichen Verbundmodells mit der Genauigkeit und / oder Präzision des geometrischen Modells angepasst werden. Mit anderen Worten kann die Abbildung des Materialmodells auf das geometrische Modell einen Rahmen zum Anpassen von Metrologiedaten, die von der optischen Metrologievorrichtung **104** empfangen wurden, an das geometrische Modell über das anfängliche Verbundmodell bereitstellen. In diesem Vorgang werden verschiedene wissenschaftliche Berechnungsalgorithmen wie die Rigorous-Coupled-Wave-Analysis (RCWA), die Finite-Differenz-Zeitdomäne (FDTD) und die Finite-Elemente-Methode (FEM) implementiert, um das durch die Maxwell'sche Gleichung induzierte elektromagnetische (EM) Problem zu lösen, indem synthetische Signale für das gegebene geometrische Modell simuliert werden. In dieser Hinsicht werden Optimierungsalgorithmen implementiert, um das inverse Problem zu lösen, die synthetischen Signale an die gesammelten Messsignale anzupassen. Analysealgorithmen werden implementiert, um die Geometrie

und Materialparameter im Modell zu optimieren, indem die Empfindlichkeit jedes Parameters und die Korrelation zwischen Parameterpaaren angegeben werden.

[0061] Unter Berücksichtigung des zuvor hier beschriebenen Polynommodells, jedoch ohne Beschränkung darauf, kann das geometrische Modell eine Sammlung eines oder mehrerer Polynome enthalten, in denen die „Koeffizienten“ der Polynome (z. B. α_1 , α_2 , α_3 und dergleichen) Gleichungen enthalten, die einen oder mehrere Materialparameter der Probe **118** einschließen, wie mit der Referenzmetrologievorrichtung **102** gemessen. In ähnlicher Weise kann das Materialmodell eine Sammlung eines oder mehrerer Polynome enthalten, in denen die „Koeffizienten“ der Polynome (z. B. α_1 , α_2 , α_3 und dergleichen) Gleichungen enthalten, die einen oder mehrere Materialparameter der Probe **118** einschließen, wie mit der optischen Metrologievorrichtung **104** gemessen. In diesem Beispiel kann das Abbilden des Materialmodells auf das geometrische Modell das Ausführen einer oder mehrerer mathematischer Operationen umfassen, die Koeffizienten des geometrischen Modells konvertieren oder umschreiben in Ausdrücke, die für die optische Metrologievorrichtung relevant sind, basierend auf dem Materialmodell. In dieser Hinsicht umfasst das Abbilden des Materialmodells auf das geometrische Modell (z. B. Erzeugen des anfänglichen Verbundmodells) in Schritt **408** das Anpassen des geometrischen Modells, so dass das geometrische Modell die HAR-Struktur basierend auf Metrologiedaten beschreiben kann, die aus dem Spektralbereich der optischen Metrologievorrichtung **104** erfasst wurden.

[0062] In einem Schritt **410** werden zwei oder mehr Kandidaten-Verbundmodelle erzeugt. Es wird hierin erkannt, dass das in Schritt **408** erzeugte anfängliche Verbundmodell zahlreiche Parameter (z. B. α_n) enthalten kann, die variabel sein können, wenn eine Anpassung an Metrologiedaten von der optischen Metrologievorrichtung **104** durchgeführt wird. Darüber hinaus verdoppelt sich die Anzahl der Filme für dreidimensionale gestapelte Strukturen und gestapelte Speicherstrukturen alle paar Jahre, was zu einer zunehmenden Komplexität der Modellierung führt. Daher kann es wünschenswert sein, nur eine ausgewählte Teilmenge der möglichen Parameter zu variieren. Dies kann durchgeführt werden, indem die zwei oder mehr Kandidaten-Verbundmodelle erzeugt und getestet werden, und eines der Kandidatenmodelle als endgültiges Verbundmodell ausgewählt wird.

[0063] In einer Ausführungsform werden Kandidaten-Verbundmodelle erzeugt, indem eine oder mehrere Anpassungen an dem anfänglichen Verbundmodell durchgeführt werden. Die eine oder mehreren Anpassungen, die an dem anfänglichen Verbundmodell durchgeführt werden, das zum Erzeugen des ei-

nen oder der mehreren Kandidaten-Verbundmodelle verwendet wird, können, ohne aber darauf beschränkt zu sein, umfassen: (1) Trunkieren von Termen des anfänglichen Verbundmodells, (2) Fixieren von Termen des anfänglichen Verbundmodells, oder (3) Koppeln von zwei oder mehr Termen des Verbundmodells aneinander. Jede dieser Anpassungen wird der Reihe nach abgehandelt.

[0064] In einer Ausführungsform können Parameter des anfänglichen Verbundmodells trunkiert werden, um ein oder mehrere Kandidaten-Verbundmodelle zu erzeugen. Beispielsweise kann das anfängliche Verbundmodell eine Sammlung von Polynomen enthalten, wie in Gleichung 1 gezeigt. Um ein Kandidaten-Verbundmodell zu erzeugen, können ein oder mehrere Terme aus mindestens einem Polynom der Sammlung von Polynomen trunkiert (d. h. entfernt / gelöscht) werden, um einen bestimmten Satz von Termen (z. B. Kappungsgrad) bereitzustellen. Wie zuvor hierin erwähnt, können Metrologiedaten, die von der optischen Metrologievorrichtung **104** erfasst werden, eine begrenzte Auflösung haben. In dieser Hinsicht kann das Trunkieren eines oder mehrerer Terme von mindestens einem Polynom des anfänglichen Verbundmodells diese niedrigere Auflösung der optischen Metrologievorrichtung **104** im Vergleich zur Referenzmetrologievorrichtung **102** kompensieren.

[0065] In einer anderen Ausführungsform können Parameter des anfänglichen Verbundmodells festgelegt (z. B. auf einen bestimmten Wert eingestellt) werden, um ein oder mehrere Kandidaten-Verbundmodelle zu erzeugen. Beispielsweise kann es der Fall sein, dass ein oder mehrere Terme (z. B. Terme höherer Ordnung) Variationen der HAR-Struktur in einem kleineren Maßstab beschreiben, als die optische Metrologievorrichtung **104** auflösen kann. Dementsprechend können solche Terme auf einen Nennwert festgelegt anstatt variiert werden. Beispielsweise können solche Terme auf einen Durchschnittswert (oder einen anderen ausgewählten Wert) festgelegt werden, basierend auf den Messungen von Referenz-HAR-Proben mit der Referenzmetrologievorrichtung **102** (z. B. in Schritt **402**). Als ein anderes Beispiel kann etwa festgestellt werden, dass einer oder mehrere Parameter nur über einen relativ kleinen Bereich variieren. Dementsprechend können solche Terme auf einen Wert im Bereich festgelegt werden.

[0066] In einer anderen Ausführungsform können zwei oder mehr Terme des anfänglichen Verbundmodells miteinander gekoppelt werden, um ein oder mehrere Kandidaten-Verbundmodelle zu erzeugen. Beispielsweise kann festgestellt werden, dass zwei oder mehr Parameter stark korreliert sind. Dementsprechend können eine oder mehrere Gleichungen, die die Parameter zueinander in Beziehung setzen, erzeugt werden, um die Gesamtzahl der variierenden

Parameter zu verringern. Wenn beispielsweise festgestellt wird, dass der Parameter α_3 konsistent ungefähr die Hälfte des Wertes von α_1 beträgt, kann der Parameter α_3 auf $0,5 \alpha_1$ gesetzt werden. Ferner kann im Fall von korrelierten Parametern jeder Parameter in Bezug auf jeden anderen Parameter definiert werden. Es wird hierin jedoch erkannt, dass Parameter niedrigeren Grades typischerweise einen größeren Beitrag zum resultierenden Profil leisten können. Dementsprechend kann das Definieren von Parametern relativ höheren Grades basierend auf Parametern relativ niedrigeren Grades genaue Anpassungen erleichtern.

[0067] In einem Schritt **412** wird eine Regressionsanalyse der zwei oder mehr Kandidaten-Verbundmodelle durchgeführt. In einer Ausführungsform umfasst das Durchführen von Regressionsanalysen an jedem der zwei oder mehr Kandidaten-Verbundmodelle das Eingeben von Metrologiedaten aus der optischen Metrologievorrichtung **104** in jedes der Kandidaten-Verbundmodelle und das Vergleichen des Ergebnisses jedes der Kandidaten-Verbundmodelle mit Metrologiedaten von der Referenzmetrologievorrichtung **102**. In dieser Hinsicht können Metrologiedaten von der Referenzmetrologievorrichtung **102** als „Referenz“-Daten angesehen werden, mit denen die Ergebnisse aus den Kandidaten-Verbundmodellen verglichen werden können.

[0068] In einer Ausführungsform sind der eine oder die mehreren Prozessoren **108** konfiguriert, um mindestens einen Teil der Regressionen parallel auszuführen. Wenn Metrologiedaten von der Referenzmetrologievorrichtung **102** erhalten und empfangen werden, können der eine oder die mehreren Prozessoren **108** das Modell gemäß einem Satz vordefinierter Metriken optimieren, wie beispielsweise, ohne darauf beschränkt zu sein, Steigung, R-Quadrat, mittlere quadratische Fehler, Vorgabe, mittlerer Unterschied und dergleichen. Es wird hierin weiter angemerkt, dass zusätzliche und / oder alternative Dimensionsreduktionsverfahren angewendet werden können, um die Referenzdaten zu beschreiben, einschließlich, aber nicht darauf beschränkt, der Hauptkomponentenanalyse (PCA), der linearen Diskriminanzanalyse (LDA) und dergleichen.

[0069] In einer Ausführungsform sind der eine oder die mehreren Prozessoren **108** konfiguriert, um den Bereich jedes Parameters durch Durchführen von Regressionsanalysen an mehreren Sätzen von Referenzdaten zu bestimmen. Ein Bereich jedes Parameters kann bestimmt werden, um Wertebereiche für jeden variierenden Parameter zu identifizieren, die während einer Regression akzeptiert und / oder in einer Bibliothek verwendet werden können (z. B. in Verbindung mit Schritt **412**). Wie zuvor erwähnt, können der eine oder die mehreren Prozessoren **108** konfiguriert sein, um Regressionsanalysen unter Verwen-

derung von Metrologiedaten durchzuführen, die von der Referenzmetrologievorrichtung **102** erhalten wurden und mit zwei oder mehr Test-HAR-Strukturen assoziiert sind. Es wird hierin angemerkt, dass Metrologiedaten, an denen Regressionsanalysen durchgeführt werden, repräsentativ für alle Prozessvariationen sein sollten. In einer Ausführungsform wird der Bereich von mindestens einem Parameter bestimmt, indem der minimale und maximale Wert um n Sigma nach außen erweitert wird, wobei Sigma die Standardvariation der Parameter enthält.

