(19) **Bundesrepublik Deutschland**
Deutsches Patent- und Markenamt

(10) **DE 103 92 975 T5** 2006.01.19

(12) **Veröffentlichung**

der internationalen Anmeldung mit der
(87) Veröffentlichungs-Nr.: **WO 2004/013723**
in deutscher Übersetzung (Art. III § 8 Abs. 2 IntPatÜG)
(21) Deutsches Aktenzeichen: **103 92 975.4**
(86) PCT-Aktenzeichen: **PCT/US2003/023281**
(86) PCT-Anmeldetag: **25.07.2003**
(87) PCT-Veröffentlichungstag: **12.02.2004**
(43) Veröffentlichungstag der PCT Anmeldung
in deutscher Übersetzung: **19.01.2006**

(51) Int Cl.[8]: ***G06F 17/50*** (2006.01)
H01L 21/66 (2006.01)
G01B 11/24 (2006.01)
G01B 11/03 (2006.01)

(30) Unionspriorität:
10/206,491 **25.07.2002** **US**

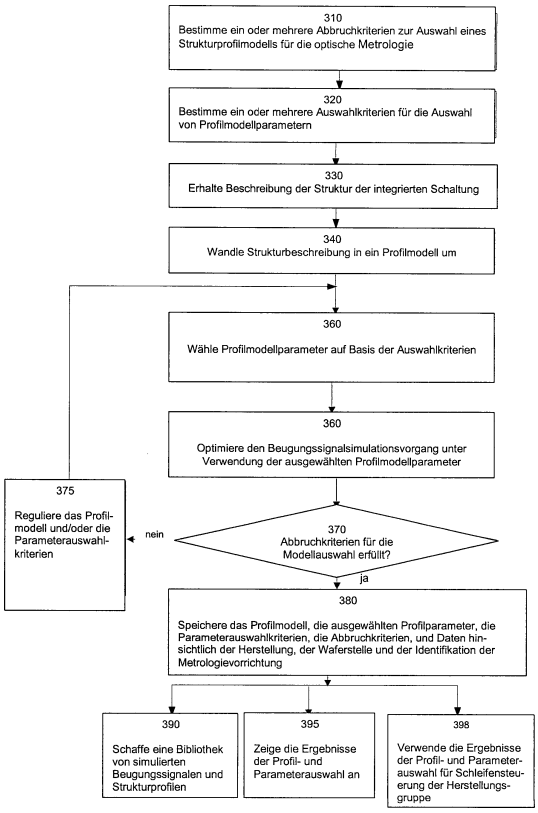
(71) Anmelder:
Timbre Technologies, Inc., Santa Clara, Calif., US

(74) Vertreter:
v. Bezold & Sozien, 80799 München

(72) Erfinder:
Voung, Vi, Fremont, Calif., US; Drege, Emmanuel, San Jose, Calif., US; Bao, Junwei, Fremont, Calif., US; Doddi, Srinivas, Fremont, Calif., US; Niu, Xinhui, Los Altos, Calif., US; Jakatdar, Nickhil, Los Altos, Calif., US

(54) Bezeichnung: **Modell- und Parameterauswahl für die optische Metrologie**

(57) Hauptanspruch: Verfahren zur Auswahl eines Profilmodells und zur Auswahl von Parametern des Profilmodells zur Verwendung bei der optischen Metrologie von Strukturen in einem Wafer, wobei das Verfahren Folgendes umfaßt:
a) Festlegen eines oder mehrerer Abbruchkriterien;
b) Festlegen eines oder mehrerer Parameterauswahlkriterien;
c) Auswählen eines Profilmodells zur Verwendung bei der optischen Metrologie einer Struktur in einem Wafer, wobei das Profilmodell einen Satz von geometrischen Parametern aufweist, die mit Abmessungen der Struktur verbunden sind;
d) Auswählen eines Satzes von Optimierungsparametern für das Profilmodell unter Verwendung eines oder mehrerer Eingangsbeugungssignale und des einen oder der mehreren Parameterauswahlkriterien, wobei der Satz von Optimierungsparametern aus dem Satz von geometrischen Parametern umgewandelt wird;
e) Prüfen des ausgewählten Profilmodells und des Satzes von Optimierungsparametern gegen das eine oder die mehreren Abbruchkriterien; und
f) Durchführen der Schritte c, d und e, bis das eine oder die mehreren Abbruchkriterien erfüllt sind.



Beschreibung

QUERVERWEIS AUF VERWANDTE ANMELDUNGEN

[0001] Diese Anmeldung bezieht sich auf die am 28. November 2000 eingebrachte, ebenfalls anhängige US-Patentanmeldung mit der Seriennummer 09/727,530 von Jakatdar, et al. mit dem Titel "System and Method for Real-Time Library Generation of Grating Profiles", die am 16. Juli 2001 eingebrachte, ebenfalls anhängige US-Patentanmeldung mit der Seriennummer 09/907,488 von Niu, et al. mit dem Titel "Generation of a Library of Periodic Grating Diffraction Signals", die am 14. Dezember 2000 eingebrachte, ebenfalls anhängige US-Patentanmeldung mit der Seriennummer 09/737,705 von Doddi, et al. mit dem Titel "System and Method for Grating Profile Classification", die am 26. Januar 2000 eingebrachte, ebenfalls anhängige US-Patentanmeldung mit der Seriennummer 09/770,997 von Niu, et al. mit dem Titel "Caching of Intralayer Calculations for Rapid Rigorous Couple-Wave Analyses", und die am 3. Juni 2002 eingebrachte, ebenfalls anhängige US-Patentanmeldung einer noch zuzuteilenden Seriennummer von Doddi, et al. mit dem Titel "Selection of Wavelengths for Integrated Circuit Optical Metrology", die alle im Besitz des Zessionärs dieser Anmeldung stehen und hierin verweisend aufgenommen sind.

ALLGEMEINER STAND DER TECHNIK

Gebiet der Erfindung

[0002] Diese Anmeldung betrifft die Metrologie integrierter Schaltungen (ICs) und genauer die Auswahl eines Strukturmodells und von Parametern für die optische Metrologie.

Verwandte Technik

[0003] Mit dem gegenwärtigen Streben nach kleineren Geometrien von IC-Vorrichtungen wird die Messung der Merkmale von IC-Vorrichtungen zunehmend schwieriger, da die Größe der Merkmale kleiner wird. Ein Verfahren zum Messen der Merkmale umfaßt die Verwendung von Gittern oder periodischen Strukturen, die in Prüfbereichen eines Wafers ausgebildet sind, welche sich nahe an oder in den Vorrichtungen oder Schaltkreisen auf dem Wafer befinden. Die Kenntnis der Ausmaße der Gitter oder der periodischen Strukturen ist wesentlich, um zu bestimmen, ob sich die Ausmaße der Struktur innerhalb annehmbarer Bereiche befinden, und ob, zum Beispiel, ein bestimmter Herstellungsprozeß verursacht, daß die Seitenwände der Strukturen verjüngt, senkrecht, mit einer T-förmigen Oberseite versehen oder unterschnitten sind oder Basen aufweisen.

[0004] Die Messung der periodischen Strukturmerkmale kann mit einem Rasterelektronenmikroskop (REM) oder einer ähnlichen Vorrichtung erfolgen, wobei die Probe gespalten und untersucht wird. Das Querschnitts-REM-Verfahren ist typischerweise langsam, teuer, zerstörerisch, und stellt typischerweise nur eine von der Oberseite des Merkmals gesehene Meßziffer bereit.

[0005] Eine andere Meßtechnik verwendet Scatterometrie. Bei der Scatterometrie, der spektroskopischen Reflektometrie und der Ellipsometrie werden typischerweise Vorrichtungen mit Mehrfacheinfallswinkel (MAI) und Systeme mit gemischter Gestaltung verwendet, um Licht auf die Struktur zu strahlen und das zurückgestrahlte Licht zu messen. Die empirische Scatterometrie verwendet grundsätzlich ein Verfahren, wobei die Beugungssignale für bekannte Breiten von Merkmalen einer Struktur gemessen werden, und das Paar aus Beugungssignalen und bekannten Breiten verwendet wird, um eine Bibliothek zu schaffen. Die empirische Scatterometrietechnik zum Aufbauen einer Bibliothek ist sogar für eine beschränkte Bibliothek aus Strukturabmessungen und zugehörigen Beugungssignalen zeitraubend und teuer. Mit dem Ansteigen der Auflösung der Strukturabmessung nimmt die Größe der Bibliothek zu, während die Zeit zum Schaffen und Verwenden der Bibliothek beträchtlich zunimmt.

[0006] Bei einer anderen Meßtechnik wird anstelle der Verwendung einer Bibliothek aus Beugungssignalen und Profildaten Regression verwendet, um aus dem gemessenen Beugungssignal die Profildaten zu bestimmen. Beim Verwenden der Regression können eine oder mehrere Optimierungstechniken verwendet werden, um aus dem gemessenen Beugungssignal die Profildaten zu bestimmen.

[0007] Die Länge der Zeit, die nötig ist, um eine Bibliothek zu schaffen oder ein Regressionsergebnis zum Konvergieren zu bringen, hängt vom verwendeten Profilmodell und von der Anzahl der Parameter, ab, die verwendet wurden, um das Profilmodell in den Beugungssignalberechnungen darzustellen. Typischerweise wird um so mehr Zeit und/oder werden um so mehr Berechnungshilfsmittel benötigt, um die gewünschten Informa-

tionen aus den Messungen zu gewinnen, je komplizierter das Profilmodell ist und je mehr Parameter verwendet werden.

KURZDARSTELLUNG DER ERFINDUNG

[0008] In einer beispielhaften Ausführungsform wird ein Profilmodell zur Verwendung bei der optischen Metrologie von Strukturen in einem Wafer ausgewählt, wobei das Profilmodell einen Satz von geometrischen Parametern aufweist, die mit den Ausmaßen der Struktur verbunden sind. Unter Verwendung eines oder mehrerer Eingangsbeugungssignale und eines oder mehrerer Parameterauswahlkriterien wird für das Profilmodell ein Satz von Optimierungsparametern ausgewählt. Das Profilmodell und der Satz von Optimierungsparametern, die ausgewählt wurden, werden gegen ein oder mehrere Abbruchkriterien geprüft. Der Prozeß des Auswählens eines Profilmodells, des Auswählens eines Satzes von Optimierungsparametern und des Prüfens des Profilmodells und des Satzes von Optimierungsparametern, die ausgewählt wurden, wird durchgeführt, bis das eine oder die mehreren Abbruchkriterien erfüllt sind.

KURZE BESCHREIBUNG DER ZEICHNUNGEN

[0009] Fig. 1 ist ein Aufbaudiagramm, das die Verwendung der optischen Metrologie zum Messen der von periodischen Strukturen eines Wafers ausgehenden Beugungssignale veranschaulicht.

[0010] Fig. 2 ist ein beispielhaftes Ablaufdiagramm des gesamten Prozesses für die Modell- und Parameterauswahl für die optische Metrologie von Strukturen integrierter Schaltungen.

[0011] Fig. 3 ist ein beispielhaftes Ablaufdiagramm des Verarbeitens der Beschreibung der Waferstruktur.

[0012] Fig. 4 ist ein beispielhaftes Ablaufdiagramm des Umwandelns der Beschreibung der Waferstruktur in ein Modell und zugehörige Parameter.

[0013] Fig. 5 ist ein beispielhaftes Ablaufdiagramm des Auswählens von Parametern des Modells auf Basis eines oder mehrerer Auswahlkriterien.

[0014] Fig. 6A ist ein Aufbaudiagramm, das ein System zur Modell- und Parameterauswahl in einer beispielhaften Ausführungsform darstellt.

[0015] Fig. 6B ist ein Aufbaudiagramm eines Metrologiemodelloptimierers in einer beispielhaften Ausführungsform.

[0016] Fig. 6C ist ein Aufbaudiagramm eines Metrologiemodelloptimierers, der mit einer Waferherstellungsgruppe zusammengefaßt ist.

[0017] Fig. 7 ist ein Aufbaudiagramm, das die Verwendung von Optimierungsmaschinen in einer beispielhaften Ausführungsform darstellt.

[0018] Fig. 8 ist ein beispielhaftes Aufbaudiagramm eines geometrischen Modells des Profils einer Waferstruktur.

[0019] Fig. 9A ist eine beispielhafte geometrische Form die verwendet wird, um ein Modell des Profils einer Waferstruktur aufzubauen.

[0020] Fig. 9B ist eine beispielhafte Kombination aus geometrischen Formen, die verwendet wird, um ein Modell des Profils einer Waferstruktur aufzubauen.

[0021] Fig. 9C ist eine beispielhafte zusammengesetzte Struktur, die eine Kombination von geometrischen Formen als ein Modell des Profils einer Waferstruktur verwendet.

[0022] Fig. 10A ist ein beispielhaftes Diagramm eines Waferstrukturmodells, das ein Rechteck und ein Trapez verwendet.

[0023] Fig. 10B ist eine beispielhafte Kurve des Reflexionsvermögens von zwei hochkorrelierten Parametern eines Waferstrukturmodells, das ein Rechteck und ein Trapez verwendet.

[0024] Fig. 10C ist eine Tabelle, die die Passungsgüte (GOF) und den Vertrauensbereich jedes Parameters des Modells veranschaulicht, das ein Rechteck und ein Trapez verwendet.

[0025] Fig. 11A ist ein beispielhaftes Diagramm eines Waferstrukturmodells, das ein Rechteck und zwei Trapeze verwendet.

[0026] Fig. 11B ist eine beispielhafte Kurve des Reflexionsvermögens von zwei hochkorrelierten Parametern eines Waferstrukturmodells, das ein Rechteck und zwei Trapeze verwendet.

[0027] Fig. 11C ist eine Tabelle, die die Passungsgüte (GOF) und den Vertrauensbereich jedes Parameters des Profilmodells veranschaulicht, das ein Rechteck und zwei Trapeze verwendet.

[0028] Fig. 12A ist eine beispielhafte Tabelle von Korrelationskoeffizienten von Parametern eines Modells des Waferstrukturprofils.

[0029] Fig. 12B ist eine beispielhafte Kurve des Unterschieds des Reflexionsvermögens von zwei Parametern eines Profilmodells, die eine vollständige Korrelation aufweisen.

[0030] Fig. 13A bis Fig. 13D sind beispielhafte Profilmodelle, die ein bis vier Trapeze verwenden, um eine Waferstruktur zu modellieren.

[0031] Fig. 13E ist eine beispielhafte Kurve der Kostenfunktion und der GOF eines simulierten Signals in Bezug auf das gemessene Signal als eine Funktion der Anzahl von Trapezen, die im Profilmodell verwendet werden.

[0032] Fig. 14 ist eine beispielhafte Kurve der Kostenfunktion und der GOF eines simulierten Signals in Bezug auf das gemessene Signal als eine Funktion der Anzahl der Parameter, die im Profilmodell verwendet werden.

[0033] Fig. 15 ist eine Modell- und Parameterauswahldatenspeichergestaltung in einer beispielhaften Ausführungsform.

AUSFÜHRLICHE BESCHREIBUNG DER BEISPIELHAFTEN AUSFÜHRUNGSFORM(EN)

[0034] Um die Beschreibung der vorliegenden Erfindung zu vereinfachen, wird entweder ein ellipsometrisches oder ein reflektometrisches optisches Metrologiesystem verwendet, um bestimmte Konzepte und Grundsätze zu veranschaulichen. Die Kurven der von Waferstrukturen ausgehenden Beugungssignale, die ein Ellipsometer verwenden, z.B. cos(Δ) und tan(Ψ), werden benutzt werden, um bestimmte beispielhafte Ausführungsformen zu beschreiben, während reflektrometrische Kurven des Reflexionsvermögens benutzt werden, um andere zu beschreiben. Es versteht sich, daß die gleichen Konzepte und Grundsätze in der gleichen Weise für ellipsometrische, reflektometrische oder andere optische Metrologiesysteme gelten.

[0035] Fig. 1 ist ein Aufbaudiagramm, das die Verwendung der optischen Metrologie zum Messen der Beugungssignale veranschaulicht, die von Strukturen ausgehen, welche auf einem Wafer gemustert sind. Das optische Metrologiesystem **40** beinhaltet eine Metrologiestrahlenquelle **41**, die einen Strahl **43** auf die Zielstruktur **59** auf einem Wafer **47** wirft. Der Metrologiestrahl **43** wird mit einem Einfallswinkel θ_i zur Zielstruktur geworfen und mit einem Beugungswinkel θ_d gebeugt. Der Beugungsstrahl **49** wird durch einen Metrologiestrahlempfänger **51** gemessen. Die Beugungsstrahldaten **57** werden zu einem Profilanwendungsserver **53** übertragen. Der Profilanwendungsserver **53** vergleicht die gemessenen Beugungsstrahldaten **57** mit einer Bibliothek **54** aus berechneten Beugungsstrahldaten, die verschiedene Kombinationen von kritischen Abmessungen der Zielstruktur und der Auflösung der kritischen Abmessung darstellen. In einer beispielhaften Ausführungsform wird das Bibliotheksbeispiel in der Bibliothek **54**, das den gemessenen Beugungsstrahldaten **57** am besten entspricht, ausgewählt. Das Profil und die zugehörigen kritischen Abmessungen des ausgewählten Bibliotheksbeispiels können eine zweidimensionale oder dreidimensionale Darstellung der Gitterstruktur bereitstellen. Das optische Metrologiesystem **40** kann ein Reflektometer, ein Ellipsometer oder eine andere optische Metrologievorrichtung verwenden, um den Beugungsstrahl oder das -signal zu messen. Ein optisches Metrologiesystem ist in der am 28. November 2000 eingebrachten, ebenfalls anhängigen US-Patentanmeldung mit der Seriennummer 09/727,530 von Jakatdar, et al. mit dem Titel "System and Method for Real-Time Library Generation of Grating Profiles) beschrieben, die hierin in ihrer Gesamtheit verweisend aufgenommen ist.

[0036] Fig. 2 ist ein beispielhaftes Ablaufdiagramm des gesamten Prozesses für die Modell- und Parameterauswahl für die optische Metrologie von Waferstrukturen. In Schritt **310** werden ein oder mehrere Kriterien zur Auswahl eines Modells des Strukturprofils bestimmt. Ein Abbruchkriterium ist ein Maßstab, gegen den das Ergebnis des Auswahlprozesses gemessen wird. Die Abbruchkriterien können einen Kostenfunktionswert, einen Passungsgüte(GOF)-Wert und/oder andere Kurvenpassungsmaßsysteme wie auch Vertrauensbereiche von gemessenen Parametern beinhalten.

[0037] Zum Beispiel kann eine Kostenfunktion zwischen einem simulierten, von der Struktur ausgehenden Signal unter Verwendung der Profilmodellparameter verglichen mit einem gemessenen Signal als ein Abbruchkriterium verwendet werden. Ein Kostenfunktionsvergleich ist durch die nachstehenden Gleichungen veranschaulicht, wobei V_1 und V_2 zwei Vektoren der Größe n sind, und die Kostenfunktion von V_1 in Bezug auf V_2

$$Cost(V_1, V_2) = \left(\sum_{i=1}^{n}(V_{1i} - V_{2i})^p\right)^{1/p} \qquad (1.00)$$

ist, wobei i das i-te Element des Vektors und p eine mit dem Maßsystem verbundene willkürliche Zahl ist. Der erste Vektor ist der Satz von Signalwerten an Meßpunkten für die verwendete Metrologievorrichtung und der zweite Vektor ist der entsprechende Satz von simulierten Signalwerten an den gleichen Punkten Ein Kostenfunktionsabbruchkriterium kann auf eine bestimmte Zahl, zum Beispiel 0,25, festgelegt werden. Ein anderes Abbruchkriterium kann die Passungsgüte (GOF) zwischen der Kurve der gemessenen und der simulierten Signalwerte sein. Die GOF ist ein Maß der Nähe von zwei Sätzen von Werten. Zum Beispiel beruht die GOF bei der Verwendung ellipsometrischer Messungen auf den Werten für tanψ und cos Δ, wobei tanψ und cos Δ durch einen einzelnen Vektor von n Abmessungen dargestellt sind:

$$S = [\tan\psi_1\ \tan\psi_2 \ldots \tan\psi_{n/2}\ \cos\Delta_1\ \cos\Delta_2 \ldots \cos\Delta_n] \qquad (1.10)$$

[0038] Eine gewöhnlich verwendete Formel für die GOF zwischen einem gemessenen Signal S_m im Vergleich zu einem simulierten Signal S_s ist

$$GOF = 1 - \frac{\sum_{i}^{n}(S_s(i) - S_m(i))^2}{\sum_{i}^{n}(S_m(i) - \bar{S}_m)^2} \qquad (2.00)$$

$$\text{wobei } \bar{S}_m = \frac{\sum_{i}^{n} S_m(i)}{n} \qquad (2.10)$$

ist, wobei i den i-ten Meßpunkt für eine optische Metrologievorrichtung darstellt und n die gesamte Zahl an Messungen für die optische Metrologievorrichtung ist.

[0039] Ein anderes Abbruchkriterium ist ein Vertrauensbereichsgrenzwert für Optimierungsparameter. Optimierungsparameter und Vertrauensbereiche werden nachstehend ausführlicher beschrieben. Mit einem Profilmodell ist ein Satz von geometrischen Parametern verbunden. Optimierungsparameter werden von den geometrischen Parametern des Profilmodells abgeleitet. Der Prozeß des Ableitens der Optimierungsparameter von den geometrischen Parametern wird ebenfalls in Fig. 4 ausführlich besprochen werden. Der Vertrauensbereich ist ein Bereich von Werten des Optimierungsparameters, in den der tatsächliche Wert vermutlich mit einer bestimmten Wahrscheinlichkeit fallen wird. Als Veranschaulichung bedeutet ein 3-Sigma-Vertrauensbereich eines Optimierungsparameters x1 von 20 nm, daß eine 99,7%ige Wahrscheinlichkeit besteht, daß der tatsächliche Wert von x innerhalb + oder –20 nm liegt. Das Ausmaß des Vertrauensbereichs kann auf das Ausmaß der Veränderung vom Nennwert eines Optimierungsparameters gesetzt werden, wenn die Veränderung in den Beugungssignalen größer als ein vorgewählter Wert ist. Der vorgewählte Wert kann ein Wert für den Systemrauschpegel oder den künstlichen Rauschpegel sein, der typischerweise in Nanometern ausgedrückt

wird. Zum Beispiel kann eine Vertrauensbereichsgrenze von 2,0 nm für die mittlere kritische Abmessung einer Struktur und 2,5 nm für den Parameter der unteren kritischen Abmessung bestimmt werden. Die Auswahl des Profilmodells würde andauern, bis die Vertrauensbereichsgrenze für sowohl die mittlere als auch die untere kritische Abmessung erfüllt ist.

