



(19)  
Bundesrepublik Deutschland  
Deutsches Patent- und Markenamt

(10) DE 699 18 661 T2 2005.07.21

(12)

## Übersetzung der europäischen Patentschrift

(97) EP 1 037 012 B1

(21) Deutsches Aktenzeichen: 699 18 661.7

(96) Europäisches Aktenzeichen: 99 105 405.7

(96) Europäischer Anmeldetag: 16.03.1999

(97) Erstveröffentlichung durch das EPA: 20.09.2000

(97) Veröffentlichungstag

der Patenterteilung beim EPA: 14.07.2004

(47) Veröffentlichungstag im Patentblatt: 21.07.2005

(51) Int Cl.<sup>7</sup>: G01B 11/06  
G01B 11/04

(73) Patentinhaber:

**Nova Measuring Instruments Ltd., Rehovot, IL**

(84) Benannte Vertragsstaaten:  
**DE, FR, GB**

(74) Vertreter:

**Grünecker, Kinkeldey, Stockmair & Schwanhäusser, 80538 München**

(72) Erfinder:

**Scheiner, David, Ganei Yehuda 56905, IL; Finarov, Moshe, Rehovot 76470, IL**

(54) Bezeichnung: **Verfahren und Vorrichtung zum Messen von Musterstrukturen**

Anmerkung: Innerhalb von neun Monaten nach der Bekanntmachung des Hinweises auf die Erteilung des europäischen Patents kann jedermann beim Europäischen Patentamt gegen das erteilte europäische Patent Einspruch einlegen. Der Einspruch ist schriftlich einzureichen und zu begründen. Er gilt erst als eingelebt, wenn die Einspruchsgebühr entrichtet worden ist (Art. 99 (1) Europäisches Patentübereinkommen).

Die Übersetzung ist gemäß Artikel II § 3 Abs. 1 IntPatÜG 1991 vom Patentinhaber eingereicht worden. Sie wurde vom Deutschen Patent- und Markenamt inhaltlich nicht geprüft.

**Beschreibung****Gebiet der Erfindung**

**[0001]** Diese Erfindung betrifft das Gebiet der Messtechniken und bezieht sich auf ein Verfahren und ein System zum Messen der Parameter einer Musterstruktur.

**Hintergrund der Erfindung**

**[0002]** Techniken für die Messungen der Dicken von Musterstrukturen wurden entwickelt. Der hierin verwendete Ausdruck „Musterstruktur“ bezeichnet eine Struktur, die von Bereichen, die unterschiedliche optische Eigenschaften in Bezug auf eine auftreffende Strahlung haben, gebildet wird. Insbesondere stellt eine Musterstruktur ein Gitter dar, das einen Zyklus oder mehrere Zyklen aufweist, wobei jeder Zyklus wenigstens von zwei unterschiedlichen örtlich aneinander grenzenden Stapeln gebildet wird. Jeder Stapel ist aus Schichten zusammengesetzt, die unterschiedliche optische Eigenschaften aufweisen.

**[0003]** Die Produktion von integrierten Schaltungen auf Halbleiterwafers erfordert eine strenge Überwachung der Abmessungen kleiner Strukturen. Bestimmte Messtechniken ermöglichen das Messen der örtlichen Abmessungen eines Wafers mit hoher Auflösung, jedoch auf Kosten der unterbrochenen Nutzung des Wafers bei der Fertigung. Beispielsweise ergibt die Prüfung unter Verwendung eines Raster-Elektronenmikroskops die Abmessungen der Parameter einer Musterstruktur, jedoch auf Kosten der Zerteilung dieser und somit des Ausschlusses dieser von der weiteren Bearbeitung. Die Massenproduktion von Musterstrukturen, wie zum Beispiel Wafers, erfordert einen zerstörungsfreien Prozess zum Prüfen der Dünnfilmparameeter auf eine Art und Weise, die es ermöglicht, dass örtliche Messungen durchgeführt werden können.

**[0004]** Eine Art der konventionellen Technik zum Messen der Dicke von Dünnfilmen wird in dem U.S.-Patent Nr. 4.999.014 offen gelegt. Diese Technik basiert auf der Verwendung von kleiner Punktgröße und großer numerischer Apertur zum Messen kleiner Bereiche.

**[0005]** Bedauerlicherweise leidet dieser Ansatz in dem Fall einer sehr kleinen Struktur unter einem gewöhnlichen Nachteil, der einerseits mit der Verwendung einer kleinen Punktgröße und andererseits mit der großen numerischen Blende mit der Ansammlung großer Beugungsordnungen zusammenhängt. Der Ausdruck „kleine Punktgröße“ bezeichnet den Punktdurchmesser in der Größe gleich der Linien- oder Raumbreite der gemessenen Struktur, d. h. einen einzelnen Gitterzyklus. Dies führt zu vielen Problemen, die schwierig zu lösen sind. Tatsächlich sind nicht alle Stapschichten im Fokus eines optischen Systems, das zum Sammeln des reflektierten Lichts verwendet wird, wobei das optische System sperrig und kompliziert ist. Die erfassten Signale sind empfindlich gegenüber kleinen Details eines Gitterprofils und gegenüber kleinen Abweichungen in der Punktanordnung. Beugungseffekte, die signifikant von dem Gitterprofil und der Topografie abhängig sind und deshalb schwierig zu modellieren sind, sind in die Berechnungen einzubeziehen.

**[0006]** Ein weiteres Beispiel der konventionellen Techniken der spezifizierten Art wird in dem U.S.-Patent Nr. 5.361.137 offen gelegt und bezieht sich auf ein Verfahren und eine Vorrichtung zum Messen der submikronen Linienbreiten einer Musterstruktur. Diese Messungen werden an einem so genannten „Testmuster“ in Form eines Beugungsgitters, das in einem Testbereich des Wafers angeordnet wird, durchgeführt. Hierbei wird, wie bei den meisten konventionellen Systemen, ein monochromatisches einfallendes Licht verwendet und Beugungsmuster werden erzeugt und analysiert. Jedoch wird eine große Anzahl an Testbereichen verwendet und außerdem können keine Informationen über Mehrfachparameter erhalten werden.

**[0007]** Einigen konventionellen Techniken entsprechend, beispielsweise der, die in dem U.S.-Patent Nr. 5.087.121 offen gelegt ist, werden Abschnitte mit und ohne Gräben getrennt mit Breitbandlicht beleuchtet, das Reflexionsspektrum wird gemessen und die entsprechenden Resultate werden miteinander verglichen, wobei das Resultat die Höhe oder die Tiefe einer Struktur ist. Jedoch ist es oft der Fall, dass die Struktur, die geprüft wird, derartig ist, dass die verschiedenen Abschnitte nicht getrennt abgebildet werden können. Dies ist wegen einer unvermeidbaren, mit dem Durchmesser eines Strahls der auftreffenden Strahlung, der auf die Struktur fällt, zusammenhängenden Begrenzung der Fall.

**[0008]** Der beschriebene Ansatz verwendet Frequenzfilterung, um die Trennung von Störsignalen aus verschiedenen Schichten zu ermöglichen. Dies ist für Schichten von kleiner Dicke und kleinen Dicke differenzen wegen einer begrenzten Anzahl von Reflexionsoszillationen nicht realisierbar.

**[0009]** Ein weiteres Beispiel der konventionellen Technik zum Implementieren von Tiefemessungen ist in dem U.S.-Patent Nr. 5.702.956 offen gelegt. Das Verfahren basiert auf der Verwendung einer Teststelle, die eine der des Wafers (Schaltstelle) ähnliche Musterstruktur darstellt, jedoch in einem vergrößerten Maßstab übernommen wird. Die Teststelle ist in Form einer Vielzahl von Testbereichen, von denen jeder in dem Abstand zwischen zwei örtlich angrenzenden Schaltbereichen angeordnet ist. Diese Testbereiche werden so zugeordnet, groß genug zu sein, um eine Grabentiefe zu haben, die mit einem linearen Messgerät gemessen wird. Die Messungen werden durch das Vergleichen der Parameter verschiedener Testbereiche unter der Voraussetzung, dass der Prozess unabhängig von der Strukturgröße ist, durchgeführt. Für viele Arbeitsgänge in der Technik, wie zum Beispiel Ätzen und Fotolackentwicklung, ist diese Voraussetzung unrichtig und deshalb ist dieses Verfahren nicht anwendbar.

#### Zusammenfassung der Erfindung

**[0010]** Es ist ein Hauptziel der vorliegenden Erfindung, die zuvor aufgelisteten und weitere Nachteile der konventionellen Techniken zu überwinden, um ein neues Verfahren und ein neues System zum zerstörungsfreien und berührungslosen Messen der Parameter von Musterstrukturen bereitzustellen.

**[0011]** Es ist ein weiteres Ziel der Erfindung, ein solches Verfahren und ein solches System bereitzustellen, die es ermöglichen, die relativ kleine Informationsmenge, die für die Bedingungen der Struktur repräsentativ ist, zu beschaffen und erfolgreich zum Ausführen der Messungen, selbst von sehr komplizierten Strukturen, zu verarbeiten.

**[0012]** Gemäß einem Aspekt der vorliegenden Erfindung wird ein Verfahren zum Messen wenigstens eines gewünschten Parameters einer Musterstruktur, die ein Gitter darstellt, das wenigstens einen Zyklus hat, der von wenigstens zwei örtlich aneinander grenzenden Elementen gebildet wird, die unterschiedliche optische Eigenschaften in Bezug auf eine auftreffende Strahlung haben, bereitgestellt, wobei die Struktur eine Vielzahl von Merkmalen hat, die durch einen bestimmten Prozess ihrer Herstellung definiert werden, und wobei das Verfahren die folgenden Schritte umfasst:

- a) Bereitstellen eines optischen Modells, das auf wenigstens einigen der Merkmale der Struktur basiert und mit dem theoretischen Daten bestimmt werden können, die für fotometrische Intensitäten von Lichtkomponenten unterschiedlicher Wellenlängen stehen, die spiegelnd von der Struktur reflektiert werden, und mit dem der wenigstens eine gewünschte Parameter der Struktur berechnet werden kann;
- b) Beleuchten eines Messbereiches mit einer auftreffenden Strahlung eines vorgegebenen, im Wesentlichen breiten Wellenlängenbereiches, wobei der Messbereich im Wesentlichen größer ist als eine Fläche der Struktur, die durch den Gitterzyklus definiert wird;
- c) Erfassen von Lichtkomponenten, die im Wesentlichen spiegelnd von dem Messbereich reflektiert werden, und Gewinnen gemessener Daten, die für fotometrische Intensitäten jeder Wellenlänge innerhalb des Wellenlängenbereiches stehen;
- d) Analysieren der gemessenen Daten und der theoretischen Daten und Optimieren des optischen Modells, bis die theoretischen Daten eine vorgegebene Bedingung erfüllen; und
- e) Berechnen des wenigstens einen Parameters der Struktur, wenn erfasst wird, dass die vorgegebene Bedingung erfüllt ist.

**[0013]** Infolgedessen besteht die Hauptidee der vorliegenden Erfindung in dem Folgenden: Eine Musterstruktur, deren Parameter zu messen sind, wird durch mehrere sequenzielle Schritte eines bestimmten Technologieprozesses vor den Messungen vollständig gefertigt. Aktuelle Entwurfsregelmerkmale können in der Struktur oft in Reihen gefunden werden (z. B. Leselinien in Speichern). Der Ausdruck „Entwurfsregelmerkmale“ bezeichnet eine vorbestimmte Reihe von zugelassenen Abmessungen, die durchgehend durch den Wafer benutzt werden. Infolgedessen können Informationen in Bezug auf die erwünschten Parameter unter Verwendung von supermikronen Werkzeugen, wie zum Beispiel einem großen Punkt, der auf eine Gruppe von Linien fokussiert ist, erhalten werden.

**[0014]** Die vorliegende Erfindung verwendet im Unterschied zum konventionellen Ansatz ein Spektrofotometer, das reflektiertes Licht im Wesentlichen nullter Ordnung empfängt. Das Signal nullter Ordnung ist gegenüber kleinen Details des Gitterprofils der Struktur, wie zum Beispiel Eckenabrandungen oder örtlichen Neigungen, nicht empfindlich. Dies ermöglicht, dass die Effekte, die mit gebrochenem Licht verbunden sind, nicht berücksichtigt werden und dadurch das optische Modell wie auch das optische System vereinfacht werden. Des Weiteren ermöglicht die große Punktgröße eine große Fokustiefe, die die gesamte Tiefe der zu messenden Struktur enthält. Wenn der Punkt eine Anzahl von Gitter-Zyklen enthält, dann ist die Messung gegenüber örtlichen Fehlern, genauer Punktanordnung oder dem Fokussieren unempfindlich.