[0070] In einem Schritt **414** wird ein Kandidaten-Verbundmodell als endgültiges Verbundmodell ausgewählt. In einer Ausführungsform wird das Kandidaten-Verbundmodell, das HAR-Strukturen unter Verwendung von Metrologiedaten aus der optischen Metrologievorrichtung **104**, wie durch die Regressionsanalysen bestimmt, am genauesten definiert, als das endgültige Verbundmodell ausgewählt.

[0071] Es wird erneut auf **Fig. 4A** Bezug genommen. Sobald das Verbundmodell für die optische Metrologievorrichtung **104** bestimmt ist, kann es zur Echtzeitregression oder zur Erzeugung einer Bibliothek zur schnellen Messung verwendet werden. In einem Schritt **416** wird eine Bibliothek basierend auf Metrologiedaten erzeugt, die mit dem endgültigen Verbundmodell analysiert wurden. Beispielsweise kann eine Bibliothek eine Zuordnung zwischen Aspekten von Metrologiedaten und Parametern des endgültigen Verbundmodells darstellen, basierend auf der Anpassung mehrerer repräsentativer Referenzdatensätze mit dem endgültigen Verbundmodell. In dieser Hinsicht kann eine Bibliothek eine genaue Näherung an die durch das Verbundmodell definierte elektromagnetische Lösung darstellen. Ferner kann es schneller durchzuführen sein, eine Regression neuer Metrologiedaten auf das endgültige Verbundmodell basierend auf der Bibliothek durchzuführen als durch andere Regressionstechniken. Statistiken und Werte, die mit den Ergebnissen der Anwendung der Metrologiedaten auf das endgültige Verbundmodell verbunden sind, können als Wertebibliothek im Speicher **110** gespeichert werden. In einer anderen Ausführungsform kann eine alternative Bibliothek konstruiert werden, um das inverse Problem direkt zu approximieren. In diesem Fall kann die Eingabe der alternativen Bibliothek die optischen Signale von der optischen Metrologievorrichtung **104** enthalten, und die Ausgabe der Bibliothek kann die geometrischen Parameter enthalten.

[0072] In einer anderen Ausführungsform kann das endgültige Verbundmodell verwendet werden, um eine oder mehrere zusätzliche HAR-Strukturen zu analysieren. Beispielsweise kann das endgültige Verbundmodell verwendet werden, um eine oder mehrere zusätzliche HAR-Strukturen auf einer oder mehreren zusätzlichen Proben **118** zu analysieren. Die An-

wendung des endgültigen Verbundmodells auf eine oder mehrere zusätzliche HAR-Strukturen wird in den Schritten **418-422** beschrieben.

[0073] In einem Schritt **418** wird mindestens eine zusätzliche Test-HAR-Struktur mit der optischen Metrologievorrichtung **104** gemessen. Beispielsweise können der eine oder die mehreren Prozessoren **108** konfiguriert sein, die optische Metrologievorrichtung **104** zu veranlassen, Metrologiedaten von mindestens einer zusätzlichen Test-HAR-Struktur zu erfassen.

[0074] In einem Schritt **420** wird ein Profil der mindestens einen zusätzlichen Test-HAR-Struktur basierend auf Metrologiedaten von der optischen Metrologievorrichtung **104** bestimmt, die mit der mindestens einen HAR-Struktur und dem endgültigen Verbundmodell assoziiert sind. Beispielsweise können der eine oder die mehreren Prozessoren **108** konfiguriert sein, Metrologiedaten, die mit der zusätzlichen Test-HAR-Struktur assoziiert sind, von der optischen Metrologievorrichtung **104** zu empfangen und die Metrologiedaten im Speicher **110** zu speichern. Der eine oder die mehreren Prozessoren **108** können ferner konfiguriert sein, um ein Profil der zusätzlichen Test-HAR-Struktur zu bestimmen, indem die Metrologiedaten auf das endgültige Verbundmodell angewendet werden, das in dem Speicher **110** gespeichert ist. In einer zusätzlichen und / oder alternativen Ausführungsform kann ein Profil der mindestens einen Test-HAR-Struktur basierend auf der im Speicher gespeicherten Bibliothek bestimmt werden, wobei die Bibliothek verwendet wird, um erfasste Metrologiedaten auf das endgültige Verbundmodell abzubilden. Wie zuvor hierin erwähnt, kann die gespeicherte Bibliothek eine operativ schnellere Berechnung und Modellierung des Profils von HAR-Strukturen im Vergleich zu der herkömmlichen regressionsbasierten Analyse bereitstellen, die erfasste Metrologiedaten an das endgültige Verbundmodell anpasst.

[0075] In einem Schritt **422** werden ein oder mehrere Vorwärts- oder Rückkopplungssteuersignale erzeugt. Das eine oder die mehreren Vorwärts- oder Rückkopplungssteuersignale können konfiguriert sein, um eine oder mehrere Prozessvorrichtungen basierend auf dem Profil der mindestens einen zusätzlichen HAR-Struktur anzupassen, das durch das endgültige Verbundmodell bestimmt wird. Wenn zum Beispiel durch das endgültige Verbundmodell bestimmt wird, dass die zusätzliche HAR-Struktur Abweichungen vom geplanten Profil der HAR-Struktur aufweist, können der eine oder die mehreren Prozessoren **108** konfiguriert sein, um ein oder mehrere Rückkopplungssteuersignale zu erzeugen, die konfiguriert sind, eine oder mehrere Prozessvorrichtungen anpassen, die an der Herstellung von HAR-Strukturen auf Proben **118** beteiligt sind.

[0076] Wie bereits erwähnt, können herkömmliche OCD-Modellierungsansätze ungenau und zeitaufwändig sein. Ein herkömmlicher OCD-Modellierungsansatz kann möglicherweise keine Daten zu FinFETs in logischen Strukturen oder dreidimensionalen gestapelten Speicherstrukturen bereitstellen. Im Vergleich dazu wird hierin in Betracht gezogen, dass Ausführungsformen der vorliegenden Offenbarung Vorteile nutzen können, die sowohl von OCD- als auch von CD-SAXS-Technologien bereitgestellt werden. Zusätzlich können Ausführungsformen der vorliegenden Offenbarung es Substrat- / Probenherstellern ermöglichen, die Prozessentwicklung zu beschleunigen, die Effizienz zu verbessern und die Ausbeute zu verbessern. Einige Ausführungsformen der vorliegenden Offenbarung sind auf die Modellierung von HAR-Strukturen unter Verwendung ausführbarer Algorithmen zur Durchführung der Modelloptimierung gerichtet. Darüber hinaus wird hierin in Betracht gezogen, dass einige Ausführungsformen der vorliegenden Offenbarung durch maschinelles Lernen ermöglicht werden können. Beispielsweise kann anstelle oder zusätzlich zu einem OCD-Modell, wie hierin beschrieben, maschinelles Lernen basierend auf Metrologiedaten, die durch die Referenzmetrologievorrichtung **102** erhalten wurden, und HAR-Strukturprofilen als Trainingszielen implementiert werden.

[0077] Während ein Großteil der vorliegenden Offenbarung auf die Messung und Analyse von HAR-Strukturen gerichtet ist, ist dies nicht als Einschränkung der vorliegenden Offenbarung anzusehen, sofern hierin nicht anders angegeben. In dieser Hinsicht können Ausführungsformen der vorliegenden Offenbarung angewendet werden, um eine Anzahl von alternativen und / oder zusätzlichen Merkmalen zu messen, zu inspizieren oder auf andere Weise zu analysieren, einschließlich, aber nicht darauf beschränkt, Polyprofilen in logischen Strukturen, Kontaktlöchern in dynamischen Direktzugriffsspeicher-(DRAM)-Strukturen und dergleichen.

[0078] Fig. 5 zeigt eine Querschnittsansicht **500** einer Probe **118** mit einer Struktur **504** mit hohem Seitenverhältnis (HAR) gemäß einer oder mehreren Ausführungsformen der vorliegenden Offenbarung. Wie aus Fig. 5 ersichtlich, verläuft die HAR-Struktur **504** durch die gesamte Probe **118** durch mehrere gestapelte Filme **502a** bis **502n**. Wie hierin beschrieben, kann ein mit der HAR-Struktur **504** verbundenes Ziel einer Messung das Profil der HAR-Struktur **504** sein, das die kritische Dimension (CD) der HAR-Struktur **504** bei unterschiedlichen Höhen enthält.

[0079] Ein Beispiel kann sich als veranschaulichend erweisen. In diesem Beispiel wurde eine Probe **118** (z. B. eine dreidimensionale gestapelte Speicherstruktur) mit mehreren HAR-Strukturen **504** bereitgestellt. Eine CD-SAXS-Vorrichtung (z. B. die Referenzmetrologievorrichtung **102**) wurde verwendet,

um Metrologiedaten zu sammeln, die mit zehn verschiedenen Stellen assoziiert sind (z. B. zehn verschiedenen HAR-Strukturen **504**). Daten zur kritischen Dimension wurden bei elf verschiedenen Höhen für jede HAR-Struktur gesammelt. Ein geometrisches Modell wurde basierend auf den von der CD-SAXS-Vorrichtung (z. B. der Referenzmetrologievorrichtung **102**) erfassten Metrologiedaten erstellt.

[0080] In Fortsetzung des gleichen Beispiels wurde eine optische Metrologievorrichtung **104** verwendet, um Metrologiedaten zu sammeln und Materialeigenschafteninformationen basierend auf Brechungsindexinformationen der Probe **118** zu bestimmen. Materialinformationen wurden gesammelt, indem mit der optischen Metrologievorrichtung **104** Metrologiedaten von Teilen der Probe **118** neben jeder HAR-Struktur **504** erfasst wurden. In dieser Hinsicht wurden von der optischen Metrologievorrichtung **104** Metrologiedaten aus Teilen der Probe ohne eine HAR-Struktur **504** (z. B. benachbart zu HAR-Strukturen **504**) erfasst. Es wird hierin angemerkt, dass das Sammeln von Metrologiedaten mit der optischen Metrologievorrichtung **104** von Bereichen ohne geätzte HAR-Strukturen **504** schnellere Rechengeschwindigkeiten für eindimensionale Strukturen ermöglichen kann. Zusätzlich teilen die Filmschichten an Stellen, die an HAR-Strukturen **504** angrenzen, die gleichen Bedingungen während der Herstellungsprozessschritte von Probe **118**, was eine gemeinsame Schichtdicke und einen gemeinsamen Brechungsindex für Stellen neben HAR-Strukturen **504** nahelegt. Es wird hierin jedoch angemerkt, dass Metrologiedaten möglicherweise nicht von der optischen Metrologievorrichtung **104** von Stellen direkt neben den HAR-Strukturen **504** gesammelt werden müssen. In Fortsetzung des Beispiels wurden dann die Metrologiedaten aus der optischen Metrologievorrichtung **104** verwendet, um ein Materialmodell zu erzeugen.