[0040] In Schritt **320** werden ein oder mehrere Kriterien für die Auswahl von Profilmodellparametern bestimmt. Die Profilauswahlkriterien können einen bestimmten Korrelationskoeffizienten oder die Empfindlichkeit eines Profilparameters beinhalten. Zum Beispiel kann eine Grenze von 0,99 Korrelation verwendet werden, um Parameter auszuwählen. Alternativ kann für jede zunehmende Veränderung des Profilparameters (ΔP) eine bestimmte Veränderung im Signal (ΔS) benötigt werden, wobei ΔS/ΔP ein Maß der Empfindlichkeit des Parameters ist. Die Parameterauswahlkriterien werden in Fig. 5 ausführlicher besprochen werden.

[0041] Unter weiterer Bezugnahme auf Fig. 2 wird in Schritt **330** die Beschreibung der Waferstruktur erhalten. Ein Abbild der Struktur von einem bezugnehmenden Metrologieinstrument wie etwa ein Querschnitts-Rasterelektronenmikroskop- oder ein Röntgenstrahl-Rasterelektronenmikroskopabbild kann als eine Basis zur Beschreibung des Profils der Struktur verwendet werden. Zum Beispiel kann eine Angabe einer oberseitigen Rundung, eines Unterschnitts, einer T-förmigen Oberseite, einer Basis, einer Kerbung, einer Konkavität, einer Konvexität und eine ähnliche Beschreibung der Struktur erhalten werden. Es können Waferherstellungsprozeßgestaltungsdaten verwendet werden. Informationen über die nominalen kritischen Abmessungen und die Höhe können zusammen mit Strukturabbildungsdaten verwendet werden, um das Strukturprofil zu beschreiben. Für eine Beschreibung der Schritte, die mit einem beispielhaften Prozeß des Erhalts einer Beschreibung der Waferstruktur verbunden sind, siehe die Beschreibung von Fig. 3.

[0042] In Schritt **340** wird die Strukturbeschreibung in ein Profilmodell umgewandelt. Ein Profilmodell kann ein einfaches Rechteck mit zwei Parametern sein, die die Höhe und die Breite des Rechtecks bezeichnen. In Fig. 9A ist eine Rechtecksform **920** mit zwei Parametern, a0 und a1, gezeigt, die die Breite bzw. die Höhe darstellen. Ein anderes Modell für ein Profil kann ein Trapez sein, das drei Parameter aufweist, die zum Beispiel die untere kritische Abmessung, die obere kritischen Abmessung und die Höhe darstellen. Fig. 9B stellt ein Modell mit zwei Trapezen **925** übereinander dar. Das Profilmodel **925** mit zwei Trapezen könnte unter Verwendung von fünf Parametern, a0, der die obere kritische Abmessung des oberen Trapezes darstellt, a1, der die gemeinsame kritische Abmessung des oberen und des unteren Trapezes darstellt, a2, der die untere kritische Abmessung des unteren Trapezes darstellt, a3, der die gesamte Dicke des oberen und des unteren Trapezes darstellt, und a4, der die Dicke des oberen Trapezes darstellt, beschrieben werden. Ein komplexeres Profilmodell ist in Fig. 9C mit Folgendem gezeigt: zwei rechteckigen Blöcken **942** und **944**, die zwei unterschiedliche Filme darstellen, einem Trapez **940**, das die Unterseite der gemusterten Struktur, welches eine Basis aufweist, darstellt, zwei rechteckigen Blöcken **938** und **936**, die aus einem unterschiedlichen Material hergestellt sind, einem dünnen rechteckigen Block **934**, der eine Kerbe in der Struktur darstellt, und einem oberen Trapez **932**, das einen gewissen Grad an Rundung in der Oberseite der Struktur darstellt.

[0043] Wie in Fig. 9c ersichtlich ist, kann ein Profilmodell viele verschiedene geometrische Formen umfassen, um eine gute Annährung an das tatsächliche Profil auf der Struktur zu erlangen. Im Allgemeinen werden um so mehr Parameter benötigt, um das Modell darzustellen, je komplexer das Modell ist. Mehr Parameter erhöhen die Komplexität und die Länge der Zeit, um die Simulation der optischen Metrologie der Struktur durchzuführen. Für eine Beschreibung der Simulation von Beugungssignalen, die von einer hypothetischen Struktur ausgehen, siehe die am 26. Januar 2000 eingebrachte, ebenfalls anhängige US-Patentanmeldung mit der Seriennummer 09/770,997 von Niu, et al. mit dem Titel "Caching of Intra-layer Calculations for Rapid Rigorous Couple-Wave Analyses", die hierin in ihrer Gesamtheit verweisend aufgenommen ist. Wie in Fig. 5 beschreiben werden wird, kann die Anzahl von Parametern für ein gegebenes Profilmodell optimiert werden, um die geringste Anzahl von Parametern auszuwählen, die noch die Abbruchkriterien erfüllen können.

[0044] In Schritt **350** von Fig. 4 werden die Profilmodelloptimierungsparameter auf Basis eines oder mehrerer Auswahlkriterien ausgewählt. Wie in Fig. 5 ausführlicher besprochen werden wird, beruht die Auswahl eines Optimierungsparameters auf der Korrelation mit anderen Parametern, der Empfindlichkeit des simulierten Signals hinsichtlich einer Veränderung des Optimierungsparameters, dem Vertrauensbereich der Parameterveränderung, die festgestellt werden kann, und anderen Überlegungen. Anders ausgedrückt und als ein Beispiel einer Ausschließungsregel kann ein Optimierungsparameter A ausgeschlossen werden, wenn der Parameter A hoch mit einem anderen Parameter B korreliert ist und das simulierte Signal hinsichtlich Veränderungen im Parameter A unempfindlich ist.

[0045] In Schritt **360** wird die Simulationsberechnung durch Abwägen der Geschwindigkeit der Simulations-

berechnungen hinsichtlich der Genauigkeit des berechneten Signal optimiert. Zum Beispiel werden Variable wie etwa die Anzahl oder der Bereich der verwendeten Beugungswellenlängen und die Anzahl der berücksichtigten Beugungsordnungen optimiert, um die geringste Anzahl an Simulationsvariablen und die höchste Genauigkeit des berechneten Signal zu ergeben.

[0046] In Schritt **370** wird eine Prüfung durchgeführt, um herauszufinden, ob die Abbruchkriterien erfüllt sind. Zum Beispiel wird dann, wenn eines der Abbruchkriterien ein Kostenfunktionswert von weniger als oder gleich wie 2,50 ist, der Kostenfunktionswert eines simulierten Signals, das die ausgewählten Parameter des ausgewählten Modells verwendet, mit einem entsprechenden gemessenen Signal verglichen. Wenn der Kostenfunktionswert 2,20 beträgt, ist dieses Kriterium erfüllt. Zusätzlich kann ein zweites Abbruchkriterium ein GOF von 0,9990 oder größer sein. Unter Bezugnahme auf Fig. 11B, der Kurve **982** des Reflexionsvermögens an der Y-Achse als eine Funktion der Wellenlänge an der X-Achse, wird die Kurve des gemessenen Reflexionsvermögens **984** mit der Kurve des simulierten Reflexionsvermögens **986** verglichen, wobei die Simulation ein wie in Fig. 11A veranschaulichtes Doppeltrapezprofil verwendet. Unter Verwendung der GOF-Formel beträgt die berechnete GOF wie in Fig. 11C gezeigt 0,9994. Doch in der gleichen Tabelle **988** in Fig. 11C beträgt der höchste 3-Sigma-Vertrauensbereich für die Optimierungsparameter für x1 17,92 nm. Wie oben angeführt ist der Vertrauensbereich ein Bereich von Werten des Optimierungsparameters, in den der tatsächliche Wert vermutlich mit einer bestimmten Wahrscheinlichkeit fallen wird. Als eine Veranschaulichung bedeutet ein 3-Sigma-Vertrauensbereich eines Optimierungsparameters x1 von 20 nm, daß eine 99,7%ige Wahrscheinlichkeit besteht, daß der tatsächliche Wert von x1 innerhalb + oder –20 nm liegt.

[0047] Unter Bezugnahme auf Fig. 10B, die Kurve **960** des Reflexionsvermögens an der Y-Achse als eine Funktion der Wellenlänge an der X-Achse, wird die Kurve des gemessenen Reflexionsvermögens **962** mit der Kurve des simulierten Reflexionsvermögens **964** verglichen, wobei die Simulation ein wie in Fig. 10A veranschaulichtes Einzeltrapezprofil verwendet. Unter Verwendung der GOF-Formel beträgt die berechnete GOF wie in Fig. 10C gezeigt 0,9990. Man beachte, daß in der Tabelle **965** von Fig. 10C der höchste 3-Sigma-Vertrauensbereich für die Optimierungsparameter 1,99 nm für x0 beträgt. Wie nachstehend ausführlicher erklärt bedeutet der niedrigere 3-Sigma-Vertrauensbereich des Einzeltrapezmodells von Fig. 10A im Vergleich zum Modell mit zwei Trapezen von Fig. 11A, daß das Einzeltrapezmodell von Fig. 10A ausgewählt werden wird, sofern auch das GOF-Kriterium von 0,9990 erfüllt wird.

[0048] Unter Bezugnahme auf Fig. 2 schreitet die Verarbeitung dann, wenn die Abbruchkriterien nicht erfüllt sind, zu Schritt **375** weiter, wo die Parameterauswahlkriterien und/oder das Profilmodell reguliert werden und die Schritte **350**, **360** und **370** wiederholt werden. Beispiele von Veränderungen an Parameterauswahlkriterien können eine Regulierung der Korrelationsgrenze zum Auswählen oder Ausschließen eines Parameters sein. Alternativ kann eine Empfindlichkeitsgrenze, die als ein Beispiel als Summenquadratfehlerwerte ausgedrückt ist, reguliert werden. Ein Beispiel einer Profilmodellregulierung ist die Verwendung von drei Trapezen anstelle von zwei Trapezen, um das Strukturprofil darzustellen, oder das Verwenden eines Trapezes anstelle von zwei Trapezen, um den gemusterten Bereich der Struktur zu modellieren. In einem Fall kann das Profilmodell überarbeitet werden, um mehr oder unterschiedliche geometrische Formen zu enthalten, um näher zum optischen Mikroskopie-Abbild der Struktur zu gelangen. In einem anderen Fall kann das Profilmodell einfacher gemacht werden, wie etwa durch Verwenden nur eines Trapezes anstelle von mehreren Trapezen.

[0049] Wenn die Abbruchkriterien erfüllt sind, werden das Profilmodell, die ausgewählten Profilparameter, die Parameterauswahlkriterien, die Abbruchkriterien und die Daten hinsichtlich der Herstellung, der Waferstelle und der Identifikation der Metrologievorrichtung in Schritt **380** in einem Datenspeicher gespeichert.

[0050] Die Ergebnisse der Modell- und Parameterauswahl können auf mehrere Weisen verwendet werden. In Schritt **390** wird unter Verwendung der Bereiche und Auflösungen der ausgewählten Parameter der ausgewählten Modelle eine Bibliothek von simulierten Beugungssignalen und zugehörigen Profildaten geschaffen. Für eine Beschreibung des Prozesses zum Schaffen einer Bibliothek unter Verwendung von Bereichen und Auflösungen von Parametern siehe die am 28. November 2000 eingebrachte, ebenfalls anhängige US-Patentanmeldung mit der Seriennummer 09/727,530 von Jakatdar, et al. mit dem Titel "System and Method for Real-Time Library Generation of Grating Profiles", die hierin in ihrer Gesamtheit verweisend aufgenommen ist. Alternativ werden die Ergebnisse der Modell- und der Parameterauswahl in Schritt **395** angezeigt. In einer Ausführungsform werden die Werte der kritischen Abmessungen, die Profilform und die Filmdicke verfügbar gemacht, sobald das eine oder die mehreren Abbruchkriterien erfüllt sind. In einer anderen Ausführungsform werden einige oder alle der Daten, die in Schritt **390** gespeichert wurden, angezeigt. In noch einer anderen Ausführungsform werden die Ergebnisse der Profilmodell- und der Parameterauswahl in Schritt **398** für Vorwärts- oder – Rückwärtssteuerungsschleifen von Herstellungsgruppen verwendet. Einzelheiten dieses Gesichts-

punkts werden in Fig. 6C besprochen.

[0051] Wie oben angeführt stellt die Beschreibung von Fig. 3 mehr Einzelheiten hinsichtlich des gesamten Ablaufdiagrammschritts des Erhaltens und Verarbeitens der Beschreibung der Waferstruktur bereit. Es versteht sich, daß der in den folgenden Schritten beschriebene Prozeß nur eine Technik zum Erhalten der Beschreibung der Waferstruktur ist. Andere Techniken können eine Strukturbeschreibung beinhalten, die von einem Prozeß zur Herstellung integrierter Schaltungen oder von einer Software zur Simulation einer Vorrichtung mit integrierten Schaltungen erhalten wurde.

[0052] Unter Bezugnahme auf Fig. 3 werden in Schritt **410** ein oder mehrere Datensammlungskriterien festgelegt. Ein Datensammlungskriterium wird verwendet, um zu prüfen, ob genügend Daten über die Struktur verfügbar sind, um die Modell- und Parameterauswahl durchzuführen. Beispiele für ein Datensammlungskriterium können ein Kostenfunktionswert oder eine GOF sein, die den bei der Modell- und Parameterauswahl verwendeten Abbruchkriterien ähnlich sind. Doch der Kostenfunktionswert oder die GOF können von den für die Abbruchkriterien bestimmten verschieden und typischerweise niedriger sein. Andere Datensammlungskriterien können einen Bereich einer annehmbaren Veränderung von gemessenen Beugungssignalen wie etwa eine 3-Sigma-Breite der gemessenen Beugungssignale für die gleiche Stelle im Wafer beinhalten. Zum Beispiel können zusätzliche Beugungssignalmessungen der Waferstruktur benötigt werden, falls die gemessenen Beugungssignale für die gleiche Stelle in einem Wafer eine große Standardabweichung aufweisen. Alternativ können die Datensammlungskritereien ein Vergleich des von Simulationen abgeleiteten Strukturprofils mit einem Röntgenstrahl-Rasterelektronenmikroskopabbild sein.

[0053] Unter weiterer Bezugnahme auf Fig. 3 werden in Schritt **420** die Beschreibung hinsichtlich des Schichtenstapels, die Dicke der ungemusterten Schicht, der Index des Brechungsindizes n, der Löschkoeffizient k und andere Schichteigenschaften erhalten. Die Beschreibung beinhaltet die Art des Materials, das in jeder Schicht verwendet wird. In Schritt **430** werden die Schrittweite der gemusterten Struktur, das Linien-Raum-Verhältnis, die optischen Eigenschaften der gemusterten Struktur, und andere Beschreibungen des Profils der gemusterten Struktur erhalten. Andere Beschreibungen des Profils der gemusterten Struktur beinhalten Daten hinsichtlich einer oberen Abrundung, eines Unterschnitts, einer Basis, einer Kerbung, oder anderer erwarteter Anomalien im Profil.

[0054] In Schritt **440** werden die gemessenen optischen Metrologiebeugungssignale aus den eingegebenen gemessenen Beugungssignalen ausgewählt. Die Art und die Menge der Daten ist je nachdem, ob ein Ellipsometer, ein Reflektometer oder eine andere scatterometrische Vorrichtung verwendet wird, und abhängig vom Hersteller der Vorrichtung unterschiedlich. Die Auswahl der gemessenen Beugungssignale umfaßt mehrere Schritte, die dazu entworfen wurden, eine geringe Anzahl von repräsentativen Beugungssignalen unter Verwendung von Auswahltechniken wie etwa Bündelung, Korrelation und dergleichen zu prüfen. Die gemessenen Beugungssignale werden unter Verwendung einer oder mehrerer der oben aufgezählten Auswahltechniken in Gruppen eingeteilt. Für eine Beschreibung des Bündelns bei der optischen Metrologie, siehe die am 14. Dezember 2000 eingebrachte, ebenfalls anhängige US-Patentanmeldung mit der Seriennummer 09/737,705 von Doddi, et al. mit dem Titel "System and Method for Grating Profile Classification", die hierin in ihrer Gesamtheit verweisend aufgenommen ist. Vertreter jedes Bündels oder jeder Gruppe von hochkorrelierten gemessenen Beugungssignalen werden identifiziert und zur Verwendung bei der Modell- und Parameterauswahlverarbeitung ausgewählt.

[0055] In Schritt **450** wird das von einer Struktur ausgehende Signal unter Verwendung des Schichtenstapels und des aus der Beschreibung des Profils entwickelten Strukturprofils simuliert. Für eine Beschreibung der Simulation von Beugungssignalen, die von einer hypothetischen Struktur ausgehen, siehe die am 26. Januar 2000 eingebrachte, ebenfalls anhängige US-Patentanmeldung mit der Seriennummer 09/770,997 von Niu, et al. mit dem Titel "Caching of Intralayer Calculations for Rapid Rigorous Couple-Wave Analyses", die hierin in ihrer Gesamtheit verweisend aufgenommen ist.

[0056] In Schritt **460** von Fig. 3 wird eine Prüfung vorgenommen, um festzustellen, ob das eine oder die mehreren Datensammlungskriterien erfüllt sind. Wenn, zum Beispiel, die GOF zwischen dem simulierten Signal und der gemessenen Beugung 0,950 beträgt und eine GOF von 0,950 oder niedriger ein Datensammlungskriterium darstellt, ist das Datensammlungskriterium erfüllt. In einem anderen Beispiel ist das Datensammlungskriterium, daß eine simulierte Dicke jeder Schicht des Stapels gleich wie die durch den Benutzer bereitgestellten Beschreibungsdaten ist oder innerhalb eines gegebenen Prozentsatzes davon liegt. Das Datensammlungskriterium ist erfüllt, wenn die Dicke der Schicht des Stapels angenommen als 100 nm gegeben ist, und die simulierte Dicke für diese Schicht 102 nm beträgt, und ein Datensammlungskriterium angenommen eine

Abweichung von 2 Prozent oder weniger bei der Schichtdicke beträgt.

[0057] Unter weiterer Bezugnahme auf Fig. 3 werden in Schritt **480** die Datensammlungskriterien, die Wafer- und Strukturbeschreibung und die Identifikationsdaten der Metrologievorrichtung gespeichert. Wenn die Datensammlungskriterien nicht erfüllt sind, werden in Schritt **470** zusätzliche Daten erhalten oder die Datensammlungskriterien reguliert. Wenn, zum Beispiel, ein Datensammlungskriterium ein Kostenfunktionswert des simulierten Signals und des gemessenen Signals von 3,50 oder besser ist, und der berechnete Kostenfunktionswert 7,00 beträgt, ist das Datensammlungskriterium nicht erfüllt. Grundlegende Beschreibungsdaten können mangelhaft sein. Wenn zum Beispiel die Schrittweite der Struktur fehlerhaft bestimmt ist oder die Profilbeschreibung grob fehlerhaft ist, könnte der Kostenfunktionswert sehr hoch sein. Eine Überarbeitung der Beschreibungsdaten und der Genauigkeit der Eingabe dieser Beschreibungen in das System kann verwendet werden, um den Grund für das Problem zu identifizieren. Alternativ können die Datensammlungskriterien reguliert werden, wenn sie als unrichtig festgelegt befunden werden.

[0058] Wie oben angeführt stellt die Beschreibung von Fig. 4, die folgt, nähere Einzelheiten hinsichtlich des gesamten Ablaufdiagrammschritts des Umwandelns der Beschreibung der Waferstruktur in ein Modell und zugehörige Parameter bereit. In Schritt **510** werden die Arten von geometrischen Formen für jedes Material des Stapels bestimmt. Zum Beispiel kann dann, wenn es in einem Stapel nur ein Material gibt, eine geometrische Form ausgewählt werden, um das gesamte Profilmodell darzustellen. In Fig. 8 wird unter der Annahme, daß die Struktur **900** aus einem Material gebildet ist, ein Satz von Rechtecksformen mit unterschiedlichen Abmessungen (z.B. die Rechtecksformen **902**, **904**, **906**, **908** und **910**) verwendet, um das Profilmodell der Struktur **900** darzustellen. In Fig. 9A wird für einen ungemusterten Film eine Rechtecksform verwendet, wohingegen in Fig. 9B zwei Trapezformen verwendet werden. Das Profil in Fig. 9C verwendet Rechtecks- und Trapezformen.

[0059] Unter Bezugnahme auf Fig. 4 werden in Schritt **520** die geometrischen Formen und Parameter des Stapels der Struktur erzeugt. Wenn, zum Beispiel, die erste Schicht in einem ungemusterten Stapel durch die Rechtecksform **920** in Fig. 9A dargestellt ist, ist der geometrische Parameter die Dicke der ersten Schicht, a1, da angenommen werden kann, daß die Breite für eine ungemusterte Schicht für Beugungssimulationszwecke unendlich ist.

[0060] Wenn die geometrische Form für eine Schicht ein Trapez ist, können drei geometrische Parameter verwendet werden, nämlich, die obere Breite, die untere Breite und die Höhe des Trapezes. Wenn wie in Fig. 9B ein Doppeltrapez verwendet wird, können fünf geometrische Parameter verwendet werden, nämlich die obere Breite des oberen Trapezes a0, die untere Breite des oberen Trapezes a1, die auch die obere Breite des unteren Trapezes ist, die untere Breite des unteren Trapezes a2, die gesamte Dicke des Strukturmodells a3 und die Dicke des oberen Trapezes a4.

[0061] Das Profilmodell **930** von Fig. 9c stellt ein komplexes Profilmodell dar, wobei das Modell Rechtecksformen **936**, **938**, **942** und **944**, eine Rechtecksform zur Veranschaulichung einer Kerbung in der Struktur **934**, und Trapezformen **932** und **940** zur Veranschaulichung einer oberen Rundung der Struktur bzw. einer unteren Basis der Struktur beinhaltet. Die geometrischen Parameter sind die Summe der einzelnen geometrischen Parameter der einzelnen geometrischen Formen. Für das komplexe Profilmodell von Fig. 9C ist die Anzahl der geometrischen Parameter hoch. Typischerweise ist die Anzahl der geometrischen Parameter um so höher, je mehr geometrische Formen vorhanden sind. Darüber hinaus führt die höhere Anzahl von geometrischen Parametern eines Profilmodels zu einem längeren Simulationsprozeß zum Bestimmen der simulierten Beugungssignale. Wie vorher erwähnt kann ein längerer Beugungssimulationsprozeß zu einer beträchtlich längeren Bibliotheksschaffungszeit oder Regressionszeit führen.