**[0015]** In dem Falle von Wafern besteht jedes Element in dem Gitterzyklus aus einem Stapel von unterschiedlichen Schichten. Die Merkmale einer solchen Struktur (Wafer), die durch den Herstellungsprozess diktiert werden und die das optische Modell berücksichtigen sollte, sind die folgenden bekannten Effekte:

- Spiegelreflexion aus den verschiedenen Stapeln innerhalb des Gitterzyklus
- Interferenzen des reflektierten Lichts aus Schichten innerhalb jeden Stapels
- Dissipation innerhalb transparenter Stapel wegen der kavitätartigen Geometrie, die in der gitterartigen Struktur gebildet ist
- Spiegelbeiträge wegen der Breite der Stapel, relativ zu der Wellenlänge
- Polarisierung wegen der Wechselwirkung des einfallenden Strahls mit einer leitfähigen gitterartigen Struktur, falls vorhanden
- Effekte wegen der begrenzten Kohärenz der Beleuchtung
- Interferenzen zwischen Lichtstrahlen, die von jedem Stapel innerhalb des Gitterzyklus reflektiert werden, die die oben genannten Effekte berücksichtigen

**[0016]** Der Beitrag jeder der oben beschriebenen Effekte in den theoretischen Daten wird entsprechend den bekannten physikalischen Gesetzen geschätzt.

**[0017]** Um genaue Berechnungen der erwünschten Parameter durchzuführen, erfordert das optische Modell, das auf einigen der Merkmale basiert, tatsächlich bestimmte optische Modellfaktoren, die zu berücksichtigen sind. Wenn die Informationen nicht von allen der Merkmale verfügbar sind und das Modell nicht vor der Messung optimiert werden kann, wird dies durch einen so genannten anfänglichen „Lernschritt“ durchgeführt. Genauer sind einige optische Modellfaktoren vorhanden, die einerseits variabel von allen Merkmalen abhängig sind und andererseits den Beitrag jeder der vorhandenen optischen Effekte in dem erfassten Signal definieren. Die Werte dieser optischen Modellfaktoren werden während des Lernschritts zusammen mit den unbekannten erwünschten Parametern angepasst, um so die vorgegebenen Bedingungen zu erfüllen. Letzteres wird in Form einer Gütfunktion, die eine so genannte „Güte der Anpassung“ zwischen den gemessenen und den theoretischen Daten definiert, durchgeführt. Die sich daraus ergebenden optischen Modellfaktoren können infolgedessen in Verbindung mit bekannten Merkmalen verwendet werden, um die genaue Berechnung der erwünschten Parameter der Struktur durchzuführen.

**[0018]** Vorzugsweise ist der Messbereich der Teil der Struktur, die zu messen ist.

**[0019]** Alternativ ist der Messbereich auf einem Testmuster, das die tatsächliche Struktur, die zu messen ist (d. h. mit den gleichen Entwurfsregeln und Schichtstapeln) darstellt, angeordnet. Die Notwendigkeit für ein solches Testmuster kann durch einen der folgenden beiden Gründe verursacht werden:

- 1) Wenn der Messbereich nicht wesentlich kleiner als der verfügbare Oberflächenbereich der tatsächlichen zu messenden Struktur ist, dann wird die Teststelle so implementiert, um eine erweiterte Struktur zu enthalten.
- 2) Wenn die Struktur sehr kompliziert ist oder aus unklaren Unterschicht-Strukturen besteht, dann wird die Teststelle mit der gleichen Geometrie implementiert wie diejenige der tatsächlich zu messenden Struktur, jedoch mit einem vereinfachten Unterschicht-Entwurf, wodurch vereinfachte Messungen der oberen Schichten ermöglicht werden.

**[0020]** Gemäß einem weiteren Aspekt der vorliegenden Erfindung wird eine Vorrichtung zum Messen wenigstens eines gewünschten Parameters einer Musterstruktur, die ein Gitter darstellt, das wenigstens einen Gitterzyklus hat, der von wenigstens zwei örtlich aneinander grenzenden Elementen gebildet wird, die unterschiedliche optische Eigenschaften in Bezug auf eine auftreffende Strahlung haben, bereitgestellt, wobei die Struktur eine Vielzahl von Merkmalen hat, die durch einen bestimmten Prozess ihrer Herstellung definiert werden, und wobei die Vorrichtung umfasst: ein Spektrometer, das einen Messbereich mit einer auftreffenden Strahlung eines vorgegebenen, im Wesentlichen breiten Wellenlängenbereiches beleuchtet und eine Spiegelreflektions-Lichtkomponente von Licht erfasst, das von dem Messbereich reflektiert wird, um gemessene Daten bereitzustellen, die für fotometrische Intensitäten von erfasstem Licht innerhalb des Wellenlängenbereiches stehen, wobei der Messbereich im Wesentlichen größer ist als eine Fläche der Struktur, die durch den Gitterzyklus definiert wird, und eine Verarbeitungseinheit, die mit dem Spektrometer verbunden ist, wobei die Verarbeitungseinheit eine Mustererkennungs-Software und eine Umsetzungseinrichtung umfasst, so dass sie auf die gemessenen Daten anspricht und Messungen lokalisiert, wobei die Verarbeitungseinrichtung so eingerichtet ist, dass sie: ein optisches Modell, das auf wenigstens einigen der Merkmale der Struktur basiert, anwendet, um theoretische Daten bereitzustellen, die für fotometrische Intensitäten von Licht stehen, das innerhalb des Wellenlängenbereiches spiegelnd von der Struktur reflektiert wird, und um den wenigstens einen gewünschten Parameter zu berechnen, und die gemessenen und die theoretischen Daten vergleicht und erfasst, ob die the-

oretischen Daten eine vorgegebene Bedingung erfüllen.

**[0021]** Vorzugsweise ist das Spektrometer mit einer Öffnungsblende versehen, die in dem optischen Pfad der spiegelnd reflektierten Lichtkomponente untergebracht ist. Der Durchmesser der Öffnungsblende wird entsprechend dem Gitterzyklus der gemessenen Struktur automatisch eingestellt. Vorzugsweise werden die einfallende Strahlung und das von dem Detektor empfangene reflektierte Licht entlang von im Wesentlichen spiegelnden Reflexionsachsen geleitet.

**[0022]** Im Besonderen befasst sich die Erfindung mit dem Messen der Höhe/Tiefe und den Breiteabmessungen auf Halbleiternrafern und wird deshalb im Folgenden in Bezug auf diese Anwendung beschrieben.

#### Kurzbeschreibung der Zeichnungen

**[0023]** Um die Erfindung zu verstehen und um darzustellen, wie diese in die Praxis umgesetzt werden kann, wird im Folgenden eine bevorzugte Ausführung durch ein nichteinschränkendes Beispiel beschrieben, wobei Bezug auf die begleitenden Zeichnungen genommen wird, in denen:

**[0024]** [Fig. 1a](#) und [Fig. 1b](#) jeweils die schematische Querschnittsansicht und die Draufsicht auf eine Art von Musterstruktur, die gemessen wird, sind,

**[0025]** [Fig. 2](#) schematisch die Hauptkomponenten einer erfindungsgemäßen Vorrichtung zum Messen der Parameter von Musterstrukturen darstellt,

**[0026]** [Fig. 3](#) eine grafische Darstellung der Hauptprinzipien der vorliegenden Erfindung ist, die die Beziehung zwischen den gemessenen und den theoretischen Daten, die durch die Vorrichtung der [Fig. 2](#) erhalten wurden, zeigt,

**[0027]** [Fig. 4](#) ein weiteres Beispiel einer Musterstruktur, die mit der Vorrichtung der [Fig. 2](#) zu messen ist, zeigt,

**[0028]** [Fig. 5a](#) und [Fig. 5b](#) ein Fließdiagramm der Hauptschritte eines erfindungsgemäßen Verfahrens darstellen und

**[0029]** [Fig. 6](#) bis [Fig. 10](#) schematische Querschnittsansichten von fünf weiteren Beispielen von Musterstrukturen sind, die durch die Vorrichtung der [Fig. 2](#) zu prüfen sind.

#### Ausführliche Beschreibung einer bevorzugten Ausführung

**[0030]** Bezug nehmend auf die [Fig. 1a](#) und [Fig. 1b](#) werden jeweils die teilweise dargestellte Querschnittsansicht und eine Draufsicht einer gitterartigen Waferstruktur, die generell mit **10** bezeichnet wird, deren Parameter zu messen sind, dargestellt. Die Struktur wird durch eine Vielzahl von Zellen, generell als **12** bezeichnet, gebildet, von denen jede einen Gitterzyklus bildet. In dem vorliegenden Beispiel werden nur drei angrenzende Zellen mit nur zwei Stapeln (oder Elementen) in jeder Zelle gezeigt, um die Darstellung zu vereinfachen. Folglich umfasst die Zelle **12** zwei Stapel **12a** und **12b**, die von unterschiedlichen Schichten gebildet werden. Genauer gesagt, enthält jeder Stapel **12a** sechs Schichten  $L_1-L_6$ , in denen die Schichten  $L_1$  und  $L_2$  jeweils die beiden Schichten  $L_1$  und  $L_{2,6}$  des Stapels **12b** bilden. Wie von konventionellen Halbleitervorrichtungen bekannt, werden Halbleiterstrukturen wie Zuleitungs-, Ableitungs- und Gateelektroden, Kondensatoren etc., in und auf einem Halbleitersubstrat (Schicht  $L_1$ ), das typischerweise aus Silizium gefertigt wird und Metallleiter (z. B. Aluminium) enthält, gebildet. Das Substrat wird durch eine isolierende Siliziumoxidverbindung (Schicht  $L_2$ ) beschichtet. Die erste Lage Metallschicht  $L_4$  (und die einzige Lage in dem vorliegenden Beispiel) wird eingefügt zwischen der oberen und der unteren Sperrsicht  $L_3$  und  $L_4$ , die aus Titannitrid (TiN) gefertigt werden, gebildet. Das Beschichten einer obersten isolierenden Siliziumoxidschicht  $L_6$  und das anschließende chemisch-mechanische Polieren (CMP), das aus Dünnen der obersten Schicht  $L_6$  besteht, vervollständigen die Herstellung. Der Aufbau einer solchen Struktur und ihr Herstellungsverfahren sind per se bekannt und müssen deshalb nicht speziell beschrieben werden.

**[0031]** Gemäß diesem speziellen Beispiel sind die zu messenden Parameter jeweils die Breiten  $W_1$  und  $W_2$  der Stapel **12a** und **12b** und die Tiefen  $d_1$  und  $d_2$  der obersten Siliziumoxidschichten  $L_6$  und  $L_{2,6}$ . Es versteht sich, dass jeder andere Parameter der Musterstruktur, wie beispielsweise Materialien und ihre optischen Eigenschaften, gemessen werden können. Im Folgenden wird auf die [Fig. 2](#) Bezug genommen, die ein System (generell mit **14** bezeichnet), das zum Ausführen der Messungen geeignet ist, darstellt. Das System **14** kann

eine der Arbeitsstationen einer Fertigungslinie (nicht gezeigt) darstellen. Die Wafer **10** werden zwischen stromaufwärts und stromabwärts liegenden Stationen der Fertigungslinie weiterbewegt. Das System **14** umfasst einen Trägerrahmen **16** zum Halten der Struktur **10** innerhalb einer Prüfebene, ein Spektrofotometer **18** und eine daran angeschlossene Prozessoreinheit **20**. Das Spektrofotometer **18** enthält typischerweise eine Lichtquelle **22** zum Erzeugen eines Lichtstrahls **24** eines vorgegebenen Wellenlängenbereichs, lichtleitende Optiken **26** und eine Detektoreinheit **28**. Die lichtleitenden Optiken **26** sind typischerweise in Form eines Strahlendefektors, der eine Objektivlinse **30** umfasst, eines Strahlenteilers **32** und eines Spiegels **34**. Die Detektoreinheit **28** umfasst typischerweise eine Bildlinse **36**, eine variable Öffnungsblende **38**, die an ihren Motor **40** gekoppelt ist und von diesem betrieben wird, und einen spektrofotometrischen Detektor **42**. Aufbau und Betrieb des Spektrofotometers **18** können jeder bekannten Art sein, beispielsweise so, wie in dem U.S.-Patent Nr. 5.517.312, das dem Abtretungsempfänger der vorliegenden Anmeldung zugeteilt wurde. Deshalb muss das Spektrofotometer **18** nicht spezieller beschrieben werden, mit Ausnahme der folgenden Anmerkung.

**[0032]** Der Lichtstrahl **24** geht durch die lichtleitenden Optiken **26** hindurch und trifft an einem bestimmten Ort, der einen Messbereich  $S_1$  definiert, auf die Struktur **10a**. Die Lichtkomponente **44**, die spiegelnd von den Reflexionszonen innerhalb des Bereichs  $S_1$  reflektiert wird, wird auf die Detektoreinheit **28** gerichtet.