[0081] Das geometrische Modell, das basierend auf den Metrologiedaten der zehn HAR-Strukturen **504** erzeugt wurde, wurde dann importiert und mit dem Materialmodell kombiniert, um ein Verbundmodell (z. B. ein modifiziertes OCD-Modell) zu bilden. Als nächstes wurden die geometrischen Parameter und die Materialparameter variiert, um eine Anpassung unter Verwendung der OCD-Signale der dreidimensionalen Probe **118** (z. B. dreidimensionale gestapelte Speicherstruktur) zu erhalten. Es wird hierin angemerkt, dass das Variieren der geometrischen und Materialparameter aufgrund der Tatsache erforderlich sein kann, dass das Approximationsverfahren Unterschiede zwischen dreidimensionalen und eindimensionalen Strukturen verursachen kann. Zusätzlich können Prozesse für dreidimensionale Strukturen Ätzschritte umfassen, die eine oder mehrere Eigenschaften des Materials / der Struktur beeinflussen können.

[0082] In Fortsetzung des gleichen Beispiels wurden Analyse- und Regressionsverfahren, wie zuvor hierin beschrieben, durchgeführt, um die variierenden Parameter unter Verwendung von Metrologiedaten, die von der CD-SAXS (z. B. Referenzmetrologievorrichtung **102**) erhalten wurden, als Referenzdaten zu bestimmen. Es wird hierin angemerkt, dass hier beschriebene Analyseschritte helfen können, Werte zu untersuchen und zu fixieren, die mit den Dicken der unteren Schichten des Films **502** verbunden sind. Wie zuvor erwähnt, können eine oder mehrere Regressionsanalysen durchgeführt werden, die bestimmte Polynomparameter festlegen, um sicherzustellen, dass die Ausgabe des Verbundmodells die Referenzdaten (z. B. Metrologiedaten von der Referenzmetrologievorrichtung **102**) genau darstellt. In dieser Hinsicht stellen Metrologiedaten von der CD-SAXS (z. B. Referenzmetrologievorrichtung **102**) die Zuverlässigkeit der Profilvariation innerhalb einer einzelnen Stelle sicher. Schließlich wurde die OCD-Bibliothek generiert. Bei der Validierung der Bibliothek wurde festgestellt, dass das Verbundmodell das Regressionsergebnis reproduzieren und somit mit den von der CD-SAXS (z. B. Referenzmetrologievorrichtung **102**) erfassten Metrologiedaten übereinstimmen konnte. Ergebnisse dieses Beispiels sind unter Verweis auf die **Fig. 6A - Fig. 6C** weiter gezeigt und beschrieben.

[0083] **Fig. 6A** zeigt einen Graphen **602** von Messungen kritischer Dimensionen von einer herkömmlichen optischen Vorrichtung für kritische Dimensionen (z. B. optische Metrologievorrichtung **104**) gemäß einer oder mehreren Ausführungsformen der vorliegenden Offenbarung. **Fig. 6B** zeigt einen Graphen **604** von Messungen kritischer Dimensionen von einer Kleinwinkel-Röntgenstreuungsvorrichtung für kritische Dimensionen (CD-SAXS, z. B. Referenzmetrologievorrichtung **102**) gemäß einer oder mehreren Ausführungsformen der vorliegenden Offenbarung. **Fig. 6C** zeigt einen Graphen **606** von Messungen kritischer Dimensionen, die unter Verwendung sowohl einer herkömmlichen optischen Vorrichtung für kritische Dimensionen (z. B. optische Metrologievorrichtung **104**) als auch einer Kleinwinkel-Röntgenstreuungsvorrichtung für kritische Dimensionen (CD-SAXS, z. B.

[0084] Referenzmetrologievorrichtung) erhalten wurden, gemäß einer oder mehreren Ausführungsformen der vorliegenden Offenbarung.

[0085] Allgemein zeigen die **Fig. 6A - Fig. 6C** kritische Dimensionen verschiedener Stellen entlang der x-Achse gegen die Höhe der HAR-Struktur entlang der y-Achse. In dieser Hinsicht zeigen die **Fig. 6A - Fig. 6C** ermittelte kritische Dimensionen verschiedener Stellen (z. B. HAR-Strukturen **504**) entlang der gesamten Höhe jeder HAR-Struktur **504**.

[0086] Wie in Graph **602** gezeigt, sind herkömmliche OCD-Modellierungstechniken allein nicht in der Lage, das Profil einer HAR-Struktur **504** genau zu beschreiben. Dies wird durch die in Graph **602** gezeigten ungleichmäßigen Profile veranschaulicht. Durch Vergleichen des Graphen **602** mit dem Graphen **604** wird ersichtlich, dass CD-SAXS bei der Beschreibung der Profile der HAR-Strukturen **504** weitaus genauer ist. Ferner, wie in **Fig. 6C** gezeigt, zeigt OCD mit CD-SAXS-Referenz für alle Stellen sehr einheitliche Profile, trotz der Differenz des nominalen CD-Werts für sie. Dementsprechend wurde gezeigt, dass Ausführungsformen der vorliegenden Offenbarung, die Metrologiedaten sowohl von einer optischen Metrologievorrichtung **104** als auch von einer Referenzmetrologievorrichtung **102** kombinieren, in der Lage sein können, Profile von HAR-Strukturen **504** im Vergleich zu herkömmlichen OCD-Modellierungstechniken genauer und effizienter zu modellieren.

[0087] Es wird ferner hierin angemerkt, dass die von der Referenzmetrologievorrichtung **102** und der optischen Metrologievorrichtung **104** gesammelten Metrologiedaten möglicherweise nicht denselben Stellen zugeordnet sein müssen (z. B. denselben HAR-Strukturen **504**). In dieser Hinsicht kann die Referenzmetrologievorrichtung **102** Metrologiedaten sammeln, die einem ersten Satz von HAR-Strukturen **504** zugeordnet sind, und die optische Metrologievorrichtung **104** kann Metrologiedaten sammeln, die einem zweiten Satz von HAR-Strukturen **504** zugeordnet sind, wobei mindestens eine der HAR-Strukturen **504** des zweiten Satzes von den HAR-Strukturen **504** des ersten Satzes verschieden ist. Zum Beispiel, wie in **Fig. 6A** gezeigt, sammelte die optische Metrologievorrichtung **104** Metrologiedaten für HAR-Strukturen **504** an Stellen A-D. Dagegen, wie in **Fig. 6B** gezeigt, sammelte die Referenzmetrologievorrichtung **102** Metrologiedaten für HAR-Strukturen **504** an Stellen 1 bis 10, die von den Stellen A bis D verschieden sind.

[0088] Ein Fachmann wird erkennen, dass die hier beschriebenen Komponenten (z. B. Operationen), Vorrichtungen, Objekte und die dazugehörige Diskussion aus Gründen der konzeptionellen Klarheit als Beispiele verwendet werden und dass verschiedene Konfigurationsmodifikationen in Betracht gezogen werden. Folglich sollen, wie hierin verwendet, die spezifischen dargelegten Beispiele und die begleitende Diskussion repräsentativ für ihre allgemeineren Klassen sein. Im Allgemeinen soll die Verwendung eines bestimmten Exemplars repräsentativ für seine Klasse sein, und die Nichteinbeziehung spezifischer Komponenten (z. B. Operationen), Vorrichtungen und Objekte sollte nicht als einschränkend angesehen werden.

[0089] Fachleute werden erkennen, dass es verschiedene Umsetzungsmöglichkeiten gibt, mit denen

Prozesse und / oder Systeme und / oder andere hier beschriebene Technologien ausgeführt werden können (z. B. Hardware, Software und / oder Firmware), und dass die bevorzugte Umsetzungsmöglichkeit variieren wird mit dem Kontext, in dem die Prozesse und / oder Systeme und / oder andere Technologien eingesetzt werden. Wenn beispielsweise ein Implementierer feststellt, dass Geschwindigkeit und Genauigkeit von größter Bedeutung sind, kann sich der Implementierer für eine Umsetzungsmöglichkeit hauptsächlich in Hardware- und / oder Firmware entscheiden; wenn alternativ Flexibilität an erster Stelle steht, kann sich der Implementierer für eine Implementierung hauptsächlich in Software entscheiden; wiederum alternativ kann sich der Implementierer auch für eine Kombination aus Hardware, Software und / oder Firmware entscheiden. Daher gibt es mehrere mögliche Umsetzungsmöglichkeiten, mit denen die hier beschriebenen Prozesse und / oder Vorrichtungen und / oder anderen Technologien ausgeführt werden können, von denen keine dem anderen inhärent überlegen ist, da jede zu verwendende Umsetzungsmöglichkeit eine Wahl ist, die vom Kontext abhängt, in welchem die Umsetzungsmöglichkeit eingesetzt wird, und von den spezifischen Belangen (z. B. Geschwindigkeit, Flexibilität oder Vorhersagbarkeit) des Implementierers, die alle variieren können.

[0090] Die vorherige Beschreibung wird vorgestellt, um es einem Durchschnittsfachmann zu ermöglichen, die Erfindung so herzustellen und zu verwenden, wie sie im Zusammenhang mit einer bestimmten Anwendung und ihren Anforderungen bereitgestellt wird. Wie hierin verwendet, sollen Richtungs-begriffe wie „oben“, „unten“, „über“, „unter“, „obere“, „aufwärts“, „untere“, „abwärts“ und „nach unten“ relative Positionen bereitstellen zu Beschreibungszwecken und sollen keinen absoluten Bezugsrahmen bezeichnen. Verschiedene Modifikationen der beschriebenen Ausführungsformen werden für den Fachmann offensichtlich sein, und die hier definierten allgemeinen Prinzipien können auf andere Ausführungsformen angewendet werden. Daher soll die vorliegende Erfindung nicht auf die gezeigten und beschriebenen besonderen Ausführungsformen beschränkt sein, sondern den größtmöglichen Umfang erhalten, der mit den hierin offenbarten Prinzipien und neuen Merkmalen konsistent ist.

[0091] In Bezug auf die Verwendung von im Wesentlichen beliebigen Plural- und / oder Singularbegriffen können Fachleute vom Plural zum Singular und / oder vom Singular zum Plural übersetzen, wie es für den Kontext und / oder die Anwendung angemessen ist. Die verschiedenen Singular- / Plural-Permutationen werden hier der Klarheit halber nicht ausdrücklich dargelegt.

[0092] Alle hier beschriebenen Verfahren können das Speichern von Ergebnissen eines oder mehrerer Schritte der Verfahrensausführungsformen in einem Speicher umfassen. Die Ergebnisse können jedes der hier beschriebenen Ergebnisse umfassen und können auf jede im Stand der Technik bekannte Weise gespeichert werden. Der Speicher kann einen beliebigen hierin beschriebenen Speicher oder ein anderes geeignetes Speichermedium enthalten, das auf dem Fachgebiet bekannt ist. Nachdem die Ergebnisse gespeichert wurden, kann auf die Ergebnisse im Speicher zugegriffen werden, und sie können von jeder der hier beschriebenen Verfahrens- oder Systemausführungsformen verwendet werden, zur Anzeige für einen Benutzer formatiert werden, von einem anderen Softwaremodul, Verfahren oder System verwendet werden, und dergleichen. Darüber hinaus können die Ergebnisse „permanent“, „semi-permanent“, vorübergehend „oder für einen bestimmten Zeitraum gespeichert werden. Beispielsweise kann der Speicher ein Direktzugriffsspeicher (RAM) sein, und die Ergebnisse müssen nicht notwendigerweise unbegrenzt im Speicher verbleiben.