[0062] In Schritt **530** von Fig. 4 werden die Nennwerte und -bereiche der geometrischen Parameter erhalten. Diese Werte und Bereiche werden typischerweise aus historischen Daten oder Versuchsdaten für den Herstellungsprozeß oder die Rezeptur erhalten. Zum Beispiel kann eine obere Breite oder eine obere kritische Abmessung einen Nennwert von 200 nm und einen Bereich von 120 bis 280 nm aufweisen.

[0063] In Schritt **540** werden die Abhängigkeiten der geometrischen Parameter definiert. Erneut beruhen die Abhängigkeiten der geometrischen Parameter auf historischen oder Versuchsergebnissen für den bestimmten Herstellungsprozeß oder die Rezeptur. Zum Beispiel bestimmt bei einer Flachgrabenisolations(STI)struktur, die eine Siliziumnitridabdeckung und einen Siliziumgraben aufweist, typischerweise die Nitridabdeckung die kritische Abmessung der oberen Breite des Siliziumgrabens. In diesem Fall ist die untere kritische Abmessung der Nitridabdeckung der unabhängige geometrische Parameter. Die obere kritische Abmessung der Nitridabdeckung und die obere Breite des Siliziumgrabens können an die untere kritische Abmessung der Nitridabde-

ckung gebunden sein.

[0064] Unter Verwendung des Doppeltrapezmodells **925** von Fig. 9B als Beispiel kann die obere Breite a0 des oberen Trapezes eine Funktion der unteren Breite a1 des oberen Trapezes sein; kann a0 eine lineare Beziehung zu a1 aufweisen; kann a0 zum Beispiel gleich a1 plus einer Konstanten sein oder kann a0 gleich dem mit einer festen Zahl multiplizierten Wert von a1 sein. Die Beziehung eines geometrischen Parameters zu einem anderen geometrischen Parameter kann durch eine einfache lineare Funktion, eine Quadratfunktion, eine Polynomfunktion oder dergleichen gekennzeichnet sein. Abhängigkeiten der geometrischen Parameter des Profilmodells werden auf Basis dessen definiert, ob ein geometrischer Parameter ein unabhängiger Parameter ist, eine feste Versetzung von anderen Parametern aufweist, eine veränderliche Versetzung von anderen Parametern aufweist, oder einen festen Wert aufweist. Der Erklärung wegen betrachte man das Doppeltrapez von Fig. 9B, das fünf geometrische Parameter aufweist. Von der Gestaltung oder der früheren Erfahrung mit der Herstellungsrezeptur her kann a0 als ein unabhängiger Parameter bekannt sein. Ebenfalls von früheren Herstellungsdaten her kann bekannt sein, daß a1 eine konstante Versetzung von a0 von 10 nm aufweist, a2 eine veränderliche Versetzung von a0 aufweist, a3 eine Konstante ist und a4 das Doppelte von a0 beträgt.

[0065] Unter weiterer Bezugnahme auf Fig. 4 werden die geometrischen Parameter in Schritt **550** in Optimierungsparameter x umgewandelt. Gründe für die Umwandlung von geometrischen Parametern in Optimierungsparameter beinhalten die Verringerung des Suchraums für die Regression zum Bestimmen des optimierten Simulationsbeugungssignals (später in Fig. 5 besprochen). Ein anderer Grund für die Umwandlung von geometrischen Parametern in Optimierungsparameter ist die Verringerung der Korrelation eines Parameters zu den anderen Parametern.

[0066] Das Ergebnis der Umwandlung ist eine Gleichung hinsichtlich des Optimierungsparameters x_i. Zum Beispiel lautet die Gleichung für jeden geometrischen Parameter a_i des in Fig. 9B gezeigten Doppeltrapezes, der die oben beschriebenen Abhängigkeiten aufweist, wie folgt:

a0 = x0,

a1 = x0 + 10,

a2 = x0 + x1,

a3 = 50,

a4 = 2x0,

wobei a0, a1, a2, a3 und a4 die in Nanometern ausgedrückten, wie oben definierten geometrischen Parameter des Profilmodells sind, und x0 und x1 die Optimierungsparameter des Profilmodells sind. Man beachte, daß die fünf Parameter in zwei Optimierungsparameter umgewandelt wurden. Es sollte bemerkt werden, daß kompliziertere Profilmodelle typischerweise mehr geometrische Parameter erfordern können und im Allgemeinen eine entsprechend höhere Zahl an Optimierungsparametern erfordern können. Es versteht sich für einen Fachmann, daß andere gleichwertige Wege des Ausdrückens der Abhängigkeiten der geometrischen Parameter in Optimierungsparametern verwendet werden können.

[0067] Wie oben angeführt stellt die folgende Beschreibung von Fig. 5 nähere Einzelheiten hinsichtlich des gesamten Ablaufdiagrammschritts des Auswählens von Parametern des Modells auf Basis eines oder mehrerer Auswahlkriterien bereit. Unter Bezugnahme auf Fig. 5 werden in Schritt **810** die optischen Metrologiewellenlängen oder Bereiche von Wellenlängen für die Profilmodellauswahl ausgewählt. Für eine Beschreibung des Prozesses zum Auswählen von Wellenlängen, siehe die am 3. Juni 2002 eingebrachte, ebenfalls anhängige US-Patentanmeldung mit der Seriennummer 10/162,516 von Doddi, et al. mit dem Titel "Selection of Wavelengths for Integrated Circuit Optical Metrology", die hierin in ihrer Gesamtheit verweisend aufgenommen ist. Mehrere Aufgaben können gleichzeitig oder der Reihe nach durchgeführt werden, um dahingehend Informationen bereitzustellen, ob ein Optimierungsparameter ausgewählt oder ausgeschlossen werden sollte.

[0068] In Schritt **820** wird die Korrelation zwischen den Optimierungsparametern bestimmt. Typischerweise wird ein Korrelationskoeffizient r zwischen zwei Optimierungsparametern unter Verwendung der Formel

$$r = \frac{\sum_i (x_i - \bar{x})(y_1 - \bar{y})}{\sqrt{\sum_i (x_1 - \bar{x})^1}\sqrt{\sum_i (y_i - \bar{y})^2}} \qquad (2.60)$$

berechnet, wobei x_i und y_i ein Paar von Optimierungsparametern sind, x der Mittelwert der x_i's ist, und y der Mittelwert der y_i's ist. Ein Korrelationskoeffizientenwert von +1 kann einer vollständigen positiven Korrelation entsprechen, und ein Wert von –1 kann einer vollständigen negativen Korrelation entsprechen. Ein dicht an "Null" liegender Wert von r kann nicht korrelierten Optimierungsparametern x und y entsprechen.

[0069] Unter Bezugnahme auf Fig. 12A zeigt die Tabelle der Korrelationskoeffizienten **996** fünf Optimierungsparameter, nämlich x0, der die obere kritische Abmessung des Resists darstellt, x1, der die untere kritische Abmessung des Resists darstellt, x2, der die Dicke des Resists darstellt, x3, der die Dicke der reflexmindernden Beschichtung darstellt, und x4, der die Dicke des Siliziumdioxids darstellt. Die Korrelationskoeffiziententabelle **996** ist so gestaltet, daß die Y-Achse und die X-Achse die gezeigten Parameterzahlen aufweisen. Ein Kreuzungspunkt oder eine Zelle stellt den an einen anderen Parameter angepaßten Korrelationskoeffizienten eines Parameters dar. Zum Beispiel beträgt der Korrelationskoeffizient am Kreuzungspunkt der Parameter x0 und x4, Zelle **997**, 0,47. Der Korrelationskoeffizient wird durch Ersetzen der eingegebenen gemessenen Werte von x0 durch x_i und x4 durch y_i in der obigen Gleichung 2.60 berechnet. Der niedrige Wert des Korrelationskoeffizienten bedeutet, daß die Parameter x0 und x4 nicht hoch korreliert sind. Im Gegensatz dazu beträgt der Korrelationskoeffizient am Kreuzungspunkt der Parameter x3 und x4, Zelle **998**, 1,00, was eine vollständige positive Korrelation zwischen x3 und x4 bedeutet. Wie in Fig. 12B ersichtlich ist, weist die Kurve des Unterschieds des Reflexionsvermögens hinsichtlich der Wellenlänge des Parameters x3, Kurve **992**, eine vollständige positive Korrelation zur Kurve des Unterschieds des Reflexionsvermögens hinsichtlich der Wellenlänge des Parameters x4, Kurve **994**, auf. Hinsichtlich der Optimierungsparameterauswahl muß nur einer der Parameter x3 und x4 aufgenommen werden, da die Veränderung der Beugungssignale, die entweder durch x3 oder x4 verursacht wird, aus der Veränderung des anderen bestimmt werden kann.

[0070] In Schritt **830** von Fig. 5 wird der Vertrauensbereich jedes Optimierungsparameters bestimmt. Wie früher angeführt kann der Vertrauensbereich auf das Ausmaß der Veränderung vom Nennwert eines Optimierungsparameters gesetzt werden, wo die Veränderung in den Beugungssignalen größer als der Rauschpegel ist. Das Rauschen in den Beugungssignalen kann durch Systemrauschen, zum Beispiel Rauschen von den Meßvorrichtungen, verursacht sein, oder das Rauschen kann simuliert werden. Der Vertrauensbereich ist im Allgemeinen als ein Mehrfaches der Standardabweichung Sigma, σ, des Optimierungsparameters ausgedrückt. Die Standardabweichung für einen Optimierungsparameter wird unter Verwendung der Formel

$$\sigma = \sqrt{([1/(N-1)])\cdot(x_i - x_{av})^2} \qquad (2.70)$$

aus gemessenen Werten des Optimierungsparameters berechnet, wobei N die Anzahl der Messungen ist, x_i der i-te Wert des Optimierungsparameters x ist, und x_{av} der Durchschnittswert des Optimierungsparameters x ist.

[0071] Der Vertrauensbereich wird typischerweise aus einem gegebenen Satz von Abtasteingangsdaten berechnet, die tatsächliche, von der Waferstruktur weggehende Messungen darstellen. Der Vertrauensbereich kann auch unter Verwendung von simuliertem zufälligem Rauschen berechnet werden, das in die Meßdaten für den Optimierungsparameter eingebracht wird.

[0072] Unter Bezugnahme auf Fig. 10A weist das Strukturprofilmodell **950**, das ein einzelnes Trapez **951** auf einer Rechtecksform **953** verwendet und eine einzelne Struktur mit einem Basisfilm darstellt, vier Optimierungsparameter auf, nämlich x0, der die obere kritische Abmessung der Struktur darstellt, x1, der die untere kritische Abmessung der Struktur darstellt, x2, der die Breite der Struktur darstellt, und x3, der die Breite des Basisfilms darstellt. Unter Bezugnahme auf Fig. 10C ist eine Tabelle **965** mit dem 3-Sigma-Vertrauensbereich für die vier Optimierungsparameter gezeigt. Zum Beispiel weist der Optimierungsparameter x0 einen Vertrauensbereich von 1,99 nm auf, was bedeutet, daß die Messung von x0 eine Wahrscheinlichkeit von 99,7 aufweist, innerhalb von 1,99 nm sichtbar oder empfindlich zu sein. Alternativ besteht dann, wenn die Veränderung in x0 weniger als 1,99 nm beträgt, eine 99,7%ige Wahrscheinlichkeit, daß sich die Veränderung nicht im Signal zeigen würde. In der gleichen Weise weist x1 einen 3-Sigma-Vertrauensbereich von 1,95 nm auf, und so weiter. Man beachte, daß der Parameter x3 einen 3-Sigma-Vertrauensbereich von 0,30 aufweist, was bedeutet, daß der Parameter x3 gegenüber Veränderungen, die größer als 0,30 nm sind, empfindlich ist.

[0073] Man nehme an, daß die gleiche Struktur, wie sie in Fig. 10A besprochen wurde, wie beim Profilmodell **970** in Fig. 11A unter Verwendung von zwei Trapezen **972** auf einer Rechtecksform **974** modelliert wurde. Das Doppeltrapez-Profilmodell **970** weist sechs Optimierungsparameter auf, nämlich x0, der die obere kritische Abmessung des oberen Trapezes **976** darstellt, x1, der die mittlere kritische Abmessung des unteren Trapezes **978** darstellt, x2, der die untere kritische Abmessung des unteren Trapezes **978** darstellt, x3, der die Breite des Doppeltrapezes **972** darstellt, x4, der das Verhältnis am Wendepunkt darstellt und gleich h1, der Breite des oberen Trapezes **976**, über die Breite des Doppeltrapezes **972** ist, und x5, der die Breite des Basisfilms darstellt. Unter Bezugnahme auf Fig. 11C ist eine Tabelle **988** mit dem 3-Sigma-Vertrauensbereich für die sechs Optimierungsparameter gezeigt. Zum Beispiel weist der Optimierungsparameter x0 einen Vertrauensbereich von 6,81 nm auf, was bedeutet, daß die Messung von x0 eine Wahrscheinlichkeit von 99,7 % aufweist, innerhalb von 6,81 nm sichtbar oder empfindlich zu sein. Alternativ besteht dann, wenn die Veränderung in x0 weniger als 6,81 nm beträgt, eine 99,7%ige Wahrscheinlichkeit, daß sich die Veränderung nicht im Signal zeigen würde. Wie in einem späteren Schritt **870** besprochen werden wird, kann die gesamte Sammlung von Daten, die für jeden Optimierungsparameter berechnet wurden, in einem Entscheidungsschritt, ob ein Optimierungsparameter aufgenommen oder ausgeschlossen werden soll, vereinigt werden.

[0074] In Schritt **840** von Fig. 5 wird die Empfindlichkeit des simulierten Signals gegenüber Veränderungen in einem oder mehreren Optimierungsparametern bestimmt. Typischerweise erfolgt diese Bestimmung durch Verändern eines Optimierungsparameters um ein geringes Ausmaß und Konstanthalten der anderen Optimierungsparameter. Zum Beispiel kann im Profilmodell von Fig. 10A, das ein Trapez verwendet, die Empfindlichkeit des Parameters x0 geprüft werden, indem ein Nanometer zum Nennwert hinzugefügt wird, während x1, x2 und x3 beim Nennwert gehalten werden, und das Signal simuliert wird. Wenn in der Signalmatrix oder der Kurve von (x0 beim Nennwert plus 1 nm) keine bemerkbare Veränderung vorhanden ist, weist x0 eine niedrige Empfindlichkeit auf. Die anderen Optimierungsparameter können in der gleichen Weise verändert werden, während der Rest konstant gehalten wird, um die Empfindlichkeit jedes Optimierungsparameters zu prüfen.

[0075] Die Empfindlichkeit eines Optimierungsparameters kann durch Berechnen des Summenquadratfehlers (SSE) des veränderten Signals im Vergleich zum Nennwerte verwendenden Signal ausgedrückt werden. Die SSE-Formel lautet wie folgt:

$$SSE = \sum_{i=1}^{n} (S_0(i) - S_1(i))^2 \qquad (3.00)$$

wobei i der Signalsimulationspunkt, typischerweise bei einer vorgewählten Wellenlänge, ist, n die Anzahl von Signalsimulationspunkten ist, S_0 der simulierte Signalwert unter Verwendung der Nennwerte der Optimierungsparameter ist, und S_1 der simulierte Signalwert unter Verwendung des Nennwerts plus Veränderung in einem der Optimierungsparameter ist.

[0076] In Schritt **870** von Fig. 5 wird die endgültige Auswahl der Optimierungsparameter auf Basis eines oder mehrerer Auswahlkriterien vorgenommen. Zum Beispiel kann ein Parameterauswahlkriterium ein Grenzpunkt im Korrelationskoeffizienten sein. Parameter mit einem Korrelationskoeffizienten von weniger als 0,50 in Bezug auf alle anderen Parameter können gewählt werden. Alternativ kann ein Paar von Parametern mit einem Korrelationskoeffizienten von 0,98 ferner hinsichtlich der Empfindlichkeit geprüft werden, um zu bestimmen, welcher Parameter ausgewählt wird, oder welcher Parameter ausgeschlossen wird. Eine SSE-Schwelle kann verwendet werden, um Optimierungsparameter zu wählen. Zum Beispiel kann eine SSE-Schwelle von 0,01 verwendet werden, um Optimierungsparameter zu filtern, die gegenüber Veränderungen des Parameters verhältnismäßig unempfindlich sind. Eine bestimmte Grenze für den 3-Sigma-Vertrauensbereich kann ebenfalls verwendet werden, um Optimierungsparameter auszusieben, die diese Kriterien nicht erfüllen, oder Profilmodelle zu markieren, die nicht die richtige Empfindlichkeit von Schlüsselparametern ergeben, welche für die IC-Gestaltung kritisch sind. Es kann eine Kombination der obigen Kriterien verwendet werden. Es versteht sich, daß andere gleichwertige Kriterien, die einem Fachmann bekannt sind, verwendet werden können. Wenn ein Optimierungsparameter nicht ausgewählt wird, wird der Optimierungsparameter auf einen festen Wert gesetzt, wobei der feste Wert aus den Herstellungsdaten und früheren Erfahrungen mit der Rezeptur bestimmt wird.

[0077] In Schritt **890** wird ein Vorgang durchgeführt, um unter Verwendung der ausgewählten Optimierungsparameter des ausgewählten Profilmodells das optimierte Simulationsbeugungssignal zum gemessenen Signal zu bestimmen. Eine Ausführungsform verwendet eine Regressionstechnik, um zum optimierten Simulationssignal zu gelangen. Eine oder mehrere Arten von Regressionsmaschinen können verwendet werden.

[0078] Unter Bezugnahme auf Fig. 7 erhält ein Profilmodellprüfer **1400** das ausgewählte Profilmodell, die

ausgewählten Optimierungsparameter, und die gemessenen Beugungssignale **1402**. Der Profilmodellprüfer **1400** verarbeitet die Eingangsdaten und aktiviert eine oder mehrere Optimierungsmaschinen wie etwa eine Branch-And-Bound-Technik **1420**, eine simulierte Abkühlung **1430**, einen generischen Algorithmus **1440**, eine andere globale Optimierungstechnik **1450** oder eine hybride globale und lokale Optimierungstechnik **1460**. Die Optimierungsmaschinen gelangen zu einem globalen Minimum des Unterschieds zwischen dem simulierten Signal und dem gemessenen Signal. Das simulierte Signal, das dem globalen Minimum entspricht, entspricht wiederum einem Satz von Werten der Optimierungsparameter des ausgewählten Profilmodells, das der Profilmodellprüfer **1400** als ein Ausgangssignal **1404** schafft.

[0079] Fig. 6A ist ein Aufbaudiagramm, das ein System zur Modell- und Parameterauswahl in einer beispielhaften Ausführungsform darstellt. In der vorliegenden Ausführungsform wird eine Datenstation **1800** verwendet, um Waferherstellungsprozeßgestaltungsdaten einschließlich des Stapels, n- und k-Werte, Nennprofilparameterwerte und -bereiche, Breitennennwerte und -bereiche, gemessene gebeugte Signale, die von mehreren Stellen im Wafer ausgehen, und Strukturbilddaten einzugeben, um das Strukturprofil zu beschreiben. Wahlmöglichkeiten von Abbruch- und Optimierungsparameterauswahlkriterien können an der Datenstation **1800** eingegeben und als Eingang **1801** zu einem Profilkompilierer **1810** übertragen werden. Der Profilkompilierer **1810** bearbeitet die Eingangsdaten **1801** und fordert einen Simulator **1860** der optischen Metrologie auf, das Signal mit den bestimmten Nennwerten der geometrischen Parameter des Profilmodells **2000** zu simulieren. Der Simulator **1860** der optischen Metrologie überträgt das simulierte Beugungssignal **2001** zum Profilkompilierer **1810**. Siehe, wie oben erwähnt, für eine Beschreibung der Simulation von Beugungssignalen, die von einer hypothetischen Struktur ausgehen, die am 26. Januar 2000 eingebrachte, ebenfalls anhängige US-Patentanmeldung mit der Seriennummer 09/770,997 von Niu, et al. mit dem Titel "Caching of Intra-layer Calculations for Rapid Rigorous Couple-Wave Analyses", die hierin in ihrer Gesamtheit verweisend aufgenommen ist. Der Profilkompilierer **1810** führt einen Vergleich des simulierten Signals **2001** mit dem gemessenen Signal vom Eingang **1801** durch und sendet Daten hinsichtlich der Qualität und der Angemessenheit der Eingangsdaten **1801** zur Datenstation **1800**. Der Profilkompilierer **1810** kann auch regulierte Profilmodelldaten **2012** von einem Profilmodellprüfer verarbeiten.

[0080] Unter Bezugnahme auf Fig. 6A überträgt der Profilkompilierer **1810** die bearbeiteten Beschreibungsdaten und die gemessenen Beugungssignale **1811** zu einem Modellgenerator **1820**. Der Modellgenerator **1820** schafft ein Profilmodell der Struktur, das geometrische Formen umfaßt. Die geometrischen Formen werden in Form von geometrischen Parametern ausgedrückt und in Optimierungsparameter **1821** umgewandelt, die zu einem Parameterwähler **1830** übertragen werden. Der Parameterwähler **1830** verwendet die Optimierungsparameterauswahlkriterien, um auszuwählen, welche Optimierungsparameter die Korrelationskoeffizientengrenze, die Empfindlichkeitsschwelle und/oder die Vertrauensbereichsanforderungen des Kunden erfüllen. Der Parameterwähler **1830** fordert den Simulator **1860** der optischen Metrologie auf, Simulationen von Beugungssignalen mit Profilparameterdaten **2004** durchzuführen. Der Simulator **1860** der optischen Metrologie wiederum führt die Simulation des Beugungssignals durch und überträgt simulierte Beugungssignale **2005** zum Parameterwähler **1830**.