**[0033]** Es sollte beachtet werden, dass generell der beleuchtete Ort der Struktur größer als der Messbereich  $S_1$  sein kann. In diesem Fall werden geeignete Optiken bereitgestellt, um auf eine konventionelle Art und Weise das Licht, das einzig von dem Teil ( $S_1$ ) innerhalb des beleuchteten Orts reflektiert wird, einzufangen. Mit anderen Worten, der Messbereich von Interesse wird in eine Punktgröße, die durch den Lichtstrahl **24** bereitgestellt wird, wenn er auf die Struktur trifft, eingefügt. Um das Verständnis dessen zu vereinfachen, wird vorausgesetzt, dass der beleuchtete Bereich, der durch den Durchmesser des auftreffenden Strahls definiert ist, den Messbereich  $S_1$  definiert.

**[0034]** Die lichtleitenden Optiken **26** und die Detektoreinheit **28** sind so ausgelegt, dass nur Lichtkomponenten nullter Ordnung des von der Struktur reflektierten Lichts **10** durch den spektrofotometrischen Detektor **42** erfasst werden. Der Aufbau ist so, dass die auftreffenden und erfassten Lichtstrahlen im Wesentlichen parallel zueinander und im Wesentlichen senkrecht zu der Fläche der Struktur **10** geleitet werden. Der Durchmesser der Öffnungsblende **38** ist variabel und wird entsprechend dem Gitterzyklus der gemessenen Struktur automatisch eingestellt. Allgemein ausgedrückt, wird der Durchmesser der Öffnungsblende optimiert, um die maximale reflektierte Intensität unter Ausschluss der Beugungsordnung zu sammeln.

**[0035]** Außerdem ist der Durchmesser des auftreffenden Strahls **24**, der den Messbereich  $S_1$ , definiert, wesentlich größer als der Flächenbereich  $S_0$ , der durch die Zelle **12** definiert wird, d. h.:

$$S_1 > S_0$$

**[0036]** Nach diesem speziellen Beispiel ist die Musterstruktur **10** eine so genannte „eindimensionale“ Struktur. Wie in der [Fig. 1b](#) deutlich zu sehen ist, sind die Stapel **12a** und **12b** entlang der x-Achse ausgerichtet, während sich die Stapel entlang der y-Achse in Bezug auf den Messbereich  $S_1$  ins Unendliche fortsetzen (uniforme Struktur). Der Messbereich  $S_1$  enthält mit anderen Worten eine Struktur, die einen Gitterzyklus oder mehrere Gitter-Zyklen aufweist, der bzw. die sich entlang der x-Achse erstreckt bzw. erstrecken und entlang der y-Achse uniform ist bzw. sind.

**[0037]** Der gesamte Oberflächenbereich  $S$  der geprüften Struktur sollte im Wesentlichen größer als der durch den Durchmesser des auftreffenden Strahls definierte Messbereich  $S_1$  sein.

$$S > S_1$$

**[0038]** Es kann der Fall sein, dass die oben beschriebenen Bedingungen in der Struktur **10** nicht verfügbar sind. Beispielsweise kann die Struktur **10** einen einzelnen Gitterzyklus enthalten. In diesem Fall sollte der aus mehr als einer Zelle **12** bestehende Messbereich  $S_1$  auf einer Teststelle (nicht gezeigt) angeordnet werden. Wenn das System **14** beispielsweise die numerische Blende von 0,2 und den Punkt durchmesser (Messbereich  $S_1$ ) von ungefähr 15  $\mu\text{m}$  bereitstellt, sollte der Mindestflächenbereich  $S$  einer Teststelle 20  $\mu\text{m}$  sein. In dem System **14** kann das NovaScan-210-Spektrofotometer, das kommerziell von Nova Measuring Instruments Ltd., Israel erhältlich ist, verwendet werden.

**[0039]** Das Spektrofotometer **18** misst die fotometrischen Intensitäten verschiedener Wellenlängen, die in der erfassten Lichtkomponente nullter Ordnung des reflektierten Strahls **44** enthalten sind. Dies wird in der [Fig. 3](#)

grafisch dargestellt und als die gestrichelte Kurve  $D_m$ , die die Messdaten bildet, gezeigt. Die Prozessoreinheit **20** umfasst eine Mustererkennungs-Software und Umsetzeinrichtungen, um so auf die gemessenen Daten anzusprechen und Messungen zu lokalisieren. Sie ist durch ein bestimmtes optisches Modell, basierend auf wenigstens einigen Merkmalen der Struktur, zum theoretischen Berechnen der fotometrischen Intensitäten von Licht verschiedener Wellenlängen, das von einer Musterstruktur reflektiert wird, vorprogrammiert. Dies wird in der [Fig. 3](#) als eine geschlossene Kurve  $D_t$ , die die theoretischen Daten bildet, gezeigt.

**[0040]** Um ein optisches Modell zu entwerfen, das dazu in der Lage ist, alle möglichen optischen Effekte, die durch die Merkmale der zu messenden Struktur vorgegeben werden und die die sich ergebenden Daten beeinflussen können, zu schätzen, sollte das Folgende berücksichtigt werden.

**[0041]** Generell wird die gesamte spiegelnde Reflexion  $R$  aus der gitterartigen Struktur von einem kohärenten Teil  $R_{coh}$  und einem inkohärenten Teil  $R_{incoh}$  gebildet. Es ist bekannt, dass Kohärenzeffekte eine wesentliche Rolle bei den Messungen spielen, wenn eine breite Bandbreitenstrahlung verwendet wird. Die Kohärenzlänge  $L$  des Lichts in dem optischen System wird durch die Strahlungsquelle und durch das optische System (Spektrofotometer) selbst bestimmt. Reflexionsamplituden von Strukturmerkmalen, die kleiner als die Kohärenzlänge sind, interagieren kohärent und erzeugen dadurch Interferenzeffekte zwischen dem Licht, das von unterschiedlichen Stapeln der Zelle reflektiert wird. Für größere Merkmale wird ein nicht zu vernachlässigender Teil des von unterschiedlichen Stapeln reflektierten Lichts inkohärenter Wechselwirkung ausgesetzt, ohne Interferenz zu erzeugen. Die Kohärenzlänge  $L$  definiert eine wechselseitige Kohärenz  $\nu$  des Lichts, das von Punkten kommt, die durch einen halben Zyklus der Gitterstruktur getrennt sind, und definiert infolgedessen den Grad der Kohärenz  $\gamma$ , d. h.:

$$L = D \cdot \gamma$$

$$\nu = \frac{2 \cdot \pi \cdot (W_1 + W_2)}{2 \cdot L}$$

$$\gamma = \left( \frac{2 \cdot J_1(\nu)}{\nu} \right)^2$$

wobei  $D$  ein variabler Parameter ist, der experimentell für das tatsächliche optische System und die Stapelstruktur, basierend auf den gemessenen Reflexionsspektren (gemessenen Daten) für Gitter von variierenden Zyklusabmessungen, bestimmt wird.  $J_L$  ist eine bekannte Bessel-Funktion. Eine adäquate Anfangseingabe zum Bestimmen des Parameters  $D$  kann durch nominale optische Systemeigenschaften gegeben sein. Folglich wird die gesamte spiegelnde Reflexion  $R$  angegeben als:

$$R = \gamma \cdot R_{coh} + (1 - \gamma) \cdot R_{incoh}$$

**[0042]** Um die möglichen optischen Effekte, die die obigen Teile des gesamten reflektierten Signals beeinflussen, zu schätzen, müssen die folgenden Hauptfaktoren, die in Bezug auf die Musterstruktur **10** ([Fig. 1a](#) und [Fig. 1b](#)) beispielhaft erläutert werden, berücksichtigt werden:

1) Füllfaktoren  $a_1$  und  $a_2$

$$a_1 = \frac{W_1}{W_1 + W_2} +$$

$$a_2 = \frac{W_2}{W_1 + W_2}$$

Diese Faktoren stellen den Beitrag nullter Ordnung dar, der jeweils nur auf dem Verhältnis der Bereiche der Stapel **12a** und **12b** in der Reflexionsberechnung basiert. Das Signal nullter Ordnung ist gegenüber kleinen Details des Gitterprofils der Struktur **1**, wie zum Beispiel Eckenabrandungen und örtlichen Neigungen, nicht empfindlich. Deshalb können die Effekte, die mit gebogtem Licht zusammenhängen, nicht berücksichtigt werden.

2) Größe-Kopplungsfaktoren  $c_1$  und  $c_2$

Wenn die Breite der Stapel nahe der Wellenlänge ist, müssen die Füllfaktoren  $a_1$  und  $a_2$  korrigiert werden, um die Kopplung der einfallenden Strahlung auf den jeweiligen Stapel zu verringern. Zu diesem Zweck müssen in die Füllfaktoren  $a_1$  und  $a_2$  jeweils so genannte „Kopplungsfaktoren“  $c_1$  und  $c_2$  eingeführt werden.

Der Kopplungsfaktor ergibt einen zu vernachlässigenden Effekt, wenn die Breite der Stapel relativ zu der Wellenlänge relativ groß ist und negiert die Wechselwirkung vollständig, wenn die Stapelbreite wesentlich kleiner als die Wellenlänge ist. Bei Verwendung einer heuristischen Exponentialfunktion, um diese Abhängigkeit anzugeben, sind die Kopplungsfaktoren wie folgt:

$$c_1 = \exp \left\{ -A \cdot \exp \frac{\lambda}{W_1} \right\}$$

$$c_2 = \exp \left\{ -A \cdot \exp \frac{\lambda}{W_2} \right\}$$

wobei  $\lambda$  die Wellenlänge der jeweiligen Lichtkomponente ist,  $A$  ein variabler Faktor, der abhängig von den Abmessungen und den Materialien der Struktur ist, ist und für die tatsächliche Stapelstruktur experimentell bestimmt wird, wie im Folgenden noch beschrieben wird.

### 3) Dissipation $b_2$ in hohlraumartigen Strukturen

Es ist oft der Fall, dass einer der Stapel wegen der geometrischen Effekte, die die Reflexion verringern, dissipativ ist, wobei diese Effekte typischerweise in hohlraumartigen Strukturen auftreten. Unter diesen geometrischen Effekten sind hohe Aspektverhältnisgräben und Wellenleiter unter den metallischen gitterartigen Strukturen. Hohe Aspektverhältnisse sind durch einen dissipativen Effekt gekennzeichnet, der die Menge von Licht, die ohne Phasenbeeinflussung zurückreflektiert wird, verringert. Beispielsweise verringern mehrfache Reflexionen in tiefen Nuten in Metall sowohl die Menge des zurückreflektierten Lichts und zerstören außerdem die Phasenbeziehung. Die Effekte oben sind für tiefe Gestaltungen relativ stark und für flache Strukturen relativ schwach (relativ zu der Wellenlänge). Eine heuristische Exponentialfunktion verwendet, um diese Abhängigkeit anzugeben, ist ein Dissipationsfaktor wie folgt gegeben:

$$b_2 = \exp \left\{ -B \cdot \frac{d_2}{\lambda} \right\}$$

wobei  $B$  ein variabler Größenparameter ist, der für die tatsächliche Stapelstruktur experimentell bestimmt wird und  $d_2$  die Tiefe des hohlraumartigen Teils des Stapels ist. Hier ist der Stapel **12b** nur beispielhaft als dissipativer definiert.

Um die richtigen Füllfaktoren zu modellieren, wird vorausgesetzt, dass die Lichtstrahlung, die aus Kopplungsaspekten nicht von dem Stapel einer bestimmten Zelle reflektiert wird, im Wesentlichen durch den bzw. die Stapel anderer Zellen reflektiert wird. Der Dissipationsfaktor  $b_2$  wird in dem verringert effektiven Füllfaktor des geometrisch dissipativen Bereichs berücksichtigt.

Infolgedessen sind die richtigen Füllfaktoren wie vorgefunden:

$$A_1 = a_1 \cdot c_1 + a_2 \cdot (1 - c_2)$$

$$A_1 = (a_2 \cdot c_2 + a_1 \cdot (1 - c_1)) \cdot b_2$$

### 4) Polarisationsfaktoren, die den Beitrag der Polarisationseffekte, die in dem Fall von Metallgittern eintreten können, darstellen:

Wenn die Breite eines Zellenstapels nahe der Wellenlänge ist, muss ein Korrekturfaktor eingeführt werden, um das Koppeln der einfallenden TE-Strahlung an dem jeweiligen Stapel wegen der Grenzbedingungen an den Kanten von Spiegellinien zu verringern. Der Polarisationsfaktor ergibt einen zu vernachlässigenden Effekt, wenn die Breite des Stapels relativ zu der Wellenlänge groß ist und negiert die Reflexion vollständig, wenn die Stapelbreite viel kleiner als die Wellenlänge ist. Infolgedessen werden die Polarisationsfaktoren  $p_1$  und  $p_2$  bestimmt:

$$p_1 = \exp \left\{ -C \frac{\lambda}{W_1} \right\}$$

$$p_2 = \exp \left\{ -C \frac{\lambda}{W_2} \right\}$$

wobei C ein variabler Parameter ist, der für die tatsächliche Stapelstruktur experimentell bestimmt wird. Es wird anerkannt, dass in der Abwesenheit eines aus Spiegellinien gebildeten Musters der optische Faktor C gleich null ist.