[0093] Es wird ferner in Betracht gezogen, dass jede der Ausführungsformen des oben beschriebenen Verfahrens einen oder mehrere andere Schritte eines oder mehrerer anderer hier beschriebener Verfahren umfassen kann. Zusätzlich kann jede der oben beschriebenen Ausführungsformen des Verfahrens von jedem der hier beschriebenen Systeme durchgeführt werden.

[0094] Der hier beschriebene Gegenstand zeigt manchmal verschiedene Komponenten, die in anderen Komponenten enthalten sind oder mit diesen verbunden sind. Es versteht sich, dass solche dargestellten Architekturen nur beispielhaft sind und dass tatsächlich viele andere Architekturen implementiert werden können, die die gleiche Funktionalität erreichen. In einem konzeptionellen Sinne ist jede Anordnung von Komponenten, um die gleiche Funktionalität zu erreichen, effektiv „assoziiert“, so dass die gewünschte Funktionalität erreicht wird. Daher können zwei beliebige Komponenten, die hier kombiniert werden, um eine bestimmte Funktionalität zu erreichen, als miteinander „assoziiert“ angesehen werden, so dass die gewünschte Funktionalität erreicht wird, unabhängig von Architekturen oder Zwischenkomponenten. Ebenso können zwei beliebige so assoziierte Komponenten auch als miteinander „verbunden“ oder „gekoppelt“ angesehen werden, um die gewünschte Funktionalität zu erreichen, und zwei beliebige Komponenten, die so assoziiert werden können, können auch als miteinander „koppelbar“ angesehen werden, um die gewünschte Funktionalität zu erreichen. Spezifische Beispiele für koppelbare Komponenten umfassen, ohne darauf beschränkt zu sein, physikalisch zusammenpassbare und / oder physikalisch wechselwirkende Komponenten und / oder

drahtlos wechselwirkungsfähige und / oder drahtlos wechselwirkende Komponenten und / oder logisch wechselwirkende und / oder logisch wechselwirkungsfähige Komponenten.

[0095] Weiterhin versteht es sich, dass die Erfindung durch die beigefügten Ansprüche definiert ist. Fachleute werden verstehen, dass, im Allgemeinen, Begriffe die hierin und insbesondere in den angehängten Ansprüchen (z. B. Körper der angehängten Ansprüche) verwendet werden, im Allgemeinen als „offene“ Begriffe gedacht sind (z. B. sollte der Begriff „einschließlich“ interpretiert werden als „einschließlich, aber nicht beschränkt auf“, der Begriff „haben“ sollte interpretiert werden als „mindestens haben“, der Begriff „einschließen“ sollte interpretiert werden als „einschließen, aber nicht beschränkt auf“ und dergleichen). Fachleute werden ferner verstehen, dass, wenn eine bestimmte Anzahl eines eingeführten Anspruchsmerkmals beabsichtigt ist, eine solche Absicht ausdrücklich in dem Anspruch angegeben wird und in Abwesenheit einer solchen Angabe keine solche Absicht vorliegt. Zum besseren Verständnis können die folgenden angehängten Ansprüche beispielsweise die Verwendung der einleitenden Phrasen „mindestens eine“ und „eine oder mehrere“ enthalten, um Anspruchsmerkmale einzuführen. Die Verwendung solcher Ausdrücke sollte jedoch nicht so ausgelegt werden, dass die Einführung eines Anspruchsmerkmals durch den unbestimmten Artikel „ein“ einen bestimmten Anspruch, der ein so eingeführtes Anspruchsmerkmal enthält, auf Erfindungen beschränkt, die nur ein solches Merkmal enthalten, selbst wenn der gleiche Anspruch die einleitenden Sätze „ein oder mehrere“ oder „mindestens einen“ und unbestimmte Artikel wie „ein“ umfasst (z. B. sollte „ein“ typischerweise so interpretiert werden, dass es „mindestens ein“ oder „ein oder mehrere“ bedeutet); Gleiches gilt für die Verwendung bestimmter Artikel, die zur Einführung von Anspruchsmerkmalen verwendet werden. Selbst wenn eine bestimmte Anzahl eines eingeführten Anspruchsmerkmals explizit genannt wird, wird der Fachmann erkennen, dass eine solche Nennung typischerweise so interpretiert werden sollte, dass sie mindestens die genannte Anzahl bedeutet (z. B. bedeutet die bloße Nennung von „zwei Nennungen“, ohne andere Modifikatoren typischerweise mindestens zwei Nennungen oder zwei oder mehr Nennungen). Darüber hinaus ist in den Fällen, in denen eine Konvention analog zu „mindestens eins von A, B und C und dergleichen“ verwendet wird, im Allgemeinen eine solche Konstruktion so gemeint, wie ein Fachmann die Konvention verstehen würde (z. B. würde „ein System mit mindestens einem von A, B und C“ Systeme umfassen, die A allein, B allein, C allein, A und B zusammen, A und C zusammen, B und C zusammen und / oder A, B und C zusammen haben und dergleichen, ohne aber darauf beschränkt zu sein). In den Fällen, in denen eine Konvention analog zu „mindestens eins von A, B und C

und dergleichen“ verwendet wird, ist im Allgemeinen eine solche Konstruktion so gemeint, wie ein Fachmann die Konvention verstehen würde (z. B. würde „ein System mit mindestens einem von A, B und C“ Systeme umfassen, die A allein, B allein, C allein, A und B zusammen, A und C zusammen, B und C zusammen und / oder A, B und C zusammen haben und dergleichen, ohne aber darauf beschränkt zu sein).

[0096] Fachleute werden ferner verstehen, dass praktisch jedes disjunktive Wort und / oder jede Phrase, die zwei oder mehr alternative Begriffe enthält, ob in der Beschreibung, den Ansprüchen oder den Zeichnungen, so verstanden werden sollte, dass die Möglichkeiten in Betracht gezogen werden, einen der Begriffe aufzunehmen, einen beliebigen der Begriffe oder beide Begriffe. Zum Beispiel wird der Ausdruck „A oder B“ so verstanden, dass er die Möglichkeiten „A“ oder „B“ oder „A und B“ umfasst.

[0097] Es wird angenommen, dass die vorliegende Offenbarung und viele ihrer damit verbundenen Vorteile durch die vorstehende Beschreibung verstanden werden, und es ist offensichtlich, dass verschiedene Änderungen in der Form, Konstruktion und Anordnung der Komponenten vorgenommen werden können, ohne von dem offenbarten Gegenstand abzuweichen oder ohne all seine materiellen Vorteile zu opfern. Die beschriebene Form ist lediglich erläuternd, und es ist die Absicht der folgenden Ansprüche, solche Änderungen zu umfassen und einzuschließen. Weiterhin versteht es sich, dass die Erfindung durch die beigefügten Ansprüche definiert ist.

ZITATE ENTHALTEN IN DER BESCHREIBUNG

Diese Liste der vom Anmelder aufgeführten Dokumente wurde automatisiert erzeugt und ist ausschließlich zur besseren Information des Lesers aufgenommen. Die Liste ist nicht Bestandteil der deutschen Patent- bzw. Gebrauchsmusteranmeldung. Das DPMA übernimmt keinerlei Haftung für etwaige Fehler oder Auslassungen.

Zitierte Patentliteratur

- US 62/776292 [0001]
- US 6816570 [0014]
- US 9535018 B2 [0014]

Patentansprüche

1. Metrologiesystem für Strukturen mit hohem Seitenverhältnis (HAR), umfassend:

eine Steuerung, die kommunikativ mit einer Referenzmetrologievorrichtung und einer optischen Metrologievorrichtung gekoppelt ist, wobei die Steuerung einen oder mehrere Prozessoren enthält, die konfiguriert sind, um Programmbefehle auszuführen, die konfiguriert sind, um den einen oder die mehreren Prozessoren zu veranlassen zum:

Erzeugen eines geometrischen Modells zum Bestimmen eines Profils einer Test-HAR-Struktur aus Metrologiedaten von der Referenzmetrologievorrichtung;
Erzeugen eines Materialmodells zum Bestimmen eines oder mehrerer Materialparameter einer Test-HAR-Struktur aus Metrologiedaten von der optischen Metrologievorrichtung;

Bilden eines Verbundmodells aus dem geometrischen Modell und dem Materialmodell zum Bestimmen eines Profils einer Test-HAR-Struktur basierend auf Metrologiedaten aus der optischen Metrologievorrichtung;

Messen mindestens einer zusätzlichen Test-HAR-Struktur mit der optischen Metrologievorrichtung; und Bestimmen eines Profils der mindestens einen zusätzlichen Test-HAR-Struktur basierend auf dem Verbundmodell und den Metrologiedaten von der optischen Metrologievorrichtung, die der mindestens einen HAR-Teststruktur zugeordnet sind.

2. Metrologiesystem nach Anspruch 1, wobei das geometrische Modell basierend auf Metrologiedaten aus der Referenzmetrologievorrichtung erzeugt wird, die zwei oder mehr Test-HAR-Strukturen auf einer oder mehreren Referenzproben zugeordnet sind.

3. Metrologiesystem nach Anspruch 1, wobei das Materialmodell basierend auf Metrologiedaten aus der optischen Metrologievorrichtung erzeugt wird, die einem oder mehreren Filmstapeln auf der einen oder den mehreren Referenzproben zugeordnet sind, wobei der eine oder die mehreren Filmstapel und die eine oder die mehreren Test-HAR-Strukturen unter Verwendung gemeinsamer Prozessschritte gebildet werden.

4. Metrologiesystem nach Anspruch 1, wobei das Verbundmodell ein endgültiges Verbundmodell umfasst.

5. Metrologiesystem nach Anspruch 4, wobei das Bilden des endgültigen Verbundmodells aus dem geometrischen Modell und dem Materialmodell zum Bestimmen des Profils der Test-HAR-Struktur aus Metrologiedaten von der optischen Metrologievorrichtung umfasst:

Abbilden des Materialmodells auf das geometrische Modell zum Erzeugen eines anfänglichen Verbundmodells.

6. Metrologiesystem nach Anspruch 5, wobei das Bilden des endgültigen Verbundmodells aus dem geometrischen Modell und dem Materialmodell zum Bestimmen des Profils der Test-HAR-Struktur aus Metrologiedaten von der optischen Metrologievorrichtung ferner umfasst:

Erzeugen von zwei oder mehr Kandidaten-Verbundmodellen aus dem anfänglichen Verbundmodell;

Durchführen von zwei oder mehr Regressionsanalysen an den zwei oder mehr Kandidaten-Verbundmodellen unter Verwendung von Metrologiedaten aus der Referenzmetrologievorrichtung als Referenzdaten;

Auswählen eines Kandidaten-Verbundmodells als ein endgültiges Verbundmodell, wobei das Kandidaten-Verbundmodell mit der höchsten Genauigkeit basierend auf den zwei oder mehr Regressionsanalysen als endgültiges Verbundmodell ausgewählt wird.