[0081] Ein Teil der Funktion des Parameterwählers **1830** ist, einen Vorgang durchzuführen, um das optimierte simulierte Signal für jedes gemessene Signal zu bestimmen, indem eine oder mehrere in Fig. 7 besprochene Optimierungsmaschinen herangezogen werden. Nach dem Optimierungsprozeß werden die optimierten Profildaten, die das Profil, die kritischen Abmessungen, und die Filmdicke umfassen, als Ausgangssignal **2006** zu einem Server **1870** für kritische Abmessungen übertragen. Der Parameterwähler **1830** überträgt die ausgewählten Optimierungsparameter zum Profilmodellprüfer **1840**, wo die Abbruchkriterien wie etwa der Kostenfunktionswert, die GOF, und/oder andere Abbruchkriterien geprüft werden. Wenn die Abbruchkriterien nicht erfüllt sind, reguliert der Profilmodellprüfer **1840** das Profilmodell, zum Beispiel durch Umschalten von einem Modell mit zwei Trapezen zu einem Modell mit einem einzelnen Trapez oder durch Umschalten von einem einfachen geometrischen Modell zu einem Modell, das mehr geometrische Formen verwendet, um das Profilmodell enger anzunähern. Das regulierte Profilmodell **2012** wird zum Profilkompilierer **1810** übertragen. Alternativ speichert der Profilmodellprüfer **1841** dann, wenn die Abbruchkriterien erfüllt sind, die Profilmodellabbruchkriterien, die Optimierungsparameterauswahlkriterien, den Herstellungsprozeß, die Waferstelle, die Identifikationsdaten der Metrologievorrichtung, und die ausgewählten Optimierungsparameter **2010** in einem Datenspeicher **1850**. Der Profilmodellprüfer **1840** überträgt die Optimierungsparameter **1841** zu einem Bibliotheksgenerator **1880**, der unter Verwendung der Bereiche und der Auflösung der ausgewählten Optimierungsparameter eine Bibliothek **1890** schafft, die Beugungssignale und zugehörige Profildaten **1881** umfaßt.

[0082] Fig. 6B ist ein Aufbaudiagramm, das ein System für die Modell- und Parameterauswahl in einer beispielhaften Ausführungsform darstellt. Ein Metrologiemodelloptimierer **1900** erhält Anfragen **1902** hinsichtlich

kritischer Abmessungen, Profile, und der Filmdicke von gemessenen Beugungssignalen von einer Profiliererarbeitsstation **1910**. Auf Basis dieser Anfrage **1902** und anderer Eingangsdaten (nicht gezeigt), die die gegenständliche Struktur auf dem Wafer beschreiben, wählt der Metrologiemodelloptimierer **1900** die verlangten kritischen Abmessungen, Profile, und die Filmdicke, die mit einem gemessenen Beugungssignal verbunden sind, aus und überträgt diese Ergebnisse **1901** zur Profiliererarbeitsstation **1910** zurück. Die Profiliererarbeitsstation **1910** kann sich an einem entfernten Benutzerstandort befinden. Der Zugriff auf den Metrologiemodelloptimierer **1900** kann durch ein privates Netzwerk oder ein öffentliches Netzwerk wie das Internet erfolgen.

[0083] Fig. 6C ist ein Aufbaudiagramm eines Metrologiemodelloptimierers in einer beispielhaften Ausführungsform. Die Systemgestaltung ist jener des Systems in Fig. 6B ähnlich, außer daß anstelle des Verarbeitens der Anfrage nach Daten **1924** hinsichtlich kritischer Abmessungen ausschließlich von der Profiliererarbeitsstation **1925** in-line-Anfragen **1931** nach den gleichen Daten von einem optischen Metrologiesystem **1930** übertragen werden. Das optische Metrologiesystem **1930** ist mit einer Herstellungsgruppe **1940** gekoppelt, die eine Reinspureinheit, eine Lithographiemaschine, eine Ätzmaschine oder eine kombinierte Lithograpie- und Ätzeinheit sein kann. Wenn ein Wafer (nicht gezeigt) einen Herstellungsprozeßschritt abschließt, werden die Strukturen auf dem Wafer durch das optische Metrologiesystem **1930** gemessen, wodurch gemessene Beugungssignale **1931** geschaffen werden, die zum Metrologiemodelloptimierer **1920** übertragen werden. Zusätzlich zu den kritischen Abmessungsdaten **1924**, die zur Profiliererarbeitsstation **1925** übertragen werden, werden die gleichen Daten zur Verwendung für eine fortgeschrittene Prozeßsteuerung zur Herstellungsgruppe **1940** übertragen. Die kritischen Abmessungsdaten **1924** können durch die Herstellungsgruppe **1940** verwendet werden, um Prozeßvariable des Herstellungsprozesses zu regulieren. Die Profiliererarbeitsstation **1925** sendet Anfragen **1926** nach kritischen Abmessungen, Profilen, und der Filmdicke von gemessenen Beugungssignalen und andere Eingangsdaten (nicht gezeigt), die die Strukturen auf dem Wafer oder den Standort ähnlicher Daten, die im Metrologiemodelloptimierer **1920** gespeichert sind, beschreiben. Das optische Metrologiesystem **1930** erhält übertragene Daten **1941** von der Herstellungsgruppe **1940** hinsichtlich des Abschlusses eines oder mehrerer Herstellungsprozesse. Nach dem Abschluß der Messungen der Strukturen auf dem Wafer überträgt das optische Metrologiesystem Signale **1941** zum Herstellungszentrum **1940**, um den Abschluß der Messungen der optischen Metrologie anzuzeigen.

[0084] Fig. 13A, Fig. 13B, Fig. 13C und Fig. 13D sind beispielhafte Strukturprofile, die unterschiedliche Profilmodelle verwenden. Fig. 13A veranschaulicht eine Struktur, die mit einem einzelnen Trapez T1 modelliert ist, während Fig. 13B die gleiche Struktur mit zwei Trapezen T1 und T2 modelliert veranschaulicht. In der gleichen Weise veranschaulicht Fig. 13C die gleiche Struktur mit drei Trapezen T1, T2 und T3 modelliert, während Fig. 13D die gleiche Struktur mit vier Trapezen T1, T2, T3 und T4 modelliert veranschaulicht.

[0085] Wie in Fig. 13A und Fig. 13B ersichtlich ist, ist die Entsprechung der Strukturform mit dem Modell in Fig. 13A nicht eng, zeigt aber Fig. 13B mit zwei Trapezen einen dramatischen Anstieg in der Entsprechung zwischen dem Modell und der Strukturform. Mit der Zunahme der Anzahl der verwendeten Trapeze auf drei und vier gibt es einige weitere, aber geringfügige Verbesserungen in den Modellen, die der Strukturform entsprechen.

[0086] Fig. 13E veranschaulicht beispielhafte Kurven der Kostenfunktion und der GOF von simulierten Beugungssignalen in Bezug auf die gemessenen Signale als eine Funktion der Anzahl der im Profilmodell verwendeten geometrischen Formen. Die Kurve **1000** veranschaulicht, wie sich die Kostenfunktion und die GOF verändert, wenn die Anzahl der Trapeze, die im Profilmodell verwendet werden, erhöht wird. Wie in der Kostenfunktionskurve **1004** ersichtlich ist, ist der Kostenfunktionswert des Modellierens der in Fig. 13A dargestellten Struktur mit einem Trapez mit 3,0 verhältnismässig hoch. Die Kostenfunktionskurve **1004**, die die linke Y-Achse verwendet, fällt mit zwei Trapezen dramatisch auf etwa 1,5, und geringfügiger, wenn die Anzahl der Trapeze von zwei auf drei und von drei auf vier Trapeze ansteigt. Die GOF-Kurve **1002**, die die rechte Y-Achse verwendet, steigt von einer GOF von etwa 0,920 dramatisch auf 0,97, wenn die Anzahl der Trapeze von eins auf zwei erhöht wird, und geringfügiger, wenn die Anzahl der Trapeze von zwei auf drei und von drei auf vier Trapeze ansteigt. Wie vorher besprochen bestimmt die Profilmodellauswahl die einfachste Kombination von geometrischen Formen im Profilmodell, die die Abbruchkriterien, bei denen es sich um einen Kostenfunktionswert und/oder einen GOF-Wert handeln kann, erfüllt oder übersteigt. Wie ebenfalls oben besprochen kann das Profilmodell eine Kombination aus unterschiedlichen Arten von geometrischen Formen sein, wobei das Trapez nur eine mögliche Form ist, die verwendet werden kann.

[0087] Fig. 14 ist eine beispielhafte Kurve der Kostenfunktion und der GOF von simulierten Beugungssignalen in Bezug auf die gemessenen Signale als eine Funktion der Anzahl der im Profilmodell verwendeten Parameter. Die Kurve **1100** veranschaulicht, wie sich die Kostenfunktion und die GOF verändern, wenn die Anzahl

der Parameter, die im Profilmodell verwendet werden, erhöht wird. Wie in der Kostenfunktionskurve **1104** ersichtlich ist, sind die Kosten des Modellierens einer hypothetischen Struktur mit drei Parametern mit 2,9 verhältnismäßig hoch. Die Kostenfunktionskurve **1104**, die die linke Y-Achse verwendet, fällt mit fünf Parametern dramatisch auf etwa 1,6, und geringfügiger, wenn die Anzahl der Parameter von fünf auf sechs und von sechs auf sieben Parameter ansteigt. Die GOF-Kurve **1102**, die die rechte Y-Achse verwendet, steigt von einer GOF von etwa 0,915 dramatisch auf 0,965, wenn die Anzahl der Parameter von drei auf fünf erhöht wird, und geringfügiger, wenn die Anzahl der Parameter von fünf auf sechs und von sechs auf sieben Parameter ansteigt.

[0088] Wie vorher besprochen wählt die Optimierungsparameterauswahl Parameter aus, die unkorreliert sind, eine hohe Empfindlichkeit aufweisen, und eine durch die Anwendung benötigte Feststellung der Veränderung in der Parametergröße gestatten. Die ausgewählten Optimierungsparameter des Profilmodells werden verwendet, um die Beugungssignale für verschiedene Profilabmessungen zu simulieren, und die simulierten Beugungssignale werden mit den entsprechenden gemessenen Signalen verglichen, um die Kostenfunktion und die GOF zu berechnen. Sobald das ausgewählte Profilmodell und die ausgewählten Optimierungsparameter des ausgewählten Profilmodells Ergebnisse von simulierten Beugungssignalen bereitstellen, die die Abbruchkriterien erfüllen oder übersteigen, ist der Auswahlprozeß abgeschossen. Wie oben besprochen können die Regressionsergebnisse wie etwa kritische Abmessungen, die Filmdicke, und das Profil vom Parameterwähler **1830** von Fig. 6A durch einen Systembenutzer verwendet werden, um die Rezeptur oder den Herstellungsprozeß feinabzustimmen. Alternativ können die Regressionsergebnisse verwendet werden, um Variable und/oder physische Steuerungen des Herstellungsprozesses zu regulieren. Wie ebenfalls oben angeführt können das Profilmodell und die Optimierungsparameter, die ausgewählt wurden, verwendet werden, um eine Bibliothek von simulierten Signalen und zugehörigen Profildaten zu schaffen.

[0089] Fig. 15 ist ein Speicherentwurf einer Datenspeichergestaltung in einer beispielhaften Ausführungsform. Das Datenspeicherformat **1200** für das ausgewählte Modell und die Parameter beinhaltet den Herstellungsprozeß, die Waferstelle, die Struktur, und Identifikationsdaten **1200** der optischen Metrologievorrichtung. Das Datenspeicherformat **1200** kann ein oder mehrere Datensegmente beinhalten, wobei jedes Datensegment die Abbruchkriterien **1220**, die ausgewählte Modellidentifikation **1230** und die Optimierungsparameterauswahlkriterien **1240**, und ausgewählte Optimierungsparameter 1, 2,... n, **1250** umfaßt. Zum Beispiel kann die Modellidentifikation ein Flachgrabenisolationseinzeltrapezmodell sein, können die Abbruchkriterien eine Kostenfunktion von 1,5 und eine GOF von 0,995 beinhalten, können die Optimierungsparameterauswahlkriterien ein Korrelationskoeffizient von 0,50 und eine Empfindlichkeit von 0,01 SSE sein, und können die ausgewählten Optimierungsparameter die obere kritische Abmessung des Resists, die untere kritische Abmessung des Resists, die Dicke der reflexmindernden Beschichtung, und die Dicke des Siliziumdioxids sein.

[0090] Es ist ins Auge gefaßt, daß die funktionale Ausführung der hierin beschriebenen beispielhaften Ausführungsformen gleichwertig in Hardware, Software, Firmware und/oder anderen verfügbaren funktionalen Komponenten oder Aufbaublöcken ausgeführt werden kann. Angesichts der obigen Lehren sind andere Veränderungen und Ausführungsformen möglich, weshalb beabsichtigt ist, daß der Umfang der Erfindung nicht durch diese ausführliche Beschreibung, sondern vielmehr durch die folgenden Ansprüche beschränkt werden soll.

Zusammenfassung

[0091] Es wird ein Profilmodell zur Verwendung bei der optischen Metrologie von Strukturen in einem Wafer ausgewählt, das einen den Dimensionen der Struktur zugeordneten Satz geometrischer Parameter hat. Es wird ein Satz von Optimierungsparametern für das Profilmodell unter Verwendung eines oder mehrerer Eingangsbeugungssignale und eines oder mehrerer Parameterauswahlkriterien gewählt. Das ausgewählte Profilmodell und der Optimierungsparametersatz werden gegen ein oder mehrere Abbruchkriterien geprüft. Das Verfahren der Auswahl eines Profilmodells, der Wahl eines Optimierungsparametersatzes und das Prüfen des gewählten Profilmodells und Optimierungsparametersatzes wird durchgeführt, bis das oder die Abbruchkriterien erfüllt sind (Fig. 2).

Patentansprüche

1. Verfahren zur Auswahl eines Profilmodells und zur Auswahl von Parametern des Profilmodells zur Verwendung bei der optischen Metrologie von Strukturen in einem Wafer, wobei das Verfahren Folgendes umfaßt:
a) Festlegen eines oder mehrerer Abbruchkriterien;
b) Festlegen eines oder mehrerer Parameterauswahlkriterien;
c) Auswählen eines Profilmodells zur Verwendung bei der optischen Metrologie einer Struktur in einem Wafer,

wobei das Profilmodell einen Satz von geometrischen Parametern aufweist, die mit Abmessungen der Struktur verbunden sind;
d) Auswählen eines Satzes von Optimierungsparametern für das Profilmodell unter Verwendung eines oder mehrerer Eingangsbeugungssignale und des einen oder der mehreren Parameterauswahlkriterien, wobei der Satz von Optimierungsparametern aus dem Satz von geometrischen Parametern umgewandelt wird;
e) Prüfen des ausgewählten Profilmodells und des Satzes von Optimierungsparametern gegen das eine oder die mehreren Abbruchkriterien; und
f) Durchführen der Schritte c, d und e, bis das eine oder die mehreren Abbruchkriterien erfüllt sind.

2. Verfahren nach Anspruch 1, wobei das Prüfen des ausgewählten Profilmodells und des Satzes von Optimierungsparametern gegen das eine oder die mehreren Abbruchkriterien Folgendes beinhaltet:
Prüfen, ob ein Kostenfunktionswert eines simulierten Beugungssignals geringer als oder gleich wie ein vorgewählter Kostenfunktionswert ist, wobei der Kostenfunktionswert der simulierten Beugung durch Vergleichen eines optimierten simulierten Beugungssignals mit einem gemessenen Beugungssignal berechnet wird.

3. Verfahren nach Anspruch 1, wobei das Prüfen des ausgewählten Profilmodells und des Satzes von Optimierungsparametern gegen das eine oder die mehreren Abbruchkriterien Folgendes beinhaltet:
Prüfen, ob ein Wert der Passungsgüte eines simulierten Beugungssignals gleich wie oder größer als ein vorgewählter Wert der Passungsgüte ist, wobei der Wert der Passungsgüte des simulierten Beugungssignals durch Vergleichen eines optimierten simulierten Beugungssignals mit einem gemessenen Beugungssignal berechnet wird.

4. Verfahren nach Anspruch 1, wobei das Prüfen des ausgewählten Profilmodells und des Satzes von Optimierungsparametern gegen das eine oder die mehreren Abbruchkriterien Folgendes beinhaltet:
Prüfen, ob ein oder mehrere berechnete Vertrauensbereichswerte geringer als oder gleich wie entsprechende vorgewählte Vertrauensbereichswerte sind, wobei der Vertrauensbereich ein Bereich von Werten eines Optimierungsparameters ist, in den der tatsächliche Wert vermutlich mit einer bestimmten Wahrscheinlichkeit fallen wird.

5. Verfahren nach Anspruch 1, wobei das Prüfen des ausgewählten Profilmodells und des Satzes von Optimierungsparametern gegen das eine oder die mehreren Abbruchkriterien Folgendes beinhaltet:
Prüfen, ob ein Kostenfunktionswert eines simulierten Beugungssignals geringer als oder gleich wie ein vorgewählter Kostenfunktionswert ist, wobei der Kostenfunktionswert der simulierten Beugung durch Vergleichen eines optimierten simulierten Beugungssignals mit einem gemessenen Beugungssignal berechnet wird; und
Prüfen, ob der Wert der Passungsgüte des simulierten Beugungssignals gleich wie oder größer als ein vorgewählter Wert der Passungsgüte ist, wobei der Wert der Passungsgüte des simulierten Beugungssignals durch Vergleichen des am besten passenden Beugungssignals mit dem gemessenen Beugungssignal berechnet wird.

6. Verfahren nach Anspruch 5, wobei das Prüfen des ausgewählten Profilmodells und des Satzes von Optimierungsparametern gegen das eine oder die mehreren Abbruchkriterien ferner Folgendes beinhaltet:
Prüfen, ob ein oder mehrere berechnete Vertrauensbereichswerte geringer als oder gleich wie entsprechende vorgewählte Vertrauensbereichswerte sind, wobei der Vertrauensbereich ein Bereich von Werten eines Optimierungsparameters ist, in den der tatsächliche Wert vermutlich mit einer bestimmten Wahrscheinlichkeit fallen wird.

7. Verfahren nach Anspruch 1, wobei das eine oder die mehreren Parameterauswahlkriterien Folgendes umfassen:
eine Korrelationsgrenze, wobei die Korrelationsgrenze ein Korrelationskoeffizient zwischen einem Optimierungsparameter und einem anderen Optimierungsparameter des Profilmodells ist.

8. Verfahren nach Anspruch 1, wobei das eine oder die mehreren Parameterauswahlkriterien Folgendes umfassen:
eine Empfindlichkeitsschwelle eines Optimierungsparameters, wobei die Empfindlichkeitsschwelle der Summenquadratfehler eines ersten simulierten Beugungssignals, das unter Verwendung von Nennwerten für alle Optimierungsparameter berechnet wurde, verglichen mit einem zweiten simulierten Beugungssignal ist, das unter Verwendung eines regulierten Werts für den Optimierungsparameter und von Nennwerten für alle anderen Optimierungsparameter berechnet wurde, wobei der regulierte Wert des Parameters der Nennwert plus oder minus eines Zuwachses ist.

9. Verfahren nach Anspruch 1, wobei das eine oder die mehreren Parameterauswahlkriterien Folgendes umfassen:
eine Vertrauensbereichsschwelle eines Optimierungsparameters, wobei die Vertrauensbereichsschwelle das Ausmaß der Veränderung vom Nennwert eines Optimierungsparameters ist, die zu einer Veränderung im simulierten Beugungssignal führt, welche größer als ein gemessener oder simulierter Rauschpegel für den Optimierungsparameter ist, wobei der Rest der Optimierungsparameter bei jeweiligen Nennwerten konstant gehalten wird.

10. Verfahren nach Anspruch 1, wobei das eine oder die mehreren Parameterauswahlkriterien Folgendes umfassen:
eine Korrelationsgrenze, wobei die Korrelationsgrenze ein Korrelationskoeffizient zwischen einem Optimierungsparameter und einem anderen Optimierungsparameter des Profilmodells ist;
eine Empfindlichkeitsschwelle eines Optimierungsparameters, wobei die Empfindlichkeitsschwelle der Summenquadratfehler eines ersten simulierten Beugungssignals, das unter Verwendung von Nennwerten für alle Optimierungsparameter berechnet wurde, verglichen mit einem zweiten simulierten Beugungssignal ist, das unter Verwendung eines regulierten Werts für den Optimierungsparameter und von Nennwerten für alle anderen Optimierungsparameter berechnet wurde, wobei der regulierte Wert des Parameters der Nennwert plus oder minus eines Zuwachses ist; und
eine Vertrauensbereichsschwelle eines Optimierungsparameters, wobei die Vertrauensbereichsschwelle das Ausmaß der Veränderung vom Nennwert eines Optimierungsparameters ist, die zu einer Veränderung im simulierten Beugungssignal führt, welche größer als ein gemessener oder simulierter Rauschpegel für den Optimierungsparameter ist, wobei der Rest der Optimierungsparameter bei jeweiligen Nennwerten konstant gehalten wird.

11. Verfahren nach Anspruch 1, wobei das Auswählen des Profilmodells zur Verwendung bei der optischen Metrologie der Struktur im Wafer ferner Folgendes umfaßt:
Erhalten einer Strukturbeschreibung;
Auswählen gemessener Beugungssignale für die Profilmodell- und Parameterverarbeitung; und
Schaffen eines Profilmodells der Struktur unter Verwendung der Strukturbeschreibung,
wobei die Struktur einen Schichtenstapel aufweist, wobei der Schichtenstapel eine oder mehrere Schichten aufweist, wobei die Strukturbeschreibung Schichtenstapelinformationen über die Struktur aufweist, wobei jede Schichtenstapelinformation das Material der Schicht, die Schrittweite der sich wiederholenden Strukturen, das Linien-Raum-Verhältnis der sich wiederholenden Strukturen, und Daten der optischen Mikroskopie umfaßt.

12. Verfahren nach Anspruch 11, wobei das Auswählen gemessener Beugungssignale für die Profilmodell- und Parameterverarbeitung Folgendes umfaßt:
Einteilen von eingegebenen gemessenen Beugungssignalen in Gruppen; und
Auswählen eines repräsentativen gemessenen Beugungssignals aus jeder Gruppe von eingeteilten eingegebenen gemessenen Beugungssignalen.

13. Verfahren nach Anspruch 12, wobei das Einteilen der eingegebenen gemessenen Beugungssignale Bündelungs- und/oder Korrelationstechniken umfaßt.

14. Verfahren nach Anspruch 11, wobei das Schaffen des Profilmodells der Struktur unter Verwendung der Strukturbeschreibung ferner Folgendes umfaßt:
Bestimmen einer oder mehrerer Arten von geometrischen Formen für jedes Material im Schichtenstapel;
Erzeugen der Arten von geometrischen Formen und zugehörigen geometrischen Parameter für jede geometrische Form für alle Schichten des Schichtenstapels;
Erhalten von Nennwerten und -bereichen der geometrischen Parameter, wobei die Bereiche der geometrischen Parameter die wahrscheinlichen niedrigen und hohen Werte der geometrischen Parameter sind;
Definieren von Abhängigkeiten der geometrischen Parameter; und
Umwandeln der geometrischen Parameter in Optimierungsparameter.