**[0043]** Gleichermaßen wird, um die richtigen Füllfaktoren zu modellieren, vorausgesetzt, dass die Lichtstrahlung, die aus Polarisationsaspekten nicht von dem Stapel einer bestimmten Zelle reflektiert wird, im Wesentlichen durch den bzw. die Stapel anderer Zellen reflektiert wird. Infolgedessen werden die richtigen Füllfaktoren wie folgt bestimmt:

$$A_1 = a_1 \cdot c_1 \cdot p_1 + a_2 \cdot (1 - c_2 \cdot p_2)$$

$$A_2 = a_2 \cdot c_2 \cdot p_2 + a_1 \cdot (1 - c_1 \cdot p_1) \cdot b_2$$

**[0044]** Die Intensität eines reflektierten Signals  $r(\lambda)$  aus jedem Stapel wird unter Verwendung der Schichtdickeninformation und der optischen Materialparameter (die bekannte Merkmale bilden) berechnet. Zu diesem Zweck werden die Standardformeln für die Reflexion von mehrschichtigen Stapeln verwendet, basierend auf dem Fresnelkoeffizienten der Reflexion und Übertragung an Grenzflächen als eine Funktion von Wellenlängen für den senkrechten Einfall. Die Dicke jeder Schicht ist bekannt (bereitgestellt durch den Nutzer) oder wird intern durch das Programm berechnet. Die Materialien der Schichten und infolgedessen ihre optischen Parameter, wie zum Beispiel Brechzahlen und Adsorption, sind bekannt oder werden berechnet.

**[0045]** In Anbetracht des Obigen und unter Berücksichtigung, dass sowohl die kohärenten als auch die incohärenten Teile Beiträge aus zwei Polarisierungen (z. B.  $R_{coh} = R^{(p)} + R^{(s)}$ ) enthalten, wird die Gesamtreflexion  $R$ , die die theoretischen Daten, die durch das optische Modell erhalten wurden, bildet, wie folgt bestimmt:

$$R = \left\{ |r_1 \cdot A_{1p} + r_2 \cdot A_{2p}|^2 + |r_1 \cdot A_{1s} + r_2 \cdot A_{2s}|^2 \right\} \cdot \frac{\gamma}{2} + \left\{ |r_1|^2 \cdot A_{1p}^2 + |r_2|^2 \cdot A_{2p}^2 + |r_1|^2 \cdot A_{1s}^2 + |r_2|^2 \cdot A_{2s}^2 \right\} \cdot \frac{1-\gamma}{2}$$

wobei  $r_1$  und  $r_2$  jeweils die Reflexionsamplituden aus ersten und zweiten Stapeln der Zellen sind, d. h. in dem vorliegenden Beispiel der Stapel **12a** und **12b**.

**[0046]** Von weiteren in der üblichen Praxis bekannten Effekten (wie zum Beispiel Lateralreflexion, Rauheit etc.) wurde festgestellt, dass diese unter den definierten Bedingungen einen zu vernachlässigenden Beitrag haben und diese werden bei der Anpassung der Parameter A, B, C und D berücksichtigt. Zurückkehrend zu der [Fig. 3](#), ist dort eindeutig dargestellt, dass sich die Kurven  $D_m$  und  $D_t$  nicht decken, d. h., dass die theoretischen Daten nicht genau mit den gemessenen Daten übereinstimmen. Eine geeignete Meritfunktion wird verwendet, um die Güte der Anpassung der erhaltenen Resultate zu bestimmen. Durch das Einstellen der Werte der erwünschten Parameter  $W_1$ ,  $W_2$ ,  $d_1$  und  $d_2$  werden die theoretischen Daten optimiert, bis die Güte der Anpassung einen bestimmten erwünschten Wert erreicht (der eine erforderliche Bedingung bildet). Nach dem Erkennen, dass die optimierten theoretischen Daten die erforderliche Bedingung erfüllen, werden die erwünschten Parameter der Struktur, d. h.  $W_1$ ,  $W_2$ ,  $d_1$  und  $d_2$  nach den obigen Gleichungen berechnet.

**[0047]** Es sollte beachtet werden, dass in dem allgemeinsten Fall, wenn der Gitterzyklus zwei oder mehr unterschiedliche Elemente (z. B. Stapel) umfasst, das optische Modell oben noch immer richtig ist. Die wechselseitige Kohärenz  $v'$  ist folgende:

$$v' = \frac{\pi}{L} \sum_{i=1}^n W_i$$

wobei das  $i$ -te Element (Stapel) in dem Gitterzyklus ist,  $n$  die Gesamtanzahl der Elemente innerhalb des Gitterzyklus ist und  $L$  die Kohärenzlänge ist. Für die Hauptfaktoren, auf denen das obige optische Modell basiert, ergeben sich:

– Füllfaktor

$$a_i = \frac{W_i}{\sum_{i=1}^n W_i}$$

– Kopplungsfaktor

$$c_i = \exp(-A \cdot \exp \frac{\lambda}{W})$$

– Dissipationsfaktor

$$b_m = \exp \left\{ -B_m \frac{d_m}{\lambda} \right\}$$

wobei  $m$  die Anzahl eines dissipativen Elements der  $n$  Stapel ist und  $d_m$  die Tiefe des hohlraumartigen Teils des Stapels in Beziehung zu den benachbarten Stapeln ist. Für einen nichtdissipativen Stapel,  $b_n = 1$ , wobei  $n \neq m$ :

– Polarisationsfaktor

$$p_i = \exp \left\{ -C \cdot \frac{\lambda}{W_i} \right\}$$

– korrigierter Füllfaktor

$$A_j = b_i \cdot \left[ a_i \cdot c_i \cdot p_i + \sum_{j=i(j \neq i)}^n a_j (1 - c_j \cdot p_j) \right]$$

**[0048]** In Anbetracht des Obigen ist die Gesamtreflexion folgende:

$$R' = \left| \sum_i (r_i \cdot A_{ip}) \right|^2 + \left| \sum_i (r_i \cdot A_{is}) \right|^2 \cdot \frac{\gamma}{2} + \{ \sum_i (|r_i|^2 \cdot A_{ip}^2) + \sum_i (|r_i|^2 \cdot A_{is}^2) \} \cdot \frac{1-\gamma}{2}$$

**[0049]** Bezug nehmend auf die [Fig. 4](#), wird ein Teil einer so genannten „zweidimensionalen“ Struktur **100** dargestellt, d. h. eine Struktur, die sowohl in der  $x$ -Achse als auch in der  $y$ -Achse periodisch ist. Diese Struktur **100** ist durch eine Vielzahl von Gitterzyklen, die sowohl entlang der  $x$ -Achse als auch der  $y$ -Achse ausgerichtet sind, gekennzeichnet. Der entlang der  $x$ -Achse ausgerichtete Zyklus wird aus einem Elementenpaar  $W_1$  und  $W_2$  (die Breiten der Stapel) gebildet und der entlang der  $y$ -Achse ausgerichtete Zyklus wird aus einem Elementenpaar  $G_1$  und  $G_2$  (die Längen der Stapel) gebildet. Beispielsweise können die Elemente  $G_1$  und  $G_2$  jeweils ein Metallschichtstapel und ein Block eines dielektrischen Zwischenstapels (ILD) sein. Der durch den Durchmesser des einfallenden Strahls definierte Messbereich  $S_1$  enthält wenigstens einen Zyklus in der  $x$ -Richtung und wenigstens einen Zyklus in der  $y$ -Richtung (in dem vorliegenden Beispiel mehrere Zyklen).

**[0050]** Allgemein gesagt, kann der Zyklus in entweder der  $x$ - oder der  $y$ -Achse aus mehreren Elementen (Stapeln) bestehen. Wenn der Messbereich  $S_1$  kleiner als der Flächenbereich, der durch den Gitterzyklus entlang den Achsen  $x$  oder  $y$  definiert ist, ist, wird die Gesamtreflexion (theoretische Daten) in der oben in Bezug auf die eindimensionale Struktur **10** ([Fig. 1a](#) und [Fig. 1b](#)) beschriebenen Art und Weise bestimmt. Wenn der Messbereich größer als der durch den Gitterzyklus sowohl entlang der  $y$ -Achse als auch der  $y$ -Achse definierte Flächenbereich ist, dann ergibt sich für die Gesamtreflexion  $R_{2D}$  einer solchen 2D-Struktur:

$$R_{2D} = \frac{G_1}{G_1 + G_2} \cdot R_{G1} + \frac{G_2}{G_1 + G_2} \cdot R_{G2}$$

wobei  $R_{G1}$  und  $R_{G2}$  Intensitäten des Reflexionssignals aus den beiden eindimensionalen Strukturen sind, die entlang der  $y$ -Achse ausgerichtet sind und jeweils die Breiten  $G_1$  und  $G_2$  aufweisen. Es sollte beachtet werden, dass die  $y$ -Achse nicht mehr als eine Notation ist, d. h., dass sie keine physikalische Signifikanz hat und mit der  $x$ -Achse ausgetauscht werden kann. Für den allgemeinen Fall von  $k$  Elementen in dem entlang der  $y$ -Achse ausgerichteten Zyklus ergibt sich:

$$R_{2D} = \frac{\sum_{i=1}^k G_i \cdot R_{Gi}}{\sum_{i=1}^k G_i}$$

wobei  $R_{Gi}$  und  $G_i$  die Reflexionsintensität aus dem  $i$ -ten Element und dessen Breite sind.

**[0051]** Im Allgemeinen wird der Achsenort zum Berechnen der Reflexionsintensitäten  $R_{G1}$  so ausgewählt, dass er das Folgende erfüllt:

$$G1 + G_2 > W_1 + W_2$$

**[0052]** Wenn die Bedingung oben nicht erfüllt wird, dann werden die beiden Achsen dementsprechend ausgetauscht.

**[0053]** Die Hauptprinzipien des erfindungsgemäßen Verfahrens werden im Folgenden unter Bezugnahme auf die [Fig. 5a](#) und [Fig. 5b](#) beschrieben. Die Struktur des erforderlichen Messbereichs wird untersucht (Schritt **46**), um so zu bestimmen; ob die oben dargestellte Messbereichsbedingung innerhalb des vorhandenen Musters erfüllt ist (Schritt **48**). Wenn diese Bedingung nicht erfüllt ist, wird eine Teststellenstruktur, die diese Bedingung erfüllt, auf der Maske entworfen (Schritt **50**), wobei die Teststelle typischerweise innerhalb des so genannten „Randbereichs“ bereitgestellt wird.

**[0054]** Dann wird, generell in Schritt **52**, der Betriebsmodus des anfänglichen Lernens durchgeführt. Der Lernmodus zielt einerseits darauf ab, die gemessenen Daten bereitzustellen und zielt andererseits darauf ab, das optische Modell zu optimieren. Während des Lern-Lernmodus arbeitet das System **14** in der Art und Weise, die zuvor für das Erfassen des von dem beleuchteten Bereich reflektierten Lichts im Wesentlichen nullter Ordnung und für das Erhalten der gemessenen Daten in Form von fotometrischen Intensitäten jeder Wellenlänge innerhalb des Wellenlängenbereichs der einfallenden Strahlung beschrieben wurde (Schritt **54**). Gleichzeitig wendet der Prozessor **20** das oben beschriebene optische Modell zum Erhalten der theoretischen Daten an (Schritt **56**) und vergleicht die gemessenen Daten (Schritt **58**). Das optische Modell basiert auf bekannten Merkmalen der Struktur und auf nominalen Werten unbekannter Merkmale (d. h. der erwünschten zu messenden Parameter), die durch den Nutzer bereitgestellt werden. Bei diesem Arbeitsgang wird die Beziehung zwischen den theoretischen Daten und den gemessenen Daten mit einer bestimmten Bedingung verglichen (Schritt **62**). Wenn die Bedingung erfüllt ist, werden die richtigen Werte für die Parameter A, B, C und D berechnet (Schritt **64**) und ein optimiertes optisches Modell wird erhalten (Schritt **66**). Wenn die Bedingung nicht erfüllt ist, dann werden die optischen Modellfaktoren A, B, C und D und die unbekannten Merkmale angepasst (Schritt **60**), bis die Bedingung erfüllt ist. Es sollte beachtet werden, dass, obwohl es nicht speziell dargestellt wurde, in diesem anfänglichen Lernarbeitsgang die erwünschten Parameter berechnet werden können.