7. Metrologiesystem nach Anspruch 6, wobei mindestens eines der zwei oder mehr Verbundmodelle umfasst:

eine oder mehrere mathematische Funktionen, wobei jede der einen oder mehreren mathematischen Funktionen einen geometrischen Parameter und/oder einen Materialparameter der Test-HAR-Struktur beschreibt.

8. Metrologiesystem nach Anspruch 7, wobei die eine oder mehreren mathematischen Funktionen mindestens eine der folgenden umfassen: ein traditionelles Polynom, ein Legendre-Polynom, ein Tschebyschow-Polynom oder eine Gauß-Funktion.

9. Metrologiesystem nach Anspruch 7, wobei der geometrische Parameter und/oder der Materialparameter mindestens eines der folgenden umfasst: ein HAR-Strukturprofil, Asymmetrie der HAR-Struktur, Verdrehung der HAR-Struktur.

10. Metrologiesystem nach Anspruch 6, wobei das Erzeugen von zwei oder mehr Kandidaten-Verbundmodellen das Trunkieren eines oder mehrerer Terme des anfänglichen Verbundmodells umfasst.

11. Metrologiesystem nach Anspruch 6, wobei das Erzeugen von zwei oder mehr Kandidaten-Verbundmodellen das Festlegen eines oder mehrerer Terme des anfänglichen Verbund-Werts auf einen Nennwert umfasst.

12. Metrologiesystem nach Anspruch 6, wobei das Erzeugen von zwei oder mehr Kandidaten-Verbundmodellen das Koppeln von zwei oder mehr Termen des anfänglichen Verbunds miteinander umfasst.

13. Metrologiesystem nach Anspruch 1, wobei die optische Metrologievorrichtung eine optische Metrologievorrichtung für kritische Dimensionen umfasst.

14. Metrologiesystem nach Anspruch 1, wobei die Referenzmetrologievorrichtung eine Röntgenmetrologievorrichtung umfasst.

15. Metrologiesystem nach Anspruch 14, wobei die Referenzmetrologievorrichtung mindestens eine der folgenden Vorrichtungen umfasst: eine Kleinwinkel-Röntgenstreuungsvorrichtung oder eine Metrologievorrichtung mit weichen Röntgenstrahlen.

16. Metrologiesystem nach Anspruch 1, wobei die Referenzmetrologievorrichtung eine Elektronenstrahl-Metrologievorrichtung umfasst.

17. Metrologiesystem nach Anspruch 16, wobei die Referenzmetrologievorrichtung mindestens eine der folgenden Einrichtungen umfasst: ein Rasterelektronenmikroskop oder ein Transmissions-elektronenmikroskop.

18. Metrologiesystem nach Anspruch 1, wobei die Referenzmetrologievorrichtung ein Rasterkraftmikroskop umfasst.

19. Metrologiesystem für Strukturen mit hohem Seitenverhältnis (HAR), umfassend: eine Referenzmetrologievorrichtung; eine optische Metrologievorrichtung; und eine Steuerung, die kommunikativ mit der Referenzmetrologievorrichtung und der optischen Metrologievorrichtung verbunden ist, wobei die Steuerung einen oder mehrere Prozessoren enthält, die konfiguriert sind, um Programmanweisungen auszuführen, die konfiguriert sind, um den einen oder die mehreren Prozessoren zu veranlassen zum:
Erzeugen eines geometrischen Modells zum Bestimmen eines Profils einer Test-HAR-Struktur aus Metrologiedaten von der Referenzmetrologievorrichtung;
Erzeugen eines Materialmodells zum Bestimmen eines oder mehrerer Materialparameter einer Test-HAR-Struktur aus Metrologiedaten von der optischen Metrologievorrichtung;
Bilden eines Verbundmodells aus dem geometrischen Modell und dem Materialmodell zum Bestimmen eines Profils einer Test-HAR-Struktur aus Metrologiedaten von der optischen Metrologievorrichtung;
Messen mindestens einer zusätzlichen Test-HAR-Struktur mit der optischen Metrologievorrichtung; und
Bestimmen eines Profils der mindestens einen zusätzlichen Test-HAR-Struktur basierend auf Metrologiedaten von der optischen Metrologievorrichtung, die mit der mindestens einen HAR-Teststruktur assoziiert sind, basierend auf dem Verbundmodell.

20. Metrologieverfahren für Strukturen mit hohem Seitenverhältnis (HAR), umfassend:
Erzeugen eines geometrischen Modells zum Bestimmen eines Profils einer Test-HAR-Struktur aus Metrologiedaten von einer Referenzmetrologievorrichtung;

Erzeugen eines Materialmodells zum Bestimmen eines oder mehrerer Materialparameter einer Test-HAR-Struktur aus Metrologiedaten von einer optischen Metrologievorrichtung;

Bilden eines Verbundmodells aus dem geometrischen Modell und dem Materialmodell zum Bestimmen eines Profils einer Test-HAR-Struktur aus Metrologiedaten von der optischen Metrologievorrichtung;
Messen mindestens einer zusätzlichen Test-HAR-Struktur mit der optischen Metrologievorrichtung; und
Bestimmen eines Profils der mindestens einen zusätzlichen Test-HAR-Struktur basierend auf dem endgültigen Verbundmodell und Metrologiedaten aus der optischen Metrologievorrichtung, die mit der mindestens einen HAR-Teststruktur assoziiert sind.

21. Metrologieverfahren nach Anspruch 20, wobei das geometrische Modell basierend auf Metrologiedaten von der Referenzmetrologievorrichtung erzeugt wird, die mit zwei oder mehr Referenz-HAR-Strukturen auf einer oder mehreren Referenzproben assoziiert sind.

22. Metrologieverfahren nach Anspruch 20, wobei das Materialmodell basierend auf Metrologiedaten von der optischen Metrologievorrichtung erzeugt wird, die mit einem oder mehreren Filmstapeln auf der einen oder den mehreren Referenzproben assoziiert sind, wobei der eine oder die mehreren Filmstapel und die eine oder die mehreren Referenz-HAR-Strukturen unter Verwendung gemeinsamer Prozessschritte gebildet werden.

23. Metrologiesystem nach Anspruch 20, wobei das Verbundmodell ein endgültiges Verbundmodell umfasst.

24. Metrologieverfahren nach Anspruch 23, wobei das Bilden des endgültigen Verbundmodells aus dem geometrischen Modell und dem Materialmodell zum Bestimmen des Profils der Test-HAR-Struktur aus Metrologiedaten von der optischen Metrologievorrichtung umfasst:
Abbilden des Materialmodells auf das geometrische Modell, um ein anfängliches Verbundmodell zu erzeugen.

25. Metrologieverfahren nach Anspruch 24, wobei das Bilden des Verbundmodells aus dem geometrischen Modell und dem Materialmodell zum Bestimmen des Profils der Test-HAR-Struktur aus Metrologiedaten von der optischen Metrologievorrichtung ferner umfasst:

Erzeugen von zwei oder mehr Kandidaten-Verbundmodellen aus dem anfänglichen Verbundmodell;
Durchführen von zwei oder mehr Regressionsanalysen an den zwei oder mehr Kandidaten-Verbundmodellen unter Verwendung von Metrologiedaten aus der Referenzmetrologievorrichtung als Referenzdaten;

Auswählen eines Kandidaten-Verbundmodells als endgültiges Verbundmodell, wobei das Kandidaten-Verbundmodell mit der höchsten Genauigkeit basierend auf den zwei oder mehr Regressionsanalysen als endgültiges Verbundmodell ausgewählt wird.

26. Metrologieverfahren nach Anspruch 25, wobei mindestens eines der zwei oder mehr Verbundmodelle umfasst:

eine oder mehrere mathematische Funktionen, wobei jede der einen oder mehreren mathematischen Funktionen einen geometrischen Parameter und/oder einen Materialparameter der Test-HAR-Struktur beschreibt.

27. Metrologieverfahren nach Anspruch 26, wobei die eine oder mehreren mathematischen Funktionen mindestens eine der folgenden umfassen: ein traditionelles Polynom, ein Legendre-Polynom, ein Tschebyschow-Polynom oder eine Gauß-Funktion.

28. Metrologieverfahren nach Anspruch 26, wobei der geometrische Parameter und/oder der Materialparameter mindestens eines der folgenden umfasst: ein HAR-Strukturprofil, Asymmetrie der HAR-Struktur, Verdrehung der HAR-Struktur.

29. Metrologieverfahren nach Anspruch 25, wobei das Erzeugen von zwei oder mehr Kandidaten-Verbundmodellen das Trunkieren eines oder mehrerer Terme des anfänglichen Verbundmodells umfasst.

30. Metrologieverfahren nach Anspruch 25, wobei das Erzeugen von zwei oder mehr Kandidaten-Verbundmodellen das Festlegen eines oder mehrerer Terme des anfänglichen Verbund-Werts auf einen Nennwert umfasst.

31. Metrologieverfahren nach Anspruch 25, wobei das Erzeugen von zwei oder mehr Kandidaten-Verbundmodellen das Koppeln von zwei oder mehr Termen des anfänglichen Verbunds miteinander umfasst.

32. Metrologieverfahren nach Anspruch 20, wobei die optische Metrologievorrichtung eine optische Metrologievorrichtung für kritische Dimensionen umfasst.

33. Metrologieverfahren nach Anspruch 20, wobei die Referenzmetrologievorrichtung mindestens eine der folgenden Einrichtungen umfasst: eine Röntgenmetrologievorrichtung, eine Elektronenstrahlmetrologievorrichtung, ein Rasterelektronenmikroskop, ein Transmissionselektronenmikroskop, ein Rasterkraftmikroskop.