15. Verfahren nach Anspruch 14, wobei die geometrischen Formen Rechtecke und/oder Trapeze umfassen.

16. Verfahren nach Anspruch 14, wobei das Definieren von Abhängigkeiten der geometrischen Parameter Folgendes beinhaltet:
Ausdrücken eines geometrischen Parameters als eine Funktion eines anderen geometrischen Parameters, als eine Funktion einer Variablen, als eine Konstante, oder als eine Funktion eines anderen geometrischen Para-

meters und/oder einer Variablen plus oder minus einer Versetzung,
wobei die Versetzung eine Konstante oder eine andere Variable sein kann.

17. Verfahren nach Anspruch 14, wobei das Umwandeln der geometrischen Parameter in Optimierungsparameter Folgendes umfaßt:
Übersetzen der Abhängigkeiten der geometrischen Parameter in Gleichungen; und
Durchführung mathematischer Vorgänge an den Gleichungen, die die Anzahl der unabhängigen Variablen verringern, wobei die unabhängigen Variablen die Optimierungsparameter sind, die für den Parameterauswahlprozeß verwendet werden.

18. Verfahren nach Anspruch 1, wobei das Auswählen des Satzes von Parametern für das Profilmodell unter Verwendung eines oder mehrerer Eingangsbeugungssignale und des einen oder der mehreren Parameterauswahlkriterien ferner Folgendes umfaßt:
Auswählen von Wellenlängen für die optische Metrologie;
Berechnen der Werte des einen oder der mehreren Parameterauswahlkriterien;
Auswählen von Optimierungsparametern, die das eine oder die mehreren Parameterauswahlkriterien erfüllen; und
Durchführen eines Vorgangs zum Bestimmen eines optimierten Simulationsbeugungssignals, das einem gemessenen Beugungssignal entspricht, unter Verwendung der ausgewählten Optimierungsparameter des Profilmodells.

19. Verfahren nach Anspruch 18, wobei das Auswählen von Wellenlängen für die optische Metrologie Folgendes umfaßt:
Auswählen von Wellenlängen, die ein Rauschpegelkriterium erfüllen, wobei der Rauschpegel die Standardabweichung von Beugungssignalen ist, die von der gleichen Stelle in einem Wafer ausgehen; und
Auswählen von Wellenlängen, die verglichen mit Beugungssignalen von anderen Wellenlängen eine niedrige Korrelation der Beugungssignale aufweisen.

20. Verfahren nach Anspruch 18, wobei das Auswählen von Optimierungsparametern, die das eine oder die mehreren Parameterauswahlkriterien erfüllen, Folgendes beinhaltet:
Auswählen von Optimierungsparametern, die eine Korrelationsgrenze erfüllen, wobei die Korrelationsgrenze ein vorgewählter Korrelationskoeffizientenwert von simulierten Beugungssignalen zwischen einem Optimierungsparameter und einem anderen Optimierungsparameter des Profilmodells ist.

21. Verfahren nach Anspruch 18, wobei das Auswählen von Optimierungsparametern, die das eine oder die mehreren Parameterauswahlkriterien erfüllen, Folgendes beinhaltet:
Auswählen von Optimierungsparametern, die eine Empfindlichkeitsschwelle eines Optimierungsparameters erfüllen, wobei die Empfindlichkeitsschwelle der Summenquadratfehler eines ersten simulierten Beugungssignals, das unter Verwendung von Nennwerten für alle Optimierungsparameter berechnet wurde, verglichen mit einem zweiten simulierten Beugungssignal ist, das unter Verwendung eines regulierten Werts für den Optimierungsparameter und von Nennwerten für alle anderen Optimierungsparameter berechnet wurde, wobei der regulierte Wert des Optimierungsparameters der Nennwert plus oder minus eines Zuwachses ist.

22. Verfahren nach Anspruch 18, wobei das Auswählen von Optimierungsparametern, die das eine oder die mehreren Parameterauswahlkriterien erfüllen, Folgendes beinhaltet:
Auswählen von Optimierungsparametern, die eine Vertrauensbereichschwelle erfüllen, wobei die Vertrauensbereichsschwelle das Ausmaß der Veränderung vom Nennwert eines Optimierungsparameters ist, die zu einer Veränderung im simulierten Beugungssignal führt, welche größer als ein gemessener oder simulierter Rauschpegel für den Optimierungsparameter ist, wobei der Rest der Optimierungsparameter bei jeweiligen Nennwerten konstant gehalten wird.

23. Verfahren nach Anspruch 18, wobei das Durchführen des Vorgangs zum Bestimmen des optimierten Simulationsbeugungssignals, das dem gemessenen Beugungssignal entspricht, unter Verwendung der ausgewählten Optimierungsparameter des Profilmodells ferner Folgendes umfaßt:
Verwenden eines Optimierungsvorgangs, um das Simulationsbeugungssignal zu finden, das verglichen mit dem gemessenen Beugungssignal den geringsten Fehler ergibt.

24. Verfahren nach Anspruch 23, wobei der Optimierungsvorgang eine oder mehrere globale Optimierungstechniken einschließlich einer Branch-And-Bound-Technik, einer simulierten Abkühlung, eines generischen Algorithmus, einer anderen globalen Optimierungstechnik oder einer hybriden globalen und lokalen Op-

timierungstechnik verwendet.

25. Verfahren nach Anspruch 1, ferner umfassend Folgendes:
Speichern von Identifikationsdaten, die mit der Struktur, dem Wafer, und dem ausgewählten Modell verbunden sind, und von Daten über die Abbruchkriterien, das eine oder die mehreren Parameterauswahlkriterien, und die ausgewählten Optimierungsparameter in einem Datenspeicher.

26. Verfahren zum Bestimmen einer Waferstruktur, die kritische Abmessungen, eine Profilform, und eine Filmdicke aufweist, unter Verwendung von optischer Metrologie, wobei das Verfahren Folgendes umfaßt:
a) Festlegen eines oder mehrerer Abbruchkriterien;
b) Festlegen eines oder mehrerer Parameterauswahlkriterien;
c) Auswählen eines Profilmodells zur Verwendung bei der optischen Metrologie einer Struktur in einem Wafer, wobei das Profilmodell einen Satz von geometrischen Parametern aufweist, die mit Abmessungen der Struktur verbunden sind, wobei das Profilmodell kritische Abmessungen, eine Profilform, und eine Filmdicke aufweist;
d) Auswählen eines Satzes von Optimierungsparametern für das Profilmodell unter Verwendung eines oder mehrerer Eingangsbeugungssignale und des einen oder der mehreren Parameterauswahlkriterien, wobei der Satz von Optimierungsparametern aus dem Satz von geometrischen Parametern umgewandelt wird;
e) Prüfen des ausgewählten Profilmodells und des Satzes von Optimierungsparametern gegen das eine oder die mehreren Abbruchkriterien;
f) Durchführen der Schritte c, d und e, bis das eine oder die mehreren Abbruchkriterien erfüllt sind; und
g) Bewerten der kritischen Abmessungen, der Profilform, und der Filmdicke, die mit dem ausgewählten Profilmodell und den auswählten Optimierungsparametern des ausgewählten Profilmodells verbunden sind.

27. Verfahren nach Anspruch 26, ferner umfassend Folgendes:
Anzeigen der kritischen Abmessungen, der Profilform, und der Filmdicke, die mit dem einen oder den mehreren Beugungssignalen verbunden sind.

28. Verfahren zum Schaffen einer Bibliothek von optischen Metrologiesignalen und zugehörigen Profilen für Strukturen in einem Wafer, wobei das Verfahren Folgendes umfaßt:
a) Festlegen eines oder mehrerer Abbruchkriterien;
b) Festlegen eines oder mehrerer Parameterauswahlkriterien;
c) Auswählen eines Profilmodells zur Verwendung bei der optischen Metrologie einer Struktur in einem Wafer, wobei das Profilmodell einen Satz von geometrischen Parametern aufweist, die mit Abmessungen der Struktur verbunden sind, wobei das Profilmodell kritische Abmessungen, eine Profilform, und eine Filmdicke aufweist;
d) Auswählen eines Satzes von Optimierungsparametern für das Profilmodell unter Verwendung eines oder mehrerer Eingangsbeugungssignale und des einen oder der mehreren Parameterauswahlkriterien, wobei der Satz von Optimierungsparametern aus dem Satz von geometrischen Parametern umgewandelt wird;
e) Prüfen des ausgewählten Profilmodells und des Satzes von Optimierungsparametern gegen das eine oder die mehreren Abbruchkriterien;
f) Durchführen der Schritte c, d und e, bis das eine oder die mehreren Abbruchkriterien erfüllt sind;
g) Bewerten der kritischen Abmessungen, der Profilform, und der Filmdicke, die mit dem ausgewählten Profilmodell und den auswählten Optimierungsparametern des ausgewählten Profilmodells verbunden sind; und
h) Schaffen einer Bibliothek von Beugungssignalen und zugehörigen Profildaten unter Verwendung der ausgewählten Optimierungsparameter des ausgewählten Profilmodells.

29. System zur Verarbeitung optischer Metrologiedaten für Waferstrukturen, wobei das System Folgendes umfaßt:
einen Modellgenerator, der dazu konfiguriert ist, unter Verwendung von Beschreibungen der Struktur ein Profilmodell für eine Struktur in einem Wafer zu erzeugen und ein oder mehrere Abbruchkriterien und ein oder mehrere Parameterauswahlkriterien zu verarbeiten;
einen Simulator der optischen Metrologie, der dazu konfiguriert ist, das Profilmodell und ausgewählte Optimierungsparameterwerte zu verwendet, um ein simuliertes Beugungssignal zu berechnen;
einen Parameterwähler, der mit dem Modellgenerator und dem Simulator der optischen Metrologie gekoppelt ist, wobei der Parameterwähler dazu konfiguriert ist, Berechnungen eines oder mehrerer Parameterauswahlkriterienwerte durchzuführen, den einen oder die mehreren berechneten Parameterauswahlkriterienwerte mit dem einen oder den mehreren Parameterauswahlkriterien zu vergleichen, und Optimierungsparameter auszuwählen, die das eine oder die mehreren Parameterauswahlkriterien erfüllen; und
einen Profilmodellprüfer, der mit dem Parameterwähler gekoppelt ist, wobei der Profilmodellprüfer dazu konfiguriert ist, Berechnungen von Abbruchwerten durchzuführen, die berechneten Abbruchwerte mit dem einen oder den mehreren Abbruchkriterien zu vergleichen, und das Profilmodell zu regulieren, falls das eine oder die

mehreren Abbruchkriterien nicht erfüllt werden.

30. System nach Anspruch 29, ferner umfassend Folgendes:
einen Profilkompilierer, der mit dem Simulator der optischen Metrologie und dem Profilmodellprüfer gekoppelt ist, wobei der Profilkompilierer dazu konfiguriert ist, Eingangsdaten einschließlich Beschreibungen der Waferstruktur, des Waferherstellungsprozesses, des Wafers, der Gestaltungsnennabmessungen der Waferstruktur, und erwarteter Bereiche der Abmessungen der Waferstrukturen zu verarbeiten.

31. System nach Anspruch 29, ferner umfassend Folgendes:
einen Datenspeicher, der mit dem Modellprüfer gekoppelt ist, wobei der Datenspeicher dazu konfiguriert ist, Identifikationsdaten, die mit der Struktur, dem Wafer, und dem ausgewählten Modell verbunden sind, und Daten über die Abbruchkriterien, das eine oder die mehreren Parameterauswahlkriterien, und die ausgewählten Optimierungsparameter zu speichern.

32. System nach Anspruch 29, ferner umfassend Folgendes:
einen Bibliotheksgenerator, der mit dem Profilmodellprüfer und dem Simulator der optischen Metrologie gekoppelt ist, wobei der Bibliotheksgenerator dazu konfiguriert ist, Strukturprofildaten vom Profilmodellprüfer zu verwenden und den Simulator der optischen Metrologie aufzufordern, simulierte Beugungssignale zu berechnen.

33. System nach Anspruch 29, ferner umfassend Folgendes:
eine Bibliothek, die mit dem Bibliotheksgenerator gekoppelt ist, wobei die Bibliothek dazu konfiguriert ist, Beugungssignale und zugehörige Strukturprofildaten zu enthalten.

34. System nach Anspruch 29, wobei der Profilmodellprüfer ferner Folgendes umfaßt:
eine oder mehrere Optimierungsmaschinen, die dazu konfiguriert sind, einen oder mehrere globale Optimierungsalgorithmen einschließlich einer Branch-And-Bound-Technik, einer simulierten Abkühlung, eines generischen Algorithmus, einer anderen globalen Optimierungstechnik oder einer hybriden globalen und lokalen Optimierungstechnik zu verwenden.

35. System nach Anspruch 29, ferner umfassend Folgendes:
eine Datenstation, die mit dem Profilkompilierer und dem Modellgenerator gekoppelt ist, wobei die Datenstation dazu konfiguriert ist,
Eingangsdaten einschließlich Beschreibungen der Waferstruktur, des Waferherstellungsprozesses, des Waferschichtenstapels, der Gestaltungsnennabmessungen der Waferstruktur, der erwarteten Bereiche der Abmessungen der Waferstruktur anzunehmen; und
eine Beschreibung von geometrischen Formen für Profilmodelle und Abhängigkeiten von Parametern der geometrischen Formen anzunehmen.

36. System nach Anspruch 35, ferner umfassend Folgendes:
einen Server für kritische Abmessungen, der mit dem Parameterwähler gekoppelt ist, wobei der Server für kritische Abmessungen dazu konfiguriert ist, Strukturdaten einschließlich kritischer Abmessungen, des Strukturprofils, und der Filmdicke, die gemessenen Beugungssignalen entsprechen, anzuzeigen.

37. System nach Anspruch 36, wobei der Server für kritische Abmessungen eine oder mehrere Ferncomputervorrichtungen umfaßt.

38. System nach Anspruch 36, wobei die Datenstation und der Server für kritische Abmessungen in einem einzelnen Ferncomputersystem ansässig sind.

39. Serversystem für kritische Abmessungen einer Waferstruktur, umfassend Folgendes:
einen Metrologiemodelloptimierer, der dazu konfiguriert ist,
a) ein oder mehrere Abbruchkriterien festzulegen;
b) ein oder mehrere Parameterauswahlkriterien festzulegen;
c) ein Profilmodell zur Verwendung bei der optischen Metrologie einer Struktur in einem Wafer auszuwählen, wobei das Profilmodell einen Satz von geometrischen Parametern aufweist, die mit Abmessungen der Struktur verbunden sind;
d) unter Verwendung eines oder mehrerer Eingangsbeugungssignale und des einen oder der mehreren Parameterauswahlkriterien einen Satz von Optimierungsparametern für das Profilmodell auszuwählen, wobei der Satz von Optimierungsparametern aus dem Satz von geometrischen Parametern umgewandelt wird;
e) das ausgewählte Profilmodell und den Satz von Optimierungsparametern gegen das eine oder die mehreren

Abbruchkriterien zu prüfen; und
f) die Schritte c, d und e, durchzuführen, bis das eine oder die mehreren Abbruchkriterien erfüllt sind; und
eine Profiliererarbeitsstation, die mit dem Metrologiemodelloptimierer gekoppelt ist, wobei die Profiliererarbeitsstation dazu konfiguriert ist,
a) einen Eingang hinsichtlich von Waferstrukturprofilen, den Metrologiemodellangaben, des einen oder der mehreren Abbruchkriterien, und des einen oder der mehreren Parameterauswahlkriterien zu erhalten; und
b) Ausgangsinformationen anzuzeigen, die kritische Abmessungen, die Profilform, und die Filmdicke der Waferstrukturen umfassen.

40. System nach Anspruch 39, wobei die Profiliererarbeitsstation ein oder mehrere Computersysteme an entfernten Standorten umfaßt.

41. System nach Anspruch 39, wobei der Metrologiemodelloptimierer ferner dazu konfiguriert ist,
g) unter Verwendung der ausgewählten Optimierungsparameter des ausgewählten Profilmodells eine Bibliothek von Beugungssignalen und zugehörigen Profildaten zu schaffen.

42. System zur Echtzeit-Bestimmung von Profildaten von Waferstrukturen, wobei das System Folgendes umfaßt:
ein optisches Metrologiesystem, das dazu gestaltet ist, Beugungssignale zu messen, die von Waferstrukturen ausgehen;
einen Metrologieoptimierer, der mit dem optischen Metrologiesystem gekoppelt ist, wobei der Metrologiemodelloptimierer dazu konfiguriert ist,
die Beschreibung von Waferstrukturprofilen, Metrologiemodellspezifikationen, ein oder mehrere Abbruchkriterien, und ein oder mehrere Parameterauswahlkriterien zu verarbeiten;
ein oder mehrere Profilmodelle der Waferstrukturen zu erzeugen, wobei die Profilmodelle zugehörige Parameter aufweisen;
Parameter des Profilmodells auszuwählen, wobei die ausgewählten Parameter das eine oder die mehreren Auswahlkriterien erfüllen; und
die Erzeugung eines oder mehrerer Profilmodelle und die Auswahl der Parameter des Modells durchzuführen, wobei die ausgewählten Parameter das eine oder die mehreren Parameterauswahlkriterien erfüllen, bis das eine oder die mehreren Abbruchkriterien erfüllt sind;
eine Profiliererarbeitsstation, die mit dem Metrologiemodelloptimierer gekoppelt ist, wobei die Profiliererarbeitsstation dazu konfiguriert ist,
einen Eingang hinsichtlich der Waferstrukturprofile, der Metrologiemodellangaben, des einen oder der mehreren Abbruchkriterien, und des einen oder der mehreren Parameterauswahlkriterien zu erhalten; und
Ausgangsinformationen hinsichtlich kritischer Abmessungen, der Profilform, und der Filmdicke der Waferstrukturen anzuzeigen; und
einen Datenspeicher, der mit dem Profilmodellprüfer gekoppelt ist, wobei der Datenspeicher dazu konfiguriert ist,
Identifikationsdaten, die mit der Struktur, dem Wafer, und dem ausgewählten Modell verbunden sind, und Daten über die Abbruchkriterien, das eine oder die mehreren Parameterauswahlkriterien, und die ausgewählten Optimierungsparameter zu speichern.

43. System nach Anspruch 42, ferner umfassend Folgendes:
eine Herstellungsgruppe, die mit dem optischen Metrologiesystem und dem Metrologiemodelloptimierer gekoppelt ist, wobei die Herstellungsgruppe dazu konfiguriert ist,
einen oder mehrere Prozesse bei der Herstellung von Wafern und Waferstrukturen durchzuführen.

44. Computerlesbares Speichermedium, das einen computerausführbaren Code enthält, um ein Profilmodell zur Verwendung bei der optischen Metrologie integrierter Schaltungen auszuwählen, indem ein Computer angewiesen wird, die folgenden Tätigkeiten auszuführen:
a) Festlegen eines oder mehrerer Abbruchkriterien;
b) Festlegen eines oder mehrerer Parameterauswahlkriterien;
c) Auswählen eines Profilmodells zur Verwendung bei der optischen Metrologie einer Struktur in einem Wafer, wobei das Profilmodell einen Satz von geometrischen Parametern aufweist, die mit Abmessungen der Struktur verbunden sind;
d) Auswählen eines Satzes von Optimierungsparametern für das Profilmodell unter Verwendung eines oder mehrerer Eingangsbeugungssignale und des einen oder der mehreren Parameterauswahlkriterien, wobei der Satz von Optimierungsparametern aus dem Satz von geometrischen Parametern umgewandelt wird;
e) Prüfen des ausgewählten Profilmodells und des Satzes von Optimierungsparametern gegen das eine oder

die mehreren Abbruchkriterien; und
f) Durchführen der Schritte c, d und e, bis das eine oder die mehreren Abbruchkriterien erfüllt sind.

45. Computerspeicher nach Anspruch 44, wobei das Auswählen des Profilmodells zur Verwendung bei der optischen Metrologie der Struktur im Wafer ferner Folgendes umfaßt:
Erhalten einer Strukturbeschreibung; und
Schaffen eines Profilmodells der Struktur unter Verwendung der Strukturbeschreibung,
wobei die Strukturbeschreibung Folgendes beinhaltet: Schichtenstapelinformationen für die Struktur, wobei jede Schicht des Schichtenstapels aus einem Material hergestellt ist, die Schrittweite der sich wiederholenden Strukturen, das Linien-Raum-Verhältnis der sich wiederholenden Strukturen, und Daten der optischen Mikroskopie.

46. Computerspeicher nach Anspruch 44, wobei das Schaffen des Profilmodells der Struktur unter Verwendung der Strukturbeschreibung ferner Folgendes umfaßt:
Bestimmen einer oder mehrerer Arten von geometrischen Formen für jedes Material im Schichtenstapel;
Erzeugen der Arten von geometrischen Formen und zugehörigen Parameter für jede geometrische Form für alle Schichten des Schichtenstapels;
Erhalten von Nennwerten und -bereichen der geometrischen Parameter, wobei die Bereiche der Parameter die wahrscheinlichen niedrigen und hohen Werte der geometrischen Parameter sind;
Definieren von Abhängigkeiten der geometrischen Parameter; und
Umwandeln der geometrischen Parameter in Optimierungsparameter.

47. Computerspeicher nach Anspruch 44, wobei das Auswählen des Satzes von Parametern für das Profilmodell unter Verwendung eines oder mehrerer Eingangsbeugungssignale und des einen oder der mehreren Parameterauswahlkriterien ferner Folgendes umfaßt:
Auswählen von Wellenlängen für die optische Metrologie;
Berechnen der Werte des einen oder der mehreren Parameterauswahlkriterien;
Auswählen von Optimierungsparametern, die das eine oder die mehreren Parameterauswahlkriterien erfüllen; und
Durchführen eines Vorgangs zum Bestimmen eines optimierten Simulationsbeugungssignals, das einem gemessenen Beugungssignal entspricht, unter Verwendung der ausgewählten Optimierungsparameter des Profilmodells.

48. Computerspeicher nach Anspruch 47, wobei das Durchführen des Vorgangs zum Bestimmen eines optimierten Simulationsbeugungssignals zu einem gemessenen Beugungssignal unter Verwendung der ausgewählten Parameter des Profilmodells ferner Folgendes umfaßt:
Verwenden eines Optimierungsvorgangs, um das Simulationsbeugungssignal zu finden, das vergleichen mit dem gemessenen Beugungssignal den kleinsten Fehler ergibt.