**[0055]** Danach wird, generell in dem Schritt **68**, der Messmodus des Betriebs durchgeführt. Zu diesem Zweck werden die gemessenen und die theoretischen Daten gleichzeitig erzeugt (jeweils in den Schritten **70** und **71**). Es wird anerkannt, dass die jetzt erzeugten theoretischen Daten auf den bekannten Parametern der Struktur, auf zuvor berechneten Korrekturwerten, auf den optischen Faktoren A, B, C und D und auf den nominalen Werten der erwünschten Parameter, die zu messen sind, basieren. Gleichermaßen werden die optimierten theoretischen Daten mit den gemessenen Daten verglichen, um auf diese Art und Weise zu bestimmen, ob die theoretischen Daten eine erforderliche Bedingung erfüllen oder nicht (Schritt **74**), z. B., ob die Güte der Anpassung von einem erwünschten Wert ist. Falls ja, werden die erwünschten Parameter berechnet (Schritt **76**) und falls nicht, werden die erwünschten Parameter angepasst (Schritt **78**), bis die theoretischen Daten im Wesentlichen mit den gemessenen Daten übereinstimmen. Falls erwünscht, wird dann der Messmodus (Schritt **68**) wiederholt, um einen weiteren Ort auf der Struktur zu prüfen (Schritt **80**).

**[0056]** Bezug nehmend auf die [Fig. 6](#) und [Fig. 7](#), werden auf eine ohne weiteres verständliche Art und Weise zwei Beispiele von Musterstrukturen, denen jeweils die **110** und die **210** zugewiesen wurde, dargestellt, die durch das System **14** in der oben beschriebenen Art und Weise untersucht werden können. Jede der Strukturen **110** und **120** besteht jeweils aus den Zellen **112** und **212**, jede Zelle enthält zwei Stapel, die aus unterschiedlichen Schichten gebildet werden. Die in dieser Struktur zu messenden Parameter sind jeweils die Breite der Fotolackschicht auf dem Aluminium und die Tiefe des geätzten Bereichs (Luft) innerhalb der Siliziumoxid-Schicht.

**[0057]** Bezug nehmend auf die [Fig. 8](#) und [Fig. 9](#), werden zwei weitere Beispiele von Musterstrukturen, denen jeweils die **310** und die **410** zugewiesen wurde, gezeigt, deren Parameter gemäß der Erfindung gemessen werden können. Hier sind die Parameter, die zu messen sind, jeweils die Breite und die Dicke der Aluminium-Schicht auf dem Siliziumoxid und die verbleibende Dicke der Metallschicht auf der Siliziumoxidschicht, die chemisch-mechanischen Polieren unterzogen wird.

**[0058]** Es wird anerkannt, dass in den Strukturen **310** und **410**, wegen des Vorhandenseins von geprägtem Metall in beiden Strukturen, Polarisationseffekte vorhanden sind, während diese in den Strukturen **110** und **210**

schwach sind.

**[0059]** Die [Fig. 10](#) stellt eine Musterstruktur **510** dar, die Kupfer unter und zwischen jeder zweiten auf SiO<sub>2</sub> basierende Schicht aufweist, was als dielektrische isolierende Zwischenschicht (ILD) bekannt ist. CMP-Arbeitsgänge, die auf eine derartige, auf Kupfer basierenden, Struktur **510** angewendet werden, resultieren typischerweise in dem Verlust von Kupferteilen, generell bei P<sub>i</sub>, ein so genannter „Scheibenwölbungseffekt“. Dieser Effekt hängt mit den Eigenschaften von Kupfer (z. B. dessen weicherer Natur im Vergleich mit anderen Metallen) und mit der mechanischen Natur des auf Kupfer basierenden CMP-Arbeitsvorgangs zusammen. Die zu messenden Parameter sind die Tiefen d<sub>1</sub> und d<sub>2</sub> von jeweils der obersten ILD-Isolationsschicht und die des mit dem Wölben zusammenhängenden Teils P<sub>i</sub>. In bestimmten Fällen kann, abhängig von den Schichtstapeln, die Metalldicke (durch d<sub>1</sub>-d<sub>2</sub>) bestimmt werden.

**[0060]** Die Fachleute in dieser Technik werden leicht anerkennen, dass viele Modifikationen und Änderungen auf die Erfindung, die hier zuvor beispielhaft dargestellt wurde, angewendet werden können, ohne von dem Geltungsbereich der Erfindung, der in den angehängten Patentansprüchen und durch diese definiert ist, abzuweichen. Beispielsweise kann die Musterstruktur jede andere Anzahl von Zellen umfassen, wobei jede Zelle von jeder anderen Anzahl von Stapeln gebildet wird. In den folgenden Patentansprüchen des Verfahrens werden die Zeichen, die verwendet werden, um die Schritte in den Ansprüchen zu bezeichnen, nur aus Gründen der Bequemlichkeit bereitgestellt und verlangen keine bestimmte Reihenfolge der Durchführung der Schritte.

### Patentansprüche

1. Verfahren zum Messen wenigstens eines gewünschten Parameters einer Musterstruktur (**10, 100, 110, 210, 310, 410, 510**), die ein Gitter darstellt, das wenigstens einen Zyklus (**12**) hat, der von wenigstens zwei örtlich aneinandergrenzenden Elementen (**12a, 12b**) gebildet wird, die unterschiedliche optische Eigenschaften in Bezug auf eine auftreffende Strahlung haben, wobei die Struktur eine Vielzahl von Merkmalen hat, die durch einen bestimmten Prozess ihrer Herstellung definiert werden, und wobei das Verfahren die folgenden Schritte umfasst:

- Bereitstellen eines optischen Modells, das auf wenigstens einigen der Merkmale der Struktur basiert und mit dem theoretischen Daten (D<sub>t</sub>) bestimmt werden können, die für fotometrische Intensitäten von Lichtkomponenten unterschiedlicher Wellenlängen stehen, die spiegelnd von der Struktur reflektiert werden, und mit dem der wenigstens eine gewünschte Parameter der Struktur berechnet werden kann;
- Beleuchten eines Messbereiches (S<sub>1</sub>) mit einer auftreffenden Strahlung eines vorgegebenen, im Wesentlichen breiten Wellenlängenbereiches, wobei der Messbereich (S<sub>1</sub>) im Wesentlichen größer ist als eine Fläche der Struktur, die durch den Gitter-Zyklus definiert wird;
- Erfassen von Lichtkomponenten, die im Wesentlichen spiegelnd von dem Messbereich (S<sub>1</sub>) reflektiert werden, und Gewinnen gemessener Daten (D<sub>m</sub>), die für fotometrische Intensitäten jeder Wellenlänge innerhalb des Wellenlängenbereiches stehen;
- Analysieren der gemessenen Daten und der theoretischen Daten und Optimieren des optischen Modells, bis die theoretischen Daten eine vorgegebene Bedingung erfüllen; und
- Berechnen des wenigstens einen Parameters der Struktur, wenn erfasst wird, dass die vorgegebene Bedingung erfüllt ist.

2. Verfahren nach Anspruch 1, wobei die wenigstens einigen Merkmale der Struktur, auf denen das optische Modell basiert, vor den Messungen verfügbar sind.

3. Verfahren nach Anspruch 1, wobei die wenigstens einigen Merkmale der Struktur, auf denen das optische Modell basiert, Nennwerte der zu messenden gewünschten Parameter umfassen.

4. Verfahren nach Anspruch 1, wobei die wenigstens einigen Merkmale der Struktur, auf denen das optische Modell basiert, Materialien umfassen, die jedes der wenigstens zwei Elemente bilden.

5. Verfahren nach Anspruch 1, wobei der Schritt des Bereitstellens des optischen Modells den folgenden Schritt umfasst:

Schätzen bekannter optischer Effekte, die in der Struktur in Reaktion auf auftreffende Strahlung erzeugt werden können, und des Beitrags der optischen Effekte zu der erfassten Lichtkomponente.

6. Verfahren nach Anspruch 1, wobei jedes der wenigstens zwei Elemente ein Stapel ist, der Schichten mit unterschiedlichen optischen Eigenschaften enthält.

7. Verfahren nach Anspruch 5, wobei jedes der wenigstens zwei Elemente ein Stapel ist, der Schichten mit unterschiedlichen optischen Eigenschaften enthält, und das Schätzen umfasst:

I) Schätzen einer Spiegelreflektion innerhalb des Gitterzyklus, die mit der Breite von Stapeln relativ zu der Wellenlänge der auftreffenden Strahlung und mit der Dissipation in den Stapeln mit einer Form zusammenhängt, die Reflektion aufgrund hohlraumartiger Strukturen verringert;

II) Schätzen von Interferenz in transparenten Schichten innerhalb jedes Stapels und zwischen Lichtstrahlen, die von jedem Stapel innerhalb des Gitter-Zyklus reflektiert werden.

III) Schätzen von Polarisation, die mit der Wechselwirkung der auftreffenden Strahlung mit gemusterten leitenden Schichten der gitterartigen Struktur zusammenhängt;

IV) Schätzen von Effekten, die mit der Kohärenzlänge der Beleuchtung zusammenhängen.

8. Verfahren nach Anspruch 1, wobei das Analysieren den folgenden Schritt umfasst:

Vergleichen der theoretischen Daten mit den gemessenen Daten und Bereitstellen von Daten, die die Beziehung zwischen den gemessenen und den theoretischen Daten anzeigen.

9. Verfahren nach Anspruch 1, wobei das Optimieren die folgenden Schritte umfasst:

Regulieren bestimmter variabler Faktoren des optischen Modells, bis die theoretischen Daten die vorgegebene Bedingung erfüllen, und Gewinnen korrekter Werte der Faktoren des optischen Modells.

10. Verfahren nach Anspruch 9, wobei die bestimmten variablen Faktoren des optischen Modells Beiträge bekannter optischer Effekte zu der erfassten Lichtkomponente definieren.

11. Verfahren nach Anspruch 1, wobei die vorgegebene Bedingung eine Gütfunktion darstellt, die einen bestimmten Wert einer Güte der Anpassung zwischen den gemessenen und den theoretischen Daten definiert.

12. Verfahren nach Anspruch 1, wobei das Optimieren den folgenden Schritt umfasst:

Regulieren des wenigstens einen gewünschten Parameters, bis die theoretischen Daten die vorgegebene Bedingung erfüllen.

13. Verfahren nach Anspruch 1, wobei der Messbereich ein Teil der zu messenden Struktur ist.

14. Verfahren nach Anspruch 1, wobei der Messbereich sich auf einer Teststelle befindet, die ein Testmuster darstellt, das dem der Struktur gleicht, wobei das Testmuster die gleichen Entwurfsregeln und Schichtstapel hat.

15. Verfahren nach Anspruch 1, wobei die theoretischen Daten entsprechend der folgenden Gleichung bestimmt werden:

$$R = \left\{ \left| r_1 \cdot A_{1p} + r_2 \cdot A_{2p} \right|^2 + \left| r_1 \cdot A_{1s} + r_2 \cdot A_{2s} \right|^2 \right\} \cdot \frac{\gamma}{2} \\ + \left\{ \left| r_1 \right|^2 \cdot A^2_{1p} + \left| r_2 \right|^2 \cdot A^2_{2p} + \left| r_1 \right|^2 \cdot A^2_{1s} + \left| r_2 \right|^2 \cdot A^2_{2s} \right\} \cdot \frac{1-\gamma}{2}$$

wobei  $r_1$  und  $r_2$  jeweils die Amplituden von Reflektionssignalen von den zwei Elementen sind;  $A_{1p}$ ,  $A_{1s}$  und  $A_{2p}$ ,  $A_{2s}$  Füllfaktoren sind, die entsprechend Effekten der Größenabhängigkeit und der Dissipation in einer hohlraumartigen Struktur und s- bzw. p-Polarisationen korrigiert werden, die mit den zwei Elementen verbunden sind;  $\gamma$  ein Grad der Kohärenz ist.

16. Verfahren nach Anspruch 1, wobei die theoretischen Daten entsprechend der folgenden Gleichung bestimmt werden:

$$R' = \left\{ \left| \sum_i (r_i \cdot A_{ip}) \right|^2 + \left| \sum_i (r_i \cdot A_{is}) \right|^2 \right\} \cdot \frac{\gamma}{2} + \left\{ \sum_i (\left| r_i \right|^2 \cdot A^2_{ip}) + \sum_i (\left| r_i \right|^2 \cdot A^2_{is}) \right\} \cdot \frac{1-\gamma}{2}$$

wobei  $r_i$  die Amplitude des Reflektionssignals von dem i-ten Element in dem wenigstens einen Zyklus ist;  $A_{ip}$  und  $A_{is}$  Füllfaktoren sind, die entsprechend Effekten der Dissipation in einer hohlraumartigen Struktur und s- bzw. p-Polarisationen korrigiert werden, die mit dem i-ten Element in dem wenigstens einen Zyklus verbunden sind;  $\gamma$  ein Grad der Kohärenz ist.

17. Verfahren nach Anspruch 1, wobei die Struktur wenigstens einen zusätzlichen Zyklus umfasst, der von

wenigstens zwei verschiedenen örtlich aneinandergrenzenden Elementen gebildet wird, die entlang einer Achse senkrecht zu einer Ausrichtachse der Elemente des wenigstens einen Zyklus ausgerichtet sind.