Es folgen 9 Seiten Zeichnungen

Anhängende Zeichnungen

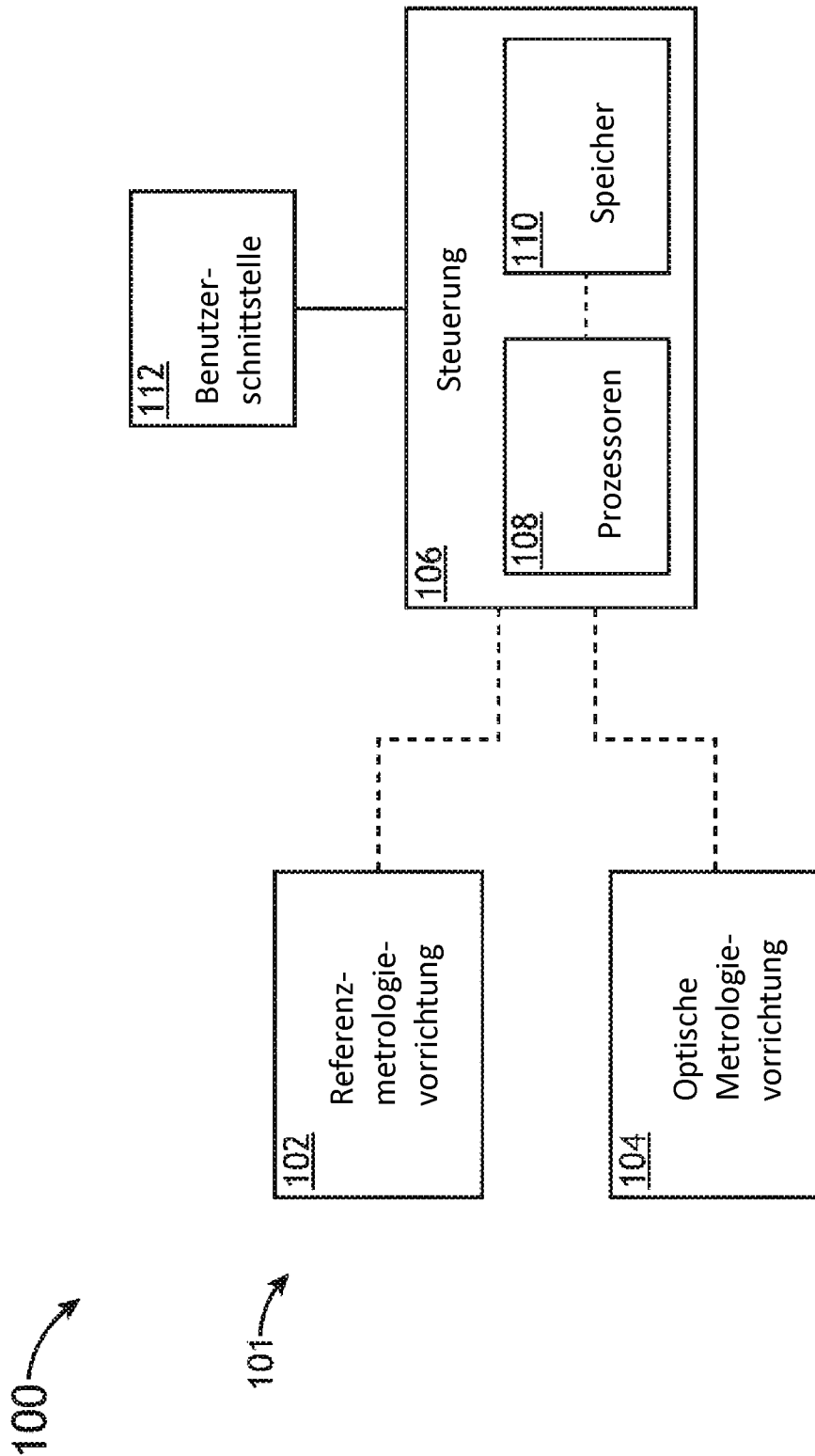


FIG. 1

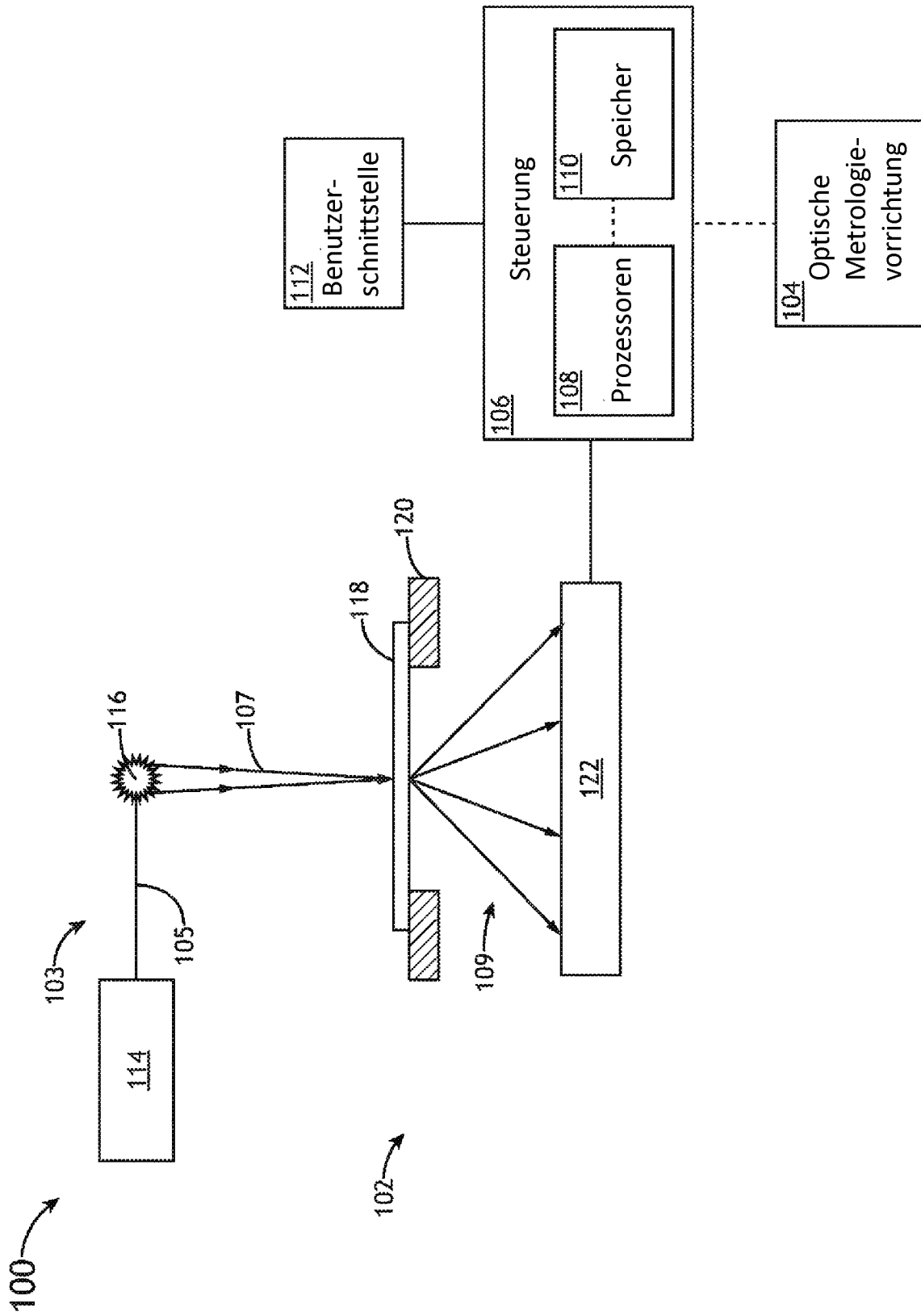


FIG. 2