49. Computerspeicher nach Anspruch 44, ferner umfassend Folgendes:
Speichern von Identifikationsdaten, die mit der Struktur, dem Wafer, und dem ausgewählten Modell verbunden sind, und von Daten über die Abbruchkriterien, das eine oder die mehreren Parameterauswahlkriterien, und die ausgewählten Optimierungsparameter in einem Datenspeicher.

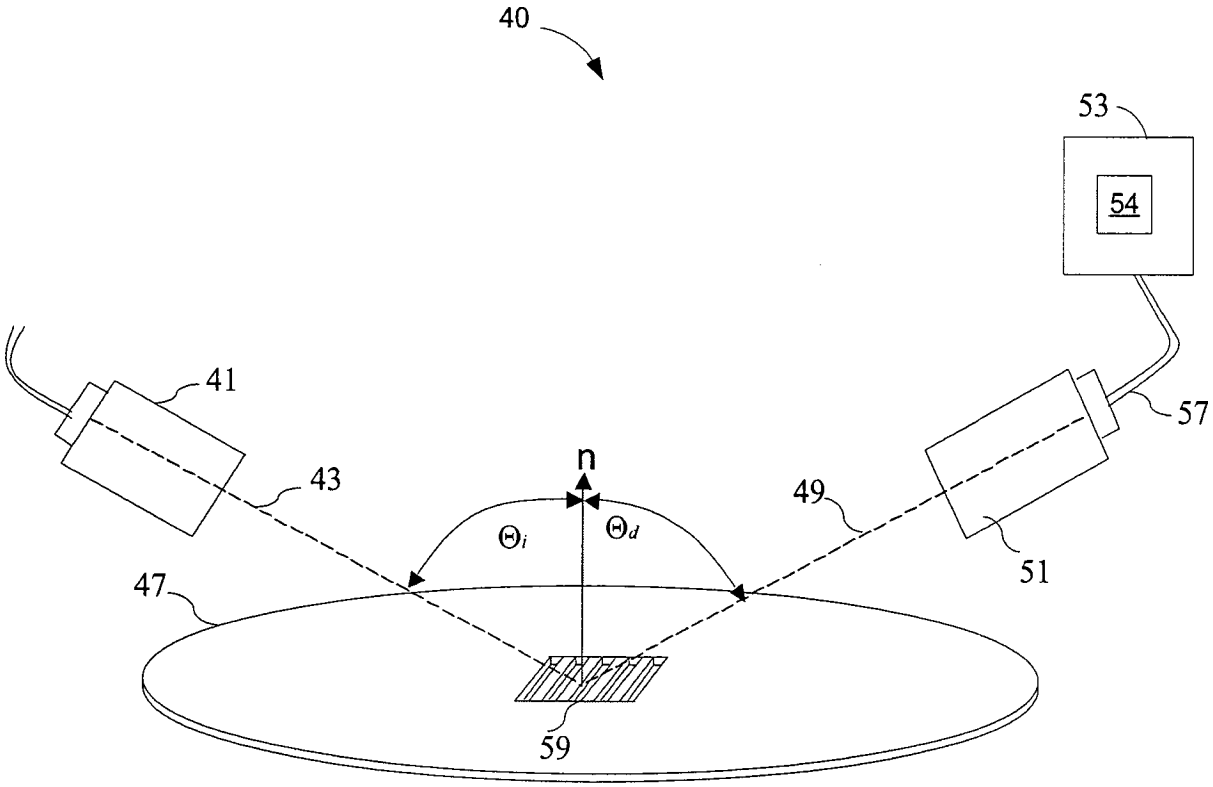
50. Computerlesbares Speichermedium, das einen computerausführbaren Code enthält, um ein Profilmodell zur Verwendung bei der optischen Metrologie integrierter Schaltungen auszuwählen, indem ein Computer angewiesen wird, die folgenden Tätigkeiten auszuführen:
a) Festlegen eines oder mehrerer Abbruchkriterien;
b) Festlegen eines oder mehrerer Parameterauswahlkriterien;
c) Auswählen eines Profilmodells zur Verwendung bei der optischen Metrologie einer Struktur in einem Wafer, wobei das Profilmodell einen Satz von geometrischen Parametern aufweist, die mit Abmessungen der Struktur verbunden sind, wobei das Profilmodell kritische Abmessungen, eine Profilform, und eine Filmdicke aufweist;
d) Auswählen eines Satzes von Optimierungsparametern für das Profilmodell unter Verwendung eines oder mehrerer Eingangsbeugungssignale und des einen oder der mehreren Parameterauswahlkriterien, wobei der Satz von Optimierungsparametern aus dem Satz von geometrischen Parametern umgewandelt wird;
e) Prüfen des ausgewählten Profilmodells und des Satzes von Optimierungsparametern gegen das eine oder die mehreren Abbruchkriterien;
f) Durchführen der Schritte c, d und e, bis das eine oder die mehreren Abbruchkriterien erfüllt sind; und
g) Bewerten der kritischen Abmessungen, der Profilform, und der Filmdicke, die mit dem ausgewählten Profilmodell und den auswählten Optimierungsparametern des ausgewählten Profilmodells verbunden sind.

51. Computerlesbares Speichermedium, das einen computerausführbaren Code enthält, um ein Profilmodell zur Verwendung bei der optischen Metrologie integrierter Schaltungen auszuwählen, indem ein Computer angewiesen wird, die folgenden Tätigkeiten auszuführen:
a) Festlegen eines oder mehrerer Abbruchkriterien;
b) Festlegen eines oder mehrerer Parameterauswahlkriterien;
c) Auswählen eines Profilmodells zur Verwendung bei der optischen Metrologie einer Struktur in einem Wafer, wobei das Profilmodell einen Satz von geometrischen Parametern aufweist, die mit Abmessungen der Struktur verbunden sind, wobei das Profilmodell kritische Abmessungen, eine Profilform, und eine Filmdicke aufweist;
d) Auswählen eines Satzes von Optimierungsparametern für das Profilmodell unter Verwendung eines oder mehrerer Eingangsbeugungssignale und des einen oder der mehreren Parameterauswahlkriterien, wobei der Satz von Optimierungsparametern aus dem Satz von geometrischen Parametern umgewandelt wird;
e) Prüfen des ausgewählten Profilmodells und des Satzes von Optimierungsparametern gegen das eine oder die mehreren Abbruchkriterien;
f) Durchführen der Schritte c, d und e, bis das eine oder die mehreren Abbruchkriterien erfüllt sind;
g) Bewerten der kritischen Abmessungen, der Profilform, und der Filmdicke, die mit dem ausgewählten Profilmodell und den auswählten Optimierungsparametern des ausgewählten Profilmodells verbunden sind; und
h) Schaffen einer Bibliothek von Beugungssignalen und zugehörigen Profildaten unter Verwendung der ausgewählten Optimierungsparameter des ausgewählten Profilmodells.

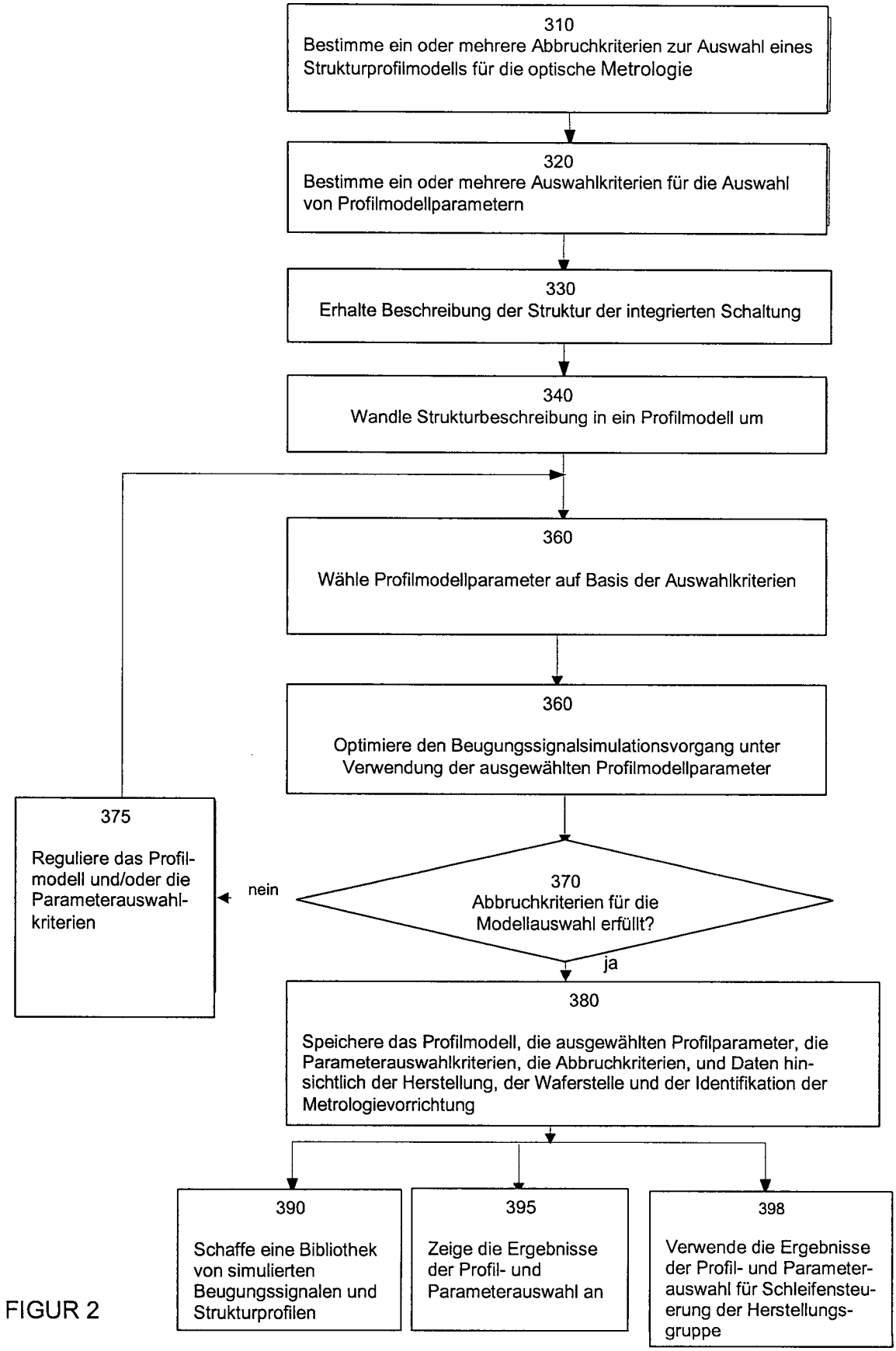
52. Computerlesbares Speichermedium, enthaltend gespeicherte Daten einschließlich:
Identifikationsdaten, die mit einer Struktur, einem Wafer, einem Profilmodell verbunden sind;
Abbruchkriteriendaten;
ein oder mehrere Parameterauswahlkriterien; und ausgewählte Optimierungsparameter eines Systems zum Auswählen eines Profilmodells und zum Auswählen von Parametern des Profilmodells zur Verwendung bei der optischen Metrologie von Strukturen in einem Wafer.

Es folgen 16 Blatt Zeichnungen

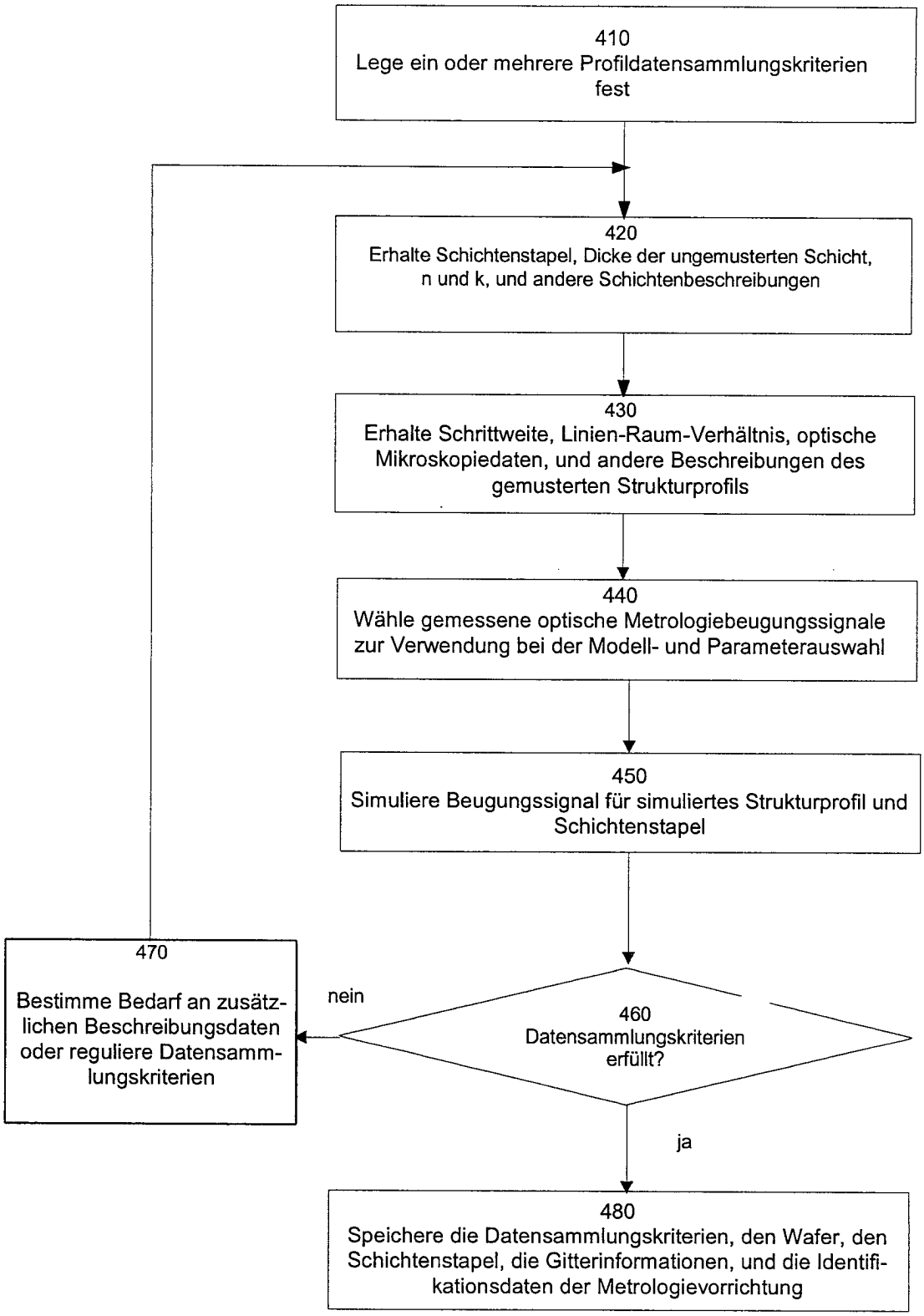
Anhängende Zeichnungen



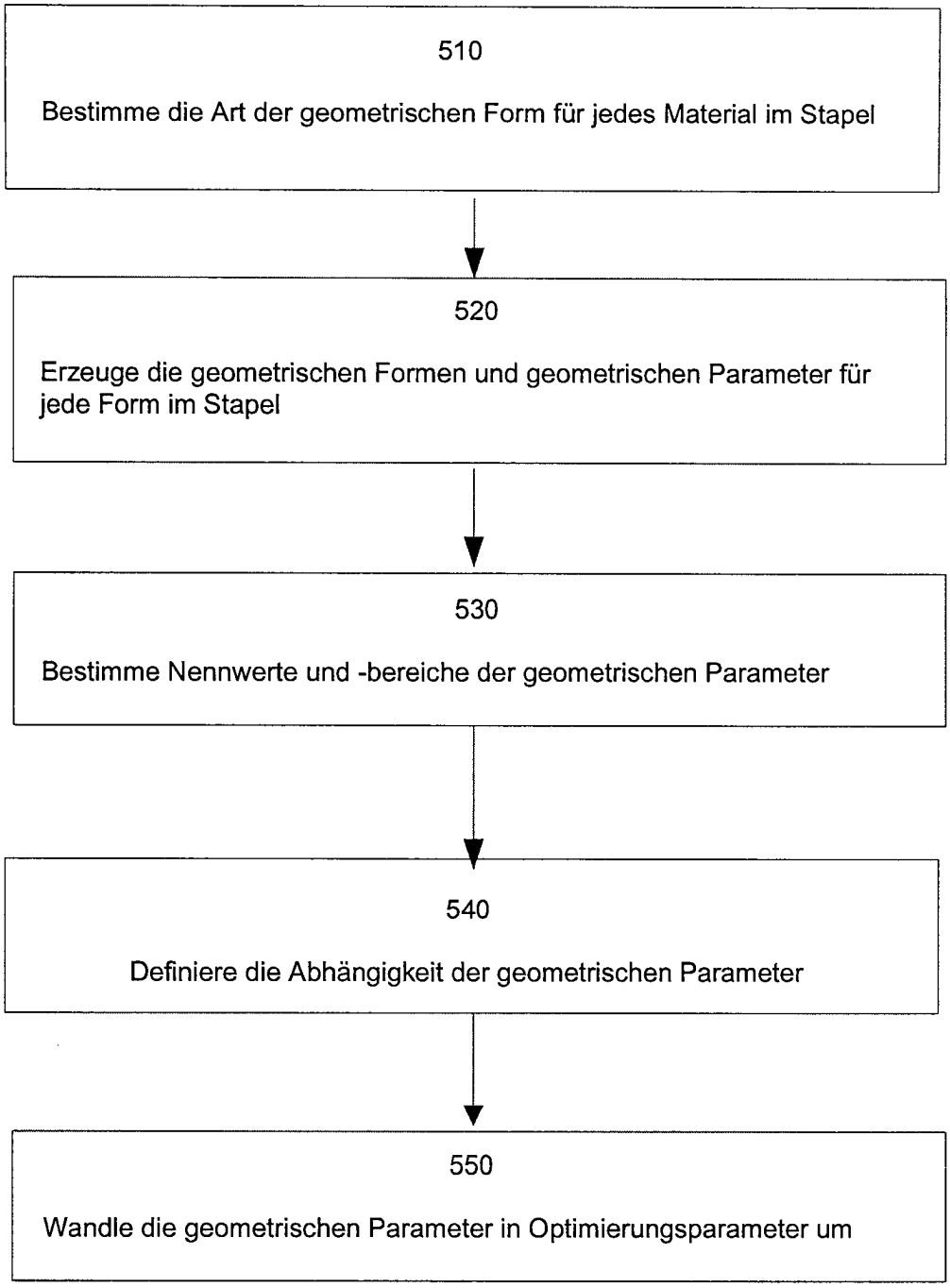
FIGUR 1


310
Bestimme ein oder mehrere Abbruchkriterien zur Auswahl eines Strukturprofilmodells für die optische Metrologie
320
Bestimme ein oder mehrere Auswahlkriterien für die Auswahl von Profilmodellparametern
330
Erhalte Beschreibung der Struktur der integrierten Schaltung
340
Wandle Strukturbeschreibung in ein Profilmodell um
360
Wähle Profilmodellparameter auf Basis der Auswahlkriterien
360
Optimiere den Beugungssignalsimulationsvorgang unter Verwendung der ausgewählten Profilmodellparameter
370
Abbruchkriterien für die Modellauswahl erfüllt?
nein
ja
375
Reguliere das Profilmodell und/oder die Parameterauswahlkriterien
380
Speichere das Profilmodell, die ausgewählten Profilparameter, die Parameterauswahlkriterien, die Abbruchkriterien, und Daten hinsichtlich der Herstellung, der Waferstelle und der Identifikation der Metrologievorrichtung
390
Schaffe eine Bibliothek von simulierten Beugungssignalen und Strukturprofilen
395
Zeige die Ergebnisse der Profil- und Parameterauswahl an
398
Verwende die Ergebnisse der Profil- und Parameterauswahl für Schleifensteuerung der Herstellungsgruppe

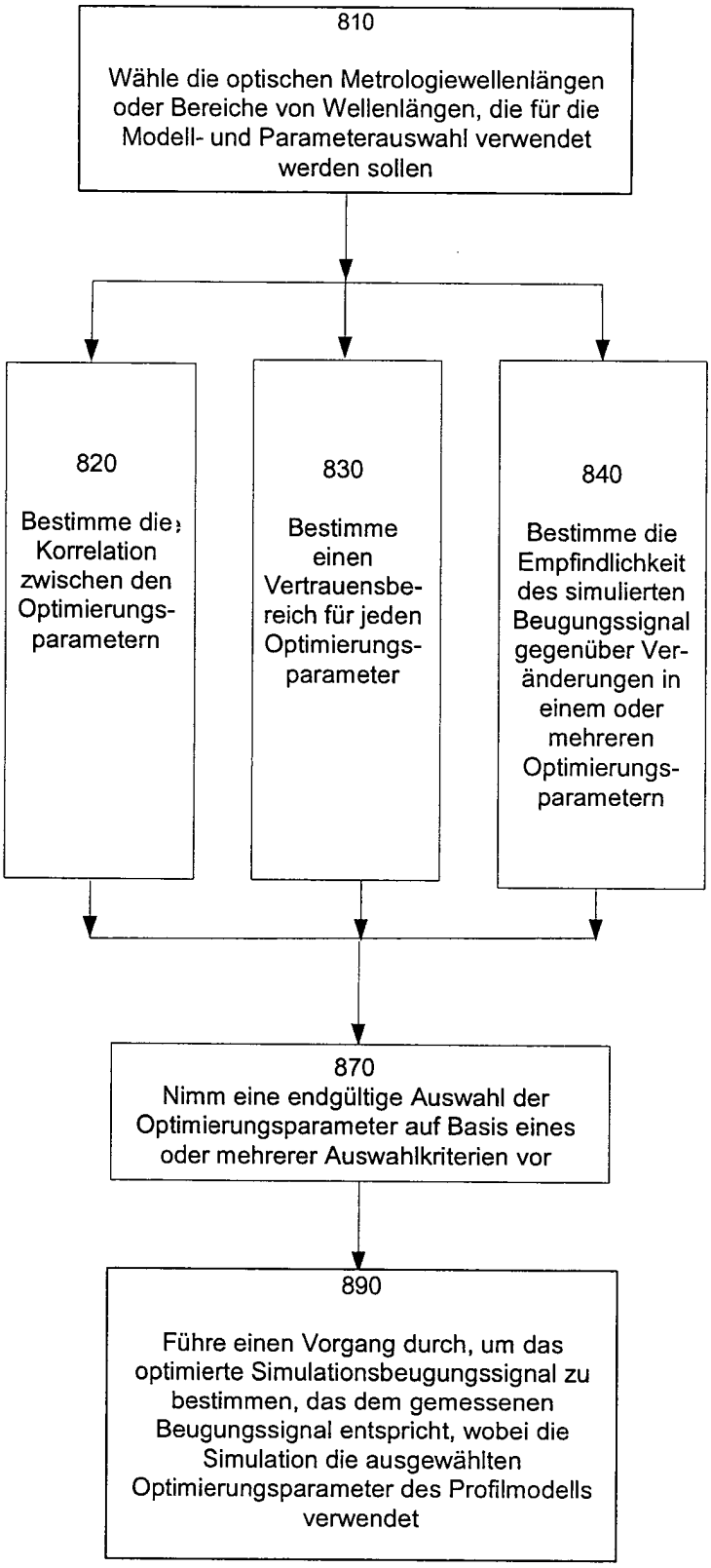
FIGUR 2


410
Lege ein oder mehrere Profildatensammlungskriterien fest
420
Erhalte Schichtenstapel, Dicke der ungemusterten Schicht, n und k, und andere Schichtenbeschreibungen
430
Erhalte Schrittweite, Linien-Raum-Verhältnis, optische Mikroskopiedaten, und andere Beschreibungen des gemusterten Strukturprofils
440
Wähle gemessene optische Metrologiebeugungssignale zur Verwendung bei der Modell- und Parameterauswahl
450
Simuliere Beugungssignal für simuliertes Strukturprofil und Schichtenstapel
460
Datensammlungskriterien erfüllt?
nein
ja
470
Bestimme Bedarf an zusätzlichen Beschreibungsdaten oder reguliere Datensammlungskriterien
480
Speichere die Datensammlungskriterien, den Wafer, den Schichtenstapel, die Gitterinformationen, und die Identifikationsdaten der Metrologievorrichtung