18. Verfahren nach Anspruch 17, wobei die theoretischen Daten entsprechend der folgenden Gleichung bestimmt werden:

$$R_{2D} = \frac{\sum_{i=1}^k G_i \cdot R_{G_i}}{\sum_{i=1}^k G_i}$$

wobei  $R_{G_i}$  und  $G_i$  die Reflektionsintensität von dem i-ten Element bzw. dessen Breite sind; k die Gesamtzahl von Elementen ist.

19. Verfahren nach Anspruch 1, wobei der wenigstens eine zu messende gewünschte Parameter eine Breite wenigstens eines der wenigstens zwei örtlich aneinandergrenzenden Elemente in dem Gitter-Zyklus ist.

20. Verfahren nach Anspruch 6, wobei der wenigstens eine zu messende gewünschte Parameter eine Breite wenigstens eines der wenigstens zwei örtlich aneinandergrenzenden Elemente in dem Gitter-Zyklus ist.

21. Verfahren nach Anspruch 6, wobei der wenigstens eine zu messende gewünschte Parameter eine Tiefe wenigstens einer Schicht des wenigstens einen Stapels ist.

22. Verfahren nach Anspruch 6, wobei der wenigstens eine zu messende gewünschte Parameter eine Tiefe eines Metallverlusts-Abschnitts ist, der durch ein chemischmechanisches Polieren entsteht, dem die Struktur unterzogen wird.

23. Vorrichtung zum Messen wenigstens eines gewünschten Parameters einer Musterstruktur (**10, 100, 110, 210, 310, 410, 510**), die ein Gitter darstellt, das wenigstens einen Gitter-Zyklus (**12**) hat, der von wenigstens zwei örtlich aneinandergrenzenden Elementen (**12a, 12b**) gebildet wird, die unterschiedliche optische Eigenschaften in Bezug auf eine auftreffende Strahlung haben, wobei die Struktur eine Vielzahl von Merkmalen hat, die durch einen bestimmten Prozess ihrer Herstellung definiert werden, und wobei die Vorrichtung umfasst:

ein Spektrometer (**14**), das einen Messbereich ( $S_1$ ) mit einer auftreffenden Strahlung eines vorgegebenen, im Wesentlichen breiten Wellenlängenbereiches beleuchtet und eine Spiegelreflektions-Lichtkomponente von Licht erfasst, das von dem Messbereich ( $S_1$ ) reflektiert wird, um gemessene Daten ( $D_m$ ) bereitzustellen, die für fotometrische Intensitäten von erfasstem Licht innerhalb des Wellenlängenbereiches stehen, wobei der Messbereich ( $S_1$ ) im Wesentlichen größer ist als eine Fläche der Struktur, die durch den Gitter-Zyklus definiert wird; und

eine Verarbeitungseinheit (**20**), die mit dem Spektrometer verbunden ist, wobei die Verarbeitungseinheit eine Mustererkennungs-Software und eine Umsetzungseinrichtung umfasst, so dass sie auf die gemessenen Daten anspricht und Messungen lokalisiert, wobei die Verarbeitungseinrichtung so eingerichtet ist, dass sie: ein optisches Modell, das auf wenigstens einigen der Merkmale der Struktur basiert, anwendet, um theoretische Daten ( $D_t$ ) bereitzustellen, die für fotometrische Intensitäten von Licht stehen, das innerhalb des Wellenlängenbereiches spiegelnd von der Struktur reflektiert wird, und um den wenigstens einen gewünschten Parameter zu berechnen, und

die gemessenen und die theoretischen Daten vergleicht und erfasst, ob die theoretischen Daten eine vorgegebene Bedingung erfüllen.

24. Vorrichtung nach Anspruch 23, wobei das Spektrometer einen spektrofotometrischen Detektor (**42**) und eine Blende mit variabler Öffnung (**38**) umfasst, die sich auf dem Lichtweg von Licht befindet, das zu dem Detektor gelangt, wobei der Durchmesser der Öffnungsblende entsprechend dem Gitter-Zyklus der gemessenen Struktur verändert werden kann.

25. Vorrichtung nach Anspruch 23, wobei sich der Messbereich innerhalb des gemusterten Bereichs der Struktur befindet.

26. Vorrichtung nach Anspruch 23, wobei sich der Messbereich innerhalb einer Teststelle befindet, die sich außerhalb des gemusterten Bereichs der Struktur befindet.

27. Vorrichtung nach Anspruch 23, wobei die theoretischen Daten entsprechend der folgenden Gleichung bestimmt werden:

$$R = \left\{ \left| r_1 \cdot A_{1p} + r_2 \cdot A_{2p} \right|^2 + \left| r_1 \cdot A_{1s} + r_2 \cdot A_{2s} \right|^2 \right\} \cdot \frac{\gamma}{2} \\ + \left\{ \left| r_1 \right|^2 \cdot A^2_{1p} + \left| r_2 \right|^2 \cdot A^2_{2p} + \left| r_1 \right|^2 \cdot A^2_{1s} + \left| r_2 \right|^2 \cdot A^2_{2s} \right\} \cdot \frac{1-\gamma}{2}$$

wobei  $r_1$  und  $r_2$  jeweils die Amplituden des Reflektionssignals von den zwei Elementen sind;  $A_{1p}$ ,  $A_{1s}$  und  $A_{2p}$ ,  $A_{2s}$  Füllfaktoren sind, die entsprechend Effekten der Größenabhängigkeit und der Dissipation in einer hohlraumartigen Struktur sowie s- bzw. p-Polarisationen korrigiert werden, die jeweils mit den zwei Elementen verbunden sind;  $\gamma$  ein Grad der Kohärenz ist.

28. Vorrichtung nach Anspruch 23, wobei die theoretischen Daten entsprechend der folgenden Gleichung bestimmt werden:

$$R' = \left\{ \sum_i (r_i \cdot A_{ip}) \right\}^2 + \left\{ \sum_i (r_i \cdot A_{is}) \right\}^2 \cdot \frac{\gamma}{2} + \left\{ \sum_i (|r_i|^2 \cdot A^2_{ip}) + \sum_i (|r_i|^2 \cdot A^2_{is}) \right\} \cdot \frac{1-\gamma}{2}$$

wobei  $r_i$  die Amplitude des Reflektionssignals von dem i-ten Element in dem wenigstens einen Zyklus ist;  $A_{ip}$  und  $A_{is}$  Füllfaktoren sind, die entsprechend Effekten der Größenabhängigkeit und der Dissipation in einer hohlraumartigen Struktur sowie s- bzw. p-Polarisationen korrigiert werden, die mit dem i-ten Element in dem wenigstens einen Zyklus jeweils verbunden sind,  $\gamma$  ein Grad der Kohärenz ist.

29. Vorrichtung nach Anspruch 29, wobei die theoretischen Daten entsprechend der folgenden Gleichung bestimmt werden:

$$R_{2D} = \frac{\sum_{i=1}^k G_i \cdot R_{G_i}}{\sum_{i=1}^k G_i}$$

wobei  $R_{G_i}$  und  $G_i$  die Reflektionsintensität von dem i-ten Element bzw. dessen Breite sind;  $k$  die Gesamtzahl von Elementen ist.

30. Vorrichtung nach Anspruch 23, wobei die Struktur wenigstens einen zusätzlichen Zyklus umfasst, der von wenigstens zwei verschiedenen örtlich aneinandergrenzenden Elementen gebildet wird, die entlang einer Achse senkrecht zu einer Ausrichtachse der Elemente des wenigstens einen Zyklus ausgerichtet sind.

31. Vorrichtung nach Anspruch 23, wobei jedes der wenigstens zwei Elemente ein Stapel ist, der Schichten mit unterschiedlichen optischen Eigenschaften enthält.

32. Vorrichtung nach Anspruch 23, wobei der wenigstens eine zu messende gewünschte Parameter eine Breite ( $W_1$ ,  $W_2$ ) wenigstens eines der wenigstens zwei örtlich aneinandergrenzenden Elemente in dem Gitter-Zyklus ist.

33. Vorrichtung nach Anspruch 31, wobei der wenigstens eine zu messende gewünschte Parameter eine Breite ( $W_1$ ,  $W_2$ ) wenigstens eines der wenigstens zwei örtlich aneinandergrenzenden Elemente in dem Gitter-Zyklus ist.

34. Vorrichtung nach Anspruch 31, wobei der wenigstens eine zu messende gewünschte Parameter eine Tiefe ( $d_1$ ,  $d_2$ ) wenigstens einer Schicht des wenigstens einen Stapels ist.

35. Vorrichtung nach Anspruch 31, wobei der wenigstens eine zu messende gewünschte Parameter eine Tiefe ( $d_2$ ) eines Metallverlust-Abschnitts ( $P_i$ ) ist, der durch ein chemisch-mechanisches Polieren entsteht, dem die Struktur unterzogen wird.