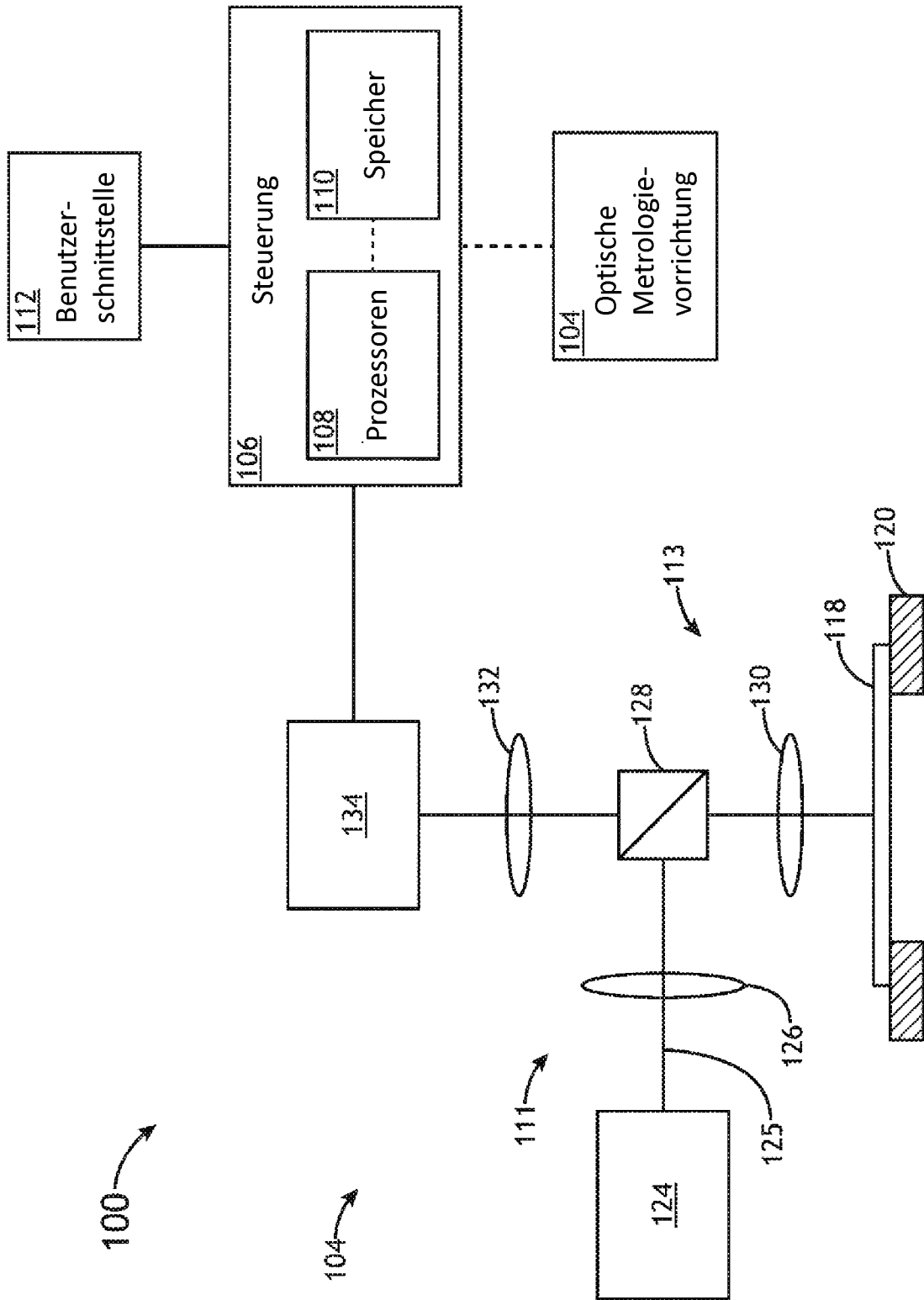


FIG. 3

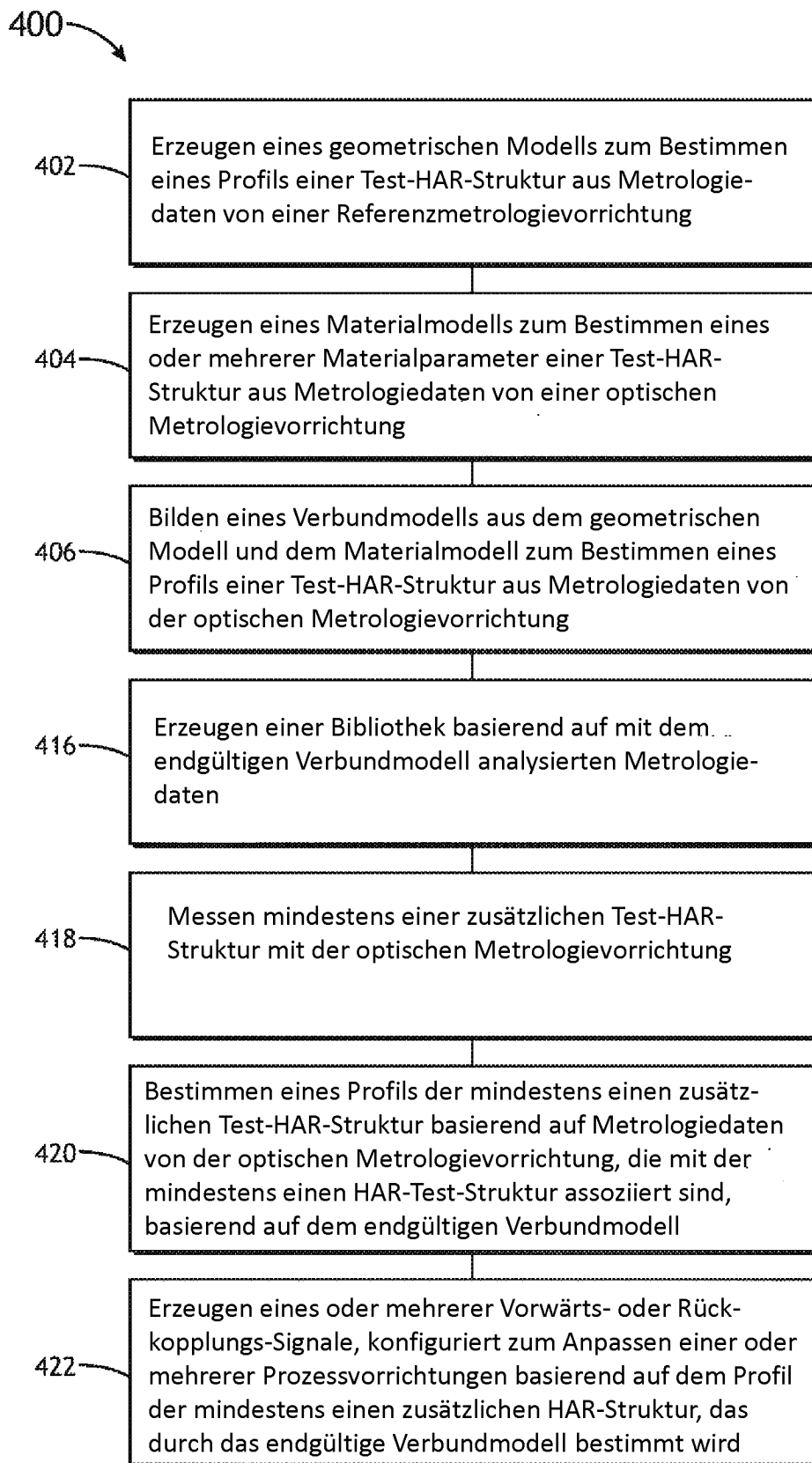


FIG. 4A

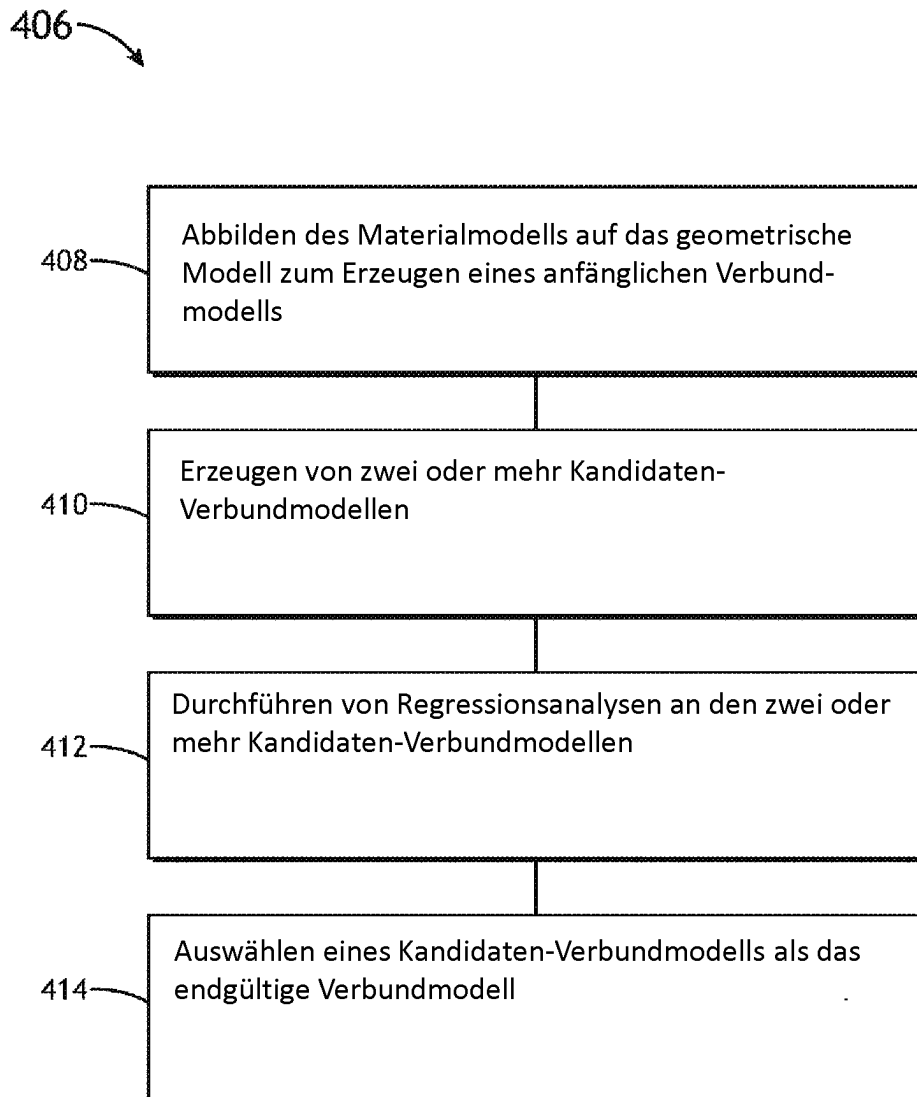


FIG. 4B

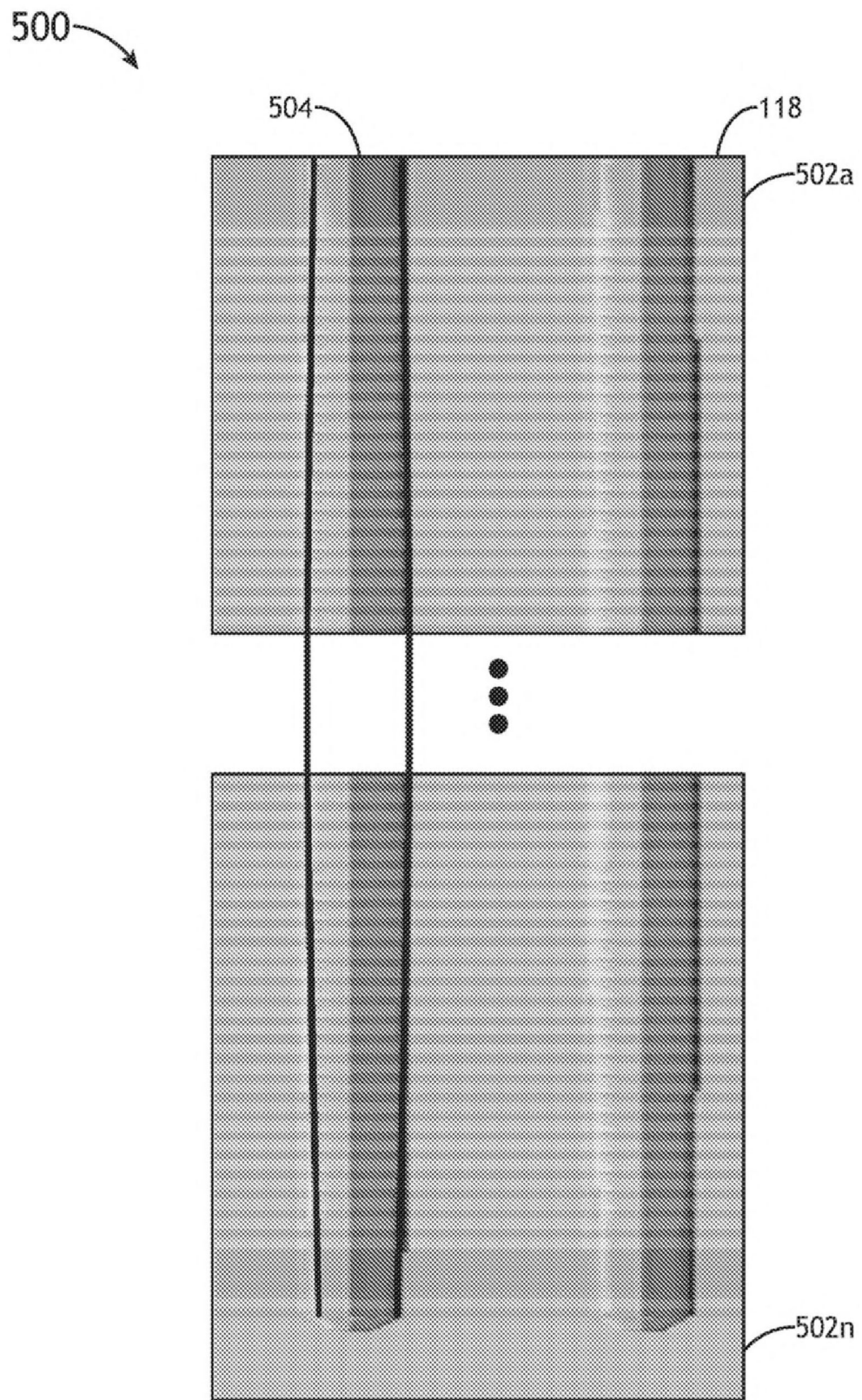