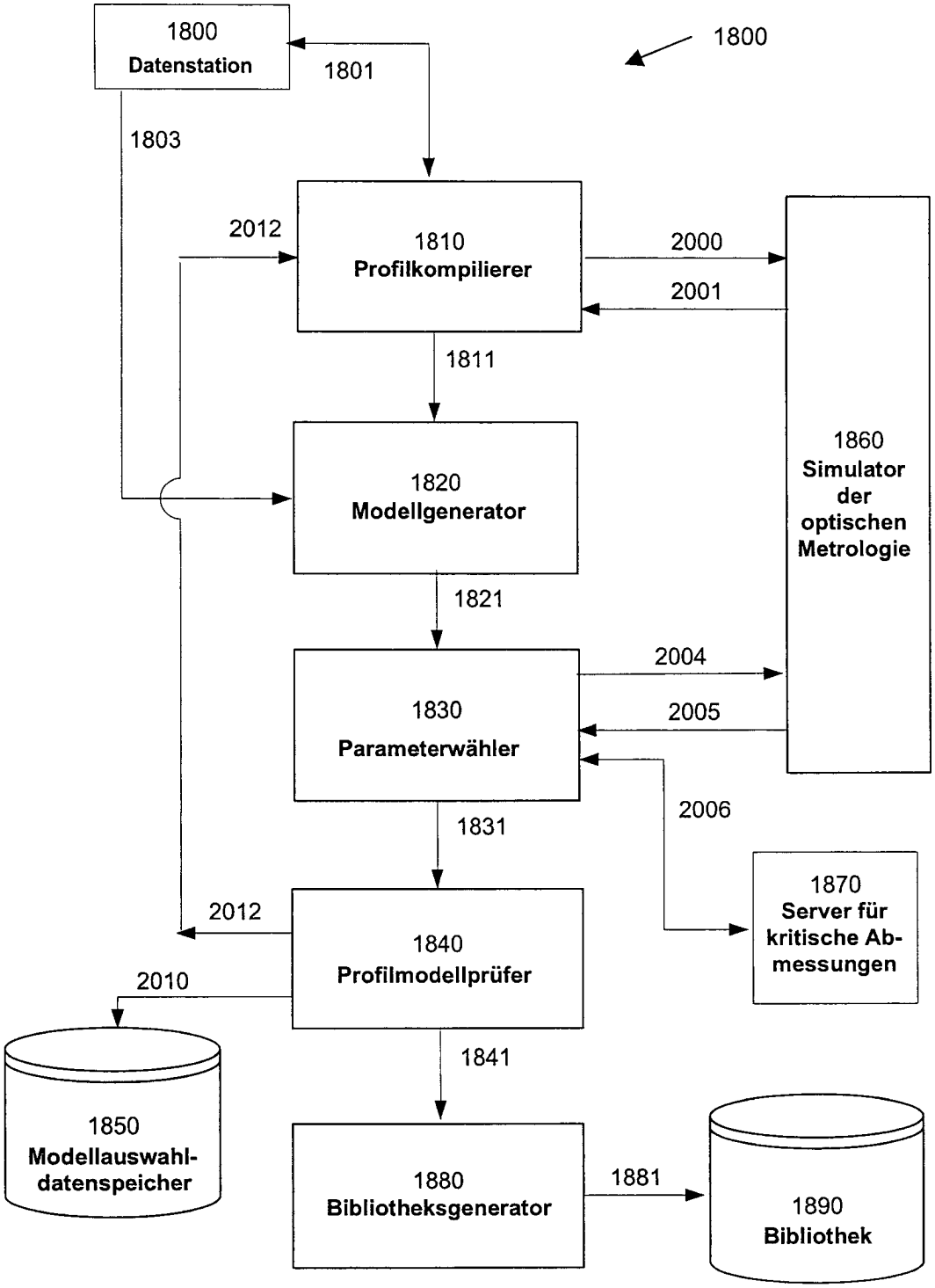
FIGUR 3


510
Bestimme die Art der geometrischen Form für jedes Material im Stapel
520
Erzeuge die geometrischen Formen und geometrischen Parameter für jede Form im Stapel
530
Bestimme Nennwerte und -bereiche der geometrischen Parameter
540
Definiere die Abhängigkeit der geometrischen Parameter
550
Wandle die geometrischen Parameter in Optimierungsparameter um

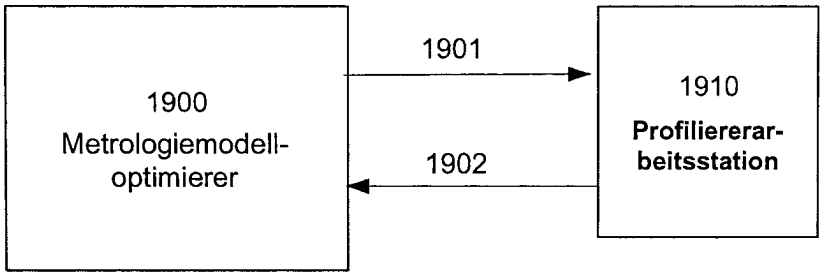
FIGUR 4


810
Wähle die optischen Metrologiewellenlängen oder Bereiche von Wellenlängen, die für die Modell- und Parameterauswahl verwendet werden sollen
820
Bestimme die Korrelation zwischen den Optimierungs-parametern
830
Bestimme einen Vertrauensbe-reich für jeden Optimierungs-parameter
840
Bestimme die Empfindlichkeit des simulierten Beugungssignal gegenüber Ver-änderungen in einem oder mehreren Optimierungs-parametern
870
Nimm eine endgültige Auswahl der Optimierungsparameter auf Basis eines oder mehrerer Auswahlkriterien vor
890
Führe einen Vorgang durch, um das optimierte Simulationsbeugungssignal zu bestimmen, das dem gemessenen Beugungssignal entspricht, wobei die Simulation die ausgewählten Optimierungsparameter des Profilmodells verwendet

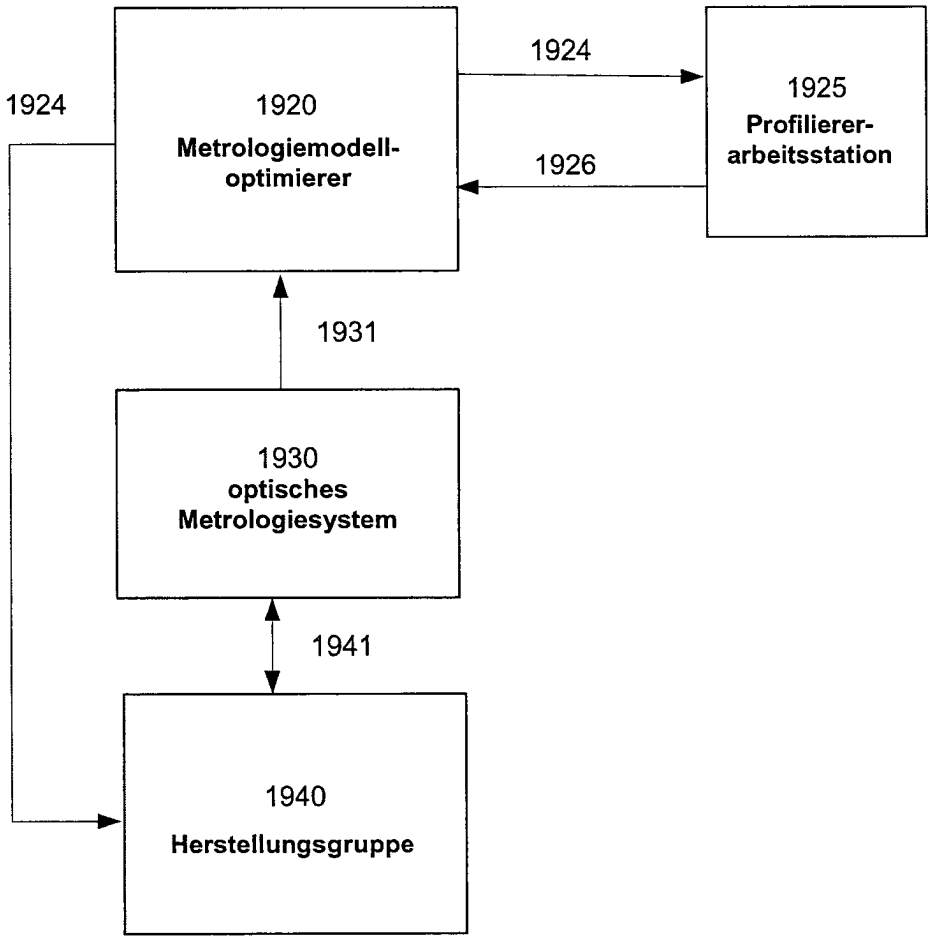
FIGUR 5


1800
Datenstation
1801
1800
1803
2012
1810
Profilkompilierer
2000
2001
1811
1860
Simulator der optischen Metrologie
1820
Modellgenerator
1821
2004
1830
Parameterwähler
2005
2006
1831
1870
Server für kritische Abmessungen
2012
1840
Profilmodellprüfer
2010
1850
Modellauswahldatenspeicher
1841
1880
Bibliotheksgenerator
1881
1890
Bibliothek

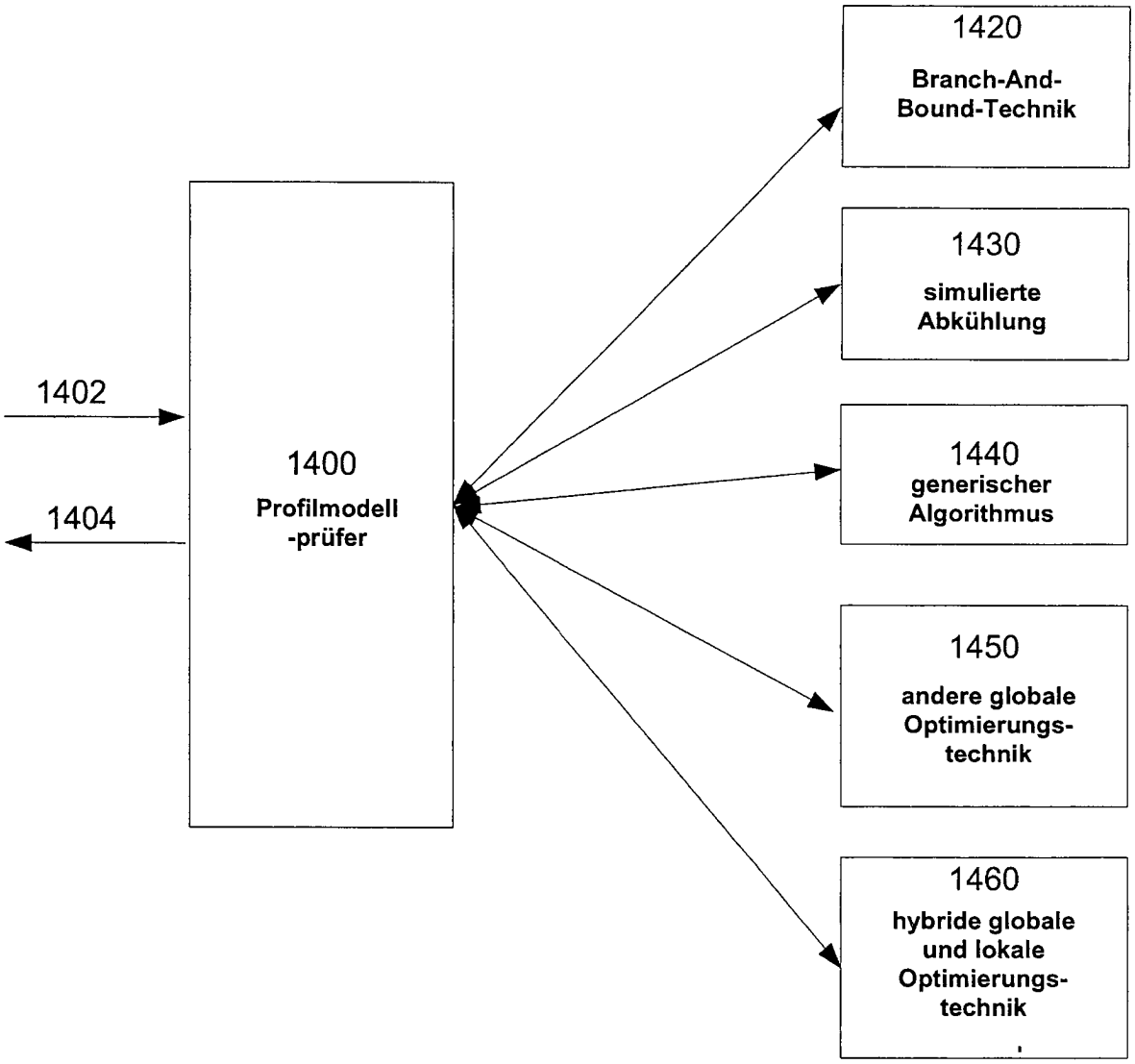
FIGUR 6A



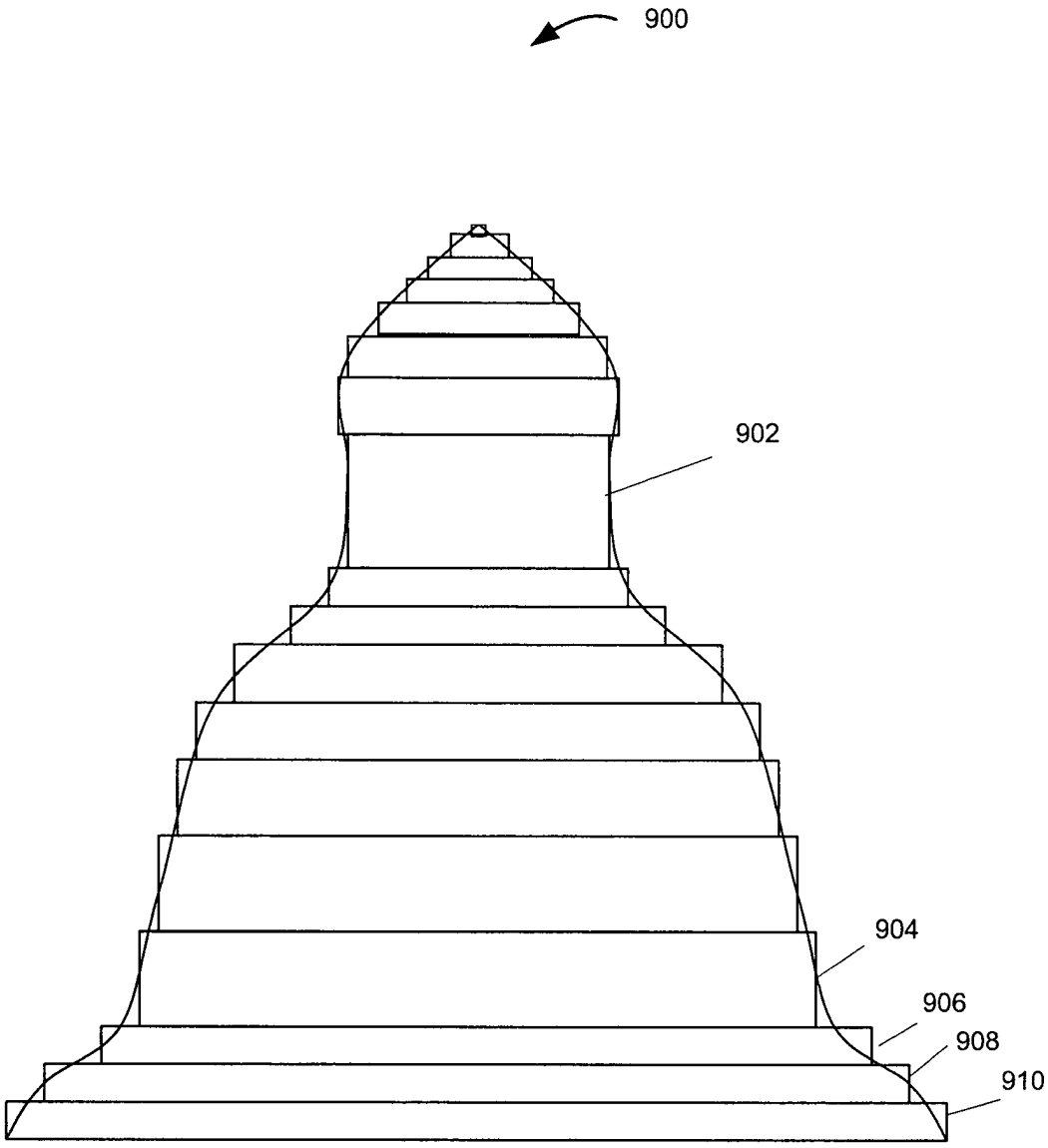
FIGUR 6B



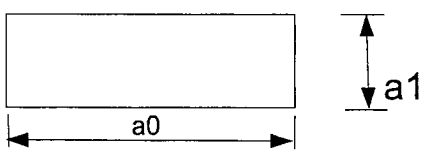
FIGUR 6C


1420
Branch-And-Bound-Technik
1430
simulierte Abkühlung
1440
generischer Algorithmus
1450
andere globale Optimierungs-technik
1460
hybride globale und lokale Optimierungs-technik
1402
1404
1400
Profilmodell -prüfer