Es folgen 7 Blatt Zeichnungen

## Anhängende Zeichnungen

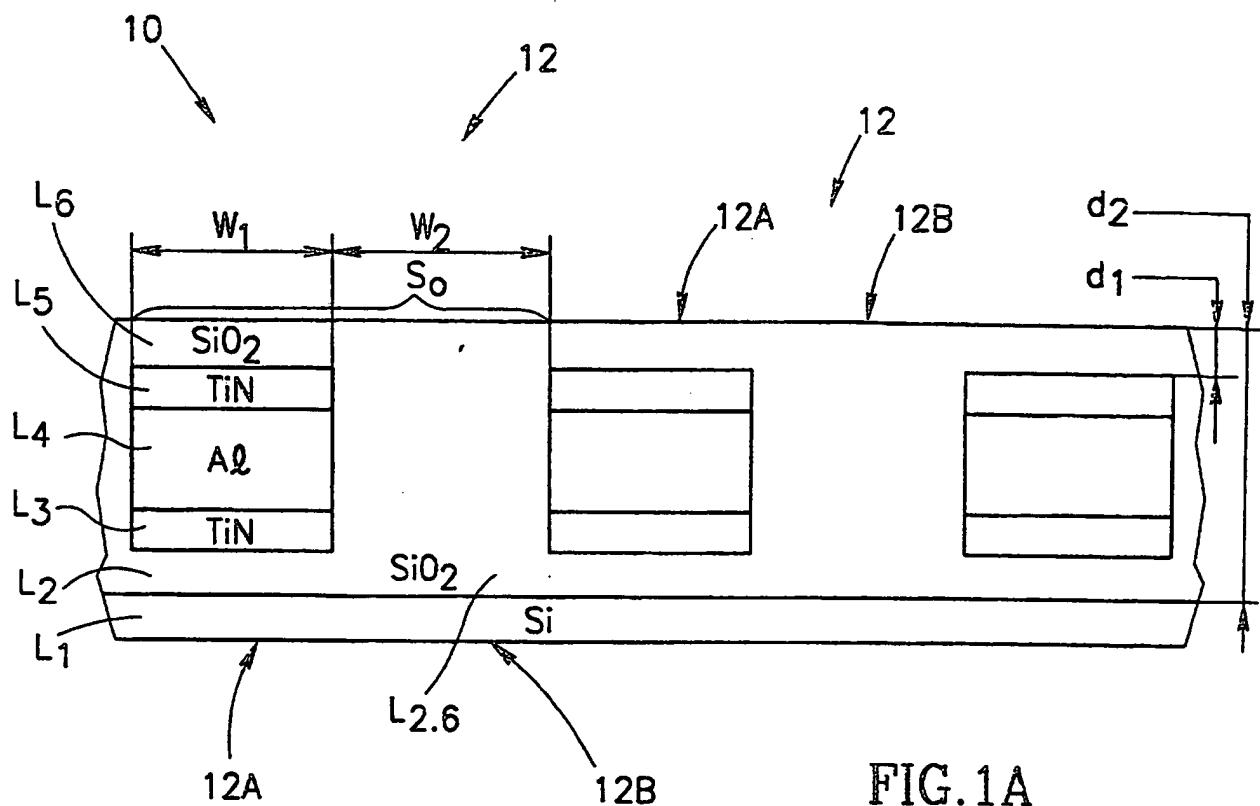


FIG. 1A

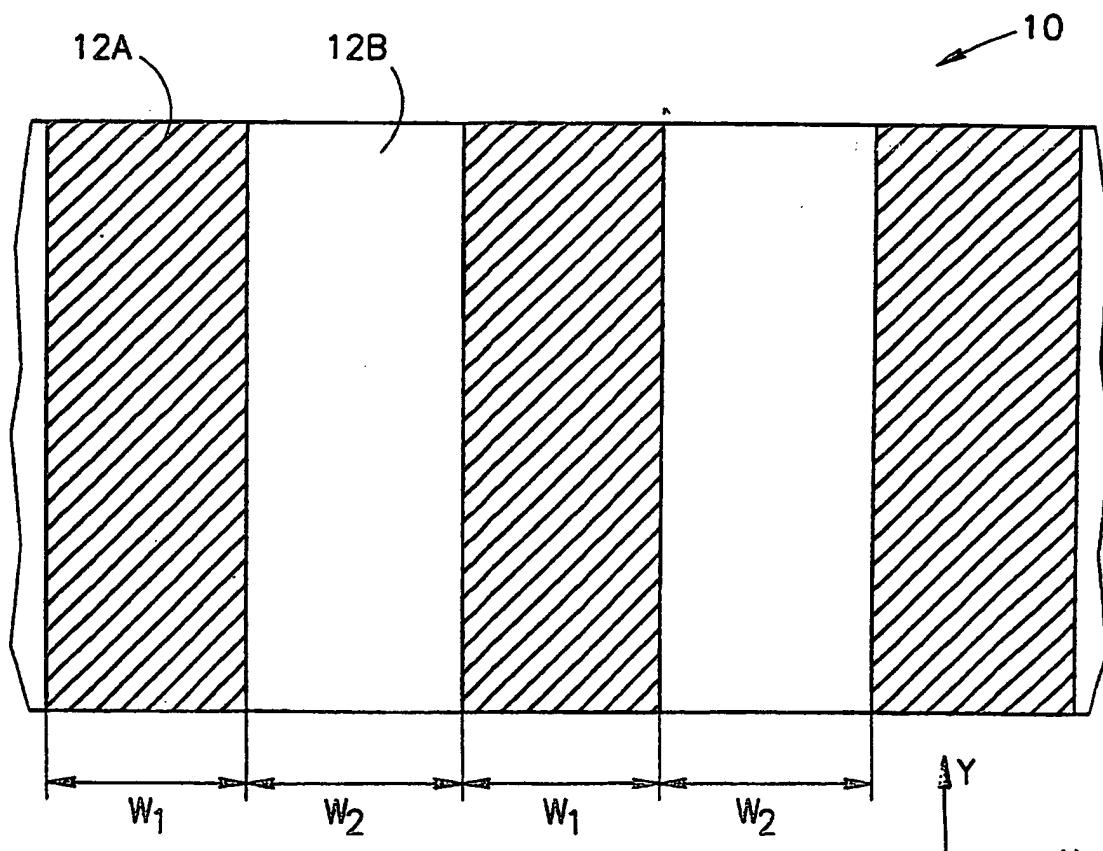


FIG. 1B

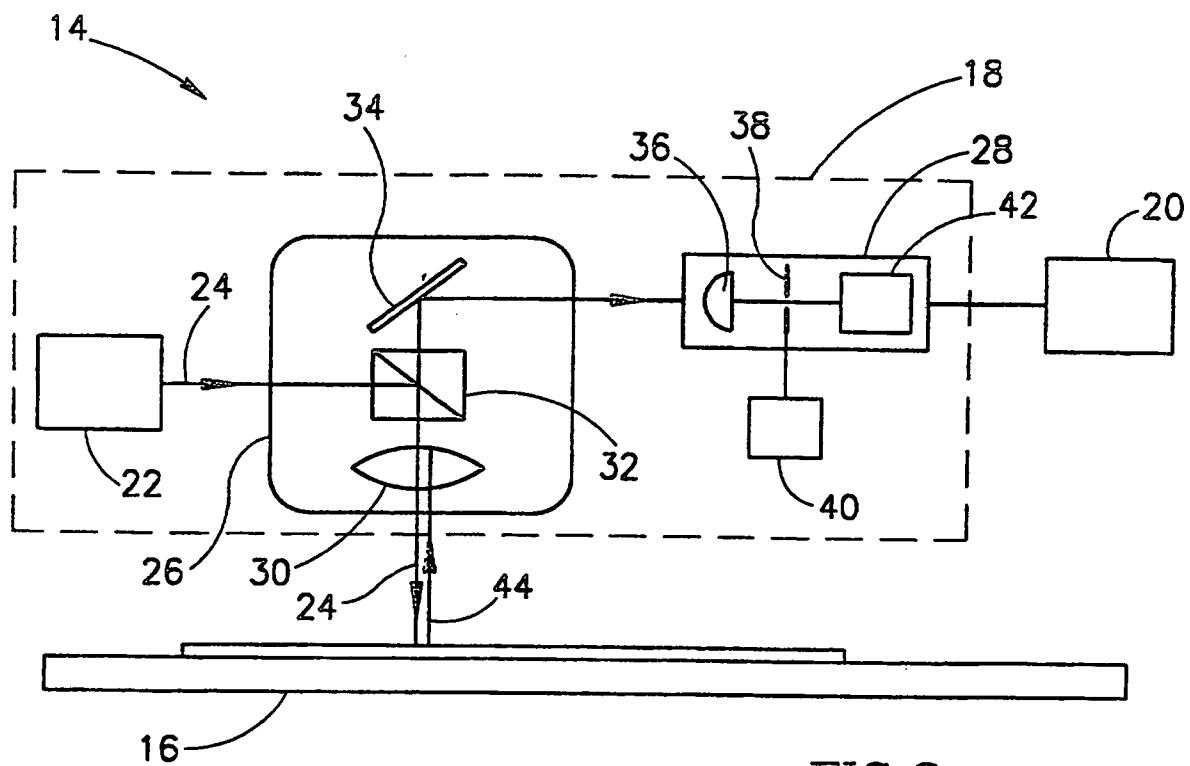


FIG.2

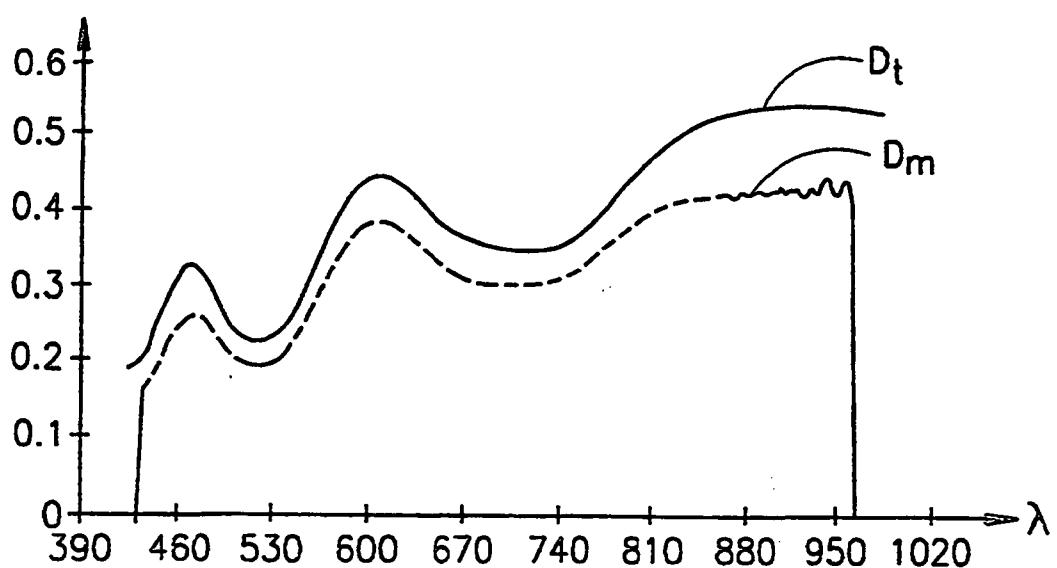


FIG.3

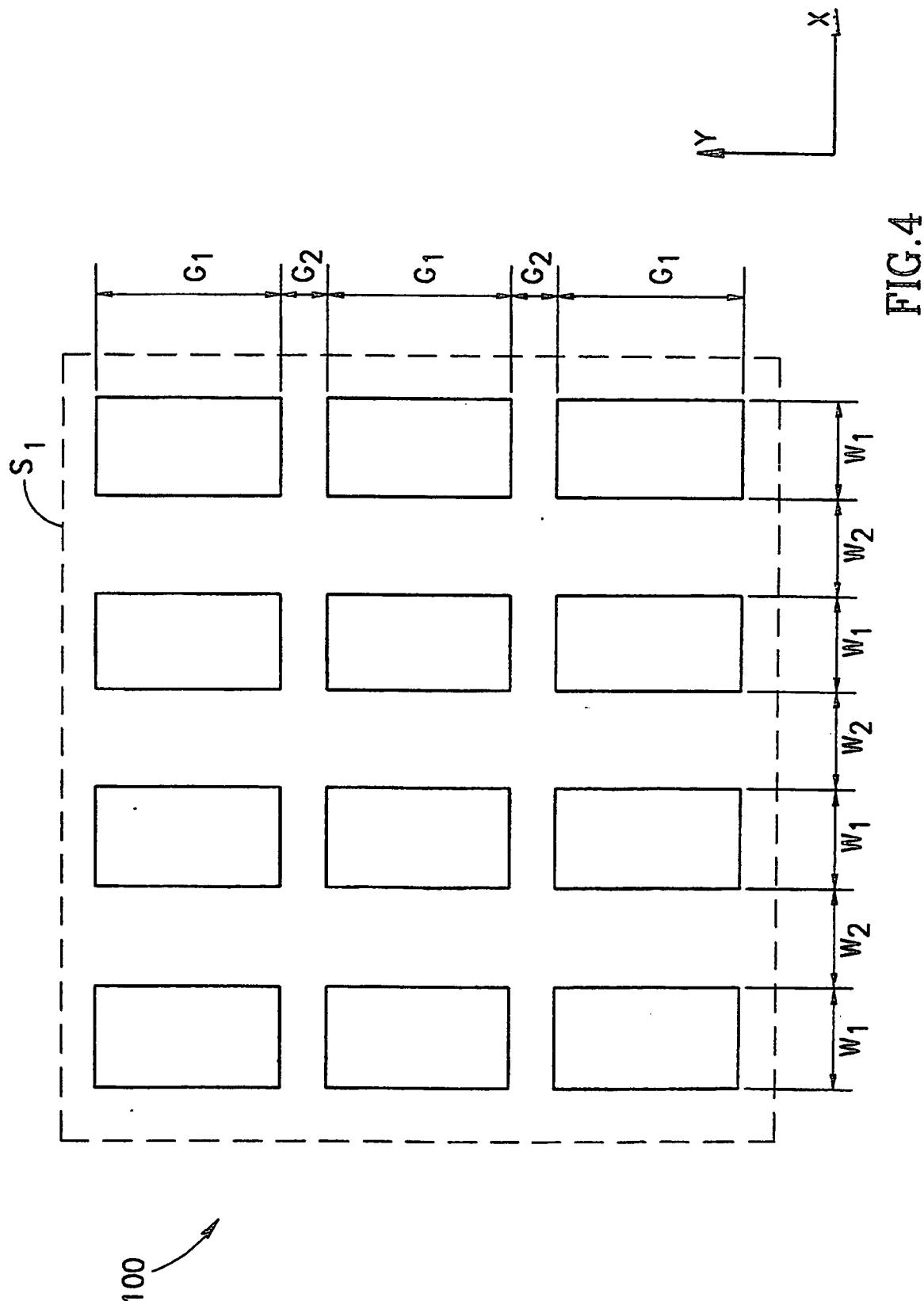
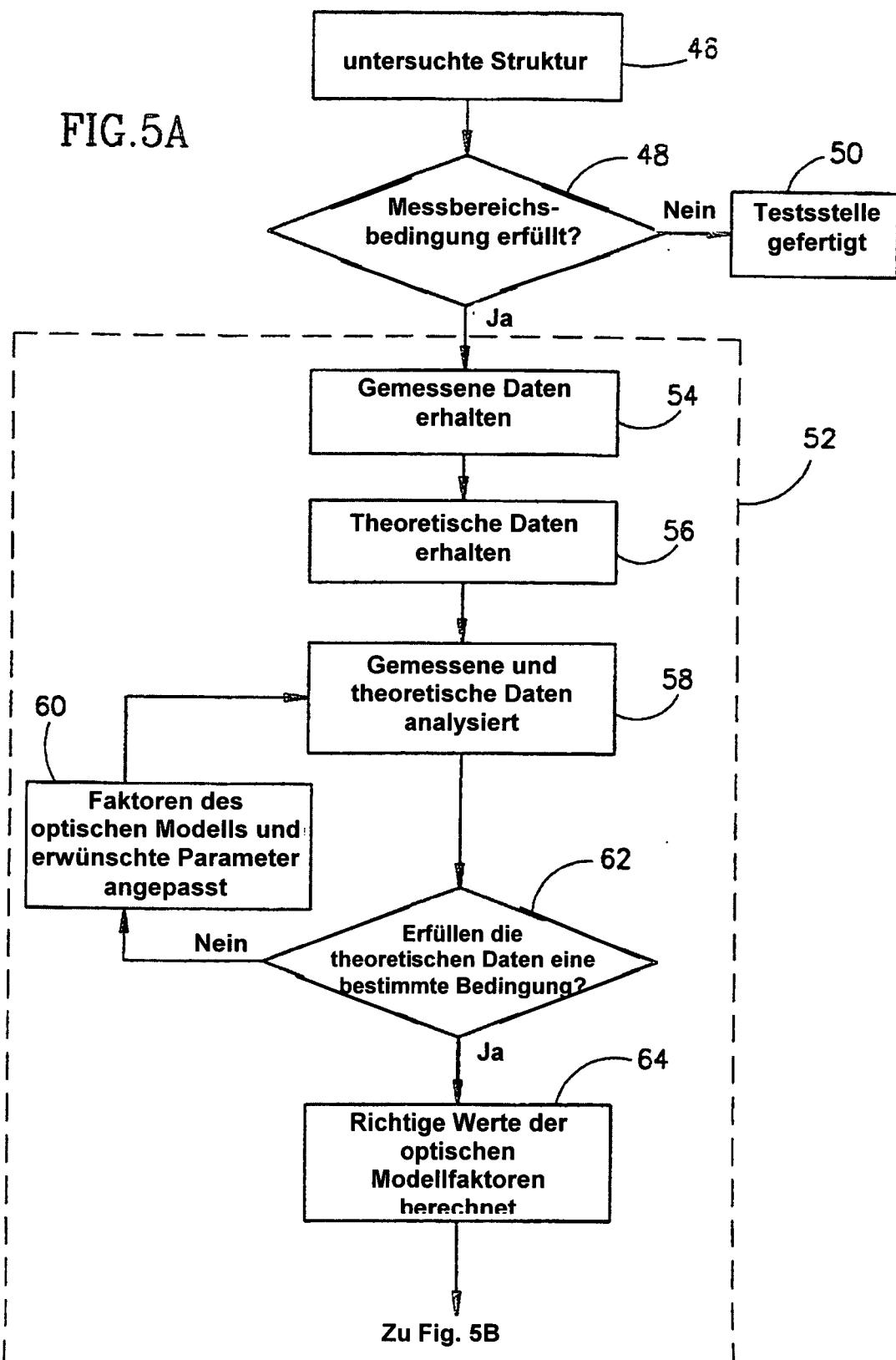