FIG. 5

602

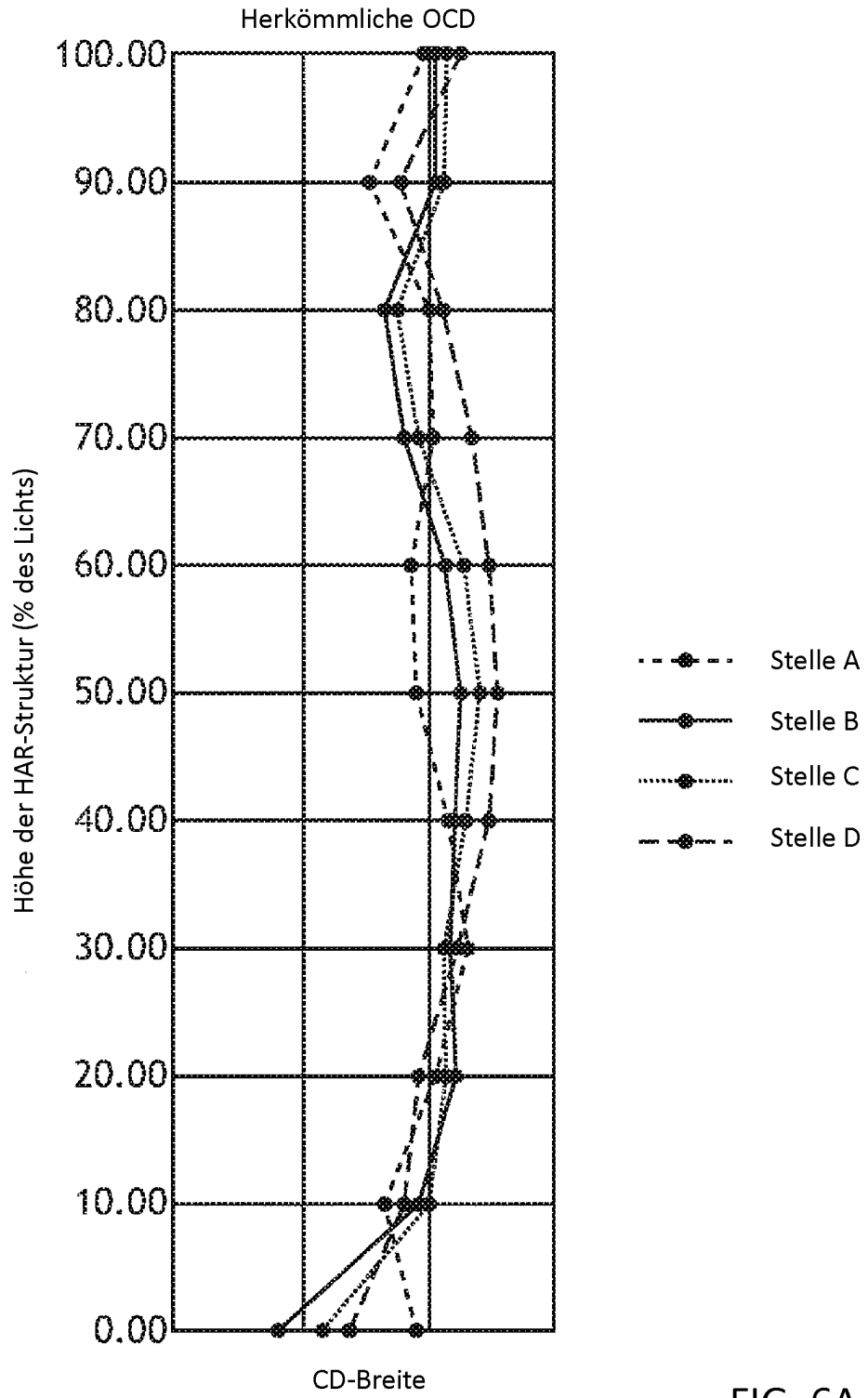


FIG. 6A

604

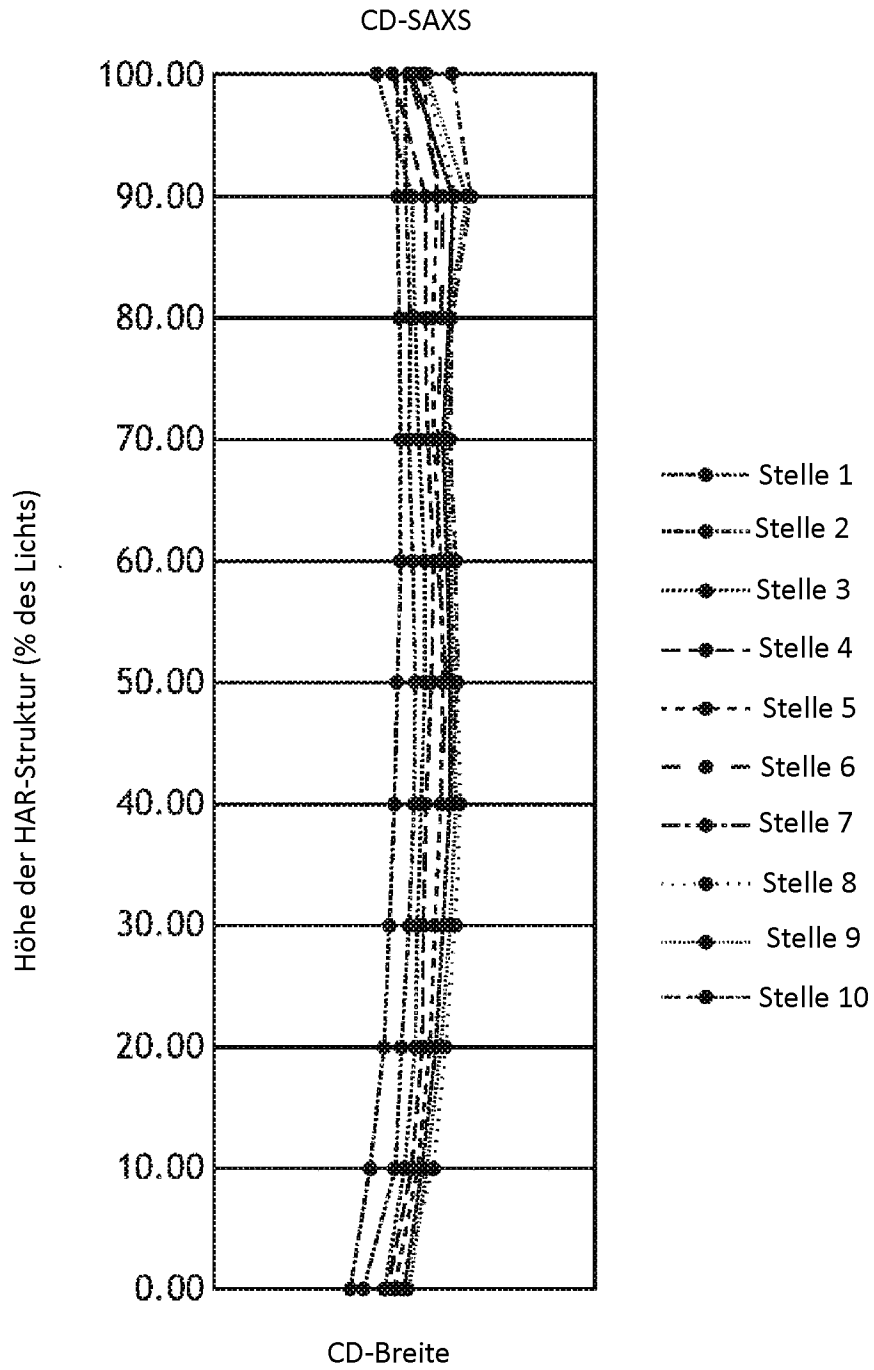


FIG. 6B

606 →

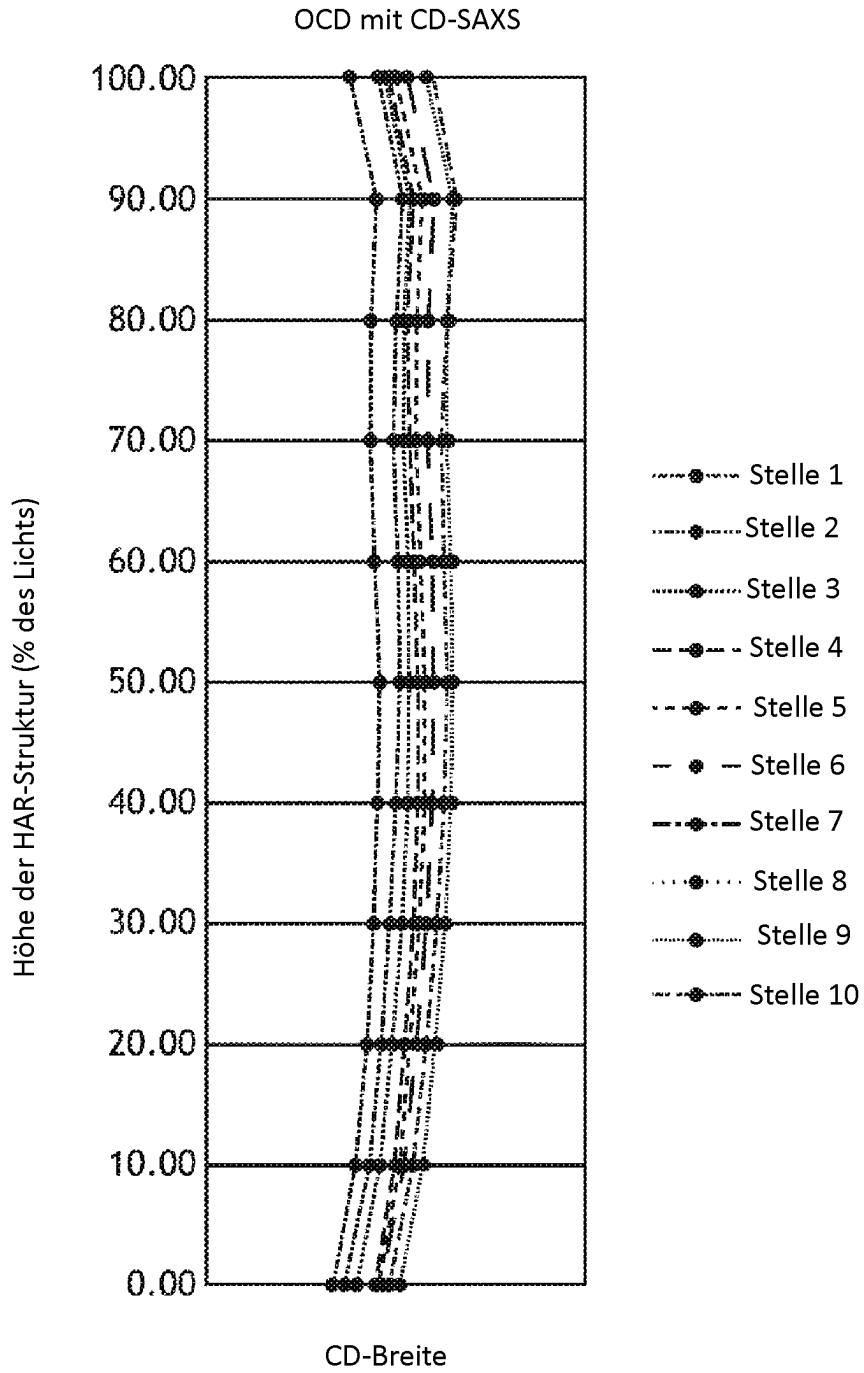


FIG. 6C