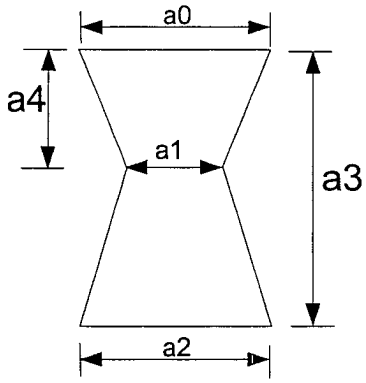
FIGUR 7



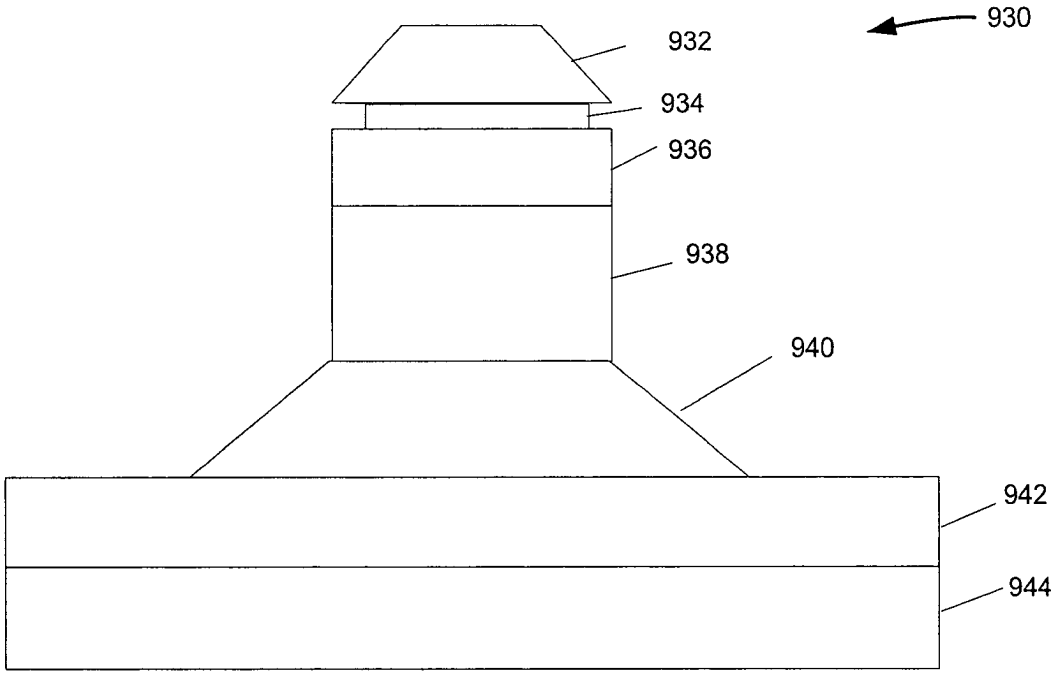
FIGUR 8



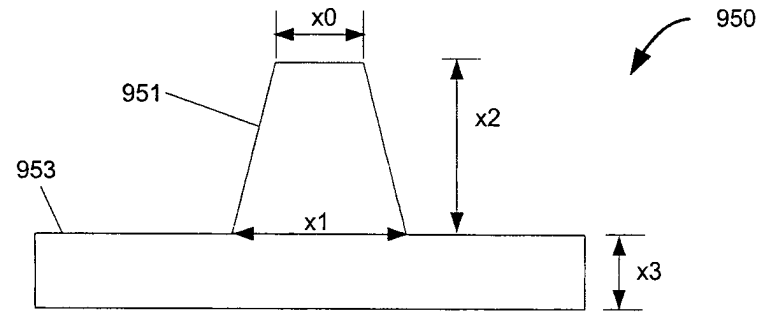
FIGUR 9A



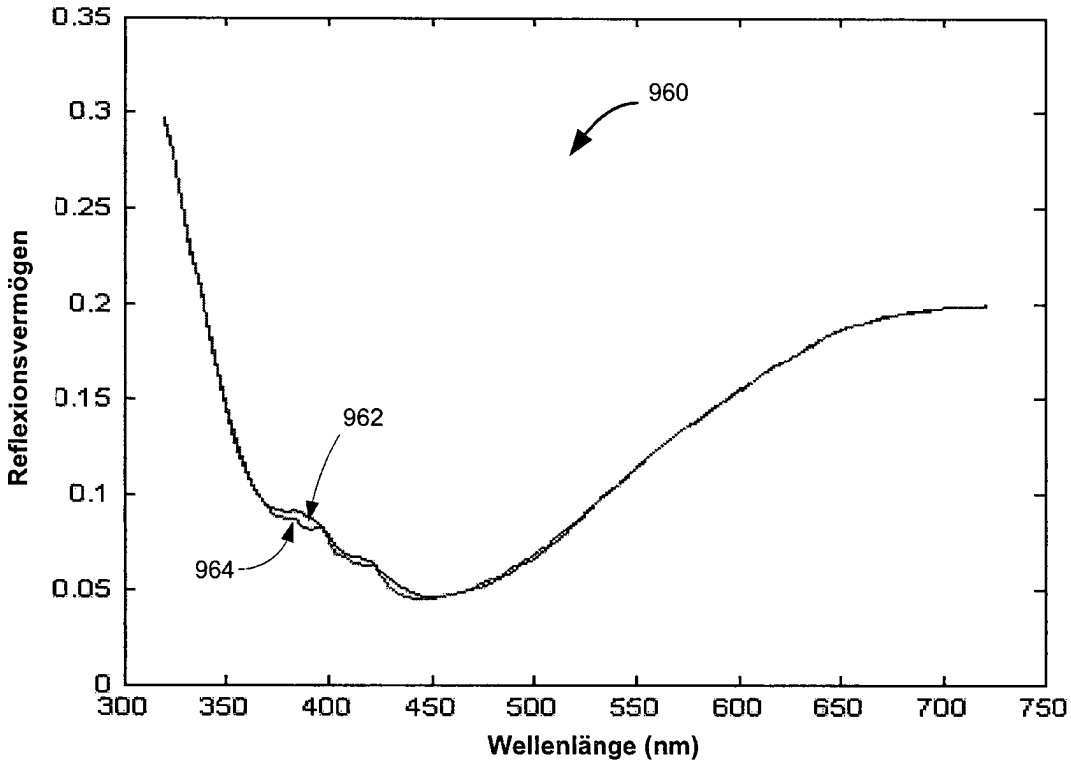
FIGUR 9B



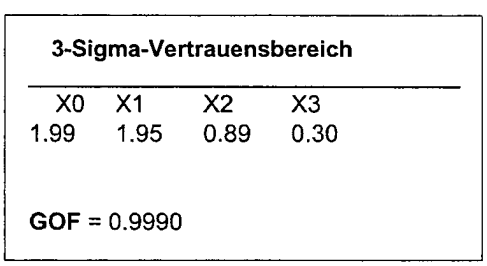
FIGUR 9C



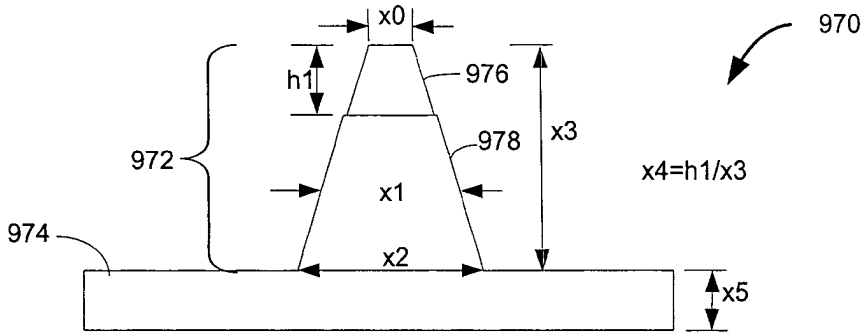
FIGUR 10A



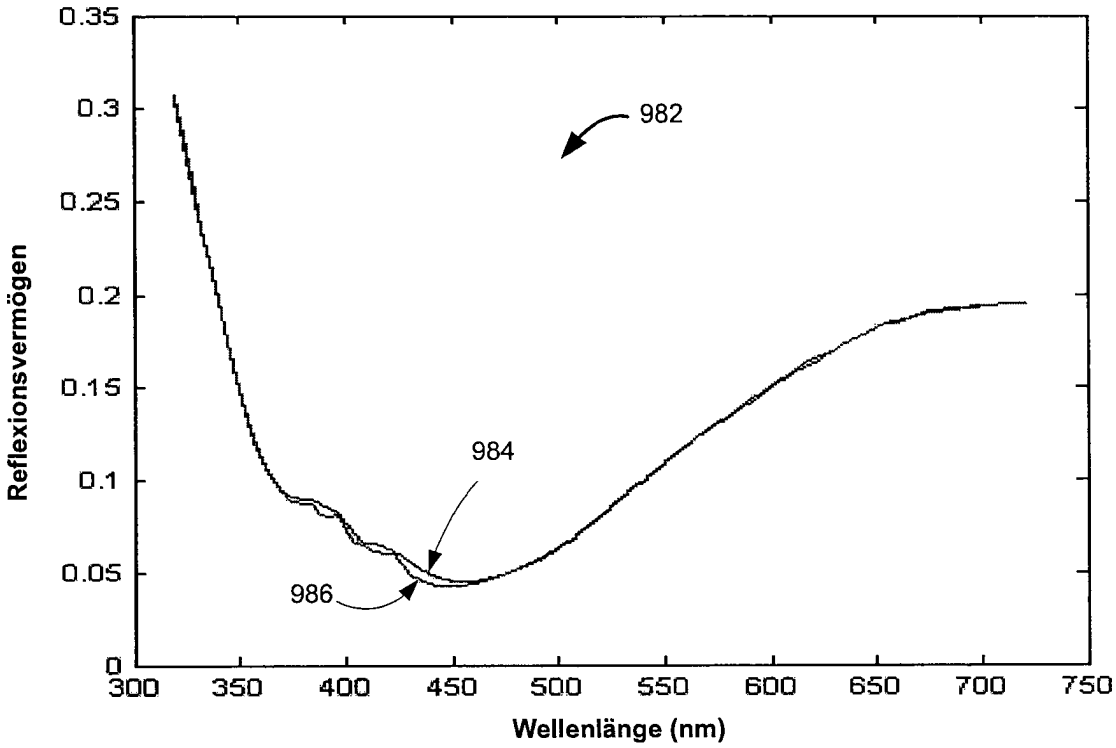
FIGUR 10B



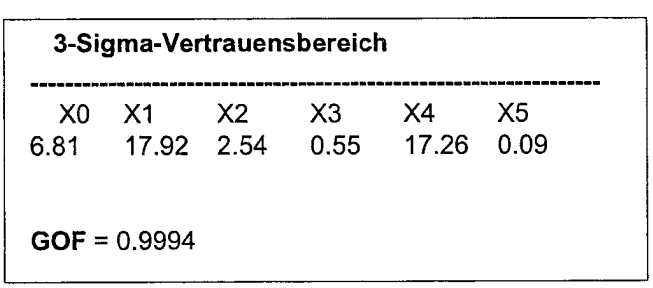
FIGUR 10C



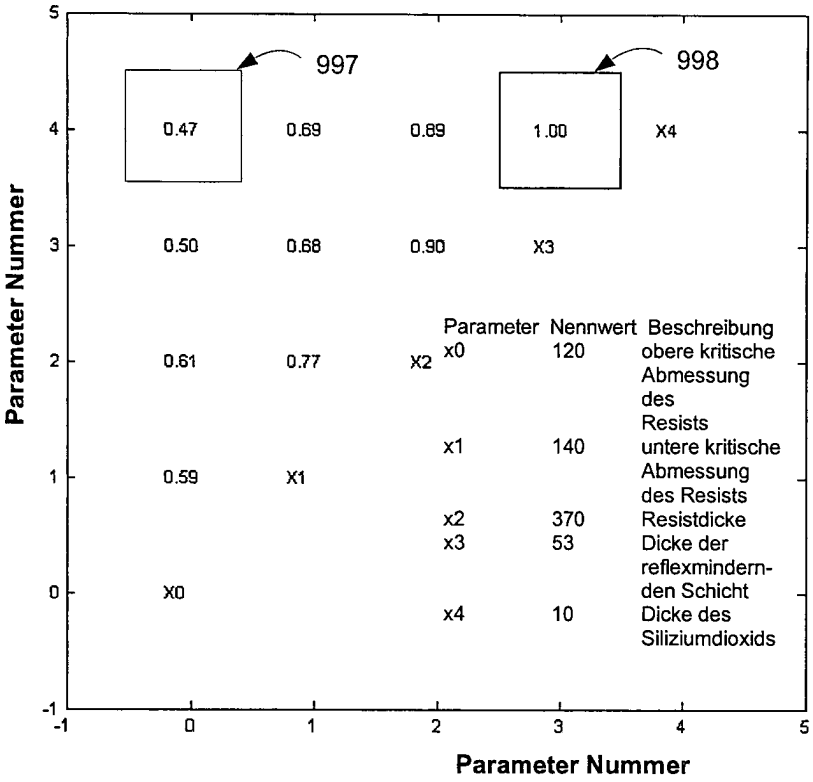
FIGUR 11A



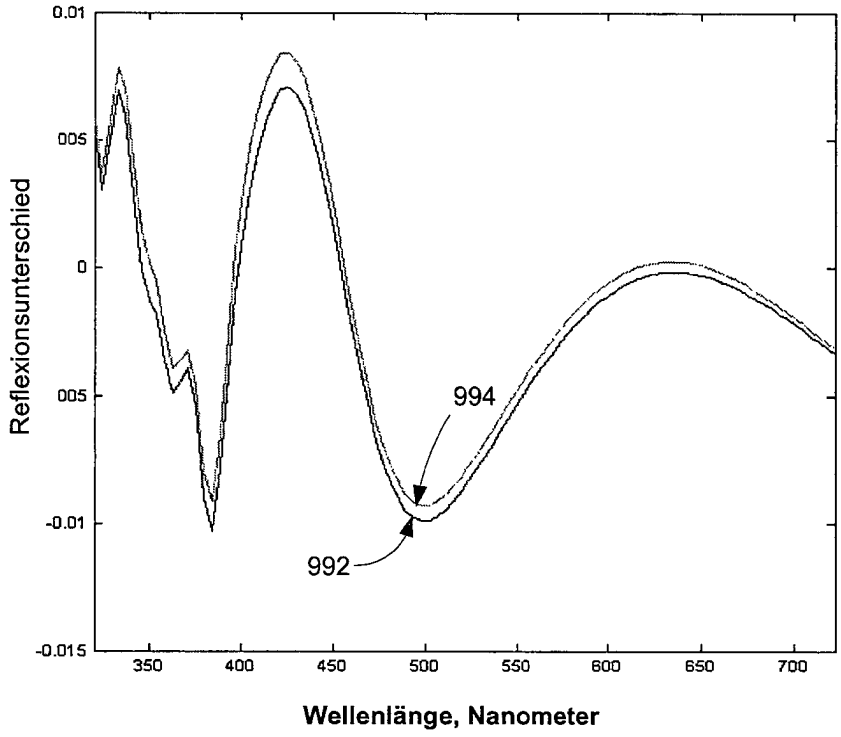
FIGUR 11B



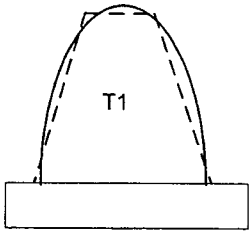
FIGUR 11C



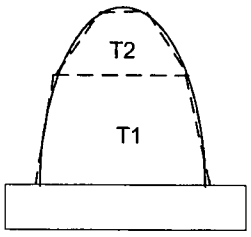
FIGUR 12A



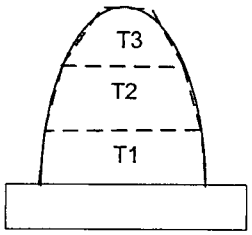
FIGUR 12B



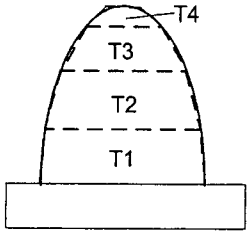
FIGUR 13A



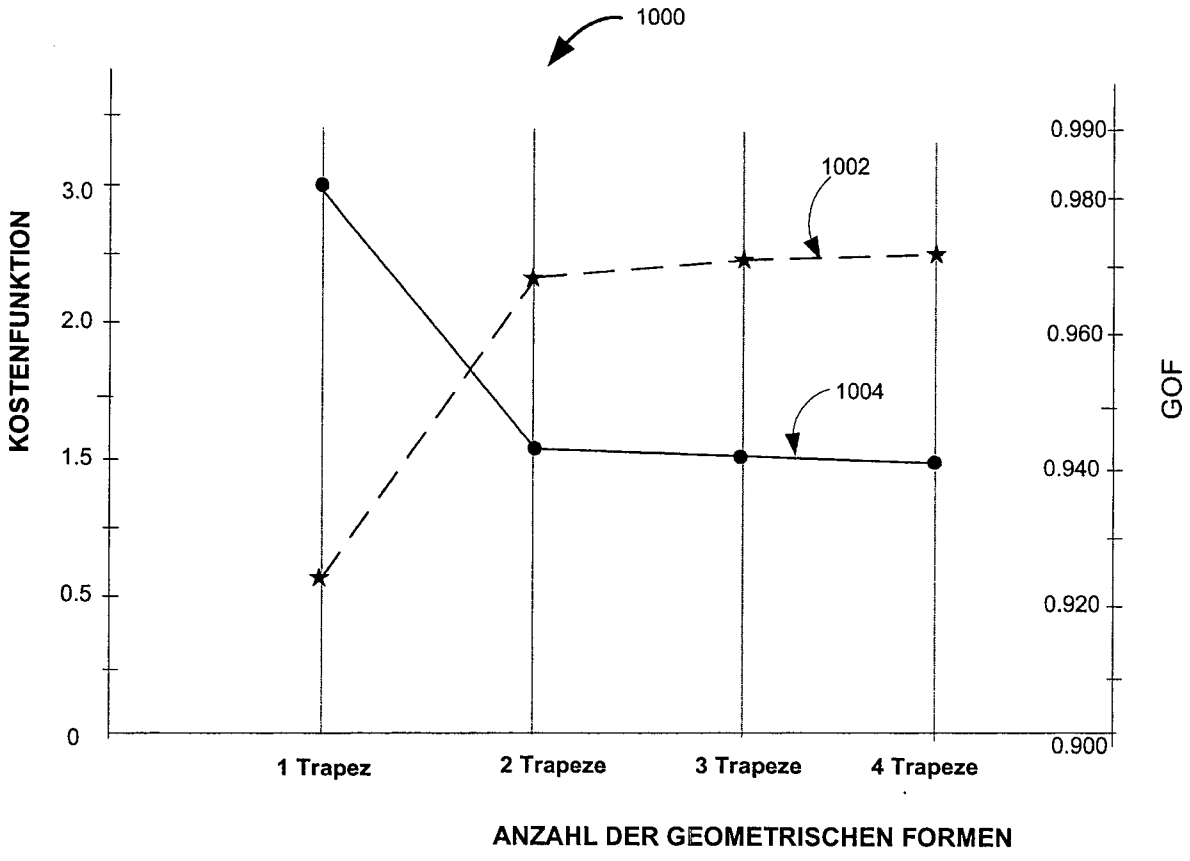
FIGUR 13B



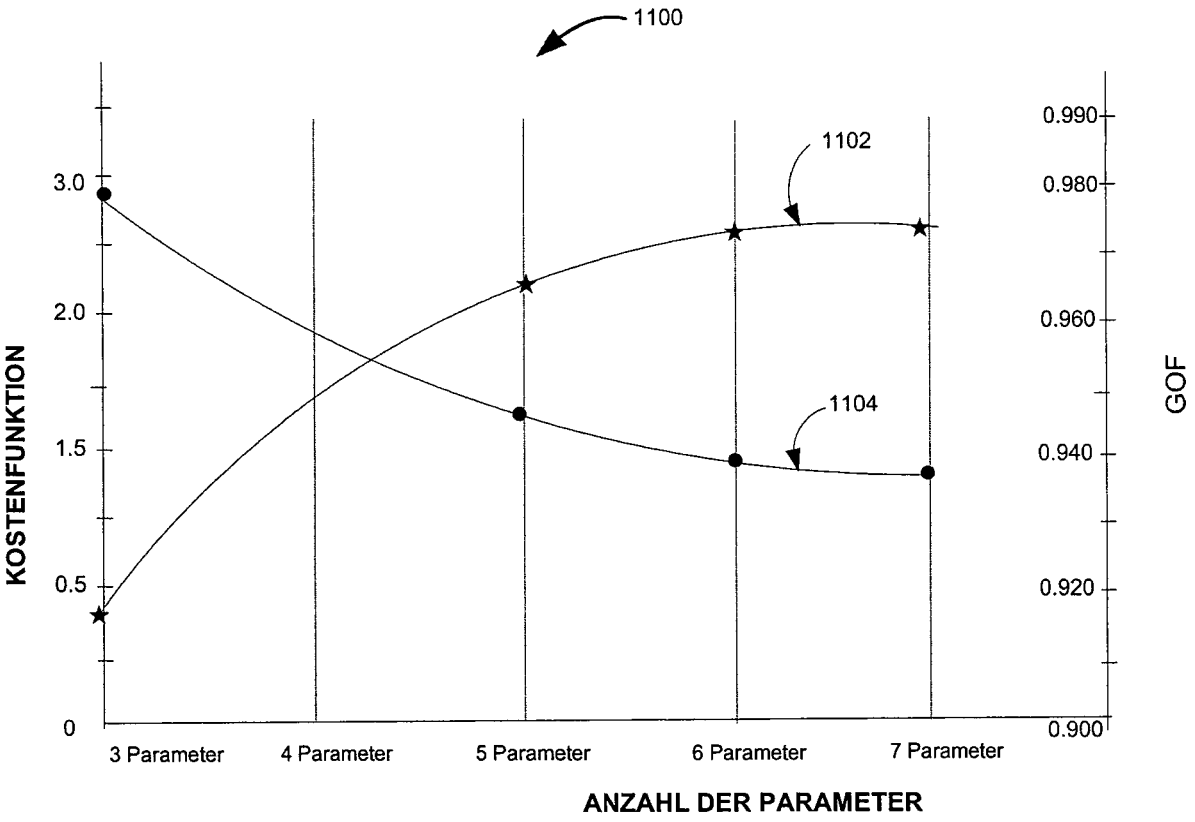
FIGUR 13C



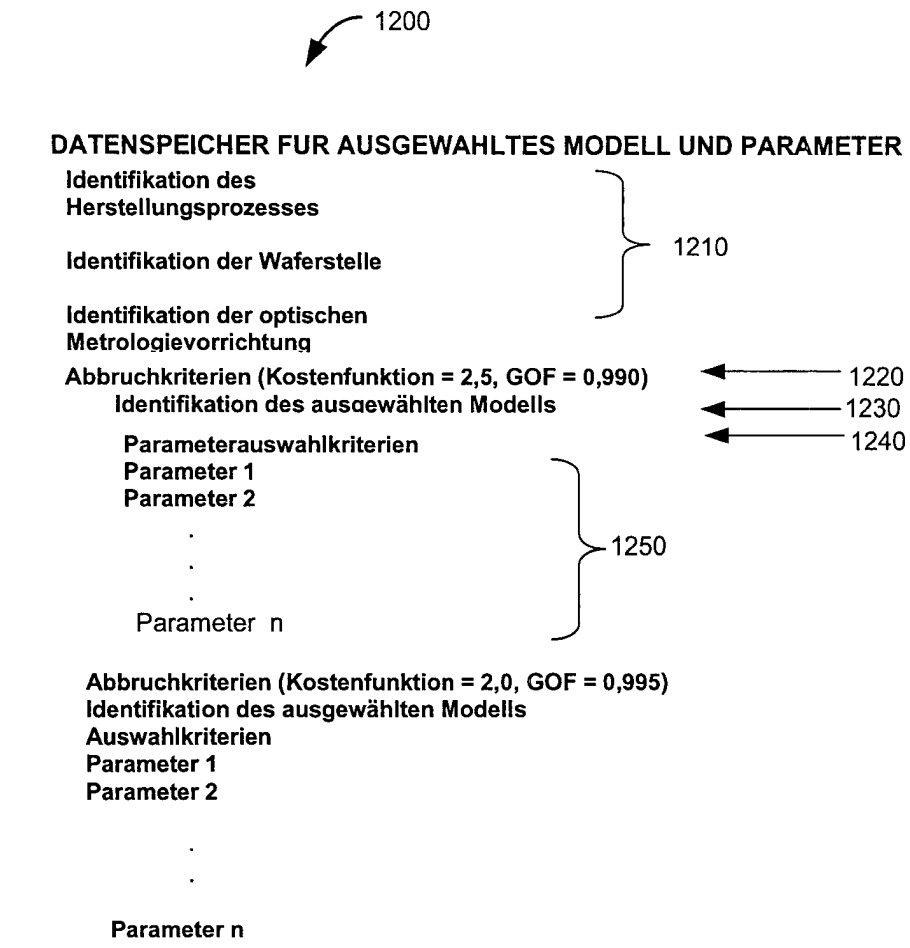
FIGUR 13D



FIGUR 13E


1100
1102
1104
KOSTENFUNKTION
GOF
3.0
2.0
1.5
0.5
0
0.990
0.980
0.960
0.940
0.920
0.900
3 Parameter
4 Parameter
5 Parameter
6 Parameter
7 Parameter
ANZAHL DER PARAMETER

FIGUR 14


1200
DATENSPEICHER FUR AUSGEWAHLTES MODELL UND PARAMETER
Identifikation des Herstellungsprozesses
Identifikation der Waferstelle
Identifikation der optischen Metrologievorrichtung
1210
Abbruchkriterien (Kostenfunktion = 2,5, GOF = 0,990)
Identifikation des ausgewählten Modells
Parameterauswahlkriterien
Parameter 1
Parameter 2
Parameter n
1220
1230
1240
1250
Abbruchkriterien (Kostenfunktion = 2,0, GOF = 0,995)
Identifikation des ausgewählten Modells
Auswahlkriterien
Parameter 1
Parameter 2
Parameter n

FIGUR 15