FIG. 4

FIG.5A



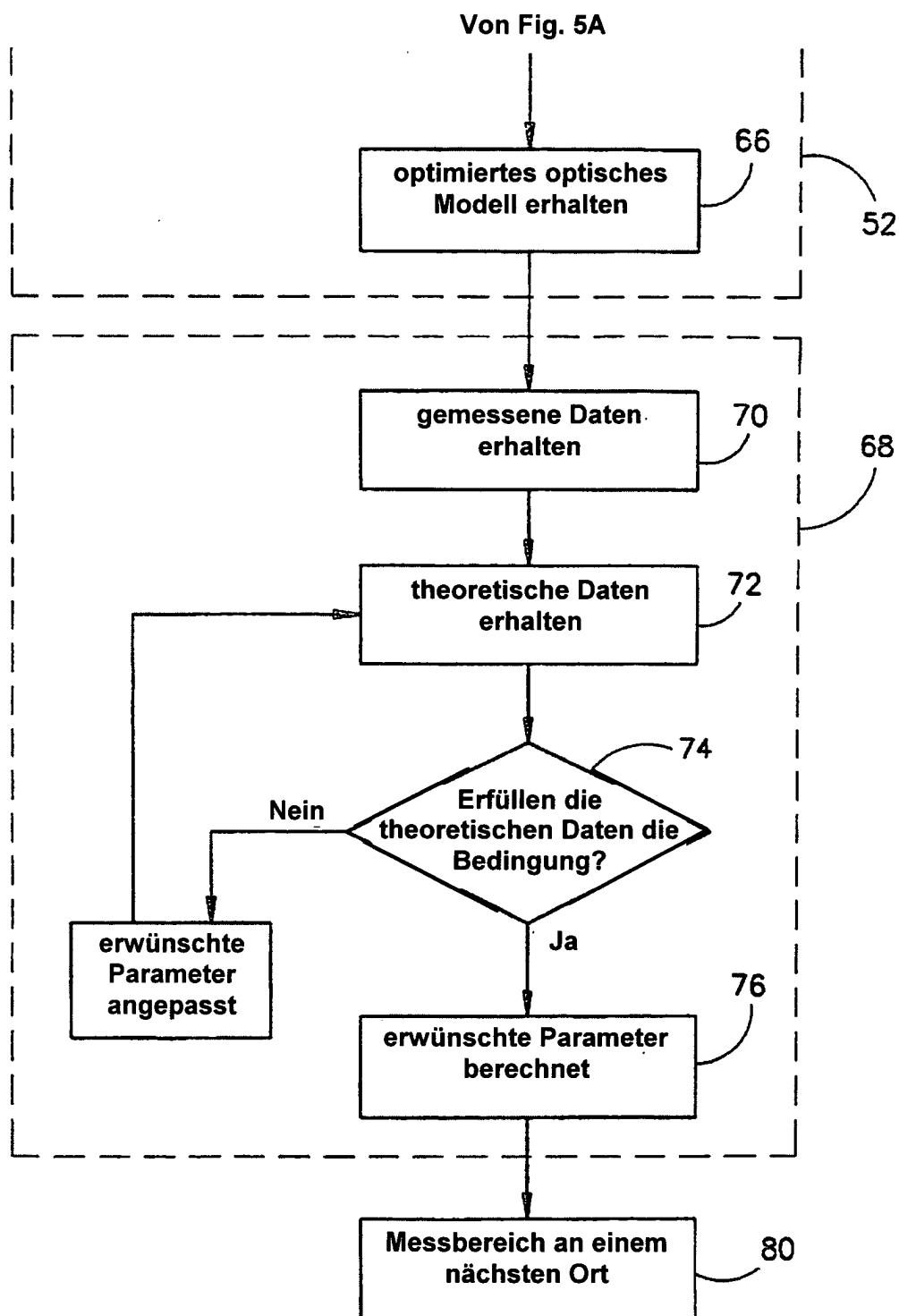


FIG.5B

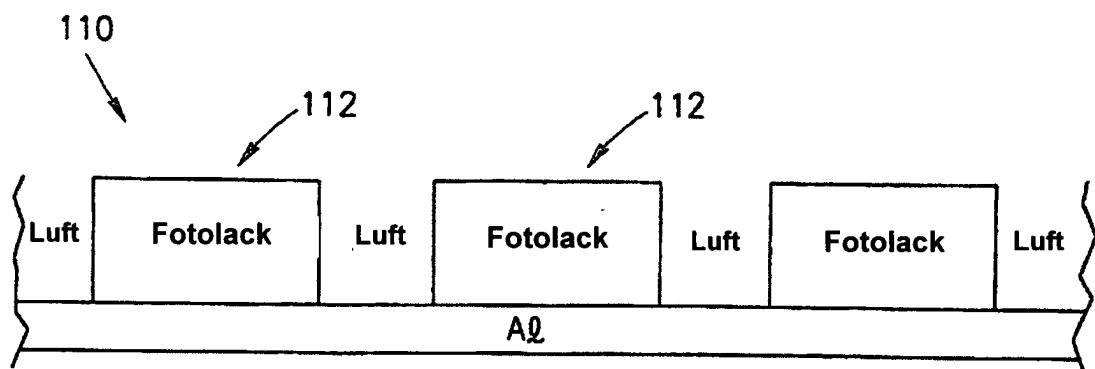


FIG.6

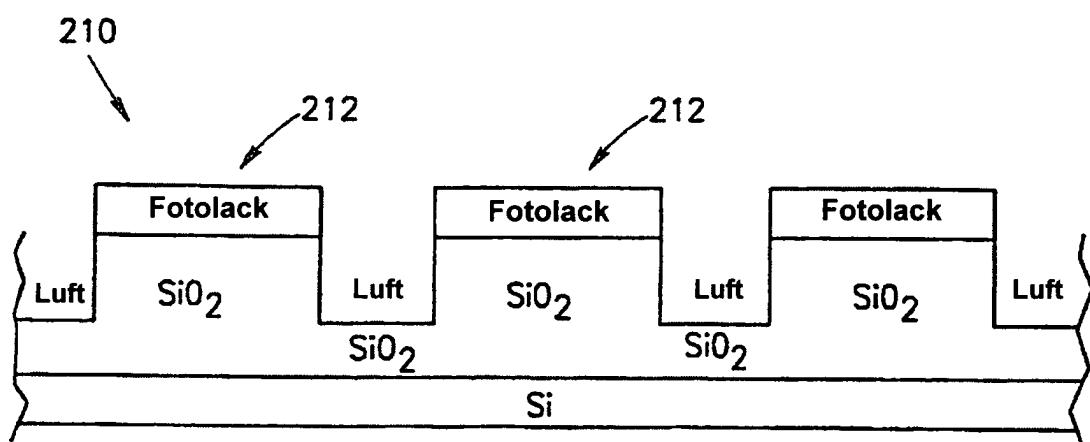


FIG.7

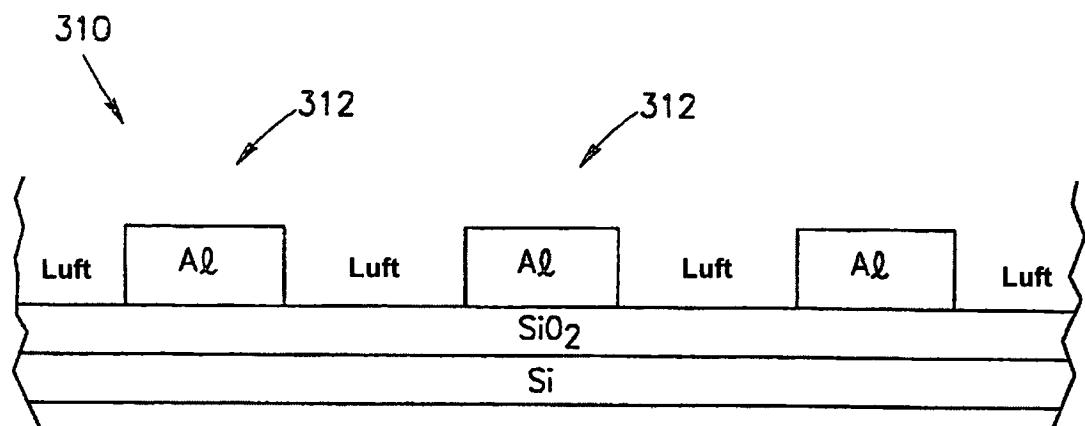


FIG.8

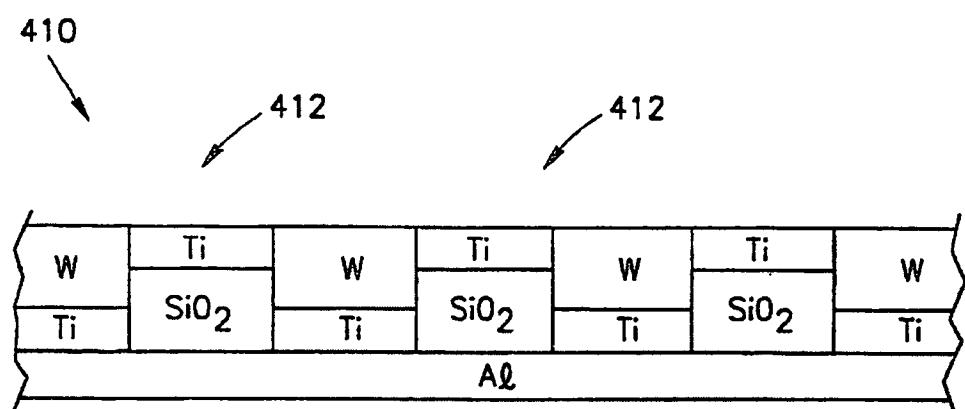


FIG.9

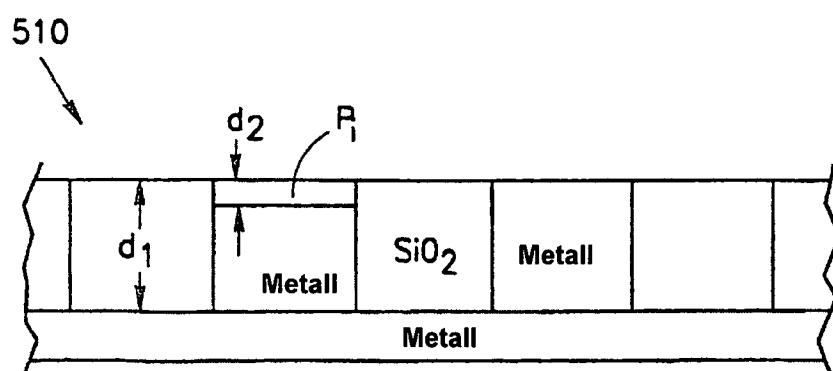


FIG.10